

**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES**

**XXVI CURSO INTERNACIONAL DE INGENIERIA DE AEROPUERTOS**

**del 31 de agosto al 30 de octubre de 1998**

**A S A**

**MATERIAL DIDACTICO**

**Ing. José Luis Baltazar Velez**

**Palacio de Minería**

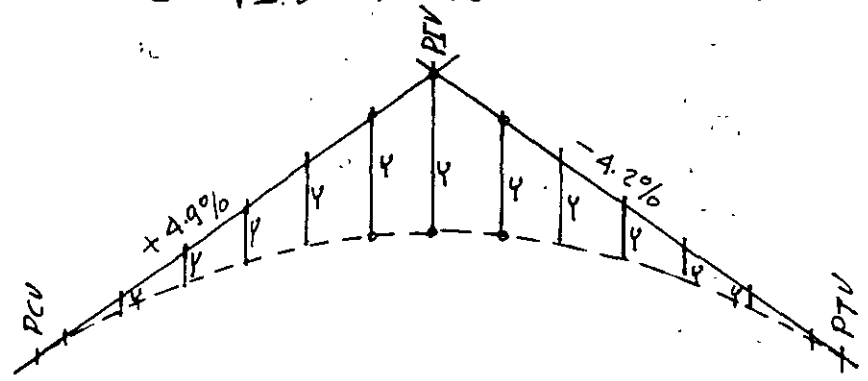
**1998**

AHORA CALCULAREMOS LA MISMA CURVA CON UNA LONGITUD ARBITRARIA QUE CAIGA EN N° NON (IMPAR)

$S_1(\text{ENTRADA}) = +4.9\%$  ;  $S_2(\text{SALIDA}) = -4.2\%$

ELEVACION PIV = 70.125m ; CAD. DEL PIV = 20+260  
 N° DE ESTACIONES (D) = 13

1) LO PRIMERO QUE HACEMOS ES REPARTIR  $6\frac{1}{2}$  ESTACIONES A CADA LADO DEL PIV. Y  $6\frac{1}{2}$  DE N° DE ORDEN.



Nº DE CUAD. ORD. D	Nº DE ORD. D	ELEV. TANG.	CADEN.
0	0	63.755	20+130
0.25	0.5	64.245	140
2.25	1.5	65.225	160
6.25	2.5	66.205	180
12.25	3.5	67.185	200
20.25	4.5	68.165	220
30.25	5.5	69.145	240
40.25	6.5	70.125	20+260
30.25	5.5	69.285	280
20.25	4.5	68.445	300
12.25	3.5	67.605	320
6.25	2.5	66.765	340
2.25	1.5	65.925	360
0.25	0.5	65.085	380
0	0	64.665	20+390

FIG. 2

2) CALCULO DE LOS DESNIVELES DE 20 M Y DE 130M DEACUERDO A LAS PENDIENTES DE LAS TANGENTES.

$h_{20} = 20 \times 0.049 = 0.98m$

$h_{130} = 130 \times 0.042 = 5.46m$

$h_{130} = 130 \times 0.049 = 6.37m$

$h_{20} = 20 \times 0.042 = 0.84m$

COMPROBANDO EL CIERRE DE LA ELEVACION DEL PCV CON EL DESNIVEL TOTAL DE 130M

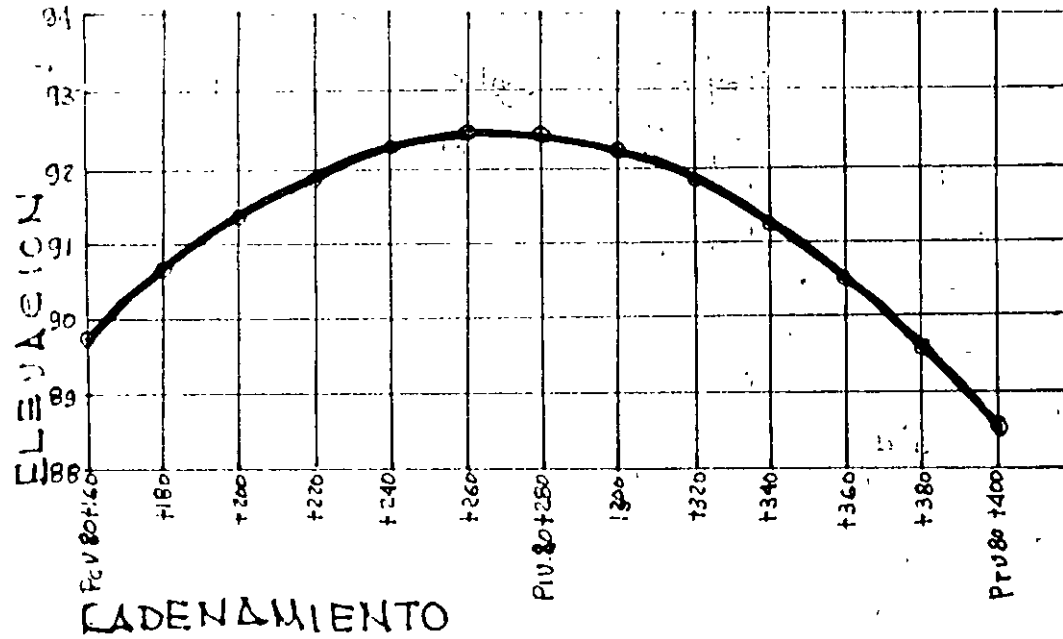
SE HACE LA MISMA OPERACION PARA EL PTU.

$$\begin{array}{r} 70.125 \\ - 6.370 \\ \hline 63.755 \text{ ELEV. PCV.} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 70.125 \\ - 5.460 \\ \hline 64.665 \text{ ELEV. PTU} \end{array}$$



# METODO DE LA PROLONGACION DE LA PENDIENTE



ESC VERT 1:100 — ESC HORIZ. 1:2000

8) CALCULOS DE LOS VALORES DE Y

$P_{CU} \quad Y_0 = 0.0 \times 0.07 = 0.00$   
 $Y_{0.5} = 0.25 \times 0.07 = 0.02$   
 $Y_{1.5} = 2.25 \times 0.07 = 0.16$   
 $Y_{2.5} = 6.25 \times 0.07 = 0.44$   
 $Y_{3.5} = 12.25 \times 0.07 = 0.86$   
 $Y_{4.5} = 20.25 \times 0.07 = 1.42$   
 $Y_{5.5} = 30.25 \times 0.07 = 2.12$

PIV  $Y_{6.5} = 42.25 \times 0.07 = 2.96$

LOS VALORES DEL "PIV" AL "P.T.U."

SON IGUALES POR LOS NROS DE ORDEN

NO ES NECESARIO CALCULARLOS.

9) CALCULOS DE LAS ELEVACIONES SOBRE LA CURVA

P.C.U.	63.75	67.18
	- 0.00	0.86
	<u>63.75</u>	<u>66.32</u>
	64.24	68.16
	- 0.02	1.42
	<u>64.22</u>	<u>66.74</u>
	65.22	69.14
	- 0.16	2.12
	<u>65.06</u>	<u>67.02</u>
	66.20	70.12
	- 0.44	2.96
	<u>65.76</u>	PIV. <u>67.16</u>
	69.28	66.76
	- 2.12	0.44
	<u>67.16</u>	<u>66.32</u>
	68.44	65.92
	1.42	0.16
	<u>67.02</u>	<u>65.76</u>
	67.60	65.08
	0.86	0.02
	<u>66.74</u>	<u>65.06</u>
		64.66
		0.0
		<u>64.66</u>



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS**

**L**as autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

**El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.**

**Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.**

**Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.**

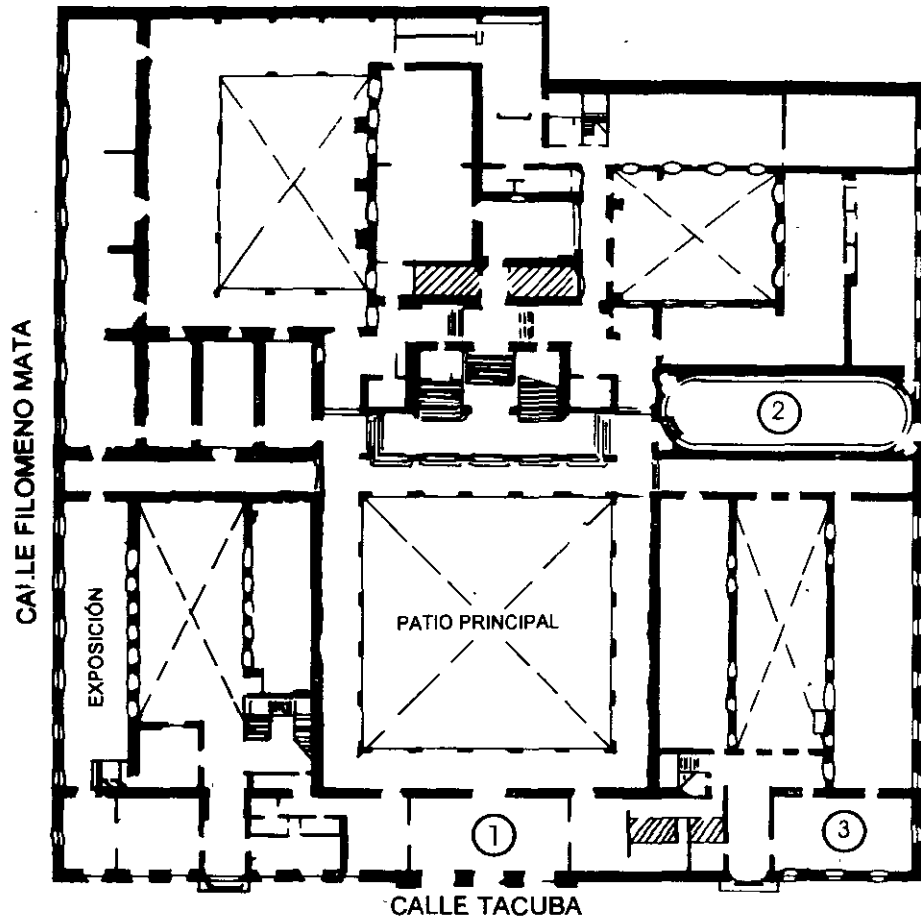
**Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.**

**Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.**

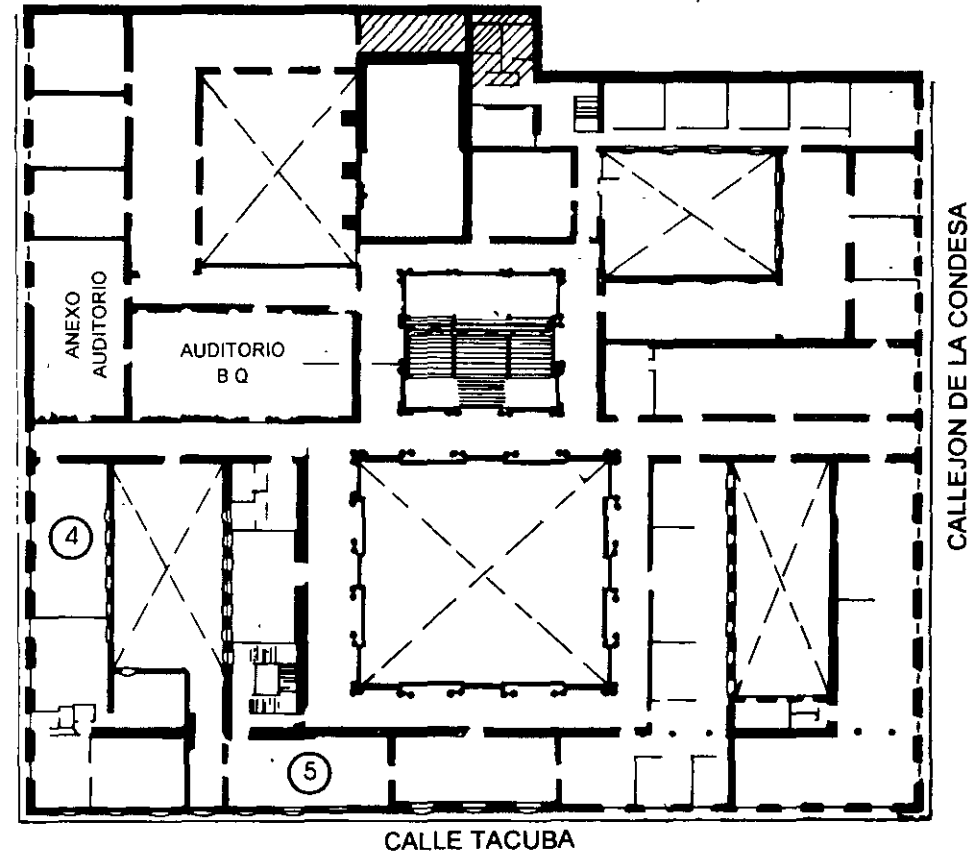
**Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.**

**Atentamente  
División de Educación Continua.**

# PALACIO DE MINERIA

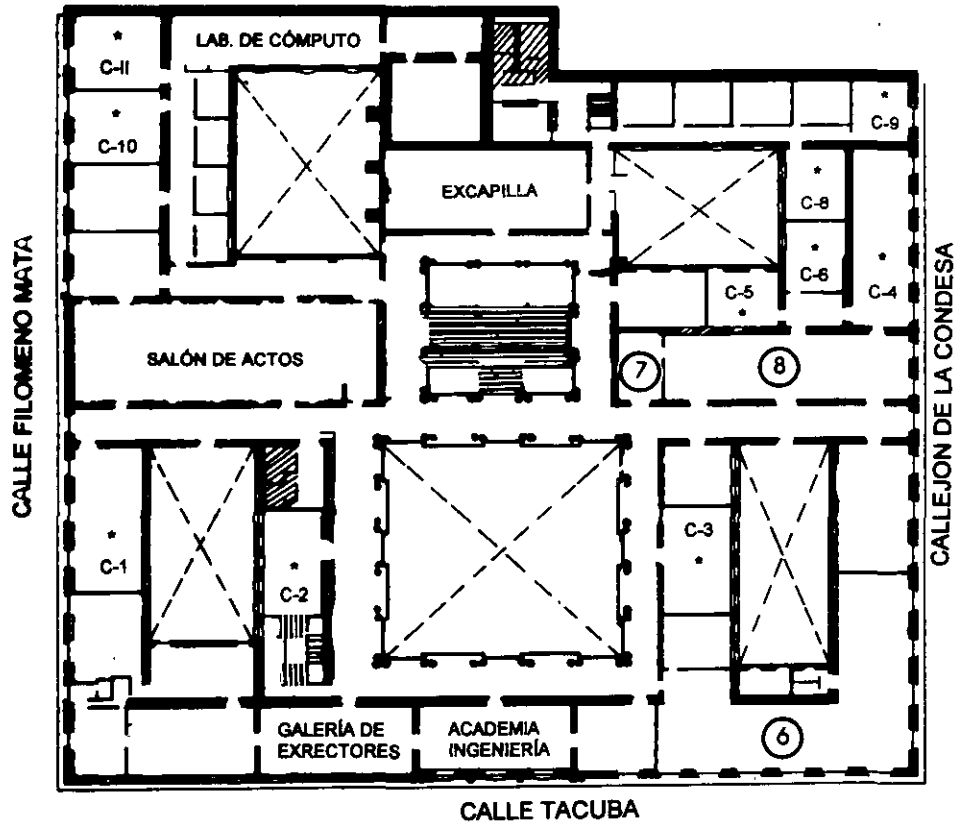


**PLANTA BAJA**



**MEZZANINNE**

# PALACIO DE MINERIA



**1er. PISO**

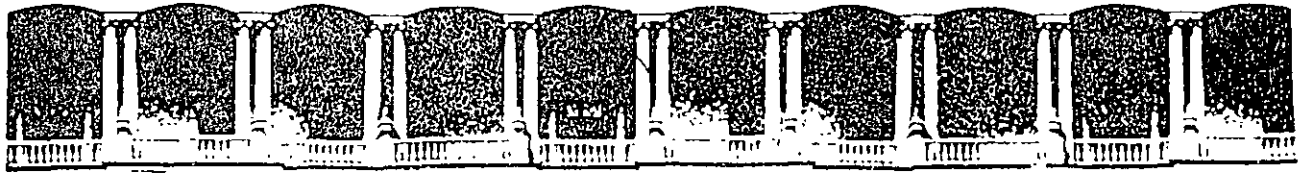
## GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
  2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
  3. LIBRERÍA UNAM
  4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
  5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
  6. OFICINAS GENERALES
  7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
  8. SALA DE DESCANSO
- SANITARIOS
- \* AULAS



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.  
CURSOS ABIERTOS





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES**

**"XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERIA DE AEROPUERTOS"**

Del 31 de agosto al 30 de octubre de 1998

**MODULO I**

**PLANEACION DE AEROPUERTOS**

Programa Avanzado en Dirección de las Entidades Públicas

Dr. Alberto Oliver Rodríguez

Palacio de Minería

1998.

*ESTE MATERIAL HA SIDO UTILIZADO EN LOS SIGUIENTES EVENTOS:*

*XXIII CURSO INTERNACIONAL DE INGENIERIA DE AEROPUERTOS.*

*CONGRESO PADEP. CIENCIAS POLITICAS DE LA CIUDAD DE MEXICO U.N.A.M.*

*ULTIMO CONGRESO NACIONAL DE ECONOMISTAS.*

*AGOSTO 1996*

México se encuentra alrededor de la zona de los trópicos, por ello su latitud se encuentra a la altura de donde se localiza el 75% de las zonas áridas del mundo, tiene un PIB que ocupa en 1991 el 16o lugar a nivel mundial, su producto interno bruto en ese año, según el Banco Mundial es de 252.4 mil millones de dólares el 1.2% del PIB mundial que puede representar el 4.4% del PIB de los EE.UU. y el 44% del de Canadá, lo anterior con el 1.6% de la población mundial y una superficie continental de 1'967,183 km<sup>2</sup>, de ahí la importancia estratégica de la infraestructura hidráulica de comunicaciones y transportes en este país, no solo en **Mesoamérica** considerada un ecosistema de zona tropical húmeda por excelencia, que contiene a la meseta templada, sino también la parte interna de las dos sierras conocida como **aridoamérica** que con aproximadamente 13 entidades federativas representa el 60% del territorio nacional, el 29.5% de la población y genero entre 1970-1988 en promedio el 28.7% del PIB nacional., Mesoamérica baja con 13 entidades, comprende el 35.8% del territorio, tiene el 41.34% de la población y genero en igual periodo el 28% del PIB nacional. Por último la meseta templada, contiene 6 entidades con el 4.40% de la superficie de la república, con el 32.10% de población y genera el 43.31% del PIB nacional. El promedio nacional de ingreso per cápita de México en 1991 es de 2,763 dólares, el de aridoamérica de 2,888, el de Mesoamérica 2639, alta 3,089, baja 2,268 y solo el **Distrito Federal** tiene un ingreso per cápita de 8,314 dólares con el 0.1% del territorio y el 10.20% de población, motivo por el cual tiene la densidad demográfica mas alta del mundo con 5,500 habitantes promedio por km<sup>2</sup>,

## ANTECEDENTES.

Aunque no se pretende hacer un análisis histórico desde 1910, es necesario hacer algunas referencias y establecer algunos parámetros de comparación, de donde partir, los cuales resultan obligados para el análisis de coyuntura, 1983-1994, por ello se hará a grandes saitos un breve pero necesario repaso: a) del arranque del siglo a la guerra, b) de la postguerra a la crisis de la guerra fría en 1960, c) de la Alianza Para el Progreso al "boom petrolero, para tratar en un apartado final de la Reforma del Estado en 1983 a nuestros días.

"Oiga General, pero y la Ley  
de la oferta y la demanda".

"Esa la vamos a abrogar"..

La Laguna

Provincia mexicana 1936.

### A) 1910-1940.

A partir de 1920, terminada la etapa armada de la Revolución Mexicana emprendida por aridoamérica, la Política Económica de los gobiernos militares favorecieron fundamentalmente el desarrollo de la **infraestructura hidráulica y de caminos**, lo cual se pudo hacer a costos muy bajos puesto que el salario mínimo fue establecido hasta mediados de los años 30's, durante el transcurso de lo que se ha dado en llamar la 2a revolución mexicana, la de Mesoamérica. De esta forma para 1940, la capacidad de almacenamiento de agua llego a ser de 5,207 millones de M3. Las obras de riego con que contaba el país en 1910, cubría efectivamente 700 mil hectáreas pero eran obras muy defectuosas; para 1940 y



particularmente a raíz del impulso de la estabilidad política lograda con el Presidente Calles a partir de 1925, las áreas beneficiadas con obras nuevas de irrigación llegaron a ser de 271 mil hectáreas, cerca de un 40% adicional a lo existente en 1910. Los caminos, también reciben un impulso inicial en 1920 con la carretera México-Pachuca, sin embargo es hasta 1930 que arranca verdaderamente su desarrollo con la construcción de 1.500 Km. para alcanzar en 1940 una longitud de 4,781 Km. de carreteras federales.

El **ferrocarril** pasó de 19.7 mil Km. en 1910 a 23.0 mil Km. en 1940 o sea 17% más, alcanzando a "rehabilitar" 5.2 mil Km. lo que significó el 23% de la red, la cual se encontraba muy deteriorada por el nivel de explotación del intensivo tercer tercio del siglo XIX, el uso destructivo de la Revolución, y la primera guerra mundial, además del incremento de las operaciones al estabilizarse nuevamente el país a finales de los años 20's.

La **infraestructura portuaria** entre 1920 y 1930, también refleja la recuperación de las operaciones y la estabilidad política de estos años, ya que los rompeolas pasan de 5.1 mil ML a 7.1 mil ML, esto es 39%.

Por su parte, la **población** paso de 14.3 millones en 1920 a 19.6 millones en 1940, que implica una tasa media anual de crecimiento de 1.6%, además la sociedad mexicana seguía permaneciendo en sus lugares de origen en un ambiente tradicional de gran arraigo regional y poca movilidad.

Prácticamente en todos estos años no se hizo uso del crédito para financiar los programas, de infraestructura básica, además el sector privado participaba lateralmente en su financiamiento, desarrollo y operación, la participación de las **comunicaciones y los transportes** en la composición del producto interno bruto (PIB) entre 1900 y 1940 paso del 2.0% al 2.6%

## **B) De la 2a Guerra a la Crisis de la Guerra Fría, 1940-1960.**

Este es un **período muy afortunado** en el desarrollo económico y de la infraestructura de las comunicaciones y los transportes en México, ya, que obtuvo realizaciones muy importantes a bajos costos y sin prácticamente deuda

Se habla ya no de la "reconstrucción" del país, sino nuevamente, como en la época de la reforma en el siglo XIX, de la "modernización". Lo anterior se presenta en medio de una coyuntura externa muy favorable; por un lado, el problema del costo financiero fue resuelto como nunca en la historia de este país, a ello ayudo mucho la reducción de pagos de la deuda, que con motivo de la gran depresión de 1929-1933 el país reflejo al decretar la suspensión de pagos de una deuda que en algunos de sus componentes tenían reclamaciones de la revolución y se venían negociando desde la época de Venustiano Carranza, en 1917. Mas adelante con motivo del estallido de la segunda guerra mundial, se dio un acercamiento entre México y los Estados Unidos, con lo cual entre 1942 y 1943, se arreglara buena parte de la **deuda externa** reduciendo el monto del principal a una quinta parte, lo anterior, reflejo el gran interés que a partir de ese momento mostrarían las políticas de cooperación entre México y los EE.UU. cuando la guerra se acercaba a su desenlace y se comenzaba a entrever el promisorio panorama económico de la postguerra.

Por otro lado, el desarrollo del período precedente en materia hidráulica y de caminos, posibilitaba al país para en este ambiente de acercamiento y colaboración de entreguerra, recibir un fuerte volumen de **inversiones directas extranjeras** en industrias de exportación, lo cual dinamizaba el empleo y el crecimiento del producto interno, en un ambiente de gran nacionalismo al haber rescatado para el país desde 1938, los renglones estratégicos que requería nuestro desarrollo industrial en ese momento, como pudo ser la expropiación petrolera y, a partir de 1946 acelerar, si bien, con el auxilio del crédito externo, la construcción de la infraestructura hidráulica.

México se encontraba en una posición muy cómoda, ya que además de ser un cuasimonopolio de exportación de materias primas y manufacturas, los EE.UU. no ofrecían demasiadas restricciones y aun brindaba un tratamiento preferencial, Europa y Asia prácticamente no competían, además México podía aun exportar con **altos aranceles** hasta todavía entrado el año de 1943, en que los ingresos federales derivados de la exportación llegó a representar el 16%, la mayor participación del siglo XX, situación que favoreció el financiamiento público autónomo y no inflacionario, para poder continuar con el desarrollo de la infraestructura para el transporte y las comunicaciones sin prácticamente deuda, ni un gran déficit comercial con el exterior, en medio de un proceso de "sustitución de importaciones" el cual se planteó con el mejor ánimo nacionalista de aumentar el consumo interno de artículos de consumo doméstico duradero a partir de la producción nacional de ellos en lugar de importarlos, los cuales con el desarrollo tecnológico alcanzado, por una etapa militarista muy prolongada, se podían ya empezar a incorporar a la sociedad tradicional en nuestro país.

Buena parte de la depresión del 29 fue por la prolongación de los valores de un liberalismo económico decadente que propiciaba falta de desarrollo del mercado interno, ello aunado a una guerra de aranceles de tipo proteccionista, paralizó en un momento dado la realización de la producción industrial., Por ello el **salario mínimo**, que apareciera como parte de las reformas de 1936, en apoyo del desarrollo del mercado interno, pasó de \$1.52 diario en 1940 a \$8.13 en 1960, que considerando las cotizaciones respectivas del dólar equivalía a pasar de US 31 centavos de dólar en 1940 a US 65 centavos de dólar diario en 1960, representando una tasa media anual de crecimiento (TMAC) de 3.7%, por su parte el PIB (a precios constantes de 1970), lo hizo al 6%. .Ello estimuló el mercado interno, que sin embargo, en estas condiciones tan favorables de la post guerra para las exportaciones, permitió que el consumo se rezagara 38% del crecimiento del producto interno bruto (PIB), con lo cual había ahorro suficiente para la modernización y el equipamiento industrial sin generar desequilibrios estructurales en el financiamiento del desarrollo.

### **Infraestructura Básica.**

De esta forma se pudo financiar la formación de capital en México, sin recurrir sustancialmente al endeudamiento, todavía en 1958 únicamente el 10.3% de los ingresos federales provenían de préstamos y financiamientos. En este contexto la **capacidad de almacenamiento de agua** creció poco más de 4 "veces", al pasar de 5.2 a 21.3 millones de M3, representando una tasa media anual de crecimiento de 7.3% anual a lo largo de 20

años, crecimiento en que los programas hidráulicos del alemanismo tuvieron una alta participación.

Las **carreteras asfaltadas y autopistas** proporcionalmente crecieron más que la infraestructura hidráulica, ya que creció poco más de 5.5 veces, al pasar de 4.800 a 27.000 kms, representando una tasa media anual de crecimiento de 9%.

Los efectos en la generación de **energía eléctrica** y el desarrollo de la capacidad nominal de **refinación de petróleo** fueron muy próximos a lo observado en el desarrollo hidráulico y caminero, ya que la capacidad instalada de generación de energía eléctrica crecía casi 4.5 veces al pasar de 681 a 3058 megawatts, reflejando una tasa media de crecimiento de 7.8% anual, por su parte la capacidad nominal de refinación de petróleo crecía 3.25 veces, al pasar de 141.4 a 459.4 millones de barriles al día, representando una tasa media anual de crecimiento de 6.1%.

### **Transportes y comunicaciones**

Los transportes y las comunicaciones también corrían paralelos con tasas entre el 4.5% y 10% anual. En el caso del **autotransporte** tuvo un impulso importante durante el conflicto bélico, ya que por instrucciones del entonces Presidente de la República Manuel Ávila Camacho, se daba autorización a particulares para que brindaran el servicio de transporte de carga hacia EE.UU., el cual se había incrementado sustancialmente por la guerra. El camión de carga en estos veinte años crecía en promedio anual 10.2%, el de carga y pasaje 9.5% y el camión de pasajeros 4.8%. Por su parte los autos, motocicletas y bicicletas crecían 8.6%, 9.3% y 9.7% respectivamente. El siglo XX se presenta como el siglo de la industria automotriz, tanto como el siglo XIX lo fue del ferrocarril.

La nacionalización de los **ferrocarriles**, no arrojaron resultados totalmente favorables, desde un punto de vista práctico, ya que los ferrocarriles por problemas financieros no se desarrollaron armónicamente, desde entonces, en relación a los otros modos de transporte, sobre todo frente a la dinámica del transporte carretero. De esta forma la red ferroviaria creció únicamente 400 km., pero se rehabilitó casi el 90% de la red, que hay que reconocer era casi hacerlo de nuevo. La fuerza tractiva paso de 18.8 a 23 millones de caballos de fuerza, que representa un crecimiento anual de 4.9%. De esta forma pudo atender si bien con menos locomotoras, menos equipo de arrastre y de pasajeros, un crecimiento de más del 145 % de toneladas, al pasar de 5.7 a 14 millones de toneladas con una tasa de crecimiento de 4.5% anual; por su parte los pasajeros-km pasaron de 1.86 a 4.13 millones de pasajeros que representa una tasa media del 4%. Lo hacía con tecnología de vapor predominantemente, con la cual ya tenían casi un siglo de operar y aunque ya era autosuficiente tecnológicamente, el diesel, como hoy la energía eléctrica volvía obsoleta la infraestructura aceleradamente.

El **transporte aéreo**, que es el medio de transporte mas moderno y rápido prácticamente nace en 1940, si bien ya había operaciones comerciales desde 1924, con el antecedente de la Compañía Mexicana de Aviación (Pan American) y en 1936 con el antecedente de AEROMEXICO (GUEST). De ahí que sea muy dinámico su crecimiento, además en este periodo se caracterizó por una operación y una infraestructura orientada al pistón, la cual en

## MEXICO. DESARROLLO ECONOMICO E INFRAESTRUCTURA

relación a la que necesita el turborreactor de los años '60 requiere de exhibiciones menores por equipo, por lo que participaban en la aviación numerosos operadores privados. Las Aeropistas llegaron a 850, las pistas federales a 26, los aviones registrados en el Departamento de Aeronáutica Civil a 1.419, las operaciones fueron alrededor de 250 mil, los pasajeros transportados 1.8 millones y la carga 72.100 toneladas. Las Aeropistas, los pasajeros y la carga transportados crecieron a tasas de crecimiento superiores al 10% anual, tasas propias de su reciente aparición, como más tarde las comunicaciones vía satélite.

En lo que respecta a **obras marítimas**, los avances también fueron significativos, ya que el comercio exterior fue tan próspero en la post guerra que hubo de desarrollarse la base fundamental de la infraestructura portuaria nacional con 13 puertos, de esta suerte los rompeolas crecieron 39%, las escolleras 22%, los espigones 107%, los muelles de atraque de altura 79%, de cabotaje 120%, los patios 177%, los cobertizos 100% y las bodegas 191%. El total de la carga creció 114% si bien el movimiento de pasajeros descendía 74% en estos años, por el impulso de los otros modos de transporte, como el autotransporte, el ferrocarril y el avión, así como el gran cambio de orientación que tuvo México hacia las relaciones comerciales, industriales, de turismo y de negocios con Norteamérica y ya no predominantemente con Europa.

Las comunicaciones reflejaron este momento modernizador con gran crecimiento, ya que la infraestructura medida en las **oficinas de correo**, que por supuesto es uno de los servicios federales más antiguos, crecieron 23%, al pasar de 3804 a 4699 oficinas; en estos años, la longitud de línea "desarrollada" del **telégrafo** que había crecido 48% entre 1910-1940, crecía todavía 15% adicional al pasar de 110 a 127 mil kilómetros, por su parte los aparatos de teléfono crecieron 196%, ya en el periodo precedente de 1910- 1940 habían crecido 1.336%, con ello su crecimiento junto con el de la correspondencia y los mensajes telegráficos crecieron anualmente 5.6%, 5.5% y 5.4% respectivamente entre 1940 y 1960.

La participación del **sector comunicaciones y transportes** en el producto interno bruto del país mantenía su tendencia de crecimiento observada en el periodo precedente ya que paso de 2.6% en 1940 a 3.3% en 1960, lo cual reflejaba la disminución de 2 puntos del sector agropecuario al pasar de 19.2% a 17.1% así como el incremento de 5 puntos en el sector de transformación al pasar de 15.5% a 20.4%.

La **población** paso de 20 a 35 millones de habitantes, si bien a partir de 1960 el proceso acelerado de urbanización permitió que la población urbana superara por primera vez a la rural. El producto interno bruto a precios constantes de 1980, creció en promedio anual 6.0%, mientras que el crecimiento de los salarios mínimos promedio de la República Mexicana en dólares crecía 4.3%, manteniendo un crecimiento en el consumo menor al crecimiento del producto, con ello el ahorro y el equipamiento aumento sin necesidad de endeudamiento federal, mismo que para 1962 prácticamente había desaparecido, pues no representaba ni el 0.18% del PIB.

Termina así un periodo de gran dinamismo y tranquilidad política para el país, donde a pesar de la influencia externa, ella se puede considerar, en esta perspectiva, marginal, ya que el país pudo crecer fundamentalmente en base a su ahorro interno y con políticas que si bien buscaban modernizarlo, todavía mostraban un fuerte contenido nacionalista a través del

mantenimiento de políticas de "sustitución de importaciones", con el apoyo de un tipo de cambio con poca sobrevaluación de 1946 a 1962. si bien el arribo del **desarrollo estabilizador** después de la devaluación de 1954, sentó las bases del aumento invisible y profundo de la dependencia comercial, tecnológica, financiera, así como dramáticamente de productos básicos a partir de 1965

"Pero en el ámbito donde los caracteres nacionales difieren, incorporándose algunos al avance económico de manera crítica, mientras otros se mantienen ajenos al mismo y en el que las pequeñas diferencias en los usos culturales pueden producir grandes diferencias en su trascendencia económica, el economista se haya indefenso ante este problema de desarrollo".

Charles P. Kindleberger, 1958.  
Massachusetts Institute of Technology. (MIT)

### C) De la Alianza para el progreso al Boom Petrolero 1960-1980

La mayoría de los estudios sobre el desarrollo económico a partir de los años 60' daban como parteaguas del mismo a los años 40' y la 2a guerra mundial, se hablaba entonces de la entrada de México al siglo XX, se había dado en 1940, pues sus indicadores no eran muy diferentes que los de principios de siglo. Hoy sin embargo que esta a punto de acabar el siglo, es importante destacar que el verdadero parteaguas de la historia económica del siglo XX, son los años 60', coincidente con la primera gran **crisis de la guerra fria** de los años 1957-1963.

El periodo de la postguerra y sus posibilidades de desarrollo en términos de alto nivel de empleo, baja tasa de interés, altos aranceles y exportación sin prácticamente resistencias externas, (preferencias arancelarias) duro más o menos del fin de la segunda guerra a la primera exposición tecnológica alemana fuera de su territorio después de la guerra, allá por los terrenos de Ciudad Universitaria en México D.F., a finales de 1953, con lo que se hablaba en apenas 6 años de terminada la guerra del "milagro alemán", el cual empezaba a eclipsar al llamado "milagro mexicano", igualmente el **sputnik soviético de 1957** aventajaba militarmente a los EE.UU., con ello le daba fin a un periodo de predominio armamentístico de los norteamericanos en el terreno nuclear y a toda una época en la cual, como ha dicho Herbert H. Grubel, los Estados Unidos de Norteamérica se habían llegado a constituir en el "banquero mundial" al detentar casi en calidad de botín de guerra mas del 70% de las reservas de oro de occidente y haberse expandido en calidad de triunfador del conflicto a través de la exportación de tecnología y créditos a Europa y Japón en base al Plan Marshall. La crisis de la guerra fria pone fin al periodo expansivo de Norteamérica de postguerra, pues con lo anterior llegaba a su fin el Plan Marshall, representando la primera gran crisis desde el término de la 2a Guerra Mundial.

Por ello entre 1957 y 1963, la coyuntura nuclear que represento el lanzamiento del sputnik, contextualiza y explican **aspectos políticos** del periodo como pueden ser: la revolución

cubana, los movimientos políticos obreros y campesinos en México, como puede ser el Movimiento de Liberación Nacional y el asesinato de John F. Kennedy, constituyéndose este momento como el inicio, la exégesis en gran medida, de la crisis que presenta América entera hoy en día, pero particularmente América Latina como deudora y América del Norte como acreedora, 30 años después de la depresión de 1928 y hoy, 30 años después de coyuntura de los años '60, verdadero parteaguas del siglo XX.

El excedente de capitales que liberara EE.UU. al darse la recuperación europea, a principios de los años '60, se orientara hacia América Latina vía **créditos**. Sucedió lo siguiente: si los EE.UU. aplicaban esos stocks financieros a su economía sin que esta creciera le generaría inflación e ineficiencia, por ello planteo la "**Alianza para el Progreso**" (ALPRO), como una forma de aplicar sus excedentes financieros en el exterior y permitir que creciera su economía al transnacionalizarse esta aún más, sin riesgos para su desarrollo económico y social interno.

En México la recuperación europea y la crisis norteamericana de 1957-1961 repercutieron de múltiples formas ya que su tasa de **crecimiento se desaceleró** a finales de los años '50, por lo que bajo la Presidencia de Adolfo López Mateos, no se vio con tan malos ojos aceptar un incremento del financiamiento para el desarrollo, de origen externo, ofrecido por los EE.UU. en la Reunión de Punta del Este en 1961.

La insuficiencia del ahorro interno de la economía tradicional de México (subsistencia) y la oferta del crédito externo a "bajas tasas de interés" permitieron la expansión en los años '60, del ensamble de distintas industrias en el país, como preludio de las maquiladoras en los '70, y una contracción mayor en las posibilidades del capital privado nacional de aumentar su participación y su escala de producción en base al mercado interno, más aún, con la presencia de un dólar relativamente barato desde 1962 y una acentuada tendencia a la **centralización** en el gobierno de las actividades económicas.

En estas condiciones, se regresaba nuevamente a atender las necesidades de materias primas de la metrópoli, pero además reduciendo aranceles y planeando ya la eliminación de la doble tributación a nivel internacional en el seno de la Asociación Latino Americana de Libre Comercio, o sea no solo se retomaba el rol de proveedor de materias primas, sino también adquiríamos el de **mercado emergente**, capaz de ayudar a paliar las crisis de sobreproducción del norte; el nivel de empleo caía en México y con ello surgía con fuerza el braserismo hacia los EE.UU., con lo cual para 1958, como resultado de las medidas "estabilizadoras" emprendidas por el gobierno de Don Adolfo Ruiz Cortines, como la contracción en el ritmo de crecimiento del salario mínimo a partir de 1952 y la devaluación de 1954, que llevaba al peso a \$12.50 por 1 dólar, generaron encono y malestar social particularmente entre maestros, ferrocarrileros y telegrafistas, de manera coincidente con lo que hemos denominado la primera gran crisis de la guerra fría y del gobierno de la revolución.

El Gobierno de Adolfo López Mateos, tenía que buscar soluciones para resolver esta nueva depresión que se le presentaba al país y al mismo tiempo mantener el nivel de precios que con motivo de la devaluación de 1954, se había **comprometido la administración**, además a fin de desarrollar al mercado de capitales nacionales se había propuesto dar facilidades de

exención de impuestos tanto en la importación de procesos completos de producción (existía la llamada Regla 14) como para la instalación de nuevos centros de producción para lo cual ofreció estímulos fiscales, concesiones y facilidades. El peso había iniciado desde el fin de la 2a guerra mundial en 1946, un largo proceso de sobrevaluación, que se va a acentuar a partir de 1962 hasta 1994, con la excepción del periodo 1982-1988, en que por los ajustes al tipo de cambio realizados con la administración de Miguel De la Madrid, la balanza comercial arrojaría, como veremos más adelante, saldos superavitarios.

El mantenimiento del tipo de cambio estable y sobrevaluado, del "**desarrollo estabilizador**" alimento la estrechez del mercado interno, ya que estimulaba la importación en deterioro del mercado interno, dificultando la utilización de escalas de producción mas amplias y poder competir con costos bajos. Las insuficiencias de la demanda interna en esas condiciones, aunada a una demanda decreciente de nuestros productos en el exterior y la centralización y autoritarismo desalentaba la inversión privada, la cual al reducir su ritmo de crecimiento, de utilidades y de participación en los salarios, llevo al Estado a participar más activamente en la vida económica nacional pero a **crédito**, ya que los ingresos fiscales no tenían el dinamismo de años anteriores. Pese a ello por el tipo de orientación que predominantemente se le dio a los créditos hacia la infraestructura de comunicaciones, transportes y electricidad se pudo estimular el desarrollo del llamado "grupo constructor", destacándose entre otras empresas de manera relevante el grupo Ingenieros y Constructores Asociados ICA.

En el caso de las **comunicaciones y los transportes** se suman al Sector Paraestatal alrededor de los años '60 empresas como **AEROMEXICO, TELMEX, CAPUFE y ASA**, pues ya previamente los **correos y los telégrafos** formaban parte de la administración pública y desde 1936 se habían integrado los **ferrocarriles**.

Además en el espíritu del Estado, de conformidad con el artículo 25 Constitucional debía fomentarse el empleo y el crecimiento, lo anterior dentro de la administración por **objetivos**, podemos decir que estaban correctamente definidos, en cambio no precisaba de igual manera los **medios**, esto es: si es a crédito, o con recursos propios, con emisión de moneda fiduciaria, con financiamiento no inflacionario, o bien a pesar de que estos pudiesen representar empleos subsidiados a crédito y con una productividad marginal negativa. Es de hacerse notar que el inconveniente de la intervención del Estado fue que fundamentalmente se realizó con el apoyo de los recursos externos y no con ahorro interno, pues este se consideraba insuficiente para el llamado desarrollo estabilizador y por ello se consideraba natural, como "parte del costo del desarrollo".

Igual que en 1942, cuando se cancelo el 80% de la deuda y se pudieron abrir nuevos pasivos, entre 1962 y 1963, fue tan exitoso el desarrollo precedente que se pudo liquidar la totalidad de la "deuda vieja" al tiempo que se abrían nuevos pasivos que los norteamericanos estaban nuevamente ofertando. Se puede observar que en el gran impulso la economía mexicana de 1942 lo dio la reducción de la **deuda** y la **guerra**, y que en forma coincidente en los sesentas lo dio la crisis de la guerra fría y el aumento de las posibilidades de financiamiento de la ALPRO. La guerra sigue siendo, hasta aquí la balización fundamental de la periodización de la historia.

## MEXICO. DESARROLLO ECONOMICO E INFRAESTRUCTURA

Por otro lado, en base al esquema de economía mixta que adoptó México desde el inicio de los Gobiernos Revolucionarios, se orienta la acción del Estado fundamentalmente sobre un esquema de "obra pública" generadora de empleo, aprovechando las ofertas que en ese momento ofrecía EE.UU. bajo el esquema de la ALPRO a los países latinoamericanos, con el excedente de capitales generados en EE.UU. al fin del Plan Marshall. De esta forma, Europa iniciaba la liberación gradual de su economía del dólar y América Latina aceleraba su proceso de estatificación dependiente del crédito y sobrevaluación de sus monedas; así los estados de la región, recibían "créditos atados", justo para las obras que requería la **expansión multinacional** de la industria norteamericana para su redespiegue industrial hacia el subcontinente.

El aumento de los financiamientos hacia América Latina generó una renovación en las concepciones propias de la **administración pública**, estableciéndose a lo largo de todo el subcontinente iberoamericano en los años cincuenta y sesenta escuelas e institutos de enseñanza superior donde se daba adiestramiento relativo a la administración pública y la evaluación de proyectos, por lo que respecta a México, en 1958, junto con la creación de la Secretaría de la Presidencia de la República que después contenía a la Dirección General de Estudios Administrativos, se estableció el estudio de la Carrera de Administración Pública en la Facultad de Ciencias Políticas en la UNAM, el "presupuesto por programas" era materia obligada desde 1958, se consideraba como la expresión más acabada del control presupuestal y de las inversiones, lo cual obedecía a las necesidades de mejora administrativa en el contexto de los financiamientos para el desarrollo, que explica parcialmente junto con el aumento de las tasas de interés y la crisis de liquidez de esa época los esfuerzos y estudios sobre la **reforma administrativa** en la primera mitad de los setenta, homológicamente que las reformas borbónicas del 1700.

Los "cameralistas" franceses del siglo XVIII, se pueden considerar el antecedente más remoto de la administración pública moderna, integraron elementos de la organización militar como: plana mayor, mandos medios, staff, director general, director coronel; sub, apoyo administrativo, apoyo técnico, que seguramente pusieron en práctica las corrientes denominadas "científicas" muy en boga en todo el mundo como los comunistas científicos, que influyeron en los jacobinos científicos de la 2a mitad del XIX en México, que de alguna forma continuaron la obra de reforma de la secularización del Estado y que la típica expresión "mucha administración y poca política" parece definir claramente la forma como entendían nuestros antepasados weberianos a la administración como un "espacio neutro" de las instituciones políticas del Estado, cuando las influencias más vivas de la administración pública eran aún las organizaciones militares y el clero;

A principio del siglo XX, la teoría de sistemas de Henry Fayol, que impactó los trabajos de la industria automotriz norteamericana de los años 20 con Taylor a la cabeza, repercutió en la metodología de la ciencias sociales, particularmente de la historia por los años '30 de la gran depresión y con ello apareció la Escuela de los Anales con exponentes como Marc Bloch, Fernand Braudel, H. Pirenne, E.J. Hamilton y Pierre Vilar, para más tarde en los '40, impactar a la escuela económica por los estudios de planeación para la optimización de los recursos en la segunda guerra con los trabajos de Vasily Leontieff; así pasamos del análisis



"sistémico" y la "matriz procesadora o caja negra" de recursos humanos materiales y financieros a la "matriz de insumo producto" de la sociedad industrial.

En nuestros días, la influencia más evidente de la administración pública son los sectores más modernos y dinámicos que dentro de la globalización están representados por los sistemas de gestión de las grandes empresas privadas, holdings, trust, consorcios, y los sistemas gerenciales que operan en sociedades como la industria automotriz (L.A. Iacocca), la de cómputo y satelital o el sector financiero. El concepto moderno de la administración pública en México ha evolucionado para considerarse después de las experiencias de la primera mitad del siglo XX, como "la política en acción".

"De esta manera en México, los créditos para el **Programa Nacional Carretero** de 1963, corrían paralelamente al despliegue de las ensambladoras de la industria automotriz; el **Programa Nacional de Aeropuertos** en 1964, favorecieron a su vez la apertura de líneas de crédito para la compra de equipos turbo reactores del transporte aéreo como los DC 8; los créditos para la rehabilitación y modernización de la red férrea, utilizando tecnología propia de la segunda guerra mundial, permitieron la importación de equipos diesel; la nacionalización de la industria eléctrica y telefónica, permitieron que el desarrollo tecnológico alcanzado en la guerra, permeara hacia las industrias correspondientes.

El crédito de la ALPRO sirvió al Estado Mexicano para abatir la recesión y dinamizar el crecimiento económico, sin devaluar la moneda, sin inflación, con bajos intereses y elevando aceleradamente el consumo, el crecimiento y los salarios hasta 1981, cuando países como Japón mantenían crecimiento cero, como respuesta a la crisis de los energéticos, con ello se desarrolló en México en los '60 y '70 una economía del bienestar con un buen número indiscriminado de **subsidios al consumo**.

Desde el punto de vista de la **productividad** de la población económicamente activa, logro continuar creciendo en la década de los '60, el sistema económico aparentemente aumentaba su productividad per cápita, sin embargo lo hacía generando un desequilibrio estructural enorme, raíz de los desequilibrios posteriores. Presentaba el país, la figura de un "**macaco**" atrapado por no querer soltar el fruto de la trampa, en este caso el fruto estaba representado por los créditos, la sobrevaluación del peso, una balanza comercial deficitaria y un alto nivel de empleo, todo ello a expensas del crédito público.

Representaba la economía mixta en este orden de ideas todo un gran **espejismo**, ya desde 1965, un año después del llamado Plan de Acción Inmediata, la autosuficiencia alimentaria de básicos y el rezago en la infraestructura hidráulica iniciaba el dramático descenso que hoy le conocemos.

A partir de 1970, se requería abandonar el modelo del "Desarrollo Estabilizador" y "modernizar" la economía, sustituir el ahorro externo por el ahorro interno, llevar adelante una reforma monetaria y fiscal, promover la economía de mercado en las regiones de subsistencia para mejorar la inequitativa distribución del ingreso, estimulando la producción de excedentes y diversificación de cultivos, flexibilizar el ejido, apostar al mercado de exportación en las manufacturas, descentralizar la producción de bienes y servicios del aparato político, pero los compromisos y las ideas dominantes sobre la realidad económica,

mantenían la continuación de la **economía mixta a crédito**, como la vía mesoamericana hacia el socialismo, cuando la carga fiscal y las tarifas de la producción de bienes y servicios producidas por el Estado no se aumentaron lo necesario por distintos motivos de orden cultural y político lo que se mantuvieron prácticamente como en los 60.

El virus del "**marxilococo mesoamericanus rojo rábano**", con su ascendiente "liberal-jacobino", seguía tergiversando la discusión de los grandes problemas nacionales, con ello su diagnóstico, solución correcta y oportuna, de ahí que buena parte de la dependencia económica, financiera, tecnológica y de alimentos que hoy conocemos tiene su origen y desarrollo en esta época y en este orden de ideas.

Conviene aclarar que si bien la **economía de mercado** no es la panacea y que además puede ayudar a profundizar las desigualdades económicas, sobre todo en ambientes culturales tan contrastantes como los hay en México, al mismo tiempo puede representar el paradigma o modelo que ha funcionado a lo largo del planeta y de la historia para el combate de la marginación y la pobreza en poblaciones y comunidades, es útil decirlo, reconocerlo, observarlo no sólo en las zonas de clima templado húmedo, sino también en las de clima tropical húmedo como en el sudeste asiático desde mediados de los años '70, posterior a la muerte de Mao Tse Tung...

Entre los desajustes más relevantes del sistema económico podemos señalar, por reveladores y de gran impacto a nivel mundial: la duplicación en las tasas de interés internacional en 1973, la tasa Prime promedio anual pasó de 4.30 a 8.06%, ello generó diversas crisis de pagos en América Latina, la Reunión de Ginebra que puso fin a los acuerdos de Bretton Woods (interguerra 1944) la incorporación de la "serpiente monetaria europea" al sistema de flotación, políticamente contextualizado por el avance de la unificación asiática y el desarrollo consecuente de la Cuenca del Pacífico en el comercio internacional, provocando un ambiente muy tenso en las relaciones internacionales a la muerte de Georges Pompidou, la caída de Salvador Allende en Chile y el inicio de la dictadura en Argentina, la explosión nuclear de la India, la Invasión de Chipre por los turcos y la guerra del golfo Pérsico por los precios del petróleo nos recuerdan esos años; para México sería el antecedente de su devaluación en 1976, y el establecimiento de una mínima banda de flotación, con la que tímidamente se entraba a un nuevo sistema monetario de **paridades flotantes**.

Para el común de los mexicanos de entonces, era desconcertante devaluar la moneda en un momento en que todo el mundo decía que éramos ricos con los "yacimientos petroleros más grandes del mundo".

Por el aumento de los precios de las materias primas y productos de exportación mexicanos, México pudo no endurecer el ajuste económico hasta que se desplomó el crecimiento del PIB de +7.9% en 1981 a -0.5% en 1982 y -5.3% lo obligó en 1983. La tasa promedio anual de interés prime en 1981 fue de 15.53%, el coeficiente de endeudamiento como proporción del PIB pasó de 39.80% en 1981 a 65.39% en 1982, los préstamos y financiamientos representaron en ese año el 56.9% de los ingresos federales, por su parte el servicio de la deuda representó más del 40% del gasto federal, en esas

delicadas circunstancias el arribo del llamado "neoliberalismo" con la Reforma del Estado es mas consecuencia que causa de la crisis..

Desde el punto de vista de la asignación de los recursos, en el caso de México se observa desde 1970, la caída en la productividad marginal de la población económicamente activa en relación al PIB, desaceleración que llega hasta 1987 en que toco fondo con el inicio de la "política de pactos", por lo que la utilidad marginal del modelo financiado con el ahorro externo, a partir de 1970, empezó a descender, como resultado de continuar la sobrevaluación de las posibilidades tanto monetarias como del sistema "centralizador-autoritario".

El incremento en la tasa de crecimiento del empleo en estos 10 años que van de 1970 a 1980, fue del 5.5%, el aumento en la capacidad adquisitiva del salario promedio el 10%, mientras que la tasa de crecimiento del producto, solo promedio 3.2%, con lo cual el crecimiento del salario es en esta década fue 3 veces arriba del crecimiento del producto interno bruto. La sobrevaluación de la capacidad adquisitiva del peso se mantenía a base del crédito externo soportado a partir de 1974 por las "reservas de oro negro", reflejando el cambio al sistema de paridades fijas y el abandono del patrón oro

"El consumo es sólo el fin y único  
objeto de toda la actividad económica".

John Maynard Keynes

El Estado pudo impulsar durante más de 20 años (1962-1982) políticas de bienestar, donde salió beneficiada la industria de la construcción (para entonces grupo constructor ), pues desafortunadamente a pesar de todos los esfuerzos del Estado orientados en ese sentido no se ha podido modificar hasta la fecha la **inequitativa distribución del ingreso** y al contrario se ha agravado en el veinte por ciento de la población con menores ingresos entre 1950 y 1992, que disponen de un porcentaje menor del ingreso generado al pasar de 5.6% en 1950 a 3.62 %en 1992, de conformidad con las encuestas de ingreso gasto del INEGI..

El **discurso político** impugnaba al sector privado de no tener recursos suficientes y obstaculizar las políticas de pleno empleo, impidiendo asegurar el crecimiento, argumentando que era interés del gobierno de la Revolución cumplir con los ordenamientos de la Constitución y que era facultad del Estado impulsar el empleo y fomentar el crecimiento, en un esquema de economía mixta, de conformidad con el Art. 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, además la obra publica en infraestructura ofrece las bases materiales necesarias para que se desarrolle la producción con todos los beneficios que ello conlleva... La omeostásis es una enfermedad en donde crecen mas los huesos que la carne, algo así le pasaba a la economía nacional. La critica al sector privado en esa época era fundamentalmente de egoísta al no apoyar el mantenimiento de políticas de pleno empleo, que eso le tocaba al Estado el cual se caracterizaba por ser buen empleador.

## MEXICO. DESARROLLO ECONOMICO E INFRAESTRUCTURA

El **multiplicador de inversión y la propensión marginal a consumir**, que se derivan de las nociones Keynesianas de oferta y demanda agregadas, fueron los **soportes teóricos** para que el Estado utilizará el crédito para inversión en "proyectos nuevos", obras públicas que en más de un 50% se convirtieron en el destino de los créditos, el resto fue para energéticos y electricidad fundamentalmente, además de que se pudo estimular el consumo con el desarrollo de la obra pública y los beneficios sindicales de ese Capitalismo de Estado, pues en este período el salario mínimo se elevó considerablemente, ya que pasó de \$8.13 diario en 1960 a \$140.69 en 1980 que en US dólares representa pasar de US 65 centavos a US 6.14 dólares diarios (en 1981 llegó a la cima con 7.49 USD/día) ; esto implica una tasa media anual de crecimiento del 10.0%, por su parte el PIB logro crecer de 1960 a 1980, a una tasa media anual de crecimiento de 6.8%, o sea que los salarios pudieron crecer en promedio, 47% arriba del crecimiento del Producto Interno Bruto y consolidar beneficios y prestaciones en contratos colectivos de los sindicatos y trabajadores de las empresas al servicio del Estado como las aerolíneas (AEROMEXICO), las de teléfonos (TELMEX), las carreteras (CAPUFE), los aeropuertos (ASA), Ferrocarriles, (FERRONALES), industria petrolera (PEMEX), eléctrica (CFE), y algunos Fondos de Desarrollo, fideicomisos y empresas agrícolas como Inmecafe y Tabamex, que a fines de los años ochenta se presentaron ya como anacrónicos frente a la crisis que se vivía desde 1982.

Si entre 1940 y 1960 el crecimiento del salario se rezago 38% del crecimiento del PIB, por ~~contra~~ entre 1960 y 1980 las **políticas de bienestar** impulsaron a que el salario creciera 47% por arriba del PIB, la mejoría acumulada para los salarios para 1980 es del 85%. Esto es posible por los créditos y por el incremento en los ingresos de exportación por los aumentos en los precios del petróleo, materias primas y productos de exportación, ya que la productividad marginal de la mano de obra empleada no lo justificaba, esta situación al subir las tasas de interés y caer los precios de las materias primas a partir del año de 1981, repercutió en la cuenta corriente y en la disminución del saldo de divisas en el Banco de México, por lo que se requirió de ajustar la paridad cambiaria con el dólar, con lo cual se generó un fuerte ajuste de los salarios en relación al crecimiento del PIB, el consumo doméstico tuvo un descenso considerable, así se adoptaba una paridad realista de acuerdo con el nivel de productividad del país. A la distancia esta política monetaria de **1982-1988**, de paridad realista o de una ligera subvaluación, ha mostrado su validez, constituye el único lapso después de la segunda guerra mundial, salvo 1948 y 1949, en que ha sido positiva la cuenta comercial con el exterior.

El modelo económico entre 1962-1987, incremento sustancialmente el gasto del Estado, básicamente a partir del **ahorro del exterior** en lugar del ahorro interno, lo hizo por la vía del crédito. Coloquialmente se ha dicho por algunos observadores que en el "juego del cerillo", este se prendió en 1962 con la ALPRO y el "desarrollo estabilizador" y se apago en 1982 con la "crisis de caja" a la que se refiriera el secretario de hacienda en aquella época. al presentarse simultáneamente: la caída de precios de los productos de exportación mexicanos y la impresionante subida de las tasas de interés internacionales. en 1982, por cierto las más altas de todo el siglo. En contra, la crisis de 1994 se presenta en opinión de algunos de los actores después de la devaluación de diciembre de '94, de manera próxima al juego del "teléfono descompuesto".

El problema que se presenta cuando se trata de dinamizar una economía estancada con recursos de crédito, es la selección de los proyectos: si estos destinan el crédito al consumo se convierte en una **deuda lastre** de la cual es muy difícil salir: si los proyectos se destinan a jardines y/o calles se generará un aumento en el confort de la colectividad y economías de escala en su "modus operandi" y crecimiento en el empleo, así como beneficios laterales en la industria de la construcción, lo cual será mientras duran las obras, sin embargo al término, quizás haya crecido la demografía desproporcionalmente y existan más consumidores y no exista necesariamente una corriente de producción local de bienes y servicios adicional para ellos, ni para pagar la deuda, ni para conservación y mantenimiento, sobre todo, si no se ha recuperado la inversión con tarifas o derechos suficientes, en este caso es una **deuda pasiva** la cual no genera su propio reembolso, si el volumen de producción de bienes no aumentan, tiende a afectar el consumo dramáticamente, particularmente de aquellos que no pudieron capitalizar el auge, que en el caso de México fueron la mayoría, todavía en 1983, según un estudio del CIDE, el 58% de los ejidos y comunidades del país son de subsistencia o de extrema pobreza, por lo que respecta a la pequeña propiedad es aun mayor, representando el 64%, en Mesoamérica estos promedios son aún mayores, el caso de Chiapas considerado extremo, considera excedentarios apenas al 4 y al 2% de los ejidos - comunidades y pequeños propietarios, respectivamente.

Si la deuda es en moneda extranjera, la reducción en el consumo del producto nacional tenderá a exportarse para adquirir divisas y pagar la deuda. Lo anterior impulsa un crecimiento en algunos sectores de la población que pueden aprovechar la oportunidad, pero se generan desproporciones que están en la base de la concentración del ingreso, de las recesiones y de las depresiones. En contra, si la deuda se destina a **inversiones autoliquidables**, con tecnología de punta y de mercado expansivo, las cuales no solo aumentan el empleo transitoriamente, sino que además generan una corriente de producción local permanente de bienes-servicios, generando los recursos para su liquidación, entonces estamos frente a una **deuda activa** que presenta menores peligros de desarticular el crecimiento del producto con el comportamiento demográfico y el correspondiente consumo, así como generar problemas adicionales al tratar de corregir, por la vía de los subsidios, la inequitativa distribución del ingreso.

Una política industrial que incentive la adopción de procesos nuevos, su adaptación a México y que permita competir en costos, siguiendo el esquema de las ventajas comparativas de los "tigres del Pacífico", para competir en el mercado exterior es una política de **"sustitución de exportaciones"**, que como la ha denominado Josué Sáenz, puede permitir guardar esperanzas de salir un día del gran bache industrial en que se encuentra el país.

"Los europeos han podido frenar la tasa de natalidad, los chilenos y los argentinos han hecho un esfuerzo importante, pero los mexicanos nunca lo harán.

Edmundo Fiores. 1969

Para los que prestaron los dólares al principio, durante el periodo 1962-1973, en el contexto de la Alianza Para el Progreso ALPRO, era condición "sine qua non", que el tipo de proyecto fuese compatible con la **empresa norteamericana** y que el plan de desarrollo lograra tasa de crecimiento del 5% anual esto es lo que en el argot financiero federal del país se dio en llamar "créditos atados" y que dicho sea de paso, casi todos los créditos normalmente son atados.

A partir de la recesión en los países importadores de petróleo, generada por el aumento en los precios de los energéticos de mediados de los años 70, comenzó a crecer la tasa de interés y la inflación particularmente entre 1973-1975. La garantía de que hubiese petróleo en México, se convirtió en la prima condición y prácticamente la única, por lo que a partir de ese momento se "**liberaron los créditos**" por lo que se podían dirigir ya a donde lo considerara mas conveniente el deudor, de esta forma los criticados "créditos atados" ya no fueron la regla, ello permitió la permanencia de la sobrevaluación del peso por 6 años más con la insuficiente banda de flotación de la administración del Presidente José López Portillo, pues tanto la devaluación de 1976 y el deslizamiento subsecuente fue insuficiente, para revertir las tendencias de las cuentas con el exterior, que aumentaban peligrosamente su desequilibrio..

Los créditos en todo caso se capitalizaron en gran proporción por los constructores, con lo cual no era raro para los recaudadores del Impuesto sobre la Renta encontrarse con muchas "constructoras golondrinas" cuando eran buscadas en el domicilio oficial. No todo fue a obra pública estimuladora del empleo en esos años, como los **caminos** con "uso intensivo de mano de obra", ya que también se aumento 7 veces la **producción de crudo**, al pasar la producción de alrededor de 99.0 millones de barriles en 1960, a cerca de 709.0 millones de barriles en 1980, a ello favoreció que en los últimos cinco años de los 70, en lo que se dio en llamar el "boom petrolero", en virtud de que la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) redujo la oferta mundial de esta materia prima, con lo cual los precios del petróleo alcanzaron "precios de escasez", llegando a 35 USD el barril.

Por su parte el **consumo de gasolina** crecía en México 4 veces, junto con 4.7 veces los vehículos de carga y pasaje, todavía en 1989, algunos **autotransportistas** disponían de "bases especiales de tributación" para el pago de sus impuestos, lo anterior so pretexto del gran numero de "iletrados", gente sencilla y que en algunos casos no puede llevar registros contables adecuados.

La capacidad instalada de **energía eléctrica** permitía que la oferta total creciese 5.5 veces, 3.5 veces mas que el crecimiento de la población en ese periodo, (60-80) la cual se pudo duplicar; este ritmo de crecimiento no fue correspondido con tarifas suficientes, motivo por el cual aquí como en los **ferrocarriles** se requieren volúmenes importantes de transferencias de recursos fiscales como de créditos.

Entre 1960 y 1980, la **capacidad de almacenamiento de agua**, medida en "metros cúbicos" sufrió un gran rezago, quizás uno de los mas serios, la desproporción respecto al crecimiento

## MEXICO. DESARROLLO ECONOMICO E INFRAESTRUCTURA

de otros sectores e incluso la propia población fue muy contrastante ya que creció solo 38%, lo que equivale a una tasa media anual de crecimiento de 1.6%. Las limitantes pluviométricas para la obra de gran irrigación fue compensada con obra de pequeña irrigación, de temporal y las de rehabilitación, así en términos de "hectáreas beneficiadas" se pudo pasar de alrededor de 3 a 6 millones de hectáreas beneficiadas, que sin embargo presenta un gran rezago frente al crecimiento demográfico y ganadero, vale la pena destacar que la superficie cultivable del país se estima en alrededor de 22 millones de hectáreas, a finales de los años '80

Esta infraestructura a diferencia de otras se encontró, hasta la creación de la **Comisión Nacional del Agua**., dispersa en muchas áreas administrativas, y no fue tan fácil ordenar paquetes de proyectos como en otras funciones organizadas en una sola coordinación, como pudo ser el caso de las carreteras o los aeropuertos. Además, los EE.UU. con la región templada húmeda mas grande del planeta, produce excedentes en granos y alimentos y no presentaba el mismo interés en impulsar proyectos hidráulicos frente a los que promovieran el despliegue de su industria.,

Por su parte, la **producción de alimentos** desde 1965, como ya lo habíamos señalado, empezó a descender, ello en sí es un indicador de las contradicciones que se producían dentro del modelo de política económica autodenominado de "desarrollo estabilizador"; ya que por un lado, el uso del crédito externo para obra pública, violentó la sustitución de la fuerza laboral del campo hacia el proceso de urbanización; después, al aumentar la demanda de mano de obra determino que los salarios mínimos y urbanos aumentaran. En el otro extremo de la cadena, la sobrevaluación del poder adquisitivo del peso al mantener a la venta los dólares prestados a una paridad como si fuesen generados por nuestra producción exportada, no permitía escalas amplias de producción de los productores nacionales que competían en el mercado local con los precios más baratos del exterior, con lo cual además se dificultaba la exportación. Hoy el país es **dependiente no solo en aviones y locomotoras, sino también en alimentos.**

El impulso del crédito en el gasto, se reflejo a su vez en la **demografía**, como hemos apuntado, la población total se duplico, la población urbana creció 150% y su participación en el total se modifico al pasar del 50% en 1960 al 63% en 1980. Las ciudades con mas de 100,000 habitantes pasaron de 17 a 64, habían crecido 276%, vivían en ellas, 22 millones de personas y habían dejado de ser comunidades económicamente sencillas o inmóviles, la ciudad de México experimento un crecimiento de más del doble en 1980 con 8 millones más de habitantes, el **índice de urbanización** creció cerca del 80%, nada más en el sector turismo, se construyeron 350,000 habitaciones en 20 años.

El total de **carreteras asfaltadas y autopistas** paso de 35,437 a 92,572 Kms. 161%, que representa una TMAC del 4.9%. lo anterior permitió el desarrollo de las ensambladoras que lograron que los autos que transitaron en número de 483,000 en 1960 pasaran a 4.3 millones en 1980, o sea 890%, que representa una TMAC del 11.5%, los camiones de carga 8.5%, carga y pasaje 8% y las motocicletas 14.1%. En la actualidad la **industria automotriz** se considera la segunda industria de exportación del país.

El **Sistema Ferroviario Mexicano**, logro ampliar la red en 2.100 Km., o sea creció un 9%, pero **rehabilito** 9.600 Kmts. casi otro tanto de lo que había hecho en los últimos 40 años, con lo que su crecimiento fue del 98%. Lo anterior representó el soporte para "modernizar" la fuerza tractiva, ya que a partir de 1965 dejó de usarse el vapor, y se sustituyo por el diesel, el cual nada más en 15 años paso de 1.6 millones de H. P. a 3.7 millones de H.P., representando un crecimiento de 126%, que implica una TMAC del 5.8%. Sin embargo el ingreso medio por Ton-Km, disminuyo de \$0.11 en 1964 a \$0.10 en 1965, manteniéndose así hasta 1975 en que aumentaron a \$0.14., la política de subsidios indiscriminados en este servicio como en otros solo era posible por el crédito externo.

Para la **modernización del ferrocarril**, también se recibieron créditos del Eximbank a tasas "muy bajas" de interés con lo cual los EE.UU. dieron salida en principio a las empresas fabricantes de locomotoras diesel y posteriormente eléctricas, aunque compradas a crédito por México, pasaron en algunos casos algún tiempo paradas ya en territorio nacional antes de que se incorporaran a la operación, como sucedió en muchos casos... Desde el punto de vista operacional, las ton-km en estos años crecieron a una TMAC de 5.6%. Esta modernización tan acelerada en la infraestructura y equipamiento, no pudo repercutir a tarifas todos sus costos por lo que desde entonces se han multiplicado los subsidios, particularmente al comercio exterior, aunque no exclusivamente. La ineficiencia del sistema ferroviario es tan grande que los esfuerzos por modernizarlo, a pesar de los avances de la reforma administrativa de 1976-1982, se veía como lejano el día en que se terminarían las transferencias a este sistema de transporte, cuya extensión y equipamiento se ha semiparalizado desde hace mucho tiempo a pesar de representar mas del 50% del valor de los activos del sector comunicaciones y transportes en 1988.

El **transporte marítimo** en Obras Portuarias Exteriores creció entre 1960-1980, a tasas superiores a las registradas entre 1940-1960, particularmente en: escolleras al 4.9% anual y en espigones al 5.4%; en Áreas de Tierra: en patios al 10.8% y cobertizos al 21.5%. Por su parte en operaciones la carga creció al 9.7% anual y los pasajeros al 23%. En obras de atraque, en lo referente a puertos de altura, mantuvo casi el mismo ritmo de crecimiento que en el periodo precedente, por lo que respecta a los de cabotaje, redujeron la tasa media anual de crecimiento de 4.1% a 2.5%. A pesar de ello la participación de este subsector en los activos del sector comunicaciones y transportes es de muy poca consideración.

Los **astilleros mexicanos** no han podido capitalizar el mercado nacional, pues compiten con un dólar barato, sin ningún tipo de protección, con fabricantes, calidad y créditos del exterior.

El transporte aéreo en este periodo, reflejo también un crecimiento sustancial, la **red federal de aeropuertos**, creada en 1965 con 34 aeropuertos, se habían venido construyendo en los últimos 40 años para la tecnología de pistón, con el impulso a partir de 1964, llegó a 1980 con alrededor de 50 aeropuertos, capacitados para recibir equipos turborreactores. En 1964, paralelamente con el Plan Nacional Carretero y CAPUFE, se creaba la Dirección General de Aeropuertos en la extinta SOP, para realizar el Plan Nacional Aeroportuario, cuya necesidad se planteaba porque los aeropuertos existentes no eran aptos para la nueva tecnología del turborreactor, que generó la industria norteamericana con la guerra y que lanzara al mercado



mexicano a principios de la década de los 60 con la llegada de los primeros DC-8 de Aeroméxico, que en buena medida explican el nacimiento y decadencia de la paraestatal, pues casi operaron 30 años, junto con el Capitán Victoria. Si en 1959 se estatizó la empresa aérea AEROMEXICO en medio de un conflicto sindical, en 1968 se pudo mexicanizar la Compañía Mexicana de Aviación en medio de un contexto de bonanza económica; para posteriormente en 1982, en medio de la crisis financiera y de deuda que nunca había antes enfrentado la empresa CMA creada en 1924, fue estatizada. Los motivos de la empresa fueron varios, pues como paraestatal se beneficiaba de un dólar controlado y "aficorcar" su deuda, cuando se le eliminaron los subsidios de aterrizajes en aeropuertos nacionales y más tarde el de consumo de turbosina, operando en una atmósfera de desregulación de las aerolíneas, desde 1979,

Por otro lado, el sector aéreo se sobredimensionó no solo en la oferta del servicio al aumentar los asientos y toneladas-km ofrecidos, o modificar en forma poco afortunada el diseño de algunos aeropuertos turísticos como el de Loreto en la Baja California, sino también de inversiones, como pudo ser el proyecto en 1979 de **TURBORREACTORES** para la reparación de 250 turbinas anuales en Querétaro, en el boom de la demanda en la segunda mitad de los años '70, fundamentalmente con recursos de crédito, desafortunadamente la demanda de transporte cambió sus tendencias, con lo que empezó a dejar de crecer y en muchas rutas a decrecer. **TURBORREACTORES**, consolidó su curva de aprendizaje de reparar 100 turbinas 5 o 6 años después de haber arrancado el proyecto, en 1979, *EN LUGAR DE 2 O 3 AÑOS COMO PREVIA EL PROYECTO ORIGINAL.*

La **caída de los precios del petróleo y las materias primas**, la subida de las tasas de interés y la caída de las expectativas de demanda del transporte aéreo nacional, afectaron profundamente a las empresas troncales C.M.A. y AEROMEXICO, las cuales se orientaron desde siempre sobre la tecnología U.S.A. de sus anteriores accionistas norteamericanos, o sea el "gran turismo", a pesar de que en 1980, en promedio, el 80% de los vuelos de las compañías aéreas nacionales, volando a 900 kms/hora, no tienen una duración mayor de 2 horas en promedio.

Para la construcción de aeropuertos, su equipamiento y para los aviones, también se utilizaron créditos externos. La **operación superavitaria de ASA y de CAPUFE** es relativa en tanto que al transferirle las instalaciones para su operación, "llave en mano", no le transfieren a su contabilidad la deuda por lo que los estados financieros y contables no reflejan cotidianamente la realidad del costo financiero de la carretera o del aeropuerto, sino que sus resultados están más próximos a lo que podría llamarse un flujo de caja.

En todo caso, el impulso que se dio al turismo por el Estado, particularmente desde 1970, con la creación de la Secretaría de Turismo y en 1974 con la creación de FONATUR, ayudó a que las operaciones aéreas crecieran al 8% anual, los pasajeros transportados al 12.5% y la carga aérea al 9% anual. Este sorprendente crecimiento no se ha reflejado en el desarrollo de la industria aeronáutica nacional, por lo que el transporte aéreo se considera un importador neto en la actualidad. Este desarrollo recibió todo género de apoyos ya que funcionó con tarifas domésticas de alrededor de 3 centavos de dólar, consideradas "bajas" respecto a los 8 cts de dólar que se cobraba en la mayoría de los países sudamericanos, y

sin poder aumentar en la tarifa del exterior por arriba de 5 centavos de dólar por la competencia internacional. En realidad el subsidio a las tarifas domésticas no se justificaba pues la demanda siempre ha representado a la población de mayores ingresos y contaba el país en esa década con un mercado interno, con una capacidad adquisitiva sobrecalentada en más de un 50%, al disponer de un crecimiento medio anual del salario mínimo, superior al crecimiento medio del producto interno bruto, así como una baja carga fiscal. El boom petrolero de 1978-80, permitió que la demanda de AEROMEXICO llegara a arrojar factores de ocupación de cabina en sus aviones de 72% y MEXICANA DE 69%, cuando el estándar deseable internacionalmente aceptado es de 65%. de esta forma AEROMEXICO arroja utilidades parciales en su operación los años de 1978, 1979 y 1980, capitalizables en los años subsecuentes respectivos, muy a pesar de su deficiente organización, estructura de rutas, estructura financiera y de administración, sobretodo por el oneroso y ventajoso contrato colectivo de los tres sindicatos de la industria aérea.

Las **comunicaciones** crecieron en infraestructura de oficinas de correos, a una TMAC del 1.3% en promedio anual al pasar de 4,699 oficinas en 1960 a 6,044 en 1980. La red telefónica nacional paso de 1,673 a 3,621 oficinas registrando un crecimiento del 4%.

Desde el punto de vista operacional de las **comunicaciones** del país, la correspondencia creció al 0.6% anual, los mensajes del telégrafo al 3%, este comportamiento llama la atención, pues parecería que se sobredimensiona la infraestructura de correo y telégrafo, además que bien pudieron y pueden funcionar el servicio con áreas en comodato en el mismo edificio en algunas plazas y liberar un buen número de inmuebles. Por otro lado, el mayor crecimiento lo reporto el número de aparatos telefónicos, que paso de medio millón a 5 millones, con una TMAC del 11.9% solo comparable con la industria automotriz. Esta industria registra un alto grado de integración nacional a nivel de ensamble, pero es dependiente en 80% de la tecnología del exterior, a pesar de ello, tiene una balanza de pagos en divisas superavitaria, pues sus proveedores se encuentran instalados en el país y les paga en pesos; por otro lado el servicio de larga distancia lo cotiza en dólares si bien lo cobra en pesos; sin embargo, a pesar de los magníficos resultados financieros la calidad del servicio se degrado particularmente después del sismo de 1985, en muchos casos en donde las instalaciones son muy viejas y los empleados responsables de la conservación y el mantenimiento de las instalaciones no realizan su trabajo, y se dedican a reparar teléfonos de manera casi-particular. Parecería que el sismo le toco la puerta a la modernización de las **comunicaciones vía satélite** pues es justo después de 1985, en que se posicionaron los satélites Morelos I y Morelos II, con los cuales el subsector comunicaciones aumento sustancialmente su capacidad de transpondedores y con ello su capacidad de operación internacional, su participación en el producto interno, así como el rendimiento por peso invertido, a partir de ese momento (1986) el crecimiento del producto del sector comunicaciones se independiza del comportamiento relativo observado para el PIB nacional, así como del comportamiento relativo del sector transportes, adquiriendo la dinámica propia de un mercado naciente y en permanente expansión..

Por su parte la **producción agropecuaria** nacional per cápita entre 1960 y 1980 de productos como el ajonjolí, el algodón, el arroz, el café, el cocotero, el frijol, el henequen y la caña redujeron su nivel, sin embargo el garbanzo, el jitomate, el maíz y el trigo crecieron, por

lo que en promedio se redujo 3% la producción de este grupo de productos. El café y el tabaco en los '70 presentaron sin embargo un sobredimensionamiento en la oferta, mucha de ella sin especificaciones para el mercado, como el café cosechado en tierras abajo de los 500 mts sobre el nivel del mar en otoño invierno, considerado de baja calidad o el tabaco obscuro, pero que sin embargo podían ser apoyados a través de las paraestatales como BANRURAL, ANAGSA, TABAMEX y el INMECAFE.

El **ganado** mayor per cápita creció 8%, el ganado menor per cápita decreció 22%, por lo que en promedio decreció 7% la disponibilidad de carne por habitante censado. Esta situación lo explica el hecho de la poca atención al ganado ovicaprino y el cuidado de las distintas razas pero fundamentalmente al hecho de que los altos costos de los alimentos para el ganado nacional provoco una exportación en pie muy temprana, en promedio de 100 kg., para después importarlo engordado en promedio de 200 kg., pero a un precio mucho muy superior sobre todo entre 1978 y 1981. El problema más relevante, se ha señalado es que el consumo animal compite en la tierra con el consumo humano en la producción de forrajes versus los productos básicos. Aquí el fenómeno de la sobrevaluación también a afectado la producción de insumos y la importación de productos como la **leche en polvo**, ya que México es el **importador mas grande del mundo**.

La producción per cápita **pesquera** creció 50%, entre 1960-1980, junto con el desarrollo del mercado interno, de ahí que el cumplimiento de las metas de consumo doméstico se cumplieron en más del 130%, en cambio las de exportación en apenas un 41%.

El consumo nacional aparente per cápita de 14 artículos **agrícolas** creció en promedio 156%, sin embargo, los que acusan el mayor crecimiento son el cártamo 598%, la soya 11900%, el sorgo y la uva 233%, que se utilizan para aceites, para alimentación económica, forraje para ganado y vino respectivamente, reflejando un **viejo patrón alimentario** donde predomina la ingestión de : **grasa, harina, vino, y productos cárnicos**.

La productividad y la eficiencia del país en promedio, empezó a entrar en rendimientos decrecientes como ya se señalo, a partir de 1970, ya que ni la generación del empleo, ni el crecimiento de la capacidad adquisitiva de los salarios mínimos correspondían al crecimiento del producto o sea al nivel de desarrollo real del país; además los salarios mínimos pasaron entre 1976 y 1982 de US 5.37 a 5.53 dólares diarios, alcanzando en 1981 7.49 dólares, el mas alto de la historia reciente, reflejando el "boom de los precios del petróleo". Los sindicatos, negociaban la revisión de los contratos colectivos, atendiendo a los resultados favorables de las empresas paraestatales, aunque estos fuesen parciales y a la "**regla de oro**": en los avances sindicales, ni un paso atrás.

El país en estas condiciones sufrió grandes transformaciones y desajustes por la violencia con que opero el crédito externo en los resultados operacionales de las empresas y en las relaciones de producción. El sobredimensionamiento fue uno de los fenómenos más acusados en más de un sentido, así el **sector comunicaciones y transportes** paso en su participación en el producto interno nacional de 3.3% en 1960 a 3.3% en 1970 y a 7.5% en 1980.

Un aspecto fundamental en la **crisis del financiamiento de la infraestructura**, es que los ingresos públicos por Derechos, Productos y Aprovechamientos, al igual que las tarifas por el uso que la infraestructura sufrieron rezagos respecto a los costos sistemáticamente, por su parte la carga fiscal tampoco pudo mejorar su participación, incluso en 1978, ya no opero la Tasa de Utilidades Brutas Extraordinariamente (TUBE), decretada en 1976, con motivo de la devaluación, por lo que los déficit de la Tesorería se financiaron fundamentalmente con créditos, los cuales convertidos en subsidios continuaban apoyando el desarrollo del mercado de capitales, así como de algunos sectores específicos como el del **autotransporte**, en medio de un desarrollo dependiente y subdesarrollado, con un consumo con alto contenido suntuario y de importación; todo ello con el mismo ánimo de principios de los años '60 de salvar la coyuntura representada por lo incipiente del mercado interno, así como las limitaciones que ofrecía a la planta productiva nacional la sobrevaluación del peso. Por su parte, los ingresos por servicios públicos en 1987 no representaron ni el 1% del total de los Ingresos Federales.

Este ritmo se pudo sostener hasta 1982, pero a partir de 1983 con la caída de los precios del petróleo, se desplomó la inversión directa extranjera, la cual entre 1977 y 1981 había crecido sustancialmente, por su parte el déficit de los EE.UU. y las necesidades financieras del cambio tecnológico que se venían gestando a raíz de la crisis de los energéticos y de las materias primas, como la reconversión industrial y el desarrollo de los sistemas de computadoras personales que se vendían ya como un artículo más de la sociedad industrial; con una sociedad de consumo equipada desde los años '60 con las tarjetas de crédito, ello llevo el aumento en las tasas de interés nacionales al alza en poco menos de 5 veces para hacer pasar al **Costo Porcentual Promedio de Captación (CPP)** de 10% en 1970 a 46.12% en 1982, lo cual en países tan endeudados como México genera una crisis de pagos nuevamente en 1982 como en 1976.

Concluye así en 1982, un largo período de más de 20 años de "**vacas gordas**" a crédito, precios, empleos y consumo subsidiados bajas tasas de interés y se inicia otro de "**vacas flacas**" caracterizado por una crisis de liquidez internacional e intereses externos altos,

Por todo lo anterior, se debe considerar que en los últimos 20 años, se sentaron las bases de la **crisis estructural** que presenta el país en los 80, pues las desproporciones que se crearon al posibilitar a algunos sectores para crecer y capitalizarse vía el crédito público y la sobrevaluación monetaria, catalizaron efectos no deseados como puede ser el explosivo crecimiento demográfico y una urbanización con tendencias concentradoras y contaminantes, manteniendo prácticamente inalterado las proporciones de concentración de la riqueza y agravando en el 20% de la población con menores ingresos, la inequitativa distribución del ingreso que tenía el país ya desde 1950, lo cual frente a la caída de los precios de los productos primarios por sobreoferta mundial, generada a crédito, y la elevación de los tipos de interés, provocan el inicio tardío del ajuste a la economía nacional, el cual debería de haberse iniciado, como ya se ha apuntado, por lo menos desde 1972-74, en el primer embate de la crisis de liquidez y el abandono de las paridades fijas como le sucedió a Chile y Argentina, que no contaron con el "beneficio" del aumento en los créditos externos, contra garantía de las reservas petroleras.

## DE LA REFORMA DEL ESTADO A NUESTROS DÍAS.

### 1983-1988. EL NACIONALISMO REVOLUCIONARIO

La crisis que se le presenta a los países endeudados entre 1978 y 1983, esta directamente relacionada con el aumento en la tasa de interes a nivel internacional, la tasa PRIME paso de 7.59% a 10.42%, a 12.33%, a 15.33% para descender en 1982 a 11.83% en promedio anual. Por ello, y con la dinámica que iniciaron desde 1962, el endeudamiento público llego a niveles difícilmente manejables, el coeficiente de endeudamiento como proporción del PIB en el caso de México paso de 39.80% en 1981 a 65.39% en 1982, ello como resultado de la reducción de las posiciones de largo plazo para redocumentar y el aumento de las necesidades de créditos en el corto plazo, lo cual encareció sustancialmente el servicio de la deuda, por lo que la nueva administración decidió llevar adelante un **programa emergente de estabilización y cambio estructural que impacto a toda la administración pública**, así en 1983, con el antecedente de escandalos de corrupción en los años '70, como pudo ser el Watergate en los EEUU, o de enriquecimiento ilícito al amparo de la administración pública en México, fue creada la Secretaria de la Contraloría General de la Federación y se empezaron a tomar medidas difíciles pero necesarias y que por la dinámica que tomo la coyuntura de los precios del petróleo en 1986, llevaron hacia 1987 a que se formulará el primer pacto y que se tomara la decisión definitiva de privatizar al sector paraestatal no prioritario, aumentar la descentralización. ahora, la administración pública se re-tralimentaba con las lecciones de la economía de mercado, ya no nada más de las organizaciones militares y clericales..

Entre 1982 y 1987, la crisis y el ajuste determinaron que la participación de los salarios en el PIB nacional fuera del 25% y ya no del 40% como en 1981, así las cosas, la tasa media anual de decremento que registra el salario mínimo en dólares, es de -4.4%, y la tasa de crecimiento del PIB (a precios constantes) fue en promedio de apenas 0.8%, por lo que el rezago en el crecimiento del salario respecto al exiguo crecimiento del producto en este orden de ideas es del 85%, de ahí que la ventaja acumulada en el **consumo** desde 1963 por relación al crecimiento del producto se neutralizo en esos últimos 6 años.

La **política cambiaria** por su parte permitió, a través de una ligera pero permanente subvaluación que hizo pasar el dólar de \$26.23 en diciembre de 1981 a \$2,295 en diciembre de 1988, un superávit acumulado en la balanza comercial superior a los 45.000 millones de dólares y en la cuenta corriente de más de 9000, este ajuste, sin embargo afecto más el consumo del gobierno que la economía real, por lo que permitio recuperar el ritmo de crecimiento para 1988..

Desde el punto de vista de la relación **salarios/precios**, el rezago entre 1982 y 1988 es de 67%, ya que los salarios mínimos crecieron (a precios corrientes) 27 veces y el índice nacional de precios al consumidor lo hizo 83 veces, pese a este ajuste el déficit de Tesorería de la Federación mantuvo aún muchos subsidios indiscriminados al consumo. La contracción del consumo cuando se esta tan fuertemente endeudado genera un **mecanismo perverso**, ya que el rezago en el consumo incrementa eventualmente el stock para la obligada exportación, reduciendo la cuota de consumo de la producción local, estimula a los exportadores para la obtención de divisas, para a su vez importar los insumos

de una industria nacional dependiente en partes y refacciones, así como para pagar una deuda que en sí, considerando los proyectos a los que se destino y los subsidios que se generaron al no cobrar a los usuarios los costos, vía precios y tarifas elásticas, provoco que estos proyectos no generaran su propio reembolso, de conformidad con la Ley de Deuda 1974, por lo que se considero como inevitable el ajuste al consumo en la llamada "década pérdida".

En estas circunstancias, afloraron todos los males, inercias e ineficiencias del modelo económico estatista, por lo que se planteo la "**reforma del Estado**" vía un programa emergente de estabilización y cambio estructural., profundizando y continuando la **reforma administrativa**.

Se actúa en consecuencia, para compensar la caída de los ingresos petroleros, va a actualizar los derechos, productos y aprovechamientos federales, así como los precios y tarifas de las empresas del sector paraestatal, ello se presento como un mero paliativo para la contención del **crecimiento de la deuda** que llego a su máximo histórico entre 1986-1987, este último año es en el que se establece el primer pacto y el acuerdo histórico de proceder a la desincorporación de más de 1000 empresas paraestatales, entre las que fue pionera AEROMEXICO en abril de 1988.

Para compensar la falta de divisas, la administración de la Madrid, va a estimular la planta nacional y la exportación con una **paridad más realista** y quizás ligeramente subvaluada, reduciendo y devolviendo impuestos a la exportación y controlando los salarios.

Para compensar el incremento en el servicio de la deuda, reduce el gasto corriente y el de inversión e inicia el proceso de desincorporación de empresas paraestatales con números rojos y negros, a fin de reducir gastos de personal en la contraparte del sector central; en todo caso **cambia el modelo económico** que había seguido desde 1946 hasta 1982 en que se llego al clímax con la estatización de la banca nacional.

Sin duda, el aumento de la inflación de 100 a 160%, y la caída del producto sentaron las bases para que se presentara el punto crucial de la **coyuntura política** que conforma el aumento de convocatoria del Partido Acción Nacional (PAN) en la década de los '80, así como la separación en 1985 del Partido Revolucionario Institucional (PRI) de la llamada Corriente Democrática del Partido Revolucionario Institucional y la consolidación en las elecciones de 1988 del llamado Frente Cardenista de Reconstrucción Nacional que temporalmente albergara a varios ex-priistas que habían tenido destacadas posiciones desde el Plan de Acción Inmediata de 1962, para formar junto con la retaguardia del Movimiento de Liberación Nacional de los años '60 y los partidos llamados de izquierda como los ex del Partido Comunista, constituyéndose en el Partido de la Revolución Democrática. (PRD)

Efectivamente en el **problema de la deuda** todavía no esta dada la última palabra, pues el nivel actual de ella, no es nada más resultado de la errónea "planeación", y de un paradigma genuinamente mesoamericano, con su autoritarismo y corrupción lateral, sino también obedece a una estrategia de despliegue de la economía norteamericana, a través de la exportación del capital financiero, y la subvaluación del dólar desde 1973, cuyos beneficios

son entre otros: penetración en la economía centralmente planificada y el derrumbe de la URSS, redespiegue del capital tecnológico en la zona de América Latina, ampliación del capital comercial, control de los precios de las principales materias primas y de los correspondientes mercados con los consecuentes beneficios en los costos en su planta industrial, ligada a la ensambladora primero después a la maquiladora, por el sobredimensionamiento de la oferta del petróleo de México a crédito, generando beneficios en los EE.UU. la correspondiente caída de precios por la sobreoferta del mercado, sin participar en el costo del capital de riesgo propiamente hablando, beneficio dado por la legislación mexicana. Estos elementos se encuentran aún en la actualidad en el tapete de la discusión.

Sin embargo, el **déficit fiscal de los EE.UU.** es de 250 mil millones de dólares en 1988, o sea, es igual a la suma de las deudas generadas en los últimos 28 años de México y Brasil; por lo anterior, se considera difícil que puedan bajar las tasas externas de los intereses. Estados Unidos es uno de los países con el mayor déficit presupuestal del mundo, lo ha podido hacer a través del control del mercado de capitales, sin embargo a partir de 1989 su predominio en este sentido termina al disminuir la tasa LIBOR por abajo de la tasa prime, encareciéndose esta última, reflejando el empuje financiero en las utilidades de una nueva vanguardia tecnológica y de procesos de producción de la Cuenca del Pacífico.

Entre 1980 y 1988 la **inversión pública federal** se ha venido cayendo ya que de 12.5% del PIB que representó en 1980, para 1986 representa sólo 4.2%, el crecimiento de la obra es muy por abajo en términos generales que el 2.4% de la población, por lo que la industria de cemento se va a reorientar desde entonces hacia la exportación, pues los grupos exportadores, a partir de los años '80, sustituirán a los constructores en el manejo de los grandes negocios. Ello explica en buena parte el comportamiento del sector en estos años

De esta suerte, las **carreteras asfaltadas y autopistas** han crecido en igual periodo al 2.5% anual en promedio al pasar de cerca de 67 mil kms en 1960 a más de 81 mil kms en 1988. Por su parte la longitud total de **vía de ferrocarril** lo hizo apenas al 0.4% anual, La baratura de las tarifas del ferrocarril no pudieron compensar la competencia de los otros modos de transporte, por lo que los pas-km. crecieron a tan solo el 0.7% en promedio anual y las ton-km movidas por el ferrocarril, no solo no crecieron sino que incluso resultaron ligeramente inferiores

En **obras portuarias exteriores** su impulso obedece a la expectativa de desarrollo hacia la cuenca del Pacífico, de esta forma la coordinación de puertos industriales permitió que la infraestructura marítima creciera en el siguiente orden de ideas: rompeolas 9.6%, escolleras 0.1%, espigones 6.7%, obras de atraque de altura 6.2%, de cabotaje 0%, patios 4.3%, cobertizos 0.7% y bodegas 1.6%; se incremento a 17 el número de puertos con cuatro "Puertos Industriales": Altamira, Lázaro Cárdenas, Dos Bocas y Ostión, los cuales se han considerado en algún momento "inversiones pasivas" y en algunos casos, cuando la gran derrama de dinero no se ha reflejado en mayor número de operaciones, se han considerado obras altamente inflacionarias pudiendo caracterizar cierto sobredimensionamiento en base a la excesiva oferta de créditos externos.

En términos operativos, alrededor del 88% de las 12.6 millones de **toneladas de carga** marítima fueron manejadas en 1988, predominantemente por 5 de las 10 empresas de servicios portuarios de la cuenca del pacífico en el siguiente orden: 1) Itsmo de Tehuantepec 26%, 2) Altamira 24%, 3) Lázaro Cárdenas 13% , 4) Manzanillo 13% y 5) Guaymas 12%. Desde el punto de vista de los **contenedores** sería el 95% de las operaciones : 1) Altamira 40%, (arrancó en 1986) 2) Lázaro Cárdenas 20%, 3) Itsmo de Tehuantepec 15%, 4) Manzanillo 13% y 5) Guaymas 8%.

Este movimiento por supuesto es uno de los movimientos de servicios de operaciones portuarias más grandes del siglo, sin embargo, ello no se refleja en los ingresos fiscales de exportación por la reducción de los aranceles y la exención del IVA en las exportaciones., desde el punto de vista de su participación en el volumen de carga nacional es poco significativa.

La caída de los **ingresos fiscales** derivados de la exportación a partir de 1982 es muy fuerte pues de representar el 14.2% en 1982, para 1983 es de tan solo el 3.7% llegando a solo 0.02% en 1988, año en que como contrapartida el 59.0% del total de los ingresos del Gobierno Federal provenían de **préstamos y financiamientos**, lo cual permitió apoyar el llamado "aficorcamiento de la deuda privada" para ayudar a la industria nacional a paliar la crisis,

El **transporte aéreo** logro reducir parcialmente el rezago tarifario nacional y frenado el crecimiento "postmoderno, sobredimensionado e ineficiente, por lo que a partir de la privatización de AEROMEXICO el déficit del subsector aéreo que mantenía la TESOFED disminuyo sustancialmente, por lo que su operación le dejo de costar al contribuyente, solo a los usuarios, permitiendo el desarrollo de la aviación conocida como regional y alimentadora.

Por lo que respecta a **Aeropuertos y Servicios Auxiliares**, el 80% de la operaciones se realizan en el 50% de la red, el 82% de los pasajeros utilizan el 22% de la red y solo el 26% de los aeropuertos son superavitarios operativamente si bien como hemos señalada no en términos devengados al no tener el cargo de la deuda el operador, sino el constructor. Aun así los superavitarios operativamente financian al resto de la red.

Los **aeropuertos nacionales** acusaron en los ochenta una estabilización en sus pasajeros atendidos, recuperándose hasta 1991; aquellas plazas que lograron crecer fueron fundamentalmente las que reflejaban preferentemente intensas relaciones con el exterior: como pueden ser: el de Tijuana (fronterizo), el de Guadalajara y Monterrey (metropolitanos) el de Zacatecas (braceros), el corredor San Luis Potosi-Aguascalientes (automotriz de exportación) Minatitlán (zona petrolera) algunos aeropuertos turísticos de la zona de playa del pacífico, pero sobre todo del Caribe como Can Cún, hecho prácticamente "por y para", donde el 85% de los usuarios provienen de los EE.UU.

En el subsector de comunicaciones, las **oficinas de correos** crecieron a una tasa media anual del 0.06%, por su parte, la **red telegráfica** nacional viene decreciendo al 3.9% como las piezas de correspondencia de SEPOMEX, por estar en proceso de desmantelación al sustituir el servicio tradicional alambico con inalámbrico y servicios computarizados vía satélite desde 1986. Por su parte, los **teléfonos** llegaron a ser 8.8 millones de aparatos, casi



uno por cada mil habitantes: sin embargo, también ha resentido el servicio telefónico una desaceleración en su crecimiento medio, el cual paso de 11.9% entre 1960 y 1980 a 7.1% en los últimos ocho años, que sin embargo es aún muy alto contra el 0.8% de crecimiento medio anual del PIB, ya desde 1986 el subsector comunicaciones manifestaba un crecimiento mucho más dinámico que el del país y que el del sector, con una tasa superior al 9%.

Por ello, el **sector comunicaciones** en términos generales resintió menos la caída del crecimiento del producto que el subsector transportes, excepción hecha del transporte marítimo, si los comparamos en 1986, el PIB nacional cayo 3.75%, el de transporte cayo 5.04% y el de comunicaciones crecio 9.5%. En conjunto el sector comunicaciones y transportes bajo su participación en la conformación del producto interno bruto, al pasar de 7.5% en 1980 a 6.3% en 1988

### **Balance del sexenio 1982-1988**

El sexenio de la administración de Miguel de la Madrid, dejo la economía en proceso de recuperación y a una tasa de crecimiento promedio en los últimos dos años del 1.5%, una tasa de inflación que se había reducido de 160% en 1987, la mayor de todo el siglo, a 51.7% en 1988, la participación de los salarios en el PIB se había ajustado de 38.9% entre 1978-81, a 25% entre 1982-1985, el salario mínimo en dólares constantes de 1981, había pasado de 7.49 a 2.45 dólares, un nivel próximo al alcanzado en 1977. El coeficiente de endeudamiento en dólares constantes como proporción del PIB era de 75.58%, mayor que el 65.39% alcanzado en 1982, sin embargo había iniciado ya su descenso frente al 90.51% alcanzado en la cima de 1986, la carga fiscal disminuía de 14.4% en promedio, al 14%. Los ingresos federales provenientes de créditos en 1988 representaron cerca del 59% y el gasto de la deuda federal represento casi el 63% en promedio entre 1983-1988. Ha sido uno de las mejores administraciones de la segunda mitad del siglo XX al arrojar un superávit significativo en sus cuentas con el exterior. Sin embargo la inflación y la tasa de interés aún eran muy altas, la contracción de la economía era contrastante con el ritmo de crecimiento de la población, por lo que siguiente administración tendrá que profundizar el esfuerzo del ajuste: por su parte la situación política se consideraba delicada, pues se sumaban al ajuste en el consumo y el desempleo creciente los estragos del sismo que aún estaban presentes en la Ciudad de México.

### **Sector comunicaciones y transportes (resumen)**

Durante el periodo 1983-1987 el PIB nacional creció apenas 3.75%, el transporte lo hizo en 5.10% y las comunicaciones 21.24%. Los sectores que mostraron mayor dinamismo en los transportes fueron el aéreo, (64%), el marítimo (185) y los conexos de transporte (23%). Por su parte en las comunicaciones los sectores más dinámicos fueron los teléfonos (21%) y otros servicios (40%). Los correos y los telégrafos decrecieron 7 y 9% respectivamente.

### **La estructura del PIB en 1988 es la siguiente:**

Transportes: 80% carretero, conexos 9.3%, marítimo 4.2%, aéreo 3.3% y ferroviario 3.3%.  
Comunicaciones: Teléfonos 90.5%, otros servicios 7.0, correos 1.7 y telégrafos 0.8%

El total nacional de **pasajeros** en 1988, es de 1.794 millones, creció 25%, fundamentalmente por el crecimiento del sector carretero que creció 27%, pues el transporte ferroviario y aéreo decrecieron 28 y 18% , que significan una caída de 7 y 4 millones respectivamente .Los pasajeros son atendidos en un 98% por el sector carretero, mientras que el ferroviario y el aéreo el 1% cada uno.

El volumen de **carga nacional** en 1988, es estimado en 369 mil millones de toneladas, (mmt) atendido en 300 mmt por el sector carretero ((81.3%), ferroviario 56 mmt (15.2%) , marítimo 12.5 mmt (3.4%) y aéreo 37.9 mmt (0.1%).

La tendencia mostrada por los ferrocarriles tanto en carga como en pasajeros, muestra que hay un virtual desplazamiento de este medio de transporte en favor del automotor, pues mientras que el ferrocarril paso de 25.5 miles de kmts en 1980, a 26.4 miles de kilómetros de vía en 1988, por lo que con 3.5% de crecimiento se considera que prácticamente no ha aumentado su extensión ; en cambio las carreteras y autopistas pasaron en igual período de 66.9 miles de kmts a 81.4 miles de km2. Problemas de distinto orden como flexibilidad, eficiencia y confiabilidad contribuyen a estos resultados.

La **fuerza laboral** en las empresas del sector paso de 165 mil a 179 mil empleados, representando un incremento de 14 mil empleos que se debió fundamentalmente al Sector Comunicaciones que creció cerca de 17 mil empleados, el Aéreo 3.3 mil, el Marítimo 0.9 mil el Carretero 0.2 mil pues el Ferrocarrilero disminuyo en 7.6 mil empleados.

Las empresas del Sector arrojaron en 1988 a precios constantes de 1980 obtuvieron un **resultado de operación** (excluyendo gastos financieros y subsidios) de 4,528 MP de los cuales 10,181 MP corresponde al subsector comunicaciones, 1830 MP al carretero y al aéreo 1,613 MP, en cambio el Sector Ferroviario y el Marítimo arrojan pérdidas de 8,883 MP y 213 MP respectivamente.

Sin embargo los **resultados de operación antes de subsidios**, que ya incluyen los gastos y/o productos financieros, muestran que las empresas del sector tuvieron resultados marcadamente negativos hasta 1987, mientras que para 1988 hubo un superávit real a precios de 1980 de 10,631 MP, superior al resultado de operación del sector (4528 MP) en 6103 MP, variación que se explica en mayor medida por el sector comunicaciones que tuvo un incremento de sus productos financieros de 5,244 MP, el aéreo de 1685 MP y el marítimo de 84 MP, ya que el ferroviario y el carretero arrojan incremento en su déficit por gastos financieros de 718 y 193 MP respectivamente,

En Términos del **total de subsidios de operación y transferencias** para inversión o patrimonio entre 1983-1988 a precios de 1980 se transfirieron en total al sector comunicaciones y transportes 138,762 MP de los cuales para subsidios de operación fueron el 26.2% y 73.8% para transferencia de inversión o patrimonio. Por sector para el Sector Ferroviario correspondió el 71.6%%, para el Aéreo, el 17.2% para Comunicaciones 8.4%, para el Carretero 0.4% y para el Marítimo, 0.4%.. El total de transferencias y subsidios al sector disminuyó 54%, en 1988 (en términos reales) por relación a 1983, lo que reflejo el esfuerzo de saneamiento financiero hasta 1987 y que junto con la influencia de la paridad explican los resultados en 1988..

En relación al **activo total de las empresas** que estamos tratando, tuvo un comportamiento semejante al del activo fijo que representa el 84% del total del activo, en estos años creció casi un 70%, al pasar de 10.399 a 17.654.5 millones de dólares, lo cual refleja el crecimiento del sector comunicaciones a partir de 1987 pero fundamentalmente en 1988 en que casi se duplica, el valor de su activo.

Entre 1983-1988 la participación de las empresas del sector en el activo se comporto de la siguiente manera:

	1983	1988
<b>Valor del activo total en Dólares</b>	10.399	17645.5
	100.0%	100.0%
Subsector ferroviario	55.0	44.5
Subsector Comunicaciones	20.0	34.7
Subsector aéreo	13.0	13.5
Subsector carretero	2.0	5.7
Subsector marítimo	1.0	1.6

Este comportamiento refleja la impresionante dinámica del sector comunicaciones, que casi duplico su participación al pasar de 20 al 35% del activo total, explicando el 42% del crecimiento total del sector comunicaciones y transportes.

### 1988-1994 EL LIBERALISMO SOCIAL

Podemos decir que el **Plan Nacional de Desarrollo** de este sexenio era la expresión más acabada del Sistema de Planeación Democrática iniciado en 1983, en realidad el esfuerzo por transformar el modelo de desarrollo a partir de la crisis, se había reforzado a partir de 1987, los ecos del desarrollo estabilizador tocaban las puertas en ese año en que se había llegado a la tasa de inflación más alta, la mayor tasa de interés, el crack histórico de la Bolsa de Valores de México, el mayor nivel de endeudamiento del país, determinaban la marcha acelerada de la privatización y el abandono del modelo de financiamiento del desarrollo surgido en 1962 y mantenido hasta 1987, en base al endeudamiento público, mismo que se acabo de muerte natural y se enterro con la tesis del **Estado Propietario versus el Estado Solidario**. El discurso de la modernidad permitio trasénder las contradicciones entre el discurso político y el aparato administrativo, reforma política y reforma administrativa pues ya a finales del nacionalismo revolucionario en 1988, las contradicciones eran evidentes encontrandose en un verdadero laberinto.

A partir de entonces la redocumentación de los pagos al exterior, corrio junto a una mayor estabilidad cambiaria y un acento en la reducción de la tasa de inflación para favorecer la reducción de las tasas de interés que habían sido negativas para el ahorrador desde 1973, favoreciendo así no solo la **repatriación de capitales mexicanos**, sino también atraer

**inversión directa extranjera** que impulsará el crecimiento y el empleo frente al fenómeno de estancamiento con inflación y desempleo que se vivía.

Para ello se propugno desde el inicio de modificar la legislación en distintas materias como la agraria, pesquera, minera, de la banca nacionalizada, de las empresas paraestatales, de inversiones extranjeras, etcétera, para favorecer dicho proceso, superar muchos desequilibrios, obstáculos estructurales y cuellos de botella en el financiamiento por parte del Estado, deseo que fue satisfecho hasta 1991, con el relevo de la legislatura, pues la anterior aún mantenía el síndrome estatista y accedió al Congreso en medio de una sucesión muy reñida, quizás la más reñida desde hacia mucho tiempo. La caída del Muro de Berlín y el derrumbe de la Unión Soviética fueron dos elementos externos que definieron la coyuntura internacional y facilitaron dichos cambios fundamentales para el modelo mexicano.

El crédito de los US 3.500 millones del gobierno de los EE.UU. para apoyar la sucesión presidencial de 1988, se otorgo al igual que muchos que le precedieron desde 1974, contra la garantía del petróleo y fue destinado, entre otras cosas para cubrir el rezago por precios y tarifas y para ayudar a la estabilidad al tipo de cambio, , así como garantía para obtener otros créditos y apoyar la redocumentación de algunos vencimientos próximos o negociar mejores tasas en el mercado libor, pues ~~la~~ <sup>la</sup> ~~prime~~ <sup>prime</sup> empezaba su encarecimiento histórico justo en 1989, por lo tanto, fue destinado en alta proporción para apoyar el consumo en la transición política, en ese caso deberá considerársele como "**deuda lastre**", del mismo tipo de las deudas contraídas a principios del siglo XIX con los ingleses, contra garantía de los yacimientos mineros o de los ingresos de las aduanas en la segunda mitad del siglo XIX, o bien, como los créditos de ayuda en el "Tratado de Bucareli" para la **transición del poder** del Presidente Alvaro Obregón a la del General Plutarco Elías Calles

En realidad el modelo que ofreció al país esta administración tenía componentes muy atractivos , inteligentes y realistas para la globalización, sin embargo anclo su desarrollo a una banda de flotación de la moneda que resulto muy insuficiente y genero a lo largo del sexenio una sobrevaluación del peso que posibilito un muy desfavorable resultado de las cuentas con el exterior ya que permitiendo un déficit en la cuenta comercial acumulado del sexenio a septiembre de 1994, cercano a los 54 mil millones de dólares y un déficit en cuenta corriente a diciembre superior a los 105 mil millones de dólares, resultado muy contrastante con la administración anterior que había obtenido un saldo comercial positivo superior a los 45 mil millones de dólares y en la cuenta corriente igualmente positivo superior a los 9 mil millones de dólares. De ahí que la crisis que le toca sortear a la administración del Presidente Ernesto Zedillo tenga enfrente una economía real más afectada que la que le toco al Presidente Salinas, pues el ajuste del Presidente Miguel de la Madrid lo dirigió en mayor medida hacia el Gobierno Federal que a la economía real, de ahí la gran dificultad para recuperar el crecimiento en 1995, como lo pudo hacer la economía en 1984 y 1985 después de la crisis de 1982-1983. el resultado de las cuentas con el exterior fundamenta esta apreciación.

JESUS ALBERTO OLIVER RODRIGUEZ

### 2.1.2. *Especies de interés comercial.*

Puesto que el incendio de 1989 dañó seriamente la vegetación de la zona, hoy no es posible la explotación de madera, sin embargo se utilizan diversas especies para la construcción de los techos de las palapas, la vivienda típica de la región y con una alta demanda.

### 3.2.1.3. *Vegetación endémica y/o en peligro de extinción*

En la zona no se presentan especies endémicas ni en peligro de extinción, esto puede deberse al fuerte impacto producido por el fuego.

### 3.2.2. *Fauna*

Cancún se encuentra en los límites de las provincias herpetofaunísticas del Petén y Yucatán, por lo cual se encuentran organismos de ambas regiones, tal es el caso de los tlaconetes *Oedipina elongata* y *Bolitoglossa yucatanana*, así como las lagartijas *Sceloporus cozumelae* y *Cremidophorus cozumelae* y las culebras *Symphimus mayae* y *Sibon fisheri*. El Petén es una zona de bajo endemismo y la provincia yucateca de mediano, es decir que en ambas el número de especies exclusivas puede llegar a ser mayor que 7. En el Petén las especies compartidas van de 200 a 399 y en Yucatán de 400 a 499.

La zona de interés fue seriamente impactada por el huracán Gilberto (1988) y los incendios del siguiente año, por lo cual la fauna local fue seriamente afectado.

#### 3.2.2.1. *Fauna característica de la zona.*

##### *Avifauna*

*Zenaida* sp. (paloma), *Colinus nigrogularis* (codorniz), *Cathartes aura* (zopilote), *Tyrannus melancolicus* (x'takay), *Buteogallus* sp. (gavilán), *Oriolus* sp. (chachalaca).

La zona ha funcionado como refugio de aves como *Mimus gilvus* (zenzontle) y *Othophanes yucatanicus* (tapacaminos), cuya alimentación es a base de semillas, frutos e insectos.

Avifaunísticamente la región cuenta con una riqueza específica elevada (352 a 409) y un endemismo bajo (1%). No se reportan aves en peligro de extinción.

### *Mastofauna*

El área de interés se encuentra en la provincia mastofaunística yucateca donde se encuentra una gran riqueza representada por nueve órdenes, 26 familias, 74 géneros y 104 especies. Se encuentran 49 especies de murciélagos, 11 de ratas y ratones, 2 zorrillos y 7 tlacuaches. Es una región de alto endemismo, ya que presenta 9 familias, un género y 39 especies. Si bien el impacto humano había sido importante, el huracán Gilberto y el incendio del año siguiente afectaron aún más el hábitat.

Los mamíferos que encontramos en la zona son: *Didelphis sp.* (tlacoaches), *Sigmodon sp.* (ratones), *Urocylo cinereoargenteus* (zorra), *Dasipus novemcinctus* (armadillo), *Felis pardalis* (ocelote), *Procyon lotor* (mapache), *Nasua narica* (tejón) y *Mephitis sp.* (zorrillo).

### *Herpetofauna*

En la zona de interés se encuentran pocos reptiles, encontramos principalmente *Ctenosaura similis* (iguana), *Sceloporus sp.* (lagartija), *Anolis sp.* (dragoncitos), *Basiliscus vittatus* (tolok), en menor grado *Bothrops asper* (nauyaca sorda) y *Crotalus durissus* (tzab-can).

El estado de Quintana Roo se encuentra en la zona 1, la más relevante en cuanto a importancia de mamíferos terrestres raros, amenazados y en peligro de extinción. Esta zona comprende del paralelo 15 al 21 latitud Norte y del 100 al 87 longitud Oeste. Abarca la totalidad de los estados de Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Oaxaca, Chiapas y parte de Guerrero, Puebla y Veracruz. En esta zona se encuentran 64% de las especies en peligro de extinción (18 de 28), 49% de las especies amenazadas (20 de 41) y el 42% de especies raras (38 de 92).

Algunas de las especies raras son: *Vampirum spectrum* y *Marmosa canescens*. Entre las especies amenazadas contamos a *Felis concolor*, *Agouti paca* y *Mazama americana* entre otras.

Algunas de las especies reportadas en peligro de extinción son: *Alouata palliata*, *Alouata pigra*, *Felis pardalis* y *Tapirus bairdii*.

#### 3.2.2.2. *Especies de valor comercial.*

Las aves canoras y de ornato han sido tradicionalmente aprovechadas por los pobladores de la zona, en cuanto a mamíferos éstos se encuentran tan disminuidos que están permanentemente protegidos.

En la costa se explotan de manera clandestina los nidos y la carne de las tortugas marinas, es el caso de *Dermochelis olivacea* (siete filos), *Chelonia mydas* (tortuga blanca), *Eremochelis imbricata* (carey) y *Crocodylus acutus* (lagarto). Es importante mencionar que éstas especies se encuentran en veda permanente.

#### 3.2.2.3. *Especies de interés cinegético.*

Debido al alto grado de deterioro en que se encuentra la zona norte de Quintana Roo, se ha declarado una veda permanente en cuanto al aprovechamiento faunístico. Entre estas especies se encuentran el venado, faisán y hasta el jaguar. Sin embargo, existen especies con un alto potencial que han sido utilizadas con estos fines en el área.

#### 3.2.2.4. *Especies amenazadas o en peligro de extinción.*

No hay una valoración exacta de las especies en peligro de extinción, sin embargo es claro que han sido desplazadas del área por destrucción de hábitat siendo esta destrucción de origen natural, pero incrementada por actividades humanas como son el crecimiento urbano y las áreas de servicio y abastecimiento.

### **3.3. ECOSISTEMA Y PAISAJE.**

#### **3.3.1. Se modificará la dinámica de algún cuerpo de agua?**

No, siempre y cuando respeten el nivel del manto acuífero, sin explotar mas allá de éste, ya que si la explotación llega al domo salino, existe la posibilidad de contaminar el agua dulce.

#### **3.3.2. Se modificará la dinámica natural de las comunidades?**

No, puesto que en sí, la zona y zonas aledañas se encuentra fuertemente perturbada desde hace algunos años por procesos naturales que tuvieron lugar como el huracán Gilberto u posteriormente un gran incendio, por lo que en este contexto el impacto de la explotación ya no es tan significativo.

#### **3.3.3. Se crearán barreras físicas que limíten a la flora y a la fauna?**

En la zona se encuentra una vegetación secundaria y asociaciones de plantas colonizadoras. La zona de extracción impedirá que se cierre el tapete vegetal modificando las condiciones de humedad y temperatura que se requieren para recuperar el tapete original, por consiguiente la fauna y flora local será difícilmente recuperada.

#### **3.3.4. Se contempla la introducción de especies exóticas?**

No.

#### **3.3.5. Es una zona con cualidades excepcionales?**

No.

#### **3.3.6. Es una zona de atractivo turístico?**

Es importante mencionar que la mina se encuentra aproximadamente a 10 Km. de distancia de Cancún, mismo que es uno de los centros turísticos mas importantes de la República Mexicana.



La población económicamente activa se dedica en su mayoría a los sectores secundarios y terciarios. El 21% se dedica al turismo y al comercio, el 18% a servicios comunales, el 7.5% a la construcción, el 7% a transporte y comunicación y el 6.4% a la industria manufacturera.

El ritmo de intensidad en el flujo migratorio hacia Cancún se ha mantenido constante desde el período de construcción masiva hasta la puesta en marcha de los servicios turísticos, por lo cual la composición étnica original fue alterada.

### 3.4.2. *Servicios.*

Los medios de comunicación del área son eficientes sobre todo para Cancún. Por vía terrestre tenemos la carretera de conexión al SE, Mérida-Puerto Juárez y Mérida-Cancún. Se cuenta con un aeropuerto internacional que conecta Cancún con el país, Norteamérica, Centroamérica, Sudamérica y Europa.

Los medios de transporte son variados y eficientes, se cuenta con taxis y autobuses que cubren las rutas dentro y fuera del estado, así mismo se cuenta con una infraestructura portuaria que forma parte de las conexiones del país con el Caribe.

Los servicios públicos son completos, se cuenta con una red de agua potable, energía eléctrica, teléfonos, telex, sistema de recolección de basura y drenajes.

En lo que concierne a los servicios médicos se cuenta con un hospital general de zona (IMSS), una clínica del ISSSTE, un hospital general (SSA) y clínicas y consultorios privados.

La mayoría de las viviendas del área conurbada es de tipo fraccionamiento y en los alrededores se encuentran viviendas de material perecedero como cartón, palma y lámina.

Cerca del área de interés las viviendas son de palma, cartón y bloque.

### **3.4.3. Actividades.**

Las posibilidades agrícolas en las proximidades del área de interés son mínimas, el maíz es la actividad preponderante y se completa con frijol y una fruticultura incipiente.

La ganadería concentra el 30% de la superficie del estado, corresponde a una actividad ejidal y de mediana empresa, por lo cual se desarrolla de manera extensiva.

La actividad que está cobrando fuerza últimamente en la zona es la de explotación de minas y canteras para satisfacer la demanda de construcción de Ciudad Cancún y de la zona hotelera de la franja costera.

La actividad principal en Cancún es la hotelera, el turismo y actividades conexas como son servicios y comercio. La pesca en Puerto Juárez es una actividad creciente y está relacionada con el crecimiento de la zona.

### **3.4.4. Tipo de economía.**

La economía predominante en la zona es básicamente de mercado, debido a la confluencia de la mano de obra vinculada a la industria de la construcción. La economía de autoconsumo ha sido desplazada y subordinada al mercado, por los cuales la mano de obra es de extracción campesina emigrante.

### **3.4.5. Cambios sociales y económicos.**

En relación a la obra proyectada, los cambios sociales y económicos no serán significativos puesto que la cantidad de mano de obra requerida es mínima. Por lo tanto en los aspectos demográficos, el crecimiento poblacional seguirá orientado hacia la zona turística de Cancún.

No habrá aislamiento de núcleos poblacionales, puesto que no existen cerca de la obra. Estos se localizan al poniente de Leona Vicario como centros ejidales.

La obra no modificará ningún patrón cultural de la zona, sin embargo la vía directa para los cambios culturales se da en medida de la interacción con la zona turística.

Por lo tanto al no presentarse un crecimiento poblacional en el área del proyecto no conducirá a la demanda de servicios de comunicación, transporte, vivienda, servicios públicos ni de recreo.

## 5 REGENERACION DE SELVAS

Una de las grandes interrogantes que se tiene en la actualidad en relación a las selvas, es la posibilidad de su regeneración. Ante éste problema se hace imprescindible la necesidad de conocer con cierta precisión la capacidad de regeneración de los ecosistemas primarios que aún existen, con su biota correspondiente.

Para comprender la regeneración de selvas, es necesario estudiarla, sin tomar en cuenta la intervención humana, con el objeto de buscar mecanismos naturales que operan y han evolucionado a través de millones de años.

Para poder conocer los procesos de regeneración de los ecosistemas tropicales, se pueden seguir varios métodos: el primero consiste en estudiar a través del tiempo lo que sucede en un área determinada después que ésta ha sido perturbada. Este método, tiene serias limitaciones ya que requiere un lapso de tiempo demasiado grande para obtener resultados sobre el proceso general de regeneración.

Otro método consiste en estudiar en una misma zona ecológica diversos estados sucesionales de edad conocida (Kenoyer, 1929). Este método también tiene serias limitaciones, ya que es prácticamente imposible encontrar informadores locales que puedan dar datos fidedignos de estados sucesionales secundarios mayores de 30 años.

Otra manera de abordar el problema de la regeneración, es el de buscar información biológica para poder interpretar, en relación al tiempo, los posibles mecanismos de los procesos de regeneración (Bawa, 1973; Moreno Casasola, 1973; Vázquez-Yanes, 1974 a y b), trabajos de Del Almo y Gómez Pompa y el de Anaya Rovalo.

La problemática de la regeneración de los ecosistemas tropicales llega al punto en que existen corrientes totalmente opuestas, en el sentido de que la regeneración es totalmente aleatoria y no predecible; en cambio existe otra corriente que supone que sí puede ser predecida y no es aleatoria.

Webb, et al. (1972) en Australia, después de un estudio realizado de un bosque subhúmedo tropical, encontró que en los estados pioneros, la sucesión no tiene dirección y que los patrones de distribución de las especies en el bosque podrían estar determinados por discontinuidades ambientales, pero esto puede deberse a factores al azar.

El estudio sobre plántulas de la selva ha sido considerado como uno de los más importantes para entender la regeneración de los ecosistemas tropicales.

Es importante señalar que los estudios sobre regeneración de ecosistemas aportan información relevante en relación con la conservación de especies en peligro de extinción, y por lo tanto se debe poner especial interés en el levantamiento de inventarios de la biota.

Algunos de los puntos más importantes que se relacionan con la regeneración de los ecosistemas tropicales y que pueden servir como punto de partida para la planeación de investigaciones son:

- 1 Los estudios en suelos tropicales deben considerarse para el entendimiento de la planeación de los estudios sucesionales, por la relación que existe entre la dinámica de la sucesión y los cambios que se suceden después de la perturbación, especialmente aquellos relacionados con al pérdida y reciclado de nutrientes.
- 2 El estudio de la sucesión en su conjunto debe ser abordado mediante el estudio de sus partes.
- 3 Es importante llevar a cabo investigaciones sobre el manejo de la tierra, para encontrar sistemas de manejo que puedan utilizarse para regenerar ecosistemas muy perturbados.
- 4 Hay que conocer con precisión la capacidad de carga de los ecosistemas.
- 5 El conocimiento de los factores ambientales en el proceso regenerativo, es de importancia significativa ya que nos permitirá tener un conocimiento integral del ecosistema y por ende un panorama más amplio para la regeneración del ecosistema.

## VINCULACION CON LAS NORMAS Y REGULACIONES SOBRE USO DEL SUELO

Se realizó un contrato de asociación para el aprovechamiento de recursos no renovables existentes en terrenos ejidales con fecha del 23 de junio de 1987, que, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 144 y 145 de la Ley Federal de la Reforma Agraria celebran por una parte el Ejido de Alfredo V. Bonfil del municipio Benito Juárez del estado de Quintana Roo, representado por sus autoridades ejidales y por la otra el C. Antonio Spat Filigrana, al tenor.

El 25 de septiembre de 1989, fueron publicados por SEDESOL en el Diario Oficial, 2 Decretos, uno de ellos declara que en los ecosistemas selva, sabana o manglar localizados en la superficie delimitada en el considerando tercero, sólo podrán realizarse aquellas actividades tendientes a su restauración y conservación y no podrán ser autorizados cambios de uso de suelo para otros fines durante la vigencia del presente decreto.

Del mismo modo, se declara una veda total e indefinida del aprovechamiento forestal de flora y fauna silvestre, en un polígono que forma un área protegida, que corresponde a las zonas afectadas por el huracán Gilberto y los incendios que ocurrieron como consecuencia al año siguiente (1989) (se anexa al documento).

Cabe hacer notar que ambos decretos son posteriores al Contrato firmado entre el Sr. .... y el Ejido Alfredo V. Bonfil, en el que se define el uso del suelo como: extracción de material pétreo.

El 30 de enero de 1989, en el Periódico Oficial del Gobierno del estado de Quintana Roo, se publicó el decreto No. 36, que establece las disposiciones reglamentarias para la exploración y explotación de yacimientos o depósitos de arena, grava y derivados de rocas y suelos no minerales, canteras y piedras en el estado de Quintana Roo. Se anexa dicho decreto al documento.

En el Plan Director de Desarrollo Urbano de la ciudad de Cancún publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Quintana Roo, del 12 de enero de 1993, por su distancia a Cancún, no existe vinculación alguna con el Ejido Alfredo V. Bonfil. Únicamente se menciona: "se prevé desalentar la tendencia natural de crecimiento lineal de la localidad a lo largo de la carretera Cancún-Mérida, así como el crecimiento a lo largo de la carretera Cancún-Aeropuerto. Actualmente en la carretera de Cancún-Mérida existen varios asentamientos irregulares, indicador de la tendencia de crecimiento hacia esa región.

## **IDENTIFICACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES, PROVOCADOS POR EL DESARROLLO DE LA OBRA O ACTIVIDAD**

Para la identificación y evaluación de los impactos ambientales en la cantera de PROMACASA, se utilizó la metodología de impacto ambiental de Leopold, que ha sido tan ampliamente usada.

La técnica de matrices de Leopold es un sistema de identificación y evaluación comparativa de impactos ambientales de escenarios alternativos. La base del sistema es una matriz en que las entradas según columnas son las acciones del hombre que pueden alterar el medio ambiente y las entradas según filas son características del medio ambiente que pueden ser alteradas.

El método se utiliza como evaluación de proyectos con impacto ambiental en el que además de los aspectos ecológicos intervienen fenómenos sociales, económicos y políticos derivados de la intervención de la sociedad.

La matriz en que se refieren en forma resumida los resultados de la evaluación de impacto ambiental por la técnica matricial presenta una serie de símbolos que indican la magnitud e importancia del impacto que una acción puede tener sobre un factor del medio.

Su utilidad en el presente proyecto, además de la identificación de efectos físicos, biológicos y socioeconómicos, es que permitió seleccionar las opciones que aseguren el mínimo impacto y un efectivo proceso de desarrollo sostenible en el marco de la Ley, los Reglamentos y las Normas Técnicas Ecológicas.

Para la cuantificación de los valores además del trabajo de campo se recurrió al "Handbook of Variable for Environmental Impact Assessment" de Ann Arbor Science así como al "Environmental Impact Analysis" de Van Nostrand, además de haberse realizado una búsqueda extensiva en la literatura científica del tema.

Adicionalmente se efectuaron evaluaciones tanto del estado actual de la explotación de la roca caliza (Figura 1), como del estado futuro de la cantera con la aplicación de las medidas de mitigación pertinentes (Figura 2).

Los impactos ambientales derivados de las obras y actividades que se desarrollan dentro de la empresa son en las siguientes etapas:

- Desmante y despalme,
- barrenación,
- carga de explosivos y voladura,

- **trituration,**
- **clasificación del material extraído (por medio de cribas),**
- **almacén y**
- **transporte.**

Los principales impactos ambientales producidos por las diferentes actividades y procesos que se llevan a cabo en las canteras, desde el inicio, hasta la venta del material.

Algunos de los impactos ambientales directos que provocan daños permanentes e irreversibles al medio terrestre de la zona de interés, causados por el proyecto en la zona de producción actual son los siguientes:

- El desmonte y despalde que se realiza para poder llevar a cabo la extracción, incluyendo la barrenación, todo esto ocasionando una reducción de las áreas verdes de la zona donde se localiza la cantera y la alteración geomorfológica de la zona.
- Los procesos de barrenación y voladura, los cuales pueden provocar derrumbes y afectar las corrientes subterráneas.
- La extracción del material del banco provocando un cambio en las condiciones geológicas y geomorfológicas de las canteras en las que se extrae el material pétreo.
- La desaparición de suelos dentro de la cantera, debido a la continua actividad de extracción, provocando cambios fisicoquímicos en los mismos.
- Degradación de la cubierta vegetal existente, lo cual provoca a su vez, el desarrollo de procesos asociados a la erosión.
- Reducción de la capacidad de carga del ecosistema ya que las comunidades vegetales locales y la fauna que habita en ellas son perturbadas de manera directa, dicha pérdida de la capa vegetal, puede ocasionar deslizamientos en tiempo de tormentas, y
- Las características escénicas, paisajísticas y estéticas de la región, se alteran por la pérdida del entorno natural en el que se encuentra localizada actualmente la cantera.



- Las emisiones de polvos fugitivos (la intensidad de dicha emisión depende de varios factores como se mencionó con anterioridad) provenientes del proceso de trituración, transporte y almacén principalmente, se desplazan hacia las superficies que se localicen en la dirección del viento dominante, en ocasiones pudiesen ser la vegetación aledaña, cubriendo el follaje e interfiriendo con los procesos fisiológicos de las plantas.
- Las aguas residuales de servicio y sanitarias. En el proceso productivo como tal, se realiza lavado de equipo, maquinaria, cuyas aguas residuales pueden contener sólidos, grasas, aceites y materia orgánica en términos generales, provocando una posible contaminación de las aguas subterráneas.
- Residuos sólidos tipo doméstico y de oficina, al igual que los residuos provenientes del taller de mantenimiento, y posible contaminación del subsuelo y a su vez de las aguas subterráneas, provocada por derrames de aceites usados y combustible (diesel) provenientes del mantenimiento del parque vehicular de la empresa.

Los principales impactos ambientales indirectos son:

- Emisiones de gases provenientes de la combustión de diesel de la planta generadora de electricidad de la trituradora cuya capacidad es de 150 KW, y de los camiones de transporte internos y externos. Las partículas que destacan en el proceso de combustión de diesel son el CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y HC.
- La afectación en la permeabilidad del suelo de la zona de interés ocasionada por el cambio geomorfológico.
- Posible contaminación en el acuíferos que está descubierto.
- Acceso continuo de vehículos, que originan ruido.

Los impactos ambientales residuales son aquellos que persistirán en el ambiente, incluyendo aspectos socioeconómicos. Algunos de estos impactos ambientales son:

- Las especies vegetales devastadas.
- Las especies animales desplazadas hacia áreas similares sin impactos significativos.

- El área explotada para la obtención de materiales de construcción (misma que deberá ser restaurada).
- Cambio en el uso de suelo.

El área de influencia del proyecto es la zona circundante al proyecto en la que de algun modo (ya sea directo o indirecto) se vea afectado el medio ambiente que lo rodea.

Los impactos ambientales identificados como parte de los procesos y actividades que se desarrollan dentro de la empresa y de las observaciones en los trabajos de campo, pueden agruparse en tres grandes rubros, que corresponden a la preparación del sitio, a la extracción del material y al abandono de la cantera una vez que esta ha sido explotada. A continuación se da una explicación de cada una de estas etapas.

#### *Preparación del sitio (desmante y despirme)*

Las labores de desmante y despirme, ocasionan un importante impacto ambiental al removerse la cubierta vegetal, con la consecuente alteración de el ecosistema natural, en el que habitan numerosas especies vegetales y animales. Con las actividades de desmante, viene asociada una pérdida del hábitat natural, lo que dá lugar a una pérdida de la vegetación existente y al desplazamiento de la fauna silvestre con la consecuente alteración que ésta ocasiona, en el ecosistema natural.

Aunado a esto, las labores de desmante y despirme, dan lugar a una alteración de los factores físicos del suelo al removerse la cubierta vegetal, propiciando la erosión de los terrenos en los que ha sido removida la capa vegetal.

El desmante y despirme, constituyen el impacto primario sobre el área, para lo cual es utilizada maquinaria pesada con la que primeramente se remueve la capa vegetal y posteriormente la capa del suelo superficial en la que existe un alto contenido de materia orgánica.

El impacto ambiental derivado de este proceso, puede clasificarse como alto, dado que ocasiona pérdida de la capa vegetal y la capa superficial del suelo, así como la pérdida de la biodiversidad.

Aunado a esto y como se mencionó, se propicia la erosión de los suelos, misma que dá lugar a la exposición de la roca calcárea a la atmósfera, favoreciendo el establecimiento de microhábitats áridos.

La generación de empleos es sin lugar a dudas uno de los efectos positivos de mayor relevancia, con un impacto socioeconómico positivo para el área.

La disposición de residuos generados por las obras de desmonte y despalme, se almacenan al margen de las canteras, con la finalidad de ser utilizados a futuro en actividades de reforestación. Sin embargo, constituyen un combustible, adyacente a los terrenos ejidales en los que aún se cuenta con una capa vegetal sujeta a un incendio por el riesgo que representa la capa vegetal removida.

El movimiento vehicular generado por el desarrollo de las labores de desmonte y despalme genera un impacto mínimo en la microregión, por la generación de humos y gases de combustión, ruido y polvo desprendido durante el traslado de los materiales. Ya se ha explicado este punto con anterioridad.

Debe existir un control en los lubricantes usados, ya que éstos son considerados por la normatividad ambiental mexicana como residuos industriales peligrosos, por lo que deberán tener un manejo y disposición final adecuada, siguiendo las normas técnicas ecológicas correspondientes.

### *Extracción de Material*

Una vez realizadas las labores de desmonte y despalme, en las que se eliminan las "impurezas" de la roca caliza, se trazan plantillas y se colocan explosivos para proceder a la extracción del material pétreo en las canteras.

Durante esta etapa de extracción, se generan polvos, gases, ruido, vibración,

### *Abandono del área explotada*

El impacto derivado de la etapa de abandono, presenta múltiples alternativa que serán abordadas en el siguiente Capítulo. Sin embargo, es importante hacer notar que depende en gran medida de las características en que el sitio sea abandonado. Esto es, si se las canteras se llegan a explotar bajo el manto freático como se recomienda, la extensión del área explotada y el manejo ambiental durante la etapa de explotación, con las medidas de mitigación que se establezcan para tal fin, serán fundamentales en los impactos derivados de la etapa de abandono. En este sentido, se ha recomendado el hacer una explotación intensiva, inclusive bajo el manto freático, ya que el impacto primario de mayor importancia es el asociado al desmonte y despalme. La extracción sería intensiva y no extensiva.

Entre los impactos ambientales que se han identificado para la etapa de abandono, destaca la eliminación de la cubierta vegetal y de suelo en las áreas explotadas, con la consecuente modificación del habitat natural y la pérdida de la biodiversidad en la zona explotada.

La contaminación potencial del acuífero al quedar descubierto de la capa de suelo superficial; el favorecimiento de los procesos de erosión al removerse la cubierta vegetal y capa de suelo y dejar al descubierto la roca caliza, dando lugar a un proceso de intemperismo de la roca basamental agrietada, sobrecalentada y susceptible a la disolución química, así mismo, pueden ocurrir cambios en la salinización, en el oxígeno disuelto y aumento de los sedimentos hacia aguas costeras.

Si la explotación no se maneja con un punto de vista ecológico, conforme pase el tiempo, podrá ocurrir un deterioro ambiental aun mayor del que actualmente se registra, con la consecuente degradación del ecosistema y una baja probabilidad en su recuperación sea casi imposible.

**IMPACTO AMBIENTAL ACTUAL SIN ACCIONES DE MITIGACION**

Productos y Materiales del Caribe, S.A. de C.V.

Actividades	Desmonte Despalme	Voladura	Extracción	Transporte	Triturado	Cribado	Residuos	Almacén	Taller	Oficina
<b>Medio Ambiente</b>										
Suelo	• A □ P	• A □ P	• A □ P	• M □ T	• M □ T	• M □ T	• A □ T	• B □ T	• B □ T	• B □ T
Agua	• M □ T	• M □ T	• A □ P	• B □ T	• M □ T	• M □ T	• A □ T	• B □ T	• M □ T	• B □ T
Atmósfera	• B □ T	• B □ T	• M □ T	• M □ T	• M □ T	• M □ T	• M □ T	• B □ T	• B □ T	• B □ T
Flora	• A □ P	• B □ T	• B □ P	• M □ T	• B □ T	• B □ T	• M □ T	• B □ T	• B □ T	• B □ T
Fauna	• A □ T	• A □ T	• B □ T	• M □ T	• B □ T	• B □ T	• M □ T	• B □ T	• B □ T	• B □ T
Relaciones ecológicas	• A □ T	• M □ T	• B □ T	• M □ T	• B □ T	• B □ T	• A □ T	• B □ T	• B □ T	• B □ T
Usos del territorio	• M □ P	• M □ T	○ A □ T	○ B □ T	○ B □ T	○ B □ T	• A □ T	○ B □ T	○ B □ T	○ B □ T
Factores recreativos	• A □ T	• M □ T	• A □ T	• B □ T	• M □ T	• M □ T	• M □ T	• B □ T	• B □ T	• B □ T
Factores estéticos	• A □ P	• A □ T	• A □ T	• B □ T	• A □ T	• A □ T	• A □ T	• M □ T	• M □ T	• B □ T
Factores culturales	• A □ T	• M □ T	• M □ T	• B □ T	• B □ T	• B □ T	• M □ T	• M □ T	• B □ T	• B □ T
Servicios e infraestructura	○ A □ P	○ M □ T	○ A □ P	○ A □ P	○ B □ T	○ B □ T	○ B □ T	○ M □ T	○ M □ T	○ M □ T
Salud humana	• B □ P	• A □ T	• M □ T	• B □ T	• M □ T	• M □ T	• A □ P	• B □ T	• B □ T	• B □ T

Figura 1

Impacto Positivo ○ Local □ Alta - A Bajo - B Permanente - P  
Impacto Negativ. • Zonal □ Medio - M Temporal - T

**MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES IDENTIFICADOS**

Con el objeto de reducir los impactos ambientales detectados, derivados de las actividades en las minas, se realizaron una serie de recomendaciones con diferentes actividades a seguir por las industrias mineras localizadas en esta zona.

La forma de explotación será la acordada con SEDESOL.

- 1 Se dejará libre de explotación un área no menor de 20 m de ancho en todo el perímetro de las colindancias del predio, con el fin de mitigar el impacto visual, y mitigar la emisión de polvos fugitivos. En la parte del predio que colinda con la carretera, la franja deberá de ser de 500 m de ancho.
- 2 Se deberá evitar el desmonte mayor al 40% del área propuesta por las 5 empresas de explotación de material pétreo, localizadas dentro del Ejido Alfredo V. Bonfil, misma que presenta una superficie total de 3,800 Ha. El desmonte deberá de ser planeado y paulatino de modo que se permite la migración de la fauna a zonas adyacentes. Se deberá de respetar la franja de amortiguamiento citada anteriormente.
- 3 La inclinación de taludes de la cara del banco superficial deberá corresponder a un ángulo de reposo de 30 a 45° del material que se explota y a sus condiciones de saturación natural.
- 4 La explotación futura deberá de ser planeada, paulatina y autocontrolada, de modo que permita la rehabilitación posterior de la zona.
- 5 Ninguna especie de fauna presente en la zona de interés se pondrá en peligro de extinción.
- 6 Se recomienda prohibir cualquier actividad en las zonas aledañas a la cantera, que afecte directamente a la flora y la fauna como la caza, pesca, tala, colecta, etc.
- 7 Los camiones de carga deberán circular a baja velocidad dentro y fuera de la cantera, para reducir la emisión de polvos, así mismo esto evitará el que puedan arrollar a alguna especie animal en los caminos.
- 8 En los almacenes se deberán apilar en lo posible, los materiales gruesos en el perímetro de la zona de almacén, mientras que los materiales finos, se almacenarán en las partes internas. Los camiones de carga que transporten material comprado, tendrán que utilizar lonas para cubrir la caja de carga, así se evitará la emisión de polvos fugitivos durante el transporte a los sitios donde se utilizará el material de construcción.

- 9 Para las aguas residuales de servicios y sanitarias, se recomienda la instalación de una fosa séptica bioenzimática, evitando así la contaminación de las aguas subterráneas.
- 10 Debido a su alto contenido en materia orgánica, se recomienda utilizar el material de desmonte como material de relleno o bien para programas de reforestación, o actividades de jardinería.
- 11 Se recomienda que los tanques de combustibles estén elevados, sobre un aplanado de concreto, con muros de contención alrededor del mismo y un foso de retención. Deberá tener accesos al área que permitan el movimiento y tránsito de la brigada de emergencia. Deben de haber equipos contra incendios cerca del área, con extinguidores o hidratantes. Debe existir señalización advirtiendo el peligro del área, colocados en lugares visibles.
- 12 La carga de combustible deberá de ser en áreas confinadas para evitar posibles derrames del mismo al suelo.
- 13 Para los residuos sólidos y de oficina, se recomienda un plan de manejo donde los residuos se separarán según su composición, y serán depositados en contenedores. De algunos de éstos es factible su venta para su reciclaje, mientras que otros tendrán que ser enviados al tiradero municipal autorizado.
- 14 Deberá evitarse en todo momento los tiraderos al aire libre dentro de las instalaciones y cantera, sobre todo en las zonas inundadas dentro de la cantera.
- 15 Los aceites usados deberán tener un almacenamiento, manejo y disposición final controlada, ya que éstos están considerados como residuos industriales peligrosos, por lo mismo se deberán seguir las normas técnicas ecológicas correspondientes. Existen empresas que están autorizadas por SEDESOL, para dar una disposición final controlada.
- 16 Dentro de la cantera, los aceites deberán estar almacenados en tambos cerrados en todo momento. Dicho almacén deberá de estar techado, tener pararrayos, estar en contacto con la tierra, tener capacidad de almacén del 110% de lo acumulable, ser de material no flamable, tener buena ventilación, piso de concreto y estar aislado del drenaje, para evitar fugas al mismo. El almacén deberá presentar muros de contención con trincheras. Deberá de haber extinguidores accesibles a la zona y tener señalización de advertencia en un lugar visible.
- 17 Se deberá evitar en todo fugas de aceite y combustible al suelo, evitando así contaminación del subsuelo y mantos acuíferos.

- 18 En cuanto a las emisiones de gases provenientes de la maquinaria y el parque vehicular, se recomienda mantener los motores en condiciones óptimas por medio de servicio de mantenimiento periódico.
- 19 Las explosiones se deberán seguir realizando de acuerdo con el procedimiento actual, minimizando el impacto ambiental.
- 20 Se recomienda tener un plan de emergencia en caso de huracanes y tormentas.
- 21 Por último, se recomienda aplicar la propuesta de ERM-México para poder rehabilitar la zona posteriormente.
- 22 Las empresas deberán cumplir con las obligaciones ambientales federales ante SEDESOL.
- 23 Deberá seguirse el programa de uso futuro de la zona.
- 24 Habrá de llevarse una promoción de educación ambiental a los trabajadores.

A continuación hace referencia a varios principios ecológicos importantes a seguir en sitios cercanos a la costa. Es importante que dentro de las instalaciones de la empresa y la cantera, estos principios sean tomados en cuenta, para poder mantener las condiciones del ecosistema lo mas similares a su estado natural. Estos principios se deberán seguir, para poder rehabilitar la zona posteriormente, cuidando que el deterioro no rebase los límites, haciendo imposible la rehabilitación.

### ***PRINCIPIOS ECOLOGICOS PARA EL MANEJO DE LAS CANTERAS***

El manejo ambiental de aguas y zonas costeras marinas, tiene como uno de sus principales objetivos, el mantener el ecosistema costero en sus mejores condiciones, o a un nivel de máximo aprovechamiento, el cual pretende estar lo más cercano a las condiciones naturales.

Cualquiera que sea el objetivo específico que esté dentro el programa de manejo ambiental debe considerar todo el ecosistema en su conjunto. Cualquier intento por manejar separadamente uno de los componentes interdependientes de un ecosistema complejo podría ser un fracaso, por lo que se podría intentar controlar algunos de los orígenes de la perturbación ambiental del sistema sin controlar otros. El ecosistema definido debe abarcar una unidad completa e integral, que incluya las aguas costeras y las zonas de inundación.



## **AREA DESIGNADA**

La planeación requiere de un sistema de identificación y clasificación general de áreas de concentración del estudio ambiental. Estas son áreas entre las cuales las actividades humanas deben ser controladas, aunque no necesariamente prohibidas, para proteger el ambiente.

Pequeñas áreas que son críticas desde el punto de vista ecológico "áreas vitales" deben ser designadas para su completa protección dentro de las áreas de concentración. Los estuarios y las zonas de mareas y zonas húmedas que los rodean son áreas de concentración ambiental.

Las zonas inundables de las costas también son designadas como áreas de concentración debido a su relación con las aguas costeras.

El diseño de un sistema cerrado tiene las siguientes tres categorías:

- 1) Preservación,
- 2) Conservación y
- 3) Utilización.

A continuación se da una breve explicación de cada grupo de capacidad diseñado y sus implicaciones:

### **1. *Áreas de preservación.***

Los elementos del ecosistema son de importancia crítica y de alto valor que deben mantenerse o preservarse intactos y protegerse del daño externo dentro de un área de concentración ambiental. En este sentido la explotación y/o desarrollo no es permisible.

### **2. *Áreas de conservación.***

Áreas de fragilidad ambiental, que frecuentemente contiene una o más áreas vitales, el desarrollo o la utilidad de éstas debe ser cuidadosamente controlado para proteger el ecosistema. La literatura internacional sugiere que el desarrollo en estas áreas no exceda el 5% del área total.

### **3. *Áreas de utilización.***

Áreas donde su utilización y la actividad desarrollada requieren únicamente de niveles normales de cuidado, en los que adicionalmente se conserva como mínimo un 60% de; área sin alteración y por consiguiente que el área utilizable para el desarrollo no sea mayor del 40%. En las canteras debe ser un contexto de desarrollo sostenible, que implica en todo momento cumplir con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

### **PRINCIPIOS ECOLOGICOS**

Existen once principios derivados de la Ecología, producen un mejor manejo de funciones:

a. *Ecosistema integral*

Ninguna parte del ecosistema funciona u opera independientemente de otra.

b. *Cuerpos de agua*

El agua provee la unión esencial de los elementos de tierra y mar de los ecosistemas costeros.

c. *Corriente*

El volumen natural, patrón y tasa estacional de agua que proporciona el funcionamiento óptimo del ecosistema.

d. *Circulación de agua subterránea*

Patrón de circulación del agua subterránea proporcionada para el funcionamiento óptimo del ecosistema.

e. *Energía*

El flujo y cantidad de energía capaz de gobernar los procesos biológicos dentro del ecosistema costero.

f. *Almacenamiento*

Una alta capacidad de almacenar energía proporcionada para el funcionamiento óptimo del ecosistema.

g. **Nitrógeno**

La productividad de las aguas costeras está normalmente gobernada por la cantidad de nitrógeno captado.

h. **Luz**

La luz natural proporciona un régimen para el óptimo funcionamiento del sistema.

i. **Temperatura**

La temperatura natural proporciona un régimen para el óptimo funcionamiento del ecosistema.

j. **Oxígeno**

Altas concentraciones de oxígeno proporcionan un régimen para el óptimo funcionamiento del sistema.

k. **Salinidad**

La salinidad natural proporciona un régimen para el funcionamiento óptimo del ecosistema.

## **PRINCIPIOS Y REGLAS DE MANEJO**

Los siguientes quince principios y reglas de manejo se encuentran basados en los principios ecológicos, y son las bases para una serie de restricciones básicas.

### ***Principios de manejo***

**a. *Ecosistema integral***

Cada ecosistema costero debe ser manejado con respecto a una parte relacionada y de la unidad, como un todo.

**b. *Drenaje***

Una meta fundamental del manejo de tierras costeras es el retener o mantener el sistema de drenaje a través de la tierra lo más cercano posible al patrón natural.

**c. *Amortiguamiento del drenaje***

La necesidad de proporcionar una zona de amortiguamiento vegetal a lo largo del drenaje, se incrementa con el grado de desarrollo.

**d. *Zonas húmedas e inundables***

La necesidad de preservar zonas húmedas y zonas intermareales con vegetación, se incrementa con el grado de desarrollo.

**e. *Almacenamiento***

Los componentes de almacenamiento del ecosistema son de extremo valor y deberán ser completamente protegidos.

**f. *Energía***

Para mantener el funcionamiento óptimo de un ecosistema es necesario proteger y optimizar la fuente y flujo de energía del sistema.

## ***Reglas de manejo***

### **a. *Rutas de drenaje***

La alteración de cualquier ruta de drenaje por realización, diseño, relleno, o cualquier otro proceso que interrumpa con el patrón de flujo natural o bloquee o impida el paso es inaceptable.

### **b. *Circulación subterránea***

Cualquier cambio significativo de la tasa de flujo natural de agua subterránea, se considera un deterioro ecológico y es inaceptable.

### **c. *Aporte de nutrientes***

La reducción del aporte natural de nutrientes al sistema ecológico por alteración del influjo de agua dulce es inaceptable.

### **e. *Nitrógeno***

La descarga de compuestos nitrogenados en aguas costeras puede tener efectos adversos que pueden llevar a la eutroficación, y esto es inaceptable.

### **f. *Turbiedad***

La turbiedad por niveles más altos de los normales puede deteriorar el ecosistema y es inaceptable.

### **g. *Temperatura***

La alteración significativa del régimen de la temperatura del sistema costero es adverso y es inaceptable.

### **h. *Oxígeno***

Cualquier reducción significativa de la concentración natural de oxígeno se presume como adverso y es inaceptable.

### **i. *Salinidad***

**Cualquier cambio en régimen de salinidad natural representa un deterioro ecológico y es inaceptable.**

j.

***Contaminación circulante***

**Cualquier descarga de sólidos suspendidos, nutrientes o tóxicos químicos es adverso y es inaceptable.**

***Control***

El control del uso tanto de la tierra como del agua es necesario para un mejor aprovechamiento funcional del ecosistema, es necesario regular tanto la localización como el diseño del proyecto en tierras y aguas costeras. También las diversas actividades humanas deben ser controladas en algún grado.

Además la construcción de infinidad de proyectos y sus operaciones deben tener la conformidad de ciertos estándares.

## **PROGRAMA ELEMENTAL**

El manejo ambiental para la zona costera debería estar organizado para mantener un nivel óptimo de las propiedades del ecosistema ya conocidas, incluyendo los rasgos, características y procesos. La planeación y manejo de las actividades podrían incluirse en los siguientes programas:

**a.** *Áreas vitales*

Áreas ecológicas críticas con alto valor para almacenamiento, productividad primaria, hábitat y purificación o regulación de agua.

**b.** *Flujo de agua dulce*

Cuidar el volumen, calidad, y tasa de salida hacia aguas costeras, de aguas provenientes del municipio de la costa.

**c.** *Drenaje de agua*

El volumen, calidad y tasa de salida del agua dulce hacia las aguas costeras no debe de ser interrumpida o bloqueada por ningún proyecto.

**d.** *Circulación*

Mantenimiento del patrón natural del movimiento de agua, a través del cuidado de las aguas subterráneas costeras.

**e.** *Nutrientes*

Control de la fuente y disposición de nutrientes naturales e introducidos sin interrumpir su ciclo.

**f.** *Sedimentos*

Control de sedimentos provenientes de tierras húmedas, drenaje costero y áreas inundables. No deben usarse sedimentos para relleno de cuerpos de agua.

**g.** *Claridad*

Control de la turbiedad del agua.

**h. Temperatura**

Control de las fuentes del calentamiento anómalo de aguas costeras.

**i. Oxígeno**

Mantener altos niveles de oxígeno disuelto en aguas costera en su óptimo.

**j. Salinidad**

Mantener el patrón natural de salinidad en aguas costera.

**k. Tóxicos**

Control de las fuentes de descargas tóxicas a aguas costeras.



**USO DE TIERRAS RECOMENDADAS POR COLLIER COUNTRY,  
FLORIDA (Clark, J. 1974).**

<b>Preservación</b>	<b>Conservación</b>	<b>Desarrollo</b>
No construir, desarrollos o alteración a la tierra	Desarrollo limitado de casas en islas Densidad máxima de 1 du/ 2 Has.	Desarrollo intenso
No hacer caminos.	Caminos paralelos al flujo u origen de agua	Caminos adecuadamente cubiertos
No hacer canales o dragados, mantener el flujo natural del agua subterránea	No hacer canales o dragados usados para recibir, limpiar y distribuir agua.	No hacer canales de desagüe mas largos de 720 m.
Recreación de baja intensidad como pesca, caza, camping.	Recreación de intensidad moderada, con realización de áreas que pueden ser periódicamente inundables	Recreación intensiva
No realizar disposición de residuos sólidos	No realizar rellenos sanitarios, basureros al aire libre.	No realizar tiraderos.
No consumir agua	El consumo de agua no debe exceder 1,500 lt/p/d/Ha.	El consumo no debe exceder 17,000 lt/d/p/Ha.
No remover vegetación	Remoción máxima del 5% de la vegetación a excepción de plantas exóticas. Solo utilizar plantas locales en la rehabilitación de la zona.	Remoción máxima del 40% de vegetación a excepción de plantas exóticas.

du = desarrollo urbano

**IMPACTO AMBIENTAL ACTUAL CON ACCIONES DE MITIGACION**

Productos y Materiales del Caribe, S.A. de C.V.

Actividades	Desmante Despalme	Voladura	Extracción	Transporte	Triturado	Cribado	Residuos	Almacén	Taller	Oficina
<b>Medio Ambiente</b>										
Suelo	• M ◻ P	• M ◻ T	• M ◻ P	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T
Agua	• B ◻ T	• M ◻ T	• M ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T
Atmósfera	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T
Flora	• M ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ P	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T
Fauna	• M ◻ P	• M ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T
Relaciones ecológicas	• M ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T
Usos del territorio	• M ◻ P	• B ◻ T	◻ A ◻ T	◻ B ◻ T	◻ B ◻ T	◻ B ◻ T	• M ◻ T	◻ B ◻ T	◻ B ◻ T	◻ B ◻ T
Factores recreativos	• M ◻ T	• M ◻ T	• M ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T
Factores estéticos	• M ◻ T	• M ◻ T	• M ◻ T	• B ◻ T	• M ◻ T	• M ◻ T	• M ◻ T	• B ◻ T	• M ◻ T	• B ◻ T
Factores culturales	• M ◻ T	• M ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T
Servicios e infraestructura	◻ A ◻ P	◻ B ◻ T	◻ B ◻ T	◻ M ◻ T	◻ M ◻ T	◻ B ◻ T	◻ B ◻ T	◻ B ◻ T	◻ B ◻ T	◻ B ◻ T
Salud humana	• B ◻ T	• A ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• M ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T	• B ◻ T

Figura 2 Impacto Positivo ○ Impacto Negativ. • Local Zonal ◻ Alta - A Bajo - B Permanente - P Medio - M Temporal - T

Las áreas en las que se localizan las canteras y las instalaciones de la empresa, ya han sido previamente perturbadas por el desarrollo de las actividades inherentes a la explotación de la roca caliza y producción de agregados pétreos, tales como eventos naturales y actividades cinegéticas, todas estas perturbaciones afectando directamente a la flora y la fauna local.

El efecto del Huracán Gilberto en septiembre de 1988 y el incendio forestal registrado en 1989, contribuyó sustancialmente al detrimento del entorno natural en el que se ubica la empresa PROMACASA.

Existe una pérdida de la masa vegetal, con la consecuente pérdida de la biodiversidad y el desplazamiento de la fauna silvestre a áreas circunvecinas con el consecuente desequilibrio que este ocasiona. Para tal fin se recomienda el establecer áreas de amortiguamiento y que las labores de desmonte y despálme se lleven a cabo de manera paulatina, permitiendo el desplazamiento gradual de la fauna silvestre que habita en dichas zonas.

La excavación por debajo del manto freático, permite que las zonas perforadas se vayan llenando de agua, mismas que se utilizan para el lavado del material. Este proceso es mucho más económico y viable para la empresa, se obtiene un material de mejor calidad, y por otro lado, se disminuye el impacto a la vegetación de la zona, ya que el área terrestre explotada disminuye notablemente.

Es altamente recomendable el establecer programas de reforestación, para lo cual deberán elegirse especies locales, evitando en todo momento la introducción de especies animales o vegetales exógenas.

Se registra una pérdida y alteración del suelo, propiciando la erosión de la zona en el área de las canteras. Para ello, se sugiere el evitar las labores de desmonte y despálme en la periferia de las excavaciones y definir la estrategia a seguir por la etapa de abandono del sitio.

Se presenta un descubrimiento del acuífero, quedando sujeto a evaporación y a una potencial contaminación por agentes externos, por lo que es de gran importancia cuidar en todo momento estos cuerpos de agua evitando la contaminación por medio de aceites, combustibles o residuos sólidos. Se recomienda establecer programas para evitar su desecación y/o alguna alteración en el flujo y calidad de las aguas freáticas.

El uso de agua para los servicios y lavado del material pétreo en el proceso de trituración, propicia la intrusión salina al manto freático, por lo que se recomienda el establecer programas de uso eficiente, tratamiento y reutilización del agua.

Los residuos sólidos generados en las obras y actividades, deberán ser clasificados, procurando su reciclamiento y adecuada disposición final.

Deberá diseñarse e implementarse un programa para el manejo, almacenamiento, transporte y disposición final de los residuos peligrosos generados en los procesos productivos (estopas, grasas, aceites, contenedores de pintura, usados y en el caso de que el aceite dieléctrico presente PCB's). La empresa deberá contar con el servicio de una empresa autorizada por SEDESOL, para realizar una correcta disposición final de los aceites y estopas usadas.

La generación de empleos es un factor de importancia socioeconómica para la comunidad. Sin embargo, no habrá de generarse una excesiva demanda de personal para el desarrollo de las obras y actividades contempladas en el proyecto.

Las canteras localizadas dentro del Ejido Alfredo V. Bonfil, son consideradas como la principal fuente de abastecimiento de material de construcción de la ciudad de Cancún, dicha ciudad, necesita de estos materiales ya que constantemente existen nuevos desarrollos turísticos. Es necesario el permitir la extracción de material en esta región.

Las medidas de mitigación y optimización existentes y propuestas permanecerán a lo largo del desarrollo de este proyecto, con la finalidad de evitar al máximo la generación de desequilibrios ecológicos en la región y/o daños a la salud de los habitantes de la región. Se recomienda que las autoridades correspondientes establezcan un programa de supervisión a todas las canteras de la zona de interés.

Es necesario que las empresas se apeguen a los principios ecológicos y reglas de manejo para ecosistemas costeros.

Por último, es necesario que las industrias de extracción dentro del Ejido Alfredo V. Bonfil, se apeguen al Decreto no. 36.

BENNET, G., F. FEATES & I. WILDER, 1982. HAZARDOUS MATERIALS SPILLS HANDBOOK. McGraw-Hill, Inc. New York.

CAVASENO, V., ED. 1980. INDUSTRIAL WASTEWATER AND SOLID WASTE ENGINEERING. Chemical Engineering Mag. McGraw-Hill, Co. New York.

CLARK, J. 1974. COASTAL ECOSYSTEMS. Ecological Considerations for management of the Coastal Zone.

COMMITTEE ON THE INSTITUTIONAL MEANS FOR ASSESSMENT OF RISK TO PUBLIC HEALTH, 1983. RISK ASSESSMENT IN THE FEDERAL GOVERNMENT: MANAGING THE PROCESS. National Academy Press.

CONWAY, R. & R. ROSS, 1980. HANDBOOK OF INDUSTRIAL WASTE DISPOSAL. Van Nostrand Reinhold, Co. New York.

GARCIA, E., 1981. MODIFICACIONES AL SISTEMA DE CLASIFICACION CLIMATICA DE KOPPEN. (PARA ADAPTARLO A LAS CONDICIONES DE LA REPUBLICA MEXICANA). Inst. Geogr. Univ. Nal. Autón. México.

GOBIERNO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO, 1993. PLAN DIRECTOR DE DESARROLLO URBANO DE LA CIUDAD DE CANCUN.

INEGI, 1990., RESULTADOS PRELIMINARES. XI CENSO GENERAL DE POBLACION Y VIVIENDA, 1990.

LEOPOLD, S., 1977. FAUNA SILVESTRE DE MEXICO. Ed. Pax-México. 2a. Edición.

LUND, H. 1971. INDUSTRIAL POLLUTION CONTROL HANDBOOK. McGraw-Hill, Co. New York.

SAROKIN, D., M. WARREN, C. MILLER & S. SPERBER, 1985. CUTTING CHEMICAL WASTES. Inform, Inc. New York.

RZEDOWSKI, J., 1981. VEGETACION DE MEXICO. Ed. Limusa, México, D.F.

UNAM. INSTITUTO DE GEOGRAFIA., 1990. ATLAS NACIONAL DE MEXICO. Vol. I-III.

# **Estrategia de Amortiguamiento**

*Productos y Materiales  
del Caribe, S.A. de C.V.*

*30 de Junio de 1993*

## APÉNDICE.

### GRÁFICOS PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE LAS CANTERAS

Las empresas dedicadas a la extracción de materiales pétreos, han propuesto un área de 3,800 has. (Ver Gráfico), en las que se propone sea realizada la explotación de materiales pétreos para la industria de la construcción.

El área propuesta se ubica en el área adyacente a la Carretera Federal Mérida-Puerto Juárez; misma en la que se ha propuesto se realice y regule la explotación de materiales pétreos en la zona sur y la infraestructura de apoyo para las actividades secundarias (fabricación de bloques y otros productos) en la porción norte del área propuesta.

Con lo anterior, se propone a las autoridades, el que se incluya en el Plan Director de Desarrollo Urbano de Cancún, una zona para la explotación de materiales pétreos, cuya vida útil sea superior a los 25 años y para la cual, se han propuesto diversos usos, una vez que concluya la vida útil de estas.

Debe mencionarse, que dada la magnitud del área propuesta y tomando en consideración los criterios ecológicos propuestos en la literatura internacional por Clark, J., 1974 en su obra *Costal Ecosystems. Ecological Considerations for Management of the Costal Zone*, para la preservación, conservación y desarrollo en áreas naturales, se propone que el área a ser explotada, no sea superior al 40 % de las 3,800 has propuestas. Dicho en otras palabras, que las áreas destinadas para el desarrollo de actividades productivas no exceda de las 1,520 has., lo anterior permitirá contar con elementos que sustenten un desarrollo a futuro, manteniendo un balance entre el desarrollo antropogénico y el entorno natural en el que este se llevara a cabo.

Es importante señalar que el conservar como mínimo un 60 % del área, permitirá, de acuerdo con expuesto por los especialistas en el área y la experiencia mundial al respecto, mantener un balance entre el desarrollo antropogénico y el medio ambiente, conservando un importante porcentaje de la flora y fauna endémica, de vital importancia para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sustentable.

De acuerdo con los programas de trabajo, previamente establecidos y la infraestructura con la que cuenta cada una de las cinco empresas, se discutieron las alternativas de restauración ambiental de las canteras localizadas en el Ejido Alfredo V. Bonfil.

En este sentido, el factor determinante en cuanto al futuro y potencial uso de las canteras una vez que concluya la vida útil de estas, estará determinado en gran medida por el tipo de explotación que se realice, ya sea por arriba o por debajo del manto freático.

Las propuestas de restauración ecológica propuestas por los directivos de las cinco empresas, para las canteras del Ejido Alfredo V. Bonfil, en orden decreciente de importancia para cada una de ellas, se muestra en la Tabla # 1.

Por otra parte y dada la magnitud del área que se pretende sea reservada para la explotación de materiales pétreos, se plantea también, el abanico de posibilidades de restauración, considerando a las canteras en su conjunto y no como unidades independientes.

En la Tabla # 2, se indican las extensiones actuales de los predios de las cinco empresas, las superficies actualmente explotadas, la vida útil de estas y las superficies proyectadas para la explotación de los materiales pétreos.

Tabla # 1 Propuestas de Restauración Ecológica para la Etapa de Abandono de las Canteras del Ejido Alfredo V. Bonfil.

EMPRESA	PROPUESTAS DE RESTAURACIÓN
ABC	A) Residencial de baja densidad
PROMACASA	A) Reforestación (Silvicultura. Fruticultura) B) Acuacultura
LA PIRÁMIDE	A) Agricultura B) Fruticultura C) Desarrollo residencial de baja densidad
PROCON	A) Pradera
APRECASA	A) Pradera para ganadería intensiva



Tabla # 2. Superficies actuales de los predios que ocupan las empresas, área actual explotada y proyectada y vida útil estimada actual de las canteras localizadas en el Ejido Alfredo V. Bonfil.

Empresa	ABC	Promacasa	Piramide	Procon	Aprecasa	Total
Predio	351	13	1000	1022	25	2411
Explot. Actual	35	5	2	8	5	55 *
Explot. Proyect.	235	13	80	200	25	553
Vida Útil	25	22	20	25	20	
Uso Propuesto	Residenc. Baja dens.	Reforest. Piscicult.	Reforest. Res. baja densidad	Reforest. Agricult.	Ganadería Intensiva	MIXTO
Reserva Mínima	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %

De conformidad con lo expuesto anteriormente, se deduce que a la fecha han sido explotadas aproximadamente 55 hectáreas de un total de 2,411, equivalentes al 2.3 % de la superficie total que ocupan los predios de las 5 empresas, mientras que la explotación proyectada en la vida útil de las empresas, asciende a 553 hectáreas, equivalentes al 22.9 % del total del área que ocupan los predios. Lo anterior, permitiría a las empresas el mantener una explotación inferior al 40 % de la superficie total, manteniendo un mínimo del 60 % de la superficie sin alteración, de acuerdo con los planes actuales de desarrollo.

Por otra parte y tomando en consideración que el área propuesta para la explotación de materiales pétreos en el área en la que actualmente se localizan las 5 empresas, misma en la que se pretende sea regulada dicha actividad asciende a 3,800 hectáreas, de las cuales se sugiere no sean explotadas más del 40 % (1,520 hectáreas), puede estimarse que la vida útil de las canteras puede ser superior a los 70 años, de mantenerse los programas de explotación propuestos por las 5 empresas en conjunto.

Es importante hacer notar que para la elaboración de las propuestas de restauración ecológica, se incluyó única y exclusivamente el diseño conceptual de estas, dada la magnitud del área que se pretende sea reservada para la explotación de materiales pétreos (3,800 has), equivalentes a una superficie superior al 80 % de el área que actualmente

ocupa la mancha urbana de Cancún, por lo que la propuesta detallada para la restauración de estas deberá incluirse dentro de un megaproyecto, a un plazo medio, en el que participe un equipo multidisciplinario.

## ANEXOS

Productos y Materiales  
del Caribe, S.A. de C.V.

30 de junio de 1993

# **Diseño Conceptual de la Etapa de Abandono**

*Productos y Materiales  
del Caribe, S.A. de C.V.*

*30 de Junio de 1993*

**Estrategia de Amortiguamiento y Diseño Conceptual de la Etapa de Abandono.**

**A) Estrategia de Amortiguamiento**

---

Area Total del Predio	13 Has.
Area Explotada Actual	5 Has.
Area Explotación Proyectada	13 Has.
Vida Útil Proyectada	22 Años
Uso Propuesto para la Etapa de Abandono	Reforestación-Silvicultura- Fruticultura-Acuacultura.

---

Tomando en consideración las medidas de mitigación previamente analizadas en el presente documento, es importante recalcar que deberán llevarse a cabo acciones para el adecuado amortiguamiento, tanto del desarrollo actual, como para el desarrollo propuesto, una vez que concluya la vida útil del proyecto, en lo que a extracción de los materiales pétreos se refiere. Entre las acciones de amortiguamiento propuestas, destacan:

- Respeto del 60 % de las áreas verdes.
- Conservación de la selva actual dentro del predio
- Existencia de una franja de amortiguamiento de por lo menos 20 m. en los límites del predio y de 500 m. en la colindancia con la carretera.
- Talud de 30 a 45° en la cantera creada por la explotación por debajo del manto freático y el predio.
- En el caso en que se explote bajo el manto freático, los lagos, deberán ser paralelos a la dirección del flujo del acuífero.
- La explotación, no deberá exceder los 15 m. por debajo del nivel del suelo.
- Debe tenerse especial cuidado en la explotación de materiales bajo el manto freático, a fin de evitar la intrusión de aguas salobres.
- La prevención de la contaminación del manto acuífero, deberá adquirir especial importancia, mediante la implementación de programas para un manejo ambientalmente adecuado de la empresa.

- Implementación de un programa de minimización de las emisiones contaminantes a aire, agua y suelo.
- Conservación de corredores biológicos dentro del área.
- Control de polvos fugitivos en la explotación y transporte de los materiales pétreos.
- Implementación de un "almacén" de materia orgánica, que permita la optimización en los procesos de reforestación a futuro.
- Manejo de aceites residuales, de conformidad con las leyes, reglamentos y normas técnicas ecológicas vigentes.
- Establecimiento de un programa de prevención de riesgos.

### *B) Diseño conceptual de la Etapa de Abandono.*

Para el diseño conceptual de la etapa de abandono, se tomo en consideración como factor fundamental el mantener la integridad del ecosistema natural y las alternativas mas viables para el uso futuro del área explotada. En este sentido, se proponen como estrategias comunes para el diseño conceptual de la etapa de abandono:

- Formar unidades ecológicas continuas.
- Que los cuerpos de agua que pudieran llegar a crearse, sean paralelos al flujo del acuífero.
- Conservación de la cadena alimenticia natural.
- Tratamiento de los efluentes de aguas residuales que potencialmente se vayan a generar.
- Establecimiento de un programa para el manejo ambientalmente adecuado de los residuos solidos que se vayan a generar en le desarrollo.

Por lo que concierne a los principios ecológicos enlistados en el presente documento, mismos que se recomienda sean respetados, a fin de mantener en armonía el desarrollo propuesto una vez que concluya la vida útil de las canteras, en la llamada etapa de abandono, es importante mencionar que deberá mantenerse la continuidad de las unidades ecológicas, mediante el diseño de corredores biológicos que permitan afectar al menor grado el ecosistema natural en el que se encuentran las minas, manteniendo un balance que permita la coexistencia de desarrollos como

los que han sido planteados para la recuperación ecológica de las canteras (fraccionamiento residenciales de baja densidad, reforestación, agricultura y fruticultura entre otros). En este sentido y de conformidad con las propuestas hechas por los directivos de la empresa en relación al uso del suelo propuesto para la etapa de abandono, una vez que concluya la vida útil de la cantera, se plantea la necesidad de elaborar un programa específico para tal fin, mismo que en conjunto con las medidas de mitigación propuestas para el desarrollo productivo del proyecto en su vida útil permitan la recuperación ecológica de las canteras, de conformidad con el uso propuesto para estas.

Finalmente y tomando en consideración que una vez analizadas en detalle las alternativas de desarrollo para la etapa de abandono, en las que se tomaron en cuenta diversos factores, entre los que destaca la tendencia del desarrollo urbano de la ciudad de Cancún, el actual proceso de producción, así como el programa establecido para tal fin dentro de la vida útil de este y las características y particularidades del entorno natural en el que este se desarrolla, se consideró que la alternativa más adecuada para el futuro uso de la cantera de PROMACASA, es un uso mixto en el que se incluye el desarrollo de programas silvícolas, frutícolas y el desarrollo de un programa piscícola, para los cuales habrá de implementarse un programa de reforestación y el desarrollo de un programa de explotación de las canteras acorde al futuro uso de estas.

Tomando en consideración las acciones de amortiguamiento y la estrategia común para el diseño conceptual en la restauración ecológica de la cantera, se recomienda que la explotación de los bancos, se lleve a cabo de conformidad con un programa que permita que la reforestación se realice gradualmente, conforme se vayan desmontando áreas para la explotación de material pétreo, permitiendo un desarrollo gradual de las áreas a ser reforestadas, en las que habrán de utilizarse especies endémicas, evitando la introducción de especies exógenas y de conformidad con un programa específico diseñado para tal fin, en el que habrán de delimitarse las áreas y características de las zonas sujetas a explotación.

Para las propuestas de reforestación, deberá tenerse especial cuidado en la elección de las especies que se pretendan utilizar para tal fin, evitándose la introducción de especies exógenas y promoviendo la rehabilitación y/o restauración de las zonas afectadas con especies endémicas o nativas.

Para aquellas áreas en las que se tenga contemplado el desarrollo de programas frutícolas y silvícolas, habrán de implementarse programas para la formación de suelo a partir de compostas con materia orgánica ya sea de la misma materia orgánica proveniente de las labores de desmonte y despalle o bien de fuentes externas como lo ha sido planteado por los directivos de la empresa y el mismo delegado de la PROFEPA.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES**

**"XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERIA DE AEROPUERTOS"**

Del 31 de agosto al 30 de octubre de 1998

**MODULO I**

**PLANEACION DE AEROPUERTOS**

Programa Avanzado en Dirección de las Entidades Públicas

Dr. Alberto Oliver Rodríguez

Palacio de Minería

1998.

**MEXICO: DESARROLLO E INFRAESTRUCTURA**

**RELACION DE CUADROS DE  
INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA**

1. RED DE AEROPUERTOS 1992, A.S.A. (1)
2. PASAJEROS TRANSPORTADOS POR AÑO 1967-1994 (1)
3. INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD 1966-1992 (1)
4. NÚMERO DE PASAJEROS ATENDIDOS 1985-1991 (2)
5. AVIACIÓN COMERCIAL, NÚMEROS DE OPERACIONES --  
1985-1991. (2)
6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE PASAJEROS POR OPERA--  
CIONES 1981-1991 (2)
7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE PASAJEROS 1981-1991 (2)
8. ANÁLISIS COMPARATIVO DE OPERACIONES 1981-1991 (2)



RED DE AEROPUERTOS 1992, A.S.A.

EN OPERACION:

NACIONAL

Aguascalientes  
Campeche  
Cd. del Carmen  
Cd. Obregón  
Cd. Victoria  
Colima  
Culiacán  
Durango  
León  
Los Mochis  
Minatitlán  
Morelia  
Oaxaca  
Poza Rica  
Pto. Escondido  
Puebla  
Querétaro  
San Luis Potosí  
Tamuín, S.L.P.  
Tehuacán  
Tepic  
Tlaxcala  
Toluca  
Tuxtla Gutierrez  
Uruapan  
Villa Hermosa  
Zacatecas

INTERNACIONAL

Acapulco  
Bahías de Huatulco  
Can-Cún  
Cd. Juárez  
Cozumel  
Chetumal  
Chihuahua  
Guadalajara  
Guaymas  
Hermosillo  
La Paz  
Loreto  
Matamoros  
Manzanillo  
Mazatlán  
Mérida  
Mexicali  
Aeropuerto Int. Cd. México  
Monterrey  
Nuevo laredo  
Nogales  
Pto. Vallarta  
Reynosa  
San Jose del Cabo  
Tampico  
Tapachula  
Tijuana  
Torreón  
Veracruz  
Zihuatanejo

RESUMEN

<u>En Operación</u>	57
Nacionales	27
Internacionales	30

# PASAJEROS TRANSPORTADOS POR AÑO

1967 - 1994

(Miles)

AÑO	MOVIMIENTO ANUAL			PARTICIPACION PORCENTUAL	
	NACIONAL	INTERNACIONAL	TOTAL	NACIONAL	INTERNACIONAL
1967	2852	1821	4673	61	39
1968	3227	2039	5266	61	39
1969	3434	2224	5658	61	39
1970	3676	2478	6154	60	40
1971	4573	3013	7586	60	40
1972	5839	3014	8853	66	34
1973	6927	3549	10476	66	34
1974	8794	3844	12638	70	30
1975	10497	3953	14450	73	27
1976	12769	4016	16785	76	24
1977	13836	4184	18020	77	23
1978	14826	5301	20127	74	26
1979	16973	6251	23224	73	27
1980	19784	6801	26585	74	26
1981	21561	7186	28747	75	25
1982	20830	5729	26559	78	22
1983	22525	6567	29092	77	23
1984	22581	7094	29675	76	24
1985	24851	6607	31458	79	21
1986	21964	6938	28902	76	24
1987	19767	8620	28387	70	30
1988	17100	8658	25758	66	34
1989	20581	9287	29868	69	31
1990	22487	10919	33406	67	33
1991	24903	11238	36141	69	31
1992	30506	11039	41545	73	27
1993	31507	13742	45249	70	30
1994 *	35636	16053	51689	69	31
TMAC 67-70	8.83 %	10.81 %	9.61 %		
TMAC 70-80	18.33 %	10.62 %	15.76 %		
TMAC 80-88	(1.81)%	3.06 %	(0.39)%		
TMAC 88-94	13.02 %	10.84 %	12.31 %		

\* Valor Estimado

TMAC= Tasa Media Anual de Crecimiento.

Fuente: Informática, Construcción y Administración S.A. de C. V.

## AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD 1966 - 1992

AÑO	NUM. DE AERO-PUERTOS	OPERA-CIONES (MILES)	PASAJEROS (MILES)	LTS SUMINIS-TRADOS (MILLONES)	NUM. DE EMPLEADOS	OP/EMP	PAX/EMP	LTS/EMP	
1966	34	408	4,477		1,370	298	3,268	0	
1967	34	443	5,025		1,443	307	3,482	0	
1968	34	476	5,627	345	1,503	317	3,744	229,541	
1969	34	466	5,969	393	1,571	297	3,799	250,159	
1970	36	498	6,501	496	1,708	292	3,806	290,398	
1971	36	538	7,945	523	2,193	245	3,623	238,486	
1972	36	601	9,286	602	2,525	238	3,678	238,416	
1973	37	624	10,937	714	3,385	184	3,231	210,931	
1974	44	688	13,174	883	3,865	178	3,409	228,461	
1975	46	709	15,158	881	4,048	175	3,745	217,638	
1976	46	874	17,823	983	4,092	214	4,356	240,225	
1977	47	898	19,260	1,065	4,077	220	4,724	261,221	
1978	47	919	22,084	1,122	4,031	228	5,479	278,343	
1979	48	1,121	25,791	1,326	4,917	228	5,245	269,677	*BOOM
1980	48	1,280	29,648	1,623	5,054	253	5,866	321,132	PETROLERO*
1981	49	1,426	34,632	1,787	5,476	260	6,324	326,333	
1982	49	1,321	31,897	1,730	5,487	241	5,813	315,291	
1983	50	1,134	34,677	1,680	6,200	183	5,593	270,968	
1984	50	1,056	34,738	1,784	6,480	163	5,361	275,309	
1985	55	1,005	36,538	1,812	7,830	128	4,666	231,418	
1986	56	990	33,985	1,775	7,453	133	4,560	238,159	
1987	57	1006	33,473	1,832	7,926	127	4,223	231,138	
1988	58	964	30,485	1,658	8,023	120	3,800	206,656	
1989	57	1003	34,796	1,910	7,861	128	4,426	242,972	
1990	57	1087	38,028	2,119	7,986	136	4,762	265,339	
1991	57	1239	40,836	2,165	6,676	186	6,117	324,296	
1992	57	1275	42,103	2,452	6,441	198	6,537	380,686	

\* SALE SALTILLO DE A.S.A. QUEDANDO COMO ESTACION DE COMBUSTIBLE UNICAMENTE FUENTE . AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES.

**AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES**  
**AVIACION COMERCIAL "A"**  
**NUMERO DE PASAJEROS ATENDIDOS 1985-1991.**

AEROPUERTO	1985		1991	
	NUMERO DE PASAJERO ATENDIDOS	PARTICIPACION PORCENTUAL	NUMERO DE PASAJEROS ATENDIDOS	PARTICIPACION PORCENTUAL
MEXICO	12,224,166	35.3	13,170,523	32.54
GUADALAJARA	3,495,051	10.1	4,618,450	11.41
CANCUN	1,462,708	4.2	3,653,838	9.03
MONTERREY	1,452,264	4.1	1,884,947	4.66
GUANAJUATO	1,500,947	4.4	1,750,053	4.32
AEROPuerto VALLARTA	1,334,147	3.9	1,707,072	4.22
ACAPULCO	1,910,915	5.5	1,534,097	3.79
QUERETARO	1,225,928	3.5	1,168,669	2.89
VERACRUZ	763,619	2.2	880,649	2.18
SAN JOSE DEL CABO	345,747	1.0	701,259	1.73
ZIHUATANEJO	614,637	1.8	589,256	1.46
HERMOSILLO	555,815	1.6	543,307	1.34
TULTEPEC	372,320	1.1	541,214	1.34
CHIHUAHUA	458,793	1.3	518,777	1.28
TULIQUILIAN	320,289	0.9	478,977	1.18
LIQUILIMAN	529,791	1.5	469,545	1.16
OAXACA	493,241	1.4	468,723	1.16
LA PAZ	654,529	2.0	464,750	1.15
VERACRUZ	346,197	1.0	408,668	1.01
AMPICO	420,577	1.2	363,511	0.90
LEON	226,386	0.7	337,605	0.83
ORREON	286,335	0.8	312,396	0.77
D. JUAREZ	277,843	0.8	272,471	0.67
LOS MOCHIS	242,886	0.7	266,447	0.66
MANZANILLO	4,495	N.R.	261,923	0.65
AGUASCALIENTES	189,790	0.6	259,688	0.64
ZACATECAS	170,135	0.5	236,609	0.58
MINATITLAN	244,415	0.7	226,353	0.56
EXICALI	184,600	0.5	225,386	0.56
D. DEL CARMEN	94,645	0.3	220,204	0.54
CD. OBREGON	232,103	0.7	215,860	0.53
TUXTLA GUTIERREZ	304,392	0.9	193,622	0.48

**AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES**  
**AVIACION COMERCIAL "A"**  
**NUMERO DE PASAJEROS ATENDIDOS 1985-1991.**

AEROPUERTO	1985		1991	
	NUMERO DE PASAJERO ATENDIDOS	PARTICIPACION PORCENTUAL	NUMERO DE PASAJEROS ATENDIDOS	PARTICIPACION PORCENTUAL
COAHUILTEPEC	192,957	0.6	179,627	0.44
GUANAJUATO	81,044	0.2	173,606	0.43
GUAYMAS	121,479	0.4	126,683	0.31
REYNOSA	128,891	0.4	122,397	0.30
TEPIC			122,387	0.30
TEPACHULA	123,631	0.4	99,985	0.25
NUEVO LAREDO	158,850	0.5	89,771	0.22
MATAMOROS	124,752	0.4	89,567	0.22
TEPIC	71,862	0.2	86,549	0.21
LORETO	86,946	0.3	72,036	0.18
PUERTO ESCONDIDO	2,297	N.R.	66,375	0.16
TEPIC			56,338	0.14
TEPIC	54,067	0.2	52,874	0.13
CAMPECHE	51,955	0.2	50,333	0.12
QUERETARO	21,948	0.1	39,719	0.10
QUERETARO	45,789	0.1	36,332	0.09
TOLUCA	27,860	0.1	24,442	0.06
POZA RICA	17,984	0.1	20,737	0.05
TEPIC			14,366	0.04
TEPIC			4,960	0.01
TAMUIN			2,612	0.01
TOTAL	34,293,764	100.00	40,476,544	100.00

**AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES**  
**AVIACION COMERCIAL "A"**  
**NUMEROS DE OPERACIONES 1985-1991**

AEROPUERTO	1985		1991	
	NUMERO DE OPERACIONES	PARTICIPACION PORCENTUAL	NUMERO DE OPERACIONES	PARTICIPACION PORCENTUAL
MEXICO	120,665	30.5	259,785	21.17
GUADALAJARA	43,197	10.9	99,067	8.07
CANCUN	14,006	3.5	49,654	4.05
MONTERREY	17,314	4.4	44,261	3.61
CULIACAN	4,192	1.1	37,982	3.10
TIJUANA	12,896	3.3	35,991	2.93
HERMOSILLO	7,671	1.9	35,843	2.92
ACAPULCO	19,906	5.0	34,071	2.78
PUERTO VALLARTA	15,350	3.9	32,968	2.69
CHIHUAHUA	6,472	1.6	31,258	2.55
MAZATLAN	17,555	4.4	28,781	2.35
CD. DEL CARMEN	862	0.2	28,241	2.30
TAMPICO	3,755	0.9	28,211	2.30
MERIDA	11,973	3.0	27,127	2.21
TACRUZ	3,263	0.8	25,845	2.11
TEPIC			25,032	2.04
MEXICALI	1,503	0.4	21,584	1.76
TORREON	4,335	1.1	21,282	1.73
VILLAHERMOSA	7,287	1.8	18,429	1.50
OAXACA	5,944	1.5	18,311	1.49
LA PAZ	10,571	2.7	17,147	1.40
COZUMEL	4,828	1.2	16,399	1.34
SAN JOSE DEL CABO	6,197	1.6	13,689	1.12
SAN LUIS POTOSI	928	0.2	13,537	1.10
LORETO	2,163	0.5	13,461	1.10
MORELIA	952	0.2	13,073	1.07
URUAPAN	382	0.1	12,980	1.06
REYNOSA	1,386	0.4	12,953	1.06
GUAYMAS	2,231	0.6	12,742	1.04
ZIHUATANEJO	6,767	1.7	12,621	1.03
DURANGO	2,851	0.7	12,534	1.02
TOLUCA	909	0.2	12,060	0.98

**AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES**  
**AVIACION COMERCIAL "A"**  
**NUMEROS DE OPERACIONES 1985-1991**

AEROPUERTO	1895		1991	
	NUMERO DE OPERACIONES	PARTICIPACION PORCENTUAL	NUMERO DE OPERACIONES	PARTICIPACION PORCENTUAL
LOS MOCHIS	4,719	1.2	11,906	0.97
CD. JUAREZ	3,627	0.9	11,809	0.96
CD. OBREGON	3,914	1.0	11,605	0.95
CHETUMAL	732	0.2	11,564	0.94
LEON	3,230	0.8	11,338	0.92
AGUASCALIENTES	2,176	0.6	9,853	0.80
PUEBLA			9,499	0.77
MINATITLAN	2,104	0.5	9,461	0.77
NOGALES			8,448	0.69
TAPACHULA	1,460	0.4	8,043	0.66
MATAMOROS	1,383	0.4	7,713	0.63
MANZANILLO	4,495	1.1	7,711	0.63
CD. VICTORIA	706	0.2	7,694	0.63
TUXTLA GUTIERREZ	3,440	0.9	7,422	0.60
ZACATECAS	2,057	0.5	5,930	0.48
NUEVO LAREDO	1,384	0.4	5,924	0.48
POZA RICA	306	0.1	4,132	0.34
PUERTO ESCONDIDO	20	N.R.	3,203	0.26
CAMPECHE	586	0.2	3,103	0.25
TEHUACAN			3,003	0.24
TAMUIN			692	0.06
TOTAL	394,650	100	1,226,972	100

**ANALISIS COMPARATIVO DE PASAJEROS POR OPERACIONES**  
**1981 - 1991**  
**AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES**

CONCEPTO	1 9 8 1			1 9 9 1			VARIACION ABSOLUTA 1991 - 1981			VARIACION REL. 1991 - 1981		
	OPS.	PAS	PAS.X OPER.	OPS.	PAS	PAS.X OPER.	OPS.	PAS	PAS.X OPER.	OPS.	PAS	PAS.X OPER.
TOTAL	1,425,524	34,632,408	24.29	1,226,972	40,476,544	32.99	(198,552)	5,844,136	8.69	0.86	1.17	1.36
AEROPUERTOS TURISTICOS	335,536	8,952,443	26.68	295,419	12,176,488	41.22	(40,117)	3,224,045	14.54	0.88	1.36	1.54
CAPULCO	41,304	1,831,900	44.35	34,071	1,534,097	45.03	(7,233)	(297,803)	0.67	0.82	0.84	1.02
CANCUN	28,444	960,106	33.75	49,654	3,653,838	73.59	21,210	2,693,732	39.83	1.75	3.81	2.18
COZUMEL	31,618	624,761	19.76	16,399	541,214	33.00	(15,219)	(83,547)	13.24	0.52	0.87	1.67
CUAYMAS	14,474	87,385	6.04	12,742	126,683	9.94	(1,732)	39,298	3.90	0.88	1.45	1.65
LORETO	10,683	50,644	4.74	13,461	72,036	5.35	2,778	21,392	0.61	1.26	1.42	1.13
PUERTO VALLARTA	36,487	1,027,506	28.16	32,968	1,707,072	51.78	(3,519)	679,566	23.62	0.90	1.66	1.84
PUERTO ESCONDIDO				3,203	66,375	20.72	3,203	66,375	20.72			
SAN JOSE DEL CAB	6,687	156,282	23.37	13,689	701,259	51.23	7,002	544,977	27.86	2.05	4.49	2.19
ZIHUATANEJO	17,839	503,526	28.23	12,621	589,256	46.69	(5,218)	85,730	18.46	0.71	1.17	1.65
TAMPAPA	31,827	774,115	24.32	17,147	464,750	27.10	(14,680)	(309,365)	2.78	0.54	0.60	1.11
MERIDA	35,809	1,100,300	30.73	27,127	880,649	32.46	(8,682)	(219,651)	1.74	0.76	0.80	1.06
MAZATLAN	38,159	1,010,078	26.47	28,781	1,168,668	40.61	(9,378)	158,590	14.14	0.75	1.16	1.53
VERACRUZ	29,908	458,058	15.32	25,845	408,668	15.81	(4,063)	(49,390)	0.50	0.86	0.89	1.03
MINATITLAN	12,297	367,782	29.91	7,711	261,923	33.97	(4,586)	(105,859)	4.06	0.63	0.71	1.14
AEROPUERTOS CONTERIZOS	156,460	1,971,434	12.60	115,581	2,702,504	23.38	(40,879)	731,070	10.78	0.74	1.37	1.86
CD. JUAREZ	15,776	231,115	14.65	11,809	272,471	23.07	(3,967)	41,356	8.42	0.75	1.18	1.57
REYNOSA	16,409	150,301	9.16	12,953	122,397	9.45	(3,456)	(27,904)	0.29	0.79	0.81	1.03
GUADALUPE	35,957	756,096	21.03	35,991	1,750,053	48.62	34	993,957	27.60	1.00	2.31	2.31
TEAPACHULA	14,158	134,356	9.49	8,043	99,985	12.43	(6,115)	(34,371)	2.94	0.57	0.74	1.31
CHETUMAL	10,286	87,101	8.47	11,564	52,874	4.57	1,278	(34,227)	(3.90)	1.12	0.61	0.54
ATAMOROS	15,854	148,235	9.35	7,713	89,567	11.61	(8,141)	(58,668)	2.26	0.49	0.60	1.24
EXICALI	37,666	284,225	7.55	21,584	225,386	10.44	(16,082)	(58,839)	2.90	0.57	0.79	1.38
NUEVO LAREDO	10,354	180,005	17.39	5,924	89,771	15.15	(4,430)	(90,234)	(2.23)	0.57	0.50	0.87
AEROPUERTOS METROPOLITANOS	400,199	18,179,384	45.43	415,173	19,698,362	47.45	14,974	1,518,978	2.02	1.04	1.08	1.04
TEGUAYULCAN				12,060	24,442	2.03	12,060	24,442	2.03			
GUADALAJARA	103,369	3,253,772	31.48	99,067	4,618,450	46.62	(4,302)	1,364,678	15.14	0.96	1.42	1.48
MEXICO	261,531	13,380,529	51.16	259,785	13,170,523	50.70	(1,746)	(210,006)	(0.46)	0.99	0.98	0.99
MONTERREY	35,299	1,545,083	43.77	44,261	1,884,947	42.59	8,962	339,864	(1.18)	1.25	1.22	0.97



# ANALISIS COMPARATIVO DE PASAJEROS POR OPERACIONES

1981 - 1991

## AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES

CONCEPTO	1 9 8 1			1 9 9 1			VARIACION ABSOLUTA 1991 - 1981			VARIACION REL. 1991 - 1981			
	OPS.	PAS	PAS.X OPER.	OPS.	PAS	PAS.X OPER.	OPS.	PAS	PAS.X OPER.	OPS.	PAS	PAS.X OPER.	
	EROPUERTOS REGIONALES	533,329	5,529,147	10.37	400,799	5,899,190	14.72	(132,530)	370,043	4.35	0.75	1.07	1.42
GUASCALIENTES	8,925	55,314	6.20	9,853	259,688	26.36	928	204,374	20.16	1.10	4.69	4.25	
D. VICTORIA	12,163	47,807	3.93	7,694	36,332	4.72	(4,469)	(11,475)	0.79	0.63	0.76	1.20	
LOS MOCHIS				11,906	266,447	22.38	11,906	266,447	22.38				
MORELIA	12,816	55,437	4.33	13,073	86,549	6.62	257	31,112	2.29	1.02	1.56	1.53	
MINATITLAN				9,461	226,353	23.92	9,461	226,353	23.92				
PUEBLA				9,499	56,338	5.93	9,499	56,338	5.93				
SAN LUIS POTOSI	16,530	56,740	3.43	13,537	173,606	12.82	(2,993)	116,866	9.39	0.82	3.06	3.74	
ALTILLO													
RUAPAN	14,041	52,754	3.76	12,980	39,719	3.06	(1,061)	(13,035)	(0.70)	0.92	0.75	0.81	
ZACATECS	4,994	21,514	4.31	5,930	236,609	39.90	936	215,095	35.59	1.19	11.00	9.26	
D. OBREGON	19,789	258,215	13.05	11,605	215,860	18.60	(8,184)	(42,355)	5.55	0.59	0.84	1.43	
D. DEL CARMEN	42,557	438,917	10.31	28,241	220,204	7.80	(14,316)	(218,713)	(2.52)	0.66	0.50	0.76	
CAMPECHE	7,071	22,112	3.13	3,103	50,333	16.22	(3,968)	28,221	13.09	0.44	2.28	5.19	
CULIACAN	46,875	491,943	10.49	37,982	478,977	12.61	(8,893)	(12,966)	2.12	0.81	0.97	1.20	
HIJUAHUA	50,888	514,675	10.11	31,258	518,777	16.60	(19,630)	4,102	6.48	0.61	1.01	1.43	
MURANGO	25,959	260,964	10.05	12,534	179,627	14.33	(13,425)	(81,337)	4.28	0.48	0.69	0.93	
HERMOSILLO	50,103	542,869	10.84	35,843	543,307	15.16	(14,260)	438	4.32	0.72	1.00	1.40	
LEON	25,760	207,633	8.06	11,338	337,605	29.78	(14,422)	129,972	21.72	0.44	1.63	3.69	
AXACA	20,695	540,254	26.11	18,311	468,723	25.60	(2,384)	(71,531)	(0.51)	0.88	0.87	0.98	
POZA RICA	6,887	80,569	11.70	4,132	20,737	5.02	(2,755)	(59,832)	(6.68)	0.60	0.26	0.43	
TAMPICO	49,776	514,113	10.33	28,211	363,511	12.89	(21,565)	(150,602)	2.56	0.57	0.71	1.25	
UXTLA GUTIERREZ	8,586	301,820	35.15	7,422	193,622	26.09	(1,164)	(108,198)	(9.06)	0.86	0.64	0.74	
COAHUILA DE ZARAGOZA	22,181	284,585	12.83	21,282	312,396	14.68	(899)	27,811	1.85	0.96	1.10	1.14	
VILLAHERMOSA	24,615	615,412	25.00	18,429	469,545	25.48	(6,186)	(145,867)	0.48	0.75	0.76	1.02	
EPIC	28,103	84,353	3.00	25,032	122,387	4.89	(3,071)	38,034	1.89	0.89	1.45	1.63	
TEHUACAN	13,850	28,209	2.04	3,003	4,960	1.65	(10,847)	(23,249)	(0.39)	0.22	0.18	0.81	
NOGALES	15,076	39,265	2.60	8,448	14,366	1.70	(6,628)	(24,899)	(0.90)	0.56	0.37	0.65	
TAMUIN	5,089	13,673	2.69	692	2,612	3.77	(4,397)	(11,061)	1.09	0.14	0.19	1.40	

## AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES

CONCEPTO	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	VARIACION	
												ABSOLUTA	RELATIVA
TOTAL AEROPUERTOS TURISTICOS	34,632,408	31,897,557	34,677,114	34,737,524	36,622,307	33,926,180	33,459,044	30,405,609	33,570,800	37,742,265	40,476,544	5,844,136	16.9
ACAPULCO	1,831,900	1,765,774	2,309,717	2,114,204	1,939,478	1,827,136	1,914,906	1,673,943	1,661,293	1,571,592	1,534,097	(297,803)	(16.3)
CANCUN	960,106	1,050,652	1,474,358	1,468,403	1,566,132	1,872,367	2,245,399	1,867,247	2,154,803	3,195,506	3,653,838	2,693,732	280.6
COZUMEL	624,761	524,905	605,314	547,606	525,616	638,307	669,858	507,963	518,406	568,105	541,214	(83,547)	(13.4)
GUAYMAS	87,385	88,865	109,601	126,726	152,934	144,781	144,729	94,091	130,504	131,478	126,683	39,298	45.0
LORETO	50,644	54,618	76,089	100,354	111,456	99,955	101,360	50,785	50,891	77,896	72,036	21,392	42.2
PUERTO VALLARTA	1,027,506	1,051,043	1,525,912	1,468,726	1,366,263	1,371,518	1,647,213	1,616,278	1,641,468	1,688,343	1,707,072	679,566	66.1
PUERTO ESCONDIDO		36,949	41,580	17,083	4,446	63,556	79,580	74,607	76,521	70,422	66,375	66,375	66.375
SAN JOSE DEL CABO	156,282	154,885	248,686	331,563	397,918	302,795	450,687	378,887	458,968	596,266	701,259	544,977	348.7
ZIHUATANEJO	503,526	610,616	714,026	713,068	635,999	561,052	679,810	638,850	608,814	571,569	589,256	85,730	17.0
LA PAZ	774,115	716,996	647,500	593,463	671,085	585,617	527,110	503,176	586,551	505,720	464,750	(309,365)	(40.0)
MÉRIDA	1,100,300	879,302	852,142	797,340	785,779	708,729	761,593	616,025	685,495	790,186	880,649	(219,651)	(20.0)
MAZATLAN	1,010,078	988,649	1,232,916	1,215,601	1,247,928	1,068,958	1,113,884	1,093,792	143,338	1,200,974	1,168,668	158,590	15.7
VERACRUZ	458,058	425,710	363,275	350,658	382,206	307,116	213,109	213,109	263,233	349,591	408,668	(49,390)	(10.8)
MANZANILLO	367,782	359,289	347,951	319,050	321,431	299,738	337,516	310,706	334,694	318,817	261,923	(105,859)	(28.8)
AEROPUERTOS FRONTERIZOS	1,971,434	1,977,921	2,485,672	2,486,733	2,776,934	2,805,312	2,329,388	2,144,643	2,614,038	2,659,590	2,702,504	731,070	37.1
CD JUAREZ	231,115	222,421	236,960	256,770	294,695	294,195	268,226	177,631	235,207	278,312	272,471	41,356	17.9
REYNOSA	150,301	137,630	154,351	155,703	159,045	143,241	130,838	90,775	84,138	87,189	122,397	(27,904)	(18.6)
TIJUANA	756,096	888,121	1,350,896	1,355,760	1,548,534	1,684,817	1,352,339	1,391,553	1,799,001	1,763,454	1,750,053	993,957	131.5
TAPACHULA	134,356	128,420	122,763	124,355	141,582	124,278	108,228	81,059	78,895	82,250	99,985	(34,371)	(25.6)
CHETUMAL	87,101	79,938	62,980	59,595	68,907	59,841	61,575	34,615	36,063	40,595	52,874	(34,227)	(39.3)
MATAMOROS	148,235	135,126	153,389	149,504	152,112	127,050	106,412	76,716	77,072	82,957	89,567	(58,668)	(39.6)
MEXICALI	284,225	229,477	236,943	220,338	235,873	228,062	193,782	189,251	189,529	220,599	225,386	(58,839)	(20.7)
NUEVO LAREDO	180,005	156,788	167,390	164,708	176,186	143,828	107,988	103,043	114,133	104,234	89,771	(90,234)	(50.1)
AEROPUERTOS METROPOLITANOS	18,179,384	16,022,805	16,359,280	16,502,475	17,482,381	15,843,434	15,256,615	14,470,300	16,718,398	18,155,984	19,698,362	1,518,978	8.4
TOLUCA					38,428	42,484	31,133	47,498	24,772	23,016	24,442	24,442	24.442
GUADALAJARA	3,253,772	2,930,805	3,220,786	3,336,986	3,568,375	3,368,242	3,213,356	3,216,108	3,787,513	4,176,839	4,618,450	1,364,678	41.9
MEXICO	13,380,529	11,826,958	11,866,862	11,801,495	12,403,881	11,113,979	10,724,443	10,051,195	11,480,932	12,307,355	13,170,523	(210,006)	(1.6)
MONTERREY	1,545,083	1,265,042	1,271,632	1,363,994	1,471,697	1,318,729	1,287,683	1,155,499	1,425,181	1,648,774	1,884,947	339,864	22.0

# ANALISIS COMPARATIVO DE PASAJEROS

1981-1991

## AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES

CONCEPTO	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	VARIACION	
												ABSOLUTA	RELA-TIVA
<b>AEROPUERTOS REGIONALES</b>	<b>5,529,147</b>	<b>5,188,578</b>	<b>5,283,095</b>	<b>5,584,471</b>	<b>6,254,321</b>	<b>5,425,809</b>	<b>4,986,287</b>	<b>4,151,207</b>	<b>4,923,385</b>	<b>5,290,226</b>	<b>5,899,190</b>	<b>370,043</b>	<b>6.7</b>
AGUASCALIENTES	55,314	60,060	116,996	183,308	200,192	185,437	187,322	152,905	228,321	241,820	259,688	204,374	369.5
CD. VICTORIA	47,807	27,873	54,664	61,819	61,960	54,066	53,370	29,159	35,753	33,372	36,332	(11,475)	(24.0)
LOS MOCHIS			81,563	207,287	261,491	219,108	214,458	233,354	248,978	241,352	266,447	266,447	
MORELIA	55,437	41,415	21,193	23,840	82,081	94,576	106,406	60,400	71,666	70,709	86,549	31,112	56.1
MINATITLAN		120,730	249,085	249,051	260,924	198,489	167,799	167,392	182,953	218,291	226,353	226,353	
PUEBLA					4,743	31,635	22,502	16,423	14,649	36,725	56,338	56,338	
SAN LUIS POTOSI	56,740	51,888	27,439	27,677	104,566	117,495	103,021	87,812	118,753	137,655	173,606	116,866	206.0
SALTILLO					41,338	36,423	18,472					0	
URUJAPAN	52,754	42,206	53,390	58,146	41,595	35,600	28,190	29,831	42,588	41,819	39,719	(13,035)	(24.7)
ZACATECS	21,514	13,877	69,751	137,987	178,018	154,258	139,594	207,039	244,542	270,850	236,609	215,095	999.8
CD. OBREGON	258,215	259,539	231,804	214,616	247,823	199,445	177,502	143,379	180,555	178,816	215,860	(42,355)	(16.4)
CD. DEL CARMEN	438,917	376,982	345,294	366,033	348,744	293,119	243,387	234,893	216,937	213,549	220,204	(218,713)	(49.8)
CAMPECHE	22,112	51,424	61,487	52,753	59,790	50,560	48,583	59,408	73,372	55,776	50,333	28,221	127.6
CULIACAN	491,943	440,757	414,733	393,386	407,536	360,154	322,597	307,464	365,627	376,993	478,977	(12,966)	(2.6)
CHIHUAHUA	514,675	499,922	503,026	485,660	512,797	448,761	407,917	312,695	439,707	483,320	518,777	4,102	0.8
DURANGO	260,964	237,237	201,082	200,272	219,455	207,967	192,326	144,490	182,391	196,069	179,627	(81,337)	(31.2)
HERMOSILLO	542,869	489,367	496,071	525,646	615,434	551,601	501,195	387,327	547,407	532,860	543,307	438	0.1
LEON	207,633	203,755	171,153	169,449	251,719	213,360	200,066	134,032	158,097	241,088	337,605	129,972	
OAXACA	540,254	494,628	530,573	547,585	563,685	471,089	467,932	413,459	467,896	447,656	468,723	(71,531)	(13.2)
POZA RICA	80,569	33,722	24,511	21,771	25,488	24,590	21,161	7,278	7,175	8,778	20,737	(59,832)	(74.3)
TAMPICO	514,113	492,311	436,104	425,333	473,895	373,512	304,360	266,049	274,402	331,980	363,511	(150,602)	(29.3)
TUXTLA GUTIERREZ	301,820	256,931	265,947	279,854	323,855	266,476	222,888	137,105	132,104	140,250	193,622	(108,198)	(35.8)
TORREON	284,585	265,874	269,344	283,009	306,837	289,043	293,270	177,611	244,270	276,578	312,396	27,811	9.8
VILLAHERMOSA	615,412	554,993	531,814	566,015	568,511	459,234	449,342	339,968	352,618	399,328	469,545	(145,867)	(23.7)
TEPIC	84,353	107,844	74,691	61,606	54,505	57,453	70,402	80,265	74,896	94,603	122,387	38,034	45.1
TEHUACAN	28,209	22,416	18,420	11,615	8,917	7,600	4,187	4,159	5,059	5,294	4,960	(23,249)	(82.4)
NOGALES	39,265	30,958	24,221	25,836	23,564	23,010	16,247	16,239	11,839	12,915	14,366	(24,899)	(63.4)
TAMUIN	13,673	11,869	8,739	4,917	4,858	1,748	1,791	1,071	830	1,780	2,612	(11,061)	(80.9)

## ANALISIS COMPARATIVO DE OPERACIONES

I-1991

## AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES

CONCEPTO	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	VARIACION	
												ABSOLUTA	RELATIVA
TOTAL	1,425,524	1,317,955	1,129,084	1,058,931	1,008,077	895,154	1,010,329	959,259	896,001	1,075,418	1,228,972	(108,552)	(14)
AEROPUERTOS TURISTICOS	335,536	319,807	302,069	283,011	235,355	251,899	257,500	242,195	257,084	275,464	295,419	(40,117)	(12)
ACAPULCO	41,304	37,411	40,881	40,134	30,604	30,664	31,979	32,700	36,432	33,623	34,071	(7,233)	(18)
CANCUN	28,444	24,979	26,528	23,668	22,864	29,026	30,487	29,273	32,892	45,420	49,654	21,210	75
COZUMEL	31,618	26,691	24,518	20,779	20,068	25,042	23,659	20,423	20,140	18,028	16,399	(15,219)	(48)
GUAYMAS	14,474	13,808	13,712	12,762	12,548	12,005	12,165	11,320	11,278	11,929	12,742	(1,732)	(12)
LORETO	10,683	10,733	10,212	10,422	9,683	10,046	10,244	9,397	10,062	12,245	13,461	2,778	26
PUERTO VALLARTA	36,487	33,978	31,909	25,642	22,507	23,073	25,229	25,519	27,289	28,696	32,968	(3,519)	(10)
PUERTO ESCONDIDO		3,017	3,514	1,324	203	3,101	2,955	2,917	2,495	2,827	3,203	3,203	
SAN JOSE DEL CABO	6,687	7,071	8,498	10,075	9,548	9,901	10,418	9,269	10,795	13,030	13,689	7,002	105
ZIHUATANEJO	17,839	28,564	24,114	17,584	15,627	17,588	16,251	15,741	12,623	12,100	12,621	(5,218)	(29)
LA PAZ	31,827	27,690	22,674	20,031	18,601	18,836	19,089	17,074	19,057	17,208	17,147	(14,680)	(48)
MERIDA	35,809	29,563	22,870	21,289	21,718	22,520	24,399	19,381	19,110	23,322	27,127	(8,682)	(24)
MAZATLAN	38,159	34,798	31,915	26,742	27,268	26,325	24,844	24,269	25,707	26,669	28,781	(9,378)	(25)
VERACRUZ	29,908	29,207	23,723	21,450	18,258	17,650	17,475	17,021	20,959	22,036	25,845	(4,063)	(14)
MANZANILLO	12,297	12,297	17,001	11,131	7,862	8,122	8,506	7,891	8,247	8,331	7,711	(4,586)	(37)
AEROPUERTOS FRONTERIZOS	156,460	139,789	125,368	118,615	109,990	107,246	111,196	104,535	105,286	102,529	115,581	(40,879)	(26)
CD. JUAREZ	15,776	13,200	10,996	9,837	10,510	11,509	11,088	10,939	11,323	11,436	11,809	(3,967)	(25)
REYNOSA	18,409	14,514	11,825	11,943	11,592	10,021	11,118	11,639	11,085	12,054	12,953	(3,456)	(21)
TIJUANA	35,957	36,162	38,458	35,267	31,637	32,877	30,450	27,291	29,297	29,647	35,991	34	0
TAPACHULA	14,158	12,092	8,107	11,682	9,828	7,358	7,299	6,427	7,257	7,300	8,043	(6,115)	(43)
CHEMUMAL	10,286	8,562	6,641	4,846	6,078	6,073	10,236	9,575	10,090	9,906	11,564	1,278	12
MATAMOROS	15,854	12,764	13,010	11,615	10,756	8,698	9,591	7,825	6,940	6,802	7,713	(8,141)	(51)
MEXICALI	37,666	33,313	28,114	25,069	22,344	22,505	24,800	23,878	23,075	19,793	21,584	(16,082)	(43)
NUEVO LAREDO	10,354	9,162	7,217	8,356	7,247	6,205	6,814	6,961	6,219	5,591	5,924	(4,430)	(43)

## ANALISIS COMPARATIVO DE OPERACIONES

1981-1991

## AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES

CONCEPTO	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	VARIACION	
												ABSOLUTA	RELATIVA
<b>AEROPUERTOS METROPOLITANOS</b>	<b>400,199</b>	<b>363,869</b>	<b>311,457</b>	<b>295,233</b>	<b>296,773</b>	<b>287,430</b>	<b>288,370</b>	<b>275,284</b>	<b>303,002</b>	<b>344,870</b>	<b>415,173</b>	<b>14,974</b>	<b>4</b>
TOLUCA					6,142	7,320	6,963	10,337	9,392	10,758	12,060	12,060	
GUADALAJARA	103,369	94,428	84,821	79,284	75,483	74,728	73,276	67,614	74,386	83,692	99,067	(4,302)	(4)
MEXICO	261,531	237,767	198,255	188,610	188,356	180,045	182,774	174,918	194,542	218,126	259,785	(1,746)	(1)
MONTERREY	35,299	31,674	28,581	27,339	26,792	25,339	25,357	22,417	24,682	32,294	44,261	8,962	25
<b>AEROPUERTOS REGIONALES</b>	<b>533,329</b>	<b>494,510</b>	<b>390,190</b>	<b>380,072</b>	<b>365,959</b>	<b>348,579</b>	<b>353,263</b>	<b>337,245</b>	<b>330,629</b>	<b>352,555</b>	<b>400,799</b>	<b>(132,530)</b>	<b>(25)</b>
AGUASCALIENTES	8,925	9,460	6,234	5,682	5,859	6,863	6,683	7,345	7,960	8,121	9,853	928	10
CD. VICTORIA	12,163	11,221	11,134	8,589	8,105	7,357	7,434	5,941	6,551	7,112	7,694	(4,469)	(37)
LOS MOCHIS			2,070	8,485	10,747	9,474	9,316	10,611	10,135	10,172	11,906	11,906	
MORELIA	12,816	11,959	7,609	5,907	5,564	7,577	10,284	9,356	9,905	10,092	13,073	257	2
MINATITLAN		4,754	10,711	14,748	8,350	5,661	5,611	5,802	6,657	8,478	9,461	9,461	
PUEBLA					898	7,793	6,710	7,828	6,768	8,301	9,499	9,499	
SAN LUIS POTOSI	16,530	18,015	9,083	9,719	9,136	8,943	9,796	9,188	9,800	10,596	13,537	(2,993)	(18)
SALTILLO		3,017	3,504	1,324	2,681	4,900	4,710						
URUAPAN	14,041	15,721	14,310	14,295	7,747	7,972	10,844	10,632	10,320	10,867	12,980	(1,061)	(8)
ZACATECAS	4,994	4,072	3,196	3,970	4,430	4,418	3,953	4,392	4,732	5,702	5,930	936	19
CD OBREGON	19,789	18,793	12,201	11,295	11,012	10,105	9,712	9,230	9,146	9,870	11,605	(8,184)	(41)
CD DEL CARMEN	42,557	38,246	34,925	36,203	34,064	30,876	30,502	30,533	26,170	28,035	28,241	(14,316)	(34)
CAMPECHE	7,071	5,380	3,913	3,398	3,490	6,327	6,781	8,174	5,965	3,117	3,103	(3,968)	(56)
CULIACAN	46,875	40,846	39,408	36,584	37,318	36,481	32,676	31,880	29,590	31,375	37,982	(8,893)	(19)
CHIHUAHUA	50,888	42,887	33,959	28,945	28,875	26,644	29,445	29,198	27,492	28,799	31,258	(19,630)	(39)
DURANGO	25,959	21,629	12,623	11,457	10,191	9,448	11,158	10,610	13,247	13,169	12,534	(13,425)	(52)
HERMOSILLO	50,103	40,933	23,562	32,197	32,423	30,070	32,129	32,614	34,888	33,313	35,843	(14,260)	(28)
LEON	25,760	22,984	18,358	12,429	14,466	10,284	9,666	8,931	8,980	10,150	11,338	(14,422)	
OAXACA	20,695	19,397	17,728	20,301	18,616	14,680	14,541	14,006	15,715	16,588	18,311	(2,384)	(12)
POZA RICA	6,887	6,526	3,864	3,196	3,392	3,249	2,924	2,837	2,844	3,214	4,132	(2,755)	(40)
TAMPICO	49,776	46,123	31,701	27,566	27,356	23,952	23,689	24,083	22,125	22,901	28,211	(21,565)	(43)
TUXTLA GUTIERREZ	8,586	5,666	5,335	5,836	12,944	10,954	10,556	5,220	4,643	5,399	7,422	(1,164)	(14)
TORREON	22,181	19,276	14,694	14,334	13,208	13,652	14,487	14,329	17,367	17,905	21,282	(899)	(4)
VII LAHERMOSA	24,615	22,915	19,322	26,310	25,010	24,023	20,527	15,221	12,212	14,900	18,429	(6,186)	(25)
TEPIC	28,103	38,836	29,656	20,137	15,010	14,096	16,107	16,586	17,157	23,086	25,032	(3,071)	(11)
TEHUACAN	13,850	9,802	7,988	5,186	3,813	3,180	2,248	2,224	2,649	2,636	3,003	(10,847)	(78)
NOGALES	15,076	12,100	9,160	9,731	8,938	8,694	9,895	9,914	7,196	7,990	8,448	(6,628)	(44)
TAMUIN	5,089	5,952	3,942	2,248	2,316	706	899	580	415	667	692	(4,397)	(86)

México: Desarrollo Económico e Infraestructura (anexo)

CONTENIDO

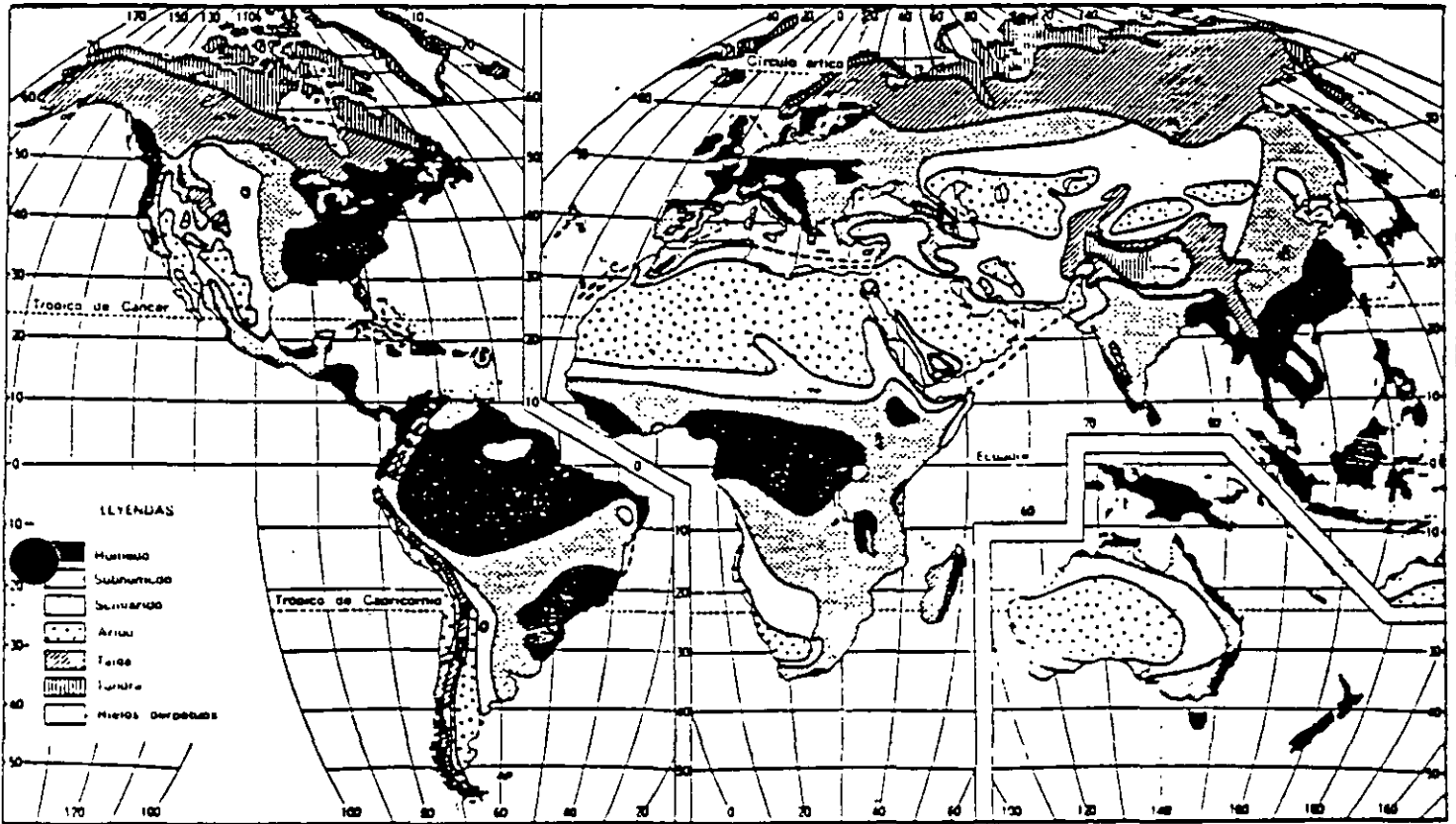
Laminas, gráficas y cuadros.

1. Efectos del clima. Humedad y Desarrollo.
2. Población y Producto Interno Bruto Mundial 1991.
3. Productividad relativa en los países con mayor producto 1991. Gráfica.
4. Población y Superficie Mundial 1991.
5. Densidad demográfica de los países más poblados 1991.
6. El Oasis de América (Mapa).
7. México: Geografía, Cultura y Desarrollo en los '90. (2)
8. México Distribución regional del Ingreso 1970-1988 (Curva de Lorenz)
9. México: Población y Obra Pública 1910-1994. (2)
10. México: Población y Obra Pública 1910-1994. TMAC (2)
11. México: Inflación y PIB 1960-1993.
12. México: Indicadores de Marginación Nacional 1940-1990.(Censos)
13. México: Participación de los salarios con respecto al PIB 1950-1992.
14. México: Salario mínimo nominal en dólares (1981=100) 1940-1970, gráfica y cuadro.
15. México: Salario mínimo nominal en dólares (1981=100) 1970-1994. Gráfica y Cuadro.
16. México: Distribución del ingreso por deciles 1950-1989. Cuadro y Gráfica-
17. México: Tipología de Productores Agropecuarios por Entidad Federativa 1983.
18. México: Población Ocupada y Producto Percápita por Ramas Económicas 1963-1989.
19. México: Productividad relativa por Rama de Actividad 1963-1989.
20. México: Indicadores de Carga Fiscal y Coeficiente de deuda Pública Federal/PIB. 1934-1994 (2).
21. México: Carga fiscal y Coeficiente de Endeudamiento Gráfica 1934-1994.
22. México: Fuente de los Ingresos Federales en Términos de Porcentaje para años seleccionados 1869-1989.
23. México: Gastos efectivos del Gobierno Federal, según el carácter político de la función 1910-1992.
24. México: Gasto relativo del Gobierno Federal. 1910-1992 Gráfica.

25. México: Estructura de la Cuenta Corriente 1940-1994. (2).
26. Inversión extranjera directa en México 1939-1994.
27. México: Inflación y Tasas de Interés 1968-1994.
28. Ocupación u Desocupación en México 1995.
29. Distribución de la Población Ocupada 1995.

# EFFECTOS DEL CLIMA

## HUMEDAD Y DESARROLLO



Buen pasto tropical entre el cual hay hierba guinea



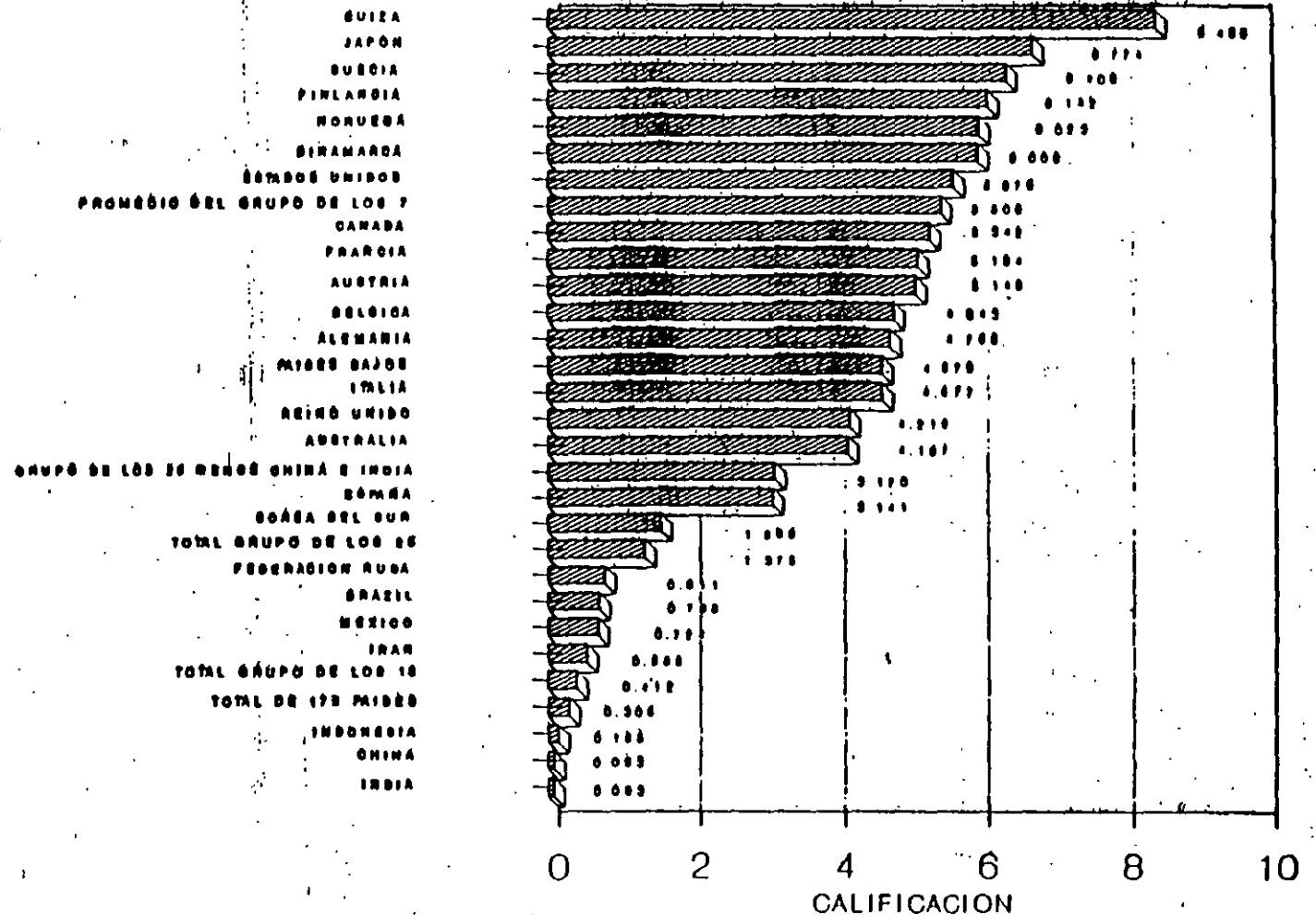
# POBLACION Y PRODUCTO INTERNO BRUTO MUNDIAL EN 1991

( MILL.DE PERSONAS Y DE DOLARES ) - CUADRO 2

	PAIS	POBLACION MILL PERSONAS	(1) (%)	P.I.B. MILES DE MILLS. DE DOLARES	(2) (%)	(3)-(2) PRODUCTIVIDAD RELATIVA	PRODUCTO PERCAPITA DOLARES
1.-	ESTADOS UNIDOS	252.0	4.730	5,686.0	26.861	5.679	22,564
2.-	JAPON	124.0	2.327	3,337.2	15.765	6.774	26,913
3.-	ALEMANIA	79.6	1.494	1,516.8	7.165	4.796	19,055
4.-	FRANCIA	56.7	1.064	1,167.7	5.516	5.184	20,595
5.-	ITALIA	57.7	1.083	1,072.2	5.065	4.677	18,582
6.-	REINO UNIDO	57.5	1.079	963.7	4.553	4.219	16,760
7.-	CANADA	28.8	0.503	568.8	2.687	5.342	21,223
	TOTAL DEL GRUPO (7)	654.3	12.280	14,312.4	67.612	5.506	21,874
8.-	ESPAÑA	39.0	0.732	486.6	2.299	3.141	12,477
9.-	FEDERACION RUSA	148.9	2.795	479.5	2.265	0.811	3,221
10.	BRAZIL	153.2	2.875	447.3	2.113	0.735	2,920
11.	CHINA	1,150.1	21.585	424.0	2.003	0.093	0,369
12.	AUSTRALIA	17.3	0.325	287.8	1.359	4.187	16,634
13.	INDIA	865.0	16.234	284.7	1.345	0.083	0,329
14.	PAISES BAJOS	15.0	0.282	278.8	1.317	4.679	18,589
15.	COREA DEL SUR	43.2	0.811	274.5	1.297	1.599	6,353
16.	MEXICO	87.8	1.648	252.4	1.192	0.724	2,874
17.	SUIZA	6.7	0.126	225.9	1.067	8.486	33,715
18.	SUECIA	8.6	0.161	218.9	1.034	6.408	25,457
19.	BELGICA	10.0	0.188	192.4	0.909	4.843	19,240
20.	AUSTRIA	7.7	0.145	157.5	0.744	5.149	20,455
21.	IRAN	57.8	1.085	127.4	0.602	0.555	2,204
22.	FINLANDIA	5.0	0.094	122.0	0.576	6.142	24,400
23.	DINAMARCA	5.1	0.096	121.7	0.575	6.006	23,863
24.	INDONESIA	181.4	3.405	111.4	0.526	0.155	0,614
25.	NORUEGA	4.3	0.081	102.9	0.486	6.023	23,930
	TOTAL DEL GRUPO (18)	2,806.1	52.665	4,595.7	21.710	0.412	1,638
	TOTAL DE LOS GRUPOS (25)	3,460.4	64.945	18,908.2	89.322	1.375	5,464
	(MENOS CHINA E INDIA (23))	1,445.3	27.125	18,199.5	85.975	3.170	12,592
	RESTO DE LOS PAISES (175)	1,867.8	35.055	2,260.3	10.678	0.305	1,210
	TOTAL DE LOS PAISES (200)	5,328.2	100.000	21,168.5	100.000	1.000	3,973

FUENTE: THE WORLD BANK ATLAS: 25TH ANNIVERSARY EDITION, 1992. WORLD BANK

# PRODUCTIVIDAD RELATIVA EN LOS PAISES CON MAYOR PRODUCTO EN 1991



**POBLACION Y SUPERFICIE MUNDIAL 1991**

**CUADRO**

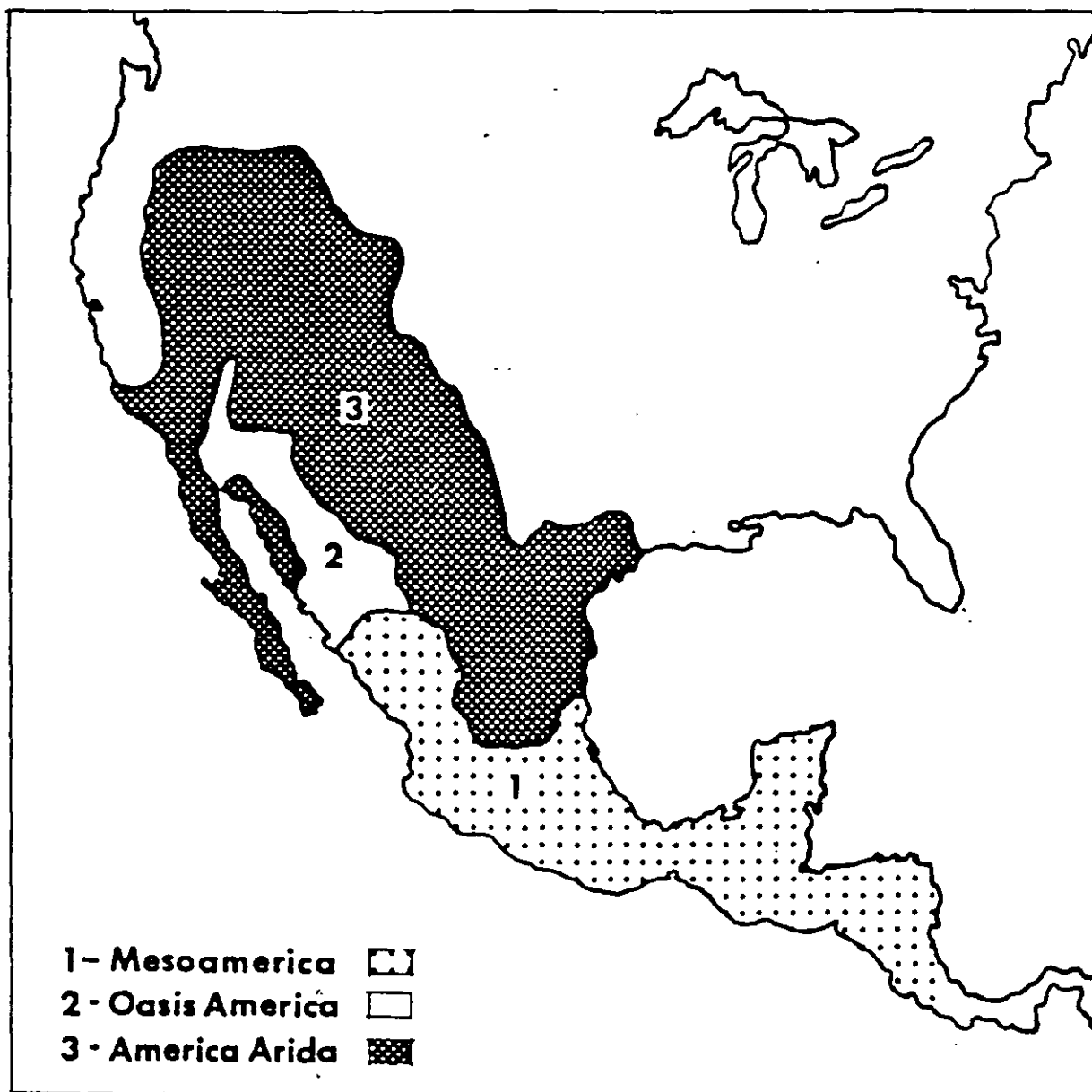
	<b>PAISES MAS POBLADOS</b>	<b>POBLACION (MILES PERSONAS) 1991</b>	<b>POBLACION ESTRUCTURA %</b>	<b>SUPERFICIE MILES KMS. 1990</b>	<b>SUPERFICIE ESTRUCTURA %</b>	<b>DENSIDAD DEMOGRAFICA HABITANTES x KM2.</b>
1	CHINA	1,150,100.0	21.37	9,581	7.1703	120.29
2	INDIA	865,000.0	16.07	3,288	2.4658	263.08
3	ESTADOS UNIDOS	252,000.0	4.68	9,373	7.0293	26.89
4	INDONESIA	181,400.0	3.37	1,905	1.4287	95.22
5	BRASIL	153,200.0	2.85	8,512	6.3836	18.00
6	FEDERACION RUSA	148,900.0	2.77	3,380	2.5348	44.05
7	JAPON	123,900.0	2.30	378	0.2835	327.78
8	NIGERIA	118,800.0	2.21	924	0.6930	128.57
9	PAKISTAN	115,600.0	2.15	796	0.5970	145.23
10	BANGLADESH	108,800.0	2.02	144	0.1080	755.56
11	MEXICO	87,800.0	1.63	1,958	1.4684	44.84
12	ALEMANIA	79,600.0	1.48	357	0.2677	222.97
13	VIET NAM	67,800.0	1.26	330	0.2475	205.45
14	FILIPINAS	62,700.0	1.16	300	0.2250	209.00
15	IRAN	57,800.0	1.07	1,648	1.2359	35.07
16	ITALIA	57,700.0	1.07	301	0.2257	191.69
17	REINO UNIDO	57,500.0	1.07	245	0.1837	234.69
18	TURQUIA	57,200.0	1.06	779	0.5842	73.43
19	TAILANDIA	56,700.0	1.05	513	0.3847	53
20	EGIPTO	53,100.0	0.99	1,001	0.7507	1.05
	SUMA 20 PAISES	3,855,600.0	71.64	45,693	34.27	84.38
	RESTO 180 PAISES	1,528,600.0	27.64	87,649	65.73	17.42
	TOTAL MUNDIAL (200 PAISES)	5,382,200.0	100.00	133,342	100.00	40.36

FUENTE POBLACION: THE WORLD BANK ATLAS 25TH. ANNIVERSARY EDITION 1992.

FUENTE SUPERFICIE: INDICADORES DEL DESARROLLO MUNDIAL INFORME SOBRE EL DESARROLLO MUNDIAL 1992.  
LA SUPERFICIE DE RUSIA ES ESTIMADA.



# EL OASIS DE AMERICA



*Areas culturales de México*

MÉXICO: GEOGRAFÍA, CULTURA Y DESARROLLO EN LOS '90  
MESOAMÉRICA ARIDOAMÉRICA

	PIB '70-'88 CRECIMTO (2)	PIB '70-'88 PARTICIPN % (2)	PIB '81 MILLS. DLS.	POBLACN % 1990	POBLACN '91. MILLS (E)	PRODUCTO PERCAPITA '81 DLLS	POB. ECO. ACTIVA '89 MILES	TASA DE DESEMPLEO '89 (E)	TASA DE CRECIMTO POBL 70-90	HABITANTES POR KM2 1990	SUPERFICIE % (1)
<b>TOTAL NACIONAL</b>	4.20	100.00	262,408.27	100.00	82.78	2,783.34	26,016.80	10.30	3.26	42.27	100.00
<b>I. ARIDOAMÉRICA</b>	4.20	28.70	72,433.37	29.60	24.42	2,887.58	7,127.00	8.40	3.66	41.88	58.80
1 AGUASCALIENTES	5.50	0.64	1,615.24	0.90	0.74	2,168.57	188.40	7.00	5.39	128.76	0.30
2 BAJA CALIFORNIA	3.40	2.55	6,435.72	2.00	1.66	3,888.18	475.20	7.00	4.33	23.65	3.60
3 BAJA CALIFORNIA SUR	4.70	0.43	1,085.24	0.40	0.33	3,278.27	82.40	7.00	6.84	4.31	3.70
4 CHIHUAHUA	3.30	3.11	7,849.05	3.00	2.48	3,161.37	738.20	7.00	2.45	9.87	12.60
5 COAHUILA	3.70	2.71	6,839.53	2.40	1.99	3,443.45	570.20	7.00	3.66	13.01	7.70
6 DURANGO	4.10	1.30	3,280.95	1.70	1.41	2,332.01	420.80	17.50	2.09	11.30	6.10
7 GUANAJUATO	3.90	3.17	8,000.48	4.90	4.06	1,972.87	1,152.40	11.40	3.58	130.12	1.60
8 NUEVO LEÓN	3.20	5.80	14,638.10	3.80	3.14	4,654.58	947.10	7.00	3.92	47.81	3.30
9 QUERÉTARO	5.80	0.92	2,321.91	1.30	1.08	2,158.15	264.20	7.00	5.35	88.73	0.60
10 SAN LUIS POTOSÍ	4.20	1.49	3,760.48	2.50	2.07	1,817.53	626.90	15.80	2.67	31.85	3.20
11 SONORA	5.50	2.73	6,890.00	2.20	1.82	3,784.22	570.70	3.30	3.13	9.85	9.40
12 TAMAULIPAS	3.40	3.01	7,596.67	2.80	2.32	3,278.27	735.80	8.20	2.58	28.11	4.10
13 ZACATECAS	2.90	0.84	2,120.00	1.60	1.32	1,601.02	354.70	17.00	-1.65	17.03	3.80

	PIB '70-'88 CRECIMTO (2)	PIB '70-'88 PARTICIPN % (2)	PIB '81 MILLS. DLS.	POBLACN % 1990	POBLACN '91. MILLS (E)	PRODUCTO PERCAPITA '81 DLLS	POB. ECO. ACTIVA '89 MILES	TASA DE DESEMPLEO '89 (E)	TASA DE CRECIMTO POBL 70-90	HABITANTES POR KM2 1990	SUPERFICIE % (1)
<b>MESOAMÉRICA TOTAL</b>	4.60	71.30	178,872.90	70.60	68.33	2,638.11	18,989.80	11.20	4.36	670.88	40.20
<b>II. MESOAMÉRICA ALTA</b>	4.90	43.31	109,331.46	32.10	26.68	2,009.88	9,179.80	12.83	5.76	1,100.02	4.40
1 DISTRITO FEDERAL	4.30	27.80	70,187.16	10.20	8.44	8,314.52	3,903.20	25.20	0.95	5,494.67	0.10
2 HIDALGO*	4.10	1.29	3,255.71	2.30	1.90	1,710.40	595.20	17.20	2.73	89.61	1.10
3 MÉXICO	5.80	9.58	24,178.10	12.10	10.01	2,414.44	2,839.90	7.00	7.43	457.38	1.10
4 MORELOS	3.80	1.03	2,599.52	1.50	1.24	2,094.03	358.00	4.40	4.46	241.93	0.30
5 PUEBLA	4.00	3.12	7,874.29	5.10	4.22	1,865.61	1,274.40	15.20	3.06	121.41	1.70
6 TLAXCALA	7.50	0.49	1,236.67	0.90	0.74	1,660.31	206.20	6.20	3.91	195.12	0.20

	PIB '70-'88 CRECIMTO (2)	PIB '70-'88 PARTICIPN % (2)	PIB '81 MILLS. DLS.	POBLACN % 1990	POBLACN '91. MILLS (E)	PRODUCTO PERCAPITA '81 DLLS	POB. ECO. ACTIVA '89 MILES	TASA DE DESEMPLEO '89 (E)	TASA DE CRECIMTO POBL 70-90	HABITANTES POR KM2 1990	SUPERFICIE % (1)
<b>III. MESOAMÉRICA BAJA</b>	4.50	27.99	70,841.46	38.40	31.78	2,288.33	9,712.70	8.87	4.94	41.54	35.80
1 CAMPECHE	4.40	0.45	1,135.71	0.60	0.50	2,287.16	158.30	6.60	5.28	10.20	2.60
2 COLIMA	5.10	0.48	1,211.43	0.50	0.41	2,927.57	128.10	7.00	3.62	77.85	0.30
3 CHIAPAS	5.60	1.93	4,870.85	3.80	3.23	1,508.14	884.80	3.10	4.87	43.36	3.80
4 JALISCO*	4.00	8.94	17,515.24	6.50	5.38	3,255.98	1,666.00	7.90	2.86	65.87	4.10
5 GUERRERO	3.40	1.60	4,038.10	3.20	2.65	1,524.78	847.40	26.70	3.06	41.10	3.20
6 MICHOACÁN	3.90	2.49	6,284.29	4.40	3.64	1,725.77	1,028.50	13.80	2.48	9.03	3.00
7 NAYARIT	3.10	0.76	1,918.10	1.00	0.83	2,317.66	247.60	7.10	2.37	29.55	1.40
8 OAXACA	4.50	1.41	3,558.57	3.70	3.06	1,162.13	1,011.30	24.70	2.38	31.68	4.80
9 SINALOA*	3.60	2.39	6,031.91	2.70	2.23	2,699.42	669.80	3.30	3.54	38.06	3.00
10 QUINTANA ROO	9.80	0.36	908.57	0.60	0.50	1,829.73	155.20	3.00	22.32	9.80	2.60
11 TABASCO	10.60	2.44	6,158.10	1.90	1.57	3,916.27	385.90	0.20	4.56	60.87	1.30
12 VERACRUZ	2.90	5.55	14,007.15	7.70	6.37	2,198.05	2,116.40	17.70	3.00	85.36	3.70
13 YUCATÁN	4.30	1.19	3,003.33	1.70	1.41	2,134.69	433.40	7.20	3.81	34.66	2.00

1. SUPERFICIE CONTINENTAL DE LA REPÚBLICA MEXICANA 1'967,183 KM2

2. MEDIA ARITMÉTICA

\*ESTADOS QUE FORMAN PARTE DE MESOAMÉRICA Y ARIDOAMÉRICA

EN BASE A ESTUDIOS DE: INEGI, CENSOS DE POBLACIÓN, ANEXO ESTADÍSTICO 4o INFORME DE GOB. 1992, CIDE, ATLAS DE MÉXICO Y CONAPO  
OLIVER RODRIGUEZ, JESÚS ALBERTO. MÉXICO: FORMACIÓN SOCIOECONÓMICA Y POLÍTICA. ENSAYOS 1988-1995.

CUADRO 1/2

MÉXICO: GEOGRAFÍA, CULTURA Y DESARROLLO EN LOS '90  
MESOAMÉRICA Y ARIDOAMÉRICA

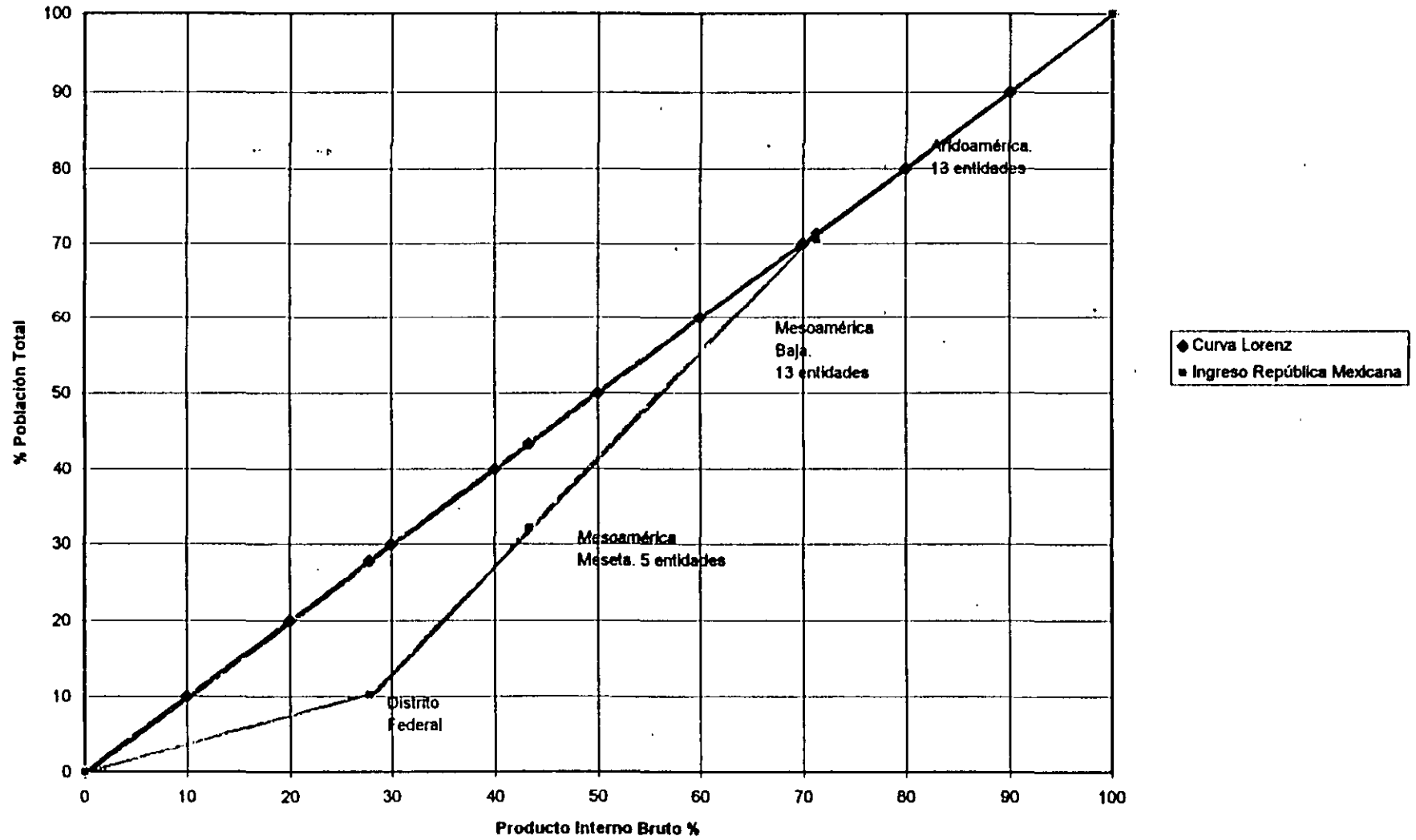
	% PRODUCT EXCEDENTARIOS '83 EJIDOS Y COMUNIDADES	PEQUEÑOS PROPIETARIOS	% DE POBLAC ANALFABETA 1990	15 AÑOS Y MAS SIN PRIMARIA COMPLETA '90	% POBLACIÓN OCUP C/HASTA 2 SALARIOS MÍN '90	% OCUPANTES VIVIENDA S/AGUA ENTUBADA '90	% POBLAC EN LOCS C/MENOS DE 5000 HABITANTES 1990	% OCUPANTES EN VIVIENDA S/ENERGÍA ELÉCTRICA '90
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>20.80</b>	<b>14.60</b>	<b>12.80</b>	<b>38.80</b>	<b>83.22</b>	<b>20.40</b>	<b>37.40</b>	<b>13.10</b>
<b>I. ARIDOAMÉRICA</b>	<b>47.00</b>	<b>40.54</b>	<b>8.43</b>	<b>34.62</b>	<b>59.89</b>	<b>14.94</b>	<b>31.84</b>	<b>12.07</b>
AGUASCALIENTES	70.00	64.00	7.06	33.85	62.53	4.18	26.97	4.97
BAJA CALIFORNIA	100.00	100.00	4.68	24.01	39.96	19.59	11.95	10.49
BAJA CALIFORNIA SUR	100.00	100.00	5.39	27.77	54.06	10.17	25.60	11.10
CHIHUAHUA	54.00	45.00	6.12	30.86	52.81	11.96	25.57	13.23
COAHUILA	30.00	22.00	5.48	28.18	60.89	7.76	17.13	5.24
DURANGO	25.00	18.00	6.99	39.49	67.65	14.98	49.29	13.73
GUANAJUATO	41.00	33.00	16.57	48.91	61.32	16.77	40.82	12.50
NUEVO LEÓN	21.00	16.00	4.65	23.18	58.74	6.70	9.48	3.55
QUERÉTARO	34.00	24.00	15.37	39.60	60.46	16.43	47.68	15.65
SAN LUIS POTOSÍ	4.00	3.00	14.95	44.51	71.14	33.77	49.90	27.98
SONORA	80.00	73.00	5.62	29.08	52.70	8.52	25.99	9.24
TAMAULIPAS	50.00	28.00	6.88	32.15	61.07	18.66	21.51	15.90
ZACATECAS	2.00	1.00	9.88	49.13	72.70	24.89	62.06	13.30
<b>MESOAMÉRICA TOTAL</b>	<b>10.00</b>	<b>7.60</b>	<b>14.83</b>	<b>38.73</b>	<b>68.36</b>	<b>21.86</b>	<b>38.80</b>	<b>12.68</b>
<b>II. MESOAMÉRICA ALTA</b>	<b>15.00</b>	<b>9.50</b>	<b>12.67</b>	<b>33.95</b>	<b>66.86</b>	<b>16.20</b>	<b>32.71</b>	<b>9.16</b>
DISTRITO FEDERAL	0.00	0.00	4.00	16.77	60.47	3.33	0.32	0.76
HIDALGO*	7.00	5.00	20.69	45.73	73.70	29.86	62.88	22.60
MÉXICO	14.00	10.00	9.03	28.74	62.73	14.70	21.30	6.44
MORELOS	46.00	35.00	11.95	33.98	59.50	11.37	26.56	3.96
PUEBLA	10.00	7.00	19.22	44.90	72.41	29.22	46.45	15.47
TLAXCALA	13.00	9.00	11.13	33.60	72.33	8.73	38.73	5.64
<b>III. MESOAMÉRICA BAJA</b>	<b>11.36</b>	<b>8.54</b>	<b>16.60</b>	<b>46.51</b>	<b>63.84</b>	<b>27.71</b>	<b>45.09</b>	<b>16.01</b>
CAMPECHE	0.00	0.00	15.40	44.82	68.07	29.52	36.21	15.02
COLIMA	24.00	16.00	9.30	36.02	50.40	6.61	22.39	5.82
CHIAPAS	4.00	2.00	30.12	62.08	80.08	42.09	66.56	34.92
JALISCO*	17.00	12.00	8.90	35.92	55.49	13.80	23.02	7.87
GUERRERO	0.00	0.00	26.87	50.36	67.81	44.03	56.13	22.63
MICHOACÁN	19.00	14.00	17.32	48.56	59.88	20.90	46.34	13.13
NAYARIT	18.00	14.00	11.34	41.67	53.63	16.11	48.76	8.67
OAXACA	0.00	0.00	27.54	56.70	78.73	42.21	69.62	23.81
SINALOA*	53.00	44.00	9.86	37.40	55.61	19.45	43.46	8.99
QUINTANA ROO	0.00	0.00	12.30	38.80	49.17	10.49	33.39	15.39
TABASCO	0.00	0.00	12.67	43.94	65.49	43.82	57.52	15.45
VERACRUZ	12.00	8.00	18.26	47.59	71.85	41.91	50.39	27.17
YUCATÁN	1.00	1.00	15.86	47.82	73.61	29.35	32.36	9.20

CUADRO 2/2

\*ESTADOS QUE FORMAN PARTE DE MESOAMÉRICA Y ARIDOAMÉRICA.

EN BASE A ESTUDIOS DE: INEGI, CENSOS DE POBLACIÓN, ANÁLISIS ESTADÍSTICO 4o INFORME DE GOB 1992, CIDE, ATLAS DE MÉXICO Y CONAF  
OLIVERA RODRIGUEZ, JESÚS ALBERTO. MÉXICO: FORMACIÓN SOCIOECONÓMICA Y POLÍTICA. ENSAYOS 1988-1995.

México: Distribución del Ingreso 1970-1988



Fuente: Estudios de la Desagregación Geográfica del PIB por Entidad. 1970-1988. A. Puig Escudero y J. A. Hernández Rivas. INEGI 1989.



# MEXICO: POBLACION Y OBRA PUBLICA 1910 - 1994

Cuadro I

TRANSPORTE AEREO	1910	1940	1960	1980	1988	1990	1991	1994 e/
AEROPISTAS				1244	1776	2088	2344	2523
PISTAS FEDERALES								
AEROPUERTOS			34	50	78	82	82	83
AVIONES REGISTRADOS				4859	5164	5874	6123	6526
OPERACIONES AEREAS (miles)			70	1280	967			1288
PASAJEROS TRANSPORTADOS (miles)			4673 11/	26585	25758	33408	36141	51689
PASAJEROS NACIONALES (miles)			2852 11/	19784	17100	22487	24903	35638
PASAJEROS INTERNACIONALES (miles)			1821 11/	6801	8658	10919	11238	16053
CARGA (miles de toneladas)			73	165	151			241
COMUNICACIONES	1910	1940	1960	1980	1988	1990	1991	1994
OFICINAS DE CORREO	2872	3804	4699	6044	6071			7458
CORRESPONDENCIA (miles de piezas)	201661	319359	824681	1029139	751164			980000
OFICINAS DE TELEGRAFOS	525	1086	1673	3350	2442			2634
LINEAS DESARROLLADAS (km)	74254	110352	127087 8/	138035				
CANALES DESARROLLADOS					72030			91800
MENSAJE TELEGRAFICO	4779653	10184527	28912000	52912000	46443000			27000000
TELEFONOS (aparatos)	12941	179528	531958	5024161	8665312		11113000	11779780
EDUCACION (alumnos)	1907	1940	1980	1980	1988	1990	1991	1994
BASICA	888723	891328	5807236	18771732	22120300			18986900
MEDIA SUPERIOR	5782	77572 8/	106200	1265741	2197200			2315000
SUPERIOR	9984	22908 5/	28100	937789	1130300			1240800
INFRAESTRUCTURA PRODUCTIVA	1910	1940	1960	1980	1988	1990	1991	1994
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA (m3)		5207200	21300000	20588000	18786000			38862000
CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGIA ELEC- TRICA (meg.watts)	99	681	3058	14625	23954			31817
CAPACIDAD NOMINAL DE REFINACION DE PETROLEO (barriles/dia, miles de barriles)	114000 3/	141400	459400	2952000	3809000			4153000
PRODUCCION DE PETROLEO CRUDO (miles de barriles)	3634	44045	99049	708593	914909			1009000
POBLACION Y OTROS	1910	1940	1960	1980	1988	1990	1991	1994
POBLACION TOTAL (Republica Mexicana)	15160369	19653552	34923129	66846833	79139989	81140922		87389625
POBLACION AREA CONURBADA (A.C.)						14343743		
DENSIDAD DEMOGRAFICA (A.C.)						588 8		
POBLACION (Distrito Federal)	720753	1757530	4870878	8831079	8355788	8236960		7999320
DENSIDAD DEMOGRAFICA (Distrito Federal)						5569 3		5408 8
PRODUCTO INTERNO BRUTO (1980=100) (M.N.S.)	249 8	371 4	1197 1	4470 1	4883 7	5271 8		5520 1
SALARIO MINIMO (Dolares)	0 24	0 28	0 65	6 14	3 17			4 4
INVERSION EXTRANJERA DIRECTA (mil de dls)	22 3 4/	9 3	78 4	8458 8	24087 4	30309 5	33874 5	46094 1
INVERSION EXTRANJERA DIRECTA EN EL ...								
MERCADO DE VALORES (millones de dls)	N D	N D	N D	N D	4140 9/	12560	63320	4315 10/
INVERSION EXTRANJERA DIRECTA -								
FIJA (% de dolares)	N D.	N D	N L	N D	26173 1 9/	29053 5	27542 5	41778 6
MEDIO CIRCULANTE (M I) (M N)	0 39	1 1	18 3	492 1	22312			2234303
INFLACION	N D	N D	22 8/	29 6	51 7	29 9		60

	1940	1940	1940	1940	1940	1940	1940	1940	1940
ROMPEOLAS				11617	23323	27823	27823	27823	32952
ESCOLLERA				27418	28960	29077	29255	29255	317
ESPIGONES				10797	18323	18323	121059	121059	842
PUERTOS DE ALTURA				25	27	31	32	32	33
PUERTOS DE CABOTAJE				110	80	90	90	90	79
PATIOS (m2)				1206663	1993928	1993928	2060148	2060148	2351459
COBERTIZOS (m2)				54737	61941	61941	61941	61941	64858
BODEGAS (m2)				239944	311200	311200	319280	319280	344792
OPERACIONES									
CARGA ENTREGADA (Miles de Tons)	2078	1736	5236	33670	43044	52898	52540	52540	57338
CARGA SALIDA (Miles de Tons)	790	4590	8328	52536	119213	122738	128011	128011	153130
PASAJEROS ENTRADA	N D	50619	12784	825008	1485721	2346188	3145402	3145402	3158832
PASAJEROS SALIDA	N D	43972	12223	729676	1467605	2341402	3144271	3144271	3188604

TRANSPORTE FERROVIARIO	1910	1940	1960	1980	1988	1990	1991	1994
LONGITUD TOTAL DE VIAS (Km)	19740	22979 7	23369	25510	26399	26361	26334	26445
PASAJEROS/Km (Miles)	2134382 1/	1881464	4127930	5296408	5619200	5336321	4686017	3833000
TONELADAS/Km (Miles de Tons)	2282046 1/	5763819	14004412	41323305	41177333	38417114	32952398	35100000
FUERZA TRACTIVA (Miles de HP)	20858 2/	18782	23021	3678 3/	4341	4221	4311	3572
NUMERO DE UNIDADES (Locomotoras)	1623 2/	1333	1158	1635	1742	1677	1700	1370
EQUIPO DE CARGA	20268 2/	20302	23570	48613	48968	46602	44003	35689
EQUIPO DE PASAJEROS	899 2/	1222	785	1099	864	939	838	641

AUTOTRANSPORTE	1930	1940	1960	1980	1988	1990	1991	1994
CARRETERAS (Federales y Autopistas) (Km Acumulados)	541	4781	28978	66920	81358	83925	85931	94208

VEHICULOS REGISTRADOS	1924	1940	1960	1980	1988	1990	1991	1994
AUTOS	35531	83632	483101	4256545	5806984	6839337	7053040	7682333
CAMION DE PASAJEROS	4802	10141	28128	75719	88568	94575	98109	101741
CAMION DE CARGA	5525	41935	293423	1505560	2435952	2982081	3247562	3582354
CARGA Y PASAJE	10327	52078	319547	1581278	2522518	3076658	3345675	3664100
MOTOCICLETAS	612	3747	24367	342024	218207	249722	282355	209792
BICICLETAS	28972	74447	473991	779345	N D	N D	N D	N D

SECTOR SALUD	1910	1940	1960	1980	1988	1990	1991	1994
MEDICO X C/ 1000 Habls				1	1			8
CAMA X C/ 1000 Habls				1	1			1

1 / Corresponde al año de 1921  
2 / Corresponde al año de 1930  
3 / Corresponde al año de 1938

4 / Corresponde al año de 1939  
5 / Corresponde al año de 1949  
6 / Corresponde al año de 1959

7 / Furgones, Jaulas, Gondolas, Tolvas,  
Tanques, Refrigeradores, Calders,  
Plataformas y Remolques  
8 / A partir de 1965 ya no corren locomotoras de vapor

9 / Corresponde al año de 1989  
10 / Al Mes de Julio  
11 / Corresponde al año de 1967  
e / Cifras Estimadas.  
N D No Disponible.

**F U E N T E S :**

Estadísticas Históricas de México, Tomo I y II INEGI, 1990  
Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, INEGI 1992  
Anexo Estadístico del VI Informe de Gobierno 1994

Coordinación: Jesús Alberto Olivér Rodríguez  
Integración Estadística:  
Ramiro Pecina Sandoval  
Laura Cerón Martínez  
Alfonso Mayo Vázquez  
Jorge H. Alejo Carranza  
Jesús Aguilar García

# MEXICO: POBLACION Y OBRA PUBLICA 1910 - 1994

cuadro 2

Tasa Media Anual de Crecimiento

	1910 - 1940	1940 - 1960	1960 - 1980	1980 - 1994	1960 - 1
<b>TRANSPORTE AEREO</b>					
AEROPISTAS		10.1	2.1	4.5	11.0
PISTAS FEDERALES		2.2	7.5	2.6	12.9
AEROPUERTOS			7.2	5.7	4.0
AVIONES REGISTRADOS				2.8	4.9
OPERACIONES AEREAS (miles)			15.6	(3.4)	12.3
PASAJEROS TRANSPORTADOS (miles)	18.2	16.2	91.9	(0.4)	13.0
PASAJEROS NACIONALES (miles)			102.9	(1.0)	10.8
PASAJEROS INTERNACIONALES (miles)			88.9	(3.1)	8.1
CARGA (miles de toneladas)	32.8	14.3	4.2	(1.1)	
<b>COMUNICACIONES</b>					
OFICINAS DE CORREO	0.9	1.1	1.3	0.06	3.5
CORRESPONDENCIA (miles de piezas)	1.5	5.5	0.5	(3.9)	4.5
OFICINAS DE TELEGRAFOS	2.5	2.2	3.5	(3.9)	1.3
LINEAS DESARROLLADAS (km)	1.3	0.7	0.4		4.1
CANALES DESARROLLADOS (km)				(7.8)	(8.6)
MENSAJE TELEGRAFICO	2.8	3.4	3.0	(1.6)	5.3
TELEFONOS (aparatos)	9.2	5.6	11.9	7.1	
<b>EDUCACION (alumnos)</b>					
BASICA	0.9	9.8	6.0	2.1	(2.5)
MEDIA SUPERIOR	6.4	28.8	13.2	7.1	0.8
SUPERIOR	2.0	1.0	19.2	2.4	1.8
<b>INFRAESTRUCTURA PRODUCTIVA</b>					
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA (m <sup>3</sup> )		7.3	(0.2)	(0.5)	10.9
CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGIA ELEC. TRICA (megawatts)	6.8	7.8	8.1	6.4	4.8
CAPACIDAD NOMINAL DE REFINACION DE PETROLEO (barriles/dia) (miles de barriles)	11.4	6.1	9.7	3.8	1.0
PRODUCCION DE PETROLEO CRUDO (miles de barriles)	8.7	4.1	10.3	3.2	1.8
<b>POBLACION Y OTROS</b>					
POBLACION TOTAL (República Mexicana)	0.9	2.9	3.4	2.1	1.7
POBLACION AREA CONURBADA (A C)					
DENSIDAD DEMOGRAFICA (A C)					
POBLACION (Distrito Federal)	3.0	5.2	3.0	(0.7)	(0.7)
PRODUCTO INTERNO BRUTO (1980=100) (M N \$)	1.3	6.0	6.6	1.1	2.1
SALARIO MINIMO (Dolares)	0.5	4.3	11.9	(7.9)	4.4
INVERSION EXTRANJERA DIRECTA (miles de dls)	(5.3)	11.2	14.0	11.7	11.4
INVERSION EXTRANJERA DIRECTA EN EL MERCADO DE VALORES (millones de dls)					47.8
INVERSION EXTRANJERA DIRECTA ... FLJA (millones de dolares)					8.1
MEDIO CIRCULANTE (M \$) (M N)	3.5	15.1	17.9	16.1	35.0
INFLACION PROMEDIO	N D	N D	9.7	75.3	20.9

TRAN. MARITIMO	1910 - 1940	1940 - 1960	1960 - 1980	1980 - 1988	1988 - 1994
ROMPEOLAS (metros)	1.1	1.7	0.8	9.1	5.9
ESCOLLERAS (metros)		1.0	4.0	0.7	0.5
ESPIGONES (metros)		3.7	5.4	8.8	28.3
PUERTOS DE ALTURA		2.9	2.4	1.0	3.4
PUERTOS DE CABOTAJE	0.5	4.1	2.5	(3.9)	(0.2)
PATIOS (m2)	2.4	5.2	10.8	6.5	2.8
COBERTIZOS (m2)		4.6	21.0	1.6	0.8
BODEGAS (m2)				3.3	1.7
OPERACIONES					
CARGA ENTREGADA (Miles de Tons)	(0.6)	5.7	9.8	3.1	4.9
CARGA SALIDA (Miles de Tons)	6.0	3.0	9.8	10.8	4.3
PASAJEROS ENTRADA		(6.6)	23.2	7.6	13.4
PASAJEROS SALIDA		(6.2)	22.7	9.1	13.8
<b>TRANSPORTE FERROVIARIO</b>	<b>1910 - 1940</b>	<b>1940 - 1960</b>	<b>1960 - 1980</b>	<b>1980 - 1988</b>	<b>1988 - 1994</b>
LONGITUD TOTAL DE VIAS (Km)	0.5	0.1	0.4	0.4	0
PASAJEROS/Km (Miles)	(0.7) 2/	4.1	1.7	0.7	(6.2)
TONELADAS/Km. (Miles de Tons)	5.0 2/	4.5	5.6	(0.04)	(2.6)
FUERZA TRACTIVA (Miles de HP) &/	(1.0)	4.9	5.6 7/	2.1	(3.2)
NUMERO DE UNIDADES (Locomotoras)	(1.9)	(0.7)	1.7	0.8	(3.9)
EQUIPO DE CARGA @/	0.02	0.7	3.7	0.1	(5.1)
EQUIPO DE PASAJEROS	3.1	(2.2)	0.2	(1.2)	(8.6)
<b>AUTOTRANSPORTE</b>	<b>1910 - 1940</b>	<b>1940 - 1960</b>	<b>1960 - 1980</b>	<b>1980 - 1988</b>	<b>1988 - 1994</b>
CARRETERAS (Federales y Autopistas) (Km: Acumulados)	24.4	9.0	4.8	2.5	2.5
<b>VEHICULOS REGISTRADOS</b>	<b>1910 - 1940</b>	<b>1940 - 1960</b>	<b>1960 - 1980</b>	<b>1980 - 1988</b>	<b>1988 - 1994</b>
AUTOS	6.2	8.6	11.5	4.0	4.6
CAMION DE PASAJEROS	4.8	4.8	5.5	1.7	2.7
CAMION DE CARGA	13.5	10.2	8.5	6.2	6.5
CARGA Y PASAJE	10.8	9.5	6.3	6.0	6.4
MOTOCICLETAS	12.0	9.3	14.1	(5.5)	(0.7)
BICICLETAS	6.1	9.7	2.5	N D.	N D
<b>SECTOR SALUD</b>	<b>1910 - 1940</b>	<b>1940 - 1960</b>	<b>1960 - 1980</b>	<b>1980 - 1988</b>	<b>1988 - 1994</b>
MEDICO X C/1000 Habits				0	41.4
CAMA X C/1000 Habits				0	0

1/ Corresponde al periodo 1907 - 1940  
2/ Corresponde al periodo 1921 - 1940  
3/ Corresponde al periodo 1938 - 1940

4/ Corresponde al periodo 1939 - 1940  
5/ Corresponde al periodo 1949 - 1960  
6/ Corresponde al periodo 1959 - 1980

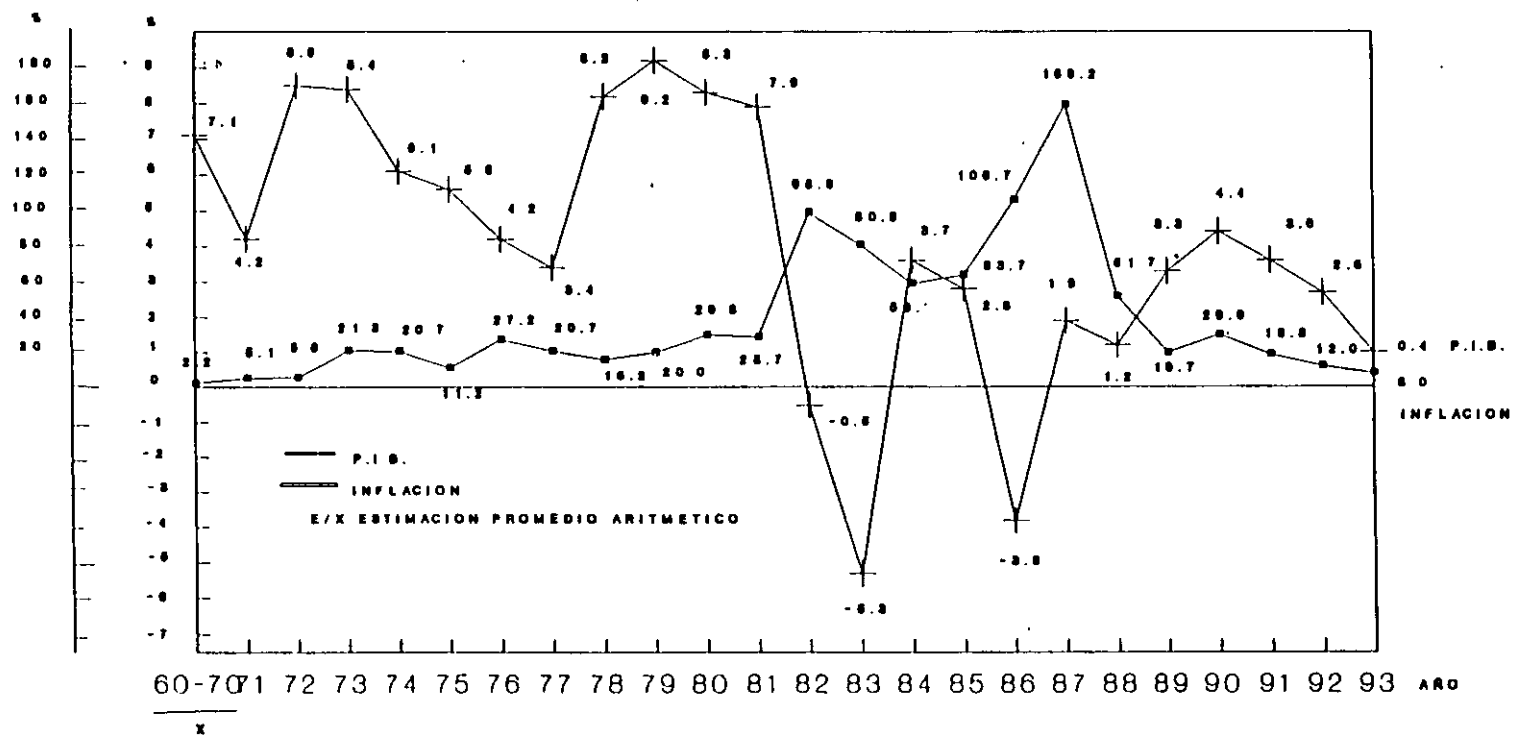
7/ Corresponde al periodo 1965 - 1980  
8/ Corresponde al periodo 1988 - 1993  
9/ Corresponde al periodo 1967 - 1980  
10/ Al Mes de Julio

N D No Disponible  
@/ Furgones, Jaitas, Gondolas, Tolvas, Tanques, Refrigeradores, Cabuses, Plataformas y Remolques.  
&/ A partir de 1965 ya no corren locomotoras de vapor.

#### FUENTES:

Estadísticas Históricas de México, Tomo I y II INEGI, 1990  
Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, 1992. INEGI  
Anuario Estadístico del VI Informe de Gobierno 1994

## TASA DE VARIACION DEL P.I.B Y TASA DE INFLACION \* 1960-1993 (PORCENTAJES)



\* INDICE NACIONAL DE PRECIOS AL CONSUMIDOR

FUENTE: INDICADORES ECONOMICOS, BANXICO

ELABORADO POR: GERENCIA DE COMERCIO EXTERIOR Y

ESTUDIOS CANAME.

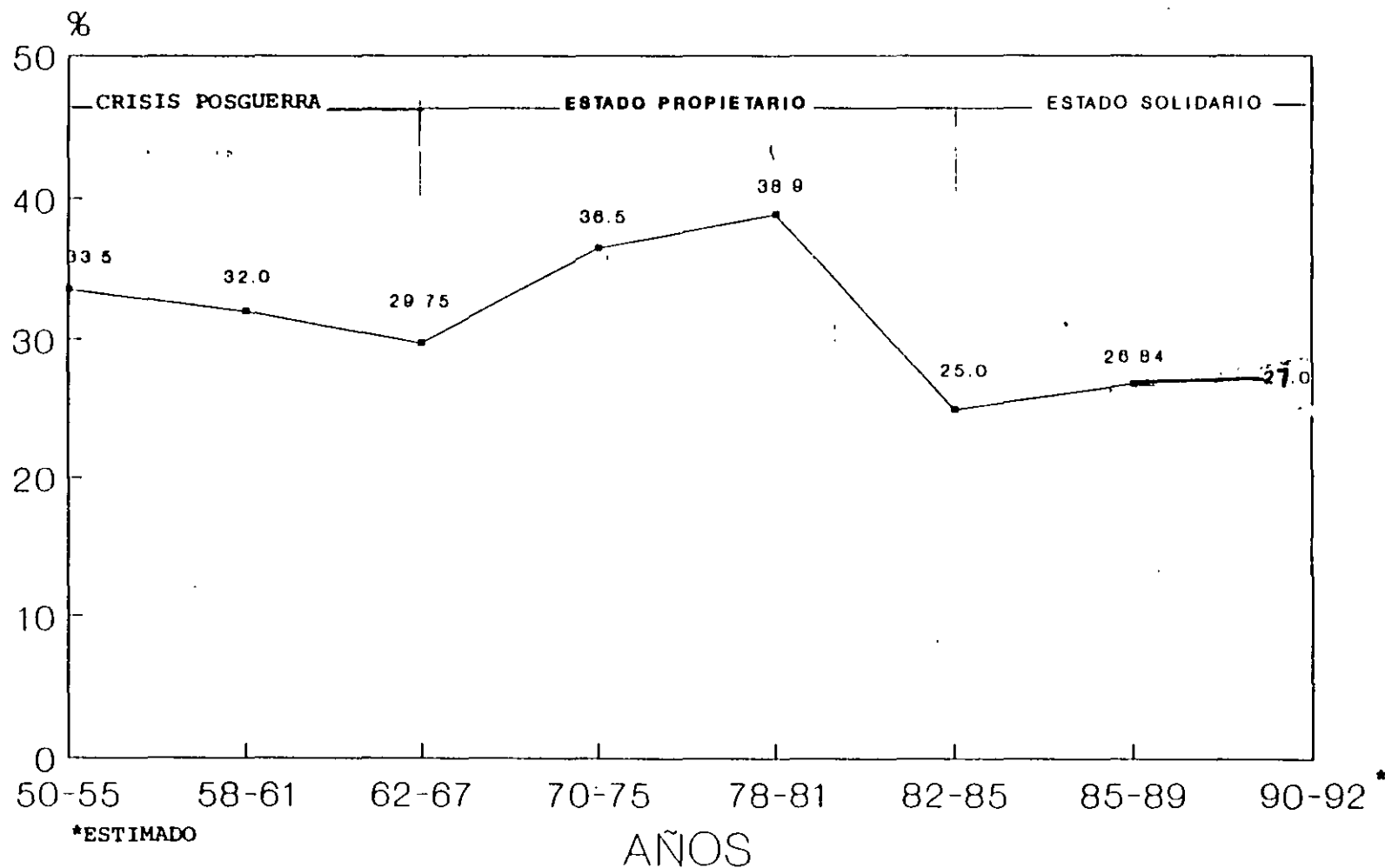
MEXICO: INDICADORES DE MARGINACIÓN NACIONAL 1940-1990.

	1940	1950	1960	1970	1980	1990
1.- % POBLACIÓN ANALFABETA	70.3	58.5	53.4	29.9	17.5	12.5
2.- % POBLACIÓN MAYOR DE 15 AÑOS SIN PRIMARIA COMPLETA.	28.9	30.9	38.9	57.0	18.1	38.9
3.- % OCUPACIONES EN VIVIENDAS/DRENAJE.			76.7	66.0	50.5	22.4
4.- % OCUPANTES EN VIVIENDAS/AGUA ENTUBADA.		60.0	72.5	44.3	31.2	20.4
5.- % POBLACIÓN EN VIVIENDA CON HACIMIENTO (MÁS DE 2 PERSONAS POR HABITACIÓN).			92.6	92.2	82.0	58.0
6.- % POBLACIÓN EN VIVIENDA C/PISO DE TIERRA.		56.4	N.D.	47.8	5.0	21.1
7.- % POBLACIÓN EN VIVIENDAS/E. ELECTRICA.				45.0	23.9	13.1
8.- % POBLACIÓN EN LOCALIDADES CON MENOS DE 5000 HABITANTES.					45.8	37.4
9.- % POBLACIÓN CON INGRESO MENOR A DOS SALARIOS - MINIMOS.						63.2

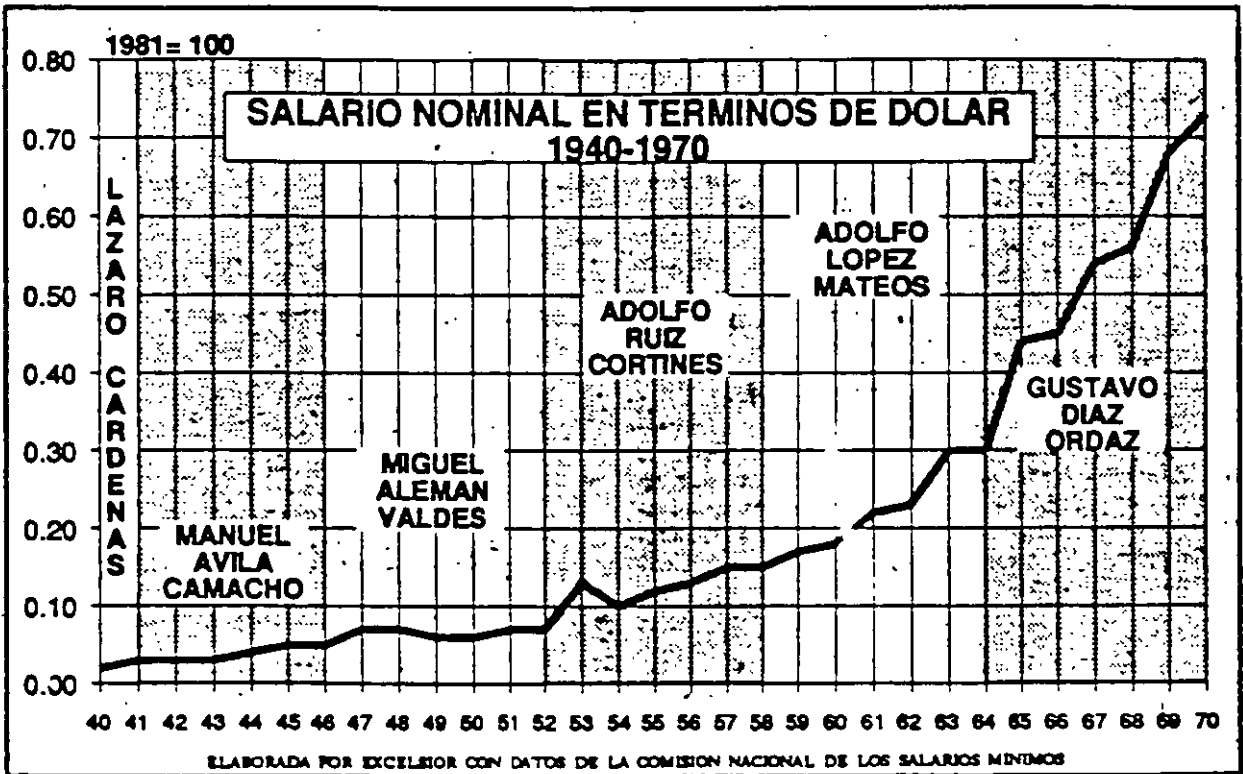
FUENTE: CENSOS GENERALES DE POBLACIÓN 1940-1980.

INDICES DE MARGINACIÓN MUNICIPAL 1990. CONAPO 1993.

# MEXICO: PARTICIPACION DE LOS SALARIOS CON RESPECTO AL PIB 1950-1992



FUENTE: Sistema Nacional de Cuentas Nacionales (INEGI)





# SALARIOS MINIMOS EN MEXICO 1971 - 1994

## DOLARES CORRIENTES Y DOLARES CONSTANTES 1981

CUADRO 4

AÑOS	SALARIOS 1/ MINIMOS PESOS	PARIDAD 2/ PESO/DOLAR PROMEDIO	SALARIO MINIMO DOLARES	INFLACION 3/ EN E. U. %	INDICE DE INFLACION E.U. 1981-100	SALARIO MIN. DOLARES 1981-100
1971	27.93	12.50	2.23	3.3	0.397	0.89
1972	27.93	12.50	2.23	3.4	0.412	0.92
1973	33.23	12.50	2.66	8.7	0.426	1.13
1974	45.03	12.50	3.60	12.3	0.460	1.66
1975	55.24	12.50	4.42	6.9	0.532	2.35
1976	82.70	15.40	5.37	4.9	0.574	3.08
1977	91.20	22.56	4.04	6.7	0.601	2.43
1978	103.50	22.73	4.55	9.0	0.644	2.93
1979	119.80	22.75	5.26	13.3	0.759	3.99
1980	140.70	22.93	6.14	12.5	0.875	5.37
1981	183.50	24.49	7.49	8.9	1000	7.49
1982	318.30	57.58	5.53	3.8	0.962	5.32
1983	459.00	150.29	3.05	3.8	0.925	2.82
1984	719.0	185.19	3.88	3.9	0.889	3.45
1985	1107.6	311.18	3.56	3.8	0.856	3.05
1986	2243.0	637.95	3.52	1.10	0.846	2.98
1987	5867.2	1404.72	4.18	4.4	0.809	3.38
1988	7253.0	2287.1	3.17	4.4	0.773	2.45
1989	9139.9	2483.38	3.68	4.6	0.738	2.72
1990	10786.6	2838.36	3.8	6.1	0.693	2.63
1991	12084.0	3016.16	4.01	3.1	0.671	2.63
1992	12084.0	3084.25	3.92	2.3	0.656	2.57
1993 *	13.06	3153.88	4.14	2.2	0.641	2.65
1994 *	14.36	3.222366	4.45	2.2	0.626	2.81
1994 DIC. *	14.36	5.50	2.61	2.2	0.626	1.63

ELABORADO POR EXCELSIOR CON DATOS DE:

1 / COMISION NACIONAL DE LOS SALARIOS MINIMOS.

2 / IV INFORME DE GOBIERNO 1992 Y COTIZACIONES BANCARIAS.

3 / DEPARTMENT OF LABOR E.U.A. ECONOMIC INDICATORS 1992.

\* ESTIMADOS

MEXICO : DISTRIBUCION DEL INGRESO EN MEXICO POR DECILES, 1950 - 1989.  
(PORCENTAJES)

DECILES	1950		1958		1963		1970		1979		1983		1989	
	RELA-TIVO	ACUMU-LADO	RELA-TIVO	ACUMU-LADO	RELA-TIVO	ACUMU-LADO	RELA-TIVO	ACUMU-LADO	RELA-TIVO	ACUMU-LADO	RELA-TIVO	ACUMU-LADO	RELA-TIVO	ACUMU-LADO
I	2.43	2.43	2.32	2.32	1.63	1.63	1.42	1.42	1.08	1.08	1.33	1.33	1.14	1.14
II	3.17	5.60	3.21	5.56	1.97	3.60	2.34	3.76	2.21	3.29	2.67	4.00	2.48	3.62
III	3.18	8.78	4.06	9.59	3.42	7.02	3.49	7.25	3.23	6.58	3.84	7.84	3.52	7.14
IV	4.29	13.07	4.98	14.57	3.42	10.44	4.54	11.79	4.42	11.00	5.00	12.84	4.56	11.70
V	4.93	18.00	6.02	20.59	5.14	15.58	5.46	17.73	5.73	16.73	6.33	19.17	5.76	17.46
VI	5.96	23.96	7.49	28.08	6.08	21.66	8.24	25.49	7.15	23.88	7.86	27.03	7.21	24.67
VII	7.04	31.00	8.29	36.37	7.85	29.51	8.24	33.73	9.15	32.99	9.76	36.79	9.02	33.69
VIII	9.63	40.63	10.73	47.10	12.38	41.89	10.44	44.17	11.98	44.97	12.56	49.35	11.42	45.11
IX	13.89	54.52	17.20	64.30	16.45	58.34	16.61	60.78	17.09	62.06	17.02	66.37	15.92	61.03
XA	10.38	64.90	10.24	74.54	13.04	71.38	11.52	72.30	12.54	74.60	33.63	100.00	38.96	99.99
XB	35.10	100.00	25.46	100.00	28.56	99.94	27.69	99.99	25.45	100.05				

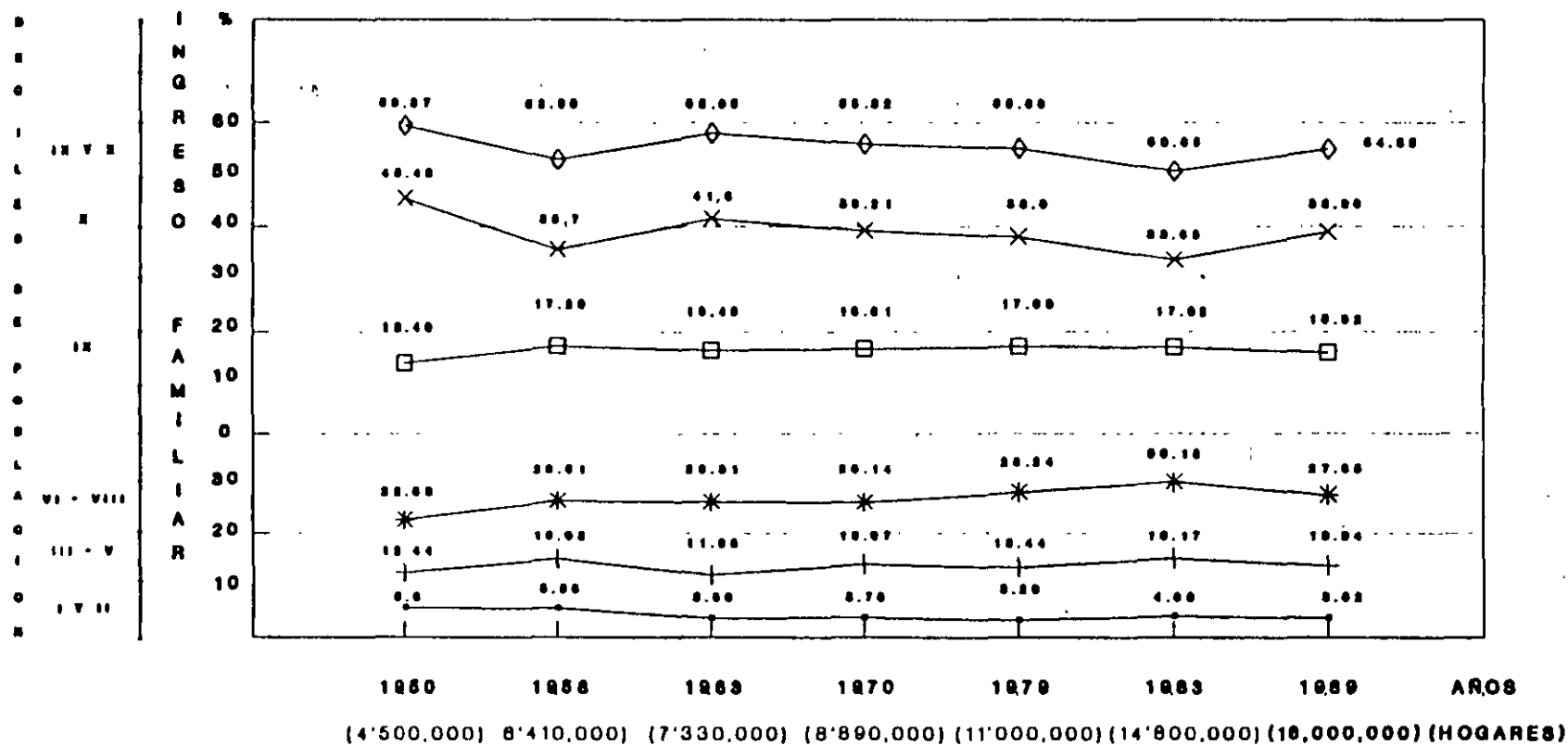
./ NUMERO DE FAMILIAS DE CADA DECIL: 1950: 4'500,000; 1958: 6'410,000; 1963: 7'330,000  
1970: 8'890,000; 1977: 11'000,000; 1983: 14'800,000; 1989: 16'000,000 (TOTAL DE HOGARES)

\* LAS SUMAS NO TOTALIZA EL 100% POP. EL REDONDEO DE CIFRAS.

FUENTE: - ESTADISTICAS HISTORICAS DE MEXICO, TOMO I. INEGI, 1990.

- ENCUESTA NACIONAL DE INGRESOS Y GASTOS DE LOS HOGARES, 1989. INEGI, 1992.

# MEXICO: DISTRIBUCION DEL INGRESO POR DECILES 1950 - 1989 (PORCENTAJES)



FUENTE ESTADISTICAS HISTORICAS DE MEXICO, INEGI 1990. ENCUESTA NACIONAL DE INGRESOS Y GASTOS DE LOS HOGARES. INEGI-92.

# MEXICO: TIPOLOGIA DE PRODUCTORES Y ENTIDAD FEDERATIVA 1983

ESTADO	PRODUCTORES PRODUCTIVOS			PRODUCTORES POTENCIALES PRODUCTIVOS			PRODUCTORES SUBSISTENCIA			% EJIDOS Y COMUNIDADES			% PEQUEÑA PROPIEDAD		
	MPIOS	NO EJ COM	PEQ PROP	MPIOS	NO EJ. COM.	PEQ PROP.	MPIOS	NO. EJ COM	PEQ. PROP.	PRODUCT.	POTENC. PRODUCT	SUB-SISTENCIA	PRODUCT	POTENC. PRODUCT.	SUB-SISTENCIA
AGUASCALIENTES	6	127	3128	1	15	484	2	40	1291	69.8	8.2	22.0	63.8	9.9	26.3
BAJA CALIFORNIA	4	211	5194							100.0	0.0		100.0	0.0	0.0
BAJA CALIFORNIA SUR	3	67	1649							100.0	0.0		100.0	0.0	0.0
CAMPECHE				1	71	2292	7	280	10974	0.0	20.2	79.8	0.0	17.3	82.7
COAHUILA	21	469	11545	11	222	7166	5	177	7101	54.0	25.6	20.4	44.7	27.8	27.5
COLIMA	4	35	862	4	81	2615	2	33	1934	23.5	54.4	22.1	15.9	46.3	35.7
CHIAPAS	4	63	1551	20	295	9523	86	1378	54223	3.6	17.0	79.4	2.4	14.6	83.0
CHIHUAHUA	22	282	6942	14	269	8683	31	390	15492	30.0	28.6	41.4	22.3	27.9	49.8
DISTRITO FEDERAL				13	93	3002				0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0
DURANGO	4	247	6080	3	61	1969	30	672	26466	25.2	6.2	68.6	17.6	5.7	76.7
GUANAJUATO	17	559	13761	16	553	17851	13	248	9683	41.1	40.7	18.2	33.3	43.2	23.4
GUERRERO	1	4	98	3	28	904	71	1190	47122	0.3	2.3	97.4	0.2	1.9	97.9
HIDALGO	11	80	1969	22	236	7618	51	776	31275	7.3	21.6	71.1	4.8	18.6	76.5
JALISCO	20	234	5760	46	642	20724	53	633	21302	16.6	45.6	37.8	12.1	43.4	44.6
MEXICO	22	158	3889	35	286	9232	63	689	27311	13.9	25.2	60.8	9.6	22.8	67.5
MICHOACAN	22	332	8173	24	375	12105	65	1029	39576	19.1	21.6	59.3	13.7	20.2	66.1
MORELOS	14	104	2560	5	45	1452	13	78	3228	45.6	19.6	34.4	35.4	20.1	44.6
NAYARIT	2	70	1723	11	256	8264	6	67	2582	17.8	65.1	17.0	13.7	65.7	20.5
NUEVO LEON	15	128	3151	19	245	7909	17	228	9037	21.3	40.8	37.9	15.7	39.4	45.0
OAXACA				40	393	8328	530	1095	43449	0.0	26.4	73.6	0.0	16.1	83.9
PUEBLA	11	116	2856	36	226	7295	170	810	32476	10.1	19.6	70.3	6.7	17.1	76.2
QUERETARO	5	123	3028	1	51	1646	12	192	7749	33.6	13.9	52.5	24.4	13.2	62.4
QUINTANA ROO							4	199	7746	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
SAN LUIS POTOSI	1	48	1182	9	250	6070	45	906	35503	4.0	20.8	75.2	2.6	18.0	79.3
SINALOA	6	609	14992	6	345	11137	5	195	7746	53.0	30.0	17.0	44.3	32.9	22.9
SONORA	49	683	16813	11	70	2260	9	103	3873	79.8	8.2	12.0	73.3	9.8	16.9
TABASCO				4	132	4261	13	523	20656	0.0	20.2	79.8	0.0	17.1	82.9
TAMAULIPAS	18	634	15607	9	216	6973	16	428	33567	49.6	16.9	33.5	27.8	12.4	59.8
TLAXCALA	2	31	763	7	79	2550	34	134	5184	12.7	32.4	54.9	9.0	30.1	60.9
VERACRUZ	26	389	9576	33	531	17141	143	2421	95735	11.6	15.9	72.5	7.8	14.0	78.2
YUCATAN	3	4	100	28	80	2582	75	484	19365	0.7	14.1	85.2	0.5	11.7	87.8
ZACATECAS	5	15	369	8	135	4360	43	612	23884	2.0	17.7	80.3	1.3	15.2	83.5
TOTAL	318	5822	143319	440	6281	198396	1614	15910	645510	20.8	22.4	56.8	14.5	20.1	65.4

NOTA: LOS DATOS ESTAN MANEJADOS SOBRE UN UNIVERSO DE 28013 EJIDOS Y COMUNIDADES, 987225 PEQUEÑAS PROPIEDADES CORRESPONDENTE A 2372 MUNICIPIOS.  
FUENTE: CIDE APPENDINI, 1983.

MÉXICO: POBLACION OCUPADA Y PRODUCTO PERCAPITA POR RAMAS ECONOMICAS  
1963-1989

CUADRO 5 1/2

	1	0	3	1	0	7	5	1	0	3	1	0	3	1	0	3	1	0	3	
	PIB	POBLACION	PIB	PIB	POBLACION	PIB	PIB	PIB	POBLACION	PIB	PIB	POBLACION	PIB	PIB	POBLACION	PIB	PIB	POBLACION	PIB	
	MILLS DE	OCUPADA	PERCAPITA	MILLS DE	OCUPADA	PERCAPITA	MILLS DE	MILLS DE	OCUPADA	PERCAPITA	MILLS DE	MILLS DE	OCUPADA	PERCAPITA	MILLS DE	MILLS DE	OCUPADA	PERCAPITA	MILLS DE	
	PESOS	MILES	PESOS	PESOS	MILES	PESOS	PESOS	PESOS	MILES	PESOS	PESOS	MILES	MILES	PESOS	PESOS	MILES	MILES	PESOS	MILES/PESOS	
TOTAL	207,952.0	11,796.3	17,629	1,100,050.0	16,869.9	65,247	18,024.5	20,995.0	858,514	508,673.3	22,279.0	22,742.20								
SUMA RELATIVOS	100.0	100.0	PESOS	100.0	100.0	PESOS	100.0	100.0	PESOS	100.0	100.0	N/PESOS								
1 AGROPECUARIA, SILVICULTURA Y PESCA	14.8	54.2	4,814	9.5	39.4	15,732	7.7	27.9	236,940	7.7	27.6	6,344.80								
2 MINERIA	5.0	1.2	73,429	4.9	1.4	228,390	7.1	1.1	6,541,128	2.7	1.2	51,235.06								
3 INDUSTRIA MANUFACTURERA	19.4	13.7	24,063	23.4	16.7	91,411	20.9	11.1	1,616,738	24.5	10.9	51,543.06								
4 CONSTRUCCION	4.1	3.6	20,075	5.1	4.4	75,611	4.5	8.4	459,751	9.9	8.7	10,196.10								
5 ELECTRICIDAD, GAS Y AGUA	1.2	0.4	52,869	2.1	0.4	344,791	0.9	0.4	1,928,571	1.3	0.5	59,342.36								
6 COMERCIO, PARAESTATAL Y HOTELES	34.2	9.5	63,465	34.0	9.2	241,146	28.1	14.6	1,652,529	26.9	14.5	42,196.00								
7 TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y COMUNICACIONES	3.2	3.1	18,195	3.7	2.6	86,233	6.5	4.7	1,187,437	7.4	4.8	35,073.90								
8 SERVICIOS FINANCIEROS, SEGUROS E INMUEBLES	12.5	13.5	16,303	10.2	16.7	39,846	7.7	2.1	3,147,392	9.0	2.1	107,181.85								
9 SERVICIOS COMUNALES, SOCIALES, PERSONALES Y GOBIERNO	5.6	0.8	12,340	7.1	3.1	146,612	16.6	29.5	491,376	15.7	29.7	12,021.80								

\* A PARTIR DE 1993 SE DA UN REORDENAMIENTO CONTABLE ENTRE LAS RAMAS ECONOMICAS 8 Y 9 VIGENTES

FUENTES - ESTADISTICAS HISTORICAS DE MEXICO, TOMO I INEGI 1990

- ANEXO ESTADISTICO DEL CUARTO INFORME DE GOBIERNO, 1992

LA ECONOMIA MEXICANA EN CIFRAS, NAFINSA, 1990

MEXICO: PRODUCTIVIDAD RELATIVA POR RAMA DE ACTIVIDAD  
1963-1989

CUADRO 5 2/2

	PRODUCTIVIDAD RELATIVA			
	CALIFICACION			
	1963	1975	1983	1989
TOTAL				
MEDIA NACIONAL	2.54	2.16	2.10	1.83
1 AGROPECUARIA, SILVICULTURA Y PESCA	0.27	0.24	0.27	0.27
2 MINERIA	4.16	3.50	6.45	2.25
3 INDUSTRIA MANUFACTURERA	1.41	1.40	1.88	2.24
4 CONSTRUCCION	1.13	1.15	0.53	0.44
5 ELECTRICIDAD, GAS Y AGUA	3.00	5.25	2.25	2.60
6 COMERCIO, PARAESTATAL Y HOTELES	3.60	3.69	1.92	1.85
7 TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y COMUNICACIONES	1.03	1.32	1.38	1.54
8 SERVICIOS FINANCIEROS, SEGUROS E INMUEBLES	0.92	0.61	3.66	4.71
9 SERVICIOS COMUNALES, SOCIALES, PERSONALES Y GOBIERNO	7.00	2.29	0.56	0.52

\* A PARTIR DE 1983 SE DA UN REORDENAMIENTO CONTABLE ENTRE LAS RAMAS ECONOMICAS 8 Y 9 VIGENTES.

FUENTES: - ESTADISTICAS HISTORICAS DE MEXICO, TOMO I. INEGI, 1990.

- ANEXO ESTADISTICO DEL CUARTO INFORME DE GOBIERNO, 1992.

LA ECONOMIA MEXICANA EN CIFRAS; NAFINSA, 1990

MEXICO  
INDICADORES DE CARGA FISCAL (1934 - 1994)  
(MILLONES DE DOLARES)

AÑO	INDICE INFLACION EEUU	INGRESOS TRIBUTARIOS	TOTAL DEUDA	P.I.B.	INGRESOS TRIBUTARIOS (1981=100)	SALDO ACUMU- LADO DEUDA (1981=100)	P.I.B. (1981=100)	CARGA FISCAL	COEFICIENTE DEUDA/P.I.B.
1934	0.078	61.7	351.5	1153.1	4.81	27.42	89.94	5.35	30.48
1935	0.081	71.1	358.1	1261.1	5.76	29.01	102.15	5.64	28.40
1936	0.083	83.6	370.8	1485.0	6.94	30.78	123.26	5.63	24.97
1937	0.084	102.2	379.7	1888.9	8.58	31.89	158.67	5.41	20.10
1938	0.084	80.3	311.3	1612.6	6.75	26.15	135.46	4.98	19.30
1939	0.084	91.7	278.3	1502.9	7.70	23.38	126.24	6.10	18.52
1940	0.084	87.6	320.0	1527.6	7.36	26.88	128.32	5.73	20.95
SUMA		578.2	2369.7	10431.2	47.90	195.50	864.03		
1941	0.09	115.3	392.9	1903.5	10.38	35.36	171.32	6.06	20.64
1942	0.1	128.5	384.1	2202.3	12.85	38.41	220.23	5.83	17.44
1943	0.109	192.0	49.6	2687.6	20.93	5.41	292.95	7.14	1.85
1944	0.113	229.9	49.6	3876.5	25.98	5.60	438.04	5.93	1.28
1945	0.116	251.1	49.6	4240.4	29.13	5.75	491.89	5.92	1.17
1946	0.119	334.8	418.0	5758.8	39.84	49.74	685.30	5.81	7.26
SUMA		1251.6	1343.8	20669.1	139.10	140.28	2299.72		
1947	0.145	360.2	635.4	6396.5	52.23	92.13	927.49	5.63	9.93
1948	0.159	326.5	634.7	5766.7	51.91	100.92	916.91	5.66	11.01
1949	0.164	309.6	521.2	4545.8	50.77	85.48	745.51	6.81	11.47
1950	0.167	337.6	637.6	4874.3	56.38	106.48	814.01	6.93	13.08
1951	0.178	463.8	564.2	6286.1	82.56	100.43	1118.93	7.38	8.98
1952	0.189	519.5	599.4	7051.2	98.19	113.29	1332.68	7.37	8.50
SUMA		2317.2	3592.5	34920.6	392.04	598.72	5855.52		
1953	0.205	471.4	325.0	7054.0	95.64	66.63	1446.07	6.68	4.61
1954	0.221	424.3	83.8	6520.0	93.77	18.52	1440.92	6.51	1.29
1955	0.237	541.3	74.0	7204.2	128.29	17.54	1707.40	7.51	1.03
1956	0.247	603.8	70.7	8233.6	149.14	17.46	2033.70	7.33	0.86
1957	0.255	593.4	67.7	9456.5	151.32	17.26	2411.41	6.28	0.72
1958	0.262	680.2	63.8	10510.2	178.21	16.72	2753.67	6.47	0.61
SUMA		3314.4	685.0	48978.5	797.36	154.12	11793.16		
1959	0.267	727.4	61.7	11261.8	194.22	16.47	3006.90	6.46	0.55
1960	0.272	815.0	22.0	12776.2	221.68	5.98	3475.13	6.38	0.17
1961	0.276	865.2	20.1	13858.9	238.80	5.55	3825.06	6.24	0.15
1962	0.297	968.8	978.6	14942.5	287.73	290.64	4437.92	6.48	6.55
1963	0.3	1110.4	993.6	16636.2	333.12	298.08	4990.86	6.67	5.97
1964	0.306	1349.6	3154.7	19640.1	412.98	965.34	6009.87	6.87	16.06
SUMA		5836.4	5230.7	89115.7	1688.52	1582.07	25745.74		

**MEXICO**  
**INDICADORES DE CARGA FISCAL (1965 - 1994)**  
(MILLONES DE DOLARES)

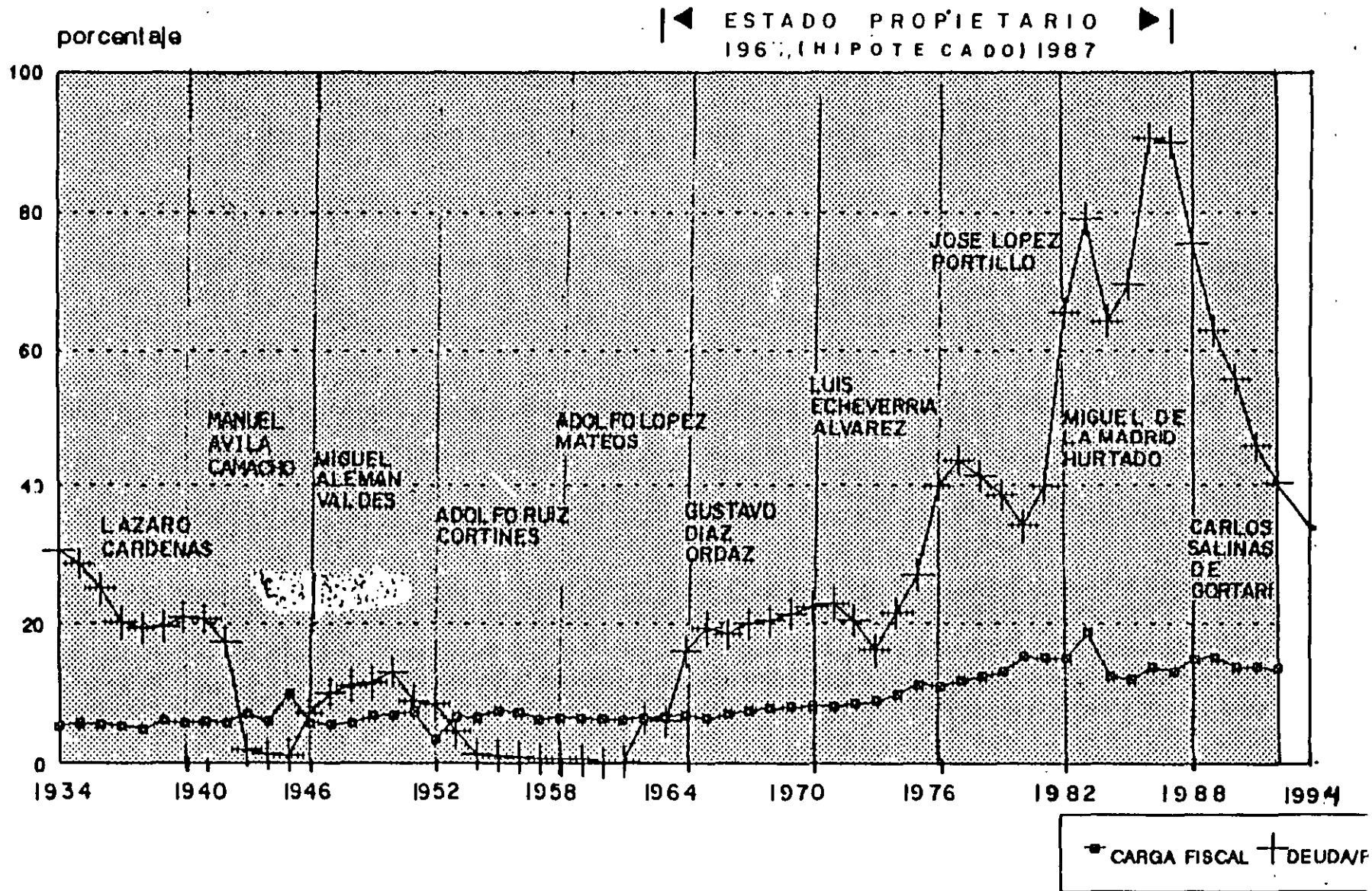
ANO	INDICE DE INFLACION (1965=100)	INGRESOS TRIBUTARIOS	TOTAL DEUDA	P. I. B.	INGRESOS TRIBUTARIOS (1965=100)	SALDO ACUMULADO DEUDA (1965=100)	P. I. B. (1965=100)	CARGA FISCAL	COEFICIENTE DEUDA/P.I.B.
1965	0.309	1 301.2	4 112.0	21 393.6	420.81	1 270.61	6 610.62	8.38	19.22
1968	0.315	1 685.2	4 367.7	23 775.7	524.54	1 375.83	7 489.35	7.00	18.37
1967	0.328	1 954.1	5 171.5	26 002.0	637.04	1 685.91	8 476.65	7.52	19.89
1968	0.338	2 270.1	5 875.0	28 788.8	762.75	1 974.00	9 672.97	7.89	20.41
1969	0.352	2 563.5	6 747.0	31 823.7	902.35	2 374.94	11 201.94	8.08	21.20
1970	0.376	2 931.6	7 920.2	35 541.7	1 102.28	2 978.00	13 363.68	8.25	22.28
SUMA		12 745.7	34 193.4	167 325.3	4 349.6	11 659.3	56 815.2	7.7	20.52
1971	0.397	3 195.5	8 955.5	39 200.9	1 268.81	3 555.33	15 562.78	8.15	22.85
1972	0.412	3 870.8	9 215.1	45 178.2	1 594.89	3 796.62	18 813.42	8.57	20.40
1973	0.426	4 924.2	8 942.1	55 271.3	2 097.71	3 809.33	23 545.57	8.91	16.18
1974	0.46	7 038.5	15 478.8	71 976.8	3 237.71	7 119.33	33 109.24	9.78	21.50
1975	0.532	9 898.5	23 735.9	88 004.0	5 264.94	12 627.50	46 818.13	11.25	26.97
1976	0.574	9 781.6	35 398.9	89 023.9	5 603.16	20 318.97	51 099.72	10.97	39.76
SUMA		38 686.8	101 724.3	388 654.9	19 066.8	51 227.1	188 748.8	10.1	27.14
1977	0.601	9 680.1	35 806.6	81 970.9	5 817.74	21 519.77	49 264.51	11.81	43.68
1978	0.644	12 801.7	42 537.9	102 833.2	8 244.29	27 394.41	68 224.58	12.45	41.37
1979	0.759	17 677.2	51 730.8	134 836.3	13 416.99	39 263.68	102 340.75	13.11	38.37
1980	0.875	28 496.2	63 398.5	186 501.9	24 934.18	55 473.69	163 189.18	15.28	33.99
1981	1	36 102.0	95 497.4	239 966.7	36 102.00	95 497.40	239 966.70	15.04	39.80
1982	0.962	24 655.3	108 941.2	163 547.8	23 718.40	102 877.43	157 333.08	15.08	65.39
SUMA		129 412.5	395 812.4	909 656.9	112 233.6	342 026.4	778 318.8	14.4	43.94
1983	0.925	21 306.5	80 297.7	114 057.4	19 708.51	83 525.37	105 503.10	18.68	79.17
1984	0.889	19 491.9	89 617.1	155 240.0	17 328.30	88 559.60	138 008.38	12.58	64.17
1985	0.856	18 207.8	105 820.0	152 331.6	15 585.88	90 667.52	130 395.85	11.95	69.53
1986	0.846	17 098.2	112 588.5	124 388.2	14 465.08	95 249.87	105 232.42	13.75	90.51
1987	0.809	18 348.8	125 227.3	139 255.1	14 844.26	101 308.89	112 657.38	13.18	89.93
1988	0.773	25 412.8	128 638.6	170 197.4	19 644.09	99 437.64	131 562.59	14.83	75.58
SUMA		119 866.1	662 289.2	855 469.7	101 576.1	558 748.8	723 359.7	14.0	77.24
1989	0.738	30 621.9	127 481.5	202 815.4	22 598.96	94 081.35	149 677.77	15.10	62.86
1990	0.693	32 754.4	133 655.5	239 195.7	22 698.80	92 623.28	165 782.62	13.69	55.88
1991	0.671	38 838.8	129 587.3	282 738.1	25 060.83	88 953.08	189 717.27	13.74	45.83
1992	0.656	39 135.6	115 937.5	289 241.0	25 672.95	78 055.00	189 742.10	13.53	40.08
1993	0.641	43 244.2	117 219.1	329 202.6	27 719.53	75 137.44	211 018.87	13.14	35.61
1994 *	0.626	48 406.7	123 112.0	359 484.5	29 050.59	77 068.11	225 037.30	12.91	34.25
SUMA		231001.6	746992.9	1702677.3	153801.678	501918.241	1130955.91	13.6	44.38

\* Cifras Estimadas.

Fuente. Estadísticas Históricas de México, Tomo II. INEGI  
IV Informe de Gobierno 1992, Anexo Estadístico  
Indicadores de Moneda y Banca, Banco de México, noviembre de 1994.



# CARGA FISCAL Y COEFICIENTE DE ENDEUDAMIENTO 1934-1994 (MILLONES DE DOLARES)



Los datos de 1994 de ingresos tributarios y P.I.B. son estimados

Fuentes: Estadísticas Históricas de México, Tomo II I.N.E.G.I.

Informe de Gobierno 1992, Anexo Estadístico

1994: INDICADORES DE BANXICO. NOV, 94

MEXICO: FUENTE DE LAS ENTRADAS EN TERMINOS DE PORCENTAJE PARA AÑOS SELECCIONADOS, 1868-1989.

FUENTES PRINCIPALES DE INGRESOS FEDERALES

AÑO	CANTIDAD (MMP)	ENTRADAS TOTALES	IMPORTA- CIONES	EXPORTA- CIONES	INDUSTRIA	COMERCIO	I.S.R. 1/	SERVICIOS PUBLICOS	PRESTAMOS Y FINANCIA- MIENTOS	OTRAS FUENTES
1868-1869	0.02	100.0	27.2	7.0	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0	50.5
1898-1899	0.06	100.0	44.0	1.6	1.0	43.4	0.0	6.4	0.0	6.4
1911-1912	0.11	100.0	40.1	0.0	0.0	31.8	0.0	7.2	0.0	20.9
1912-1913	0.11	100.0	43.5	0.4	0.0	29.5	0.0	6.7	0.0	19.9
1924	0.28	100.0	22.0	7.4	3.9	13.0	1.0	5.8	0.0	46.9
1929	0.32	100.0	26.2	3.8	14.5	11.7	4.9	18.6	0.0	20.3
1932	0.21	100.0	23.9	1.8	20.1	14.7	5.0	12.8	0.0	21.7
1934	0.30	100.0	20.1	2.5	20.1	7.7	2.9	8.7	0.0	32.0
1940	0.61	100.0	17.1	10.7	20.3	9.1	9.2	6.6	5.7	21.3
1943	1.3	100.0	7.6	16.5	15.5	7.4	17.1	4.6	14.3	16.6
1946	2.2	100.0	10.7	11.1	16.0	10.4	16.7	4.0	9.7	31.4
1952	6.3	100.0	10.6	12.0	11.7	7.6	22.7	3.0	7.1	25.0
1958	13.2	100.0	12.0	9.5	11.3	7.0	21.3	2.7	10.3	26.9
1960	19.5	100.0	10.1	5.8	8.8	6.8	18.8	2.2	33.2	14.3
1963	19.7	100.0	10.7	5.9	11.9	9.2	27.8	2.9	19.9	11.7
1970	52.1	100.0	12.3	1.9	13.1	9.5	29.7	2.2	20.6	10.7
1975	203.1	100.0	5.2	1.2	15.1	12.5	24.2	1.4	34.7	5.7
1976	266.8	100.0	4.3	1.9	10.9	11.3	23.0	1.3	43.1	5.2
1977	359.7	100.0	3.0	4.3	14.1	11.9	26.0	2.1	35.4	3.2
1978	454.3	100.0	3.3	4.6	13.2	12.4	29.1	1.6	31.8	4.0
1979	670.3	100.0	4.6	5.1	10.7	12.0	25.6	1.0	37.4	3.7
1980	1,039.3	100.0	4.6	13.1	5.8	10.6	23.7	1.0	34.2	7.0
1981	1,608.7	100.0	3.2	12.3	5.3	10.8	20.6	0.9	42.7	6.2
1982	3,527.6	100.0	1.1	14.2	1.0	6.1	13.1	0.6	56.9	7.0
1983	6,886.7	100.0	0.0	3.7	16.0	9.2	12.2	0.6	42.1	14.2
1984	8,256.9	100.0	0.0	1.5	21.6	10.9	14.2	0.7	37.8	13.3
1985	14,221.8	100.0	0.0	2.1	17.3	9.6	13.4	0.8	41.2	15.6
1986	36,637.9	100.0	1.75	0.10	5.99	6.26	9.13	8.89	64.21	3.65
1987	65,516.2	100.0	1.83	0.02	5.72	7.21	9.11	12.71	59.03	4.37
1988	173,861.7	100.0	1.07	0.02	6.12	7.81	11.56	9.04	58.97	5.41
1989	131,702.2	100.0	3.15	0.07	9.65	13.27	20.72	15.44	26.54	11.16

1/CFR. APENDICE N.

a EN PROYECTO

FUENTE: MEXICO. SECRETARIA DE HACIENDA Y CREDITO PUBLICO. MEMORIA 1870, 760; 1900-1951, 74. CUENTA PUBLICA, 1911-1912, 2. MEMORIA: 1911-1913, 355-356; 1923-1925, 46. ANUARIO ESTADISTICO 1930, 312; 1936, 287-291; 1960-1961, 585. CUENTA PUBLICA, 1940-1976. OFA. NAFIN, MEXICO EN CIFRAS, 1972 (MEXICO, NACIONAL FINANCIERA, 1974), 340-345, PARA DATOS EXCLUYENDO PRESTAMOS HASTA 1950, DE 1977-1988 CUENTA PUBLICA.

LES03.FED

D. OLIVER

# MEXICO. GASTOS EFECTIVOS DEL GOBIERNO FEDERAL, SEGUN EL CARACTER POLITICO DE LA FUNCION, 1910 - 1992.

(MILES DE MILLONES DE PESOS)

PERIODO	ESTADO GENDARME					FUNCIONES DE ESTADO INTERVENTOR						TOT. DEUDA PUBLICA (H)	%	GRAN TOTAL GASTO
	TOTAL (A+B+C)	%	ADMON FISCAL Y FUNCIONES (A)	GASTOS MILITARES (B)	OTROS GASTOS (C)	TOTAL	%	ECONOMICOS (D)	SOCIALES (E)	DESARROLLO REGIONAL (F)	PRONASOL (G)			
1910-1911	0 07	77 78	0 04	0 02	0 01	0 02	22 22	0 02				N.D.		0 09
1912-1913	0 15	71 43	0 15	N.D.	N.D.	0 06	28 57	0 04	0 02			N.D.		0 21
1914-1918	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.			N.D.		
1917-1920	0 31	83 78	0 31	N.D.	N.D.	0 08	16 22	0 05	0 01			N.D.		0 37
1921-1924	0 67	69 79	0 67	N.D.	N.D.	0 29	30 21	0 18	0 11			N.D.		0 96
1925-1928	0 58	48 28	0 10	0 33	0 13	0 36	31 03	0 24	0 12			0 24	20 69	1 16
1929	0 38	70 37	0 27	0 09	0 02	0 13	24 07	0 09	0 04			0 03	5 56	0 54
1930-1932	0 33	43 42	0 08	0 19	0 06	0 38	50 00	0 27	0 11			0 06	6 58	0 76
1933-1934	0 23	46 00	0 08	0 11	0 04	0 19	38 00	0 11	0 08			0 08	16 00	0 50
1935-1940	0 93	35 36	0 34	0 49	0 10	1 35	51 33	0 84	0 51			0 35	13 31	2 63
1941-1946	2 47	36 87	1 33	0 94	0 20	2 89	43 13	1 77	1 12			1 34	20 00	6 70
1947-1952	3 55	26 47	0 84	2 11	0 60	6 30	46 98	3 61	2 69			3 56	26 55	13 41
1953-1958	7 48	23 65	1 57	4 51	1 40	14 91	46 95	7 89	7 02			9 37	29 50	31 76
1959-1963	10 60	17 23	2 67	5 73	2 30	25 96	42 20	11 24	14 72			24 95	40 56	61 51
1964-1970	28 84	17 12	9 74	13 70	5 40	73 74	43 78	26 01	47 73			65 85	39 10	168 43
1971-1975	47 22	15 82	17 78	22 34	7 10	161 66	54 17	56 06	105 60			89 55	30 01	298 43
1976-1982	1,266 48	20 96	1,031 25	137 83 1/	97 40	2,295 10	37 98	1,007 64	1,172 76	114 70 2/		2,481 66	41 07	6,043 44
1983-1988	13,763 60	7 08	7,323 10	4,194 50	2,246 00	58,242 10	29 96	27,300 60	24,823 00	4,225 10	1,893 40 3/	122,389 60	62 96	194,395 30
1989-1992	26,787 80	8 42	10,041 70	10,471 50	6,274 60	134,336 80	42 21	46,037 80	71,352 60		16,946 40	157,145 30	49 37	318,269 90

1/ INCLUYE INDUSTRIA MILITAR HASTA 1977.

2/ COMPRENDE EL PERIODO 1977-1982.

3/ CONSIDERA EL PERIODO 1984-1988.

A) LA CLASIFICACION QUE SE UTILIZA DIFIERE DE LA DE J WILKIE, POR QUE PRESENTA POR SEPARADO LOS GASTOS POR CONCEPTO DE DEUDA PUBLICA Y PORQUE AGRUPA, LOS GASTOS CORRESPONDIENTES A FUNCION DEL ESTADO LIBERAL CLASICO LAISSEZ (ESTADO GENDARME) Y POR OTRO, LOS GASTOS CORRESPONDIENTES AL ESTADO INTERVENTOR, AUNQUE HAY ALGUNAS DIFICULTADES DE SEPARACION, LAS CIFRAS PUEDEN ILUSTRAR LAS MODIFICACIONES EN EL ORDEN DE MAGNITUD. SE COMPONE POR HACIENDA, PROGRAMACION Y PRESUPUESTO, PATRIMONIO Y CONTRALORIA

B) SECRETARIAS DE DEFENSA, MARINA E INDUSTRIA MILITAR

C) PODERES JUDICIAL, LEGISLATIVO, SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA, RELACIONES EXTERIORES, GOBERNACION, PROCURADURIA GENERAL DE LA REPUBLICA.

D) SECRETARIA DE LA INDUSTRIA Y COMERCIO, AGRICULTURA Y GANADERIA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, OBRAS PUBLICAS Y RECURSOS HIDRAULICOS, DEPARTAMENTO AGRARIO, TURISMO, PESCA, TRANSFERENCIAS Y SUBSIDIOS PARA FINES ECONOMICOS, ORGANISMOS Y EMPRESAS PUBLICAS

E) SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA, SALUBRIDAD Y ASISTENCIA, TRABAJO Y PREVISION SOCIAL, PAGOS AL I M S S, SEDUE, Y LAS TRANSFERENCIAS Y SUBSIDIOS PARA FINES DE BIENESTAR Y BENEFICIO SOCIAL

F) CORRESPONDE AL RAMO XXVI DEL PRESUPUESTO DE EGRESOS DE LA FEDERACION.

G) CONSIDERA DIVERSOS PROGRAMAS DE TIPO SOCIAL Y A PARTIR DE 1988 SE LE DENOMINA PRONASOL.

H) COMPRENDE TODOS LOS PAGOS POR CONCEPTO DE DEUDA DEL GOBIERNO FEDERAL.

- PARA 1912 - 1918 JAMES W WILKIE "GASTO FEDERAL Y CAMBIO SOCIAL F.C.E."

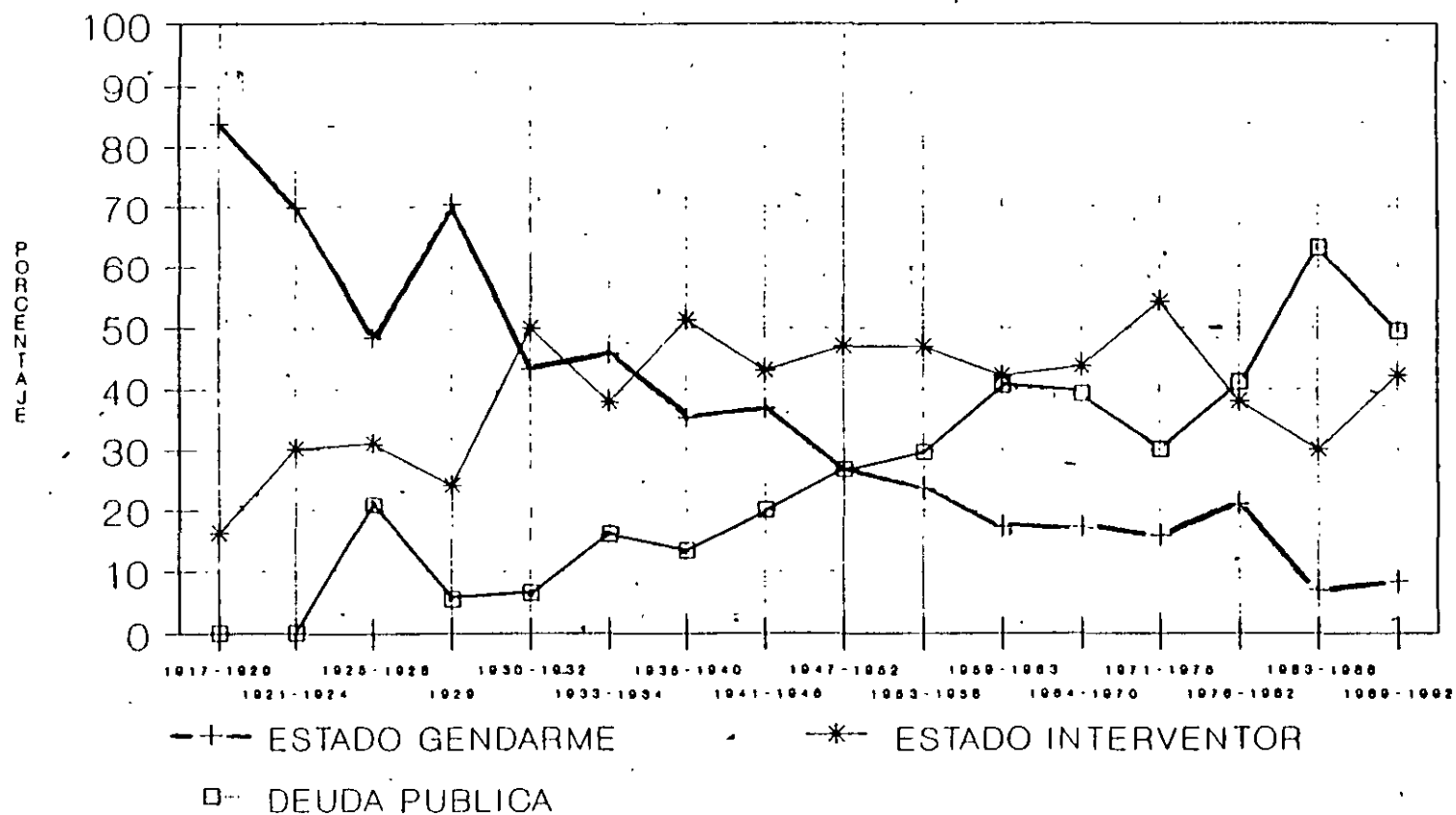
FUENTES: CUENTA DE LA HACIENDA PUBLICA VARIOS AÑOS

LA ECONOMIA MEXICANA EN CIFRAS: NAFINSA, 1990 Y 1992.

A) ESTADISTICO DEL CUARTO INFORME DE GOBIERNO, 1992.

E) ESTADISTICAS HISTORICAS DE MEXICO, 1985

# MEXICO: GASTO RELATIVO DEL GOBIERNO FEDERAL, SEGUN CARACTER POLITICO DE LA FUNCION 1917-1992



**ESTRUCTURA DE LA CUENTA CORRIENTE 1940 - 1994**  
(Millones de Dólares)

AÑO	SALDO EN CUENTA CORRIENTE	CUENTA COMERCIAL				CUENTA DE SERVICIOS				TRANSFERENCIAS	
		EXPORTACIONES	IMPORTACIONES	SALDO	%	NO FACTORIALES		FACTORIALES		SALDO	%
						SALDO	%	SALDO	%		
1940	81.5	213.9	132.4	81.5	100.0						
1941	43.7	243.2	189.5	43.7	100.0						
1942	100.3	272.5	172.2	100.3	100.0						
1943	197.9	410.1	212.2	197.9	100.0						
1944	121.2	432.2	311.0	121.2	100.0						
1945	128.2	500.7	372.5	128.2	100.0						
1946	-30.5	570.1	600.6	-30.5	100.0						
	<b>642.3</b>	<b>2642.7</b>	<b>2000.4</b>	<b>642.3</b>							
1947	-6.4	713.9	720.3	-6.4	100.0						
1948	124.1	715.5	591.4	124.1	100.0						
1949	186.7	701.1	514.4	186.7	100.0						
1950	163.1	493.4	555.7	-62.3	-38.2	241.4	148.0	-49.0	-30.0	33.0	20.2
1951	-202.8	591.5	822.2	-230.7	113.8	50.8	-25.0	-57.9	28.6	35.2	-17.4
1952	-213.0	625.3	807.4	-182.1	85.5	10.6	-5.0	-72.1	33.8	30.6	-14.4
	<b>51.7</b>	<b>3840.7</b>	<b>4011.4</b>	<b>-170.7</b>		<b>302.6</b>		<b>-179.0</b>		<b>98.8</b>	
1953	-204.3	559.1	807.5	-248.4	121.6	96.3	-47.1	-87.2	42.7	35.0	-17.1
1954	-227.5	615.8	788.7	-172.9	76.0	-10.6	4.7	-68.9	30.3	24.9	-10.9
1955	1.7	738.6	883.7	-145.1	-8535.3	209.3	12311.8	-85.8	-5047.1	23.3	1370.6
1956	-182.9	807.2	1071.6	-264.4	144.6	150.9	-82.5	-106.3	58.1	36.9	-20.2
1957	-359.9	706.1	1155.2	-449.1	124.8	153.6	-42.7	-100.8	28.0	36.4	-10.1
1958	-385.8	709.1	1128.6	-419.5	108.8	110.2	-28.6	-114.4	29.7	38.1	-9.9
	<b>-1358.5</b>	<b>4135.9</b>	<b>5835.3</b>	<b>-1699.4</b>		<b>709.7</b>		<b>-563.4</b>		<b>194.6</b>	
1959	-232.0	723.0	1006.6	-283.6	122.2	147.4	-63.5	-134.3	57.9	38.5	-16.6
1960	-419.6	738.7	1186.4	-447.7	106.7	161.4	-38.5	-166.3	39.6	33.0	-7.9
1961	-343.5	799.8	1138.6	-338.8	98.6	136.9	-39.9	-162.9	47.4	21.3	-6.2
1962	-249.6	889.4	1143.0	-253.6	101.6	172.1	-69.0	-186.6	74.8	18.5	-7.4
1963	-226.3	928.5	1239.7	-311.2	137.5	273.7	-120.9	-206.0	91.0	17.2	-7.6
1964	-381.6	1003.6	1429.9	-426.3	111.7	257.3	-67.4	-238.3	62.4	25.7	-6.7
	<b>-1852.6</b>	<b>5083.0</b>	<b>7144.2</b>	<b>-2061.2</b>		<b>1148.8</b>		<b>-1094.4</b>		<b>154.2</b>	
1965	-442.9	1101.3	1559.6	-458.3	103.5	248.0	-56.0	-245.5	55.4	12.9	-2.9
1966	-477.7	1169.9	1602.0	-432.1	90.5	214.3	-44.9	-271.6	56.9	11.7	-2.4
1967	-603.0	1102.9	1736.8	-633.9	105.1	357.6	-59.3	-347.4	57.6	20.7	-3.4
1968	-865.5	1165.0	1917.3	-752.3	86.9	284.9	-32.9	-426.9	49.3	28.8	-3.3
1969	-708.6	1341.8	1988.8	-647.0	91.3	387.7	-54.7	-484.1	68.3	34.8	-4.9
1970	-1129.0	1593.0	2500.0	-907.0	80.2	184.0	-16.3	-623.0	55.2	217.0	-19.2
	<b>-4226.7</b>	<b>7473.9</b>	<b>11304.5</b>	<b>-3830.6</b>		<b>1676.5</b>		<b>-2398.5</b>		<b>325.9</b>	

## ESTRUCTURA DE LA CUENTA CORRIENTE 1940 - 1994

(Millones de Dólares)

AÑO	SALDO EN CUENTA CORRIENTE	CUENTA COMERCIAL				CUENTA DE SERVICIOS				TRANSFERENCIAS	
		EXPORTACIONES		IMPORTACIONES		NO FACTORIALES		FACTORIALES		SALDO	%
				SALDO	%	SALDO	%	SALDO	%		
1971	-896.0	1702.0	2453.0	-751.0	83.8	299.0	-33.4	-705.0	78.7	261.0	-29.1
1972	-1022.0	2163.0	3078.0	-913.0	89.3	417.0	-40.8	-812.0	79.5	286.0	-28.0
1973	-1393.0	2826.0	4364.0	-1538.0	110.4	636.0	-45.7	-843.0	60.5	352.0	-25.3
1974	-3221.0	4051.0	6900.0	-2849.0	88.5	467.0	-14.5	-1258.0	39.1	419.0	-13.0
1975	-4426.0	4258.0	7449.0	-3191.0	72.1	198.0	-4.5	-1909.0	43.1	476.0	-10.8
1976	-3579.0	4981.0	7228.0	-2247.0	62.8	423.0	-11.8	-2257.0	63.1	502.0	-14.0
	<b>-14537.0</b>	<b>19981.0</b>	<b>31470.0</b>	<b>-11489.0</b>		<b>2440.0</b>		<b>-7784.0</b>		<b>2296.0</b>	
1977	-1428.0	6035.0	6579.0	-544.0	38.1	802.0	-56.2	-2228.0	156.0	542.0	-38.0
1978	-2683.0	7921.0	9147.0	-1226.0	45.7	850.0	-31.7	-2931.0	109.2	624.0	-23.3
1979	-4937.0	11517.0	13706.0	-2189.0	44.3	634.0	-12.8	-4073.0	82.5	691.0	-14.0
1980	-10739.9	15511.8	18896.6	-3384.8	31.5	-960.2	8.9	-6669.4	62.1	274.5	-2.6
1981	-16052.0	20102.1	23948.4	-3846.3	24.0	-2206.4	13.7	-10287.3	64.1	288.0	-1.8
1982	-6221.0	21229.7	14437.0	6792.7	-109.2	-850.5	13.7	-12459.4	200.3	296.2	-4.8
	<b>-42060.9</b>	<b>82316.6</b>	<b>86714.0</b>	<b>-4397.4</b>		<b>-1731.1</b>		<b>-38648.1</b>		<b>2715.7</b>	
1983	5418.3	22312.0	8550.9	13761.1	254.0	621.4	11.5	-9265.4	-171.0	301.2	5.6
1984	4238.3	24196.0	11254.3	12941.7	305.4	949.7	22.4	-10063.8	-237.4	410.7	9.7
1985	404.3	21663.8	14533.1	7130.7	1763.7	631.7	156.2	-9157.2	-2265.0	1799.1	445.0
1986	-1770.4	16157.7	12432.5	3725.2	-210.4	808.1	-45.6	-7671.3	433.3	1367.6	-77.2
1987	3820.9	20494.5	13305.5	7189.0	188.1	1892.8	49.5	-6939.9	-181.6	1679.0	43.9
1988	-2922.2	20545.8	20273.7	272.1	-9.3	2293.7	-78.5	-7373.3	252.3	1885.3	-64.5
	<b>9189.2</b>	<b>125369.8</b>	<b>80350.0</b>	<b>45019.8</b>		<b>7197.4</b>		<b>-50470.9</b>		<b>7442.9</b>	
1989	-6085.3	22842.1	25437.9	-2595.8	42.7	2477.1	-40.7	-8041.8	132.2	2075.2	-34.1
1990	-7114.0	40710.9	41593.3	-882.4	12.4	-1980.6	27.8	-7716.0	108.5	3465.0	-48.7
1991	-14892.6	42687.5	49968.6	-7279.1	48.9	-1750.9	11.8	-8608.0	57.8	2745.4	-18.4
1992	-24804.4	46195.6	62129.3	-15933.7	64.2	-2296.3	9.3	-9594.8	38.7	3020.4	-12.2
1993	-23392.8	51886.0	65366.5	-13480.5	57.6	-1675.7	7.2	-10923.6	46.7	2687.0	-11.5
1994 1/	-22057.6	43869.2	57577.8	-13708.6	62.1	-1263.7	5.7	-9305.6	42.2	2220.3	-10.1
	<b>-98346.7</b>	<b>248191.3</b>	<b>302071.4</b>	<b>-53880.1</b>		<b>-6490.1</b>		<b>-54189.8</b>		<b>16213.3</b>	

1/ Cifras al mes de septiembre

Fuentes: Estadísticas Históricas de México 1960 (de 1940 a 1969)  
 Sexto Informe de Gobierno, Anexo estadístico (de 1970 a 1974)  
 Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 1992, INEGI  
 (de 1980 a 1990)  
 Indicadores Económicos Banco de México (de 1991 a 1994)

#### Servicios no factoriales

Se refieren a transportes diversos, fletes y seguros, turismo, transacciones fronterizas y servicios por transformación

#### Servicios factoriales

Comprenden intereses, utilidades y comisiones.

# INVERSION EXTRANJERA DIRECTA EN MEXICO

(millones de dolares)

AÑO	INVERSION	EN EL MERCADO DE VALORES	FIJA
1939	22.3		22.3
1940	9.3		9.3
1941	16.3		16.3
1942	5.5		5.5
1943	8.9		8.9
1944	39.9		39.9
1945	46		46
1946	11.5		11.5
1947	37.3		37.3
1948	33.3		33.3
1949	30.5		30.5
1950	72.4		72.4
1951	120.6		120.6
1952	68.2		68.2
1953	41.8		41.8
1954	93.2		93.2
1955	105.4		105.4
1956	126.4		126.4
1957	131.6		131.6
1958	100.3		100.3
1959	133		133
1960	78.4		78.4
1961	119.3		119.3
1962	126.5		126.5
1963	117.5		117.5
1964	161.9		161.9
1965	213.9		213.9
1966	186.1		186.1
1967	88.6		88.6
1968	116.8		116.8
1969	195.8		195.8
1970	200.7		200.7
1971	196.1		196.1
1972	189.3		189.3
1973	286.9		286.9
1974	362.2		362.2
1975 <sup>2/</sup>	5016.7		5016.7
1976	5315.8		5315.8
1977	5642.9		5642.9
1978	6026.2		6026.2
1979	6836.2		6836.2
1980	8458.8		8458.8
1981	10159.9		10159.9
1982	10786.4		10786.4
1983	11470.1		11470.1
1984	12899.9		12899.9
1985	14628.9		14628.9
1986	17053.1		17053.1
1987	20930.3		20930.3
1988	24087.4		24087.4
1989	26587.1	414	26173.1
1990	30309.5	1256	29053.5
1991	33874.5	6332	27542.5
1992	37474.1	4783.1	32691
1993	42374.8	10716.3	31658.5
1994 <sup>3/</sup>	46094.1	4315.5	41778.6

1/ 1939-1974 INFORMACION TOMADA DE ESTADISTICAS HISTORICAS DE MEXICO, TOMO II, INEGI, 1992.

2/ 1975-1994 INFORMACION TOMADA DEL VI INFORME DE GOBIERNO 1994

3/ CIFRAS PRELIMINARES AL MES DE JULIO

# INFLACION Y TASA DE INTERES

1968 - 1994

AÑO	PESO X DOLAR COTIZACION LIBRE			% INFLACION MEXICO DIC. - DIC.	TASA PREFERENTE 1+2	MEXICO COSTO PORCENTUAL PROMEDIO DE CAPTACION BANCARIA (CPP)	INTERES REAL		INFLACION E.E.U.U.	E.E.U.U. TASA INTERES (PRIME)	LONDRES TASA INTERES (LIBOR)	6-7
	PROMEDIO ANUAL	AL 31 DIC.	DESPLAZAMIENTO DIC. - DIC.				4-2	4-3				
1968	12 50	12 50	0 00	4 50	4 50	9 00	4 50	4 50	4 70	5 50	6 14	0 64
1969	12 50	12 50	0 00	3 10	3 10	10 00	6 90	6 90	6 20	6 46	6 29	1 63
1970	12 50	12 50	0 00	5 90	5 90	10 00	4 10	4 10	5 60	6 46	6 29	1 63
1971	12 50	12 50	0 00	5 10	5 10	9 00	3 90	3 90	3 30	4 60	6 21	1 61
1972	12 50	12 50	0 00	5 50	5 50	8 50	3 00	3 00	3 40	4 30	4 99	0 89
1973	12 50	12 50	0 00	21 30	21 30	9 50	(11 80)	(11 80)	9 70	6 06	9 53	1 47
1974	12 50	12 50	0 00	20 50	20 50	10 50	(10 00)	(10 00)	12 30	9 91	10 70	0 79
1975	12 50	12 50	0 00	11 44	11 44	10 50	(0 94)	(0 94)	6 90	6 00	6 32	0 32
1976	15 44	19 95	59 60	27 20	66 80	11 25	(15 95)	(75 55)	4 90	4 80	5 23	0 43
1977	22 58	22 74	14 00	20 70	34 70	14 04	(6 66)	(20 66)	6 70	5 29	5 72	0 43
1978	22 77	22 73	0 00	16 20	16 20	15 66	(0 32)	(0 32)	9 00	7 57	6 30	0 73
1979	22 80	22 80	0 30	20 00	20 30	17 52	(2 48)	(2 78)	13 30	10 42	11 66	1 24
1980	22 95	23 25	2 30	29 80	32 10	24 25	(5 55)	(7 85)	12 50	12 23	13 77	1 54
1981	24 51	28 23	12 80	28 70	41 50	31 81	3 11	(9 69)	8 90	15 53	16 75	1 22
1982	57 20	150 00	471 90	98 90	570 60	46 12	(52 78)	(524 66)	3 80	11 83	12 78	0 93
1983	150 30	161 35	7 30	80 80	88 10	46 44	(34 36)	(41 66)	3 80	6 67	9 35	0 68
1984	185 20	210 70	30 30	59 20	89 50	47 54	(11 66)	(41 96)	3 90	9 91	10 43	0 52
1985	310 30	450 00	133 60	63 70	177 30	65 66	1 96	(111 64)	3 80	7 65	8 14	0 49
1986	637 90	914 50	104 20	106 70	209 90	95 33	(10 37)	(114 57)	1 10	5 35	6 26	0 91
1987	1 405 80	2 225 00	143 40	159 20	302 60	104 29	(54 91)	(198 31)	4 40	6 30	7 06	0 76
1988	2 257 00	2 295 00	3 14	51 70	54 84	45 48	(6 22)	(9 36)	4 40	7 24	7 86	0 62
1989	2 483 40	2 680 75	16 60	19 70	36 50	40 11	20 41	3 61	4 60	10 50	9 00	(1 50)
1990	2 638 40	2 943 15	9 78	29 90	39 68	29 23	(0 87)	(10 45)	6 10	9 95	6 23	(1 72)
1991	3 025 70	3 074 95	4 48	16 80	23 28	19 95	1 15	(3 33)	3 10	8 41	5 90	(2 51)
1992	3 084 25	3 183 60	3 53	9 80	13 33	22 78	12 96	9 43	2 30	6 43	4 04	(2 39)
1993*	3 153 88	3 33	4 58	5 80	10 38	14 66	8 88	4 30	2 20	6 00	3 19	(2 81)
1994	3 22	5 20	56 00	7 50	63 50	16 34 1/2	8 84	(47 16)	2 70	8 50	6 00	(2 50)

\* A partir de 1993 las cotizaciones se expresan en nuevos pesos  
1/ Corresponden al mes de noviembre

Fuente: INEGI, BANXICO, NAFIN y Anexo Estadístico del Cuarto Informe de Gobierno 1992  
Para E.E.U.U. Reporte Anual del Presidente (inflación)



# OCUPACION Y DESOCUPACION EN MEXICO, 1995

cifras estimadas

Población Total 89,267,298	Población menor de 12 años 21,753,452 24.4%	PEA (Población Económicamente Activa) 36,563,283 54.2%	Población Ocupada 25,777,115 70.5%	Trabajando 25,519,343 99.0%	con pago 23,829,217 93.4%	
			Ausente 257,771 1.0%	sin pago 1,690,126 6.6%		
					sin goce de sueldo o ganancia 190,751 74.0%	
					con goce de sueldo o ganancia 67,020 26.0%	
					iniciador de un trabajo 12,889 5.0%	
	Población de 12 años y más 67,513,847 75.6%	PEI (Población Económicamente Inactiva) 30,950,564 45.8%	Población Desempleada Abierta 10,786,168 29.5%	Con experiencia laboral 9,157,457 84.9%		
				Disponibles 588,061 1.9%	Sin experiencia laboral 1,628,711 15.1%	
					Dedicada a quehaceres del hogar 305,792 52.0%	
					Estudiantes 235,224 40.0%	
					Jubilados o pensionados 29,403 5.0%	
					Otros 17,642 3.0%	
			No Disponible 30,362,503 98.1%	Dedicada a quehaceres del hogar 15,667,052 51.6%		
				Estudiantes 11,568,114 38.1%		
				Jubilados o pensionados 1,275,225 4.2%		
				Incapacitados permanentemente para trabajar 637,613 2.1%		
				Otros 1,214,500 4.0%		

Fuente: Cuadro elaborado por el Dr. Carlos M. Jarque, director del INEGI. Mercado de Valores 4, feb 15, 1993.

Cifras y porcentajes: Estimaciones y Proyecciones del Sistema de Información Empresarial

**DISTRIBUCION DE LA POBLACION OCUPADA 1995.**  
cifras estimadas

Trabajadores con pago	Con IMSS	11,561,000	48.5%						
	Sin IMSS	12,268,217	51.5%						
		<b>23,829,217</b>							
	Const. Informal	896,080	3.8%						
	Const. Formal	515,859	2.2%						
	Maquiladoras	608,101	2.6%						
	Manufacturas	2,575,124	10.8%						
	Agricultura	5,984,970	25.1%						
	Petróleo-minas	429,315	1.8%						
	Electricidad	115,932	0.5%						
	Comercio	1,936,812	8.1%						
	Transportes	741,630	3.1%						
	Servicios	3,473,358	14.6%						
	Gobierno	6,552,037	27.5%						
	<b>Total</b>	<b>23,829,217</b>	<b>100.0%</b>						
	Profesionales	630,621	2.6%						
	Técnicos	767,997	3.2%						
	Maestros	847,411	3.6%						
	Artistas	200,469	0.8%						
	Funcionarios	569,561	2.4%						
	Campesinos	5,173,725	21.7%						
	Inspectores	388,548	1.6%						
	Obreros	3,728,668	15.6%						
	Operarios	1,182,057	5.0%						
	Ayudantes	1,055,828	4.4%						
	Choleros	1,171,619	4.9%						
	Oficinistas	2,186,582	9.2%						
	Comerciantes	2,200,975	9.2%						
	Ambulantes	505,960	2.1%						
	Serv. públicos	1,137,735	4.8%						
	Sirvientes	646,199	2.7%						
	Vigilancia	478,158	2.0%						
	No. espec.	957,304	4.0%						
	<b>Total</b>	<b>23,829,217</b>	<b>100.0%</b>						

Cifras y porcentajes: Estimaciones y Proyecciones del Sistema de Información Empresarial



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

XXVI CURSO INTERNACIONAL DE INGENIERIA DE  
AEROPUERTOS

Del 31 de agosto al 30 de octubre de 1998.

Módulo I

*Planeación de Aeropuertos*

*Tema: TOPOGRAFIA*

Palacio de Minería  
1998.



---

# TOPOGRAFIA

## CONTENIDO

- Origen de la Topografía
- Divisiones Generales
- Relación de la Topografía con los Aeropuertos
- Conceptos Topográficos Básicos (Desarrollar los temas y recapitular en el vocabulario usado)
- Planimetría (Cálculo de una poligonal)
- Altimetría (Cálculo de una nivelación)
- Planimetría y Altimetría simultáneas (Plano tipo)



## ORIGEN DE LA TOPOGRAFÍA

Según las investigaciones que se han realizado, no se sabe aún con absoluta precisión cuál fue el origen de la Topografía, sin embargo, se creó que tuvo lugar en Egipto por el año 1400 A.C. con fines fiscales y parcelarios.

Desde miles de años antes, los Egipcios venían cultivando en los terrenos fértiles y vastos de las márgenes del río Nilo; pero no sabían de las obras fluviales para dominar el río y proteger sus terrenos de cultivo; anualmente las inundaciones destruían los linderos y tenían necesidad de volver a trazarlos después de cada inundación. A las personas encargadas de esta labor se les llamó estiracables, ya que el instrumento de medición consistía de cuerdas o cables anudados.

Los griegos, en el siglo III A.C. , realizan descubrimientos matemáticos, geométricos y geográficos. Con Euclides, los conocimientos de la Geometría se amplían y aparecen las primeras nociones de Topografía; Se le atribuye a Eratóstenes el primer cálculo del radio de la tierra; desde luego aproximado, como consecuencia de los primeros conocimientos geométricos terrestres, precursores de la Topografía.

En el llamado “Siglo de las Luces” o Renacimiento, se desarrollan ampliamente, entre otras, las ciencias físico-matemáticas y la Astronomía, como consecuencia, progresa notablemente la Geografía, trayendo consigo el descubrimiento de la Geodesia, ciencia topográfica que toma en cuenta en sus estudios la curvatura de la tierra.

Con referencia a las culturas precolombinas desarrolladas en México: los Aztecas nos dejaron muestra en la ciudad de Teotihuacán (lugar de los dioses) de un conocimiento topográfico que se ve en el trazo perfecto de la calzada central llamada de los muertos, amplia, pavimentada y perfectamente recta que atravesaba aquella ciudad, sus edificios orientados deliberadamente en tal forma, que a la hora que pasa el sol por el meridiano, quedan perfectamente iluminados los monumentos construidos sobre ellos.



XXVI CURSO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE AEROPUERTOS  
PALACIO DE MINERÍA, CIUDAD DE MÉXICO  
SEPTIEMBRE DE 1998

Aeropuertos y  
Servicios  
Auxiliares



---

El alineamiento perfecto de los basamentos de las pirámides del Sol, la Luna y del templo de Quetzalcoatl, con respecto al eje de la gran avenida, nos da la certeza de que ya aplicaban los principios topográficos.

Conclusiones parecidas, sobre el uso de lo que conocemos hoy como Topografía, se puede apreciar en todas las ciudades antiguas de América, donde también se desarrollaron grandes culturas.



---

## DIVISIONES GENERALES

Se puede hablar de dos grandes ramas, en lo que a la Topografía se refiere, estas son :

Geodesia. Topografía de alta precisión, que se encarga de determinar la posición relativa de puntos en una gran extensión (más allá de 20 Km.), por lo que los métodos de levantamiento, cálculo y dibujo, deben considerar la curvatura terrestre.

Topografía.- Se debe de entender aquella que no necesariamente debe de considerar la curvatura de la tierra, dado que se lleva acabo en extensiones relativamente pequeñas donde la curvatura de la tierra no afecta las dimensiones por levantar.

En un arco de 18 Km. tenemos 1.5 cm. de diferencia con respecto a su cuerda, y en un triángulo equilátero de 190 Km<sup>2</sup>., de extensión, el exceso esférico es de 1".

Los trabajos a realizar por medio de la Topografía pueden caer en una de las tres categorías siguientes :

### Planimetría

Comprende el estudio de los diversos procedimientos que tienen como finalidad la representación en proyección horizontal, de las posiciones relativas de los puntos de la superficie terrestre. Sus operaciones fundamentales son: el trazo y el levantamiento

### Altimetría

Comprende el estudio de los procedimientos que proporcionan en proyección vertical, la posición relativa de los puntos sobre o bajo de la superficie terrestre. Su operación fundamental es la nivelación que puede considerarse como un tipo de levantamiento.

### Planimetría y Altimetría simultáneas

Estudia los procedimientos que proporcionan en proyección horizontal y vertical simultáneamente, la posición relativa de los puntos de la superficie terrestre.



## RELACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA CON LOS AEROPUERTOS

La Topografía está ligada a los Aeropuertos desde que son concebidos. Cuando se encuentra en fase de gestación, se usan en México las llamadas Cartas Topográficas, que contienen información sobre las Poblaciones, Vías Terrestres, Aeropuertos, Líneas (eléctricas, telefónicas y telegráficas), Servicios, Límites Estatales e Internacionales, Puntos de referencia Geodésicos, Curvas de nivel a cada 10 mtrs. Y Rasgos Hidrográficos.

Con toda esta información se pueden proponer sitios con alta probabilidad de ser factibles, en cada uno de ellos se realiza una visita aérea, en la que se simulan las operaciones que se llevarían a cabo en las Pistas hasta ese momento ideales. Basándose en esto, el sitio es aceptado o eliminado para las etapas sucesivas de planeación.

De acuerdo con los Estudios de Pronóstico de Pasajeros y Mercancías; así como el de las superficies necesarias, para dar servicio a la Demanda Esperada. Se lleva a cabo un análisis detallado de todos los factores que intervienen (Operacionales, Sociales y Económicos) y se establece una factibilidad de cada uno de los sitios probables. Los tres más favorables son objeto del desarrollo de sus respectivos anteproyectos, que permitirán la evaluación definitiva de cada uno de ellos. Con todo este análisis se elabora el Informe Final, del que se designa entonces el nuevo Sitio.

Teniendo definido el Sitio para el nuevo Aeropuerto, se procede a instalar una estación Meteorológica, la que idealmente debe de operar durante 5 años antes de la construcción.

Por medio de cálculos estadísticos, se pueda inferir la orientación de la Pista o Pistas que se hagan necesarias. Entonces la topografía vuelve a hacerse necesaria, se llevan a cabo trabajos de Planimetría y Altimetría Simultáneas, se traza el Lindero y los ejes preliminares de la Pista y los Rodajes, así como las áreas rectangulares en las que se desplantarán los Edificios y los Estacionamientos.





En esta etapa intervienen otras ramas de la Ingeniería no menos importantes, como lo son la Geología y la Hidrología, la primera deberá por medio de sondeos y pozos a cielo abierto determinar las diferentes estratigrafías del terreno, que se presentan a lo largo de los ejes preliminares; sobre la base de ellas diseñar un pavimento adecuado para cada área en específico, teniendo cada una de ellas su vehículo de diseño o en su caso un modelo de Aeronave.

Con respecto al estudio Hidrológico, éste deberá comprender la cuenca hidrológica del sitio así como aquellas que la rodean, también la localización de los principales escurrimientos que generen obras ya sea de desvío o a aquellas que den paso expedito a el agua por debajo de los elementos a proyectar.

Es muy importante tomar en cuenta los espejos de agua próximos al Sitio, dado que son refugio de aves, que representan un riesgo para las operaciones aeronáuticas.

Para el diseño de las obras Hidráulicas, deberá de hacerse un análisis de la información tanto de la estación meteorológica del lugar, como de aquellas más próximas; para determinar las curvas de Intensidad Duración Período de Retorno, con las que se pueden obtener gastos de diseño para los periodos de retorno que sean propicios en cada obra de drenaje.


De forma simultánea, otros especialistas estarán llevando a cabo el Llamado Proyecto Aeronáutico, que implica el Cálculo de la Longitud de la Pista, las dimensiones y localización exacta de los Rodajes, Dimensiones de las Plataformas, las Superficies limitadoras de obstáculos y sobre todo los Procedimientos Operacionales.

Cada trabajo terminado previa revisión exhaustiva, se verificará en campo. Con respecto a la Topografía pasa a su etapa de trazo para construcción, que no es otra cosa que plasmar en el sitio, mediante mojoneras, los alineamientos de los diferentes elementos para que se tengan referencias "in situ" del Proyecto por construir.

Con el Plano de trazo se procede a realizar el Proyecto Geométrico, que contempla los Proyectos de Pavimentos (en base a la Geología), Rasante (superficie de rodamiento) , Drenaje (en base a el



XXVI CURSO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE AEROPUERTOS  
PALACIO DE MINERÍA, CIUDAD DE MÉXICO  
SEPTIEMBRE DE 1998

Aeropuertos y  
Servicios  
Asistencia 



estudio Hidrológico y por supuesto a la planta Topográfica), Transiciones y de Movimiento de Tierras. Al término de esta etapa ya se puede hablar de los niveles definitivos de todos y cada uno de los elementos.

Aquí la Topografía vuelve a tomar importancia definitiva, puesto que por medio de ella se llevará el control de la Construcción de todos los elementos conforme al proyecto, así como la cuantificación de los avances de la Obra y desde luego el pago de las respectivas estimaciones.

Cuando la obra es terminada, se llevan a cabo otras actividades de Topografía para determinar la calidad con la que se construyeron los Elementos, Es entonces cuando se generan nuevos planos que se llaman de "Proyecto Terminado", debido a que es prácticamente imposible que no surjan imponderables durante el período de construcción; que idealmente sería de 2 años, que requieran cambios significativos en el Proyecto



**PLANIMETRÍA.-** Comprende los procedimientos que dan exclusivamente la proyección horizontal de la superficie por representar.

En los trabajos de topografía tradicionales; usando tránsito o teodolito y cinta, se hacían necesarios una serie de procedimientos que ayudaran al topógrafo a inferir con mayor certidumbre las magnitudes medidas en campo; se tenía como postulado el siguiente:

“No se puede saber el valor verdadero de una magnitud, como consecuencia, tampoco el error verdadero”-

Todo lo anterior como consecuencia de impresiones instrumentales (baja precisión), naturales (temperatura, viento, refracción, declinación magnética, obstáculos, etc ) y personales (poca pericia, falta de atención).

En la actualidad se han desarrollado una serie de instrumentos que reducen considerablemente las probabilidades de que se presenten las imprecisiones antes mencionadas; por medio de la microelectrónica se ha dotado de computadoras a los nuevos equipos y hoy en día es posible gravar en disco los levantamientos para que al llegar al gabinete sólo se tenga que imprimir los planos del levantamiento; usando desde luego un software apropiado.

Debido a la precisión de estos equipos, a el abatimiento de tiempo y costos, pero sobre todo a el valor de sus componentes, dichos equipos son muy caros, pero se pueden adquirir sin el equipo de libreta electrónica, lo que reduce muy considerablemente el monto de inversión.

Estos apuntes tienen el propósito de proporcionar a los becarios procedimientos prácticos que resultan de gran ayuda en el uso de estos equipos, pues es indudable que tarde o temprano desplazarán a los convencionales.

Es equipo en cuestión se le conoce como “Estación Total”; con el se pueden medir ángulos horizontales y verticales con aproximaciones de centésimas de segundo, así como distancias con aproximación de milímetros; si se mantiene la visual 5 seg el aparato puede calcular el promedio de las lecturas que realiza en ese tiempo, el alcance varía según el No de prismas de la baliza.



TRIANGULACION.- Método usado para el levantamiento de superficies extensas.

Consiste en cubrir la zona por levantar con redes de triángulos, en los cuales se hace la medición directa de uno de los lados, del triángulo inicial llamado base y una vez que se resuelvan sucesivamente dichos triángulos se conocen las dimensiones buscadas.

CLASES DE TRIANGULACIONES :

GEODESICA . Longitud de los lados de los triángulos serán de  $15 \leq L \leq 200$  km, y la longitud medida del lado base  $L_b \geq 5$  km.

TOPOGRAFIA :       $L \leq 10$  km  
                          $L_b \leq 2$  km    (lado base)

SISTEMAS DE TRIANGULACION :

Cadena de triángulos

Cadena de cuadriláteros

Cadena de Poligonos



## OBSERVACIONES .

**Cadenamiento de Triángulos :** Para aquellos trabajos de poca precisión; dado que ésta aumenta con el número de condiciones a que están sujetos los ángulos, y en una cadena de triángulos, sólo existe una condición  $\Sigma \text{ Ang. int.} = 180^\circ$  y los ángulos son ajustados a esta condición antes de calcular las distancias, en toda la cadena.

**Cadenamiento de Cuadriláteros :** Se emplea en el trazo de límites de estados o naciones, y a lo largo de los ríos. los ángulos medidos dan valores para 4 triángulos, en c/u de los cuales la suma deberá ser  $180^\circ$ , además la longitud de cualquier lado deberá ser la misma calculada por diferentes caminos.


**Cadenamientos de Polígonos :** Util en levantamientos de ciudades y en general, siempre que se levante una poligonal que se extienda tanto en latitud como en longitud.  
Un polígono con punto central se compone de un grupo de triángulos, estando la figura limitada por 3 o mas lados y teniendo en su interior una estación de triangulación como vértice común a todos los triángulos.

La suma de los ángulos medidos en cada una debe ser igual a  $180^\circ$ , suma de alrededor de un punto central =  $360^\circ$ , la longitud de cualquier lado se puede calcular siguiendo dos caminos.



XXVI CURSO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE AEROPUERTOS  
PALACIO DE MINERÍA, CIUDAD DE MÉXICO

SEPTIEMBRE DE 1998

Aeropuertos y  
Servicios  
Auxiliares 



CATEGORIA	LONG. MAX. DE LADOS	ERROR MEDIO EN CIERRE	ERROR LINEAL	PRECISION EN LA MEDIDA DE LA BASE
1er. orden	50 a 200 Km	1"	1 25,000	1 1,000,000
2o. orden	15 a 40 km	3"	1 10,000	1 500,000
3er. orden	1.5 a 10 km	5"	1 5,000	1 200,000

Las Categorías de 1° y 2° orden son aplicables a figuras geodésicas.

A las de 3er. orden se les considera topográficas y son las más comunes



**ALTIMETRIA:** Procedimientos que dan exclusivamente la proyección vertical de la superficie por representar .

Determina la diferencia de altura entre los puntos de un terreno.

Sobre un punto de la superficie de la tierra actúan principalmente las siguientes fuerzas:

- a) Atracción de la masa terrestre
- b) La fuerza centrífuga
- c) Atracción de los cuerpos celestes
- d) Presión atmosférica

---

Gravedad

(Resultante de todas las fuerzas)

Por efecto de las atracciones combinadas de sol y la luna, las aguas del mar suben y bajan periódicamente produciendo lo que se denomina flujo o pleamar (máximo ascenso) y reflujo o bajamar (máximo descenso).

El nivel medio del mar sería intersección del geoide (esfera) con la vertical de ese sitio.

En topografía ordinaria se le llama

**COTA** - A la altura con respecto a un plano horizontal arbitrario

**ALTITUD** - A la altura sobre el nivel medio del mar (S. N. M. M.).

**DATUM** - Aquel que se obtiene por medio de observaciones de las mareas con intervalos de una hora durante 19 años, en diferentes puntos de toda una región extensa. El resultado determina un banco de nivel de toda esa región llamado DATUM.



TIPOS DE NIVELACION :

- Indirecta . -
- a) Barométrica.- Se basa en la variación de la presión atmosférica, tomando en cuenta que a la altura del mar la altura barométrica es 76.2 cm de Hg. en la Ciudad de México es de 52 cm de Hg. para cada 10 m, la presión varía 1 mm. de Hg. Generalmente la presión varía cada 100 m en 1 cm de Hg. (Son poco confiables).
  
  - b) Trigonométrica.- Es la determinación del desnivel a partir de la medición de ángulos verticales y distancias; las longitudes pueden ser horizontales o inclinadas (para terrenos muy accidentado).

Caso 1.- Se puede obtener la distancia:

Caso 2.- Cuando no se puede medir la distancia





### Directa o geométrica

a) Diferencial.- Consiste en determinar la cota o elevación de puntos, utilizando un nivel topográfico y un estadal.

Toma su nombre de las diferencias entre las lecturas que se efectúan para encontrar el desnivel entre dos puntos.

Cuando la distancia por nivelar es muy grande, se tendrá la necesidad de colocar el aparato varias veces (PL'S), ya que el error por curvatura en una distancia de 100 m es de 0.0007 y aumentará en proporción al cuadrado de la distancia de la visual; por lo que se recomiendan distancias pequeñas cuando se requiera una buena precisión.

### Desarrollo :

Se coloca el aparato y se nivela en un punto que permita la visualización del estada colocado en banco de partida y se toma esta lectura (0.324), generalmente a esta lectura se le llama vista atrás, por encontrarse en punto anterior en el sentido que se lleva en la nivelación.

La segunda lectura se hace sobre el estadas colocado en el punto siguiente; vista adelante (2.003)

Una vez tomando la 2ª lectura sobre el punto de liga (PL ), se traslada el aparato a otro lugar dirige la visual al punto PL .



---

Se repite la misma operación hasta llegar al nuevo banco de nivel (BN).

Para verificar las operaciones numéricas, efectuando el cálculo por desnivel, que será la suma algebraica de la suma de las lecturas positivas con la suma de las lecturas negativas.

$$\text{SUMA L (+)} + \text{SUMA L (-)} = H$$

Si el desnivel es el mismo que resultó en el cálculo por cotas, se puede decir que no existen errores en las operaciones.

Para verificar la nivelación en preciso hacer otra nivelación y para hacer esto se puede proceder de 3 formas. ver croquis anexos:

1ª. Nivelación de circuito :

Se parte de un banco BN1 a otro BN2 al llegar a este se vuelve a regresar al BN1, cerrado el circuito. La operación de regreso puede seguir los mismos PL'S u otros diferentes.

2ª. Por doble punto de liga

Para evitar el regreso. se podrán ejecutar dos nivelaciones simultáneas utilizando dos puntos de liga con la misma altura del instrumento. (ver anexo)

3ª Doble altura de instrumento

Al llevar 2 nivelaciones simultaneas, podemos cambiar la altura del aparato, con ello tendremos que la cota de los puntos intermedios debe ser la misma; lo único que se modifica es la cota de la línea de colimación.



TOLERANCIAS :

Los errores acumulativos no son tolerables, por lo que únicamente se consideran los accidentales, los cuales siguen la ley siguiente:

El error total es proporcional a la raíz cuadrada del número de estaciones por km.

$$E = C \quad K$$

donde : K = distancia total en km

C = constante

Ver cuadro de tolerancias :

SI  $E \leq T$  el trabajo se puede compensar

La compensación se calcula proporcionalmente a la distancia medida desde el origen

b) Nivelación Perfil .- Se usa para vías de comunicación en general, donde se requieren elevaciones a cada 20 mts, en los puntos de cambio de pendiente o quiebres significativos del terreno, además de puntos críticos como son, cruces entre calle, arroyos, puentes y alcantarillas.


Para apreciar con claridad los desniveles se acostumbra exagerar la escala vertical 10 veces con respecto a la horizontal.

El registro será igual al de la nivelación diferencial , teniendo la precaución de registrar en la columna de PO el cadenamiento de la estación que se trata, separando los kilómetros de los metros por un signo "+" por ejemplo 4.836 61 se anotará 4+836.61



XXVI CURSO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE AEROPUERTOS  
PALACIO DE MINERÍA, CIUDAD DE MÉXICO  
SEPTIEMBRE DE 1998



Aeropuertos y  
Servicios  
Auxiliares 

---



---

## PLANIMETRIA Y ALTIMETRIA SIMULTANEAS

Cadenamiento, elevación y coordenadas de los siguientes puntos :

Cabecera 34

Intersección de pista con rodaje Alfa

Intersección de pista con rodaje Bravo

Intersección de pista con rodaje Coca

Cabecera 16

Dibujar curvas de nivel sea cada 10 cm  
en el polígono comprendido entre los  
vértices

A (600, 2400)

B (600, 2000)

C (200, 2400)

D (200, 2000)

TLC	4200	x 45	FLEX
EAL	4000	x 45	FLIICO
MEX	3900	x 45	OSD FLEX
	3846	x 45	OSI FLEX
PBC	3600	x 45	FLEX
CUN	3500	x 60	FLEX
BIX	3500	x 45	FLEX
ACA	3300	x 45	RIG
PVR	3100	x 45	FLEX
AGU	3000	x 45	FLEX
MTY	3000	x 45	RIG
SLP	3000	x 45	FLEX
ZCL	3000	x 45	FLEX

Page 1

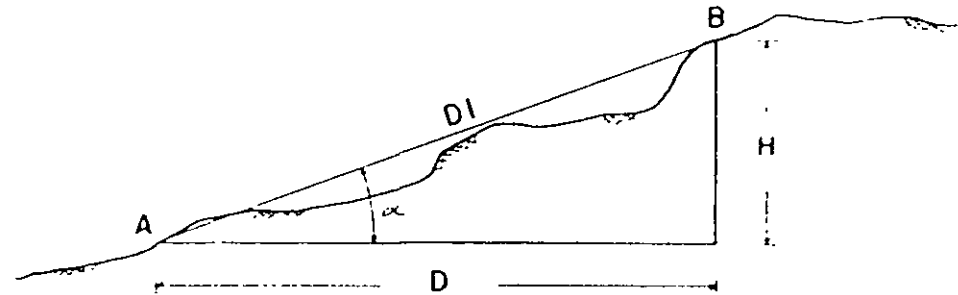
# RELACION DE LA TOPOGRAFIA AL LITON

1. Partes Topográficas y sus partes
2. Orientación del Eje de la Pista y su trazo
3. Trazo de la línea de elementos <sup>(Puffels)</sup>
  - Zedajas, Plataformas, Camino de acceso
4. ~~requisitos~~ <sup>requisitos</sup> topográficos de toda <sup>sección</sup>
  - (~~sección de sección~~)
5. Proyecto de las partes de los elementos
6. Proyecto de transiciones
7. Plan de bienes
8. Control de la construcción
9. ~~...~~
10. ~~...~~

PROYECTO	CONSTRUCCION
1.- Meteorología	1.- Control de Calidad.
2.- Proyecto Aerodinámico	2.- Control de obra
3.- Proyecto Geométrico	3.- Ingeniería de Costos
4.- Instalaciones de Combustibles	
5.- Inst. Hidráulicas y Sanitarias	
6.- Proy. de Pavimentos.	
7.- Proy. de Drenaje	
8.- Proy. Electromecánico	
9.- Proy. de Ayudas visuales	
10.- Proy. Arquitectónico	
	MANITO. Y OPERACION
	1.- Inventario de Daños
	2.- Admon. del <del>Proceso</del> Maquila
	3.- Control de Calidad

Los ángulos se pueden medir con un clisímetro o con un tránsito. Las distancias se obtendrán con cinta o con estadia.

No debemos perder de vista que la distancia entre los puntos no debe exceder los 400 mts. para no incurrir en errores muy graves, debidos a la curvatura y a la lectura propia del estadal.

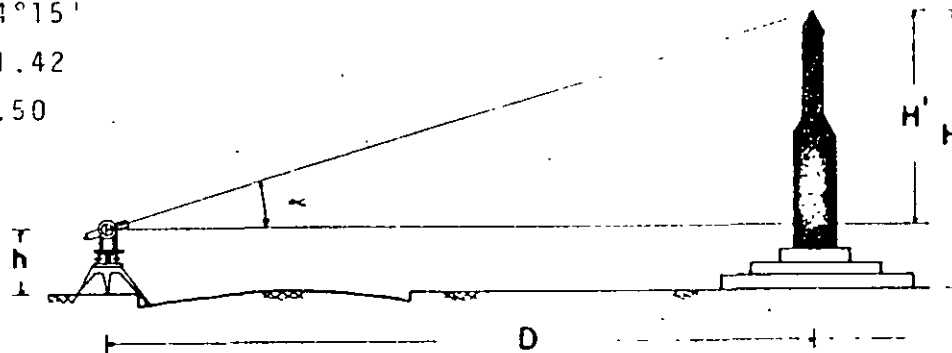


Ejemplo 1. Calcular la altura de una torre, si se midieron los siguientes elementos:

$$\alpha = 24^{\circ}15'$$

$$D = 31.42$$

$$h = 1.50$$





$$H = H' + h = 31.42 \tan 24^\circ 15' + 1.5 \\ = 15.65\text{m.}$$

Ejemplo 2. Calcular la altura de un punto inaccesible cuando no es posible medir la distancia.

Datos:

$$\alpha = 19^\circ 31'$$

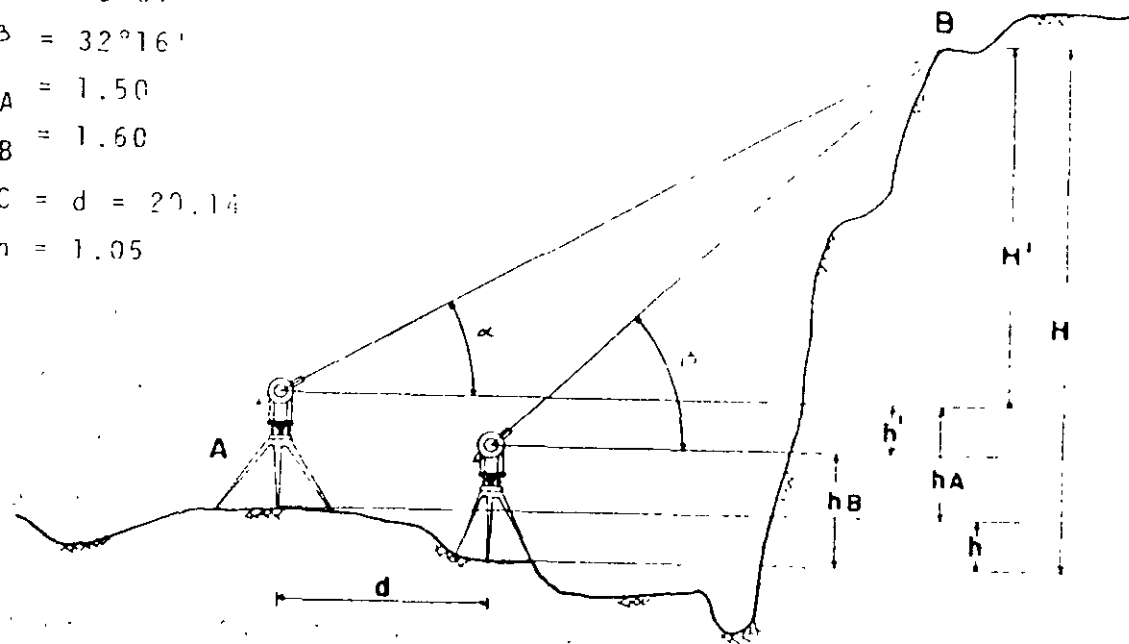
$$\phi = 32^\circ 16'$$

$$h_A = 1.50$$

$$h_B = 1.60$$

$$AC = d = 20.14$$

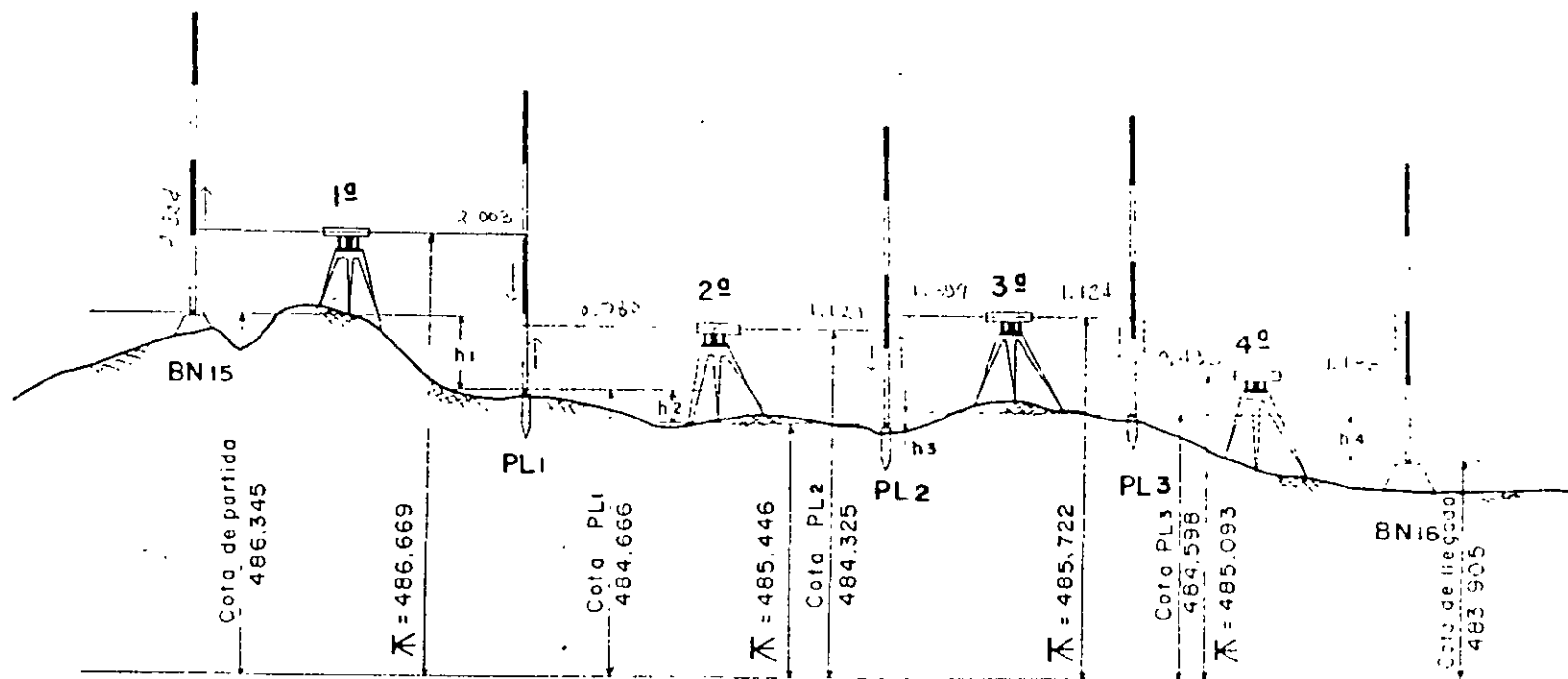
$$h = 1.05$$



$$h' = h + h_A - h_B$$


$$= 1.05 + 1.50 - 1.60 = 0.95$$

aparato nuevamente dirigiendo la visual al punto anterior (PL), de igual forma al punto siguiente. Se repite la misma operación hasta llegar al SN final. A cada nivelación simple así obtenida, se le conoce como "golpe de nivel".







Al igual que en Planimetría, los datos de Altimetría se registrarán tabulados en un orden lógico en la libreta llamada de nivel; en la nivelación diferencial el cróquis sólo se refiere a la localización de los bancos.

## Registro tipo para la nivelación diferencial

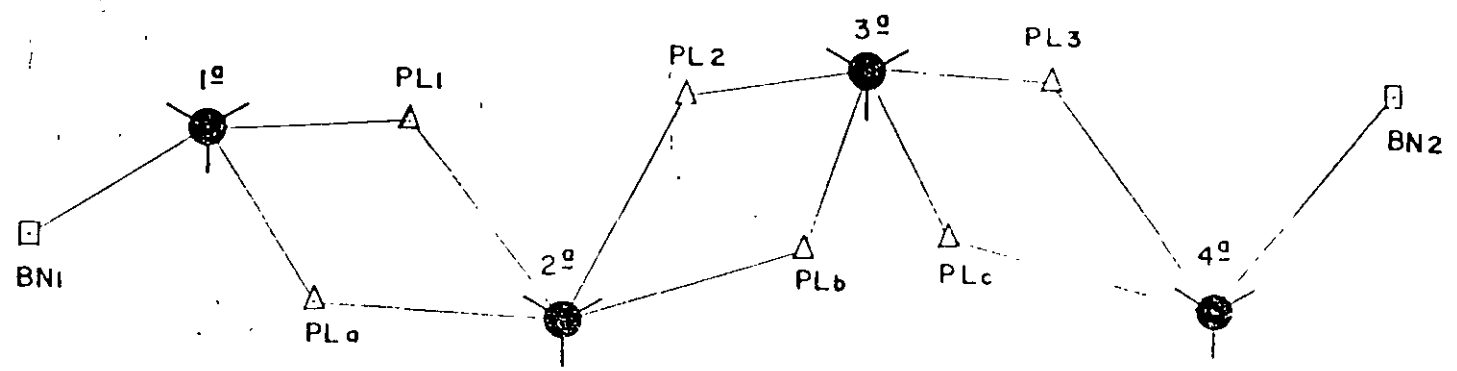
P.O.	Lec. (+)		Lec. (-)	Cotas o Elevación	H o t a s
BN 15	0.324	486.669		486.345	BN 15 en placa de bron
PL 1	0.780	485.446	2.003	484.666	ce en quarnición esq. SW
PL 2	1,397	485.722	1.121	484.325	de las calles de Indepen
PL 3	0.495	485.093	1.124	484.598	cia y Dolores.
BN 16			1.188	483.905	BN 16 en tornillo de
					semáforo W del came
suma L(+) = 2.996		suma L(-) =	4.248	H = 2.440	llón de Av. Juárez y Do-
					lores.

Ejemplo de cálculo por cotas:

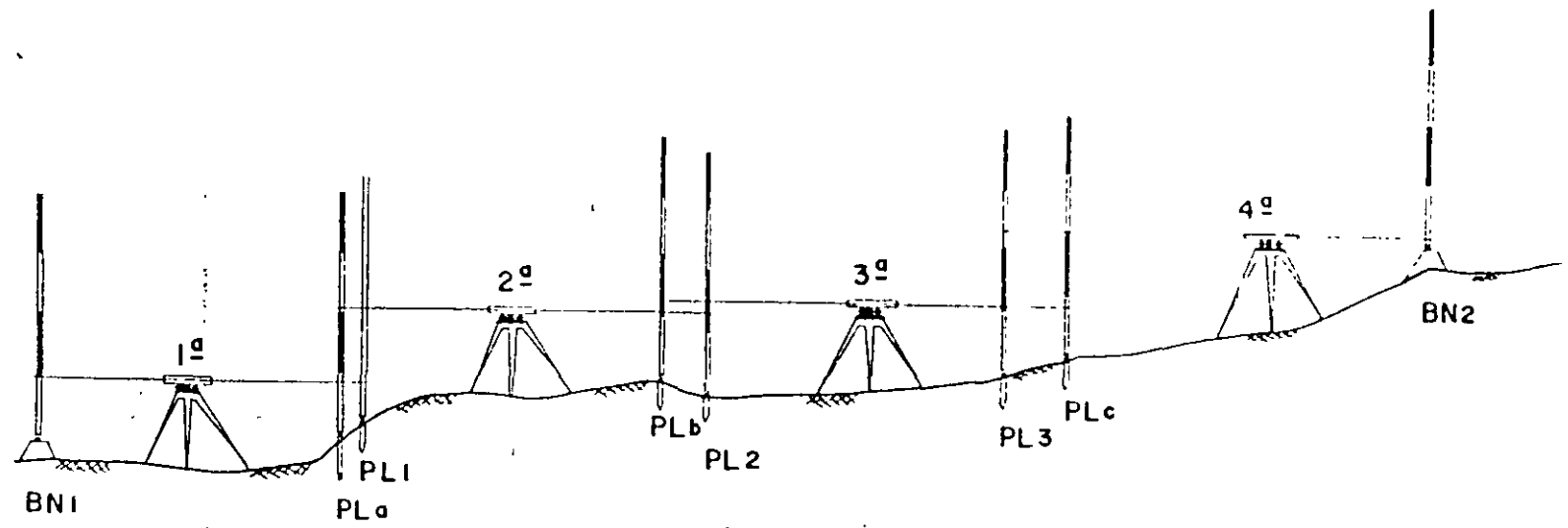
Cota BN<sub>15</sub> 486.345  
 lec. BN<sub>15</sub> + 0.324  
 1a.  486.869  
 lec. PL<sub>1</sub> - 2.003  
 cota PL<sub>1</sub> 484.666  
 lec. PL<sub>1</sub> + 0.780  
 2a.  485.446  
 lec. PL<sub>2</sub> - 1.121  
 cota PL<sub>2</sub> 484.325

cota PL<sub>2</sub> 484.325  
 lec. PL<sub>2</sub> + 1,397  
 3a.  485.722  
 lec. PL<sub>3</sub> - 1.124  
 cota PL<sub>3</sub> 484.590  
 lec. PL<sub>3</sub> + 0.495  
 4a.  485.093  
 lec. BN<sub>16</sub> - 1.188  
 cota BN<sub>16</sub> 483.905

486.345  
 -483.905  
 H = 2.440



Se puede distinguir que la altura del aparato debe ser la misma para cada punto de estación.



24

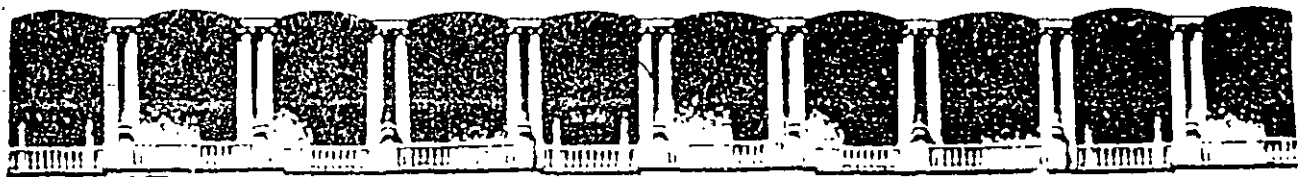


Clase de nivelación	longitud máxima de la visual	Error máximo
Poca precisión	300 metros	$T = 0.15 \sqrt{K}$
Ordinaria	150 metros	$T = 0.04 \sqrt{K}$
Precisión de circuito	100 metros	$T = 0.01 \sqrt{K}$
Precisión doble PL	100 metros	$T = 0.015 \sqrt{K}$
Precisión doble altura	100 metros	$T = 0.02 \sqrt{K}$
Geodésica 2º. orden	100 metros	$T = 0.008 \sqrt{K}$
Geodésica 1er. orden	100 metros	$T = 0.004 \sqrt{K}$

#### Compensación:

Cuando se trata de un error tolerable en la nivelación entre dos Bancos de Nivel, se adopta el valor más probable como resultado final.

Si se pretende compensar la cota de un BN intermedio, su corrección se calcula proporcionalmente a la distancia medida desde el origen.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

## CURSOS INSTITUCIONALES

### XXVI CURSO INTERNACIONAL DE INGENIERIA DE AEROPUERTOS

Del 31 de agosto al 30 de octubre de 1998.

Módulo II

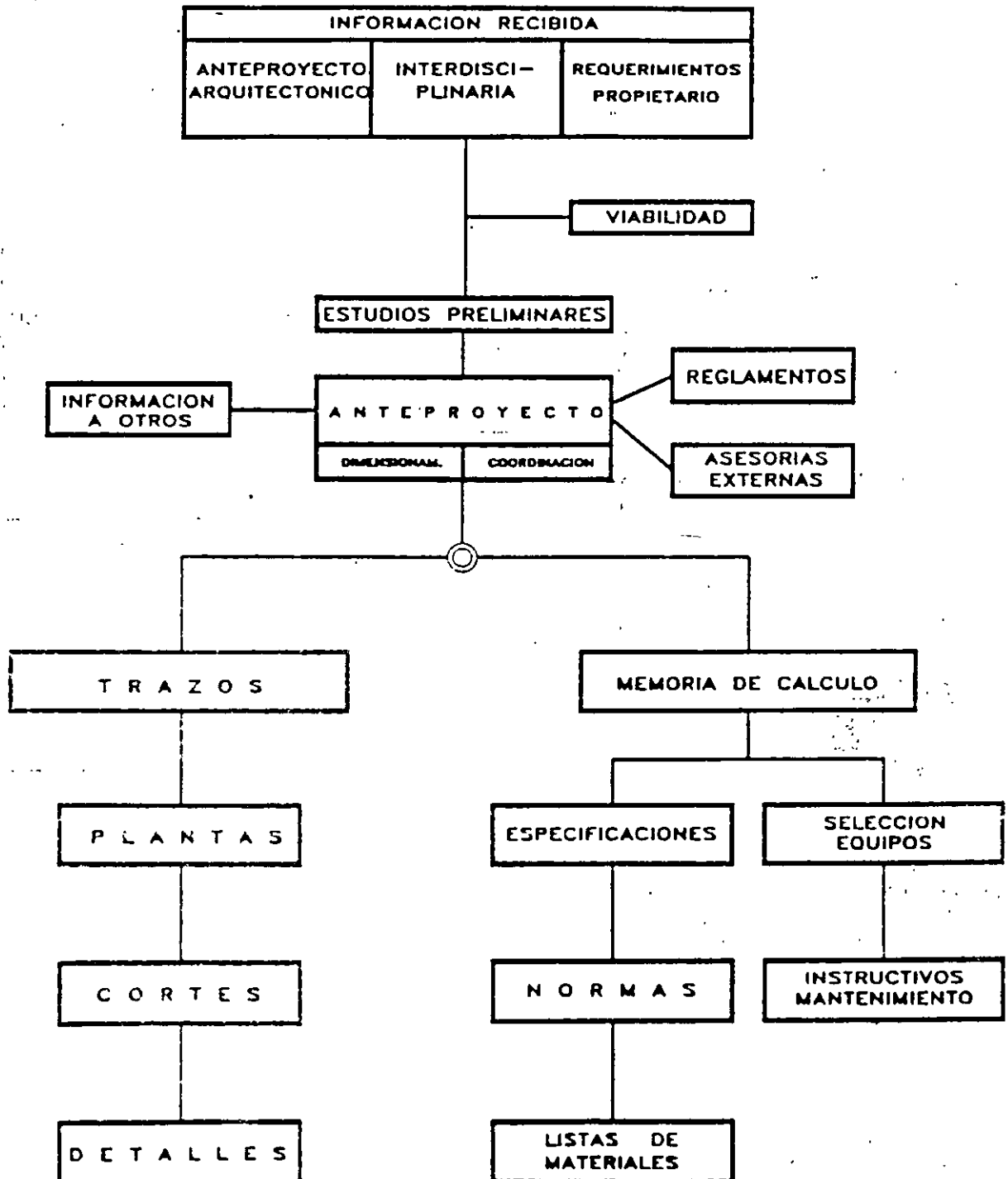
*Proyecto de Aeropuertos*

Anexo

*Autor: Mario Badillo González*

Palacio de Minería  
1998.

# EL PROCESO DE LA ELABORACION DE UN PROYECTO DE INSTALACIONES





# PROCESO DE EJECUCION DE UNA OBRA DE INSTALACION HIDROSANITARIA

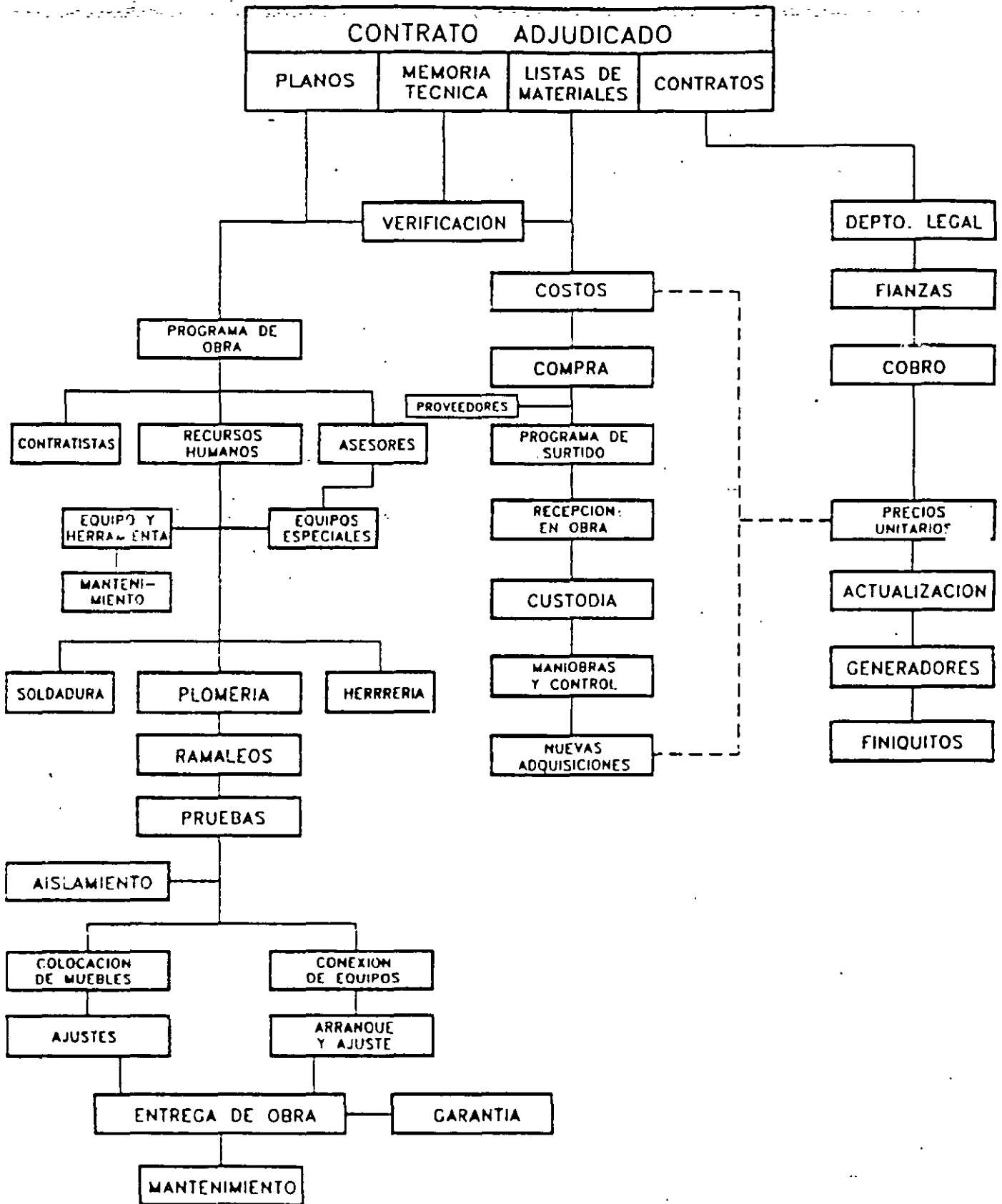


Tabla A-3. Propiedades mecánicas del aire a la presión atmosférica estándar

Temperatura	Densidad	Peso específico	Viscosidad dinámica	Viscosidad cinemática
	kg/m <sup>3</sup>	N/m <sup>3</sup>	N · s/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /s
-20°C	1.40	13.7	1.61 × 10 <sup>-3</sup>	1.16 × 10 <sup>-3</sup>
-10°C	1.34	13.2	1.67 × 10 <sup>-3</sup>	1.24 × 10 <sup>-3</sup>
0°C	1.29	12.7	1.72 × 10 <sup>-3</sup>	1.33 × 10 <sup>-3</sup>
10°C	1.25	12.2	1.76 × 10 <sup>-3</sup>	1.41 × 10 <sup>-3</sup>
20°C	1.20	11.8	1.81 × 10 <sup>-3</sup>	1.51 × 10 <sup>-3</sup>
30°C	1.17	11.4	1.86 × 10 <sup>-3</sup>	1.60 × 10 <sup>-3</sup>
40°C	1.13	11.1	1.91 × 10 <sup>-3</sup>	1.69 × 10 <sup>-3</sup>
50°C	1.09	10.7	1.95 × 10 <sup>-3</sup>	1.79 × 10 <sup>-3</sup>
60°C	1.06	10.4	2.00 × 10 <sup>-3</sup>	1.89 × 10 <sup>-3</sup>
70°C	1.03	10.1	2.04 × 10 <sup>-3</sup>	1.99 × 10 <sup>-3</sup>
80°C	1.00	9.81	2.09 × 10 <sup>-3</sup>	2.09 × 10 <sup>-3</sup>
90°C	0.97	9.54	2.13 × 10 <sup>-3</sup>	2.19 × 10 <sup>-3</sup>
100°C	0.95	9.28	2.17 × 10 <sup>-3</sup>	2.29 × 10 <sup>-3</sup>
120°C	0.90	8.82	2.26 × 10 <sup>-3</sup>	2.51 × 10 <sup>-3</sup>
140°C	0.85	8.38	2.34 × 10 <sup>-3</sup>	2.74 × 10 <sup>-3</sup>
160°C	0.81	7.99	2.42 × 10 <sup>-3</sup>	2.97 × 10 <sup>-3</sup>
180°C	0.78	7.65	2.50 × 10 <sup>-3</sup>	3.20 × 10 <sup>-3</sup>
200°C	0.75	7.32	2.57 × 10 <sup>-3</sup>	3.44 × 10 <sup>-3</sup>

	slugs/pie <sup>3</sup>	ibf/pie <sup>2</sup>	lbf-s/pie <sup>2</sup>	pie <sup>2</sup> /s
0°F	0.00269	0.0866	3.39 × 10 <sup>-7</sup>	1.26 × 10 <sup>-4</sup>
20°F	0.00257	0.0828	3.51 × 10 <sup>-7</sup>	1.37 × 10 <sup>-4</sup>
40°F	0.00247	0.0794	3.63 × 10 <sup>-7</sup>	1.47 × 10 <sup>-4</sup>
60°F	0.00237	0.0764	3.74 × 10 <sup>-7</sup>	1.58 × 10 <sup>-4</sup>
80°F	0.00228	0.0735	3.85 × 10 <sup>-7</sup>	1.69 × 10 <sup>-4</sup>
100°F	0.00220	0.0709	3.96 × 10 <sup>-7</sup>	1.80 × 10 <sup>-4</sup>
120°F	0.00213	0.0685	2.47 × 10 <sup>-7</sup>	1.16 × 10 <sup>-4</sup>
150°F	0.00202	0.0651	4.23 × 10 <sup>-7</sup>	2.09 × 10 <sup>-4</sup>
200°F	0.00187	0.0601	4.48 × 10 <sup>-7</sup>	2.40 × 10 <sup>-4</sup>
300°F	0.00162	0.0522	4.96 × 10 <sup>-7</sup>	3.05 × 10 <sup>-4</sup>
400°F	0.00143	0.0462	5.40 × 10 <sup>-7</sup>	3.77 × 10 <sup>-4</sup>

Fuente: Reproducido con autorización de R. E. Bolz y G. L. Tuve, *Handbook of Tables for Applied Engineering Science*, DRC Press, Inc., Cleveland, 1973. Copyright 1973 por The Chemical Rubber Co., CRC Press, Inc.

Tabla A-4 Propiedades físicas aproximadas de los líquidos a presión atmosférica

Líquidos y su temperatura	Densidad (slugs/pie <sup>3</sup> )	Densidad relativa con respecto al agua a 4°C	Peso específico (N/m <sup>3</sup> ) (lbf/pie <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica (N · s/m <sup>2</sup> ) (lbf-s/pie <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s) (pie <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial (N/m) (lbf/pie)
Alcohol etílico <sup>(1)(2)</sup>	799	0.79	7 850	1.2 × 10 <sup>-3</sup>	1.5 × 10 <sup>-6</sup>	2.2 × 10 <sup>-3</sup>
20°C (68°F)	(1.55)		(50.0)	(2.5 × 10 <sup>-3</sup> )	(1.6 × 10 <sup>-6</sup> )	(1.5 × 10 <sup>-3</sup> )
Tetracloruro de carbono <sup>(3)</sup>	1 590	1.59	15 600	9.6 × 10 <sup>-3</sup>	6.0 × 10 <sup>-7</sup>	2.6 × 10 <sup>-3</sup>
20°C (68°F)	(3.09)		(99.5)	(2.0 × 10 <sup>-3</sup> )	(6.5 × 10 <sup>-6</sup> )	(1.8 × 10 <sup>-3</sup> )
Glicerina <sup>(2)</sup>	1 260	1.26	12 300	6.2 × 10 <sup>-3</sup>	5.1 × 10 <sup>-7</sup>	6.3 × 10 <sup>-3</sup>
20°C (68°F)	(2.45)		(78.5)	(1.3 × 10 <sup>-3</sup> )	(5.3 × 10 <sup>-6</sup> )	(4.3 × 10 <sup>-3</sup> )
Keroseno <sup>(2)(3)</sup>	814	0.81	8 010	1.9 × 10 <sup>-3</sup>	2.37 × 10 <sup>-6</sup>	2.9 × 10 <sup>-3</sup>
20°C (68°F)	(1.58)		(51)	(4 × 10 <sup>-3</sup> )	(2.55 × 10 <sup>-6</sup> )	(2.0 × 10 <sup>-3</sup> )
Mercurio <sup>(2)(3)</sup>	13 550	13.55	133 000	1.5 × 10 <sup>-3</sup>	1.2 × 10 <sup>-7</sup>	4.8 × 10 <sup>-1</sup>
20°C (68°F)	(26.3)		(847)	(3.2 × 10 <sup>-3</sup> )	(1.3 × 10 <sup>-6</sup> )	(3.3 × 10 <sup>-1</sup> )
Agua de mar a 10°C con 3.3% de salinidad	1 026	1.03	10 070	1.4 × 10 <sup>-3</sup>	1.4 × 10 <sup>-6</sup>	
(1.99)			(64.1)	(3 × 10 <sup>-3</sup> )	(1.5 × 10 <sup>-6</sup> )	
Aceites a 38°C (100°F)						
SAE 10 W <sup>(4)</sup>	870	0.87	8 530	3.6 × 10 <sup>-3</sup>	4.1 × 10 <sup>-3</sup>	
(1.69)			(54.4)	(7.4 × 10 <sup>-3</sup> )	(4.4 × 10 <sup>-3</sup> )	
SAE 10W-30 <sup>(4)</sup>	880	0.88	8 630	6.7 × 10 <sup>-3</sup>	7.6 × 10 <sup>-3</sup>	
(1.71)			(55.1)	(1.4 × 10 <sup>-3</sup> )	(8.2 × 10 <sup>-3</sup> )	
SAE 10 <sup>(4)</sup>	880	0.88	8 630	1.0 × 10 <sup>-3</sup>	1.1 × 10 <sup>-3</sup>	
(1.71)			(55.1)	(2.0 × 10 <sup>-3</sup> )	(1.2 × 10 <sup>-3</sup> )	

\*Valores de tensión en la superficie aire-líquido.

Fuentes: (1) V. L. Streeter, *Handbook of Fluid Dynamics*, McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1961. (2) V. L. Streeter, *Fluid Mechanics*, 4a. edición, McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1966; (3) J. Venard *Elementary Fluid Mechanics*, 4a. edición, John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1961; (4) R. E. Bolz y G. L. Tuve, *Handbook of Tables for Applied Engineering Science*, CRC Press, Inc., Cleveland, 1973.

Values of  $(VD^*)$  for water at 60°F (velocity in ft/sec x diameter, in inches)

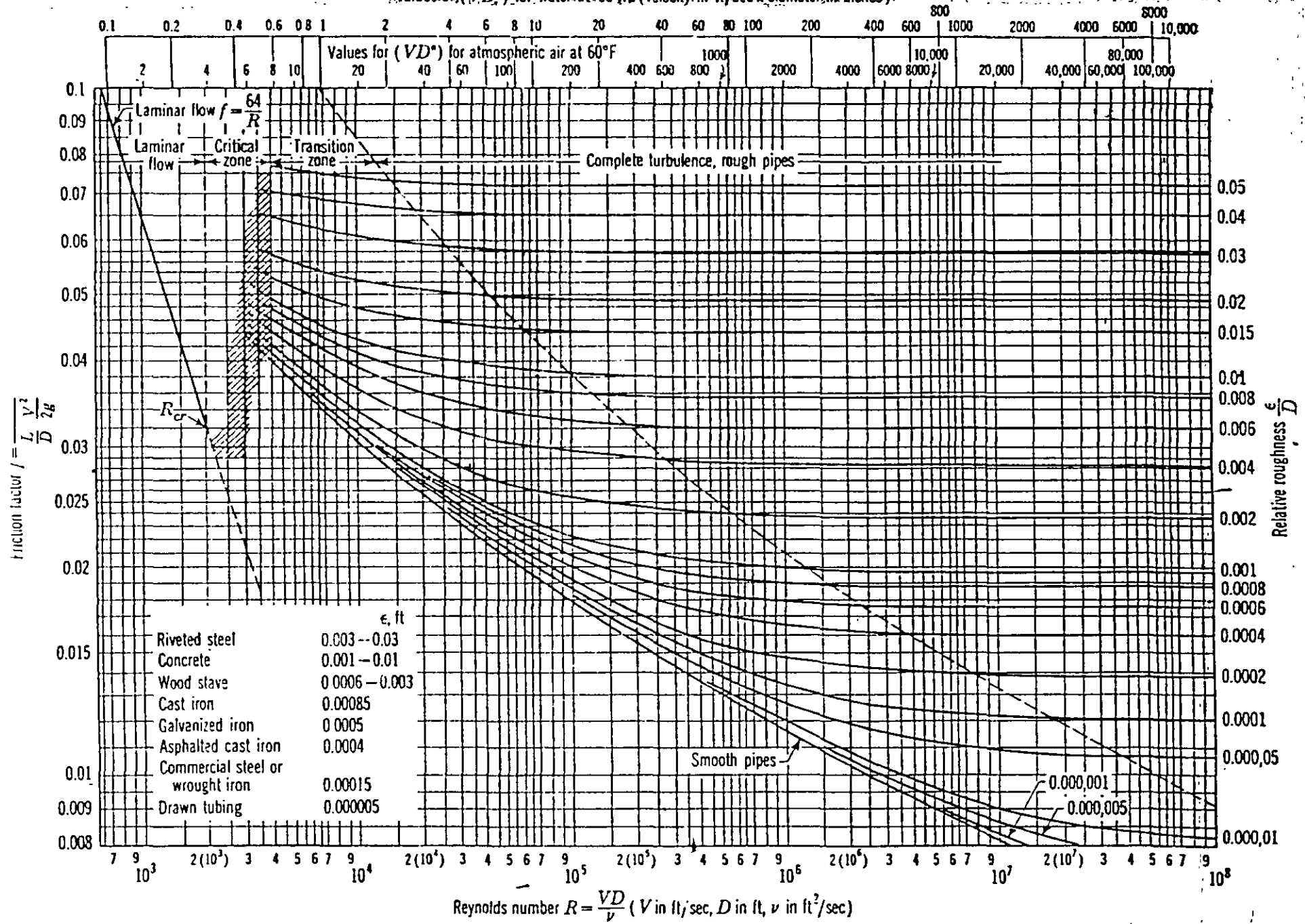


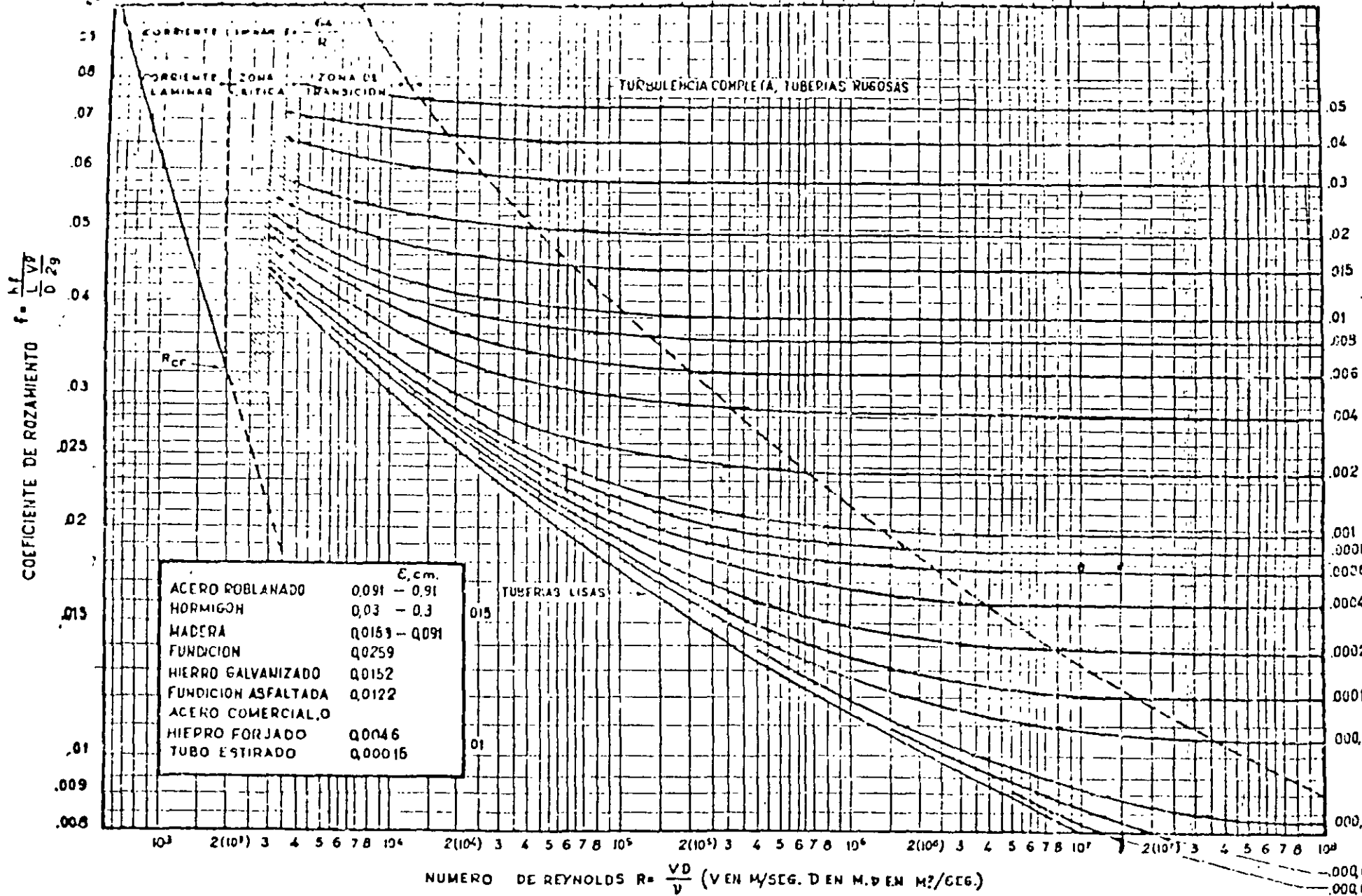
FIG. 5.34. Moody diagram.

VALORES DE VD PARA AGUA A 15°C (VELOCIDAD EN M/SEG. D EN CM.)

80 100 200 300 400 500 600 800 1000 2000 4000 6000 8000

VALORES DE VD PARA AGUA A 15°C (VELOCIDAD EN M/SEG. D EN CM.)

2 4 6 8 10 20 40 60 100 200 400 600 800 1000 2000 4000 6000 8000



## EJEMPLO III.4 INSTALACION PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA

Una bomba de 25 CV de potencia y 75 por ciento de eficiencia, debe abastecer un gasto de  $6 \text{ m}^3/\text{min}$  de agua, a  $10^\circ\text{C}$ , a un recipiente cuyo nivel se encuentra 10 m arriba del cárcamo de bombeo. La tubería de conducción es de fierro fundido con incrustaciones ( $\epsilon = 0.76 \text{ mm}$ ), longitud de 100 m, tres curvas de radio  $R = 5D$  (dos de  $45^\circ$  y una de  $90^\circ$ ) y una válvula con  $K_v = 8$ . Determinar el diámetro necesario en la tubería.

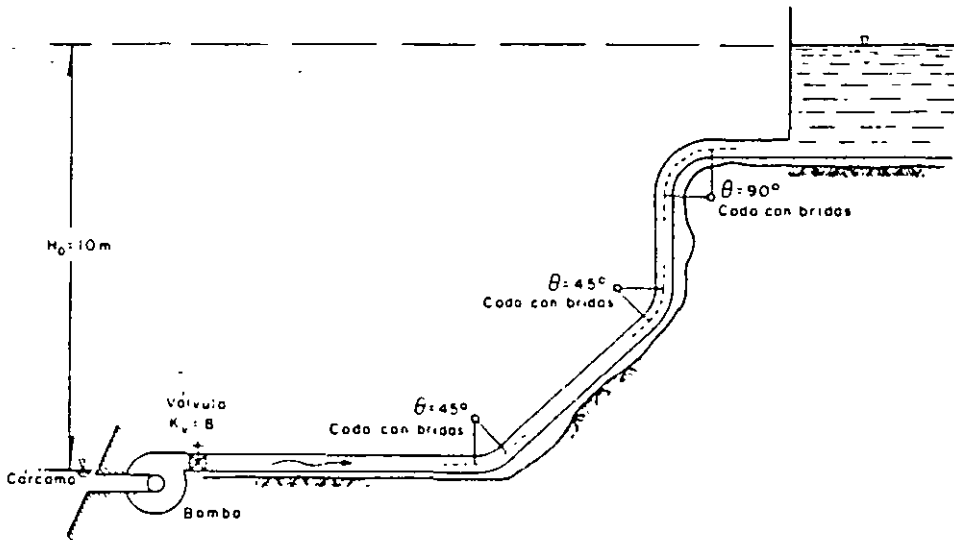


FIG III.4 Instalación para el abastecimiento de agua (ref 1)

*Solución.* La potencia suministrada por la bomba a la tubería es

$$P = 75 \times 0.75 \times 25 = 1\,406 \text{ kg m/s}$$

y la carga de bombeo para  $Q = 6/60 = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , es la siguiente

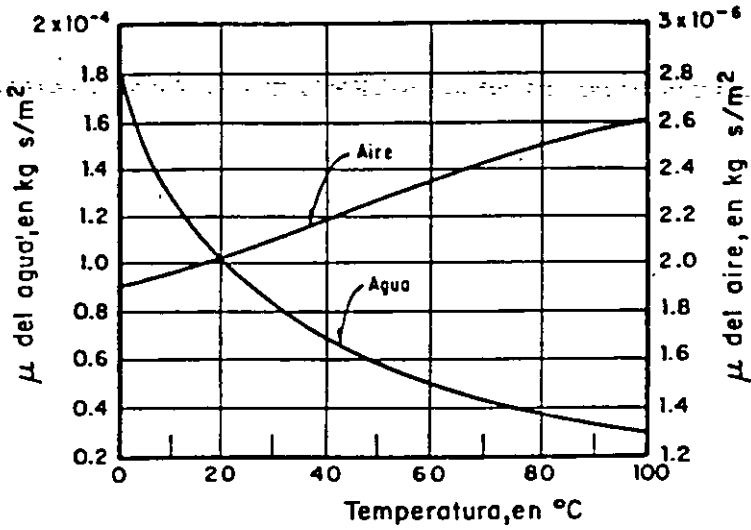
$$H_n = \frac{P}{\gamma Q} = \frac{1\,406}{1\,000 \times 0.1} = 14.06 \text{ m}$$

Como se dispone de esta energía, inmediatamente después de la bomba, de la ecuación de la energía resulta que

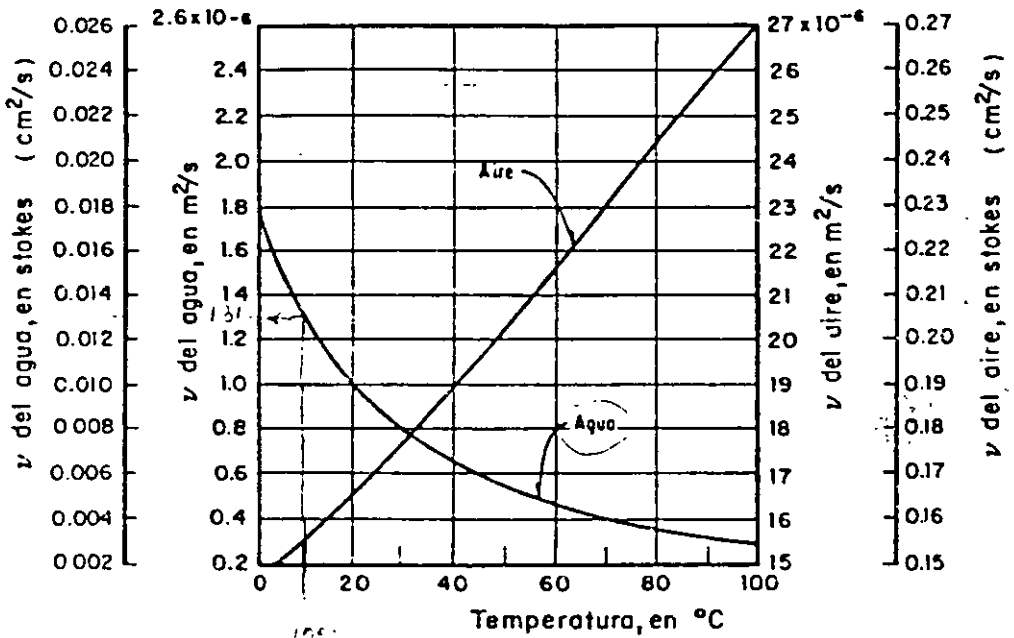
$$14.06 = 10 + \frac{V^2}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = K_o \frac{V^2}{2g} + K_v \frac{V^2}{2g}$$

$$4.06 = \frac{V^2}{2g} (1 + fL/D + K_o + K_v) \quad (\text{III.1})$$

A. I



a)



b)

FIG I.1 a) Viscosidad dinámica del agua y del aire a la presión atmosférica del nivel del mar (ref 1).  
 b) Viscosidad cinemática del agua y del aire a la presión atmosférica del nivel del mar (ref 1).

EJEMPLO III.5 INSTALACION PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA

Una bomba extrae agua ( $v = 0.0112 \text{ m}^3/\text{s}$ ) desde un cárcamo y la entrega, a un tanque elevado, por una tubería (de 381 m de longitud y 102 mm de diámetro) de fierro fundido y asfaltado (fig III.5). La tubería de succión es vertical, de 1.73 m de longitud y está equipada con una válvula de pie. El tubo de descarga contiene dos codos regulares con bridas  $R/D = 1.4$ , una válvula *check* y una válvula de compuerta. Determinar la carga de succión  $h_s$  (antes de la bomba), la carga de bombeo  $h_d$  y la lectura en el manómetro del lado de la descarga  $p_d$ , cuando el gasto sea de 757 l/min. Calcular la potencia en CV, de la bomba, si esta tiene una eficiencia de 80 por ciento.

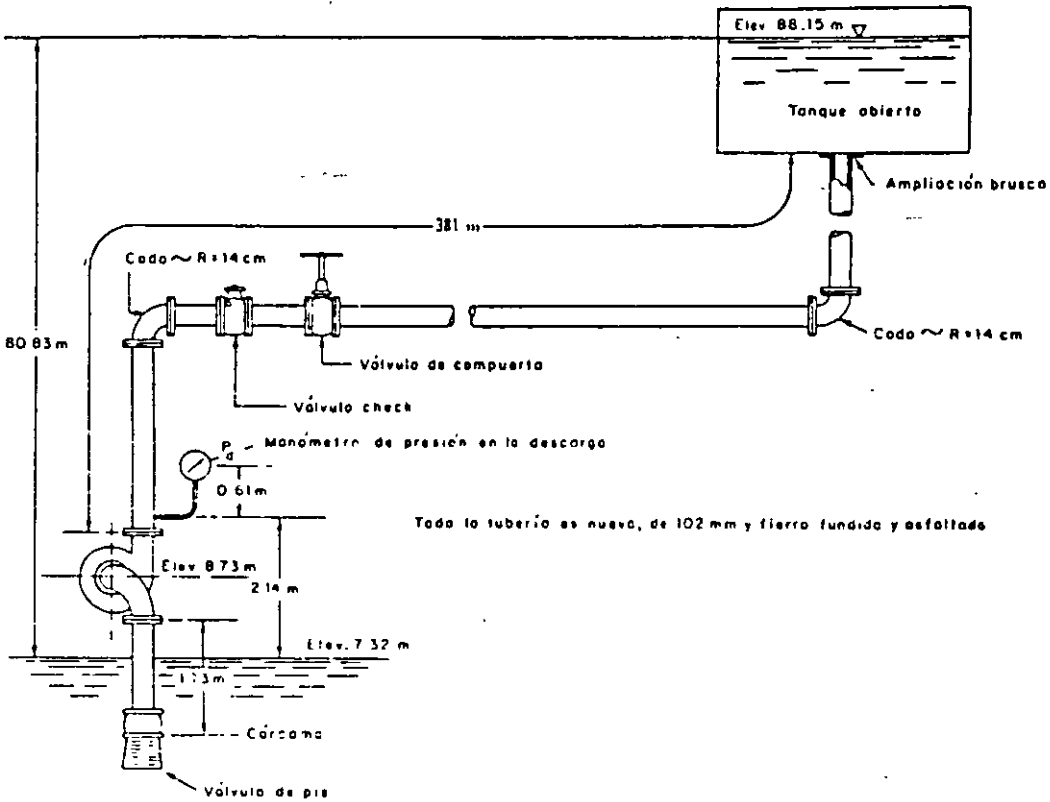
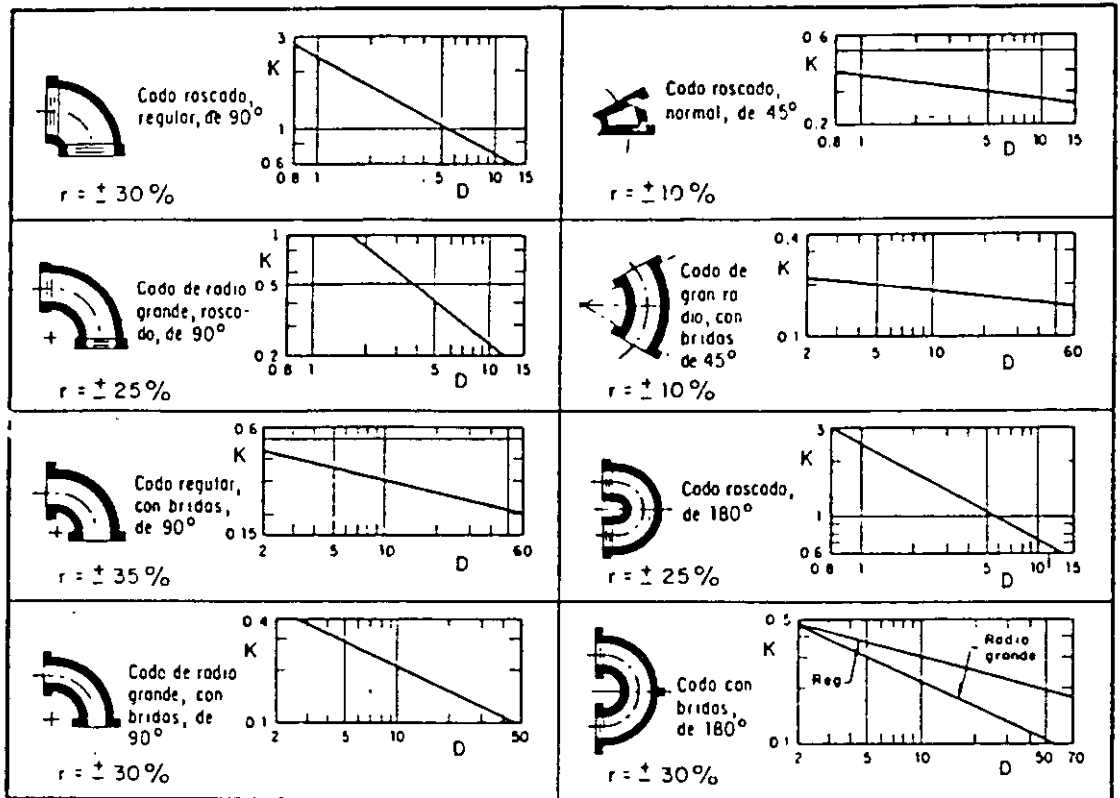


FIG III.5 Instalación para el abastecimiento de agua (ref 1)

*Solución.* Tubería de succión. Para  $D = 102 \text{ mm}$ , de la fig I.4  $\epsilon/D = 0.0012$ , para fierro fundido y asfaltado. La velocidad y el número de Reynolds en el tubo es

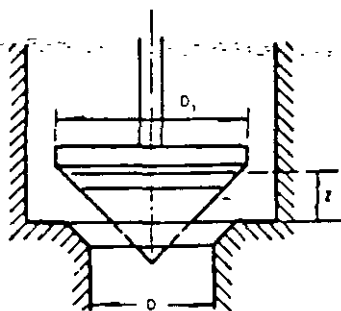


D = diámetro nominal, en cm

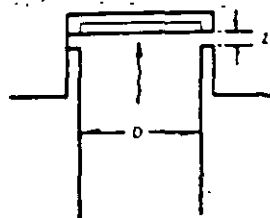
r = intervalo aproximado de variación para K

FIG I.46 Coeficiente de pérdida para los codos (ref 1)





Cónica



Plana

FIG I.96 Válvulas de alivio (ref 1)

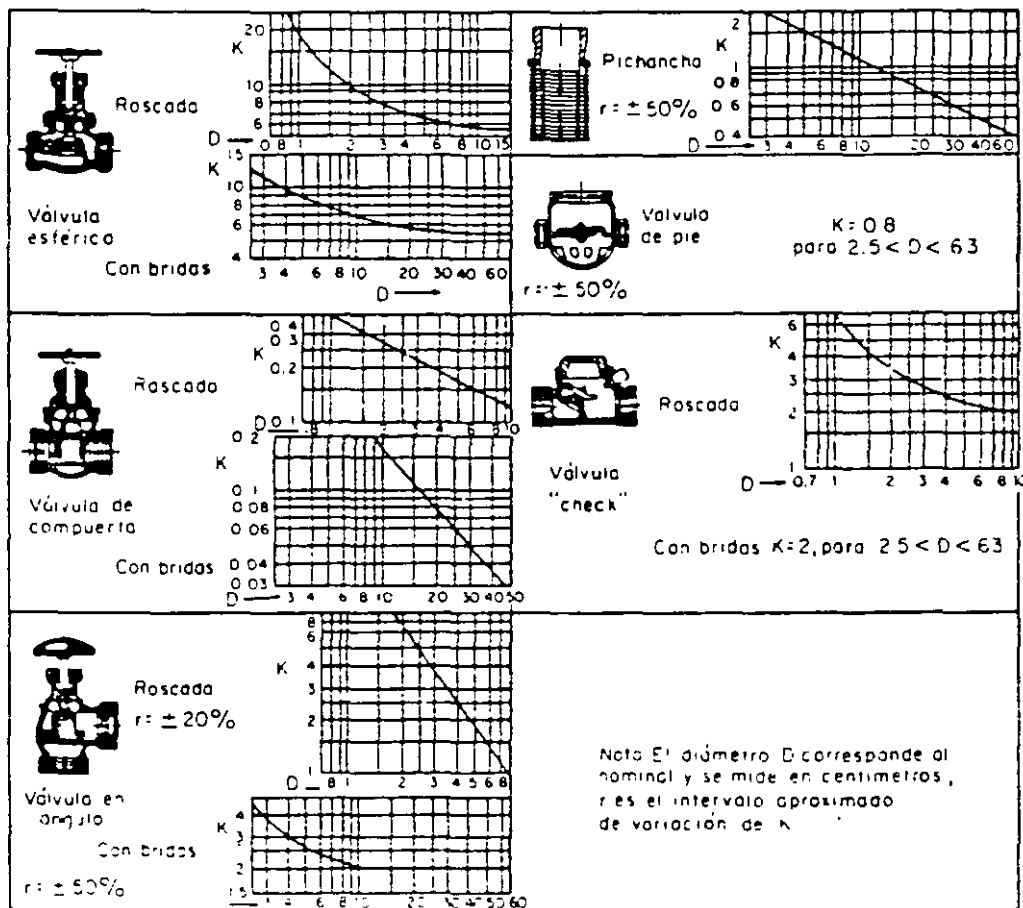
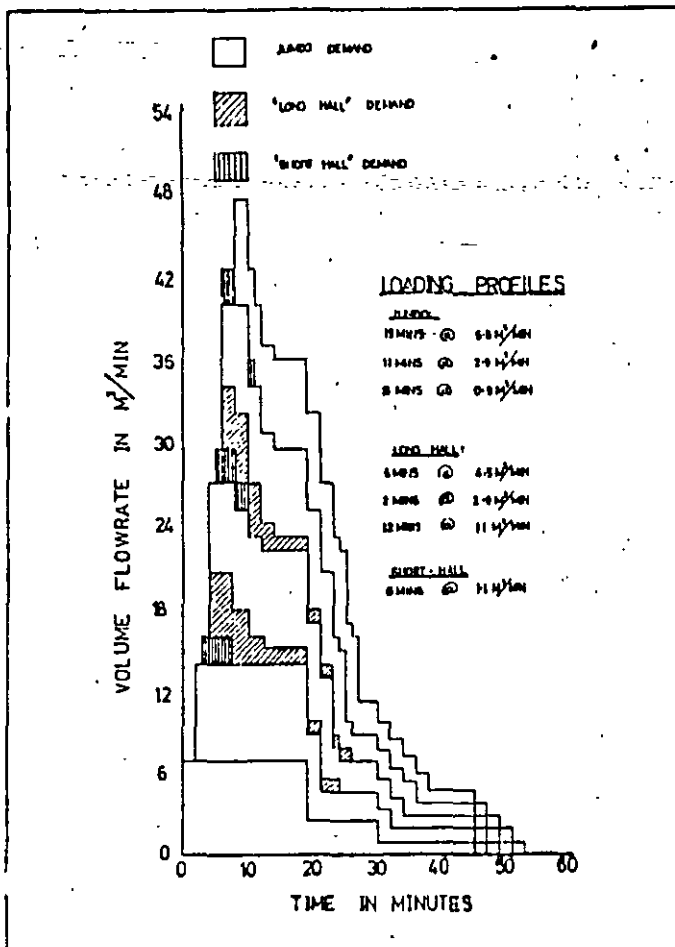


FIG I.97 Coeficientes de pérdida para válvulas completamente abiertas (ref 1)



Leistungsanforderung an die Pumpen während einer typischen Spitzstunde  
Demand on the pumps during a typical peak hour

sich die Betankung eines Flugzeugs mit Hilfe eines Servicers simulieren. Mit dieser Einrichtung kann die H.S.C. nicht nur die Tankmannschaften bestens ausbilden, sondern auch neues fahrbares und ortsfestes Gerät ausprobieren, ohne das Tanken auf die normale Arbeit zu stören. Diese Einrichtung hat bei der Aufdeckung von Konstruktionsfehlern und -mängeln sowohl bei Hydrantenventilen und -kupplungen als auch bei Servicerüstungen wertvolle Dienste geleistet.

Eine weitere nützliche Einrichtung in Perry Oaks ist die zur Entleerung von Flugzeugtanks. Hier stehen vier 9 x 2,75 m messende Tanks mit einem Fassungsvermögen von je 5400 l sowie jeweils einer eigenen Pumpe und eigenem Filter/Wasserabscheider zur Aufnahme des abgezogenen Kraftstoffes zur Verfügung. Aus Gründen der Qualitätskontrolle ist diese aus Tanks, Filtern/Wasserabscheidern, Pumpen und Leitungen bestehende Anlage von den Hauptreservoirn vollkommen getrennt.

#### Das Zapfstellenetz

Von Perry Oaks aus führen die beiden 40-cm-Leitungen unter den Belondecken entlang zum oben erwähnten Pier 7, die 61-cm-Leitung zum neuen Vorfeld West, das die BAA 1974/75 für Großflugzeuge mit langer Umkehrzeiten eingerichtet hat. Nach den Anschlussstellen an die 40-cm-Ringleitung des Pier 7 laufen die beiden 46-cm-Leitungen zu einer 50-cm-Vertikalleitung, an die sie über einen Ventilkomplex neben dem Abstellplatz L31 anschließen. Diese Verbindung mit der vom Vorfeld West kommenden 50-cm-Leitung gibt der H.S.C. die Möglichkeit, im Notfall die Zapfstellen aus zwei Richtungen zu versorgen; ferner trägt das

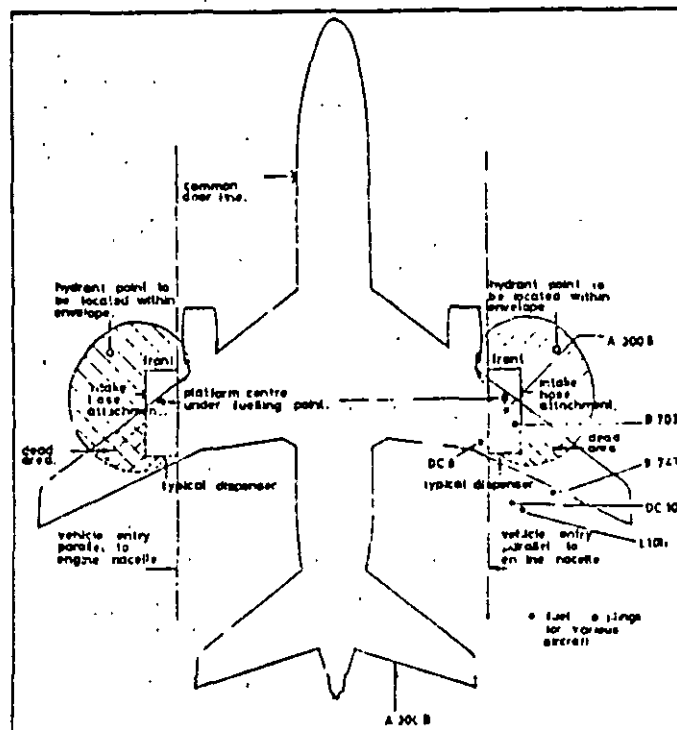
Space and facilities exist to expand the Perry Oaks system to 90,000 litres/min (20,000 IGPM) delivery by the addition of more pumps.

Power for these pumping units is delivered from a BAA sub-station at 11 Kv. H.S.C. then step it down to 3.3 Kv for the larger pumps and 440 V - 3 Phase for the smaller. The pump switch-gear, starters and the control sequencing are contained in a separate switchroom attached to the Perry Oaks Office, again with room for expansion.

The Office contains a control console which monitors all activities. Indicator lights record the state of the pumps (i.e. standby or running) and there are fall safe warning lights for the tankage, electric power, fire and emergency alarms. This control is in radio and telephone contact with the H.S.C. airport central control.

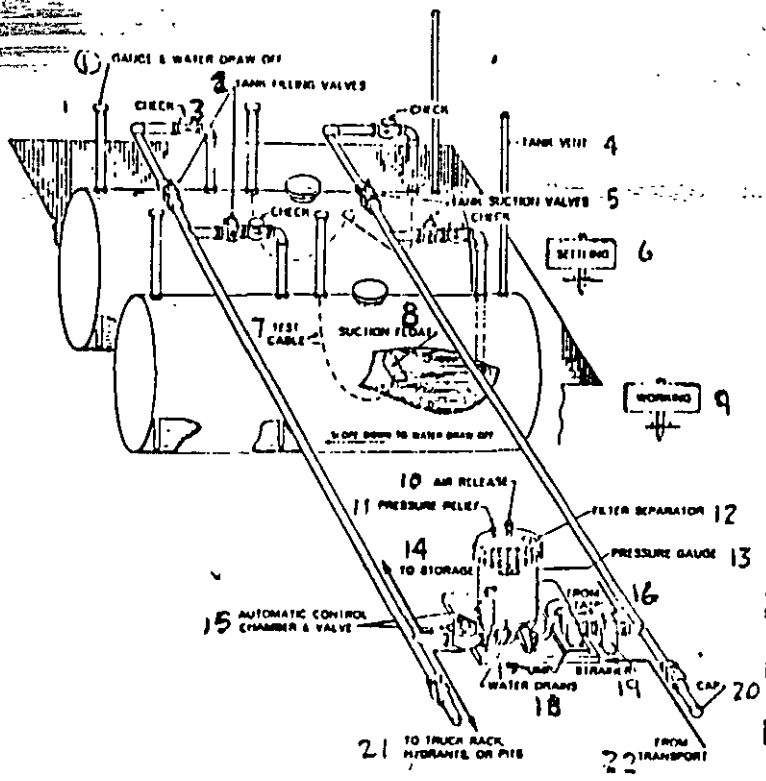
A unique feature at the Perry Oaks Depot is a hydrant test rig. Near on the discharge side of the pumps is located a standard hydrant pit with a high level return flow to the main tankage. This high level return has couplings at similar heights and positions to those of the fuelling couplings of a variety of aircraft. Thus it is possible to simulate a fuelling with a dispenser from a hydrant to an aircraft. This facility not only provides first class training for the vehicle operators, but also enables H.S.C. to try out and prove new mobile and static equipment without affecting the day-to-day fuelling operations. This rig has already proved invaluable in locating faults and deficiencies in manufacturers' design of both hydrant valves and couplings and dispensing equipment.

Another useful addition at Perry Oaks is the defuelling facility, where a bank of four 5,400-litre (12,000-Imperial gallons) 9m x 2.75m diameter (30 foot x 9 foot diameter) tanks are available with their own pump and filter/water separator to receive and return fuel taken off from a customer's aircraft. This system of tank, filter/water separator, pump and pipelines is entirely segregated from the main storage facility for quality control reasons.



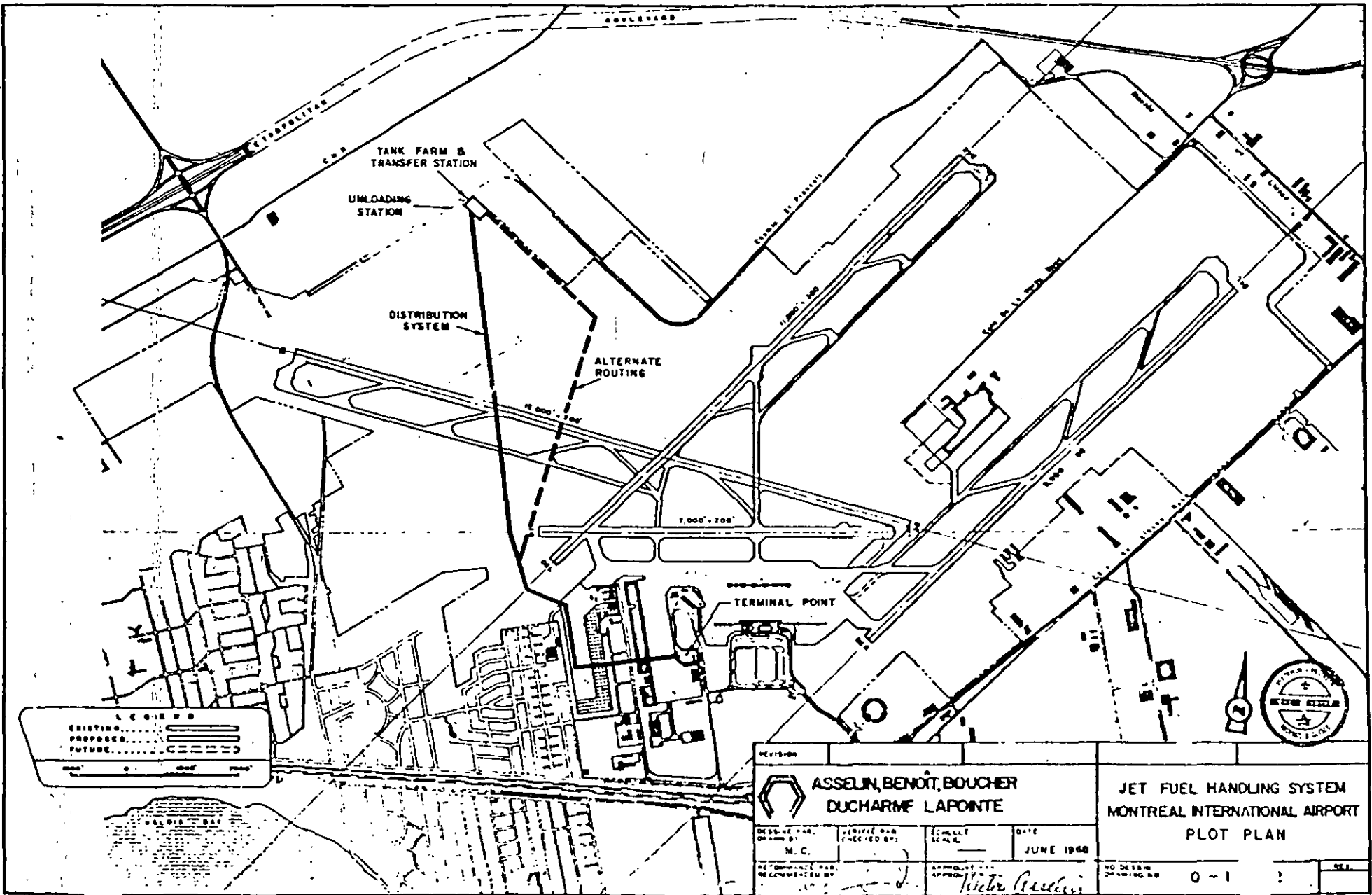
Flugzeugposition und Lage der Tankanschlüsse bei den verschiedenen Flugzeugtypen für den Fall, daß alle nach den linken Kabinentüren ausgerichtet werden

Aircraft position and location of fuelling points of various aircraft models, assuming parking along a common port door line



36

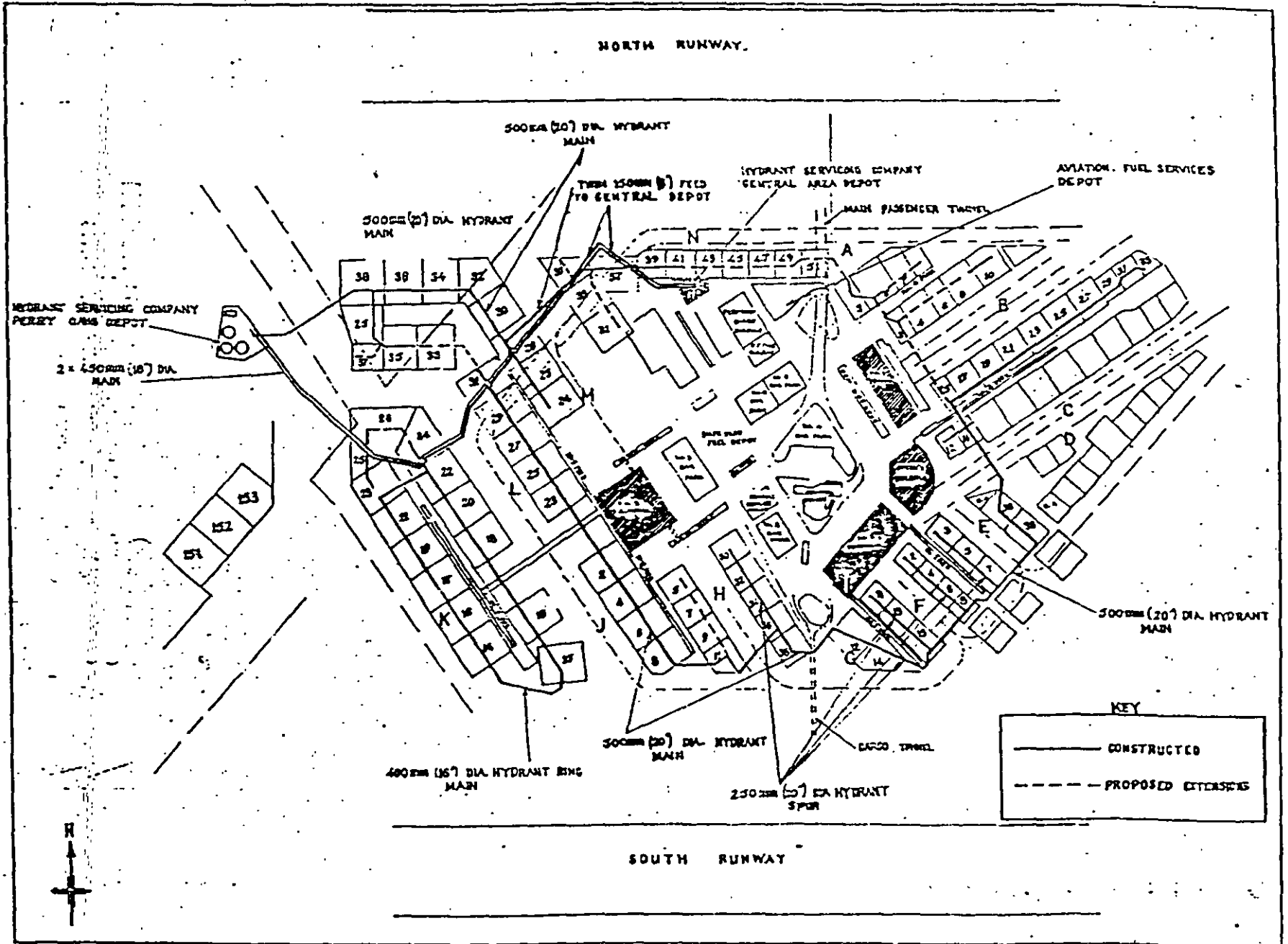
1. - Medición y extracción de agua.
2. - Válvula para el llenado del tanque.
3. - Check (Válvulas de un solo paso)
4. - Respiradero del Tanque
5. - Válvulas para vaciado del tanque
6. - En reposo
7. - Cable de prueba
8. - Succion flotante. - Debe estar ligeramente inclinado para facilitar la extracción del agua.
9. - Trabajando
10. - Escape de aire.
11. - Relevo de presión
12. - Filtro separador
13. - Medidor de presión



LEGENDE  
 EXISTING.....  
 PROPOSED.....  
 FUTURE.....

REVISION <b>ASSELIN, BENOÎT, BOUCHER DUCHARME LAPONTE</b>			
DESIGNED BY M. C.	CHECKED BY	SCALE	DATE JUNE 1968
APPROVED BY <i>[Signature]</i>	APPROVED BY <i>[Signature]</i>	APPROVED BY <i>[Signature]</i>	NO. DESIGNED BY 0-1

JET FUEL HANDLING SYSTEM  
 MONTREAL INTERNATIONAL AIRPORT  
 PLOT PLAN



# Specifications of Hydrant Fueling System

The Hydrant Fueling System is consist of the following facilities.

- (1) Receiving devices
- (2) Tanks
- (3) Distributing (Fuel Service) Facilities
- (4) Distributing Pumps
- (5) Distribution Pipelines
- (6) Measurement Facilities
- (7) Instrumentation
- (8) Electricity
- (9) Fire Extinguishing facilities
- (10) Buildings
- (11) Other Facilities

Fig. 2 Hydrant Fueling System.

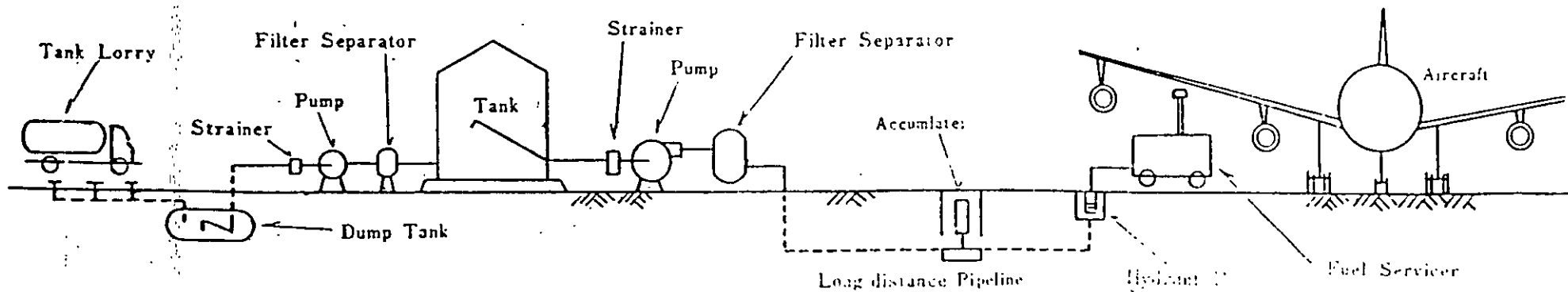
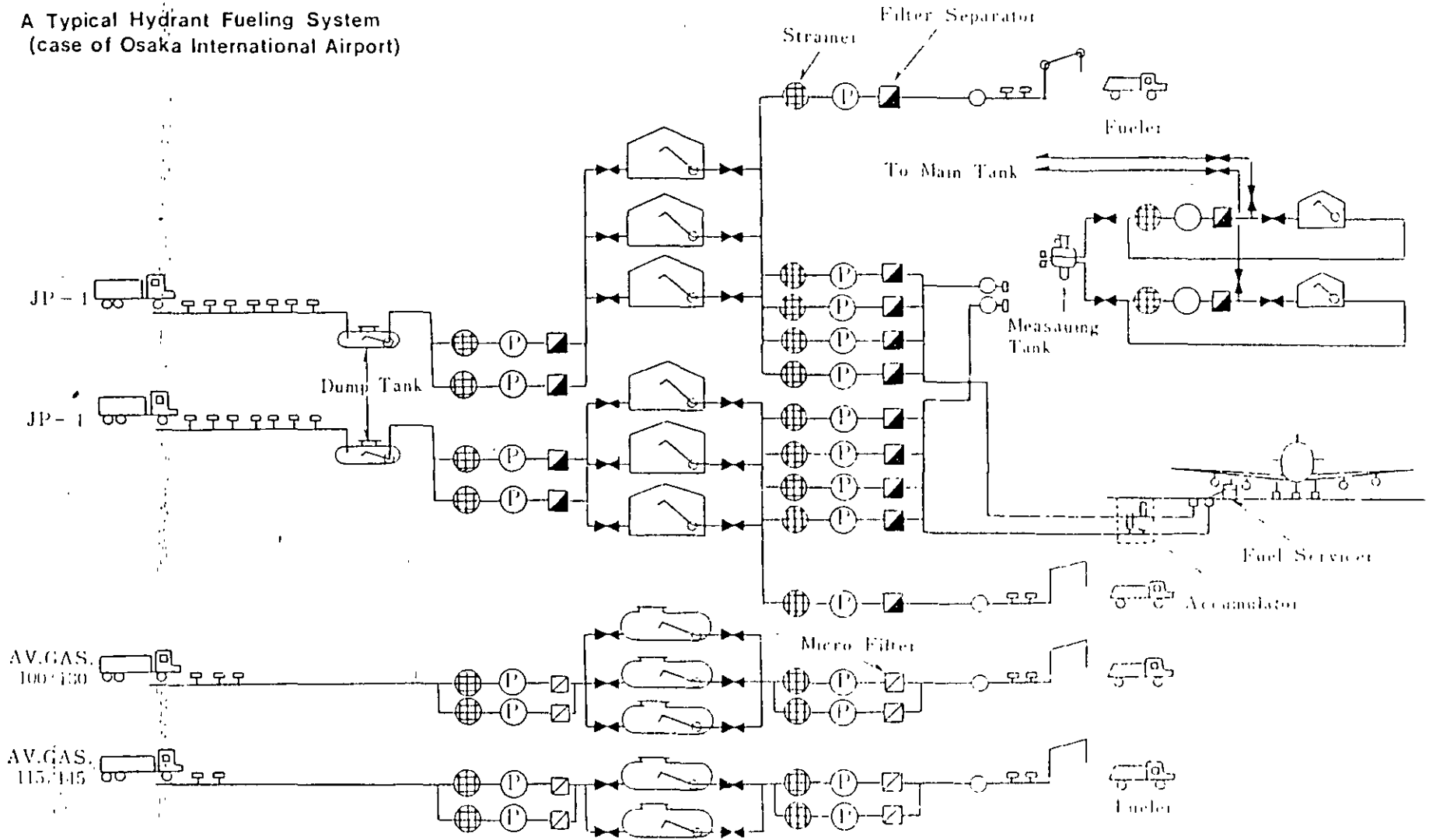


Fig. 1 A Typical Hydrant Fueling System  
(case of Osaka International Airport)



# SISTEMA DE RECUPERACION DE VAPORES

Ing. Angel Chávez

(Fase I y II)

Empresa ya con varios años de experiencia en el ramo gasolinero y preocupada actualmente por el problema de la contaminación, pone a sus órdenes el sistema más completo de recuperación de vapores, mismo que va desde el dispensario y tubería que componen la fase I, seguido del carro tanque que viene a completar la fase II.

## FASE I.

### DISPENSARIO

(Surtidor a control remoto)

Debe llevar un sistema interior para recuperar los vapores que provienen del tanque de combustible y otro "Kit" (juego de conversión) de conversión para mangueras y pistolas, exterior al dispensario para adaptarse al mismo.

El "Kit" interior baja de un tubo de cobre por manguera para mandar los vapores a la tubería de recuperación (3).

El kit de mangueras coaxiales consta de manguera con doble pared y una válvula venturi en el interior para el regreso de gasolina, así la recuperación de vapores por diferencia de presión de vacío [12]

La pistola coaxial viene adaptada con un fuelle de hule que sella con la boca del tanque de combustible del automóvil [13].

El "kit" de válvula coaxial colocado en la parte superior del dispensario, separa la gasolina del vapor dentro del mueble [16]

#### Ventaja:

- \* Esta modificación es requerida para conservar el medio ambiente y no contaminar.
- \* Es indispensable que dicha modificación al dispensario se realice en las estaciones de servicio que estén localizadas en Monterrey, Guadalajara, Puebla y México, aunque la Ley no dice nada al respecto, pero Petróleos Mexicanos si las especifica para las estaciones con franquicia de 3 estrellas y deberá ser obligatorio.

Deben contar con válvula "SHUTT OFF" o de emergencia para evitar fugas e incendios en toda la gasolinera, ya que cuenta con una placa de estaño que se suelta al golpe brusco o que se funde con poco calor (2). El arreglo puede llevar una válvula de cierre rápido o no, que consiste de una pieza que se coloca en manguera sencilla o coaxial (en el caso de que un automóvil quiera darse a la fuga sin haber pagado) [14].

**Ventaja:** La válvula al sentir el jalón de la manguera se cierra para evitar el derrame.

### TUBERIA

Se dispone de conexiones flexibles para las vueltas, conexiones y uniones en tuberías que son principalmente las causantes del 75% de los derrames en el subsuelo y de contaminación [25].

Estos se adaptan en las vueltas de la tubería rígida de acero al carbón, en la que llega al dispensario y en la bomba sumergible que está en el tanque.

Existe la opción de doble pared para contener posibles derrames.

1.- FIBRA DE VIDRIO: En 2", 3" 4" y 6" de diámetro, esto es, que puede ir aparejada una de 2" dentro de una de 3" o una de 3" dentro de una de 4" y así.

Esta tubería tiene conexiones de 45° y 90° y se adapta a través de conexiones flexibles al dispensario y a la bomba sumergible.

#### Ventaja:

- \* Es la más impermeable y resistente a la corrosión con cierta flexibilidad.

2.- FLEXIBLE DOBLEMENTE CONTENIDA: La presentación viene en 1.5" de diámetro (primaria) dentro de una de 3.8" de diámetro (secundaria). Se adapta con acoplamientos en "T" o de 90° tipo codo dentro de contenedores de derrames a base de plástico (9). Es de alta resistencia a la corrosión y a los combustibles.

#### Ventaja:

- \* Totalmente flexible, no requiere de trincheras para su instalación, y no lleva ninguna conexión exterior.

### SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS EN TANQUES "AUTO STICK"

Se controla a través de monitores elec-

trónicos con displays digitales que se conectan a sondas según el tamaño del tanque que cuentan con flotadores, uno para sensar el agua en el tanque y otro para el combustible.

#### Ventaja:

- \* Conocer en todo momento a través de la pantalla y de ticket impreso en el monitor, la cantidad de combustible y agua que existe por tanque y hasta de 8 tanques a la vez.

Las pruebas de hermeticidad que PEMEX inspecciona cada 6 meses, podrán llevarse acabo cada 2 años y con esto lograr un considerable ahorro

### ACCESORIOS Y TAPAS EN TANQUES

Son registros y válvulas de cierre automático para mantener el sistema completamente cerrado y evitar fuga de vapores. [7]

Así mismo se requiere de una válvula de presión-vacío que ajusta la presión que ejercen los vapores en el tanque

## FASE II.

### CARRO TANQUE

Este se lleva los vapores en el momento en que descarga el combustible dentro del tanque, balanceando la cantidad de vapor que se desplaza por la entrada de gasolina en el tanque enterrado.

Se requiere de adaptación en el carro tanque para carga por abajo con accesorios especiales (válvulas, coples, etc.) que el dueño del camión tiene que hacer [20,21].

Una vez que el camión se lleva los vapores pueden hacerse 2 cosas en el centro de distribución de PEMEX:

- Quemar los vapores
- Congelar los vapores para condensarlos en gasolina nuevamente. ●



# TECNOLOGIA DEL AGUA

Bombas para suministro de agua

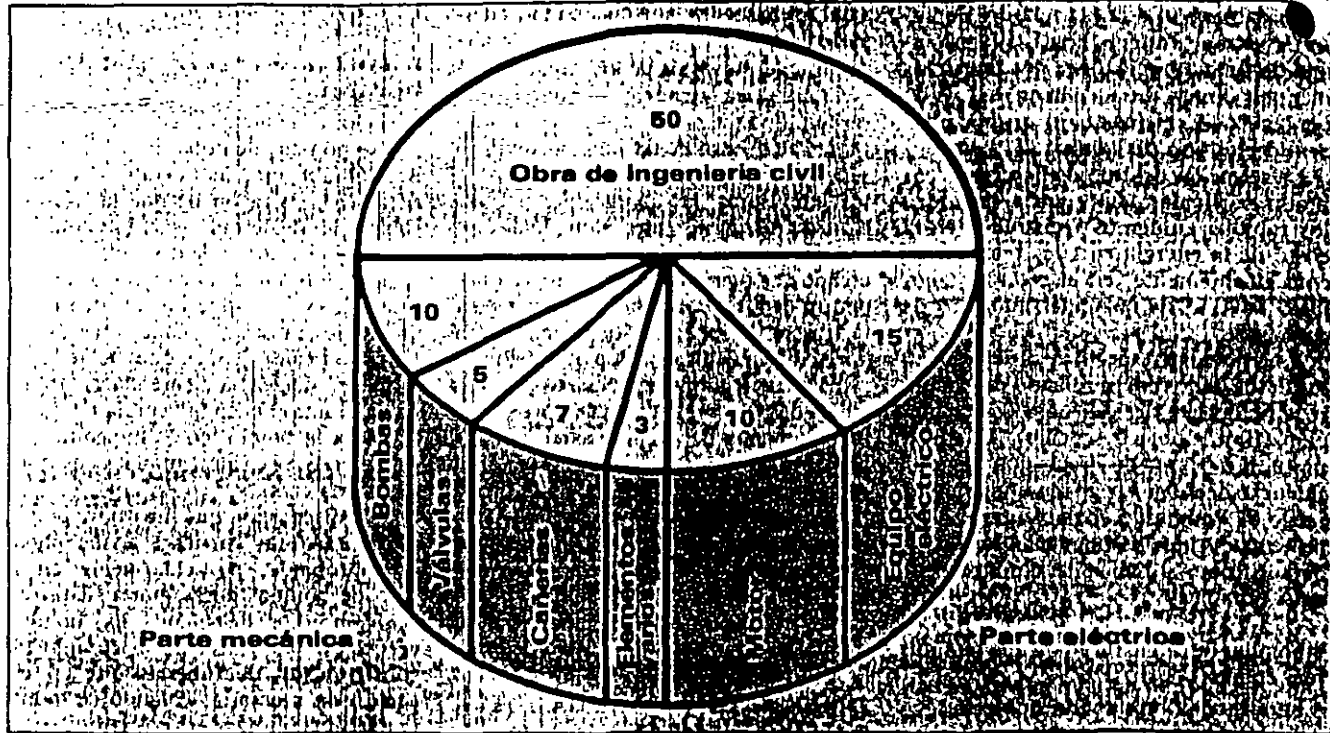


Figura 1. Distribución de costos (en porcentajes) de una planta grande de suministro de agua potable.

Los resultados económicos de una instalación de suministro de agua potable son función de los aspectos mecánicos, eléctricos y de ingeniería civil. Durante la fase de proyecto técnico de una estación de bombeo, es necesario tomar en cuenta y variar una multitud de parámetros. El mejor concepto integral de una instalación particular sólo puede obtenerse en colaboración con el ingeniero de planta, variando la carga de aspiración positiva neta (NPSH), la velocidad y número de bombas empleadas, y el tipo de configuración (sistema abierto o cerrado), sin olvidar la facilidad de servicio.

El mejor diseño de una estación de bombeo, desde el punto de vista de la rentabilidad, está determinado por los costos de las partes electromecánicas, o sea, el motor eléctrico, la bomba, las válvulas y el recipiente a presión, y los costos correspondientes a las obras de ingeniería civil. En la Figura 1 se indica una distribución típica de costos en el caso de una planta de abastecimiento de agua potable de gran tamaño.

Estos sectores—el electromecánico y el de ingeniería civil—tienen un alto grado de dependencia mutua. Debe hacerse notar que tanto los costos de energía, determinados por la selección de elementos

electromecánicos, como los de ingeniería civil, son apreciablemente influidos por las condiciones locales. En presencia de un incremento mundial en el costo de la energía, la selección del tipo de bomba adquiere más importancia.

Existe toda una serie de diferentes bombas entre las cuales escoger de acuerdo con los datos de operación dados. El tipo de bomba seleccionado tiene influencia significativa en el rendimiento, el precio del conjunto completo, y el volumen total ocupado por la planta.

La facilidad de servicio de la bomba y la vida útil de sus componentes (y, por tanto, los costos de reemplazo de los mismos) deben también tener una influencia importante en la elección del tipo de bomba.

Cuando se estudia una estación de bombeo para suministro de agua, el diseño técnico óptimo solamente puede obtenerse mediante estrecha colaboración entre el fabricante de la bomba, el suministrador del motor y el ingeniero civil encargado de la planta. Las condiciones pasajeras como, por ejemplo, los arriazos de agua, han también de tomarse en cuenta desde el comienzo de la fase de ingeniería, puesto que aquí se pone en juego el dimensionamiento de la tubería. Por lo tanto, las medidas y los equipos de protección necesarios, tanto de ingeniería civil como mecánicos, tienen que ser parte de la consideración general.

## Criterios de disposición para bombas monoetápicas y multietápicas

En razón de los costos de ingeniería civil, en la mayoría de los casos el valor de la presión disponible a la entrada del impulsor o rotor, es el factor decisivo en la selección del tipo de bomba.

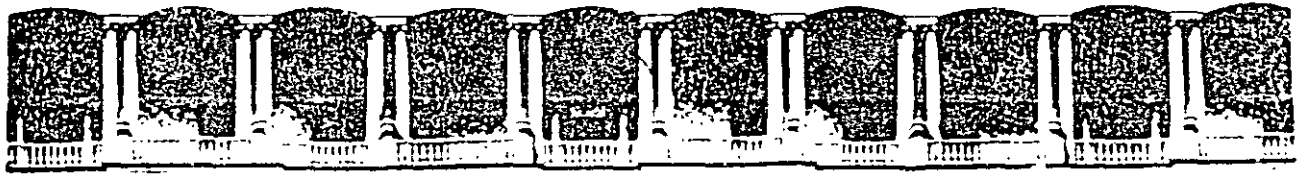
Sólo raramente se da el caso de utilizar una bomba auxiliar corriente arriba de la unidad principal, lo que provoca un gran aumento en la concentración de potencia de la bomba principal. Esto también viene a propósito para los juegos de bombas que funcionan en un sistema de tubería cerrado. En el caso de sistemas abiertos, en los que se sabe ocurrir variaciones de altura de descarga o impulsión, la velocidad de funcionamiento puede ser afectada por el tipo de bomba, v.gr., configuración de flujo sencillo o de flujo doble.

Otra variación destinada a optimizar la instalación completa, es la de dividir el caudal total. Esto influye en el valor de presión a la entrada del impulsor o en la velocidad de rotación. En la mayoría de los casos, sin embargo, la potencia eléctrica máxima nominal es determinada por las condiciones de la red de suministro, es decir, el valor de la corriente de irrupción que la red de energía puede tolerar.

En los casos en que los valores de presión a la entrada del impulsor son bajos, la bomba preferida es generalmente la de

El material del presente artículo se publicó originalmente en *Sulzer Technical Review*.

Para más informes marque el número 75.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES**

**XXVI CURSO INTERNACIONAL DE INGENIERIA DE AEROPUERTOS**

del 31 de agosto al 30 de octubre de 1998

Aeropuertos y Servicios Auxiliares

**PROYECTO DE DRENAJE PARA AEROPUERTOS**

Ing. Alfonso Mauricio Elizondo Ramírez  
Palacio de Minería  
1998.

PROYECTO DE DRENAJE  
PARA AEROPUERTOS

ING. ALFONSO MAURICIO ELIZONDO RAMIREZ

I N D I C E

	PAG
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. ESTUDIO HIDROLOGICO	3
4. CONCEPCION DEL SISTEMA DE DRENAJE	8
5. DETERMINACION DEL GASTO DE DISEÑO	9
5.1. METODO RACIONAL	10
5.2. METODO ARMCO	12
6. CANALES Y TRINCHERAS	13
6.1. GENERALIDADES	13
6.2. TRAZO DE CURVAS DE CANALES	14
6.3. DISEÑO HIDRAULICO DE CANALES	15
7. DISEÑO DE TRANSICIONES	22
8. ALCANTARILLAS	23
8.1. GENERALIDADES	23
8.2. DISEÑO HIDRAULICA DE ALCANTARILLAS	25
8.3. DISEÑO ESTRUCTURAL DE ALCANTARILLAS	26
9. ELEMENTOS ESPECIALES DE DRENAJE	29
9.1. ESTRUCTURAS DE ENTRADA EN ALCANTARILLAS	29
9.2. ESTRUCTURAS DE SALIDA EN ALCANTARILLAS	29
9.3. DISIPADORES DE ENERGIA	31
9.4. CARCAMOS DE ALMACENAMIENTO	32
9.5. ESTRUCTURAS DE CONTROL	32
9.6. BORDILLOS, CUNETAS Y LAVADEROS	33
9.6. SUBDRENES	34
10. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA	35
11. FIGURAS	36

PROYECTO DE DRENAJE  
PARA AEROPUERTOS

ING. ALFONSO MAURICIO ELIZONDO RAMIREZ

1. INTRODUCCION

Los volúmenes del tránsito y las características de las aeronaves que atienden los modernos aeropuertos, requieren de condiciones de operación que garanticen la máxima seguridad y eficiencia en el servicio que se presta. Para lograr estos requisitos es indispensable, entre otras cosas, que el aeropuerto cuente con un sistema de drenaje capaz de desalojar eficientemente los caudales pluviales que se captan dentro de sus límites, encausar adecuadamente sus propios escurrimientos e impedir la afluencia de aguas ajenas al aeropuerto. Esto involucra la solución de los siguientes cuatro problemas principales:

- 1°. El agua de lluvia que cae sobre los elementos del aeropuerto y sus zonas adyacentes debe recolectarse y eliminarse rápidamente para evitar inundaciones o daños a las instalaciones.
- 2°. Los cauces naturales deben cruzarse sin ser obstruidos, o bien, interceptarse desviándolos convenientemente.
- 3°. Deben evitarse inundaciones en el área del aeropuerto, provocadas por desbordamientos de cauces naturales o artificiales, construyendo las obras de protección que se requieran.
- 4°. Debe recolectarse y eliminarse el agua infiltrada en los pavimentos, para evitar modificaciones en el comportamiento estructural de los materiales que lo constituyen.

Estos apuntes tienen por objeto resumir los criterios usuales en la práctica mexicana para el proyecto del sistema de drenaje de los aeropuertos, de manera que dichos sistemas resuelvan, integralmente, los problemas arriba mencionados, contribuyendo importantemente a la seguridad del aeropuerto.

Con un drenaje deficiente el agua suele propiciar condición de operación tan inseguras que pueden poner en peligro la vida de los usuarios; o dañar, a veces en forma irreversibles, las instalaciones del aeropuerto. Algunas de las consecuencias que se presentan al no desalojar rápidamente el agua, son las siguientes:

- \* La existencia de encharcamientos sobre los pavimentos de los elementos de operación terrestre, puede producir el "acuaplano" de los aviones al circular en alta velocidad, con el riesgo de que la tripulación pierda el control de la aeronave y provocar un accidente.
  
- \* La presencia prolongada del agua sobre los pavimentos asfálticos, contribuye a acelerar el envejecimiento de la capa de rodamiento, permitiendo la aparición de grietas y baches, o cuando menos, alterando su textura superficial.
  
- \* Mientras el agua permanece más tiempo sobre los pavimentos, y/o existan más grietas o baches, se facilita la infiltración a las capas inferiores del pavimento, las que pueden saturarse y llegar a la falla estructural, manifestando deformaciones importantes en la superficie de rodamiento.
  
- \* Las alteraciones que el agua produzca en la capa de rodamiento por las dos consecuencias anteriores, hace que los aviones vibren demasiado al circular en alta velocidad, incomodando a los usuarios y dificultando la lectura de los instrumentos de control, que pueden afectarse con el movimiento excesivo. Asimismo, esas alteraciones pueden llegar a dañar los neumáticos y hasta al mismo tren de aterrizaje de los aviones.
  
- \* La existencia de espejos de agua debidos a encharcamientos o inundaciones en las inmediaciones del aeropuerto, pueden producir reflejos indeseables o facilitar la formación de neblina, afectando la visibilidad de las tripulaciones. Dichos espejos también pueden fomentar la aparición de aves que pueden interferir en la operación de los aviones.

Las consecuencias referidas son sólo algunas de las más importantes y ponen de manifiesto la influencia que un sistema de drenaje eficiente tiene en la seguridad del aeropuerto.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el propósito de lograr las mejores soluciones al problema de drenaje que presentará un nuevo aeropuerto, es preciso conocer detalladamente el funcionamiento hidráulico del área donde se construirá, no sólo dentro de los límites del predio para el aeropuerto, sino en forma regional, ya que no debe perderse de vista que las obras de drenaje que se proyecten deben garantizar la eficiencia del sistema sin alterar el funcionamiento hidráulico fuera de sus límites, por lo que deben realizarse conexiones efectivas entre el drenaje interior y el exterior.

En ocasiones, los sitios donde se descargan los caudales del aeropuerto presentan condiciones que evitan el desalojo rápido del agua, haciéndose necesarias obras tales como cárcamos, plantas de bombeo, bordos de protección y estructuras especiales de control.

Si en el proyecto no se contempla el funcionamiento hidráulico de la región, pueden ocasionarse alteraciones que atenten contra la ecología local, dañen instalaciones y construcciones ajenas al aeropuerto, o pueden provocarse efectos nocivos en poblados vecinos:

Así por ejemplo, imaginemos que se requiere construir un aeropuerto que dé servicio a una ciudad, la que se ubica a la salida de una cuenca, entre ésta y el mar, tal como en el caso de la Ciudad de Campeche, en el estado del mismo nombre, que se ilustra en la Fig.1. Dicha cuenca está integrada por cuatro cuencas de menor tamaño, concentrando el escurrimiento total en un cauce que atraviesa la ciudad mediante una ría que desemboca directamente en el mar. La ría, que se construyó en la época de la fundación de la ciudad y que en la actualidad es cruzada por puentes antiguos y bordeada por edificaciones coloniales, sirve de drenaje de la propia ciudad. El total del caudal máximo aportado por las cuatro cuencas, en la época de lluvias, es del orden de  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ , mientras que la ría es capaz de desalojar sólo  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , por lo que existe un excedente que debe ser regulado, inundando el terreno localizado antes de la ría.

De los estudios previos se determinó que el único sitio donde es posible la construcción del aeropuerto es precisamente la zona inundable, donde se regula el caudal recolectado de las cuencas; pero la realización del aeropuerto involucra la necesidad de rescatar dichos terrenos, mediante la construcción de bordos que eviten el ingreso de las aguas ajenas al aeropuerto. Esta medida provocaría que la capacidad de regulación de la zona inundable desapareciera o resultara importantemente reducida, con lo que el caudal excedente tendría que tratar de salir por la ría, pero dada la incapacidad de ésta, se desbordaría inundando a la ciudad.

Si la situación arriba descrita fuera ignorada y sólo se considerara la problemática interna del aeropuerto al proyectar su sistema de drenaje, al realizar las obras se pondría en peligro a la propia ciudad. Pero al ser conscientes del problema que podemos generar, tendremos que diseñar el sistema, con obras interiores y exteriores que permitan seguir regulando los caudales excedentes, ya que al menos en este ejemplo, sería imposible o muy costoso incrementar la capacidad de la ría, pues se encuentra rodeada por edificaciones antiguas que tendrían que demolerse para ampliar su cauce.

En este ejemplo se genera otro problema especial, pues al construir los bordos para evitar el ingreso al aeropuerto de las aguas exteriores también se impide que salga el agua que se acumula en su interior debido a las lluvias, por lo que se requiere proyectar, además, una planta de bombeo con sus cárcamos, que desaloje al exterior las aguas internas.

Como puede observarse, resulta muy importante el conocimiento del funcionamiento hidráulico, tanto en el interior del predio del aeropuerto como en la región donde éste se ubique. Dicho conocimiento se obtendrá a través de un ESTUDIO HIDROLOGICO, que infiera las intensidades de las precipitaciones y los picos de escurrimiento para diferentes periodos de retorno, con el propósito de determinar los gastos máximos que han de considerarse en el proyecto.

Puede decirse que:

EL PROYECTO DEL SISTEMA DE DRENAJE DE UN AEROPUERTO ES EL DISEÑO HIDRAULICO, GEOMETRICO Y ESTRUCTURAL DE TODOS LOS COMPONENTES DEL SISTEMA, EN BASE AL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE LA REGION Y TOMANDO EN CUENTA LAS CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS DEL AEROPUERTO.

Al realizar el proyecto se buscará diseñar un sistema que funcione con un mínimo de mantenimiento, procurando que el monto de la inversión sea acorde a la protección que se desea proporcionar al aeropuerto y tomando en cuenta que el sistema debe ser adaptable a futuras ampliaciones, por lo que se tendrá que apoyar en el Plan Maestro correspondiente.

Para definir la problemática que se presentará al proyectar un aeropuerto, es necesario, entre otras cosas, lo siguiente:

- 1° Trazar en un plano topográfico de la región donde se construirá el aeropuerto los escurrimientos superficiales, las zonas bajas y las canalizaciones que existan.
- 2° Delimitar en el mismo plano las cuencas que aporten caudales a los cauces o canalizaciones existentes, de interés para el proyecto.
- 3° Mediante el estudio hidrológico que se realice, determinar las intensidades de precipitación para cada cuenca y obtener los gastos máximos de cada cauce o canalización, para diferentes periodos de retorno.
- 4° Estimar los volúmenes de depósito o acumulación posibles en el área del aeropuerto y en sus cercanías.

Con esta información ya es posible determinar los tipos y las ubicaciones de las obras de drenaje que se requieran para el sistema en proyecto.

En la práctica mexicana, las estructuras más usuales son los canales y las alcantarillas, que normalmente se ubican como se muestra en la Fig.2. Pero existen muchas otras estructuras menos comunes que son necesarias para solucionar problemas específicos, tales como los ya mencionados cárcamos, bordos de protección y plantas de bombeo; así como colectores, pozos de absorción, estructuras de control, sistemas de subdrenaje, etc. y obras complementarias como bordillos, cunetas y lavaderos, entre otros.

### 3. ESTUDIO HIDROLOGICO

El Estudio Hidrológico es la base sobre la que se apoyará el proyecto del sistema de drenaje, pues definirá el funcionamiento hidráulico de la región donde se construirá el aeropuerto y por lo tanto la problemática que se generará al construirlo y que habrá de resolverse mediante el proyecto, de ahí la importancia que este estudio tiene para lograr las soluciones óptimas.

El estudio debe definir, en primer lugar, las características de las tormentas en la zona de interés, para INFERIR las alturas de precipitación totales al término de las tormentas en todas las cuencas que afecten al aeropuerto y estimar los valores representativos de cada cuenca; asimismo debe determinar la frecuencia y naturaleza de los escurrimientos superficiales, que serán de utilidad para el diseño del sistema.

Para lograr lo anterior, las tormentas deben estudiarse estadísticamente a partir de datos obtenidos en estaciones meteorológicas, instaladas preferentemente dentro del predio donde se construirá el aeropuerto, pero puede emplearse información de estaciones ubicadas fuera, e incluso en cuencas diferentes a las de interés directamente, siempre y cuando pertenezcan a la misma región climática y con las reservas del caso.

Con el propósito de que las estimaciones que se hagan sobre las características de las tormentas, sean lo más realista posible, se requiere que la información a utilizar proceda de estaciones con más de cinco años de operación, pues datos más jóvenes pueden dar resultados muy diferentes a la realidad. De acuerdo a esto, lo ideal sería prever oportunamente la construcción del aeropuerto e instalar, por lo menos cinco años antes de la elaboración del proyecto, una estación meteorológica en el interior del predio, que nos proporcione información confiable. No obstante, frecuentemente es imposible prever con tiempo la necesidad del aeropuerto, pues en muchas ocasiones se determina dicha necesidad cuando ya es "urgente" su construcción, teniendo que utilizar información de estaciones con menor edad o ubicadas en zonas relativamente lejanas.

Las características de las tormentas se establecen en términos de la intensidad de la lluvia, que es la relación entre la altura total de una precipitación ocurrida y el tiempo de duración de la tormenta que la generó, dicha intensidad suele expresarse como la altura de precipitación total al término de la duración de la tormenta, y se mide con un pluviógrafo que registra la variación en el tiempo de la altura de precipitación.



Dependiendo del tipo de información que se disponga, será el método de análisis que se utilice, así por ejemplo, el METODO DE PROMEDIOS PESADOS DE THIESSEN toma en cuenta la cantidad y la distribución de las estaciones que generan la información; el METODO DE LAS ISOYETAS puede incluir los efectos orográficos sobre la distribución de las lluvias, etc. Con estos métodos, que son descritos detalladamente en la bibliografía recomendada, se obtiene un valor representativo de la precipitación que ha de considerarse uniforme en toda la cuenca, para diferentes duraciones de tormentas.

Las características de las tormentas se resumen mediante gráficas que relacionan la intensidad con la duración de cada tormenta para diferentes periodos de retorno. La forma típica de estas gráficas, que reciben el nombre de CURVAS DE INTENSIDAD - DURACION - PERIODO DE RETORNO, es como la que se ilustra en la Fig.3.

Las curvas de intensidad - duración - periodo de retorno, se obtienen normalmente mediante el método de INTENSIDAD DE LLUVIA - PERIODO DE RETORNO, que ajusta para cada duración una función de distribución de probabilidad, de tipo GUMBEL, a los valores máximos. También pueden obtenerse con el método de CORRELACION LINEAL MULTIPLE, ajustando a los valores de intensidad máximos anuales, según las duraciones de interés, una función del tipo:

$$i = \frac{k}{d^n} \cdot \text{Tr}^m \dots \dots \dots (3.1)$$

Donde:

$i$  = Intensidad en mm/h

$d$  = Duración en horas

$\text{Tr}$  = Periodo de retorno en años

$k, m, n$ , son parámetros de ajuste para cada caso

De esta manera, se generan las curvas de intensidad - duración - periodo de retorno para la cuenca donde se construirá el aeropuerto en proyecto, y se establece el periodo de retorno que ha de considerarse para garantizar la seguridad del aeropuerto según su importancia.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), recomienda que se utilice un periodo de retorno de 5 años, con lo que el aeropuerto quedaría protegido contra precipitaciones que tendrían ese periodo de recurrencia, pero en algunos casos, la protección debe ser mayor por la importancia del aeropuerto y por la magnitud de su utilización, así por ejemplo, para el Aeropuerto de la Ciudad de México se consideró un periodo de retorno de 25 años. Pero en cualquier caso, para determinar el periodo de retorno que se usará, deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- a) Importancia del aeropuerto por lo que respecta a su costo y al volumen del tránsito
- b) Daños posibles a las instalaciones
- c) Costos de mantenimiento
- d) Costo de amortización de las estructuras de drenaje durante la vida de servicio
- e) Inconveniencia del tránsito
- f) Peligro de la vida humana

Para la duración de la tormenta de proyecto y el periodo de retorno seleccionado, en las curvas de intensidad - duración - periodo de retorno se determina la intensidad que se utilizará en el diseño, considerándola uniforme para toda la cuenca.

Con la intensidad así determinada, el estudio hidrológico d inferir el escurrimiento superficial que producirá la precipitación. estricto rigor, el escurrimiento se verá reducido por la evaporación y por la infiltración al suelo, pero estas reducciones son despreciables en la determinación de los escurrimientos internos del aeropuerto por tratarse de cuencas pequeñas.

La determinación de los escurrimientos requiere el conocimiento de las características de las cuencas de interés, pues la topografía; el tipo de suelo; el tipo de vegetación; el tamaño, la pendiente y la densidad del drenaje de la cuenca; así como el uso al que se destina la tierra y las condiciones de humedad del suelo, tienen gran influencia en la magnitud de los escurrimientos.

En la Fig.4 se muestran las partes de una cuenca, que es limitada por el parteaguas y tiene un drenaje que se concentra en el cauce principal hasta la salida de la cuenca. Si fuera necesario construir una obra de drenaje en ese punto, se tendría que determinar el GASTO PICO DE DISEÑO, que es el escurrimiento máximo que debe esperarse ocurra durante el periodo de retorno considerado. Este gasto esta en función del TIEMPO DE CONCENTRACION ( $T_c$ ), que es el tiempo requerido para que el agua escurra desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de salida.

La relación que existe entre la precipitación y el escurrimien puede representarse con un hidrograma como el mostrado en la Fig.5, cu forma está determinada por las características de la cuenca, como son su área, pendiente y longitud del cauce.

Los principales parámetros del hidrograma son:

Volumen de escurrimiento directo (área sombreada)

Tiempo de concentración  $T_c$

Tiempo pico  $T_p$  (tiempo desde que empieza el escurrimiento directo hasta el momento en que alcanza el valor máximo)

El gasto pico puede evaluarse mediante alguno de los siguientes procedimientos:

#### 1.- Formulas Empíricas

Se utilizan cuando se conocen las características físicas de la cuenca y se cuente con registros de precipitación.

#### 2.- Modelos de "Caja Negra"

Se determina el gasto a partir de datos de entrada y salida de la cuenca, sin tomar en cuenta sus características.

#### 3.- Modelo de Stanford

Se simula el proceso de escurrimiento en toda la cuenca, conociendo detalladamente sus características físicas y aplicando las fórmulas fundamentales de la hidráulica.

#### 4.- Método de Envoltentes

Se estima el gasto en función del área de la cuenca, relacionándola con la envolvente mundial propuesta por Creager, corregida con un factor C para la región donde se ubique el aeropuerto.

### 4. CONCEPCION DEL SISTEMA DE DRENAJE

Una vez que se tenga definido el funcionamiento hidráulico de la región donde se construirá el aeropuerto, y conociendo las características geométricas de cada uno de sus elementos, se está en posibilidad de determinar el sistema de drenaje correspondiente.

El primer paso consiste en dibujar ("sembrar") sobre un plano topográfico del área donde se construirá el aeropuerto, todos los elementos de operación terrestre que lo integrarán, con sus características geométricas, tanto en sus alineamientos horizontales como verticales, para determinar las zonas de corte y terraplén, así como los sitios donde se interceptarán o cruzarán los causes naturales, para estar en posibilidad de proponer los elementos de drenaje que se requieran.

El alineamiento vertical establecido en el proyecto geométrico de cada uno de los elementos de operación terrestre, que en México expresa mediante los "Planos de Transiciones", se diseña tomando en cuenta que el agua de lluvia que caiga sobre esos elementos debe desalojarse oportunamente; por lo que es común que sus ejes constituyan parteaguas, enviando el escurrimiento hacia afuera de dichos elementos. Si estos elementos se ubican en terraplén, el agua caerá hasta el terreno, abandonándolos rápidamente. Mientras que si se alojan en cortes, el agua escurrirá entre la orilla del elemento y los taludes del corte, pudiendo invadir las franjas de seguridad, con los consecuentes daños a la estructura y riesgos en la operación, por lo que, para evitar esto, se requiere habilitar elementos que capten el agua y la conduzcan a zonas donde no produzcan daños.

En la Fig. 6, se muestra un ejemplo del "sembrado" de un proyecto geométrico sobre el plano topográfico, donde gracias a las curvas de nivel, se pueden determinar las tendencias de los escurrimientos, haciendo posible la definición de los sitios donde se requiere algún elemento de drenaje. Así por ejemplo, en las zonas de corte se proponen canales; el cauce 1 debe interceptarse e incorporarse al canal 2 que capta también el flujo del canal 1 y descarga al cauce 2; por su parte, el cauce 2 debe cruzar la pista mediante la alcantarilla 1. El agua que se acumulará en la isleta que se forma entre la pista, la plataforma y los rodajes, debe recolectarse con un registro en el sitio más bajo y desalojarse con la alcantarilla 2. Para evitar que el escurrimiento de la plataforma invada el área de servicios, debe interceptarse mediante un colector con tapas de rejilla que conducirá el flujo hasta el cauce 4, el que atravesará el camino de acceso mediante la alcantarilla 3.

De esta forma, quedan establecidos los elementos de drenaje que integrarán el sistema y puede realizarse el diseño hidráulico de cada uno, para lo que se requiere determinar las características y dimensiones de las cuencas que drenarán, dibujando los parteaguas correspondientes en el plano donde se "sembró" el proyecto.

## 5. DETERMINACION DEL GASTO DE DISEÑO

La Fig. 7 muestra el detalle de la cuenca que aportará a la isleta de la figura anterior, incluyendo sus características geométricas y topográficas, así como de las superficies sobre las que ocurrirá el escurrimiento.

Para diseñar la alcantarilla que drenará la isleta, se requiere determinar el gasto pico que aportará la cuenca correspondiente. Esto puede hacerse utilizando alguna fórmula empírica, como las siguientes:

## 5.1. METODO RACIONAL

El Método Racional es el que se emplea principalmente en México y establece que:

$$Q_p = 0.278CiA_c \dots\dots\dots(5.1)$$

Donde:

$Q_p$  = Gasto pico de diseño (  $m^3/s$  )  
 $i$  = Intensidad media de la lluvia para una duración de tormenta igual al tiempo de concentración de la cuenca (  $mm/h$  )  
 $C$  = Coeficiente de escurrimiento para el tipo de suelo donde escurrirá el agua  
 $A_c$  = Area de la cuenca (  $Km^2$  )

La intensidad ( $i$ ) se obtiene de las curvas de INTENSIDAD-DURACION-PERIDO DE RETORNO para el periodo de retorno considerado para el proyecto y en base al tiempo de concentración, que en cualquier punto de un elemento de drenaje vale:

$$T_c = T_{cs} + T_R \dots\dots\dots(5.2)$$

Donde:

$T_{cs}$  = Tiempo de concentración sobre las áreas drenadas, desde el punto más alejado hasta el sitio de captación (  $min$  )  
 $T_R$  = Tiempo de traslado a lo largo del elemento, desde el sitio de captación hasta el punto de análisis (  $min$  )

$T_{cs}$  puede estimarse con la formula de KIRPICH:

$$T_{cs} = 0.01947 \left[ \frac{L}{S^{1/2}} \right]^{0.77} \dots\dots\dots(5.3)$$

Donde:

$L$  = Longitud total del cauce principal (  $m$  )  
 $S$  = Pendiente media del cauce principal

La pendiente del cauce puede no tener un valor único, pudiendo variar de tramo en tramo, por lo que se representa con el valor medio que sirve de índice. Para su estimación, de las fórmulas propuestas por distintos autores, se recomienda emplear la de TAYLOR y SCHWARZ:

$$S = \left[ \frac{L}{\sum_{j=1}^n \frac{L_j}{S_j^{1/2}}} \right]^2 \dots\dots\dots(5.4)$$

Donde:

$L_j$  = Longitud del tramo  $j$  (  $m$  )  
 $S_j$  = Pendiente del tramo  $j$   
 $n$  = Número de tramos

Por su parte,

$$T_R = \frac{l}{V} \dots\dots\dots(5.5)$$

Donde:

- l = Longitud del tramo del elemento desde el punto de captación hasta el punto de análisis ( m )  
 V = Velocidad del agua dentro del elemento ( m/min ), estimada según el criterio de MANNING

Para el caso de la Fig. 7, en el punto de captación, el tiempo de concentración será:

$$T_c = T_{cs}$$

En la expresión 5.1, el coeficiente de escurrimiento (C) está en función del tipo de suelo sobre el que ocurre el escurrimiento. En la Tabla 5.1 se muestran algunos de los valores más usuales de C, para aeropuertos:

TABLA 5.1  
VALORES DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO C

TIPO DE AREA POR DRENAR	PENDIENTE ( % )	C MINIMO	C MAXIMO
Terreno arenoso plano	2	0.05	0.10
Terreno arenoso medio	2 a 7	0.10	0.15
Terreno arenoso empinado	7 o más	0.15	0.20
Terreno arcilloso plano	2 o menos	0.13	0.17
Terreno arcilloso medio	2 a 7	0.18	0.22
Terreno arcilloso empinado	7 o más	0.25	0.35
Pavimento asfáltico		0.70	0.95
Pavimento de concreto hidráulico		0.80	0.95
Pavimento de adoquín		0.70	0.85
Estacionamientos		0.75	0.85
Parques		0.10	0.25
Zonas comerciales		0.50	0.70
Zonas industriales		0.50	0.80

Cuando la cuenca por drenar está compuesta por diferentes tipos de superficies, el coeficiente de escurrimiento global se calcula con la fórmula:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{j=1}^n (C_j)(A_j)}{\sum_{j=1}^n (A_j)} \dots\dots\dots(5.6)$$

Donde:

- C<sub>j</sub> = Coeficiente de escurrimiento para la superficie j  
 A<sub>j</sub> = Area de la superficie j ( Km<sup>2</sup> )  
 n = Número de superficies de diferente tipo

El Método Racional es empleado también por la Agencia Federal de Aviación de los Estados Unidos, la que lo complementa con gráficas para determinar el tiempo de concentración, como la mostrada en la Fig. 8. En estas gráficas, obtenidas de resultados empíricos, el tiempo de concentración depende de la distancia ( en metros ) de recorrido del agua desde el punto sobre el parteaguas más alejado de la cuenca, al sitio de desfogue y del valor de C elegido para la ecuación 5.1. La gráfica por utilizar se escoge de acuerdo al grado de encharcamientos que quiera tolerarse en las zonas del terreno que rodean a los elementos de operación terrestre. (Ref. 1)

## 5.2. METODO ARMCO

En este método, el gasto pico de diseño se obtiene con la expresión:

$$Q_p = \frac{A_c I R}{36f} \dots \dots \dots (5.7)$$

Donde:

- A<sub>c</sub> = Area de la cuenca ( Ha )
- R = Precipitación en cm/h durante una hora
- I = Factor de escurrimiento superficial
- f = Factor de compensación por pendiente

R es, entonces, la intensidad para una duración de tormenta de una hora, obtenida de las curvas de INTENSIDAD-DURACION-PERIODO DE RETORNO para el periodo de retorno considerado para el proyecto y transformada a cm/h

En la expresión 5.7, el factor de escurrimiento superficial (I) está en función del tipo de suelo sobre el que ocurre el escurrimiento. En la Tabla 5.2 se muestran algunos de los valores más usuables de I, para aeropuertos:

TABLA 5.2  
VALORES DEL FACTOR DE ESCURRIMIENTO I

TIPO DE AREA POR DRENAR * para pendientes de 1 a 2 %	I MINIMO	I MAXIMO
* Suelos impermeables	0.40	0.65
* Suelos impermeables con césped	0.30	0.55
* Suelos ligeramente permeables	0.15	0.40
* Suelos ligeramente permeables con césped	0.10	0.30
* Suelos moderadamente permeables	0.05	0.20
* Suelos moderadamente permeables con césped	0.00	0.10
Pavimentos asfálticos	0.80	0.95
Pavimentos de concreto hidráulico	0.70	0.90
Pavimentos de adoquín	0.35	0.70
Superficies impermeables de techos	0.75	0.95

Quando la cuenca por drenar está compuesta por diferentes tipos de superficies, el factor de escurrimiento global se calcula con formula:

$$\bar{I} = \frac{\sum_{j=1}^n (I_j)(A_j)}{\sum_{j=1}^n (A_j)} \dots\dots\dots(5.8)$$

Donde:

$I_j$  = Factor de escurrimiento para la superficie  $j$

$A_j$  = Area de la superficie  $j$  ( Ha )

$n$  = Número de superficies de diferente tipo

Por su parte, el factor de compensación por pendiente afecta al tiempo de concentración y se emplean los siguientes valores:

Si	$S \leq 0.5 \%$ ,	$f = 3.0$
Si	$0.5 \% < S \leq 1.0 \%$ ,	$f = 2.5$
Si	$1.0 \% < S$ ,	$f = 2.0$

Aunque el Método Racional proporciona resultados aceptables del gasto pico, es conveniente revisar dicho gasto aplicando el Método ARMCO, y utilizar en el diseño hidráulico de los elementos de drenaje el mayor gasto que se obtenga de la aplicación de ambos métodos.

## 6. CANALES Y TRINCHERAS

### 6.1. GENERALIDADES

Los canales son los elementos de drenaje más comunes, y se utilizan para recolectar las aguas de lluvia y conducir las fuera del área por drenar, evitando que el agua escurra por superficies que puedan ser dañadas o que invada áreas de operación. También se emplean para desviar cauces naturales.

Los canales pueden revestirse o no, dependiendo de la susceptibilidad del suelo a la erosión. Los revestimientos pueden hacerse con concreto hidráulico o con mampostería.

En México, las secciones transversales más empleadas para los canales son la triangular y la trapezoidal, y en pocas ocasiones se utilizan secciones rectangulares.

Por su parte, las trincheras son canales de reducida sección rectangular, construidos con concreto hidráulico, que se ubican en zonas sujetas al tránsito de aviones o de vehículos terrestres, por lo que tienen tapas para permitir la circulación. En las áreas donde las trincheras captan el agua, las tapas deben contar con perforaciones que permitan la captación, o bien, pueden utilizarse rejillas metálicas para tapar las trincheras. En las zonas donde no se requiere captar el agua, lo mejor es emplear tapas "ciegas", para impedir el acceso a basuras y materiales extraños.



En la Fig.9 se muestran esquemáticamente las secciones transversales más comunes de canales y trincheras.

## 6.2. TRAZO DE CURVAS DE CANALES

Una vez detectada la necesidad de un canal, definida su cuenca de aportación y calculados los gastos pico de diseño, se requieren, para conocer las longitudes reales del elemento, los datos de su alineamiento horizontal, tales como estación al inicio, datos de las curvas horizontales, estaciones de intersecciones si existen y cadenamiento al final del canal.

La determinación de los datos de las curvas horizontales (Fig.10), debe hacerse en el orden del cadenamiento del elemento por diseñar, ya que cada curva influye en el cadenamiento adelante. Así por ejemplo, conocido el cadenamiento del primer punto de inflexión ( $PI_1$ ) y propuesto el radio de la curva ( $R_1$ ), se calcula la subtangente con la expresión:

$$ST_1 = R_1 \tan \frac{\delta^{\circ}_1}{2} \dots\dots\dots(6.1)$$

Donde:

$\delta^{\circ}_1$  = Angulo de esviaje de la curva 1 .

El cadenamiento del punto donde inicia la curva ( $PC_1$ ) será:

$$PC_1 = PI_1 - ST_1 \dots\dots\dots(6.2)$$

La longitud de la curva ( $LC_1$ ) es:

$$LC_1 = \frac{\pi R_1}{180^{\circ}} \delta^{\circ}_1 = 0.017453 R_1 \delta^{\circ}_1 \dots\dots\dots(6.3)$$

De esta forma, el cadenamiento donde empieza la tangente después de la curva ( $PT_1$ ) será:

$$PT_1 = PC_1 + LC_1 \dots\dots\dots(6.4)$$

Y el cadenamiento del siguiente punto de inflexión ( $PI_2$ ) es:

$$PI_2 = PT_1 + D_{1-2} - ST_1 \dots\dots\dots(6.5)$$

Donde:

$D_{1-2}$  = Distancia entre el  $PI_1$  y el  $PI_2$

De esta manera, se calculan sucesivamente las curvas, para contar con longitudes que permitan la obtención de las pendientes del elemento.

### 6.3. DISEÑO HIDRAULICO DE CANALES

Una vez definido el alineamiento horizontal del canal, el proyectista propone las pendientes y las secciones transversales de los diferentes tramos del canal.

Prácticamente, las pendientes longitudinales están obligadas a las que tengan el terreno natural y el plano de transiciones del aeropuerto. Cuando la pendiente del terreno es grande, en el canal se reduce mediante tramos de menor pendiente y caídas intermedias que absorban los desniveles.

Para proponer una sección transversal, debe tomarse en cuenta el talud que pueda resistir el material donde se excavará el canal. En la Tabla 6.1 se dan recomendaciones de taludes para canales excavados en diferentes tipos de materiales.

TABLA 6.1  
TALUDES RECOMENDADOS PARA CANALES

TIPO DE MATERIAL (Ref.2)	* TALUD t:1	
Roca sana no estratificada	0.25:1	
Roca estratificada ligeramente alterada	0.25 a 0.50:1	
Roca alterada, arena arcillosa muy compacta (tepetate)	1.00:1	
Grava angulosa	1.00:1	
Arcilla dura o tierra con revestimiento de concreto	0.50 a 1.00:1	
Arcilla blanda, arena arcillosa suelta (tepetate)	1.00 a 1.50:1	
Arenisca blanda	1.50 a 2.00:1	
Limo arenoso	1.50 a 2.00:1	
Arenas y gravas con pocos finos	2.00:1	
Arcilla saturada	3.00:1	
SEGUN EL U.S. BUREAU OF RECLAMATION (Ref.3)	TALUD RECOMENDADO t:1*	
TIPO DE SUELO	TIRANTE < 1.2m	TIRANTE > 1.2m
Con pasto	0	0
Arcilla dura	0.50:1	1.00:1
Marga arcillosa y limosa	1.00:1	1.50:1
Marga arenosa	1.50:1	2.00:1
Arena	2.00:1	3.00:1
CANALES CON GRANDES FLUCTUACIONES DEL GASTO EN REGIONES SEMIARIDAS (Ref.3)	TALUD RECOMENDADO t:1*	
TIPO DE SUELO	TIRANTE < 1.0m	TIRANTE > 1.0m
Con pasto	0.25:1	0.50:1
Arcilla dura	1.00:1	1.50:1
Marga arcillosa y limosa	1.50:1	2.00:1
Marga arenosa	2.00:1	3.00:1
Arena	3.00:1	4.00:1

\* t:1 es t horizontal por 1 vertical

Los valores incluidos en la Tabla 6.1, sólo dan una idea de los taludes estables, y su empleo en el diseño es de la responsabilidad absoluta del proyectista. Lo recomendable es realizar pruebas de laboratorio para definir el talud adecuado en cada caso.

Con la pendiente para cada tramo y a partir de la sección propuesta, se calcula el gasto que es capaz de conducir el tramo correspondiente, mediante la expresión de MANNING:

$$Q_c = \frac{A R_h^{2/3} S^{1/2}}{n} \dots \dots \dots (6.6)$$

Donde:

$Q_c$  = Gasto calculado para el tramo bajo análisis (  $m^3/s$  )  
 $A$  = Area hidráulica de la sección del canal (  $m^2$  )  
 $R_h$  = Radio hidráulico (  $m$  )  
 $S$  = Pendiente del canal en el tramo por analizar  
 $n$  = Factor de fricción según la rugosidad de canal

El radio hidráulico se obtiene de:

$$R_h = \frac{A}{P} \dots \dots \dots (6.7)$$

Donde:

$P$  = Perímetro mojado de la sección (  $m$  )

Por su parte,  $n$  depende de la rugosidad de las paredes del canal y por lo tanto del material que las constituyen. En la Tabla 6.2 (Ref.2), se muestran los valores de  $n$  más empleados.

TABLA 6.2  
VALORES DEL FACTOR DE FRICCIÓN  $n$

TIPO Y DESCRIPCION DEL CANAL	$n$ MINIMO	$n$ NORMAL	$n$ MAXIMO
A.- CANALES EXCAVADOS EN			
a) Tierra, recto y uniforme			
1.Limpio, recién terminado	0.016	0.018	0.020
2.Limpio, después de intemperizado	0.018	0.022	0.025
3.Grava. sección uniforme y limpia	0.022	0.025	0.030
4.Con poco pasto y poca hierba	0.022	0.027	0.033
b) Tierra, con curvas y en régimen subcrítico			
1.Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
2.Pasto y algo de hierba	0.025	0.030	0.033
3.Hierba densa o plantas acuáticas	0.030	0.035	0.040
4.Plantilla de tierra y mampostería en taludes	0.028	0.030	0.035
5.Plantilla rocosa y hierba en los taludes	0.025	0.035	0.040
6.Plantilla empedrada y taludes limpios	0.030	0.040	0.050

TABLA 6.2  
VALORES DEL FACTOR DE FRICCIÓN n  
( continuación )

TIPO Y DESCRIPCION DEL CANAL	n MINIMO	n NORMAL	n MAXIMO
<b>A.- CANALES EXCAVADOS EN</b>			
c) Excavado o dragado en linea recta			
1.Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2.Pocos arbustos en los taludes	0.035	0.050	0.050
d) Cortes en roca			
1.Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2.Astillado e irregular	0.035	0.040	0.050
e) Abandonados, con hierba y arbustos, sucios			
1.Hierba densa tan alta como el tirante	0.050	0.080	0.120
2.Fondo limpio, arbustos en los taludes	0.040	0.050	0.080
3.Igual al anterior, con máximo escurrimiento	0.045	0.070	0.110
4.Denso de arbustos, con alto escurrimiento	0.080	0.100	0.140
<b>B.- CANALES REVESTIDOS</b>			
A) Cemento			
1)Superficie lisa	0.10	0.011	0.015
2)En mortero	0.011	0.013	0.015
b) Concreto			
1.Terminado con llana metálica	0.011	0.013	0.015
2.Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3.Terminado con grava en el fondo	0.015	0.017	0.020
4.Sin terminar	0.014	0.017	0.020
5.Gunietado, buena sección	0.016	0.019	0.023
6.Gunietado, sección ondulada	0.016	0.022	0.025
7.Sobre roca, bien excavada	0.017	0.020	
8.Sobre roca, excavado irregular	0.022	0.027	
c) Plantilla de concreto terminada con llana y taludes de:			
1.Mampostería terminada con mortero	0.015	0.017	0.020
2.Mampostería burda con mortero	0.017	0.020	0.024
3.Mampostería junteada y aplanada con mortero	0.016	0.020	0.024
4.Mampostería junteada con mortero	0.020	0.025	0.030
5.Mampostería seca a volteo	0.020	0.030	0.035
d) Fondo de grava con taludes de:			
1.Concreto cimbrado	0.017	0.020	0.025
2.Mampostería con mortero	0.020	0.023	0.026
3.Mampostería seca a volteo	0.023	0.033	0.036
e) Mampostería			
1.Junteada con mortero	0.017	0.025	0.030
2.Seca	0.023	0.032	0.035

TABLA 6.2  
VALORES DEL FACTOR DE FRICCIÓN n  
( continuación )

TIPO Y DESCRIPCION DEL CANAL	n MINIMO	n NORMAL	n MAXIMO
<b>B.- CANALES REVESTIDOS</b>			
f) Piedra labrada	0.013	0.015	0.017
g) Asfalto			
1.Liso	0.013	0.013	
2.Rugoso	0.016	0.016	
h) Cubierta vegetal	0.030		0.050
<b>C.- CONDUCTOS CERRADOS PARCIALMENTE LLENOS</b>			
a) Cemento			
1.Liso	0.010	0.011	0.013
2.Mortero	0.011	0.013	0.015
b) Concreto			
1.Alcantarillado recto libre de escombros	0.010	0.012	0.013
2.Alcantarillado con curvas, conexiones y algunos escombros	0.011	0.014	0.014
3.Terminado	0.011	0.012	0.014
4.Drenajes rectos con ventanas de inspección, entradas, etc.	0.013	0.015	0.017
5.No terminado, colado en cimbra de acero	0.012	0.013	0.014
6.No terminado,colado en cimbra de madera lisa	0.012	0.014	0.016
7.No terminado,colado en cimbra de madera burda	0.015	0.017	0.020
8.Tubo vitrificado para drenes, juntas abiertas	0.014	0.016	0.018
c) Mampostería terminada con mortero de cemento	0.012	0.015	0.017
d) Metálicos (Ref.4)			
1.Tubería remachada y de acero en espiral	0.013	0.015	0.017
2.Semicirculares lisos	0.011	0.013	0.015
3.Semicirculares ondulados ( corrugados )	0.023	0.024	0.030

Una vez obtenido el gasto calculado para la sección propuesta, se compara con el gasto pico de diseño, de la comparación se puede tener uno de los tres siguientes resultados:

- $Q_p < Q_c$  La sección propuesta está sobrada. Para hacerla óptima se requiere disminuir la sección y/o la pendiente.
- $Q_p \approx Q_c$  La sección propuesta es geoméricamente correcta
- $Q_p > Q_c$  La sección propuesta es escasa. Se requiere incrementar la sección y/o la pendiente

En virtud de la dificultad que existe para que el gasto calculado de la primera sección que proponga el proyectista coincida con el gasto pico, la selección de la geometría del canal implica una serie de interacciones hasta lograr la coincidencia de ambos gastos, variando la geometría de la sección. Esto hace que el diseño sea un trabajo laborioso, particularmente cuando el proyectista carece de experiencia, sin embargo, puede recurrirse a ordenadores personales que agilizan dicha labor.

En la Fig. 11, se muestra la carátula de una hoja de cálculo de ordenador personal, elaborada con un programa Symphony (Lotus), que con la fórmula de MANNING calcula el gasto que es capaz de conducir un canal, a partir de la geometría que se proponga para su sección. El funcionamiento de esta hoja de cálculo es el siguiente:

Se introducen los siguientes datos de diseño:

- a) Gasto pico de diseño (  $m^3/s$  )
- b) Tirante máximo tolerable ( m )
- c) Ancho de plantilla propuesto "b" ( m ). Si la sección es triangular  $b = 0$
- d) Talud t. Entendiendo que el talud es t horizontal por 1 vertical. si la sección es rectangular  $t = 0$
- e) Pendiente del tramo "S" en %, o las estaciones y elevaciones en m, del origen del tramo y del punto donde termina.
- f) Factor de fricción "n", según el material que se prevea para la plantilla y las paredes del tramo, de acuerdo con la Tabla 6.2.

La hoja de cálculo efectúa automática e instantáneamente las interacciones, a partir del tirante máximo, que se va variando hasta lograr que  $Q_c = Q_p$ . Para cada interacción, la hoja muestra los valores calculados del gasto, el área hidráulica, el perímetro mojado, el radio hidráulico, la velocidad del flujo y el tirante utilizado. Cuando se efectúa la última interacción, aparece una señal que indica que el proceso está concluido, en este momento, el proyectista puede comparar el último tirante utilizado con el tirante máximo. Si el último tirante utilizado resulta mayor que el tirante máximo, la sección propuesta es insuficiente para conducir el gasto de diseño y el proyectista deberá modificar alguno o varios de los datos introducidos. Si el último tirante utilizado resulta menor que el máximo, la sección está sobrada, en cuyo caso, el proyectista puede decidir si acepta la sección o si modifica los datos introducidos, hasta que logre una sección que lo satisfaga.

En la misma Fig. 11 se muestran las funciones matemáticas contenidas en la hoja de cálculo.

Una vez seleccionada la sección del canal, se revisa el tirante crítico, para saber si el funcionamiento hidráulico se desarrollará en un régimen supercrítico o subcrítico. Debe evitarse el régimen supercrítico, pues éste puede inducir daños al canal.

Se ha establecido que:

$$\frac{Qp^2}{g} = \frac{Ac^3}{Bc} \dots\dots\dots(6.8)$$

Donde:

- Ac = Area hidráulica crítica ( m<sup>2</sup> )
- Bc = Ancho de la superficie libre crítica ( m )
- g = Aceleración de la gravedad ( 9.81 m/s<sup>2</sup> )

Lo anterior equivale a que el parámetro:

$$Fr = \frac{V}{(g A/B)^{1/2}} = \frac{V}{(g Y)^{1/2}} \dots\dots\dots(6.9)$$

llamado número de Froude, sea igual a uno cuando las variables V, A y B corresponden al tirante hidráulico (Y = A/B) crítico . Si Fr < 1 el escurrimiento es subcrítico y si Fr > 1, supercrítico.

En el régimen crítico se cumple también, que para una energía específica constante el gasto es máximo.

En el caso de una sección rectangular de ancho b, de la ecuación 6.8 el tirante crítico resulta:

$$dc = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g b^2}} \dots\dots\dots(6.10)$$

En caso de una sección trapezoidal, no es posible obtener una ecuación que de manera directa permita determinar el tirante crítico, debiendo entonces proceder a la solución por tanteos de la ecuación 6.8. Una solución aproximada consiste en calcular el tirante crítico dcr de la ecuación 6.10, como si el canal fuera rectangular del mismo ancho de la plantilla trapezoidal y corregirlo. El tirante crítico en la trapezoidal sería:

$$dc = (1 - \frac{\sqrt{v}}{3} + 0.105 v^2) dcr \dots\dots\dots(6.11)$$

donde  $\sqrt{v} = t dcr/b$ , siendo t el talud del canal.

Con dc se calculan Ac y Rhc, y se obtiene la pendiente crítica ( Sc ):

$$Sc = 100 \sqrt[3]{\frac{n Qp}{Ac Rhc^{2/3}}} \dots\dots\dots(6.12)$$

Si Sc < Sreal, entonces se tiene un régimen supercrítico y la sección del canal deberá modificarse para disminuir la velocidad del flujo.

La sección del canal, también debe revisarse por velocidades permisibles, las que tienen por objeto, la mínima, evitar el depósito de sedimentos y el crecimiento de vegetación; y la máxima, prevenir el arrastre de material de la plantilla y de los taludes, así como mantener la estabilidad de la sección:

La velocidad mínima en un canal, se determinará utilizando el criterio de la Fig. 12 (Ref. 5), que muestra la relación que hay entre la concentración del material en suspensión en partes por millón en peso y el parámetro:

$$\left[ \frac{V s}{w_{50}} \right] \dots\dots\dots(6.13)$$

Donde:

- V = Velocidad media del flujo
- s = Pendiente de energía
- w<sub>50</sub> = Velocidad de caída del diámetro D<sub>50</sub> del material

La velocidad de caída es la que alcanza una partícula que cae libremente en el seno de un líquido, cuando se iguala a la fuerza de resistencia con su peso sumergido, es decir, cuando el descenso se efectúa con velocidad uniforme. La Fig. 13 (Ref. 5), puede ayudar a estimar la velocidad de caída en la mayoría de los sedimentos en la práctica.

El punto que representa a ambas características en la gráfica de la Fig. 12, debe quedar a la derecha de la línea a fin de evitar el depósito de sedimentos; de lo contrario, deberá modificarse la sección del canal con el propósito de incrementar la velocidad del flujo.

Para evitar el crecimiento de vegetación en canales no revestidos, se recomienda una velocidad mayor de 40 a 50 cm/s.

Por otra parte, la velocidad máxima en canales no revestidos depende del tipo de suelo donde se excave el canal. La Fig 14 muestra las velocidades máximas permisibles para materiales no cohesivos, en función del tamaño del material y del tirante del flujo. Si la velocidad en el canal es mayor a la recomendada en esta figura, deberá modificarse su sección para logra menor velocidad, o bien, revestir el canal para evitar la erosión.

También en los canales revestidos, la velocidad máxima permisible depende del tipo de revestimiento que se utilice. En la Tabla 6.3 (Ref. 2) se dan valores máximos de velocidad en función del tipo de revestimiento y del tirante del flujo.



TABLA 6.3  
VELOCIDAD MAXIMA PERMISIBLE PARA CANALES REVESTIDOS  
EN m/s

TIPO DE REVESTIMIENTO	TIRANTE MEDIO: ( . m )					OBSERVACIONES
	0.4	1.0	2.0	3.0	>5.0	
Recubrimiento sencillo - 15 cm de piedra de tamaño [ 20 cm	2.5 2.9	3.0 3.5	3.5 4.0	3.8 4.1	3.9 4.4	Si es en dos capas, multi- plicar x 1.25
Mampostería junteada con mortero de cemento:						
Tabique normal	1.6	1.9	2.2	2.4	2.5	
Piedra de poca resistencia	2.8	3.3	3.8	4.1	4.3	
Piedra de mediana resistencia	5.5	6.6	7.7	8.2	8.5	
Concreto con f'c de:						Si el agua transporta sedimentos gruesos, disminuir estos valores
210 kg/cm <sup>2</sup>	7.5	9.0	10.0	11.0	11.9	
170 kg/cm <sup>2</sup>	6.6	8.0	9.2	10.0	10.6	
130 kg/cm <sup>2</sup>	5.5	7.0	8.1	8.7	9.2	
110 kg/cm <sup>2</sup>	5.0	6.0	6.9	7.5	8.0	
90 kg/cm <sup>2</sup>	4.2	5.0	5.7	6.2	6.6	

## 7. DISEÑO DE TRANSICIONES

Cuando se requiere un cambio de la sección de un canal, ya sea porque recibe otro canal afluente ( ampliación ), o porque desemboca a una alcantarilla ( reducción ), dicho cambio debe hacerse mediante una sección de transición, cuya geometría haga aceptables las alteraciones que se ocasionan en el perfil del flujo. Cuando el régimen es subcrítico, la transiciones deben reducir las pérdidas que significan aumentos de la altura del agua en el canal de aproximación. Si el régimen es supercrítico, además de las pérdidas de energía debe tomarse en cuenta el efecto de las ondas superficiales estacionarias producidas por los cambios de dirección.

Mientras más graduales sean los cambios geométricos en las transiciones, las pérdidas de energía serán menores y más atenuadas las ondas, pero la transición sera más cara.

Cuando se tiene un régimen subcrítico, se requiere estimar la pérdida de energía por transición:

$$\left. \begin{aligned} h_{Lc} &= K_c \Delta h_v \\ h_{Lc} &= K_e \Delta h_v \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7.1)$$

Donde  $K_c$  y  $K_e$  son coeficientes de pérdidas en contracción y expansión, respectivamente, y  $\Delta h_v$  es el incremento de carga de velocidad para el caso de una contracción o la disminución en el caso de una expansión. En la Tabla 7.1 se muestran valores de  $K_c$  y  $K_e$  para diferentes tipos de transiciones.

TABLA 7.1  
COEFICIENTES DE PERDIDA PARA DIFERENTES TIPOS DE TRANSICION

TIPO	Kc	Ke
Parabólica	0.10	0.20
Cilíndrica	0.15	0.25
Cuña	0.30	0.50
Recta	0.30	0.50
Abrupta	0.30	0.75

Una recomendación práctica es que la longitud de las transiciones debe ser tal que la línea recta que une las superficies libres del agua en sus secciones extremas tenga un ángulo menor de  $12.5^\circ$  respecto al eje de la transición.

Con la transición propuesta y seleccionado el coeficiente de pérdida, se calcula el perfil del agua, utilizando la ecuación de la energía. El perfil calculado debe ser gradual, de lo contrario, se modifica la geometría de la transición.

En la Fig. 15 se muestra una propuesta del U.S. Bureau of Reclamation para transiciones entre un canal trapecial y una tubería o viceversa (Ref. 6)

## 8. ALCANTARILLAS

### 8.1. GENERALIDADES

Las alcantarillas son los elementos de drenaje que se emplean para permitir que el caudal de un cauce natural o de un canal, cruce por debajo a un elemento de operación terrestre, como es una pista, un rodaje o un camino.

Normalmente, son conductos que pueden tener sección circular, abovedada o rectangular y que pueden construirse con acero, concreto hidráulico y/o mampostería. El tamaño de su sección transversal depende de la magnitud del gasto de diseño y su longitud está en función del ancho del elemento por cruzar incluyendo sus respectivas franjas de seguridad y del ángulo de esviaje de su eje respecto del eje del elemento de operación. Desde el punto de vista económico, lo ideal es que la alcantarilla sea normal al eje del elemento, pues de esa manera se minimiza su longitud y por lo tanto se reduce su costo, aunque no siempre es posible lograr la perpendicularidad entre ambos ejes, pues es más importante procurar que la alcantarilla siga el alineamiento y la pendiente del cauce natural en línea recta, ya que cualquier cambio brusco de dirección en ambos extremos frenará la corriente teniéndose que incrementar la sección. La longitud de la alcantarilla puede reducirse elevando la salida arriba del fondo del cauce, pero en este caso, deben protegerse las terracerías aguas abajo. En la Fig. 16 se muestra en planta la posible localización del eje de una alcantarilla respecto al de una pista, así como en relación a la sección transversal de las terracerías.

La Fig. 17 ilustra los diferentes tipos de alcantarillas empleados en México y que son, en términos generales, los siguientes:

- A. Tubos.-
  - a) De concreto hidráulico con sección circular
  - b) De acero liso con sección circular
  - c) De acero corrugado de sección circular
  - d) Tubo arco de acero corrugado
  - e) Arco de acero corrugado
  
- B. Cajones de concreto hidráulico
  - a) Cajón sencillo
  - b) Doble cajón
  
- C. Losas de concreto hidráulico
  - a) Sobre estribos de concreto
  - b) Sobre estribos de mampostería
  
- D. Bóvedas
  - a) De concreto hidráulico
  - b) De mampostería

La selección del tipo de alcantarilla por emplear, depende de su tamaño y del costo de su construcción y/o instalación. Así, por ejemplo, si la alcantarilla es pequeña puede construirse con tubos de concreto precolado, de acero liso o corrugado, o bien con cajón de concreto colado en el sitio; si es de tamaño mediano, pueden usarse losas de concreto sobre estribos del mismo materiales o de mampostería; mientras que si es grande, pueden emplearse arcos de acero corrugado, o construirse bóvedas de concreto o de mampostería.

Debido a que las alcantarillas en aeropuertos suelen ser largas, para su adecuado mantenimiento y limpieza, se recomienda que nunca sean de diámetro menor de 90 cm, aunque hidráulicamente, en algunas ocasiones queden sobradas. También se recomienda complementarlas con registros de visita, que permitan el acceso al interior de la alcantarilla para los trabajos de limpieza, procurando que dichos registros tengan una distancia entre ellos no mayor de 100 m. Estos registros no serán necesarios si la alcantarilla es de tal tamaño que permita el acceso del personal de mantenimiento desde sus extremos.

Además, para garantizar el buen funcionamiento del sistema y evitar posibles erosiones a las terracerías, las alcantarillas deben complementarse con estructuras de entrada y salida como los muros de cabeza y aleros. En algunos casos, también se requieren dispositivos para protección contra materiales o basura que pudieran obturar la alcantarilla, así como estructuras en la salida para disminuir la energía del agua.

8.2. DISEÑO HIDRAULICO DE ALCANTARILLAS

El diseño hidráulico de una alcantarilla, depende del gasto pico, de la pendiente, de los materiales con los que se pretenda construirla, de la geometría de entrada, etc.

Generalmente en México, se diseñan parcialmente llenas, es decir, a superficie libre, de manera que operen como un canal, con un tirante máximo ( d<sub>max.</sub>) del 80% de su altura o de su diámetro ( D ) según sea el caso, por lo que los criterios aplicados para el diseño hidráulico de canales son válidos para las alcantarillas.

De esta manera, el proyectista propone el tipo de alcantarilla por utilizar, su geometría, su pendiente y los materiales que se emplearán y calcula el gasto que es capaz de conducir la alcantarilla propuesta, utilizando la fórmula de MANNING con los factores de fricción ( n ) contenidos en la Tabla 6.2.

Si la sección propuesta es rectangular, el área hidráulica y el perímetro mojado pueden calcularse con las siguientes expresiones:

$$A = b d \dots\dots\dots(1)$$

$$P = b + 2d \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

- b = Ancho de la alcantarilla ( m )
- d = Tirante ( m )

Pero si la sección es circular, deberán emplearse, para calcular su área y su perímetro, las siguientes ecuaciones:

$$A = r^2 \text{ ang sen } \frac{d - r}{r} + (d - r)(r^2 - (d - r)^2)1/2 + \frac{\pi r^2}{2} \dots\dots(8.3)$$

$$P = 2r \text{ ang sen } \frac{d - r}{r} + \pi r \dots\dots(8.4)$$

Donde "r" es radio de la alcantarilla, r = D/2 ( m )

Las secciones con geometría diferente a las mencionadas, requieren de la integración de su área en función de la variabilidad del tirante, para calcular sus correspondientes áreas hidráulicas y perímetros mojados, sin embargo, algunos fabricantes proporcionan ábacos para su cálculo.

El gasto calculado se compara con el gasto de diseño y si el primero resulta similar al segundo, la alcantarilla será correcta, pero si resulta mayor, estará sobrada y el proyectista podrá decidir si la acepta o la mejora reduciendo su sección o su pendiente. Si el gasto calculado es menor al gasto de diseño, la alcantarilla propuesta es insuficiente, debiéndose incrementar su sección.

También para el caso de las alcantarillas, la selección de la sección implica una serie de interacciones hasta lograr la coincidencia de ambos gastos. Este trabajo se agiliza con el empleo de los ordenadores personales. En las Figs. 18 y 19 se muestran las carátulas de hojas de cálculo elaboradas con el programa Symphony (Lotus), para alcantarillas de sección rectangular y circular, respectivamente, incluyendo las funciones matemáticas empleadas en cada caso. El funcionamiento de estas hojas de cálculo es similar al descrito para la hoja de cálculo de canales.

Una vez seleccionada la geometría de la alcantarilla, debe revisarse la velocidad del flujo en su interior, con los criterios utilizados para el caso de canales, tanto en lo referente a la velocidad mínima como a la máxima.

### 8.3. DISEÑO ESTRUCTURAL DE ALCANTARILLAS

Aunque el diseño estructural de las alcantarillas está fuera de los alcances de estos apuntes, ya que, en su caso, este diseño lo deberá realizar un estructurista, aquí deben hacerse algunos comentarios de carácter general.

En primer lugar, ha de tomarse en cuenta que la principal diferencia entre un puente y una alcantarilla estriba en que la superestructura del primero constituye la superficie de rodamiento, mientras que en la segunda, siempre existirá un "colchón" de material entre ella y dicha superficie, que en el caso más crítico se constituye con las capas del pavimento.

Debido a que el tipo de alcantarilla más empleado en los aeropuertos es la de tubo de concreto precolado, las Normas Mexicanas (Ref. 7) especifican las características estructurales de esos tubos para los diámetros comerciales. La Fig. 20 muestra las características estructurales de tubos de concreto simple y reforzado de acuerdo a dichas Normas. El proyecto de estas alcantarillas puede expresarse mediante planos tipo, como el mostrado en la Fig. 21

Para los casos de losas y cajones de concreto, así como bóvedas de mampostería, se utilizan proyectos "tipo", que en base al ancho (luz) y la altura de la alcantarilla, tomando en cuenta el espesor del "colchón" sobre la estructura, definen sus características estructurales, incluyendo las de sus correspondientes estribos y aleros de mampostería o concreto (Ref. 8). Cabe mencionar que dichos proyectos "tipo", En México, fundamentan el diseño en una carga viva producida por camiones, por lo que para ser utilizados con otras cargas, deben hacerse los ajustes necesarios. Los proyectos de estas alcantarillas, así elaborados, pueden expresarse en planos "tipo" como los mostrados en las Figs. 22 a 26.

En algunas ocasiones, ha sido necesario el diseño de alcantarillas especiales para resolver problemas poco comunes. A continuación, se describen algunos ejemplos:

A) Colectores para la Ampliación del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.-

Una opción para resolver el problema del Sistema Aeroportuario del Valle de México, es la ampliación del aeropuerto actual, construyendo nuevos elementos de operación terrestre en la zona del Exvaso del Lago de Texcoco, que se ubica al Norte del aeropuerto. La Fig. 27 ilustra la ubicación de la ampliación.

El terreno en esta zona, es sensiblemente plano con suelos arcillosos muy plásticos, poco resistentes y muy deformables, prácticamente vírgenes (Ref 9), con el nivel freático superficial y gran cantidad de sales.

Actualmente, esta zona funciona como un vaso regulador del drenaje del Suroeste de la ciudad, por lo que la construcción de la ampliación requiere, en primer lugar, la construcción de obras exteriores que mejoren el drenaje de la ciudad y en segundo, la construcción de un bordo perimetral para evitar el acceso del agua al predio, el que quedaría sin una salida natural del agua de lluvia que caiga en su interior. Por lo anterior, y debido a lo plano del terreno, el sistema de drenaje proyectado (Ref. 10) consta de canales y de un alcantarillado (Colectores) subterráneo, con longitud del orden de 12 Km, a base de tubos de concreto de 0.76 a 1.52 m de diámetro, que recolectarán y conducirán el agua hasta cárcamos donde se almacenará en tanto se extraiga del predio mediante plantas de bombeo. En la Fig. 28 se muestra el sistema de drenaje proyectado.

Para el diseño de los colectores, se tomó en cuenta que éstos se ubicarían bajo el nivel freático, lo que implicaba que, si se empleaban tubos convencionales de concreto para los colectores, se tendrían infiltraciones del agua freática que sería conducida hasta las plantas de bombeo, las que tendrían que funcionar constantemente durante todo el año, con los consecuentes incrementos del costo de operación y dificultando el mantenimiento de los equipos de bombeo. Además, el alto contenido de sales en el suelo disminuiría notablemente la durabilidad de los tubos. Por estas razones, los colectores se diseñaron como tubos de presión, en aproximadamente 5 Km, para garantizar su impermeabilidad y evitar el acceso del agua freática. Estos tubos deberán fabricarse con concreto preesforzados, utilizando cemento tipo V, con alta resistencia al ataque de las sales.

En casos como éste, el proyectista debe poner especial cuidado a los procedimientos constructivos de los colectores, ya que durante la excavación en suelos como el referido, para alojar los tubos de gran diámetro a las profundidades que se requieren, pueden presentarse fallas de fondo.

## B) Alcantarilla de Doble Bóveda para el Aeropuerto de Colima.-

La pista del aeropuerto de Colima, en el Estado del mismo nombre, cruza una barranca del orden de 37 m de profundidad, por donde fluye el Arroyo La Huerta, que en épocas de lluvia conduce un caudal de hasta  $140 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que motivó la construcción de una alcantarilla de concreto armado, constituida por dos cajones adosados de 4 m de claro cada uno, por 4.5 m de altura en los muros para la sección de entrada y 3 m en la sección típica, y techo curvo de 2 m de diámetro, lo que proporciona una altura total de 6.5 m a la entrada y 5 m en el resto, como se muestra en la Fig. 29.

En virtud de que sobre dicha alcantarilla fue necesario construir un terraplén de 30 m de altura aproximadamente, con arenas arcillosas con gravas y fragmentos chicos y medianos, se provocó el fenómeno de arqueo en el terraplén, para transmitir la mayor parte de las cargas del relleno a las zonas adyacentes de la alcantarilla, aligerando las cargas que actúan sobre ella.

Para lograr lo anterior, se construyó el terraplén a todo lo largo de la alcantarilla y en todo lo ancho de la barranca, es decir, a todo lo ancho de la pista incluyendo sus franjas de seguridad con sus taludes, mediante el procedimiento que se muestra en la Fig. 30 (Ref. 9).

Para el diseño estructural de esta alcantarilla, se estimaron las cargas que soportaría la estructura si se lograba el arqueo y se realizó un análisis mediante el Método del Elemento Finito, que permitió simular, tanto el arqueo como la influencia del proceso constructivo (Ref. 11). Con este método se calcularon las deformaciones de la estructura para los diferentes estados de las cargas impuestas y se obtuvieron las magnitudes de los esfuerzos y momentos a los que la estructura estaría sujeta, lo que permitió dimensionar los elementos estructurales. En las Fig. 31 se muestran los diagramas de momentos y las deformaciones para cada condición de análisis y para el caso más desfavorable.

## C) Alcantarilla de mampostería para el Aeropuerto de Bahías de Huatulco.-

En el aeropuerto de Bahías de Huatulco, que se encuentra en el Estado de Oaxaca, la pista cruza el Arroyo El Zapote, por lo que se proyectó, originalmente, un alcantarilla de concreto reforzado, de geometría similar a una de las bóvedas del caso anterior, pero dada la dificultad de disponer, para su construcción, del equipo y la mano de obra calificada en el sitio donde se construyó el aeropuerto, se decidió cambiar el diseño a una alcantarilla de mampostería, con el propósito de aprovechar las piedras existentes en el lugar, así como la abundancia de mano de obra no calificada de la región.

En virtud del tamaño de la alcantarilla y debido a que la mampostería no soporta tensiones, fue necesario elaborar un diseño especial en el que la estructura estuviera sujeta sólo a esfuerzos de compresión, por lo que la sección de la alcantarilla resultó de forma parabólica. La Fig. 32 muestra la geometría de dicha alcantarilla de mampostería, que es la más grande que se ha construido en los aeropuertos mexicanos.

## 9. ELEMENTOS ESPECIALES DE DRENAJE

### 9.1. ESTRUCTURAS DE ENTRADA EN ALCANTARILLAS

Las estructuras de entrada tienen el propósito de proteger contra la erosión a las terracerías y de encauzar el agua al interior de las alcantarillas, pero se ha observado que la forma de estas estructuras tiene influencia en el propio funcionamiento de las alcantarillas, de allí la importancia que tiene el hecho de que la entrada sea de bordes redondeados o angulosos.

En la Fig. 33 se ilustran los diferentes tipos de estructuras de entrada más usuales. Estas estructuras pueden ser muros rectos, en forma de "L", o con aleros.

El muro recto se emplea en alcantarillas pequeñas con pendientes bajas, cuando el eje de la corriente coincide con el de la alcantarilla. Si se tiene un cambio brusco en la dirección del flujo, se utiliza el muro en "L".

Cuando se tienen flujos grandes, y la alcantarilla funcionará parcialmente llena, la estructura con aleros admite mayor cantidad de agua, incrementando su capacidad y reduciendo el coeficiente de pérdida por entrada. El ángulo de inclinación del alero tiene poca importancia, pero siempre debe hacerse respecto el eje del escurrimiento, en lugar de hacerlo según el eje de la alcantarilla.

### 9.2. ESTRUCTURAS DE SALIDA EN ALCANTARILLAS

El objetivo de las estructuras de salida es también, proteger contra la erosión a las terracerías y a la propia alcantarilla.

Sería ideal que la velocidad del flujo en la alcantarilla fuera igual a la del cause antes de construirla, sin embargo esto no es siempre posible, por lo que la estructura de salida debe contribuir a controlar la velocidad del flujo a la descarga, lo que hace que no siempre sean iguales a las estructuras de entrada.

Cuando la alcantarilla es pequeña y la velocidad a la descarga es baja, pueden emplearse muros de cabeza rectos, aunque no consti- an buenas transiciones entre la alcantarilla y el canal. Si la velocidad es moderada, pueden usarse estructuras con aleros, que son una mejor transición. El ángulo de transición ( $\beta$ ), puede determinarse con la expresión de Izzard:



$$\tan \beta = \frac{1}{2Fr} = \frac{(gd)^{1/2}}{2V} \dots\dots\dots(9.1)$$

Donde:

- d = Tirante del escurrimiento en la alcantarilla ( m )  
 V = Velocidad media en la alcantarilla ( m/s )

Cuando se tienen velocidades de descarga grandes, pueden producirse remolinos en los extremos de las estructuras, particularmente cuando la alcantarilla es más angosta que el cauce a la salida. Si la velocidad de salida es mayor que la velocidad máxima del cauce, éste deberá protegerse mediante un revestimiento inmediatamente aguas abajo de la descarga y en una distancia de cuando menos 6 m, con un dentellón en el extremo del revestimiento, a una profundidad tal que se evite la erosión del material bajo el revestimiento. Pero si la velocidad de descarga es muy grande, se requiere amortiguar la energía del flujo provocando el salto hidráulico al final de la descarga, para entregar el agua al cauce con baja velocidad, para lo que se pueden construir umbrales o tanques amortiguadores como los mostrados en la Fig. 34.

Los umbrales se deben localizar a la mitad del espacio comprendido entre los aleros y deben tener una altura no menor que la mitad de la altura de la alcantarilla. Se recomienda la construcción de un revestimiento en el canal, inmediatamente después del umbral, con una longitud mínima de 3 m, y con su respectivo dentellón.

Los tanque amortiguadores se emplean cuando la velocidad de salida es mayor que 5.5 m/s, o cuando el material del canal es muy susceptible a la erosión. En estos casos, también puede construirse un delantal inclinado que contribuya a la formación de un salto hidráulico, o bien, una salida de cucharón que arroje el chorro lo suficientemente lejos para evitar daños a las terracerías. Otra opción sería un tramo de tubo de mayor diámetro que la alcantarilla, para alejar la descarga de las terracerías, si es posible, conviene que el tramo de tubo tenga una sección que amplie gradualmente su área.

Un inconveniente que tiene el empleo de umbrales o de tanques amortiguadores, es que existe la posibilidad de azolvamiento, por lo que debe tenerse especial cuidado de mantener estas estructuras libres de sedimentos y basura.

En caso de que la alcantarilla descargue sobre roca o suelo muy resistente, posiblemente pueda prescindirse de la estructura de salida, pero en todo caso, deberán evaluarse los daños que se pudieran generar.

### 9.3. DISIPADORES DE ENERGIA

En algunas ocasiones es necesario abatir la energía del agua para lograr un funcionamiento hidráulico adecuado, como es la descarga con alta velocidad de una alcantarilla a un canal, comentada anteriormente para el caso de las estructuras de salida, sin embargo, pueden existir situaciones diferentes, como podría ser el entronque entre dos canales que conducen caudales de diferente magnitud y velocidad, que al unirse pueden ocasionar trastornos que afecten a la estructura. Para evitar cualquier posible daño, se requiere abatir la energía del mayor caudal, como en el caso de la unión de los canales laterales de la pista del aeropuerto de Puerto Escondido, en el Estado de Oaxaca, que se muestra en la Fig. 35, en la que se puede observar que la pista es drenada por dos canales revestidos con concreto hidráulica, denominados "Canal Lateral Derecho" y "Canal Lateral Izquierdo", que se unen aguas abajo de la pista en un solo canal revestido con el mismo material, el que descarga sobre el cauce de un arroyo.

El canal izquierdo, que se inicia al terminar la alcantarilla que cruza la isleta entre los rodajes, con elevación similar a la del canal derecho, baja desde su inicio hasta aproximadamente 10 m bajo el nivel de la gota de la pista. Por su parte, el canal derecho tiene una pendiente prácticamente paralela a la pendiente de la pista, y al llegar a la altura de la gota, baja rápidamente hasta su entronque con el canal izquierdo. En la Fig. 36, se muestra un esquema que ilustra los perfiles de ambos canales, donde se ve que, aunque el canal derecho tiene mayor gasto, su pendiente es mucho mayor que la del canal izquierdo y por tanto también su energía, de acuerdo con las secciones de los dos canales, de manera que si no se abate hasta lograr una energía similar a la del canal izquierdo, pueden producirse, en la unión de ambos cauces, turbulencias o alteraciones que pongan en riesgo la estructura. En este ejemplo, la solución fue construir en el canal derecho una caída con un tanque amortiguador en su extremo final, ubicada según se muestra en la Fig. 37.

Como también puede observarse en la Fig. 36, después de la unión de ambos canales, el canal único, que descarga en el cauce del arroyo, baja rápidamente con una pendiente todavía mayor que la del canal derecho, incrementando importantemente la energía y la velocidad del flujo desde el entronque. Para evitar alteraciones importantes en el material arenoso del cauce del arroyo, que pudieran generar, incluso, una erosión remontante bajo el propio canal, destruyendo su estructura, fue necesario construir un segundo tanque amortiguador antes de la descarga, el que se muestra en la Fig. 38, con el propósito de abatir la energía del agua a niveles tolerables para los materiales del lecho del arroyo y se protegió el cauce mediante un delantal de mampostería.

Existen otros tipos de disipadores de energía, como por ejemplo, el de impacto, desarrollado por el U.S. Bureau of Reclamation (Ref. 12), que consiste en una cámara de concreto reforzado en la que ingresa el flujo con alta velocidad, al que se le interpone un muro transversal que provoca la disipación de la energía por el impacto del agua contra el muro y por difusión turbulenta. Este tipo de difusor se recomienda para gastos menores de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  y con velocidades inferiores a  $15 \text{ m/s}$ .

#### 9.4. CARCAMOS DE ALMACENAMIENTO

En el caso de que el gasto acumulado por el sistema de drenaje sea tan grande que no pueda desalojarse del aeropuerto en el momento en que se produce, es necesario almacenarlo en tanto se descarga, comúnmente mediante una planta de bombeo, de manera programada de acuerdo a las posibilidades que tenga el drenaje exterior de admitirlo. Dicho almacenamiento se efectúa en depósitos subterráneos, llamados cárcamos, que deben tener la capacidad de contener los volúmenes drenados por el sistema interior cuando ocurra la tormenta de diseño.

Las dimensiones de un cárcamo se determinan como si se tratara de un tanque de agua potable, de acuerdo a las leyes de entradas y de salidas, que pueden ser de tipo uniforme o variable y que usualmente se representan por medio de hidrogramas.

Este es el caso del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, que cuenta con varios cárcamos que se descargan mediante plantas de bombeo, las que exigen un cuidadoso mantenimiento y que representan un alto costo de operación.

#### 9.5. ESTRUCTURAS DE CONTROL

En el ejemplo del aeropuerto de Campeche, comentado al principio de estos apuntes, se analizó la problemática que se podría haber generado en la propia ciudad a la que se desea servir, de no haber tomado las medidas pertinentes, al disminuir la capacidad de regulación de los terrenos donde se construyó el aeropuerto. Recordemos que la construcción del aeropuerto implicaba rescatar terrenos inundables que contribuían a regular el gasto aportado por las cuencas aledañas para no sobrecargar la Ría que cruza la ciudad. El rescate de esos terrenos se efectuó construyendo un bordo perimetral que evita el ingreso al predio de las aguas ajenas, pero que también evita el drenado natural del predio, por lo que se construyó un cárcamo de bombeo, que estando dentro del aeropuerto, puede ser operado y mantenido adecuadamente.

Al construir el bordo perimetral, la capacidad natural de regulación se redujo importantemente, pero con el propósito de no afectar a la ciudad, fue necesario restablecer la capacidad original. Lo anterior podría haberse logrado construyendo un bordo que interceptara el flujo hacia la ciudad, para producir un embalse aguas arriba y regular la descarga mediante una planta de bombeo, pero al encontrarse ésta fuera del predio del aeropuerto, su operación y mantenimiento se dificultarían, por lo que no se consideró una solución óptima. También se pensó que la regulación podría hacerse mediante una compuerta que se cerraría durante el periodo de captación del agua aportada por las cuencas y se abriría posteriormente para descargar el embalse, sólo con el gasto que puede drenar la Ría, pero en virtud de que la compuerta se ubicaría fuera del aeropuerto, se tendría el riesgo de no poder controlarla adecuadamente, por lo que también se desechó esta opción. La solución consistió en construir una sección de control, como la mostrada en la Fig. 39, que permitiera, en todo momento, el paso del gasto que es capaz de drenar la Ría, provocando, cuando el aporte de las cuencas fuera mayor, el embalse aguas arriba.

## 9.6. BORDILLOS, CUNETAS Y LAVADEROS

Los bordillos, cunetas y lavaderos (Ref.13), constituyen obras complementarias de drenaje, que tienen como principal objetivo, proteger a las terracerías en contra de la erosión.

Los bordillos son pequeños bordos de concreto hidráulico o asfáltico, que se colocan en los hombros de los terraplenes, con el propósito de evitar que el agua que escurre sobre las franjas de seguridad o sobre la corona del terraplén, escurra también sobre los taludes, cuando los materiales empleados en las terracerías son muy susceptibles a la erosión, y encauzan el flujo hacia bajadas construidas en sitios estratégicos sobre los taludes. La altura de los bordillos debe ser suficiente para no ser rebasados por el agua almacenada. En México se utilizan generalmente bordillos de sección trapecial, como los mostrados en la Fig. 40

Los lavaderos, por su parte, son pequeños canales de concreto hidráulico o mampostería, que se conectan a los bordillos y que bajan por los taludes, con el objetivo de conducir el agua de lluvia que escurre por la corona de los terraplenes, hasta lugares alejados de ellos, en donde ya sea inofensiva. Generalmente tienen pendientes muy fuertes. En los caminos se construyen sobre los terraplenes, sobre los lados de terraplén de cortes en balcón, generalmente a la entrada y a la salida del corte o en los lados interiores de curvas en terraplé. En los tramos de caminos en tangente o en los elementos de operación terrestre, se colocan cada 60 ó 100 m, dependiendo de la pendiente longitudinal de la rasante y de la precipitación pluvial en la zona. En la Fig. 41, se muestra un lavadero típico de mampostería. La capacidad de los lavaderos depende de la separación entre ellos, del gasto total que escurre por los bordillos y del tirante en una sección inmediatamente antes del umbral de entrada, cuya longitud puede calcularse con la expresión propuesta por Izzard:

$$Lu = \frac{Q}{0.386(a + y)^{3/2}} \dots\dots\dots(9.2)$$

Donde:

- Lu = Longitud del umbral de entrada al lavadero ( m )
- Q = Gasto que llega al lavadero y ha de descender por él ( m<sup>3</sup>/s )
- a = Desnivel entre la corona del terraplén y la sección más deprimida del umbral de entrada ( m ). Generalmente es del orden de 0.06 m
- y = Tirante de escurrimiento sobre la corona del terraplén, en una sección próxima al umbral de entrada ( m )

Por otra parte, las cunetas son pequeños canales que se construyen, principalmente en los caminos, a los lados donde existan cortes, en el extremo del acotamiento, en contacto inmediato con el corte y tienen el propósito de captar los escurrimientos de origen pluvial propio del talud y del terreno natural aguas arriba del corte, así como los de la corona del camino si éste tiene una pendiente transversal hacia el corte, para encausar el escurrimiento fuera de la zona de corte. En la Fig. 42 se muestra la geometría y la disposición más conveniente de la cuneta, respecto al pavimento.

## 9.6. SUBDRENES

Es frecuente que cuando se terminan de construir las terracerías de los elementos de operación terrestre, quede formada una caja donde se alojará el pavimento, en la que se propicia la acumulación del agua de lluvia sobre la subrasante durante la etapa de construcción o del agua que se infiltra durante la etapa de operación a través de las fisuras o grietas de la superficie de rodamiento, con el consecuente peligro de saturar esa capa, disminuyendo sus características de resistencia e incrementando su deformabilidad, por lo que, si los materiales empleados en las terracerías y/o los del terreno natural no son lo suficientemente permeables, se proyecta un sistema de subdrenaje que permita la salida del agua.

Dicho sistema, consiste en colocar bajo la orilla de los pavimentos de los acotamientos y por abajo del nivel de desplante de la subrasante, un subdren longitudinal, paralelo al eje del elemento de operación terrestre, que capte el agua atrapada en la caja del pavimento.

Como se muestra en la Fig. 43, el subdren normalmente se construye con tubos de concreto hidráulico de 15 cm de diámetro, que tienen perforaciones para permitir el acceso del agua a su interior, y que están embebidos en un material permeable que, para evitar el arrastre de las partículas del suelo, tiene características de filtro. En virtud de que las capas inferiores del pavimento y el material de filtro son más permeables que la subrasante, el agua escurrirá sobre esta última capa hacia los lados del elemento de operación terrestre hasta "caer" al subdren, donde escurrirá longitudinalmente hasta las salidas, que son tubos de penetración del mismo material pero sin perforaciones, que corren por abajo y transversalmente a las franjas de seguridad para descargar el agua en sitios bajos fuera de las terracerías.

Es conveniente que la unión del subdren con los tubos de salida se efectúe mediante registros que permitan la inspección y limpieza de los tubos. Asimismo, se recomienda colocar las salidas a cada 60 m, pero nunca a más de 100 m.

Cuando los tubos de salida descarguen sobre el talud de un terraplén y el flujo drenado sea importante o constante, es necesario construir pequeños lavaderos que bajen el agua desde la descarga del tubo hasta el pie del talud, con el propósito de evitar erosiones en el terraplén.

También puede requerirse de un sistema de subdrenaje para abatir el nivel de aguas freáticas, alejándolas de la estructura del pavimento, pero debido a que los subdrenes operan por gravedad, su construcción implica un desnivel entre ellos y la descarga de los tubos de salida. Cuando no es posible lograr dicho desnivel, no tienen sentido los subdrenes y entonces, el pavimento debe proyectarse tomando en cuenta que sus materiales tendrán que convivir con el agua freática o, en su caso, con el agua atrapada. Tal es el caso, comentado anteriormente, de la ampliación del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

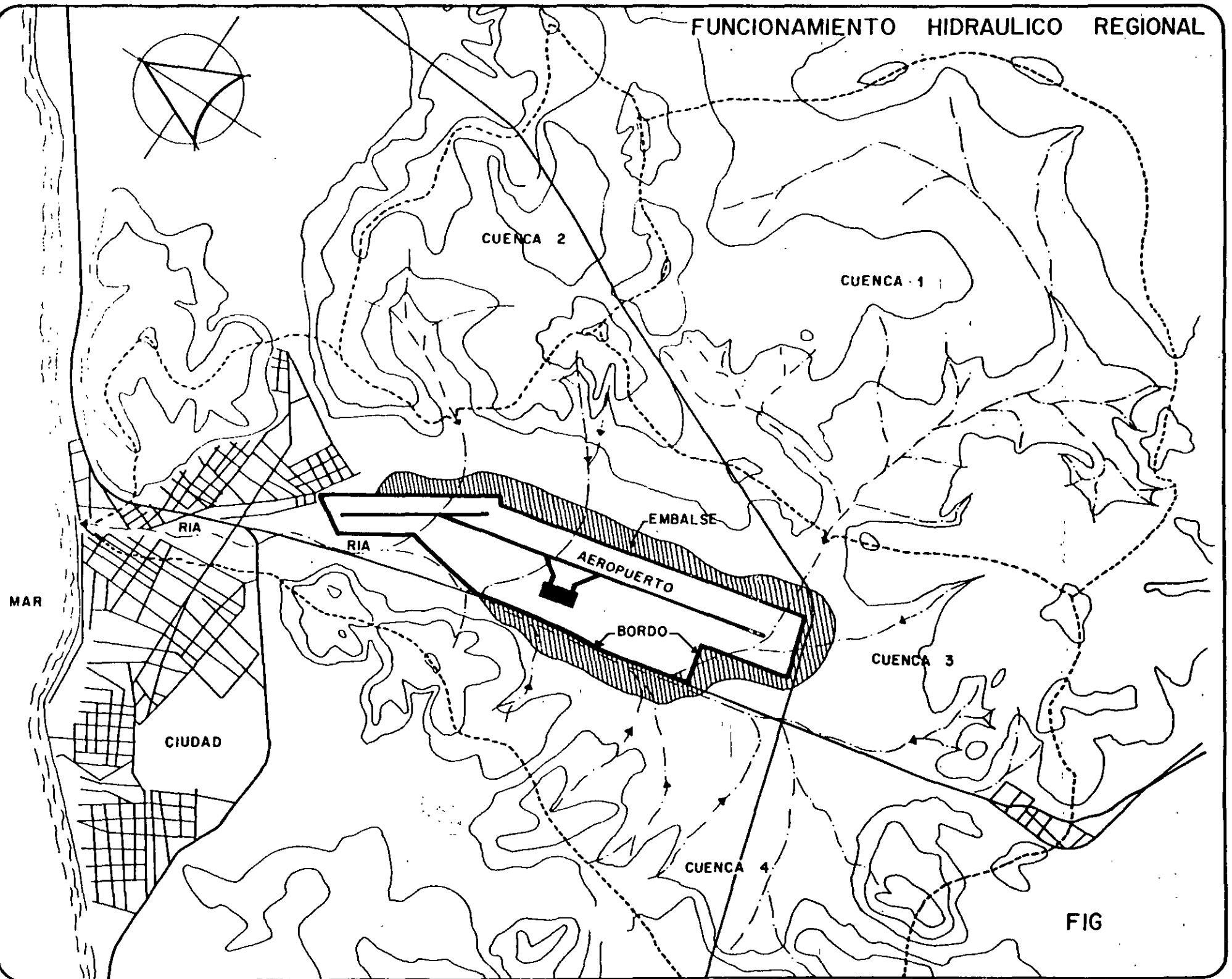
## 10. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

1. HORONJEFF, R., "Planning and Design of Airports", McGraw - Hill Book Co., Inc., Nueva York, 1962.
2. SOTELO, G., "Hidráulica General", Vol II, Escurrimiento a superficie libre, Editorial Limusa, México
3. KINORI, B.Z., "Manual of Surface Drainage Engineering", Vol. I, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 70
4. KING, H.W., "Handbook of Hydraulics", McGraw-Hill Book Co. Inc., Nueva York, 1954.
5. C.F.E., "Manual de Diseño de Obras Civiles", Facículo A.2.9.: Escurrimiento a superficie libre, Comisión Federal de Electricidad - Instituto de Investigaciones Eléctricas, México, 1980
6. SIMONS, JR.W.P., "Hydraulic Design of Transition of Small Canals", Engineering Monograph No 33, Department of the Interior, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, 1965
7. NORMAS SCT, "Normas de Calidad de los Materiales para Carreteras y Aeropistas", Libro 4, Parte 01, Título 02, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, 1985
8. DGPL, SOP, "Proyectos Tipo de Obras de Drenaje", Dir. General de Proyectos y Laboratorios, Extinta Secretaría de Obras Públicas, México, 1963
9. ELIZONDO, A.M., "Terracerías en Aeropuertos", Casos 1 y XIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelo Volumen 2, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México 1987
10. RODRIGUEZ R.,H., "Proyecto Específico del Sistema de Drenaje para la Ampliación del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México", VII Reunión Nacional de Ingeniería de Vías Terrestres, Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, México, 1986
11. BAROUSSE, M. "Diseño y Comportamiento de una Alcantarilla Bajo un Terraplén Alto en el Aeropuerto de Colima. "XIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Volumen 1, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México 1987
12. U.S. B. OF R., "Design of Small Dams", U. S. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 1962
13. RICO, A., "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres", Volumen 2, Editorial LIMUSA, México, 1978
14. SOTELO, G., "Hidráulica General", Vol I, Fundamentos, Editorial Limusa, México, 1974
15. DOMINGUEZ, F.J., "Hidráulica", Cuarta Edición, Editorial Universitaria, Universidad de Chile, Chile, 1974
16. SOTELO, G., "Drenaje en Carreteras y Aeropuertos". Publicación 315 del Instituto de Ingeniería UNAM, México, 1973
17. SPRINGALL, R., "Drenaje en Cuencas Pequeñas", Informe 143, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1967

## 11. FIGURAS

- Fig. 1 CUENCAS DE CAMPECHE
- Fig. 2 ESTRUCTURAS MAS USUALES
- Fig. 3 CURVAS INTENSIDAD-DURACION-PERIDO DE RETORNO
- Fig. 4 PARTES DE UNA CUENCA
- Fig. 5 HIDROGRAMA
- Fig. 6 DETERMINACION DE LOS ELEMENTOS DE DRENAJE
- Fig. 7 CUENCA QUE APORTARA A LA ISLETA
- Fig. 8 TIEMPO DE CONCENTRACION EN AEROPUERTOS
- Fig. 9 SECCIONES TIPICAS DE CANALES Y TRINCHERAS
- Fig. 10 DATOS DE CURVAS HORIZONTALES
- Fig. 11 HOJA DE CALCULO PARA CANALES
- Fig. 12 VELOCIDAD MINIMA PERMISIBLE EN CANALES
- Fig. 13 VELOCIDAD DE CAIDA W, PARA DIFERENTES TAMANOS DE PARTICULAS DE CUARZO.
- Fig. 14 VELOCIDAD MAXIMA PERMISIBLE EN MATERIALES NO COHESIVOS
- Fig. 15 TRANSICIONES EN CANALES PEQUENOS
- Fig. 16 LOCALIZACION DEL EJE DE UNA ALCANTARILLA RESPECTO AL EJE DE UNA PISTA
- Fig. 17 TIPOS DE ALCANTARILLAS EMPLEADOS EN MEXICO
- Fig. 18 HOJA DE CALCULO PARA ALCANTARILLAS CON SECCION RECTANGULAR
- Fig. 19 HOJA DE CALCULO PARA ALCANTARILLAS CON SECCION CIRCULAR
- Fig. 20 TUBOS DE CONCRETO SIMPLE Y REFORZADO PARA ALCANTARILLAS
- Fig. 21 PLANO TIPO DE ALCANTARILLAS DE TUBO DE CONCRETO
- Fig. 22 PLANO TIPO DE ALCANTARILLAS DE LOSA DE CONCRETO
- Fig. 23 PLANO TIPO DE GUARNICIONES PARA LOSA DE CONCRETO
- Fig. 24 PLANO TIPO DE ESTRIBOS DE MAMPOSTERIA PARA LOSAS DE CONCRETO
- Fig. 25 PLANO TIPO DE ALCANTARILLAS DE CAJON DE CONCRETO
- Fig. 26 PLANO TIPO DE ALCANTARILLAS DE BOVEDA DE MAMPOSTERIA
- Fig. 27 LOCALIZACION DE LA AMPLIACION DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MEXICO
- Fig. 28 SISTEMA DE DRENAJE DE LA AMPLIACION DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MEXICO
- Fig. 29 GEOMETRIA DE LA ALCANTARILLA LA HUERTA
- Fig. 30 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TERRAPLEN SOBRE LA ALCANTARILLA LA HUERTA
- Fig. 31 MOMENTOS Y DEFORMACIONES OBTENIDOS POR EL METODO DEL ELEMENTO FINITO PARA LA ALCANTARILLA LA HUERTA
- Fig. 32 ALCANTARILLA DE MAMPOSTERIA DEL AEROPUERTO DE BAHIAS DE HUATULCO, OAXACA
- Fig. 33 ESTRUCTURAS DE ENTRADA EN ALCANTARILLAS
- Fig. 34 ESTRUCTURAS DE SALIDA CON AMORTIGUAMIENTO
- Fig. 35 CANALES DEL AEROPUERTO DE PUERTO ESCONDIDO, OAXACA
- Fig. 36 PERFILES DE LOS CANALES DEL AEROPUERTO DE PUERTO ESCONDIDO, OAXACA
- Fig. 37 DETALLE DE LA UNION DE LOS CANALES DEL AEROPUERTO DE PUERTO ESCONDIDO, OAXACA
- Fig. 38 TANQUE AMORTIGUADOR No 2 DEL AEROPUERTO DE PUERTO ESCONDIDO, OAXACA
- Fig. 39 SECCION DE CONTROL
- Fig. 40 GEOMETRIA DE LOS BORDILLOS
- Fig. 41 LAVADERO TIPICO DE MAMPOSTERIA
- Fig. 42 GEOMETRIA Y DISPOSICION DE CUNETAS
- Fig. 43 SUBDREN TIPO

FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO REGIONAL



FIG

76



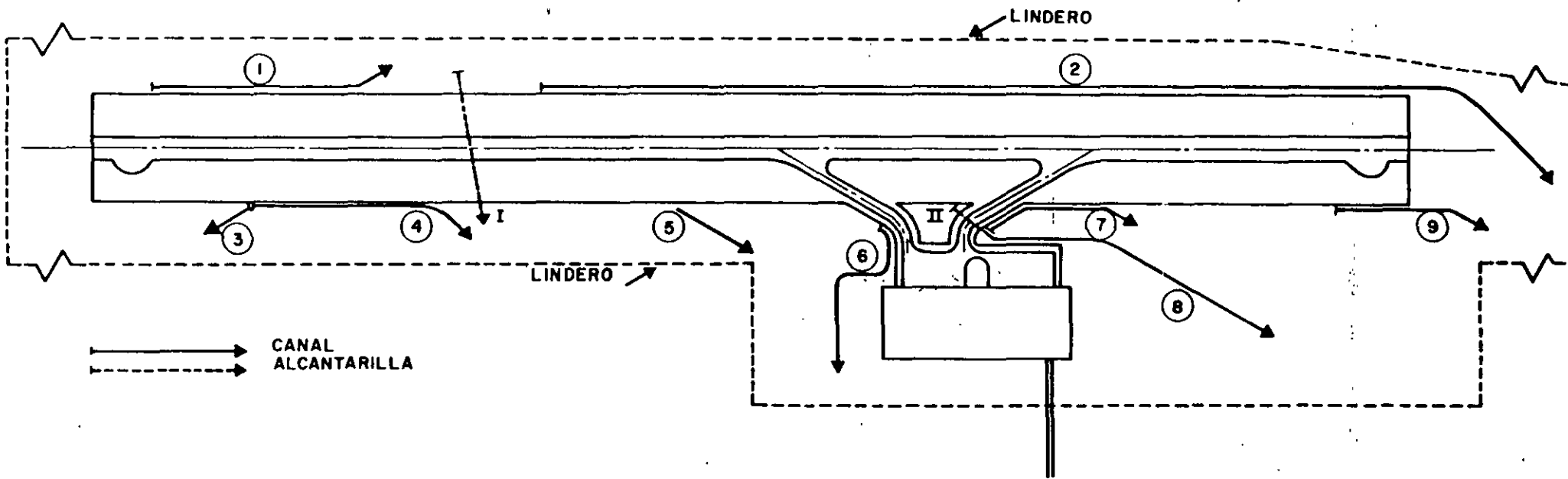


FIG. 2 OBRAS DE DRENAJE TIPICAS EN UN AEROPUERTO

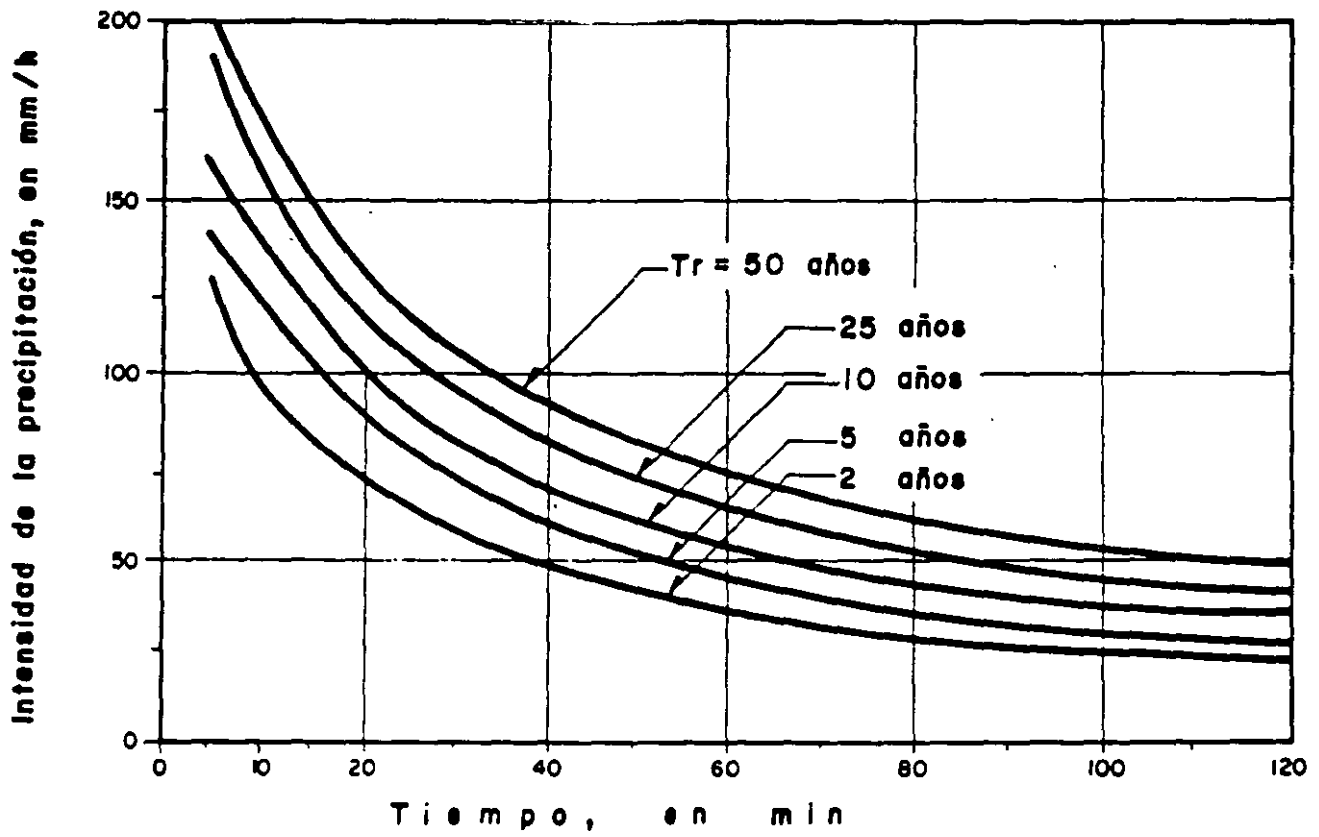


FIG. 3 CURVAS INTENSIDAD - DURACION - PERIODO DE RETORNO

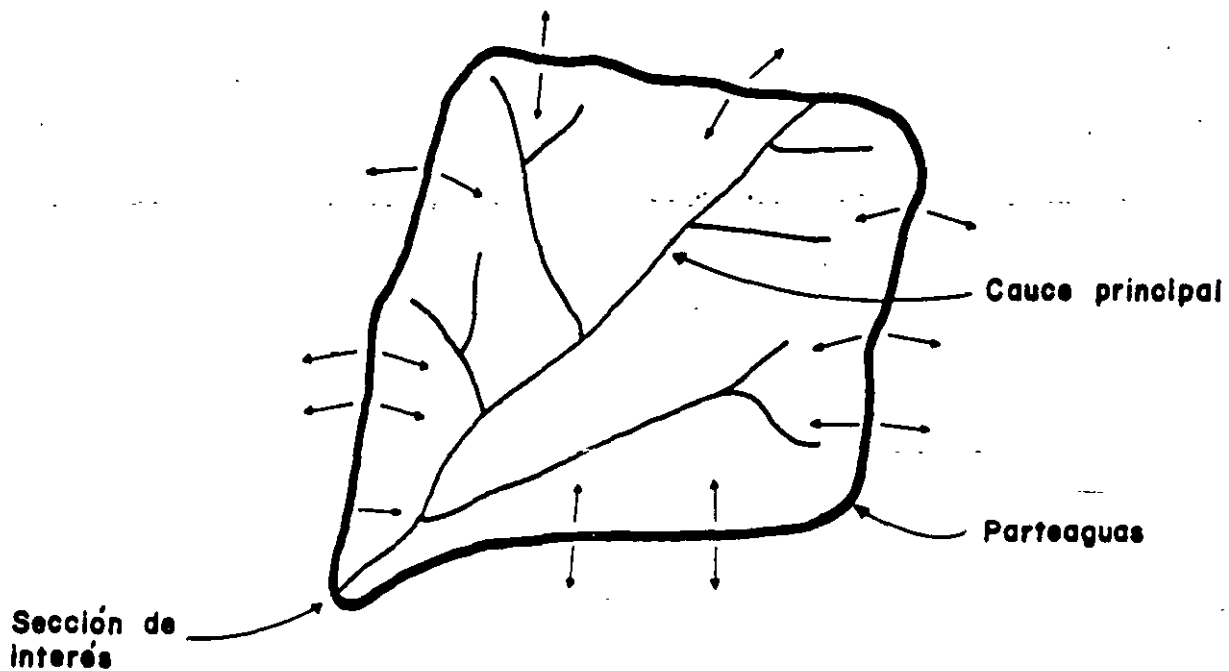


FIG. 4 PARTES DE UNA CUENCA

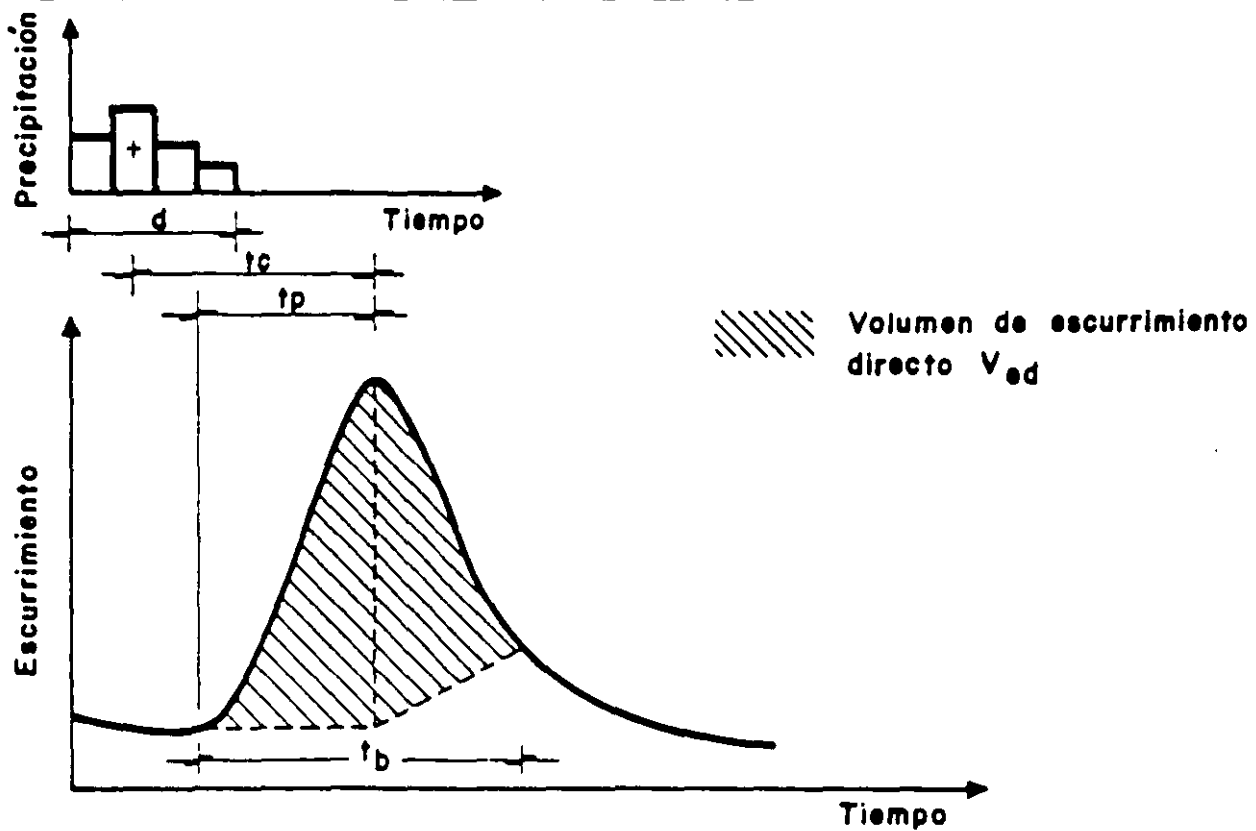


FIG. 5 PARAMETROS DE UN HIDROGRAMA

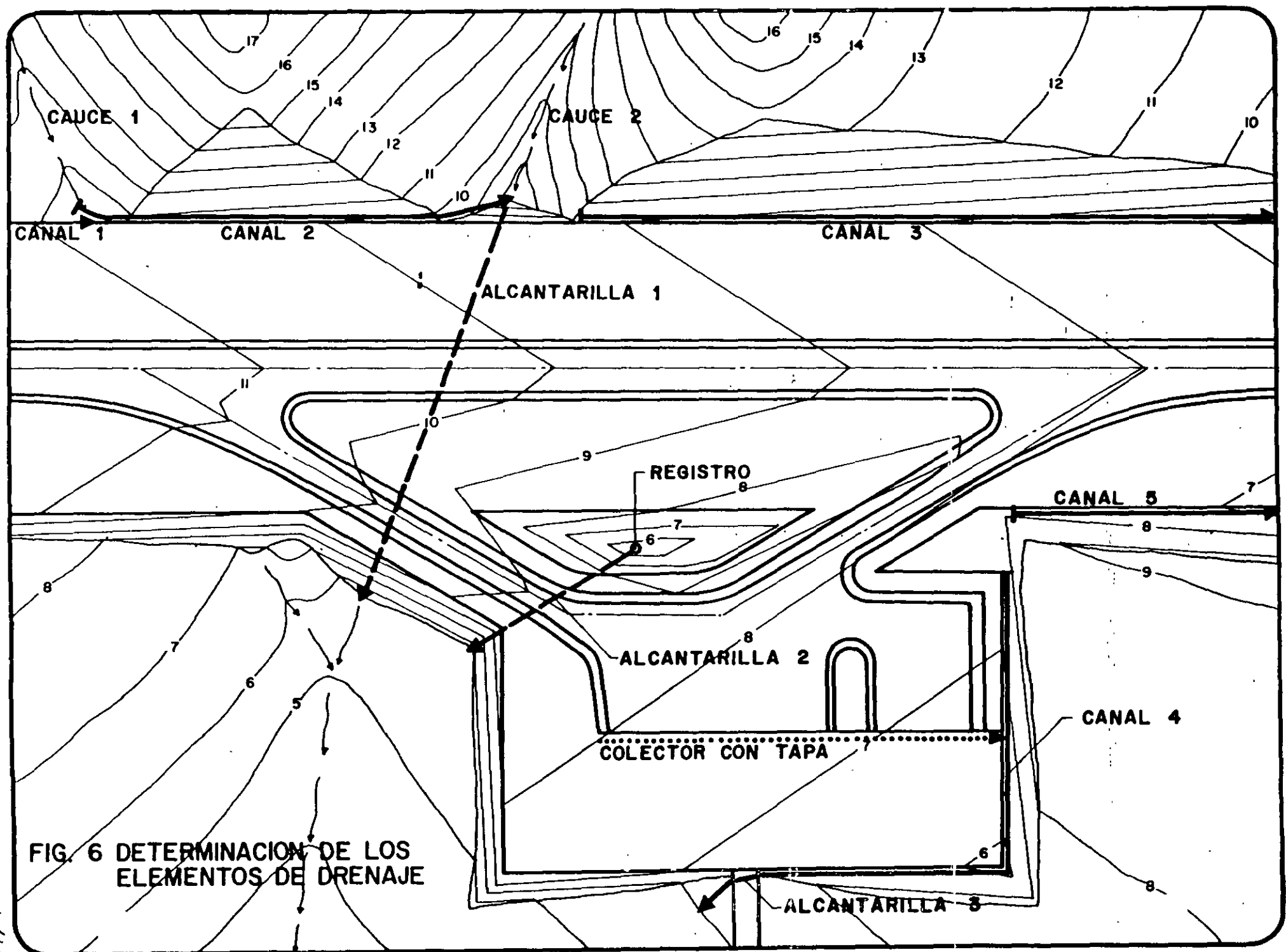
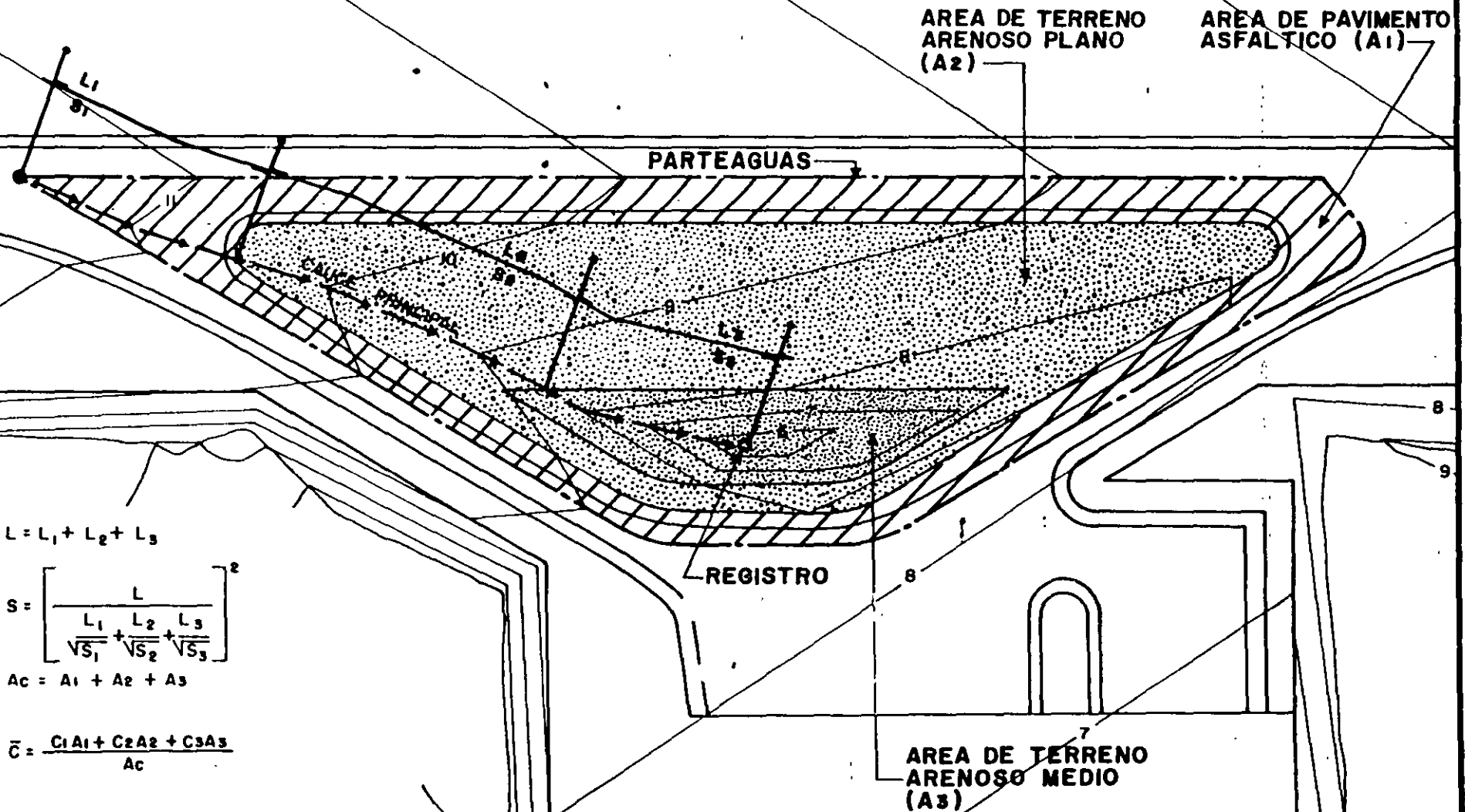


FIG. 7 CUENCA QUE APORTA A LA ISLETA



$$L = L_1 + L_2 + L_3$$

$$S = \left[ \frac{L}{\frac{L_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{S_2}} + \frac{L_3}{\sqrt{S_3}}} \right]^2$$

$$A_c = A_1 + A_2 + A_3$$

$$\bar{C} = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3}{A_c}$$

617

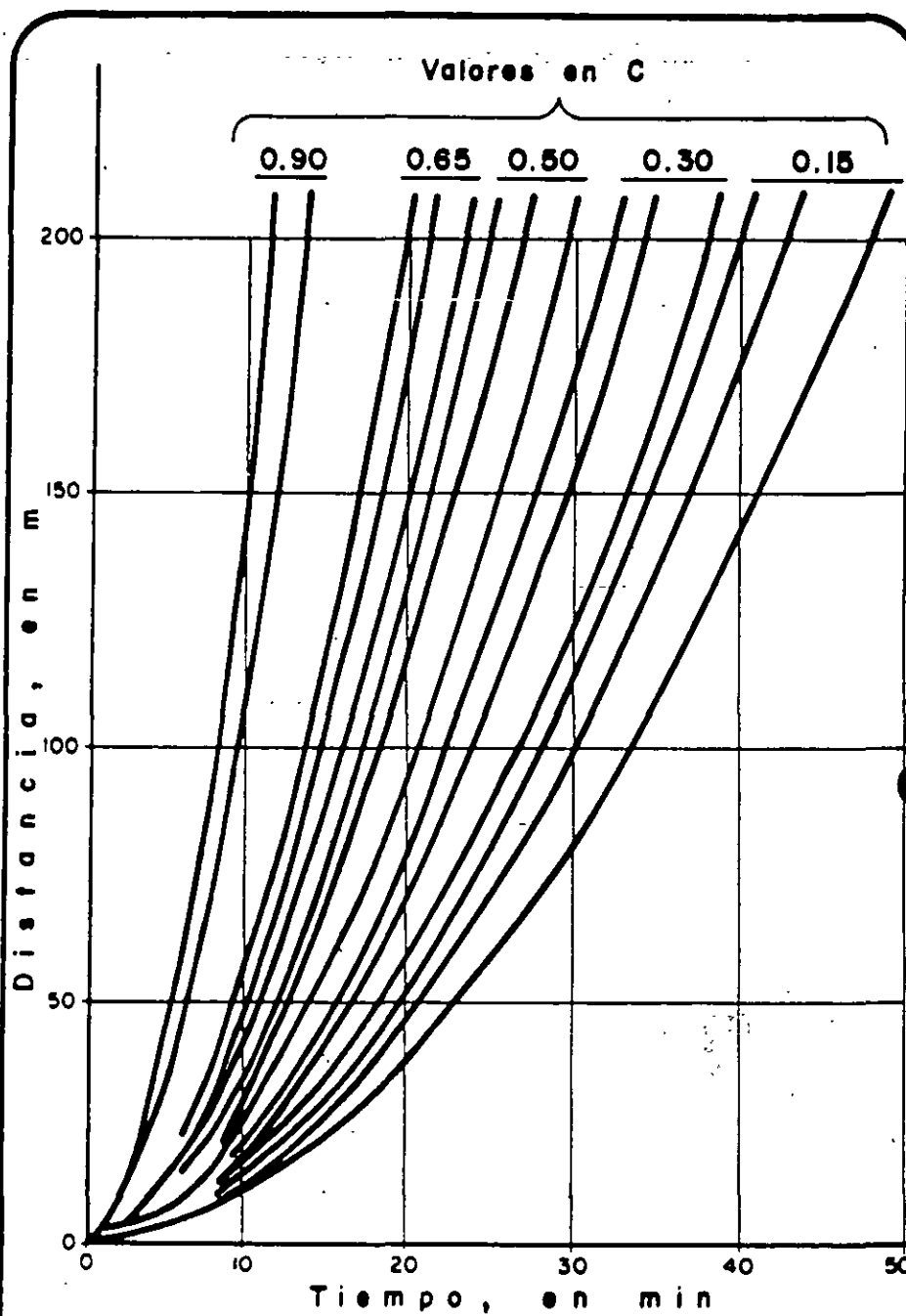
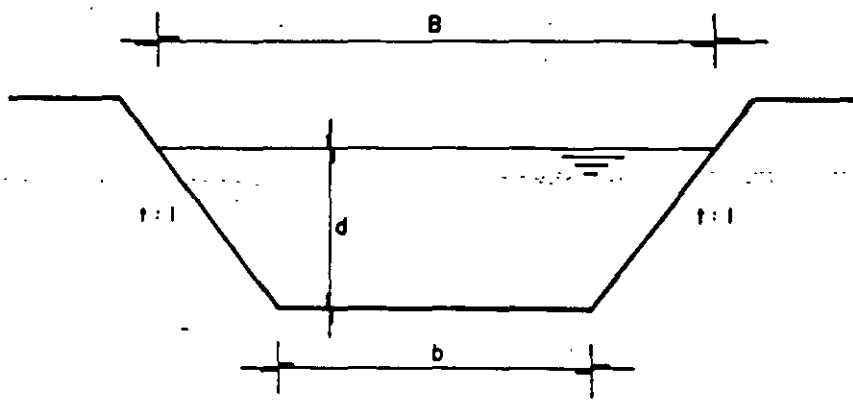
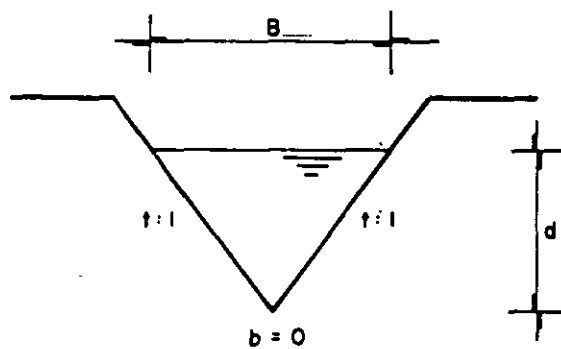


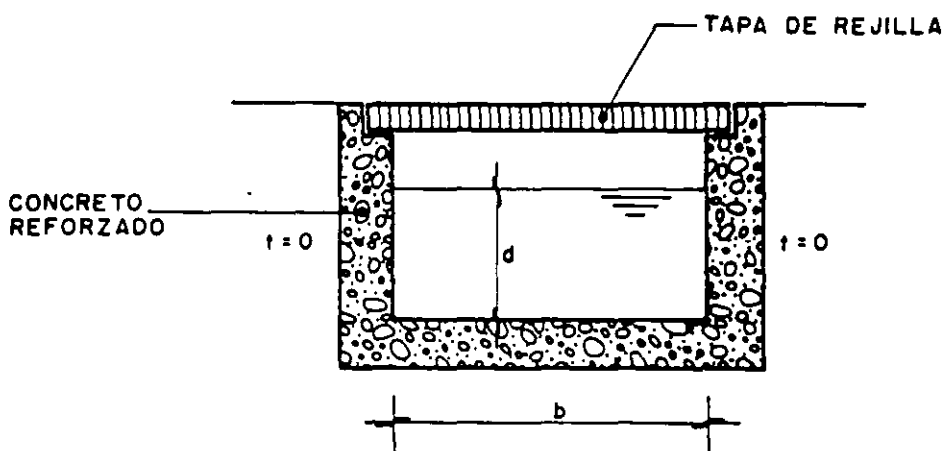
FIG. 8 TIEMPO DE CONCENTRACION EN AEROPUERTOS



a) CANAL DE SECCION TRAPEZIAL



b) CANAL DE SECCION TRIANGULAR



c) TRINCHERA CON TAPA

FIG. 9 SECCIONES TIPICAS DE CANALES Y TRINCHERAS

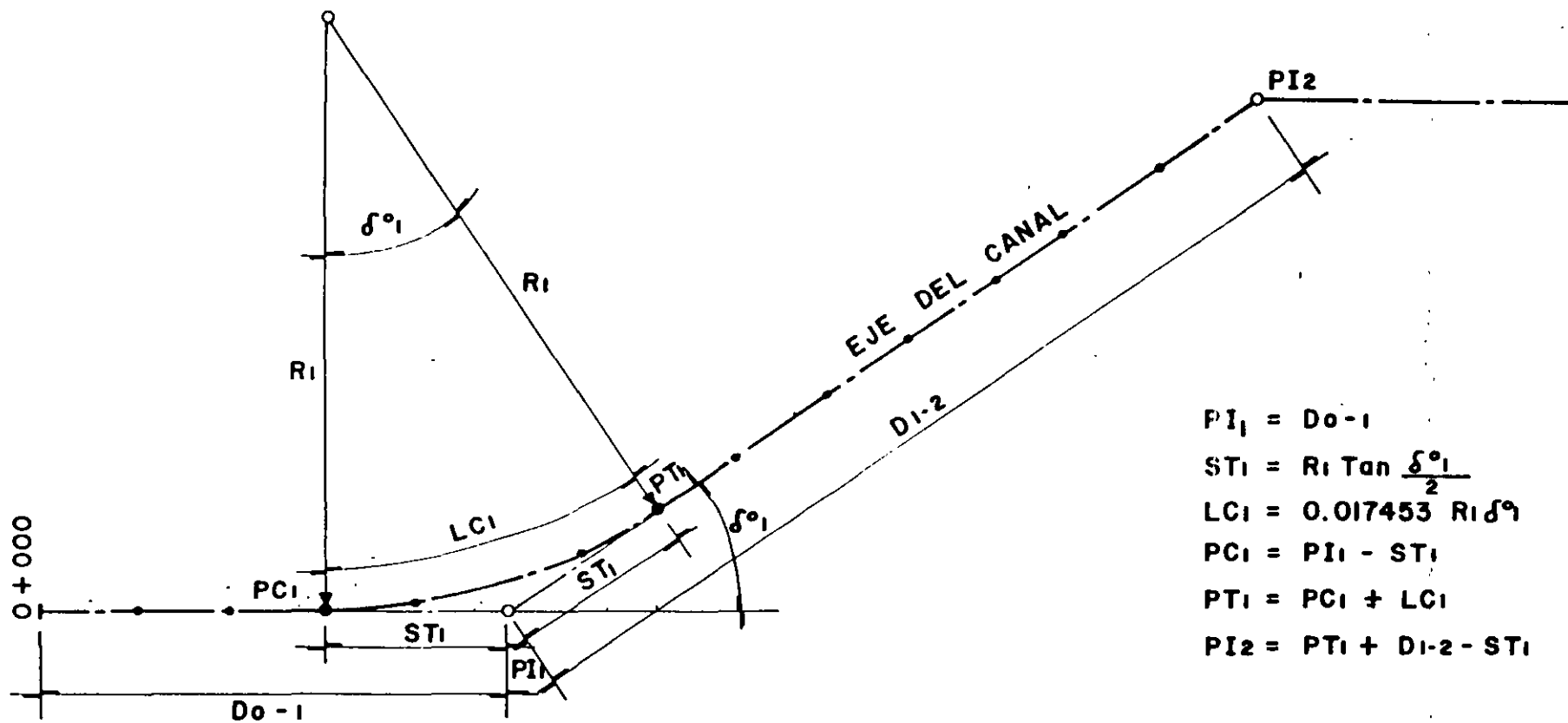


FIG. 10 DATOS DE CURVAS HORIZONTALES



FIG. II HOJA DE CALCULO PARA CANALES

CANALES  
CALCULO DE CANALES

13-Sep-92

OBRA : \_\_\_\_\_  
CANAL : \_\_\_\_\_

DATOS	CALCULOS						
	TIRANTE	NOTA	GASTO	AREA	PERIM.	RADIO	VEL.
	UTILIZADO:		CALCULADO:		MOJADO	HID.	
	d		Qc	A	P	Rh	V
Q <sub>dis</sub> = 0.497 m <sup>3</sup> /seg	0.860	EN PROCESO	1.782	1.969	4.101	0.480	0.905
d <sub>max</sub> = 0.86	0.430	EN PROCESO	0.444	0.707	2.550	0.277	0.628
b = 1.00	0.645	EN PROCESO	0.905	1.269	3.326	0.382	0.776
T = 1.50	0.538	EN PROCESO	0.685	0.971	2.938	0.330	0.705
S = 0.049	0.484	EN PROCESO	0.557	0.835	2.744	0.304	0.667
EST: 1°	0.457	EN PROCESO	0.499	0.770	2.647	0.291	0.648
ELEV 1°	0.443	EN PROCESO	0.471	0.738	2.599	0.284	0.638
EST: 2°	0.450	EN PROCESO	0.485	0.754	2.623	0.287	0.643
ELEV 2°	0.454	EN PROCESO	0.492	0.762	2.635	0.289	0.645
n = 0.015	0.455	EN PROCESO	0.495	0.766	2.641	0.290	0.647
s = 0.000	0.456	TERMINADO	0.497	0.768	2.644	0.290	0.647

D O I K M O Q S U  
(13)

CANALES  
CALCULO DE CANALES

OBRA : \_\_\_\_\_  
CANAL : \_\_\_\_\_

DATOS	CALCULOS							
	TIRANTE	NOTA	GASTO	AREA	PERIM.	RADIO	VEL.	
	UTILIZADO:		CALCULADO:		MOJADO	HID.		
	d		Qc	A	P	Rh	V	
Q <sub>dis</sub> =	m <sup>3</sup> /seg	(2)	(4)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
d <sub>max</sub> =	m	(3)	(5)					(12)
b =	m							
T =	s							
S =								
EST: 1°								
ELEV 1°								
EST: 2°								
ELEV 2°								
n =								
s =	(1)							

- (1) QSI(D22=0) \* QSI(D17<0) (D17/100) (QSI((D20-D18)=0) (D19-D21)/(D20-D18)))
- (2) QSI(D813=0) \* QSI(D814=0) \* QSI(D815=0) \* QSI(D822=0) \* (D814))
- (3) QSI(QESCADENA(G13)) \* QSI(QENT(1000(D13+0.0005))=QENT(1000(D815)) \* QSI(QENT(1000(D813))=QENT(1000(K13);G13+U14;QSI(QENT(1000(D813))=QENT(1000(K13);G13-U14) \* )))
- (4) QSI(QESCADENA(G13)) \* QSI(QENT(1000(D813))=QENT(1000(K13)) \* QD d) dmax \* QSI(QENT(1000(D813))=QENT(1000(K13)) \* "TERMINADO"; "EN PROCESO"))
- (5) QSI(QESCADENA(G14)) \* QSI(QENT(1000(G14+0.0005))=QENT(1000(D815)) \* "INSUFICIENTE" \* QSI(G14) D814 \* QD d) dmax \* QSI(QENT(1000(D813))=QENT(1000(K14)) \* "TERMINADO"; "EN PROCESO")) (6) QSI(QESCADENA(G13)) \* (M13) S1513)
- (7) QSI(QESCADENA(G13)) \* (G13^2(D816)+(G13) D815)
- (8) QSI(QESCADENA(G13)) \* (D815+2(QRCUAD((G13) D816)^2)+(G13^2)) (9) QSI(QESCADENA(G13)) \* (M13) O13)
- (10) QSI(QESCADENA(G13)) \* ((G13^2/2) + (D823^2)/(2)) / D822
- (11) QSI(QENT(1000(D813))=QENT(1000(K13);D815-G13;G13) (12) QSI(QESCADENA(G14)) \* (U13/2) (13) QACTUAL

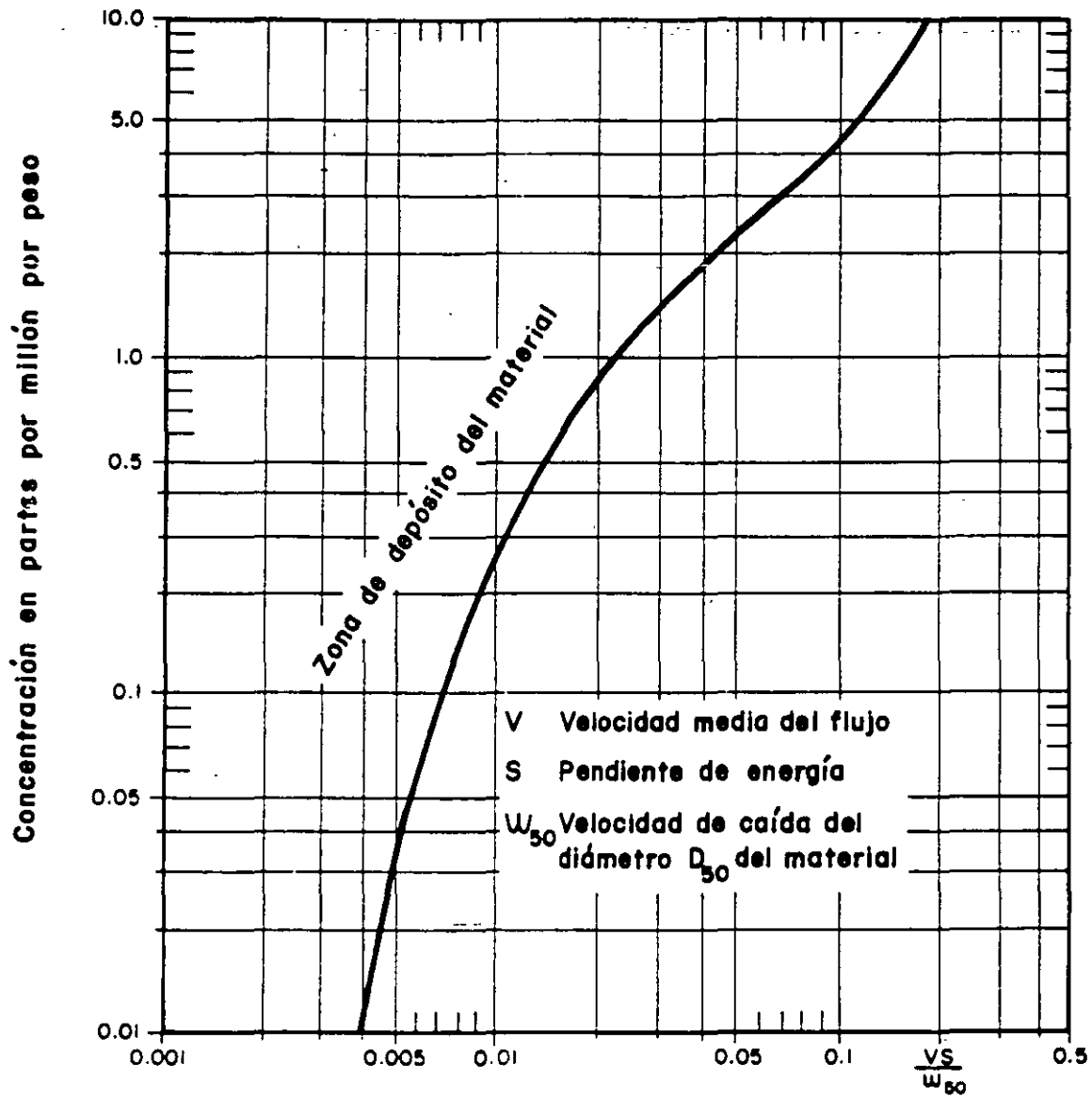


FIG. 12 VELOCIDAD MINIMA PERMISIBLE EN CANALES

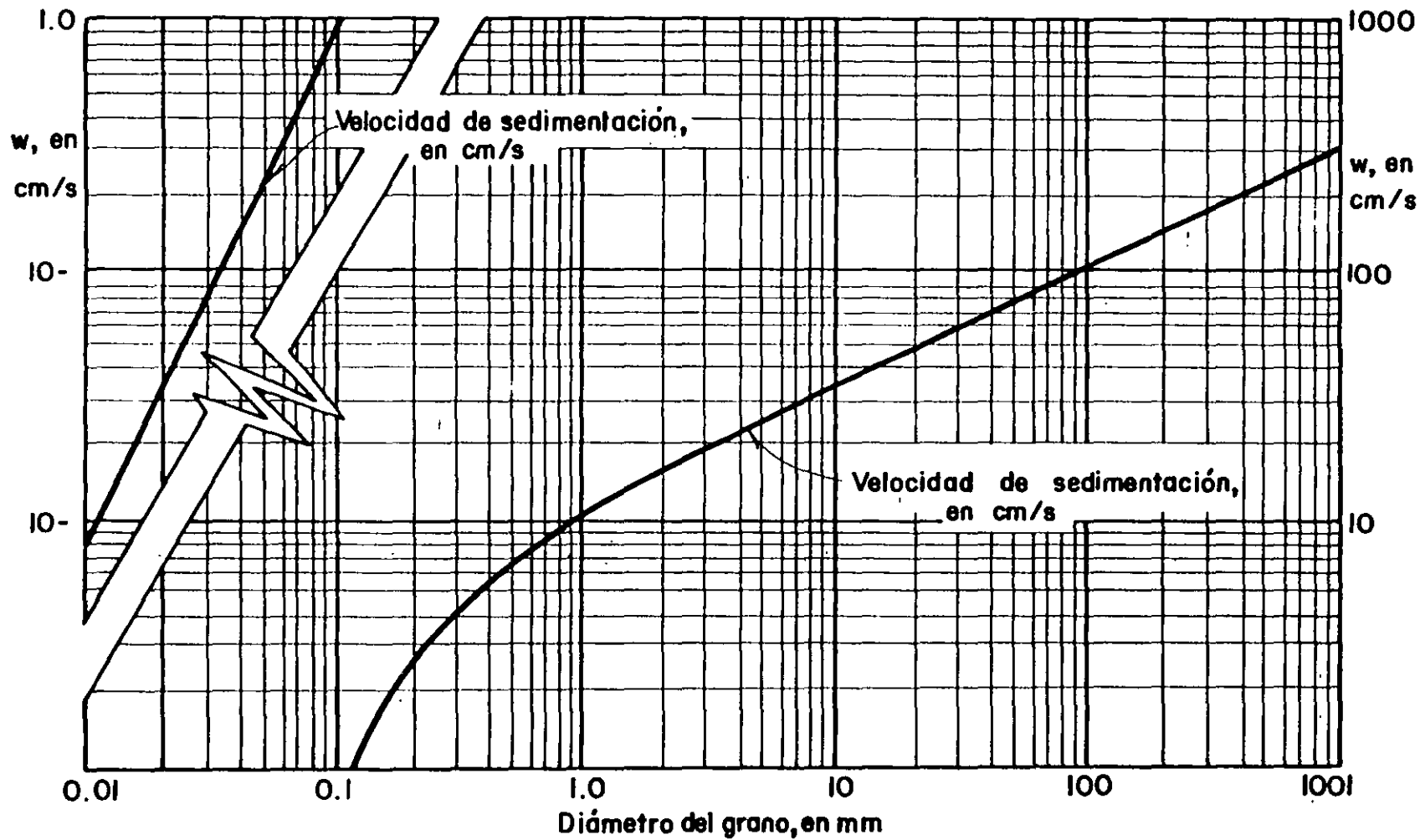


FIG. 13 VELOCIDAD DE CAIDA W, PARA DIFERENTE TAMAÑO DE PARTICULAS DE CUARZO

8/7

Clasificación de suelos según el Departamento de Agricultura de E.E.U.U.

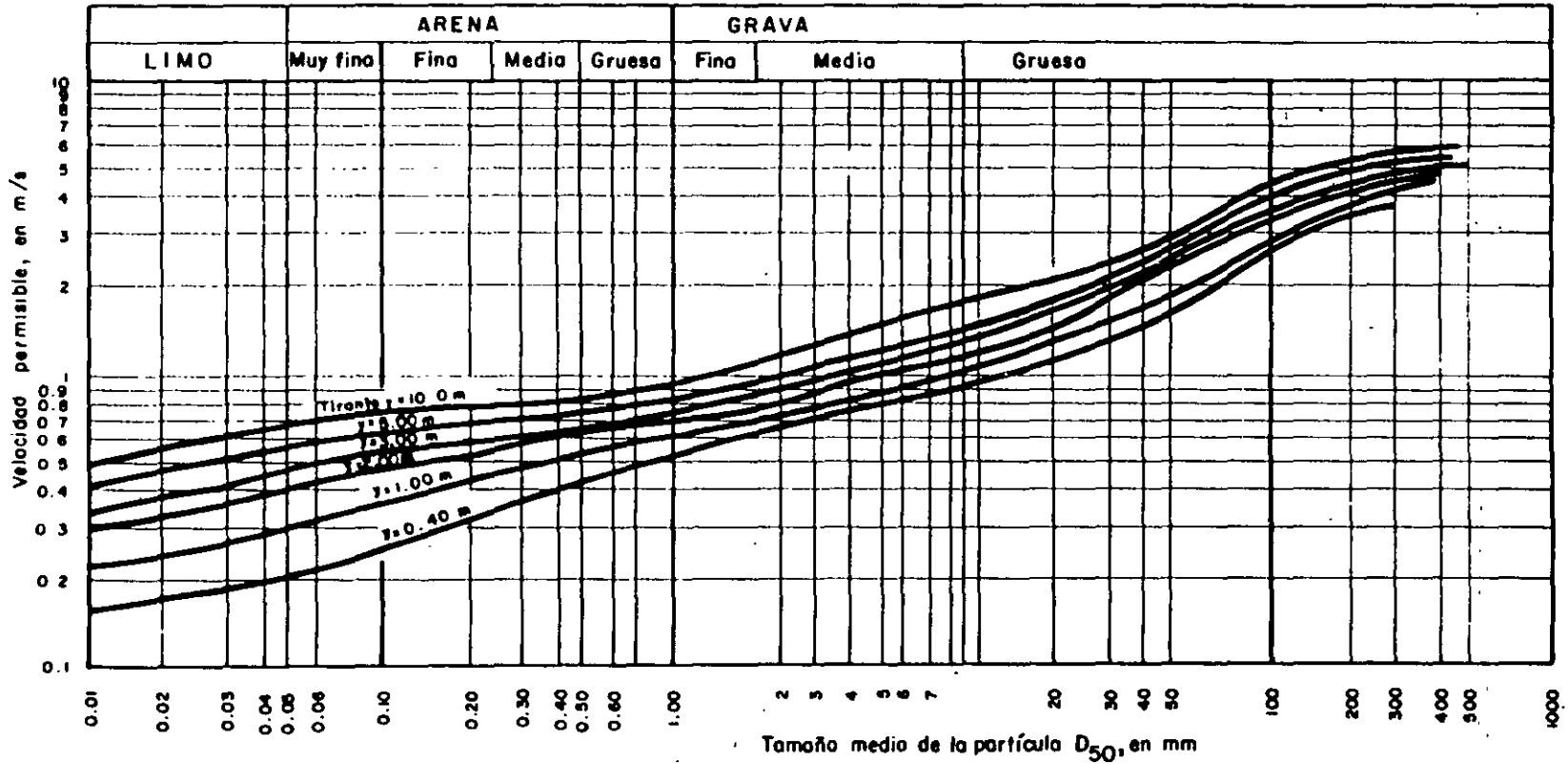
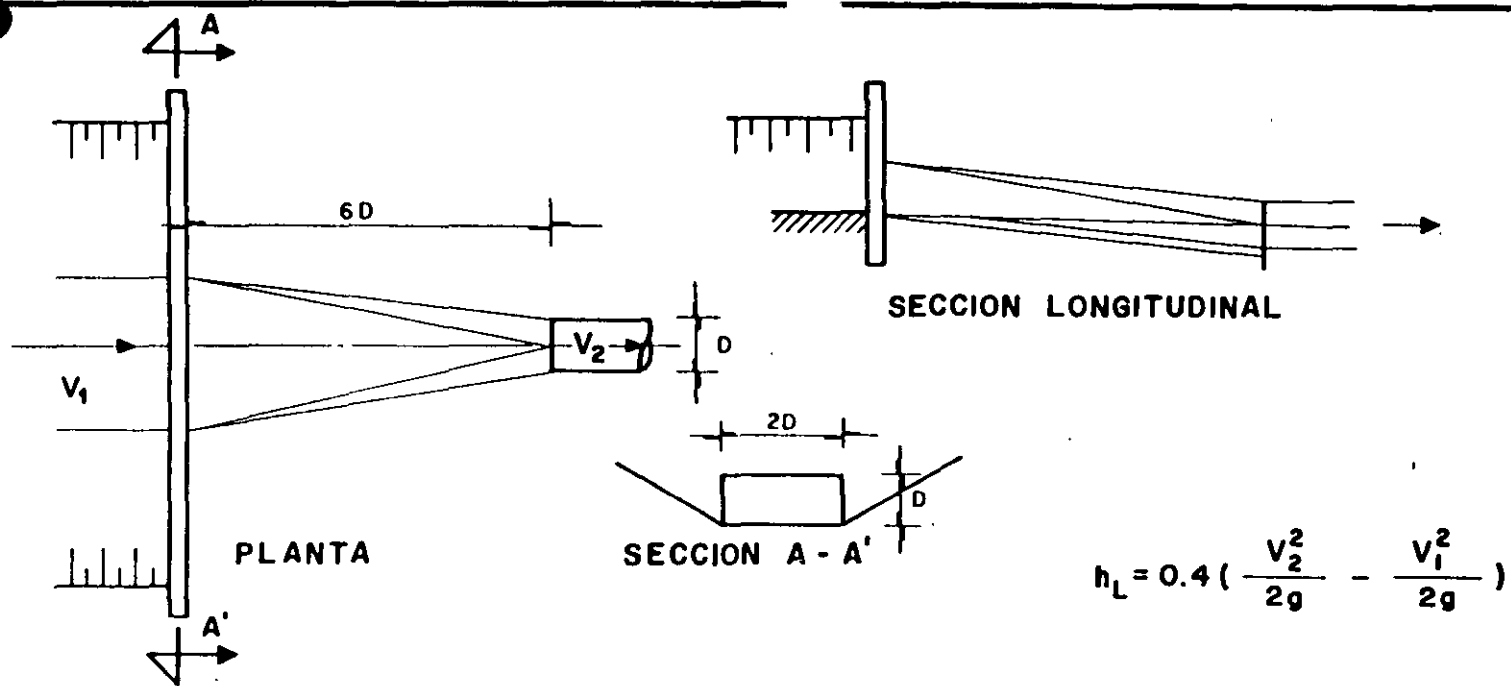
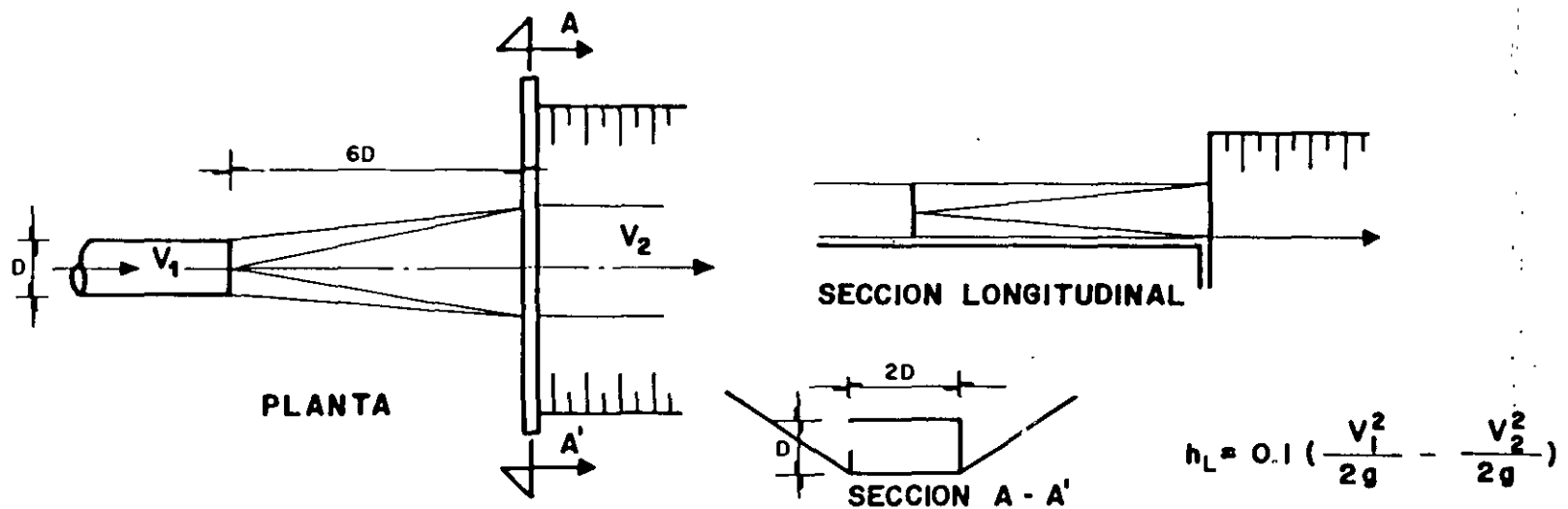


FIG. 14 VELOCIDAD MAXIMA PERMISIBLE EN MATERIALES NO COHESIVOS



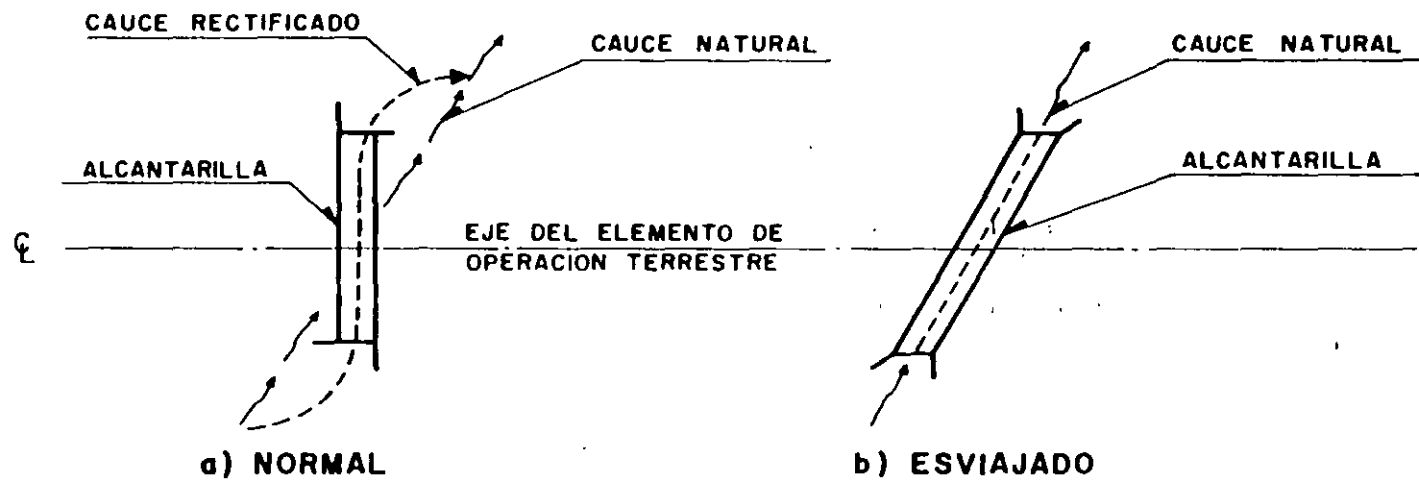
a) Transición de canal trapecial a tubo



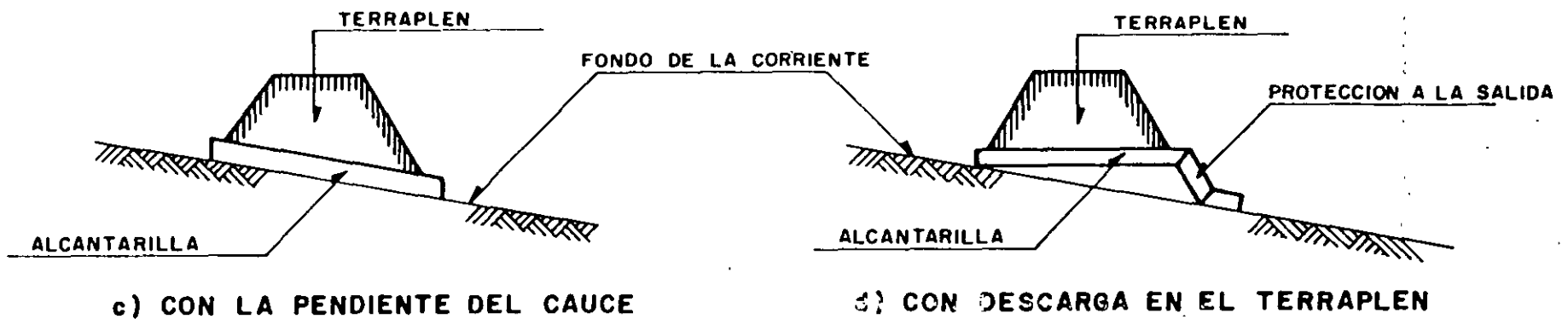
b) Transición de tubo a canal trapecial

$h_L$  Pérdida por transición

FIG. 15 TRANSICIONES EN CANALES PEQUEÑOS



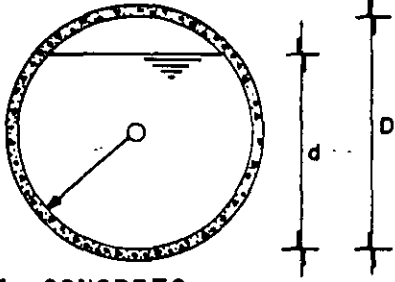
LOCALIZACION DE LA ALCANTARILLA RESPECTO AL EJE DEL ELEMENTO DE OPERACION TERRESTRE



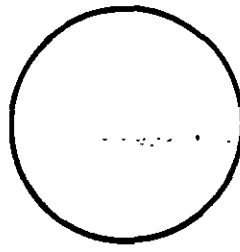
LOCALIZACION DE LA ALCANTARILLA EN RELACION A LA SECCION TRANSVERSAL DEL TERRAPLEN

FIG. 16 LOCALIZACION DEL EJE DE UNA ALCANTARILLA

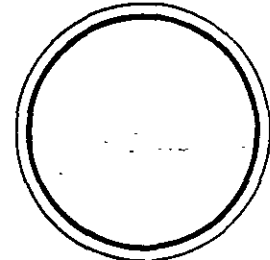
**A. TUBOS**



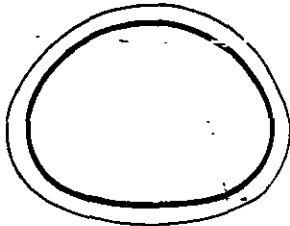
d) DE CONCRETO



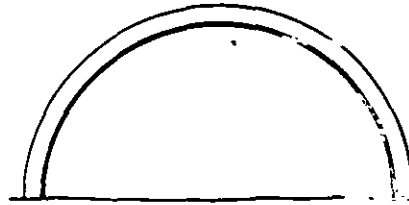
b) DE ACERO



c) DE ACERO CORRUGADO

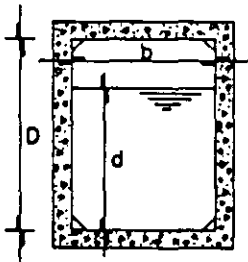


d) TUBO ARCO DE ACERO CORRUGADO

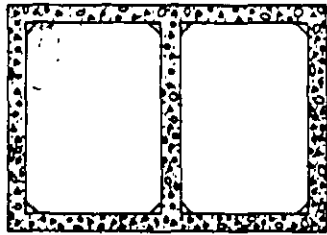


e) ARCO DE ACERO CORRUGADO

**B. CAJONES DE CONCRETO REFORZADO**

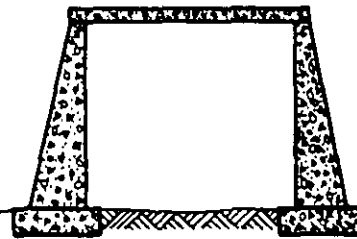


f) SENCILLO

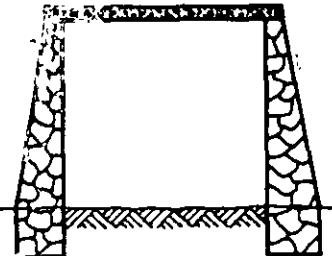


g) DOBLE

**C. LOSAS DE CONCRETO**

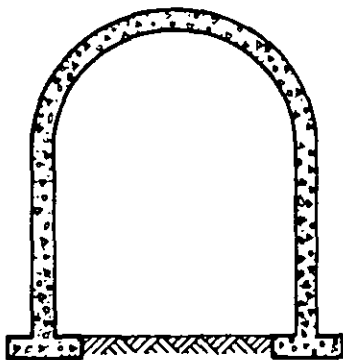


h) SOBRE ESTRIBOS DE CONCRETO

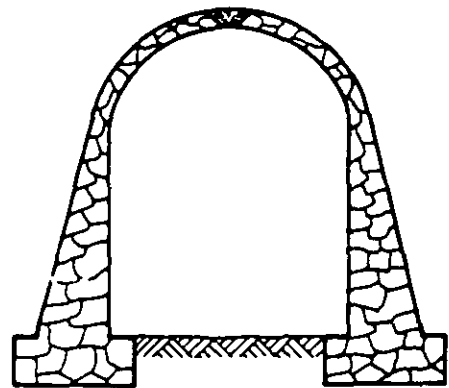


i) SOBRE ESTRIBOS DE MAMPOSTERIA

**D. BOVEDAS**



j) DE CONCRETO



k) DE MAMPOSTERIA

**FIG. 17 TIPOS DE ALCANTARILLAS EMPLEADOS EN MEXICO**

**FIG. 18 HOJA DE CALCULO PARA ALCANTARILLAS  
CON SECCION RECTANGULAR**

ALCANTARILLAS DE SECCION RECTANGULAR  
"ALSECRET"

16-Sep-92

OBRA : \_\_\_\_\_  
CANAL : \_\_\_\_\_

DATOS	CALCULOS							
	TIRANTE	NOTA	GASTO	AREA	PERIM.	RADIO	VEL.	AJUS:
	d		Qc	A	P	RH	V	DE
Qdis = 0.497 m <sup>3</sup> /seg	0.860	EN PROCESO	0.589	0.860	2.720	0.316	0.685	18888
dmax = 0.86	0.430	EN PROCESO	0.239	0.430	1.860	0.231	0.556	18888
D = 1.07	0.645	EN PROCESO	0.409	0.645	2.290	0.282	0.634	18888
b = 1.00	0.753	EN PROCESO	0.498	0.753	2.505	0.300	0.662	18888
S = 0.049	0.699	EN PROCESO	0.453	0.699	2.398	0.291	0.649	18888
EST: 1=	0.726	EN PROCESO	0.476	0.726	2.451	0.296	0.655	18888
ELEV 1=	0.739	EN PROCESO	0.487	0.739	2.478	0.298	0.659	18888
EST: 2=	0.746	EN PROCESO	0.492	0.746	2.492	0.299	0.660	18888
ELEV 2=	0.749	EN PROCESO	0.495	0.749	2.498	0.300	0.661	18888
n = 0.015	0.751	EN PROCESO	0.497	0.751	2.502	0.300	0.662	18888
s = 0.000	0.752	TERMINADO	0.497	0.752	2.503	0.300	0.662	18888

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V  
ALCANTARILLAS DE SECCION RECTANGULAR (13)  
"ALSECRET"

OBRA : \_\_\_\_\_  
CANAL : \_\_\_\_\_

DATOS	CALCULOS							
	TIRANTE	NOTA	GASTO	AREA	PERIM.	RADIO	VEL.	AJUS:
	d		Qc	A	P	RH	V	DE
Qdis = m <sup>3</sup> /seg	(2)	(4)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
dmax =	(3)	(5)						(12)
D =								
b =								
S =								
EST: 1=								
ELEV 1=								
EST: 2=								
ELEV 2=								
n =								
s = (1)								

- (1) =SI(D822=0;" " ;SI(D17<0);(D17/100);SI((D20-D18)=0;0;(D19-D21)/(D20-D18))))
- (2) =SI(D813=0;" " ;SI(D814=";" " ;SI(D815=0;" " ;SI(D822=0;" " ;D814))))
- (3) =SI(DESCADENA(G13);" " ;SI(ENT(100/(G13+0.0005))=ENT(100/D815);" " ;SI(ENT(1000/D813);ENT(1000\*(12)/G13+U14;SI(ENT(1000/D813);ENT(1000\*(13);G13-U14;" " ))))
- (4) =SI(DESCADENA(G13);" " ;SI(ENT(1000/D813))>ENT(1000\*(13));"OJD d'dmax";SI(ENT(1000/D813)=ENT(1000\*(13));"TERMINADO";"EN PROCESO"))
- (5) =SI(DESCADENA(G14);" " ;SI(ENT(100/(G14+0.0005))=ENT(100/D815);"INSUFICIENTE";SI(G14/D814="OJD d'dmax";SI(ENT(1000/D813);ENT(1000\*(14);"TERMINADO";"EN PROCESO")))) (6) =SI(DESCADENA(G13);" " ;M13\*(513)
- (7) =SI(DESCADENA(G13);" " ;G13/D814 (8) =SI(DESCADENA(G13);" " ;D816\*(21613))
- (9) =SI(DESCADENA(G13);" " ;M13/013 (10) =SI(DESCADENA(G13);" " ;((G13)/(2/3))+(D823)/(1/2))/D822)
- (11) =SI(ENT(1000/D813);ENT(1000\*(13);G15-G13;G13) (12) =SI(DESCADENA(G14);" " ;U13/2) (13) =ACTUAL



**FIG. 19 HOJA DE CALCULO PARA ALCANTARILLAS  
CON SECCION CIRCULAR**

ALCANTARILLAS DE SECCION CIRCULAR  
"ALSECCIR"

13-Sep-92

OBRA : \_\_\_\_\_  
CANAL : \_\_\_\_\_

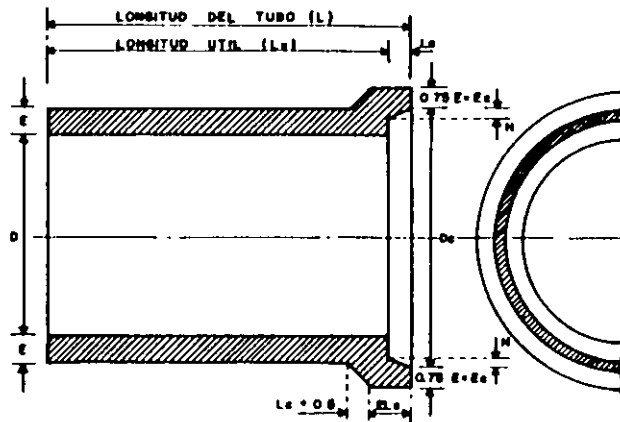
DATOS	CALCULOS							
	TIRANTE	NOTA	GASTO	AREA	PERIM.	RADIO	VEL.	AJUST.
	d		Qc	A	P	RM	V	DE TIRAN
Qd1s = 0.497 m3/seg	0.860	EN PROCESO	0.541	0.775	2.379	0.326	0.698	0.000
dmax = 0.86 m	0.430	EN PROCESO	0.187	0.338	1.469	0.230	0.554	0.000
D = 1.07 m	0.645	EN PROCESO	0.373	0.566	1.902	0.298	0.658	0.000
r = 0.535 m	0.753	EN PROCESO	0.464	0.676	2.129	0.317	0.687	0.000
S = 0.049	0.806	EN PROCESO	0.505	0.727	2.250	0.323	0.695	0.000
EST: 1=	0.779	EN PROCESO	0.485	0.702	2.188	0.321	0.691	0.000
ELEV 1=	0.793	EN PROCESO	0.495	0.714	2.219	0.322	0.693	0.000
EST: 2=	0.800	EN PROCESO	0.500	0.721	2.234	0.323	0.694	0.000
ELEV 2=	0.796	TERMINADO	0.498	0.718	2.226	0.322	0.694	0.000
n = 0.015								
α = 0.000								

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V  
ALCANTARILLAS DE SECCION CIRCULAR (14)

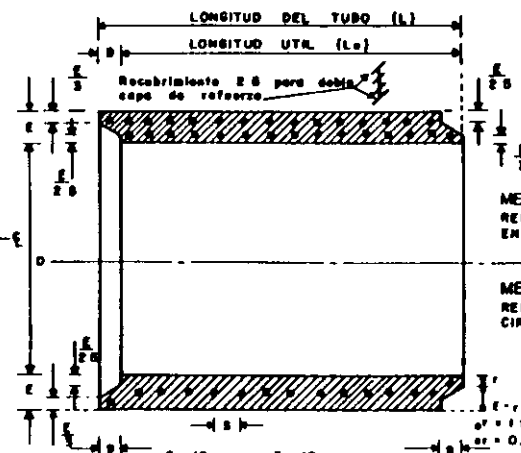
OBRA : \_\_\_\_\_  
CANAL : \_\_\_\_\_

DATOS	CALCULOS							
	TIRANTE	NOTA	GASTO	AREA	PERIM.	RADIO	VEL.	AJUST.
	d		Qc	A	P	RM	V	DE TIRAN
Qd1s = m3/seg	(3)	(5)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
dmax = m	(4)	(6)						(13)
D = m								
r = (1) m								
S =								
EST: 1=								
ELEV 1=								
EST: 2=								
ELEV 2=								
n =								
α = (2)								

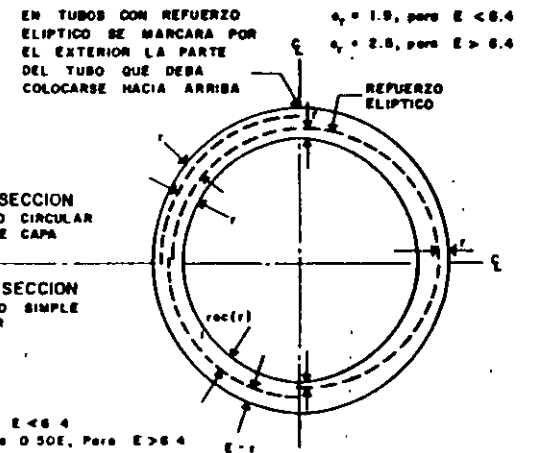
- (1) 2SI(D015=0;" "D015/2)
- (2) 2SI(D022=0;" "2SI(D017<0;(D17/100);2SI((D20-D18)=0;0;(D19-D21)/(D20-D18))))
- (3) 2SI(D013=0;" "2SI(D014=0;" "2SI(D015=0;" "2SI(D022=0;" "D014))))
- (4) 2SI(DESCADENA(613);" "2SI(2ENT(100+(613+0.0005)=2ENT(100+D015);" "2SI(2ENT(1000+D013);2ENT(1000+K13);613+U14;2SI(2ENT(1000+D013);2ENT(1000+K13);613-U14;" "))))
- (5) 2SI(DESCADENA(613);" "2SI(2ENT(1000+D013);2ENT(1000+K13);"DJD d>dmax;"2SI(2ENT(1000+D013);2ENT(1000+K13);"TERMINADO";"EN PROCESO")))
- (6) 2SI(DESCADENA(614);" "2SI(2ENT(100+(613+0.0005)=2ENT(100+D015);"INSUFICIENTE;"2SI(614/D014;"DJD d>dmax;"2SI(2ENT(1000+D013);2ENT(1000+K14);"TERMINADO";"EN PROCESO")))
- (7) 2SI(DESCADENA(613);" "M13+613)
- (8) 2SI(DESCADENA(613);" "1+((D016^2)+ASEN((613-D016)/(D016)+((613-D016)\*RCUAD((D016^2)-((613-D016)^2)))/((D016^2)/2))
- (9) 2SI(DESCADENA(613);" "1+(D016+PI\*(2180+167\*ASEN((613-D016)/(D016))))
- (10) 2SI(DESCADENA(613);" "M13/D13)
- (11) 2SI(DESCADENA(613);" "1+(013\*(2/3)+((D023\*(1/2))/D022))
- (12) 2SI(2ENT(1000+D013);2ENT(1000+K13);D015-613;613)
- (13) 2SI(DESCADENA(614);" "U13/2)
- (14) 2ACTUAL



TUBOS TIPO I



TUBOS TIPO II



EN TUBOS CON REFUERZO ELIPTICO SE MARCARA POR EL EXTERIOR LA PARTE DEL TUBO QUE DEBA COLOCARSE HACIA ARRIBA

$\alpha_1 = 1.9$ , para  $E \leq 6.4$   
 $\alpha_1 = 2.5$ , para  $E > 6.4$

$\alpha = 1.9$  para  $E \leq 6.4$   
 $\alpha = 0.35 E + 0.50 E$ , Para  $E > 6.4$

TUBOS SIN REFUERZO TIPO I CON CAMPANA

DIAMETRO INTERIOR D		ESPESOR DE PARED E, cm	DIAMETRO INTERIOR DE LA BOCA DE LA CAMPANA Dc	PROFUNDIDAD DE LA CAMPANA Lc	CONEXION DE LA ANCHA DE LA CAMPANA M-Lc	ESPESOR MINIMO DE LA CAMPANA (s)
NOMINAL	REAL					
10	10.2	1.4	18.2	5.9	1:20	0.75 E PARA TODOS LOS TAMAÑOS
15	15.2	1.6	21.0	5.1	1:20	
20	20.3	1.9	27.3	5.7	1:20	
25	25.4	2.2	33.0	6.4	1:20	
30	30.5	2.5	38.7	6.4	1:20	
36	36.1	3.2	47.5	6.4	1:20	
45	45.7	3.8	56.5	7.0	1:20	
60	61.0	5.4	74.9	7.6	1:20	

(a) Esta medida se tomará a 6 mm del extremo de la campana.  
 (b) Los datos de acero que pueden interpolarse entre los indicados, para otros valores de diámetros y espesor de pared de acuerdo a los cuadros O04-II y O04-O de las Normas del Libro 4

TUBOS CON REFUERZO TIPO II

DIAMETRO INTERIOR D		REFUERZO EN CENTIMETROS CUADRADOS POR METRO LINEAL DE PARED DEL TUBO (b)				
NOMINAL	REAL	ESPESOR DE PARED E, cm	CONCRETO DE f'c = 250 kg/cm <sup>2</sup>		REFUERZO ELIPTICO EN TUBOS CIRCULARES cm <sup>2</sup> /m	
			ARMADO INTERIOR cm <sup>2</sup> /m	ARMADO EXTERIOR cm <sup>2</sup> /m		
30	30.5	1.4	1.6	---	---	
36	36.1	1.7	2.3	---	---	
45	45.7	2.4	3.3	---	2.6	
53	53.3	3.0	4.7	---	4.0	
60	61.0	3.6	6.3	---	5.4	
69	68.6	4.3	7.2	---	5.8	
75	75.2	5.0	8.2	---	6.5	
84	83.8	5.6	9.3	4.7	7.0	
90	91.4	6.2	10.3	5.1	7.7	
108	108.7	7.4	11.4	6.1	8.1	
122	121.9	8.2	12.7	7.5	11.0	
137	137.2	9.0	14.0	8.6	12.8	
CONCRETO DE f'c = 350 kg/cm <sup>2</sup>						
150	152.4	10.2	15.7	10.5	15.4	
168	167.6	11.5	16.1	12.1	17.9	
183	182.9	12.8	16.4	14.0	20.5	

El refuerzo simple en tubos circulares se utilizará oportunamente en lugar del refuerzo circular

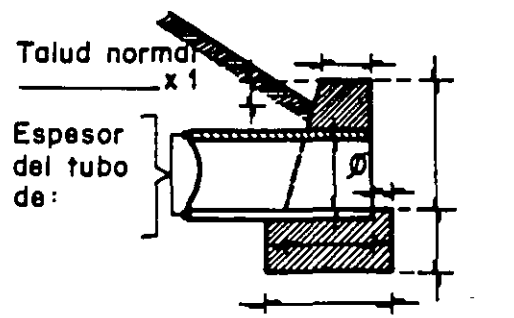
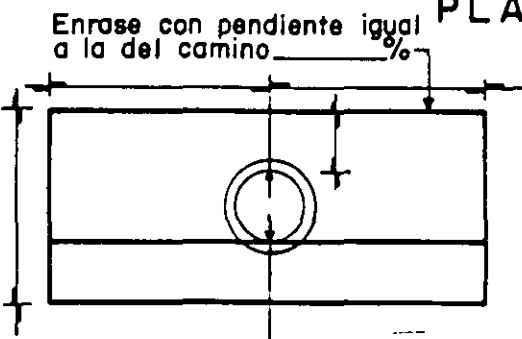
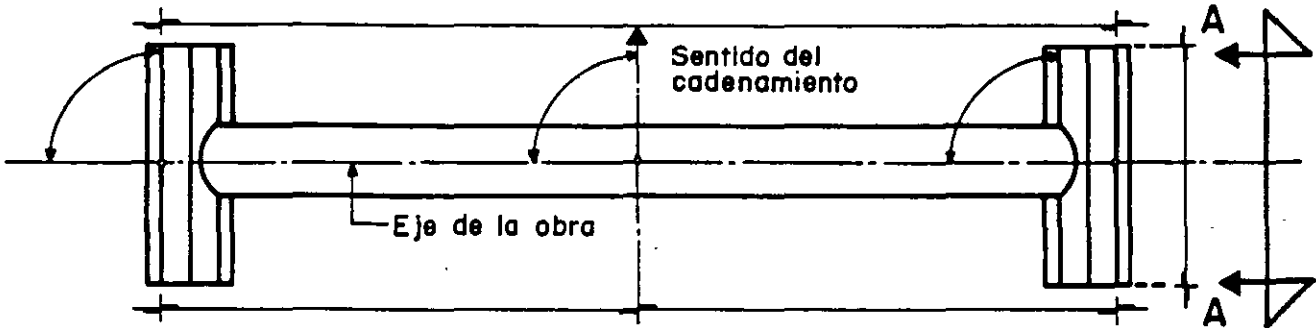
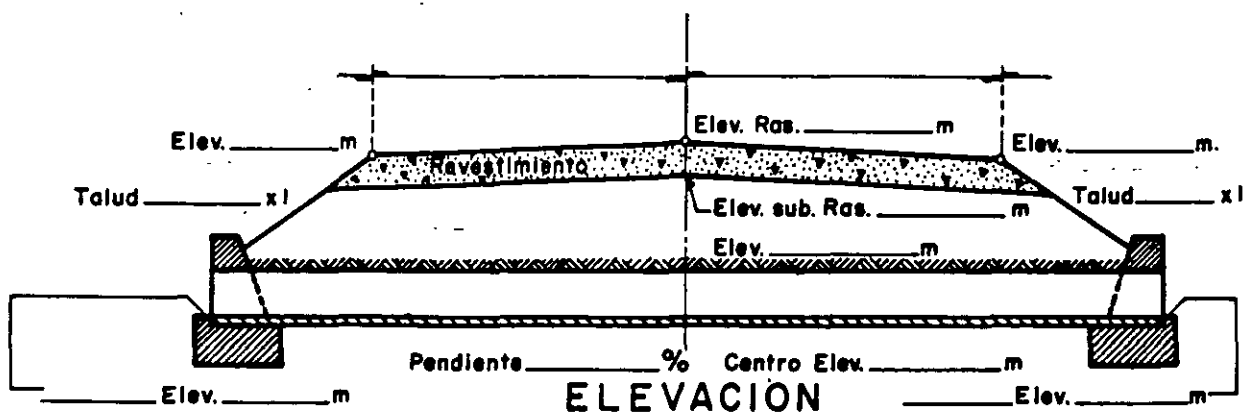
NOTAS:  
 Las características de los materiales, la fabricación y los detalles de recubrimiento y colocación del acero de refuerzo, en su caso, para la construcción de tubos de concreto simple y reforzado para alcantarillas, deberán satisfacer los requisitos indicados en el Capítulo O04 del Libro 4 Normas de Calidad de los Materiales de la SCT.  
 Será condición indispensable para la aceptación de un lote de tubos que las muestras seleccionadas para ensayo pasen la prueba de carga de los tres apoyos, de acuerdo con lo establecido en la cláusula O1.02.004-D.08 del Libro 4 de Normas de Calidad.  
 El acero de refuerzo será de alta resistencia, con límite elástico de 4200 kg/cm<sup>2</sup>, como mínimo.  
 Se dispondrán varillas longitudinales, adecuadamente distribuidas, para mantener la forma y correcta posición del acero de refuerzo, dentro del molde.  
 Los alcantarillas se dimensionarán de acuerdo con el estudio hidráulico y con la resistencia requerida para cada obra para su instalación como se prepararán tubos con diámetros menores de 75 cm. Sobre los tubos se deberá colocar un sistema iterativo que tenga un espesor mínimo de 60 cm, para caminos y viaductos, y 100 cm para elementos de operación terrestre.  
 Los tubos con diámetros menores de 75 cm, se emplearán únicamente para obras auxiliares.  
 Las dimensiones están en centímetros, excepto las que se indican en otra unidad.

AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES

**TUBOS DE CONCRETO SIMPLE Y REFORZADO PARA ALCANTARILLAS**

FIG. 20 TUBOS DE CONCRETO SIMPLE Y REFORZADO

Nivel Izq. a _____ m	Nivel Izq. a _____ m	Nivel Der. a _____ m	Nivel Der. a _____ m
Elev. _____ m	Elev. _____ m	Elev. _____ m	Elev. _____ m



**NOTAS:**  
**LOCALIZACION:**  
 Sobre trazo hecho en \_\_\_\_\_ por \_\_\_\_\_  
**CARGAS:**  
 Carga viva tipo \_\_\_\_\_  
**TUBOS:**  
 Serán de \_\_\_\_\_  
**MUROS:**  
 Serán de \_\_\_\_\_ El desplante se hará en \_\_\_\_\_ capaz de una fatiga de trabajo de \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>2</sup>; para ello se podrá variar su elevación a juicio del Ing. Residente hasta en ± \_\_\_\_\_ cm, modificando únicamente el espesor del cemento. Los coronamientos llevarán un chapeo de \_\_\_\_\_ cm de espesor con mortero de cemento 1:5

**DIMENSIONES:**  
 En centímetros.- Elevaciones en metros referidos al B.N. \_\_\_\_\_ sobre \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_ m \_\_\_\_\_ de Estación \_\_\_\_\_ elevación \_\_\_\_\_ m  
**ESPECIFICACIONES:**  
 Rigen las de la S.C.T. actuales  
**ESPECIALES:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**FIG. 21 PLANO TIPO DE ALCANTARILLA DE TUBO DE CONCRETO**

MATERIALES		
CONCEPTO	CANTIDAD	
TUBO DE _____ m DIAMETRO	_____	m
TRAMOS DE _____ m	_____	
Excavación Clasif. ( _____ )	_____	m <sup>3</sup>
MAMPOSTERIA DE _____ CLASE	_____	
CON MORTERO DE _____	_____	m <sup>3</sup>

<b>A. S. A.</b>
SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION Y CONSERVACION
AEROPUERTO : _____
ELEMENTO : _____
UBICACION : _____
<b>ALCANTARILLA DE TUBO DE _____ DE _____ m Ø</b>

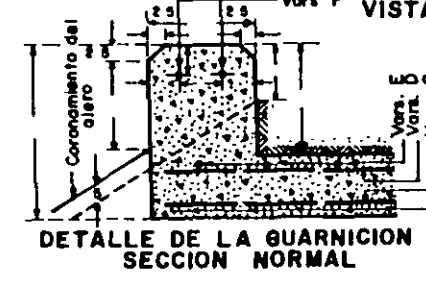
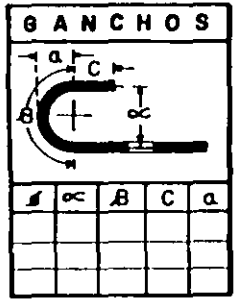
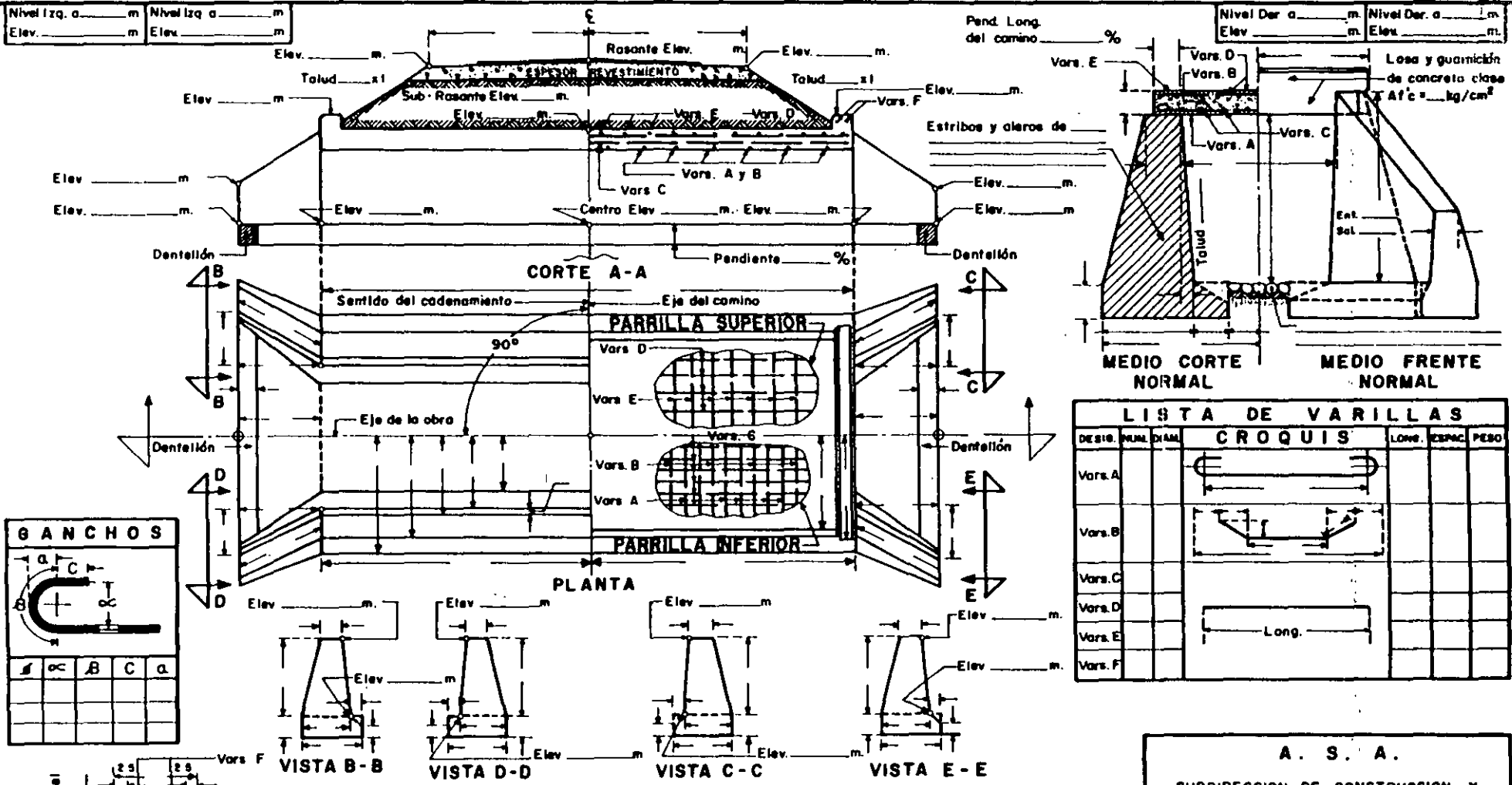


FIG. 22 PLANO TIPO DE ALCANTARILLA DE LOSA

**NOTAS:**  
 LOCALIZACION: Sobre trazo hecho en \_\_\_\_\_ por \_\_\_\_\_  
 CARGAS: Carga viva tipo \_\_\_\_\_  
 LOSA: Será de concreto de  $f'c =$  \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>2</sup>. Las varillas "A", "B" y "E" se colocarán paralelas al eje del elemento de operación terrestre, y las varillas "C" y "D" paralelas al eje de la obra. La separación indicada para las varillas "A", "B" y "E" se medirá según el eje de la obra, y para las varillas "C" y "D" según el eje del elemento de operación terrestre. El recubrimiento será: superior \_\_\_\_\_ cm, inferior \_\_\_\_\_ cm.  
 ESTRIBOS Y ALEROS: Serán de \_\_\_\_\_  
 El recorte mínimo de los aleros será el indicado, en caso de que se encuentre en terreno natural en una altura mayor, será en este punto. Queda a juicio del Ing. Residente la altura definitiva del corte de los aleros y la protección del talud de los terracerías, ya sea prolongando los aleros con un muro seco o protegiendo el derrame en su extremo con un zampeado. El desmonte se hará en \_\_\_\_\_ capas de un espesor unitario de trabajo de \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>2</sup>, para ello se podrá variar su elevación su elevación a juicio del Ing. Residente hasta en \_\_\_\_\_ cm, conservándose los taludes del cuerpo y el vesio y paralelo del asociado.  
 DIMENSIONES: En centímetros. - Elevaciones referidas al B.N. \_\_\_\_\_ sobre \_\_\_\_\_ de Est. Elev. \_\_\_\_\_  
 ESPECIFICACIONES: Rigor las de la S. C. T. ESPECIALES.

MATERIALES		
CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD
Mampostería de 3a. clase con mortero de cemento 1:5		m <sup>3</sup>
Concreto de _____ kg/cm <sup>2</sup>		m <sup>3</sup>
Acero de refuerzo		kg.
Zampeado con mortero de _____		m <sup>3</sup>
Excavación total (aprox.)		m <sup>3</sup>
Clasificación (_____)		

LISTA DE VARILLAS						
DESIG.	NUM.	DIAM.	CROQUIS	LONG.	ESPAC.	PESO
Vars. A						
Vars. B						
Vars. C						
Vars. D						
Vars. E				Long.		
Vars. F						

**A. S. A.**

SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION Y CONSERVACION

AEROPUERTO: \_\_\_\_\_

ELEMENTO: \_\_\_\_\_

UBICACION: \_\_\_\_\_

**ALCANTARILLA DE LOSA**

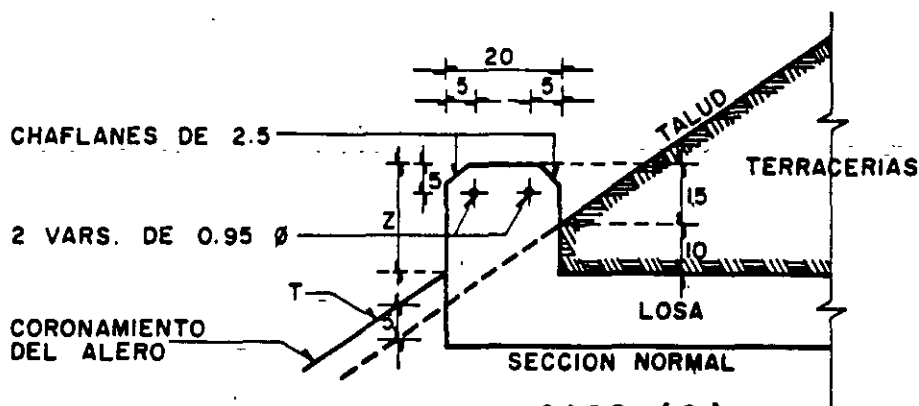
DE \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ m

EN \_\_\_\_\_

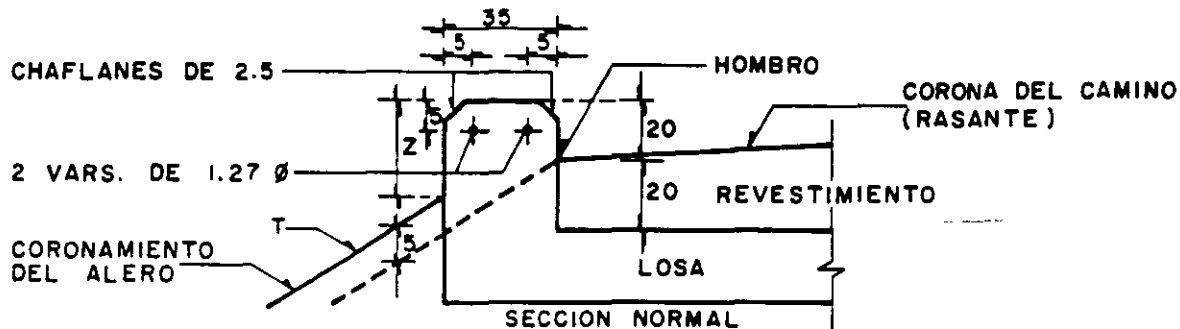
GERENTE DE PROYECTO	SUB-GERENTE DE PROYECTO
PROYECTO	PLANO No _____
FECHA	

MODIFICACIONES	
Al proyecto	
En la construcción	

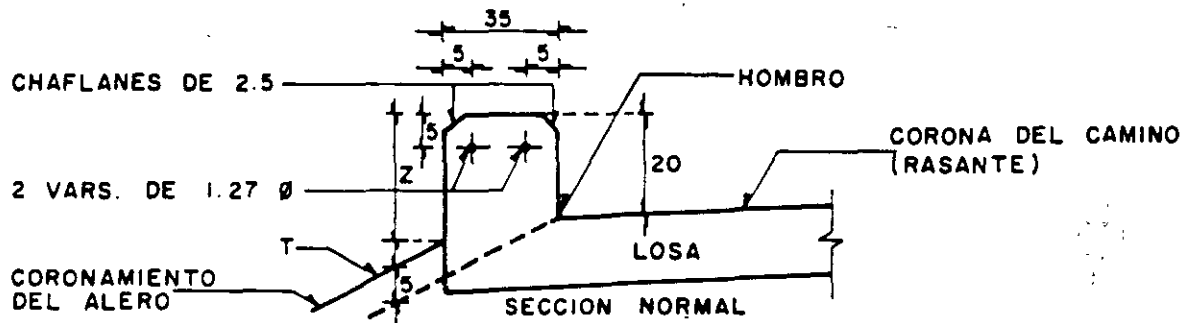
**CASO (1)  
LOSAS CON COLCHON**



**CASO (2)  
LOSAS EN SUB-RASANTE**



**CASO (3)  
LOSAS EN RASANTE**



TALUD	VALORES DE Z		
	Caso (1)	Caso (2)	Caso (3)
	cm	cm	cm
1.50 x 1	23	38	38
2.00 x 1	20	33	33
3.00 x 1	17	27	26
Volumen m <sup>3</sup> /m.	0.049	0.139	0.069

NOTAS: Las guarniciones se construirán de la misma clase de concreto usado en la losa.- Los volúmenes indicados corresponden a un metro lineal de guarnición.

**A. S. A.**

SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION Y  
CONSERVACION

AEROPUERTO : \_\_\_\_\_

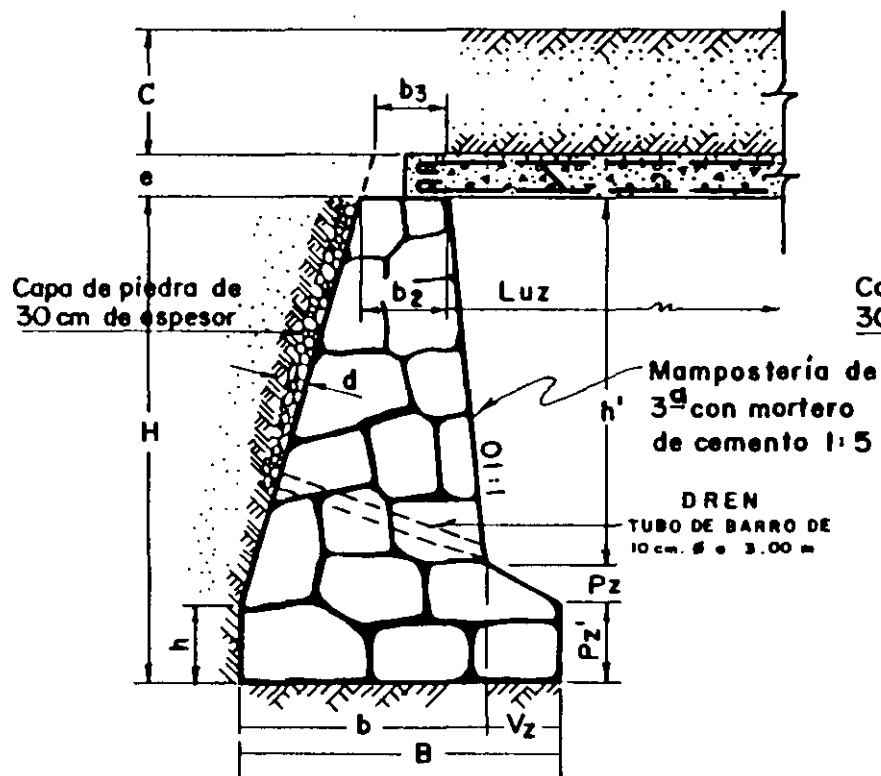
ELEMENTO : \_\_\_\_\_

UBICACION : \_\_\_\_\_

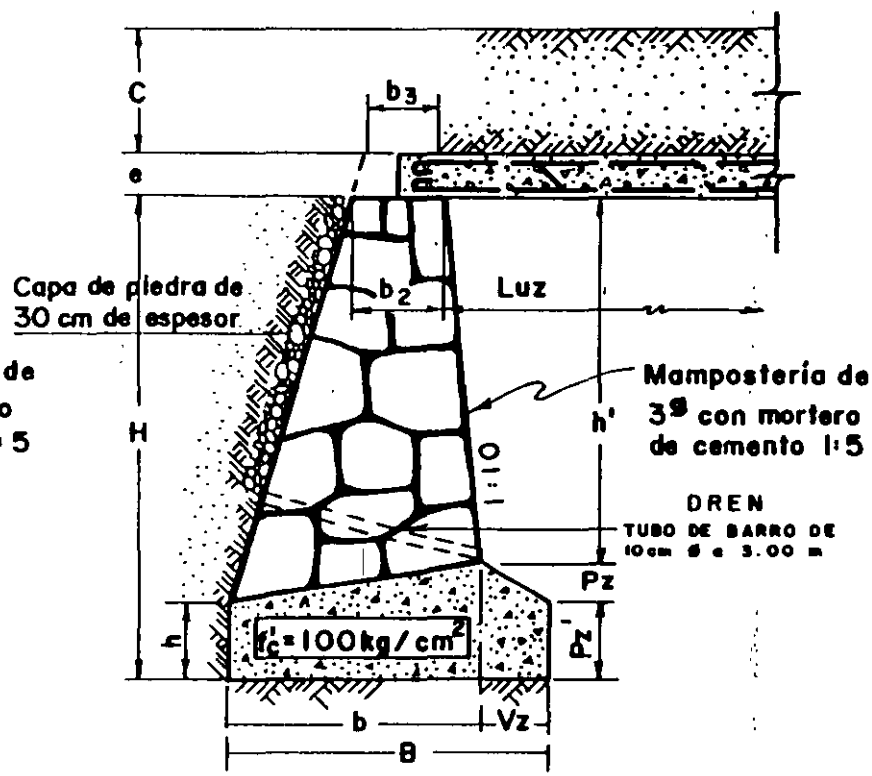
**FIG. 23 PLANO TIPO DE GUARNICIONES  
PARA LOSAS DE CONCRETO**

GUARNICIONES TIPO PARA  
LOSAS DE CONCRETO  
REFORZADO

FIG. 24 PLANO TIPO DE ESTRIBOS DE MAMPOSTERIA PARA LOSAS DE CONCRETO



ESTRIBOS DE MAMPOSTERIA



ESTRIBOS CON MURO DE MAMPOSTERIA Y CIMENTO DE CONCRETO

H = Altura del estribo en m  
 C = Colchon en m  
 e = Espesor de losa en cm  
 f = Esfuerzo unitario de trabajo en el terreno  $\text{Kg/cm}^2$

NOTAS: Esta nomenclatura regiré en el proyecto tipo de estribos de mampostería.- Las dimensiones del estribo, indicadas en las tablas, toman en cuenta el efecto de la C.V. (H 15 - S 12 ó H 20 - S 16) correspondiente al colchón real de que se trate.

MATERIALES: La mampostería será de 3<sup>a</sup> clase con mortero de cemento 1:5.- En estribos mix el concr. es de  $f'_c = 100 \text{ Kg/cm}^2$

A. S. A.

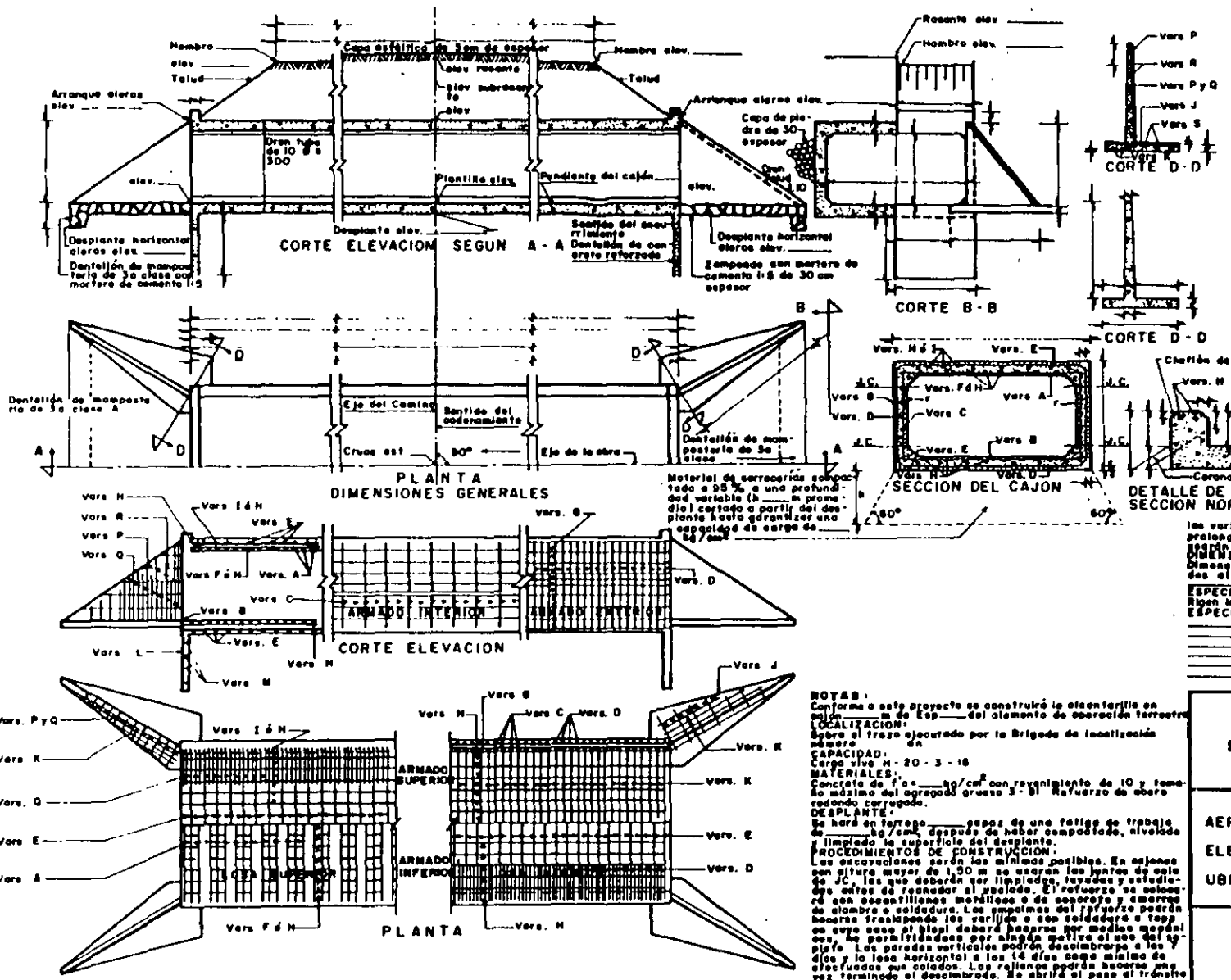
SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION Y CONSERVACION

AEROPUERTO: \_\_\_\_\_

ELEMENTO : \_\_\_\_\_

UBICACION : \_\_\_\_\_

ESTRIBOS DE MAMPOSTERIA PARA LOSAS DE CONCRETO NOME CLATURA P OY LOS TIPO



CANTIDADES DE OBRA			
ITEM	UNIDAD	QUANTIDAD	VALOR
VARA A			
VARA B			
VARA C			
VARA D			
VARA E			
VARA F			
VARA G			
VARA H			
VARA I			
VARA J			
VARA K			
VARA L			
VARA M			
VARA N			
VARA O			
VARA P			
VARA Q			
VARA R			
VARA S			
VARA T			
VARA U			
VARA V			
VARA W			
VARA X			
VARA Y			
VARA Z			

Las varillas "A" entraron al trazo. Las varillas "B" se prolongaron 30 cm dentro del alero. Las varillas "P" y "Q" se prolongaron 30 cm dentro del alero. Las varillas "R" y "S" se prolongaron 30 cm dentro del alero. Las varillas "T" y "U" se prolongaron 30 cm dentro del alero. Las varillas "V" y "W" se prolongaron 30 cm dentro del alero. Las varillas "X" y "Y" se prolongaron 30 cm dentro del alero. Las varillas "Z" se prolongaron 30 cm dentro del alero.

**NOTAS:**  
 Conforme a este proyecto se construirá la alcantarilla en cajón de 3.00 m de esp. del elemento de operación terrestre.  
**LOCALIZACIÓN:**  
 Sobre el trazo alineado por la Brigada de localización número 48.  
**CAPACIDAD:**  
 Carga viva H-20-3-18.  
**MATERIALES:**  
 Concreto de f'c = 30 kg/cm² con asentamiento de 10 y menor máximo del agregado grueso 5-51. Refuerzo de obra redondo corrugado.  
**DESPLANTE:**  
 Se hará en terrazo en capas de una faja de trabajo de 1.00 m de ancho, después de haber compactado, nivelado y limpiado la superficie del desplante.  
**PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION:**  
 Las excavaciones serán las mínimas posibles. En secciones con altura mayor de 1.50 m se usarán las juntas de este de JC, las que deberán ser limpiadas, lavadas y estaladas antes de resaca al yalado. El refuerzo se colocará con escantillones metálicos o de concreto y cerraje de alambre o soldadura. Los empalmes del refuerzo podrán hacerse trepando las varillas o con soldadura o ferrón en cuyo caso el alijo deberá hacerse por medio mecánico. Se permitidos por algún motivo el uso del apilado. Las paredes verticales podrán descimbrarse a los 14 días y la losa horizontal a los 14 días como mínimo de estar ya que coladas. Las juntas podrán hacerse una vez terminado el descimbrado. Se abrirá el paso al tránsito a los 21 días del último colado.  
**CANTIDADES DE OBRA:**  
 Las magnitudes de las varillas incluyen los ganchos pero no los empalmes. Las varillas E podrán ser prolongación de

<b>A. S. A.</b>	
<b>SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION Y CONSERVACION</b>	
<b>AEROPUERTO :</b> _____	
<b>ELEMENTO :</b> _____	
<b>UBICACION :</b> _____	
<b>ESTRUCTURA</b>	
<b>GERENTE DE PROYECTO</b>	<b>SUB-GERENTE DE PROYECTO</b>
<b>PROYECTO</b>	<b>REVISO</b>
<b>FECHA</b>	<b>PLANO No.</b>

FIG. 25 PLANO DE ALCANTARILLAS DE CAJON DE CONCRETO





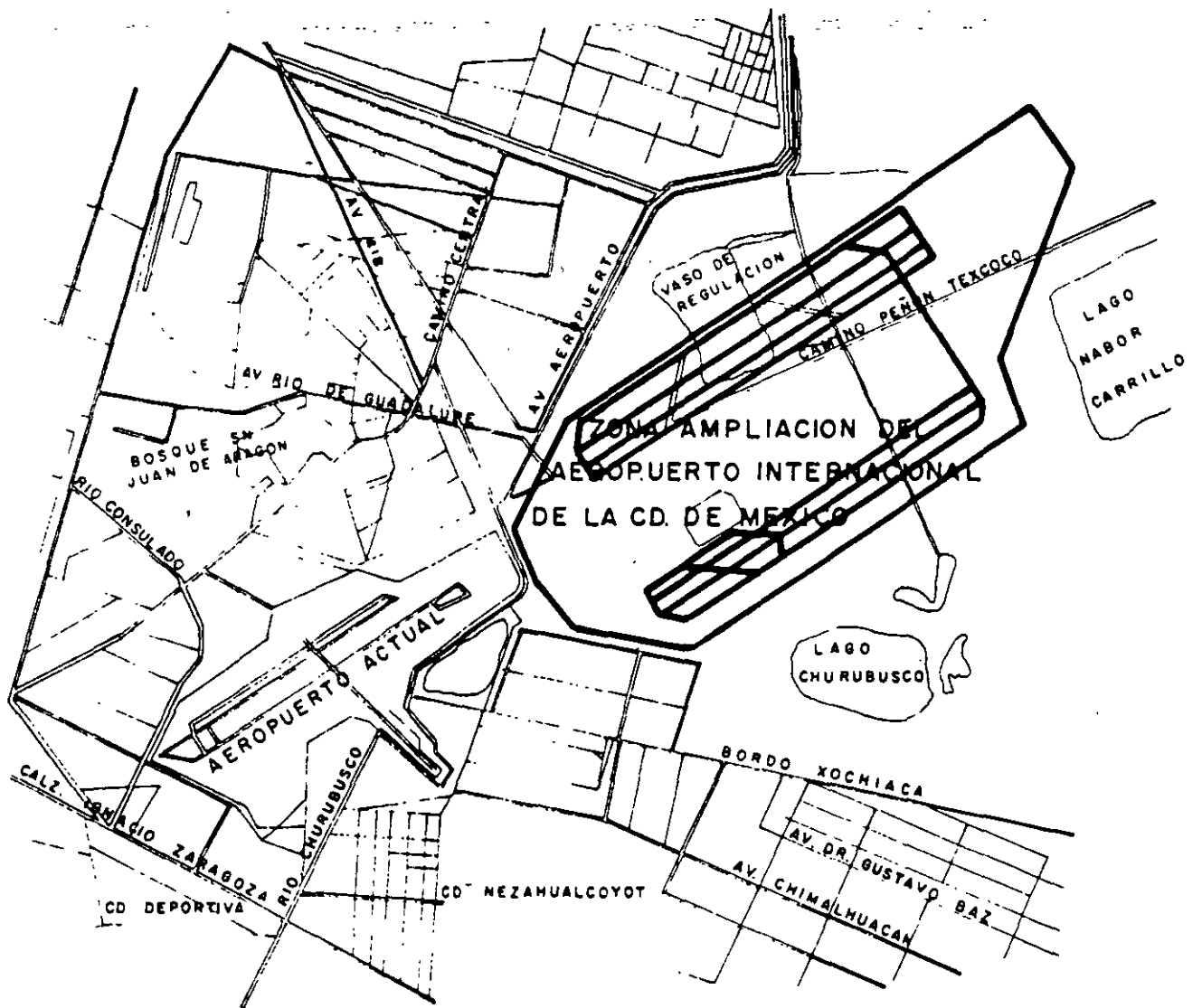
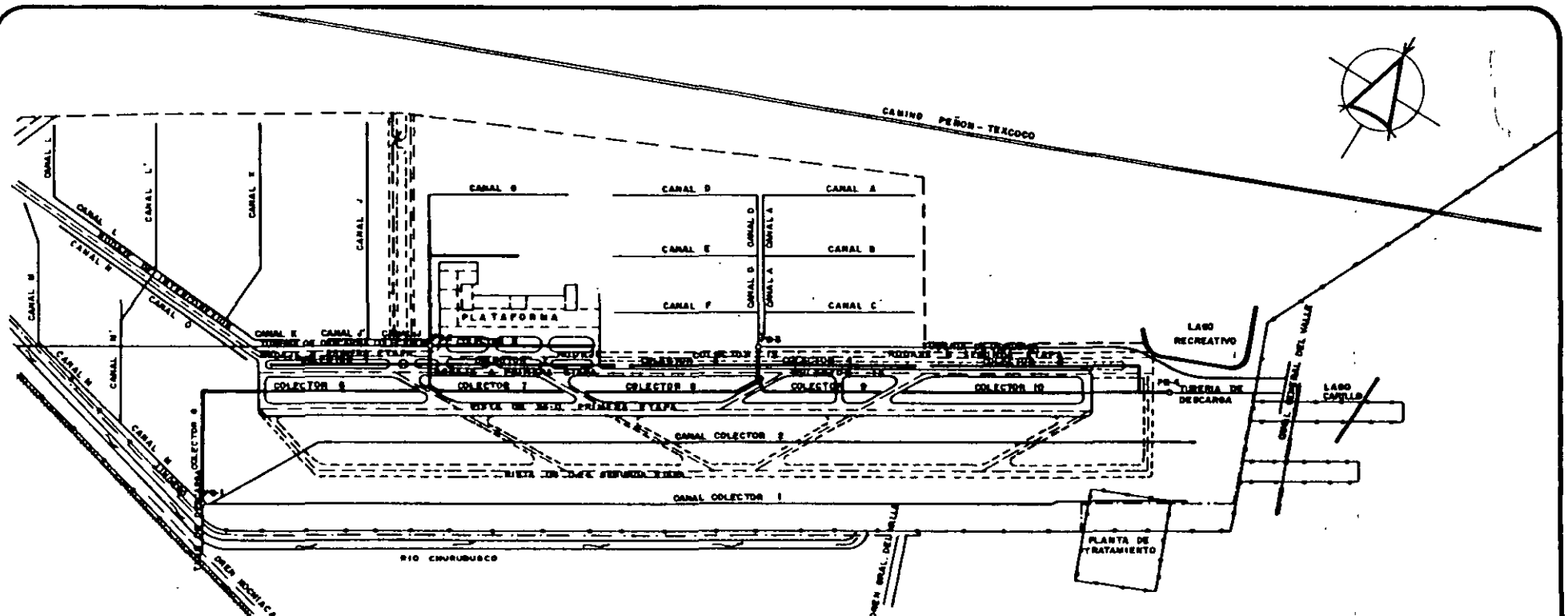


FIG. 27 LOCALIZACION DE LA AMPLIACION DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MEXICO



PLANO GENERAL DEL SISTEMA DE DRENAJE

ANCHO DE ZANJA PARA C/B	
g (m)	b (m)
122	2.30
152	2.70
152	2.70

SISTEMA DE DRENAJE	
CONCEPTO	LONG. TOTAL
Tuberías de descarga	8124 m
Colectores	11439 m
Canales	27248 m

SECCION TIPO DE CANAL



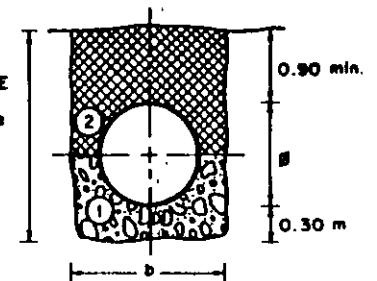
SIMBOLOGIA

- Canal con rejilla \_\_\_\_\_
- Canal a cielo abierto \_\_\_\_\_
- Colector \_\_\_\_\_
- Tuberías de descarga \_\_\_\_\_
- Plantas de bombeo ○ \_\_\_\_\_
- Lindero \_\_\_\_\_
- Camino peñon tescaco \_\_\_\_\_
- Camino y bordo perimetral \_\_\_\_\_
- Via de tren \_\_\_\_\_

SECCION TIPO DE ENROQUE DE DOS CANALES



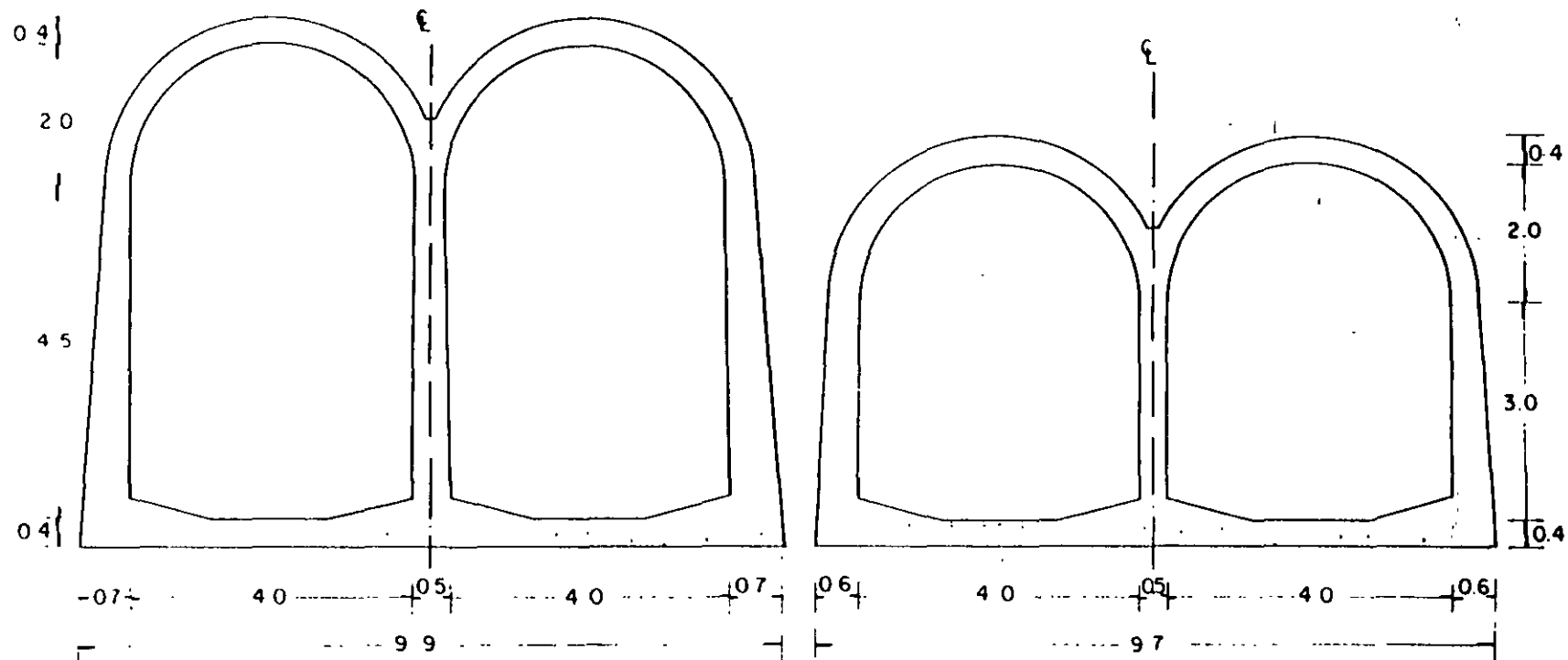
- ① CAMA DE TEZONTLE
- variable
- ② RELLENO DE TEPETATE



SECCION CONSTRUCTIVA

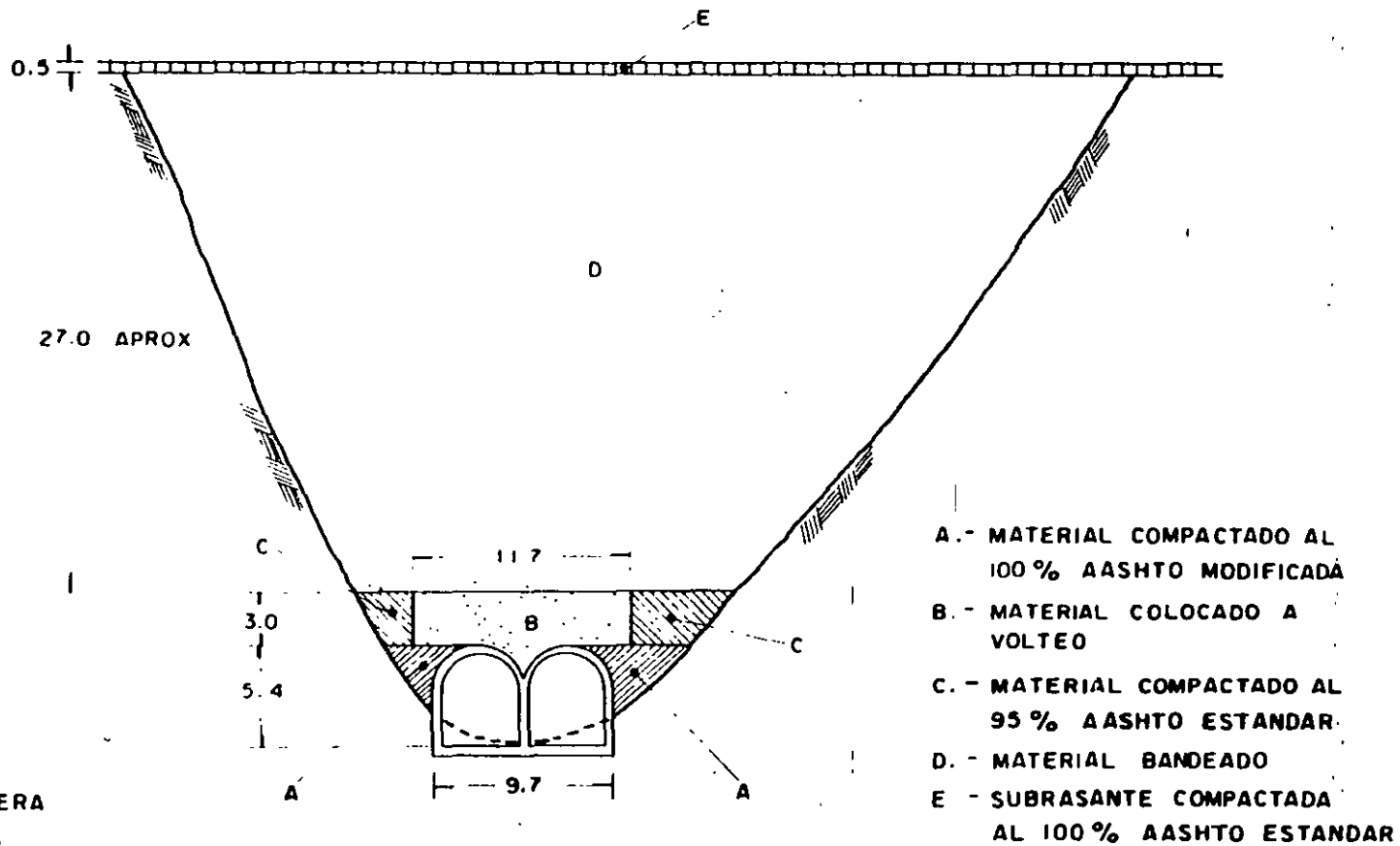
PARA COLECTORES Y TUBERIAS DE DESCARGA

FIG. 28 SISTEMA DE DRENAJE DE LA AMPLIACION DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CD. DE MEX.



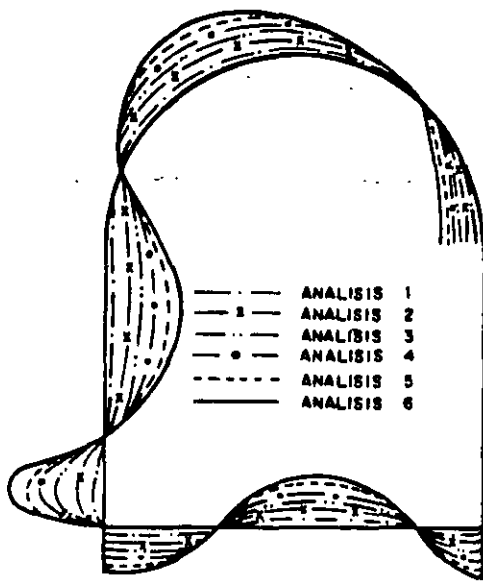
ACOTACIONES EN m.

FIG. 29 GEOMETRIA DE LA ALCANTARILLA LA HUERTA

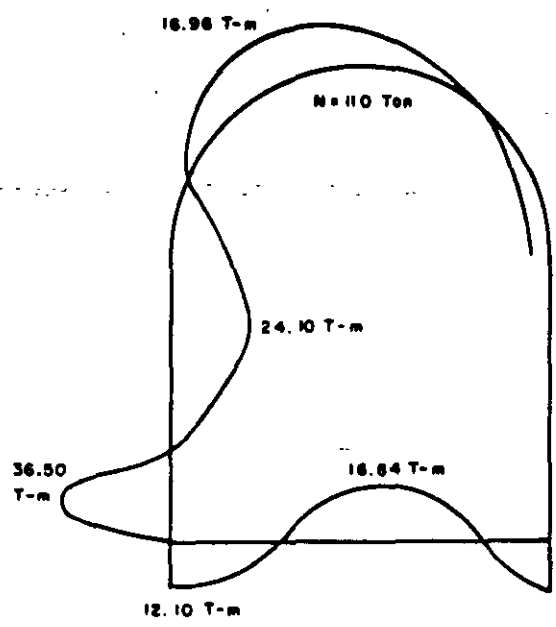


DIBUJO FUERA  
DE ESCALA

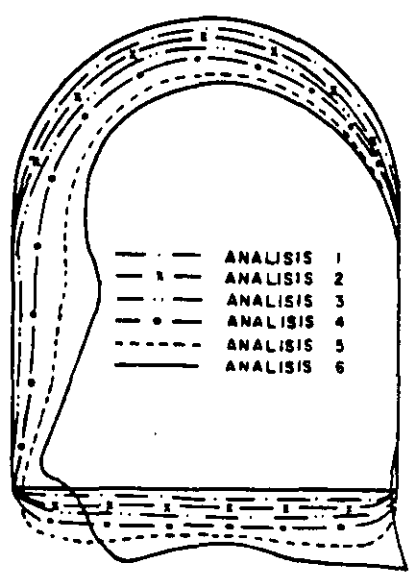
FIG. 30 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TERRAPLEN SOBRE LA  
ALCANTARILLA LA HUERTA



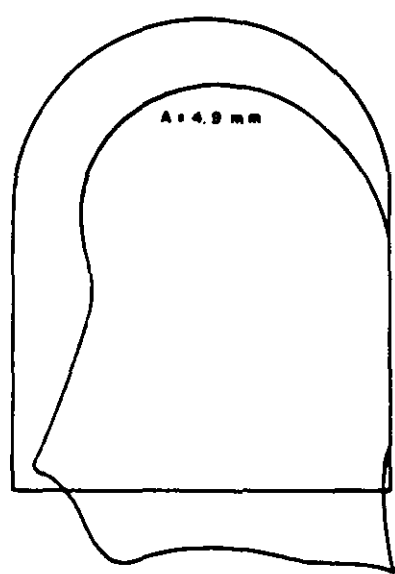
a) DIAGRAMA DE MOMENTOS PARA CADA CONDICION DE ANALISIS



b) DIAGRAMA DE MOMENTOS MAS DESFAVORABLES



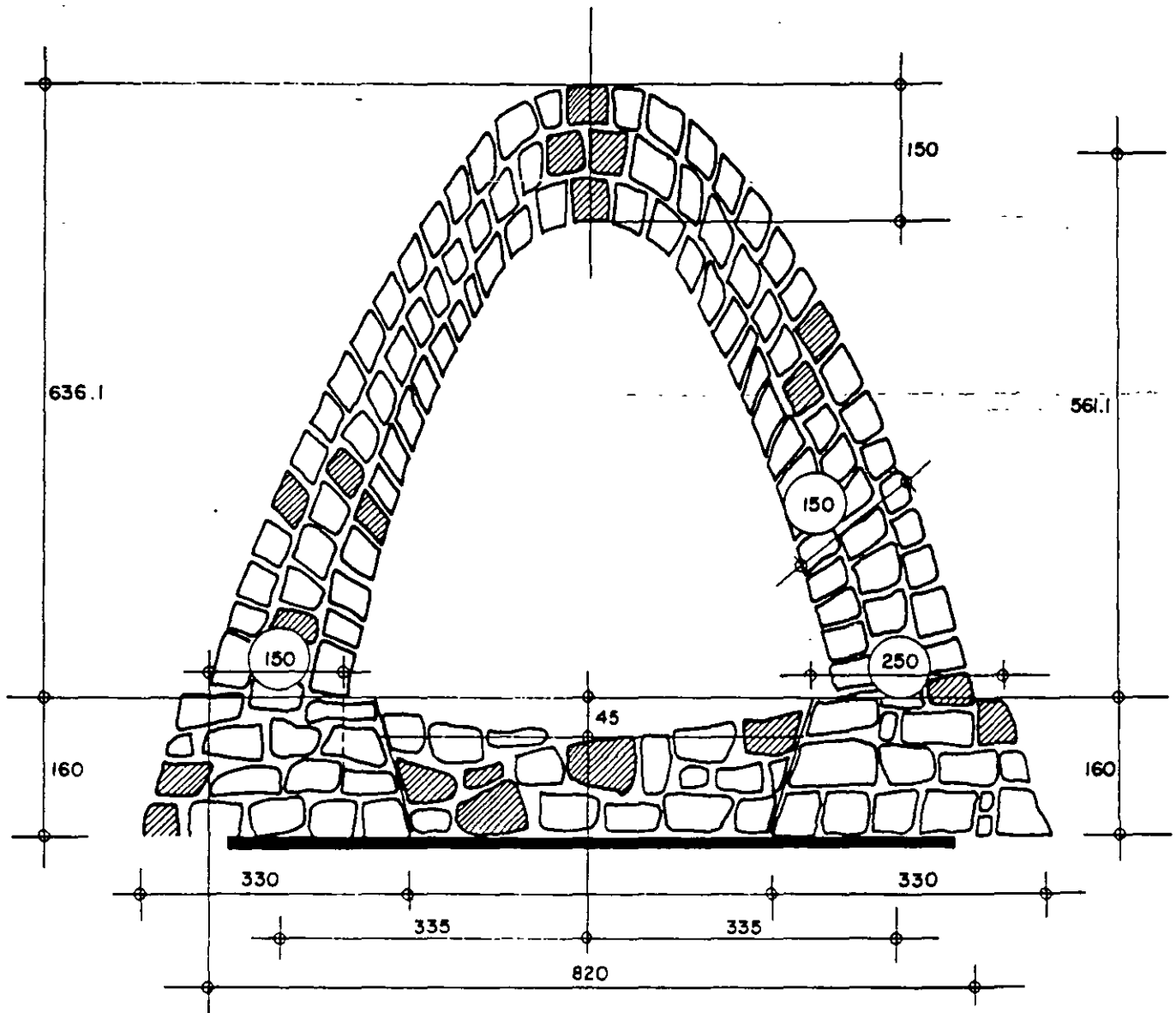
c) DEFORMACIONES PARA CADA CONDICION DE ANALISIS



d) DEFORMACION CORRESPONDIENTE A LA CONDICION MAS DESFAVORABLE

FIG. 31 MOMENTOS Y DEFORMACIONES OBTENIDOS POR EL METODO DEL ELEMENTO FINITO PARA LA ALCANTARILLA LA HUERA

FIG. 32 ALCANTARILLA DE MAMPOSTERIA DEL AEROPUERTO DE BAHIAS DE HUATULCO, OAX.



ELEVACION

MEDICIONES EN CM

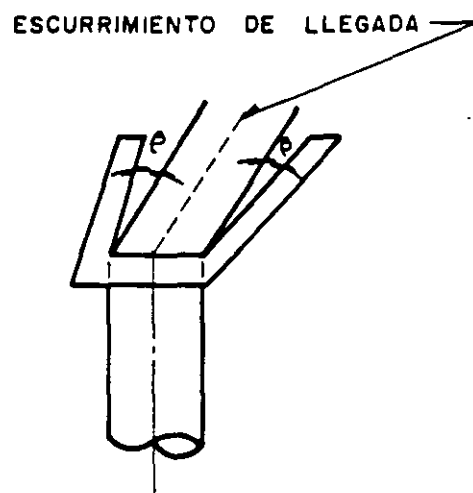
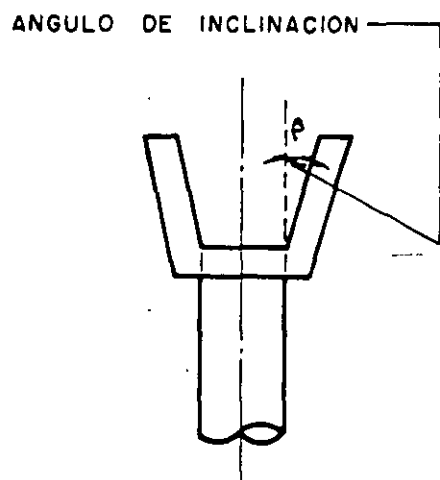
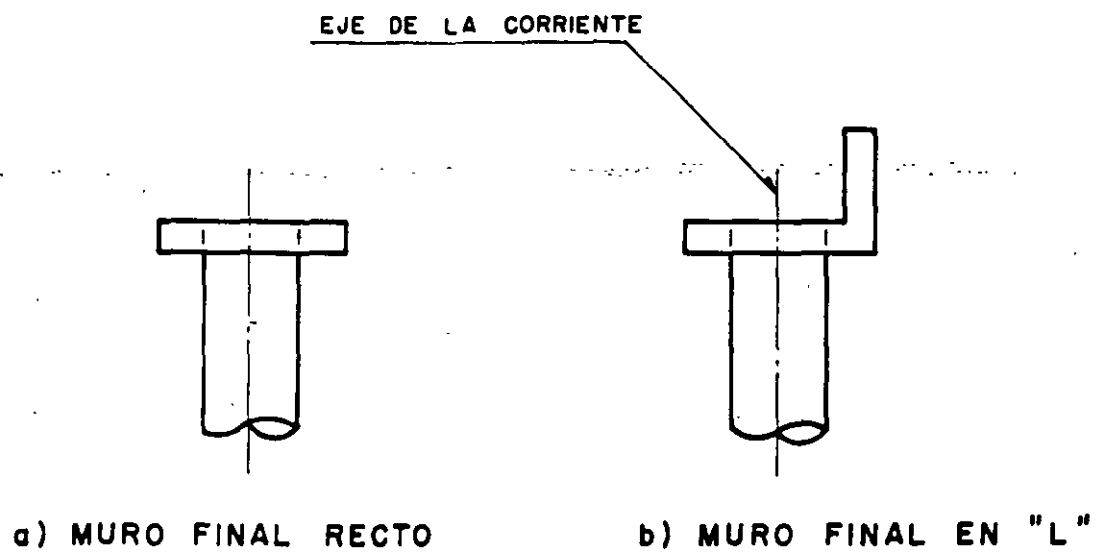
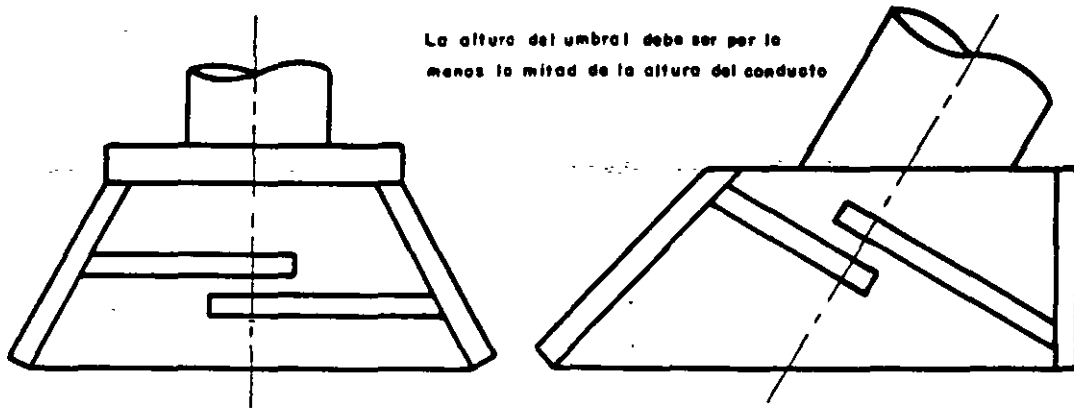
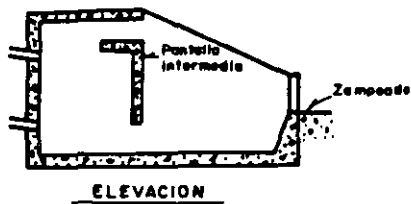


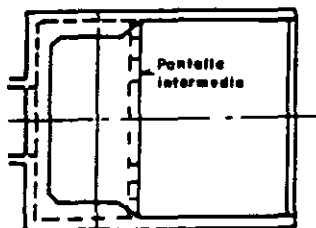
FIG. 33 ESTRUCTURAS DE ENTRADA EN ALCANTARILLAS



a) CON UMBRALES DE FONDO



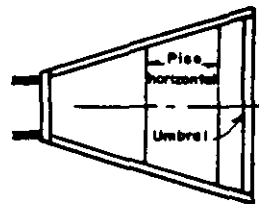
ELEVACION



PLANTA



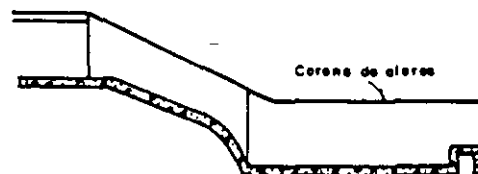
ELEVACION



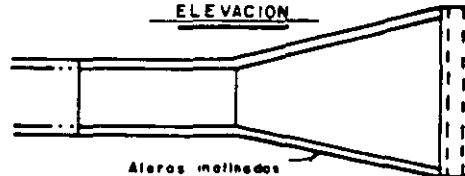
PLANTA

b) TANQUE DE AMORTIGUACION POR IMPACTO

c) TANQUE DE AMORTIGUACION ESTANDAR



ELEVACION



PLANTA

d) DISIPADOR RADIAL DE ENERGIA

FIG. 34 ESTRUCTURAS DE SALIDA CON AMORTIGUAMIENTO





ELEVACION EN M

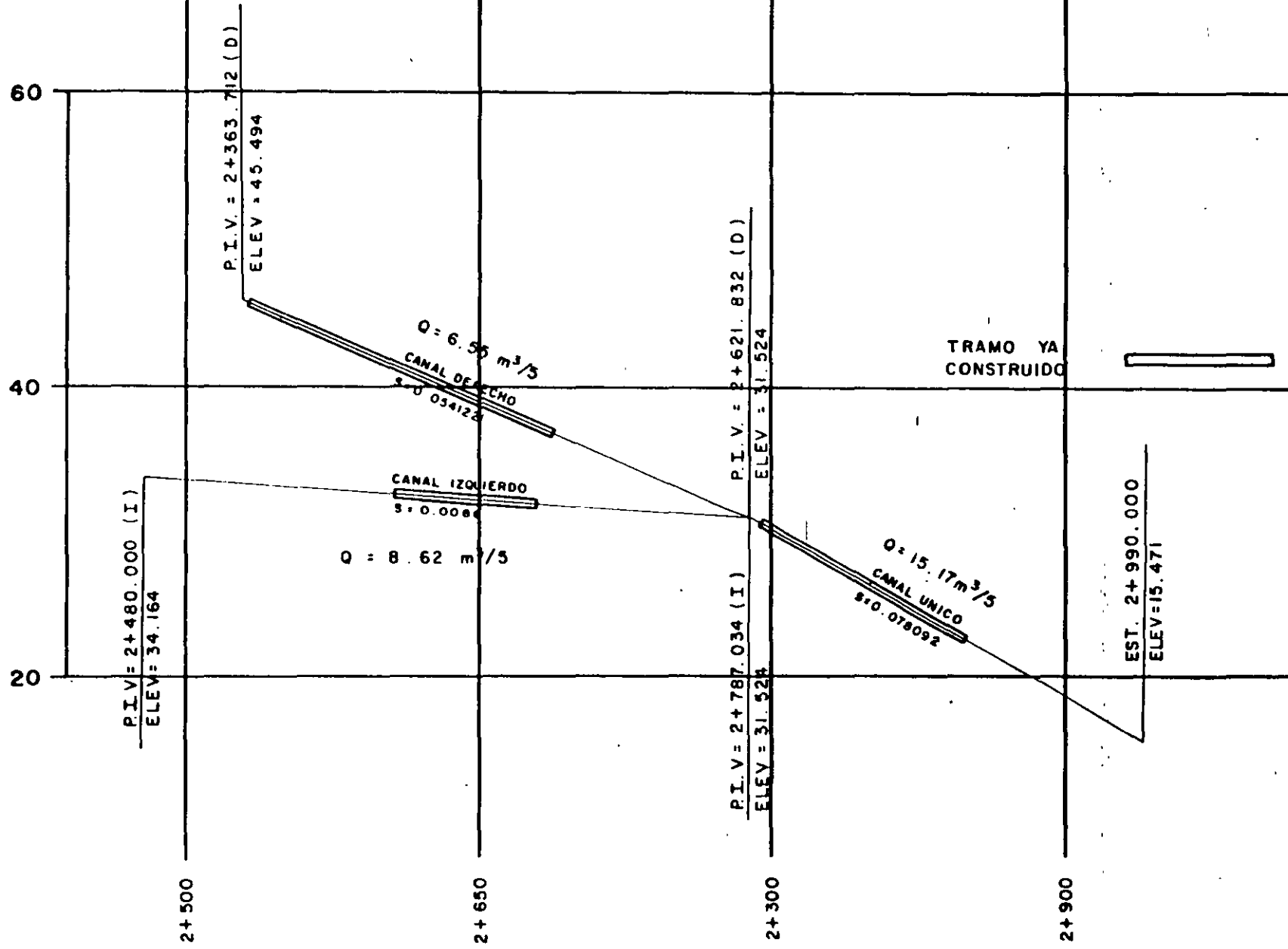
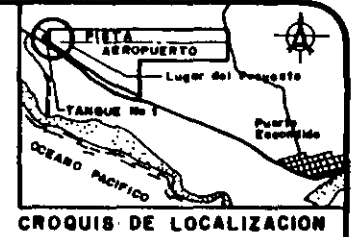


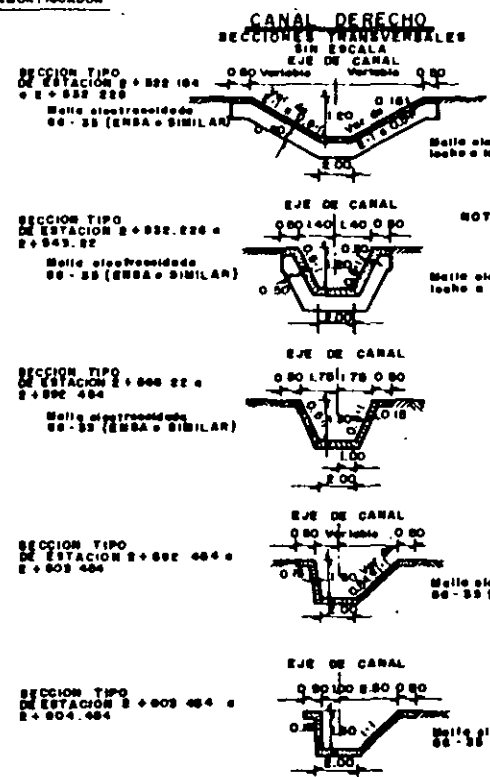
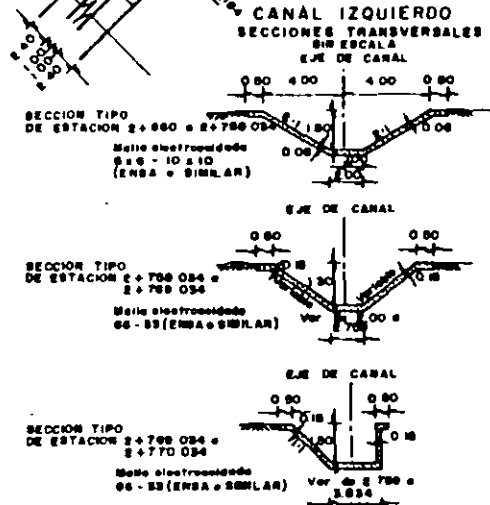
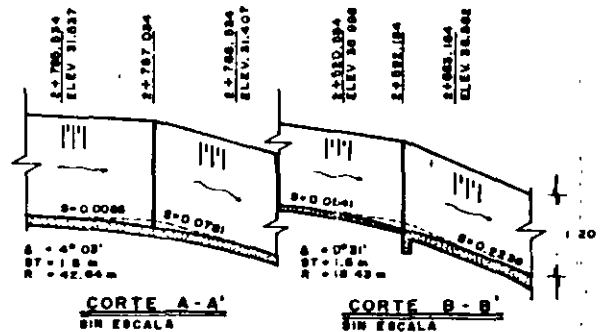
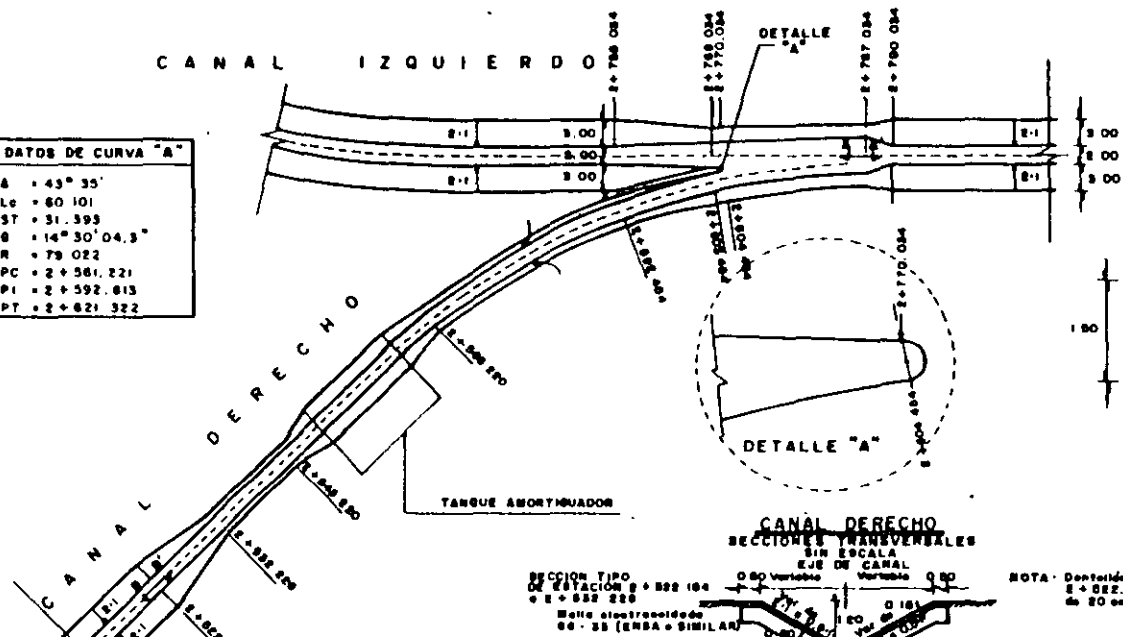
FIG. 36 PERFILES DE LOS CANALES DEL AEROPUERTO DE PUERTO ESCONDIDO, OAX.

FIG. 37 DETALLE DE LA UNION DE LOS CANALES DE AEROPUERTO DE PUERTO ESCONDIDO, OAX.



DATOS DE CURVA "A"

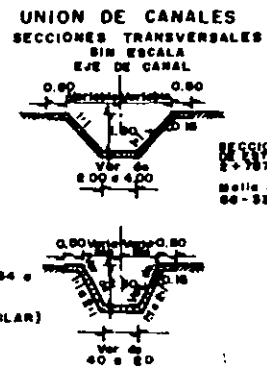
A	= 43° 35'
Lc	= 60 101
ST	= 31.393
θ	= 14° 30' 04.3"
R	= 79 022
PC	= 2 + 561.221
Pt	= 2 + 592.613
PT	= 2 + 621.322



NOTA: Detalle en la seccion 2 + 592 184 con espesor de 20 cm

NOTA: Detalle en seccion 2 + 592 228 con espesor de 20 cm

NOTA: Detalle en seccion 2 + 770 034 con espesor de 20 cm



- NOTAS:
- 1) TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES ESTAN ACOTADAS EN M EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRAS UNIDADES
  - 2) LOS NIVELES ESTAN REFERIDOS A LOS BANCOS EMPLEADOS POR LA S.C.T.
  - 3) LOS TANQUES SE DESPLANTABAN SOBRE UNA PLANILLA DE CONCRETO PORSO DE 7' - 00" E6/m<sup>2</sup>
  - 4) EL CONCRETO EN LOS TANQUES SERA DE f'c = 300 kg/cm<sup>2</sup> CON CEMENTO TIPO I BOPICADO O PUZOLANICO
  - 5) ACERO DE REFUERZO fy = 4.500 kg/cm<sup>2</sup>
  - 6) LAS SECCIONES CONSTRUCTIVAS NO INDICADAS EN ESTE PLANO, SE INDICAN EN LOS PLANOS CORRESPONDIENTES
  - 7) EL RECURRIMIENTO MINIMO DEL AGRO SERA DE 6 cm

PROPUSO EL JEFE DEL DEPARTAMENTO

ING. ALFONSO M. ELIZONDO RAMIREZ  
W. SA. EL SUBDIRECTOR DE PROYECTOS

ING. RECTOR RODRIGUEZ DEGUERO  
APROBO DIRECTOR DE OBRA

ING. LUIS A. MARIN CHAVEZ

**SCT** SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA  
DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS Y CONSTRUCCION  
SUBDIRECCION DE PROYECTOS CIVILES  
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS CIVILES  
OFICINA DE PROYECTOS GEOMETRICOS  
AEROPUERTO DE PUERTO ESCONDIDO, OAXACA

**UNION DE LOS CANALES LATERALES**

MEXICO D.F.

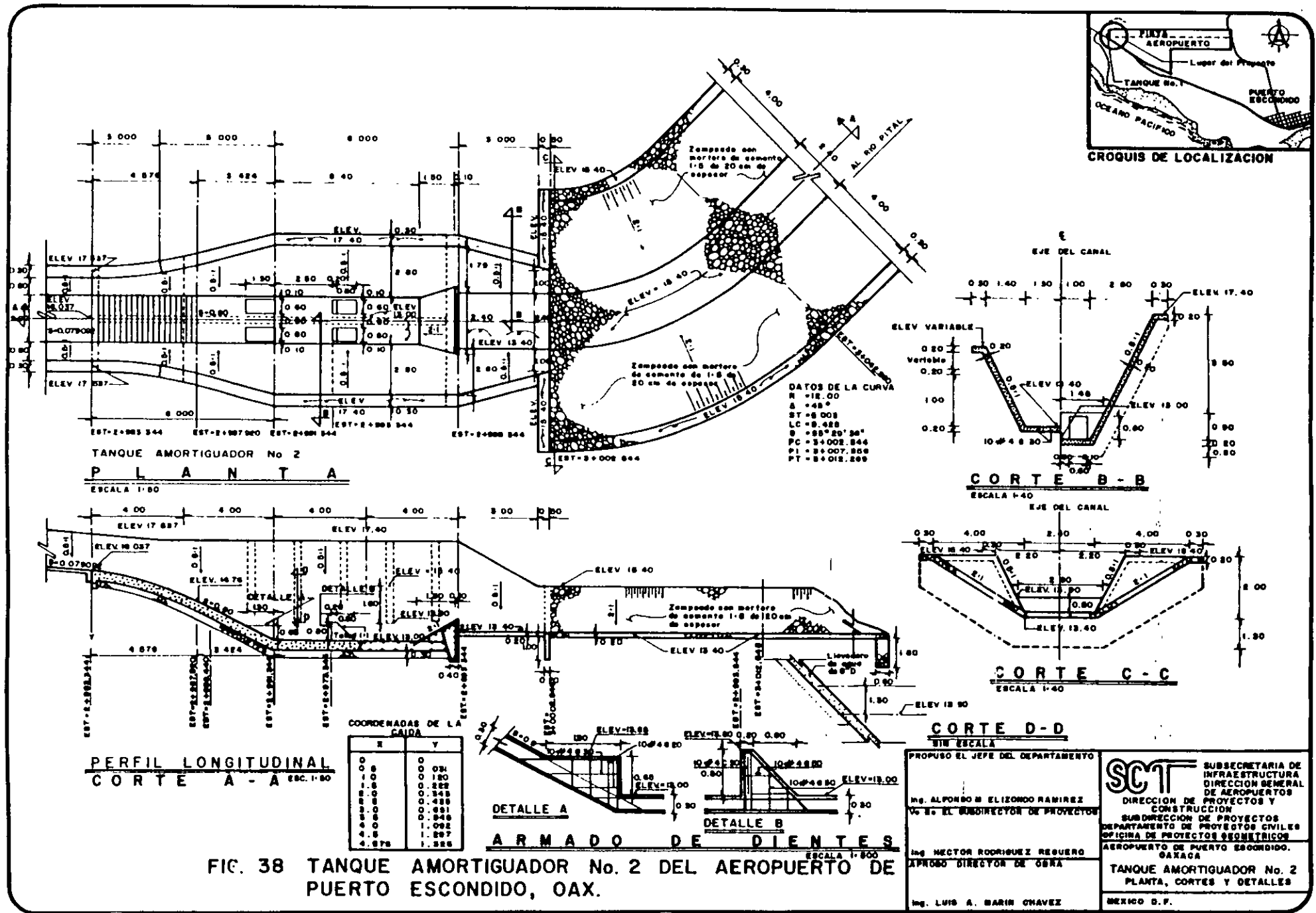


FIG. 38 TANQUE AMORTIGUADOR No. 2 DEL AEROPUERTO DE PUERTO ESCONDIDO, OAX.

PROPUSO EL JEFE DEL DEPARTAMENTO  
SIN ESCALA

ING. ALFONSO M. ELIZONDO RAMIREZ  
VIC. EL SUBDIRECTOR DE PROYECTOS

ING. HECTOR RODRIGUEZ REQUERO  
APROBO DIRECTOR DE OBRAS

ING. LUIS A. MARIN CHAVEZ

**SCT** SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA  
DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
SUBDIRECCION DE PROYECTOS CIVILES  
OFICINA DE PROYECTOS GEOMETRICOS  
AEROPUERTO DE PUERTO ESCONDIDO, OAXACA

**TANQUE AMORTIGUADOR No. 2**  
**PLANTA, CORTES Y DETALLES**

MEXICO D.F.

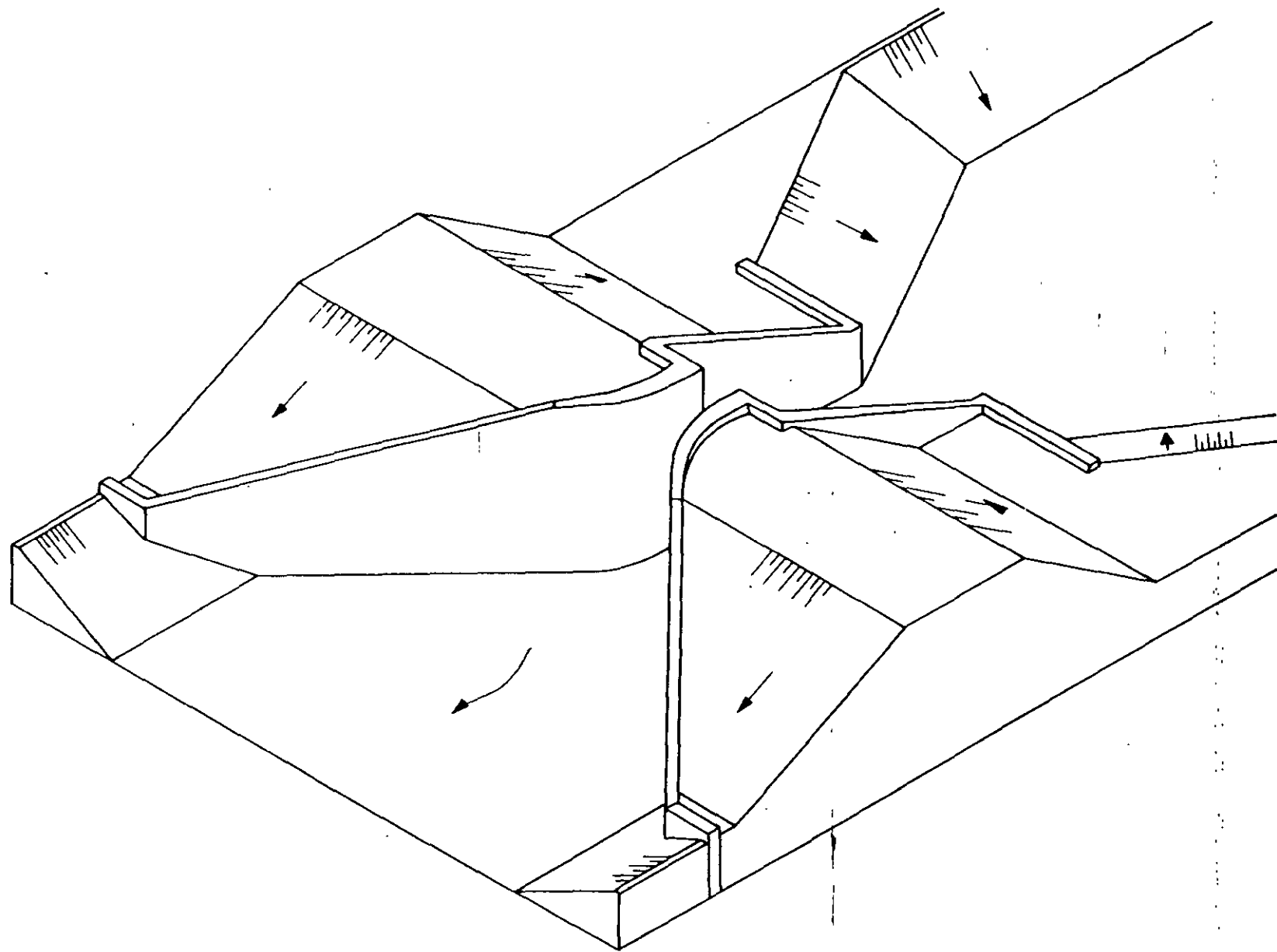
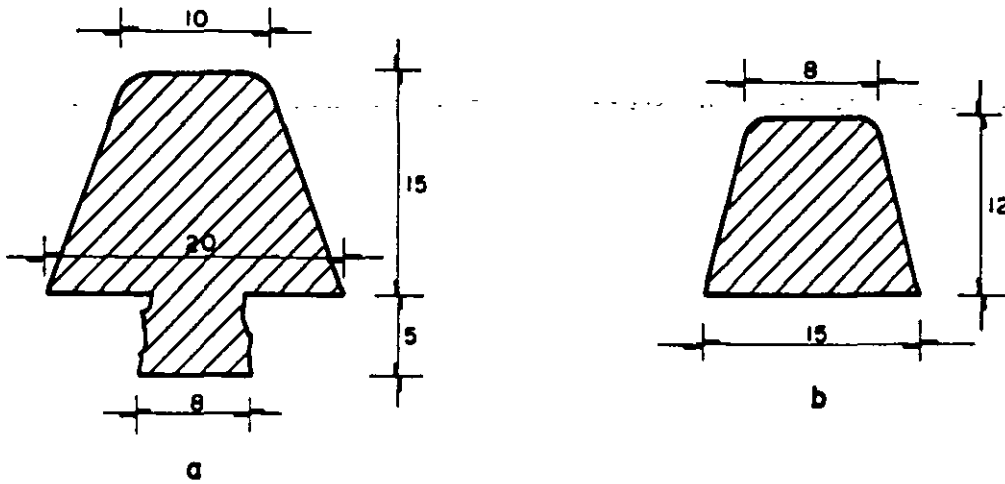
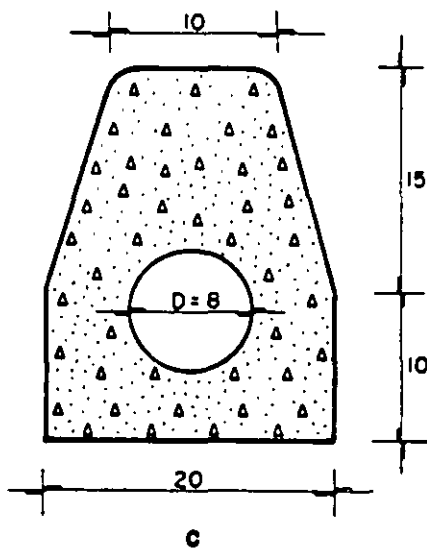


FIG. 39 SECC'ON DE CONTROL

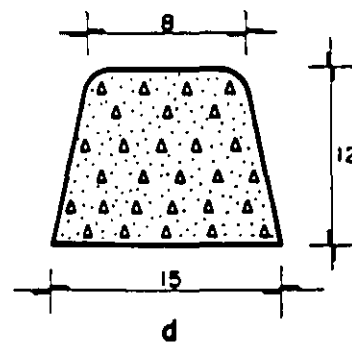


**BORDILLO CON ANCLAJE**

Bordillos de concreto asfáltico, elaborado con material pétreo de tamaño máximo de 3/4" y cemento asfáltico No. 6 en proporción aproximada de 100 kg/m<sup>3</sup> de material pétreo.

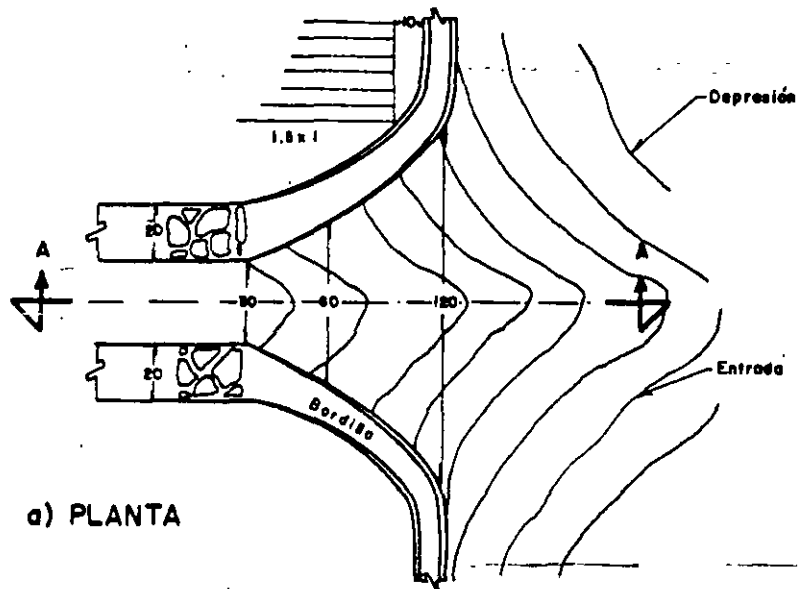


Todas las dimensiones están en centímetros

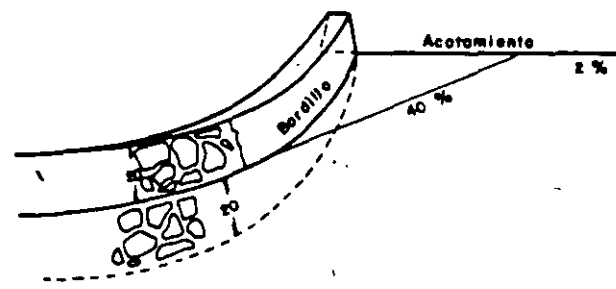


BORDILLOS DE CONCRETO HIDRAULICO, CON  $f'_c = 150 \text{ km/cm}^2$

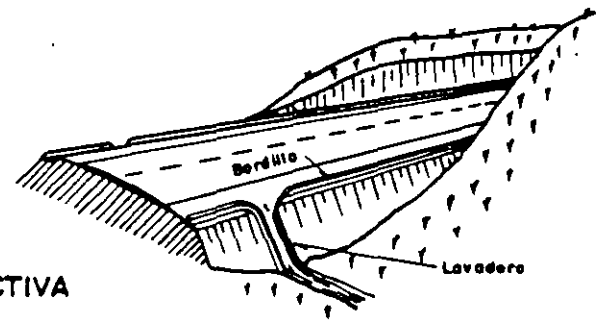
**FIG. 40 GEOMETRIA DE LOS BORDILLOS**



a) PLANTA



b) CORTE A-A



c) PERSPECTIVA

FIG. 41 LAVADERO TIPO DE MAMPOSTERIA

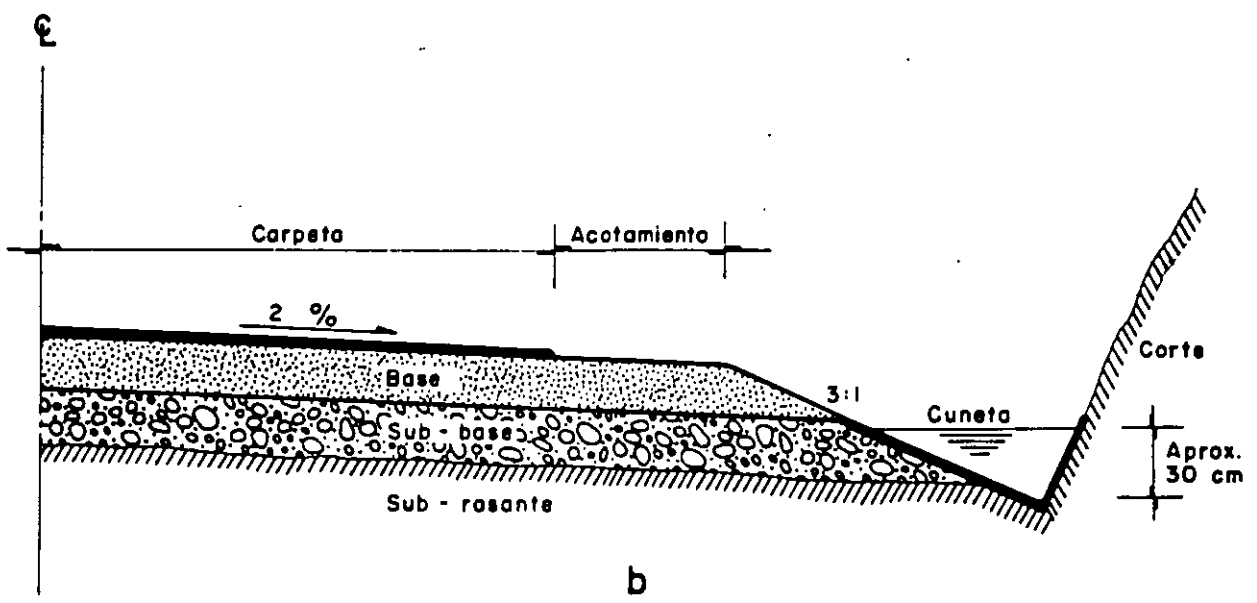
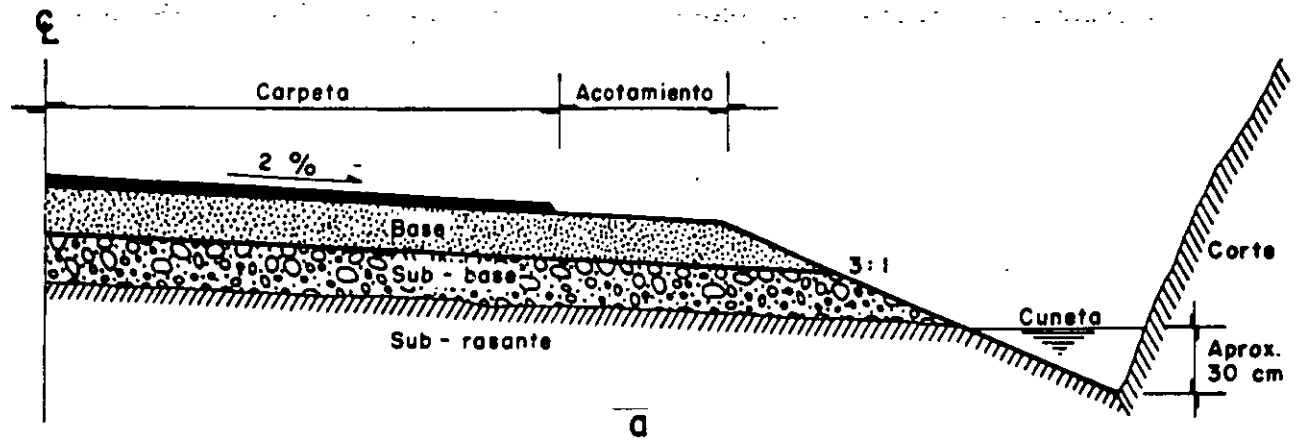
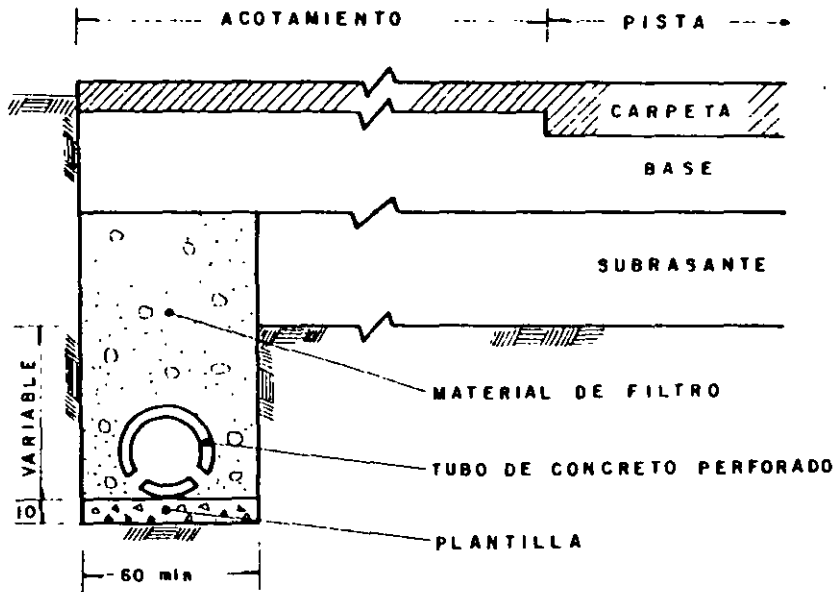


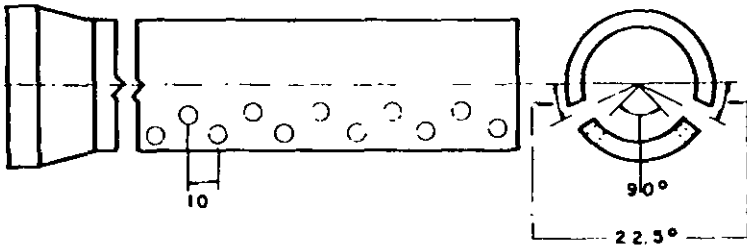
FIG. 42 GEOMETRIA Y DISPOSICION DE CUNETAS



SUBDREN



TUBO DE CONCRETO PERFORADO



CARACTERISTICAS DE MATERIAL DE FILTRO

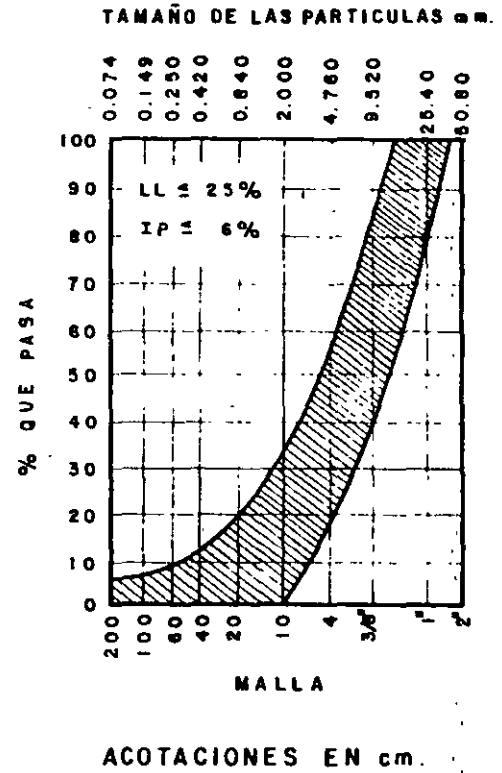
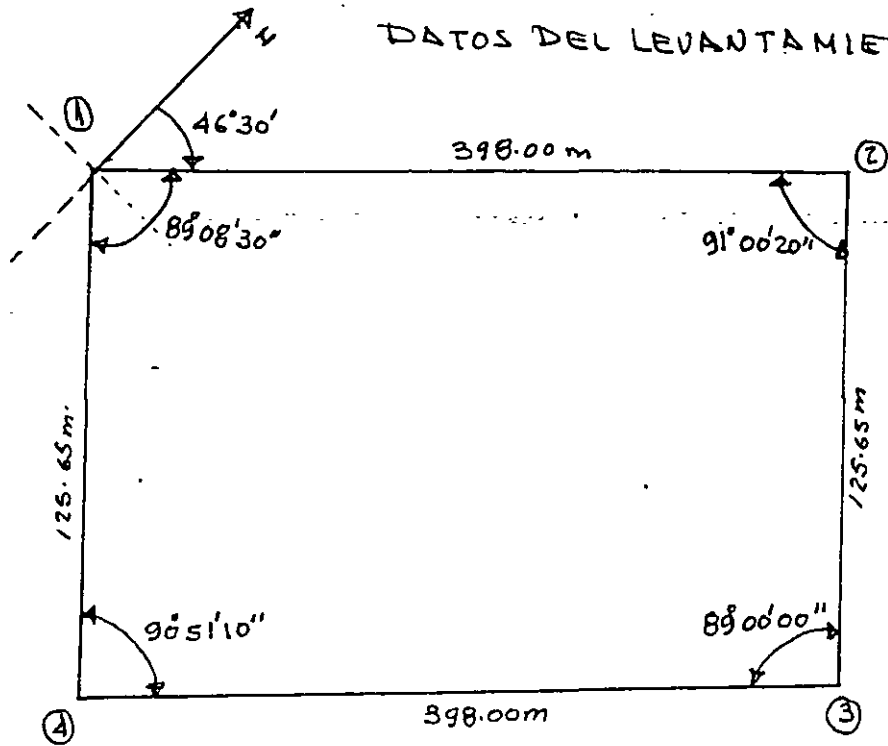


FIG. 43 SUBDREN TIPO

82

DATOS DEL LEVANTAMIENTO.



LEVANTAMIENTO STA. CATARINA MAPACHAPA  
MUNICIPIO MINATITLAN VERACRUZ. PROP. UNANI.

CIERRE ANGULAR EN CAMPO

890830 ANG INT. PARA FACILIDAD DE CALCULO  
 910020  
 - 890000  
 905110  
 359°59'60"  
 359°60'  
 360°00'

YA QUE AL FINAL DE CUENTAS  
 SE TRABAJA CON Apreciacion  
 DE MINUTOS YA QUE TRABAJAR  
 CON SEGUUNDO EN TRAZO ES  
 MUCHO TRABAJO

CIERRE ANGULAR O  
 APROXIMACION A  
 00  
 00  
 00

89°08'  
 91°00'  
 89°01'  
 90°51'

359°60'

→ 360°00' EX INT

$$E_{\text{INTS.}} = \frac{180(n-2)}{36000'} \rightarrow$$

## CÁLCULO DE LA SUPERFICIE. ⑨

	-	A	X	Y	X +
3	105,665.00		500.00	500.00	
4	27,872.98		211.33	225.93	112,965.00
1	130,082.95		123.37	315.72	66,721.10
2	294,830.00		412.02	589.66	72,746.35
3			500.00	500.00	206,010.00
	558,450.93				E 458,442.45

$$S = \frac{558,450.93 - 458,442.45}{2} = \frac{100,008.48}{2} = 50,004.24 \text{ m}^2$$

⑦ COOMPENSACION DE PROYECCIONES (PROYECCIONES CORREGIDAS)  
SE PUEDE HACER DE VARIAS MANERAS.

EL ERROR LINEAL EN EL ESE:  $Y = 0.11 \text{ m}$      $X = 0.29 \text{ m}$

Ⓐ REPARTIR EL ERROR EN PARTES IGUALES  $\frac{0.11}{4} = 0.0275 = Y$ ,  $X = \frac{0.29}{4} = 0.0725$   
QUE AL RESTAR O SUMAR NOS QUE ERROR DE  $\text{mm}$ .

Ⓑ LO MAS PRACTICO ES REPARTIR LA MAYOR PARTE DE DICHO ERROR EN LOS LADOS DE MENOR LONGITUD Y LO MINIMO EN LOS LADOS LARGOS COMO SE HACE EN ESTE EJEMPLO VER PLANILLA DE CALCULO.

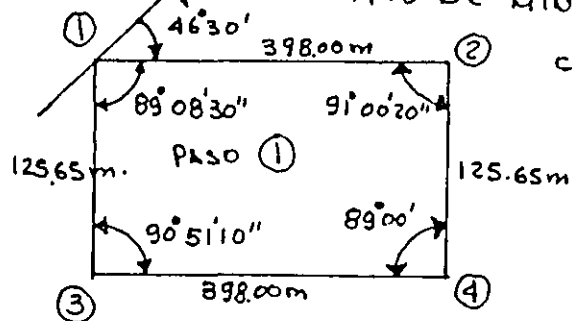
⑧ COMPROBACION DEL AREA POR LAS ORDENADAS MEDIAS

SE SUMAN LOS LADOS LARGOS Y CORTOS Y SE  $\div 2$ , SE OBTIENE EL PROMEDIO, EN ESTE CASO LAS DISTANCIAS SON IGUALES

$$\begin{array}{r} 398 \\ 398 \\ \hline 796 \div 2 = 398.00 \end{array} \quad \begin{array}{r} 125.65 \\ 125.65 \\ \hline 251.30 \div 2 = 125.65 \end{array}$$

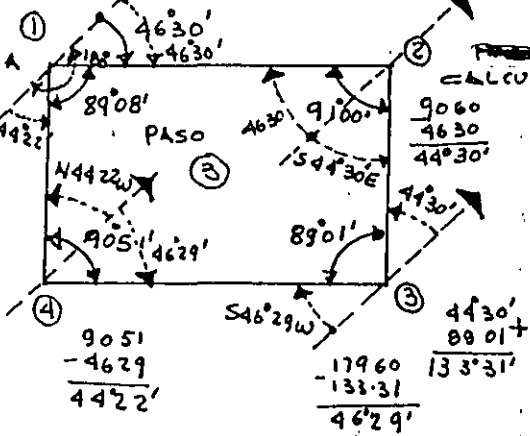
$$A = 398 \times 125.65 = 50,008.70 \text{ m}^2$$

CALCULO DEL LEVANTAMIENTO PREDIO "STA CATARINA MAPACHAPA, MUNICIPIO DE MINATITLAN VER.



CIERRE ANGULAR Y COMPENSA

89 08 30	89°08'
91 00 20	91°00'
89 00 00	89°00'
90 51 10	90°51'
<hr/>	
359°59'60"	359°6'0"
<hr/>	
360°00'	360°00'



CALCULO DE RUMBOS

9060	46°30'
4630	44°30'
<hr/>	
4422'	

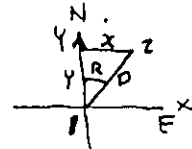
1 DATOS DE LEVANTAMIENTO.

$S = 398.00 \times 125.65 = 50008.70 \text{ m}^2$

125.65  
27.5  
1325.25  
112.95  
1769.5  
50008.7

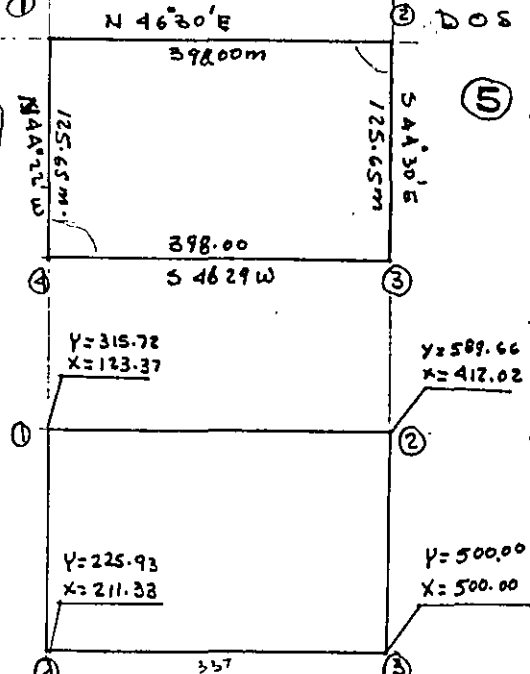
CALCULO RUMBO CIERRE VERTICE 1

4422'	44°22'
17960	+ 89°08'
13330	133°30'
<hr/>	
N 46°30'E	



$\sin R = \frac{X}{D} \therefore X = D \sin R$   
 $\cos R = \frac{Y}{D} \therefore Y = D \cos R$

2 DISEÑO DE DATOS CALCULADOS



PASO 3 CALCULO DE PROYECCIONES SIN CORREGIR.

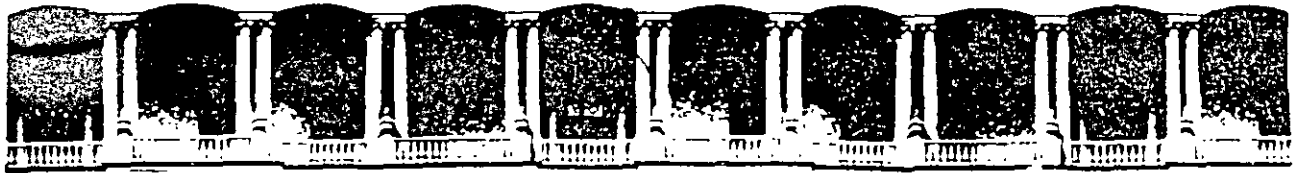
- 1  $X = E = D \sin \alpha = 398.00 \times 46°30' = 288.70$
- 2  $Y = N = D \cos \alpha = 398.00 \times 46°30' = 273.96$
- 3  $X = E = 125.65 \times 44°30' = 88.07$
- 4  $Y = S = 125.65 \times 44°30' = 89.62$
- 5  $X = W = 398.00 \times 46°29' = 288.62$
- 6  $Y = S = 398.00 \times 46°29' = 274.05$
- 7  $X = W = 125.65 \times 44°22' = 87.86$
- 8  $Y = N = 125.65 \times 44°22' = 89.82$

CALCULO DE COORDENADAS. 8 VER PLANILLA PARA UTILIZAR LAS PROYECCIONES CORREGIDAS PARA EL CALCULO DE COORD.

C(3)	500.00	500.00
F(4)	-288.67	-274.07
C(2)	211.33	225.93
F(1)	-87.96	+87.79
C(1)	123.37	315.72
	+288.65	+273.94
	<hr/>	
	412.02	589.66

C(2)	412.02	589.66
P(1)	+27.98	-27.66
C(1)	500.00	500.00

8 VACIADO DE COORDENADAS



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES**

**XXVI CURSO INTERNACIONAL DE INGENIERIA DE  
AEROPUERTOS**

**MODULO II**

Del 31 de agosto al 30 de octubre de 1998.

*Proyecto de Aeropuertos*

Ing. Ubaldo García Vázquez.  
Palacio de Minería  
1998.

**CAPITULO 3**

**SISTEMA VISUAL INDICADOR DE  
LA TRAYECTORIA DE  
APROXIMACION DE PRECISION  
(PAPI).**

### CAPITULO 3.- SISTEMA VISUAL INDICADOR DE TRAYECTORIA DE APROXIMACION DE PRECISION (P.A.P.I.)

El sistema indicador de trayectoria de aproximacion (VASIS) fue creado hace 25 años para permitir a los pilotos efectuar la aproximacion visual larga y estable que se requiere para el aterrizaje seguro de las aeronaves. Este sistema fue ampliamente utilizado pero con el tiempo se presentaron ciertas limitaciones, por ejemplo no proporcionaba guia de la calidad necesaria por debajo de los 60 m lo que disminuia su utilidad en situaciones de penetracion de nubes bajas en las que esa guia podria ser de gran valor. no podia armonizarse completamente con el ILS y resultaba dificil de utilizar en condiciones en que el contraste de colores se veia disminuido como en la bruma o al aproximarse a la pista con direccion al sol en el ocaso.

Despues de varios experimentos el PAPI fuè concebido por el Royal Aircraft Establishment de Inglaterra, este sistema se instalo por primera vez en el Aeropuerto de Gatwick de Londres para su evaluacion y operacion en el año de 1977 como una ayuda visual simple que superaria los defectos del VASIS. La funcion primordial de esta ayuda es suministrar al piloto de una aeronave, que realiza maniobras de aproximación, la indicacion visual del angulo de planeo para que el punto de contacto con la pista, se efectue dentro de una zona de seguridad.

El PAPI es un sistema de Ayuda Visual Luminosa para operacion diurna y nocturna. Consiste en una barra de ala de cuatro elementos luminosos dobles o múltiples (dos o tres lamparas en cada gabinete) para transicion definida situados a intervalos iguales. El sistema se coloca al lado izquierdo de la pista en el sentido de la aproximación y generalmente a 300 m del umbral: la barra se coloca perpendicular a la pista instalando el primer gabinete a 15 m del borde de la misma, y manteniendo una separación de 9 m entre cada uno de los otros tres.

Este sistema debera estar implantado en todos los aeropuertos de los paises miembros de la OACI a partir de 1995.

Cada unidad proyecta un haz de luz dividido siendo blanco en la parte superior y rojo en la parte inferior. El haz abarcara un angulo de  $1^{\circ} 30'$  como mínimo, por encima y por debajo de la media del sector de transicion tanto de dia como de noche; en azimut un ángulo de no menos

de 10° de día y no menos de 15° de noche. Con tiempo despejado, el alcance visual efectivo del sistema será de por lo menos 7.4 Km dentro de esos ángulos. La intensidad luminosa debe ser controlable de manera que, dependiendo de las condiciones predominantes, no se produzca deslumbramiento al piloto.

Se instalará un sistema visual indicador de pendiente de aproximación para facilitar la aproximación a una pista que cuente o no con otras ayudas para la aproximación, visuales o no visuales, cuando exista una o más de las condiciones siguientes:

- a) -La pista sea utilizada por turboreactores u otros aviones con exigencias semejantes en cuanto a guía para la aproximación.
- b) -El piloto de cualquier tipo de avión pueda tener dificultades para evaluar la aproximación por una de las razones siguientes:
  - 1) Orientación visual suficiente, por ejemplo en una aproximación de día sobre agua o terreno desprovisto de puntos de referencia visuales o durante la noche, por falta de luces no aeronáuticas en el área de aproximación;
  - 2) Información visual equivocada, debida por ejemplo a la configuración del terreno adyacente o a la pendiente de la pista.
- c) -La presencia de objetos en el área de aproximación pueda constituir un peligro grave si un avión desciende por debajo de la trayectoria normal de aproximación, especialmente si se cuenta con una ayuda no visual u otras ayudas visuales que adviertan la existencia de tales objetos.
- d) -Las características físicas del terreno en cada extremo de la pista constituyan un peligro grave en el caso de que un avión efectúe un aterrizaje demasiado corto o demasiado largo;
- e) -Las condiciones del terreno o las condiciones meteorológicas predominantes sean tales que el avión pueda estar sujeto a turbulencia normal durante la aproximación.



Cuando existan condiciones similares a las antes mencionadas se instalara un Sistema Indicador de la Pendiente de Aproximacion de Precision (PAPI por sus siglas en ingles), asi como tambien cuando la pista sea utilizada por aviones que realicen vuelos internacionales, este sistema sera apropiado para estos aviones en los casos en que la distancia vertical entre la vista del piloto y las ruedas cuando el avion este en actitud de enderezamiento, no exceda de 16 m. Aproximadamente.

El sistema PAPI consistira en una barra de ala con cuatro elementos de lamparas multiples (o sencillas por pares) de transicion definida situados a intervalos iguales el sistema se colocara al lado izquierdo de la pista a menos que sea materialmente imposible.

Si la pista es utilizada por aeronaves que necesitan balanceo y no hay otros medios que proporcionen esta guia entonces puede proporcionarse una segunda barra de ala al otro lado de la pista.

La barra de ala de un PAPI estara construida y dispuesta de manera que el piloto que realiza la aproximacion

a) vea rojas las dos luces mas cercanas a la pista y blancas las dos mas alejadas, cuando se encuentre en la pendiente de aproximacion o cerca de ella.

b) vea roja la luz mas cercana a la pista y blancas las tres mas alejadas, cuando se encuentre por encima de la pendiente de aproximacion y blancas todas las luces en posicion todavia mas elevada y

c) vea rojas las tres luces mas cercanas a la pista y blanca la mas alejada, cuando se encuentre por debajo de la pendiente de aproximacion, y rojas todas las luces en posicion todavia mas baja.

### **3.1 EMPLAZAMIENTO**

Los elementos luminosos deberan estar emplazados como se indica en la configuracion basica como se muestra en la figura 3.1, respetando las tolerancias de instalacion alli

señaladas. Los elementos que forman la barra de ala PAPI deberán montarse de manera que aparezca al piloto del avión que efectúa la aproximación como una línea sensiblemente horizontal. Los elementos luminosos se montarán lo más abajo posible y serán lo suficientemente ligeros y frangibles para no constituir un peligro para las aeronaves.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS

El sistema será adecuado tanto para las operaciones diurnas como para las nocturnas. La transición de colores de rojo a blanco, en el plano vertical, será tal que para un observador situado a una distancia no inferior a 300 m, ocurra dentro de un ángulo vertical no superior a  $3^\circ$ . Cuando la intensidad sea máxima, la coordenada Y de la luz roja no excederá de 0.320.

La distribución de la intensidad de la luz de los elementos luminosos será la indicada en la figura 3.2.

Se proporcionará un control adecuado de intensidad para que ésta pueda graduarse de acuerdo con las condiciones predominantes, evitando así el deslumbramiento del piloto durante la aproximación y el aterrizaje.

Cada elemento luminoso podrá ajustarse en elevación de manera que el límite inferior de la parte blanca del haz pueda fijarse en cualquier ángulo deseado de elevación, entre  $1^\circ 30'$  y al menos  $4^\circ 30'$  sobre la horizontal.

Los elementos luminosos se diseñarán de manera que la condensación, la nieve, el hielo, el polvo, etc. que puedan depositarse en las superficies reflectoras u ópticas, obstruyan en el menor grado posible las señales luminosas y no afecten en modo alguno el contraste entre las señales rojas y blancas ni la elevación del sector de transición.

### 3.3 PENDIENTE DE APROXIMACIÓN Y REGLAJE DE ELEVACIÓN DE ELEMENTOS LUMINOSOS

La pendiente de aproximación que se define en la figura 3.3 será la adecuada para ser utilizada por los aviones que efectúen la aproximación.

### 3.2.-DISTRIBUCION DE LA INTENSIDAD LUMINOSA DEL PAPI

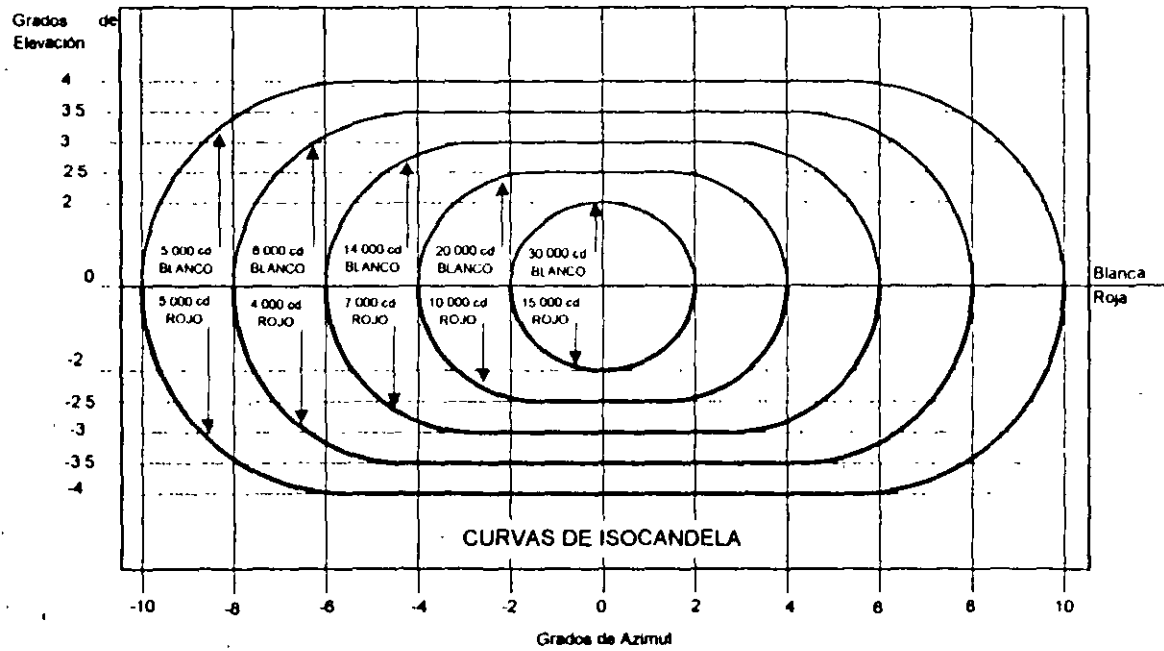
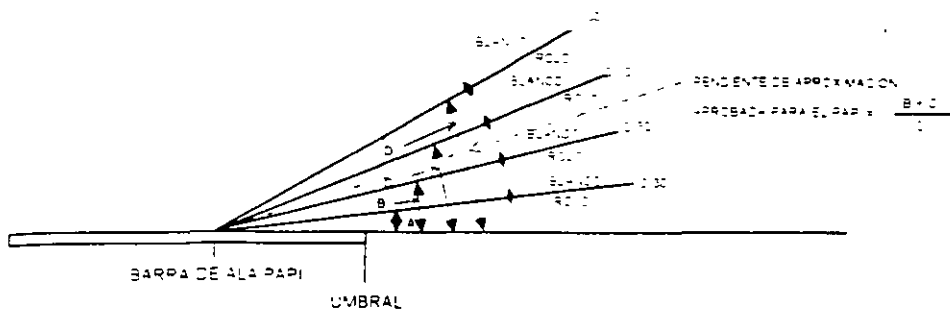


Figura 3.3.-HAZ LUMINOSO Y REGLAJE DEL ANGULO DE ELEVACION DEL PAPI DE 3°



La altura de los ojos del piloto por encima de la antena del receptor de trayectoria de planeo ILS varia segun el tipo de avion y la actitud de aproximacion. La armonización de la señal del PAPI y de la trayectoria de planeo ILS en un punto mas proximo al Umbral, puede lograrse aumentando el sector "en rumbo" de 20 a 30°. Los angulos de reglaje de una trayectoria de planeo de 3° serian de 2° 25', 2° 45', 3° 15' y 3° 35'.

En este caso tomando en cuenta que la pista 12D - 30f contara con ILS el emplazamiento y el angulo de elevacion de los elementos luminosos haran que la pendiente de aproximacion visual se ajuste tanto como sea posible a la trayectoria de planeo del ILS

El reglaje del angulo de elevacion de los elementos luminosos de una barra de ala PAPI sera tal que un piloto que se encuentre en la aproximacion y observe una señal de una luz blanca y tres rojas franqueara con un margen seguro todos los objetos que se hallen en el area de aproximacion.

Este sistema como ya se menciona anteriormente permite al piloto acomodarse en la trayectoria del planeo de acuerdo con la percepcion de las luces rojas y blancas las cuales indican si la trayectoria es alta baja o normal Este sistema proporciona en forma visual las mismas referencias que da el ILS

A) -De acuerdo con su clasificacion el sistema PAPI puede ser de dos tipos

Tipo 1 L - 800 - Consistente en cuatro unidades de iluminacion

2 L - 881 - Consistente en dos unidades de iluminacion (sistema APAPI).

B) -De acuerdo con su estilo puede operar de dos maneras.

Estilo A. sistema de voltaje constante (circuito de operacion en paralelo)

Estilo B. sistema de Corriente constante (circuito de operacion en serie, que es el que normalmente se utiliza)

C) -Por su clase se encuentra en dos modalidades.

Clase I En operacion normal con una temperatura desde 55°C hasta -35°C.

Clase II En operacion normal con una temperatura desde 55°C hasta -55°C..

Tabla 3.4.-MARGEN VERTICAL ENTRE LAS RUEDAS Y EL UMBRAL PARA EL PAPI

Altura de los ojos del piloto respecto a las ruedas en configuración de aproximación(a) 1	Margen vertical deseado de las ruedas (b c) 2	Margen vertical mínimo de las ruedas (d) 3
Hasta 3 m (exclusive)	5 m	3 m (e)
Desde 3m hasta 5m (exclusive)	9 m	4 m.
Desde 5m hasta 8m (exclusive)	9 m	5 m.
Desde 8m hasta 14m (exclusive)	9 m	6 m

a Al seleccionar el grupo de alturas entre los ojos del piloto y las ruedas se consideraran los aviones unicamente que utilicen el sistema con regularidad. El tipo mas critico de dichos aviones determinara el grupo de alturas entre los ojos del piloto y las ruedas

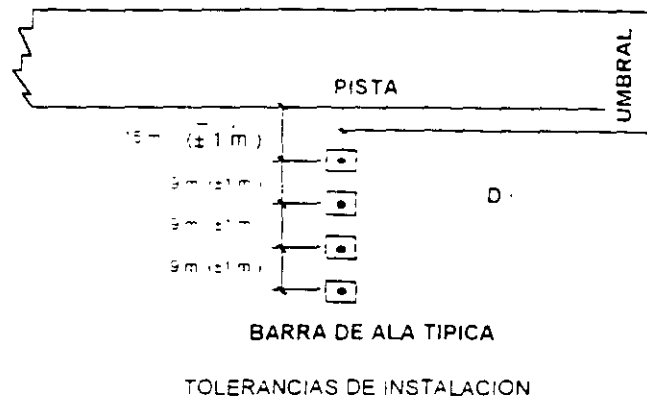
b Normalmente se proporcionaran los margenes verticales deseados de las ruedas que figuran en la columna 2

c Los margenes verticales de las ruedas de la columna 2 pueden reducirse a valores mayores a los indicados en la columna 3 siempre que un estudio aeronáutico indique que la reduccion es aceptable.

d Cuando se proporcione un margen vertical reducido de las ruedas sobre umbral desplazado, se asegurara de que se dispone del correspondiente margen vertical deseado de las ruedas de la columna 2, si un avión con los valores maximos del grupo de alturas escogido entre los ojos del piloto y las ruedas sobrevuela el extremo de la pista.

e Este margen vertical de las ruedas puede reducirsea 1 5 m en pistas utilizadas principalmente por aviones ligeros que no sean turboreactores.

Figura 3.1.-EMPLAZAMIENTO DEL SISTEMA PAPI



a) Cuando se instale un PAPI en una pista no equipada con ILS la distancia D1 se calculará para asegurar que la altura más baja a la cual el piloto verá una indicación de trayectoria de aproximación correcta (figura 3.1 ángulo B) proporciona el margen vertical entre las ruedas y el umbral especificado en la columna apropiada de la tabla 3.3 para los aviones críticos que utilizan regularmente la pista.

b) Cuando se instale un PAPI en una pista equipada con ILS la distancia D1 se calculará de modo que entre las dos ayudas se logre la mayor compatibilidad posible, teniendo en cuenta la variación de la distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena de los aviones que utilizan regularmente la pista. La distancia será igual a la que media entre el umbral y el origen real de la trayectoria de planeo ILS, más un factor de corrección por la variación de la distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena de dichos aviones. El factor de corrección se obtiene multiplicando la distancia vertical media entre los ojos del piloto y la antena de dichos aviones por la cotangente del ángulo de aproximación. No obstante, la distancia será tal que nunca el margen vertical entre las ruedas y el umbral sea inferior al especificado en la columna 3 de la tabla 3.3.

c) Para un margen vertical sobre las ruedas mayor al indicado en a), para aeronaves de tipo especial, se logra aumentando la distancia D1, ajustándose en todos los casos para compensar las diferencias de elevación entre el centro de los lentes de los elementos luminosos y el umbral.

d) Para asegurar que los elementos se monten lo más bajo posible y permitir cualquier pendiente transversal, pueden hacerse pequeños ajustes de altura de hasta 5 cm entre los elementos. Puede aceptarse un gradiente lateral no superior al 1.25% a condición de que se aplique uniformemente entre los elementos.

e) Se utilizará una separación de 6 m (±1 m) entre los elementos PAPI cuando el número de clave sea 1 o 2. En tal caso, el elemento PAPI interior se emplazará a máximo 10 m (±1 m) del borde de la pista.

Nota: al reducir la separación entre los elementos luminosos se disminuye el alcance útil del sistema.





La Longitud de los Circuitos es

$$\text{Cabecera 30 D} = 4400 \text{ metros}$$

$$\text{Cabecera 30 D} = 3860 \text{ metros}$$

$$\text{RTC1} = 2.24 \text{ Ohms/Km} \times 4.4 \text{ Km} = 9.856 \text{ ohms}$$

$$\text{RTC2} = 2.24 \text{ Ohms/Km} \times 3.86 \text{ Km} = 8.6464 \text{ ohms}$$

La potencia disipada sera  $P = R I^2$

$$\text{Cabecera 30 D} = \text{PCL} = 9.856 \text{ Ohms} \times 6^2 \text{ Amp} = 429.327 \text{ Watts}$$

$$\text{Cabecera 30 D} = \text{PCL} = 8.6464 \text{ Ohms} \times 6^2 \text{ Amp} = 376.6372 \text{ Watts}$$

Por lo tanto las cargas efectivas del circuito seran

$$\text{Cp} = 3200.00 \text{ Watts} + 429.33 \text{ Watts} + 376.64 = 4805.97 \text{ Watts}$$

Los Voltajes de operacion del Circuito sera el siguiente

El Voltaje se calcula de la expresion.  $P = V I \cos \theta$

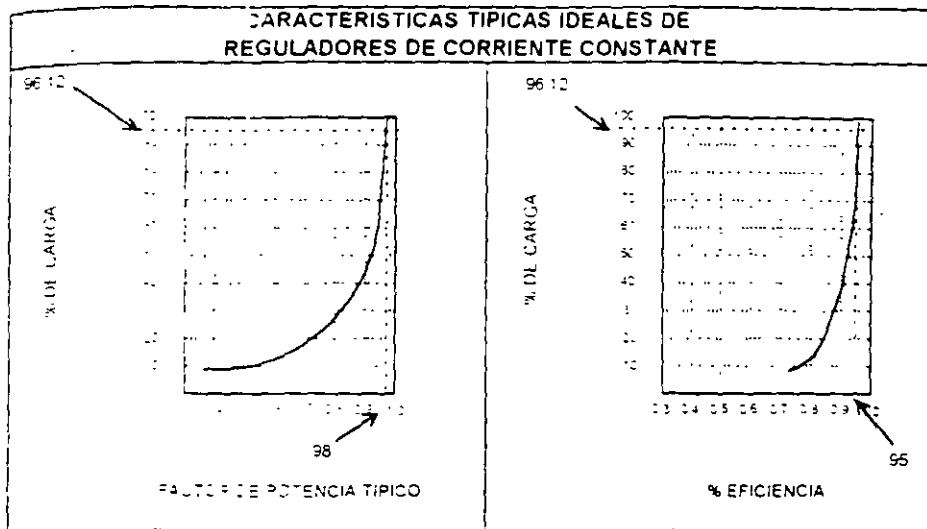
$$V = P / I \cos \theta$$

El  $\cos \theta$  es el F.P. (Factor de Potencia) lo determinamos en funcion del porcentaje de la carga de cada Regulador y el fabricante proporciona una grafica donde se relacionan ambas variables

$$\% \text{ CARGA} = \frac{\text{CARGA EFECTIVA}}{\text{POTENCIA DEL REGULADOR}} \times 100$$

CIRCUITO p

$$\% \text{ CARGA} = \frac{4805.97 \text{ Watts}}{5000.00 \text{ Watts}} \times 100 = 96.12$$



De acuerdo a las graficas anteriores obtenemos el valor del Factor de Potencia para cada circuito y lo aplicamos para obtener el Voltaje de operación de la siguiente manera

Circuito p

Carga = 4805.97 Watts

$$V = P / I \cos \theta = \frac{4805.97 \text{ Watts}}{6.6 \text{ Amp.} \times 0.98} = 743.04 \text{ Volts}$$

La Eficiencia del regulador se obtiene directamente de las graficas del fabricante, referidas a Caracteristicas Tipicas Ideales, por lo tanto:

Para el Regulador del sistema PAPI con 96.12 % de la carga la E = 95 %

### 3.5 REQUERIMIENTOS DE FABRICACION MONTAJE Y CONSTRUCCION DE ELEMENTOS AUXILIARES.

El equipo estara formado por un sistema visual indicador de pendiente de aproximación de precision de acuerdo a las Especificacion FAA-L-880 y se ajustara a lo que corresponda del Capitulo CXXIX de la parte decima de las Especificaciones Generales de Construccion de la S.C.T. Este equipo se ajustara a la siguiente descripcion:

- a) Los gabinetes cumplan con la Especificacion FAA-L-880 y tendra capacidad para alojar tres lamparas de 200 W PAR-64\_6.6 amps asi como los dispositivos para montaje y ajuste de las unidades
- b) Los transformadores de aislamiento para 200 W . circuito serie 6.6/6.6 amps estaran de acuerdo con las Especificaciones FAA-L-830\_6 con dos cables primarios y conectores unipolares y cables secundarios con conector bipolar
- c) Los conectores serie seran Especificación FAA-L-823-54-E4-E4
- d) Se debera proporcionar un juego de conexion superior e inferior especial FAA-E-1041 por cada gabinete
- e) Sistema de ajuste de nivelacion
- f) Juego completo de herramientas para montaje y ajuste
- g) Manual de mantenimiento y lista de equipo

#### 3.5.1 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES

El equipo debe diseñarse para instalacion a la intemperie y en continua operacion bajo las condiciones ambientales siguientes

- a) TEMPERATURA -Cualquier temperatura desde -35°C (clase I) o -55°C (clase II) hasta 55°C.

b) HUMEDAD -Cualquier humedad relativa incluso superior al 100%

c) ARENA Y POLVO -Para exposicion a las particulas de arena y polvo que transporta el viento

d) VIENTO-CON LLUVIA -Resistente a vientos con lluvia desde cualquier direccion

e) VIENTO -Resistente a vientos con velocidades de 161 Km/hr desde cualquier direccion

f) SALINIDAD -Resistente a la exposicion en atmosferas con alto contenido de sales

g) RADIACION SOLAR -Resistente a la exposicion solar

### 3.5.2 REQUERIMIENTOS DE UNIDADES LUMINOSAS

Unidades luminosas identicas tipo (L-880) con un equipo de calibración (el cual puede estar integrado en la unidad de iluminacion)

Requerimientos Fotometricos -Cada Unidad Luminosa tendrá como mínimo dos lamparas las cuales mostraran un haz luminoso dividido horizontalmente para producir luz blanca en el sector superior y luz roja en el sector inferior (ver figura 3.2).

Cuando sea vista por un observador a una distancia de 300 metros, la transición desde la luz roja a la luz blanca ocurrira en un ángulo de 3 minutos de arco en el centro del haz luminoso y mantendra un angulo de 5 minutos de arco como haz luminoso dividido, una línea trazada entre el centro de la banda de transición entre 10°, 0° y -10° mostrandose recta con 3 minutos de arco la figura 3.2 muestra la distribucion luminosa y la intensidad de iluminacion en candelas que requiere cada unidad

Construcción de las Unidades Luminosas.-Cada unidad de iluminación debera estar diseñada para que tanto las cargas dinamicas del viento así como las cargas estaticas de la nieve no causen un desplazamiento de la unidad. El peso de cada unidad no será superior a los 45 Kg. y no podra tener una altura mayor a 1 metro cuando tenga el peso mínimo de montaje

La unidad deberá contar con una cubierta protectora que no permita que la lluvia o la nieve desde cualquier dirección cubra los lentes ópticos

Elementos de Montaje -Las unidades luminosas tendrán un mínimo de 3 piernas de montaje ajustables de tal manera que permitan cambiar la nivelación de la unidad cuando un lado de la unidad sea instalado 25mm arriba o abajo con respecto al nivel del lado opuesto

Las piernas contarán con accesorios de montaje y ajuste construidos a base tubería conduit metálica de 2 pulgadas, coples frágiles y adaptadores reemplazables para mantenerse sobre una base de concreto. Los accesorios ajustables serán diseñados para prevenir cualquier desplazamiento del sistema óptico causado por la vibración

Dirección -La unidad luminosa será provista de elementos ajustadores integrados, los cuales permitirán variar la posición vertical del centro del haz luminoso para cualquier elevación entre 2 y 8 grados. El centro del haz luminoso está definido por la banda de transición entre la luz roja y la luz blanca. un accesorio de dirección será provisto de manera que indique el ángulo vertical del centro del haz luminoso dentro de una tolerancia de  $\pm 3$  minutos de arco. El dispositivo de dirección indica minutos de arco y tiene cuando menos una división cada 10 minutos. Alternativamente las unidades serán calibradas de fábrica para una posición de ángulo vertical siendo provisto para permitir el ajuste en campo obteniendo el ángulo deseado con una precisión de  $\pm 3$  minutos. El fabricante deberá proporcionar un procedimiento para comprobar la calibración de la dirección en campo

Dispositivo Protector de Dirección -La unidad deberá contar con un sistema preventivo contra un cambio en la inclinación vertical de la unidad cuando esto suceda, dicho sistema preventivo se accionará para desenergizar las lámparas del sistema cuando el patrón óptico de una unidad luminosa inadvertidamente baje entre  $1/4$  y  $1/2$  grado, o suba entre  $1/2$  y 1 grado con respecto a la dirección angular prefijada, este dispositivo preventivo tendrá un retardador de tiempo de 10 a 30 segundos, esto prevendrá la activación intermitente del dispositivo por efectos de cualquier vibración

El dispositivo protector de dirección tendrá una operación que extinga la falla tanto en una mala función del dispositivo incluyendo la pérdida de potencia de alimentación desenergizando el sistema PAPI por completo

### 3.5.3 SUMINISTRO DE ENERGIA Y SISTEMAS DE CONTROL

#### A) -Sistemas tipo A

Los circuitos requeridos para las funciones descritos en este párrafo, pueden englobarse en una unidad separada de potencia y control o pueden ser incorporadas en uno de los gabinetes de las unidades de iluminación

Si se incorpora a un gabinete de iluminación el peso de la unidad combinada no deberá exceder los 68 Kg.

#### I.-Regulación de Voltaje

El PAPI puede ser diseñado para cualquier servicio de corriente alterna monofásica de voltaje menor a 600 Volts

Un interruptor del circuito será provisto para cortar la alimentación y dar mantenimiento a esta.

El sistema deberá ser ajustable de tal manera que el voltaje pueda oscilar en un  $3\% \pm$  de su valor de diseño entre cada paso de brillantez cuando ocurran las siguientes condiciones:

- 1 -Cuando el voltaje alimentador se desvíe encima del  $10\% \pm$  de su valor nominal.
- 2 -Cuando las unidades individuales de iluminación estén espaciadas a 3 y 10 metros una de otra
- 3 -Cuando el suministro de energía se localice a 30 metros de las unidades de iluminación más cercanas

## II Sistemas de Control

Quando se tenga un sistema de control automatico a base de un sistema de Control Fotoelectrico el cual sera provisto para encender a su intensidad maxima el sistema durante el dia, y reducirlo por la noche. En el dia sera activado cuando la iluminacion de la fotocelda alcance los 50 a 60 candelas, y por la noche sera activado cuando la iluminacion caiga entre 25 y 35 candelas.

Un relevador de tiempo sera incorporado para prevenir el encendido del sistema con poca visibilidad ocasionada por brumas temporales.

En caso de una falla del control fotoelectrico el sistema se revertirá a baja intensidad. Dos elementos de intensidad nocturna de aproximadamente 5 y 20 % de la intensidad total seran provistos para permitir la seleccion de cualquiera de los dos para adaptarse a las condiciones de iluminacion extraña.

Quando el sistema es energizado inicialmente y la fotocelda detecta luz de día, el punto de baja intensidad sera seleccionado por 2 o 3 segundos antes de encenderlo a alta intensidad.

## III) Supresion de Transitorios

Para equipos de estado sólido la supresion de transitorios se efectuara por dispositivos con capacidad para captar una onda de corriente de 15 000 amp. Por un tiempo de 10 o 20 microsegundos con la subsecuente corriente de descarga y una onda de voltaje de 10 Kv/mseg.

El sistema resistira también sin daño la aplicación repetida de un transitorio subsecuente en las líneas de alimentación igual a 500 Volts x 50 milisegundos.

## IV) Proteccion de Lamparas

La falla de una o mas lamparas no debera causar algun sobre-voltaje o transitorio que cause cualquier daño a las otras lamparas.

### **B Sistema de Estro B**

Este sistema opera directamente desde un circuito de alumbrado en serie teniendo un rango de corriente de 2.8 a 6.6 amp. Las lamparas a utilizarse seran compatibles para utilizarse con transformadores de aislamiento, considerando que los componentes del circuito de alumbrado en serie podran ser intercambiables

Las partes metalicas expuestas tales como gabinetes y accesorios de soporte, deberan estar conectadas a tierra

En el caso de este aeropuerto se instalara en la torre de control una consola de control remoto la cual podra encender o apagar el sistema para cualquier cabecera o en ambas y aumentar o disminuir la intensidad de brillantez de acuerdo con las condiciones de visibilidad. La alimentacion del sistema sera a base de dos circuitos serie (uno para cada cabecera) que se encargaran de entregar una intensidad de corriente constante con 5 pasos de brillantez, desde 2.3 hasta 6.6 amp suministrada por un regulador de C.C. de 4 KW controlado por la consola antes mencionada ver plano AV-03

La proteccion del sistema contra transitorios y descargas es provista por el Regulador de C.C. ver capitulo 5.

#### **3.5.4.-ACABADO DEL EQUIPO.**

El exterior de todas las unidades deberan ser de color naranja brillante o amarillo para maximizar la visibilidad del equipo.

Todas las partes y materiales deberan ser reemplazables por un propósito determinado y seran protegidas contra la corrosion. Los componentes especificados con una capacidad adecuada no deberan ser sometidos a operacion que exceda estos valores que recomienda el fabricante cualquier componente de plástico utilizado en el equipo será construido con un material resistente a los rayos solares ultra violeta. Todas las cerraduras y broches seran de un material resistente a la corrosion.



Los metales ferrosos deberán estar galvanizados o contar con otra protección similar contra la corrosión

### **3.5.5 MANTENIMIENTO Y FABRICACION.**

Todos los componentes del sistema deberán estar diseñados para facilitar el mantenimiento el cual se podrá hacer cada 6 meses (sin incluir las lámparas) El diseño del sistema será tal que el ajuste y reparación del mismo se pueda hacer con herramientas disponibles en el mercado Si se requieren herramientas especiales para servicio serán proporcionadas por el fabricante

El equipo deberá ser fabricado por personal altamente calificado, el cableado será instalado por canalizaciones libres de impurezas y estará debidamente amarrado todas las aristas filosas y las rebabas de metal serán removidas las superficies pintadas estarán libres de impurezas burbujas o raspaduras

### **3.5.6 MANUAL DE INSTRUCCIONES**

El manual de instrucciones Conteniendo la siguiente información será proporcionado con cada sistema.

A -Diagramas esquemáticos del sistema completo y diagramas de cableado mostrando todos los componentes referenciados con la lista de partes.

B -La lista completa de partes con los rangos de aplicación y características de cada parte y con el nombre del fabricante de cada parte y el número de parte

C -Instructivo de instalación incluyendo la inclinación, calibración del sistema de inclinación, enfoque y ajuste del interruptor de inclinación

D - Instructivo de Mantenimiento Incluye procedimiento de sustitucion de lamparas teoria de operacion y guias de reparacion

E -Instructivo de Operacion

### 3.5.7 REQUERIMIENTOS DE APROBACION

Las siguientes pruebas podran realizarse con la potencia suministrada a una sola unidad de iluminacion con las otras unidades simuladas por una carga resistiva

#### Examen Visual

El equipo sera examinado en concordancia con los requerimientos de tamaño, peso materiales acabados y calidad de la mano de obra

#### Prueba de Alta Temperatura

El equipo podra exponerse a una temperatura estable de  $55^{\circ}\text{C}(\pm 5^{\circ}\text{C})$  por un periodo de 4 horas posterior a la estabilizacion de la temperatura, el sistema podra ser operado durante la prueba cualquier deterioro en los materiales o en la ejecucion sera causa de falla de la prueba.

#### Prueba de baja Temperatura

El equipo podra exponerse a una temperatura estable de  $-35^{\circ}\text{C}$  (para sistema clase I) o  $-55^{\circ}\text{C}$  (para sistema clase II) por un periodo de 24 horas, el sistema podra ser operado durante la prueba cualquier deterioro en los materiales o en la ejecucion sera causa de falla de la prueba

#### Prueba de la Lluvia

La lluvia sera a razon de 130 mm /Hr con un tiempo de exposicion de 30 minutos por lado

El sistema sera operado durante la prueba cualquier deterioro de la ejecucion del sistema o una acumulacion excesiva de agua en los gabinetes del equipo sera causa de falla de la prueba

#### Prueba de Niebla Salina

Una prueba de niebla salina sera ejecutada sometiendo el equipo a una atmósfera humedo-salina durante 48 horas y dejando secar en 48 mas. Cualquier evidencia de daño oxidacion picado o corrosion (excepto para sacrificar cubiertas) sera causa de la falla de la prueba

#### Prueba de Resistencia al Viento

El fabricante demostrara en una prueba de tunel de viento o carga estatica, que el sistema resistira la carga del viento especificada (vientos con velocidades de 161 Km/hr.) desde cualquier direccion en azimut sin desplazarse del padron optico mas de lo permitido en la prueba de rigidez

#### Prueba de Fragilidad

El fabricante debera demostrar que la fragilidad de las piernas de montaje es equivalente a aquella de un cople fragil de 50mm

#### Prueba de Supresion de Transitorios

Para losa Sistemas de tipo A con componentes de estado sólido las línea de alimentacion deberan ser probadas para resistir los sobre voltajes transitorios de 10 KV. Despues que los transitorios han sido aplicados al sistema debera continuar alimentando el voltaje especificado a los sockets de las lamparas

#### Pruebas Fotometricas

El fabricante debera conducir una prueba fotometrica para probar que la concordancia con el color la intensidad, el patron del haz especificados en los requerimientos fotométricos.

Todas las lamparas utilizadas para la prueba fotometrica serán seleccionadas aleatoriamente del lote de producción (si esta disponible) Un conjunto completo de pruebas fotometricas seran ejecutadas en las lamparas seleccionadas. La intensidad a lo largo de los

Los ejes vertical y horizontal sera verificado en dos juegos de lamparas adicionales para demostrar la reproducibilidad de las características requeridas. Si se requiere reentoque despues de reemplazar las lamparas se debera hacer de acuerdo con los procedimientos recomendados para demostrar que los requerimientos fotometricos se cumplen. Antes de la prueba el equipo de la prueba debera ser calibrado de acuerdo con la norma norteamericana IES TRANSACTION LM - 35. Las mediciones deberan hacerse a una distancia suficiente para permitir el completo entoque del haz.

#### Prueba de Rigidez

Una carga uniformemente distribuida (arena u otro material similar) de 73 Kg./m<sup>2</sup> podra se aplicada sobre la superficie total de la unidad de iluminación.

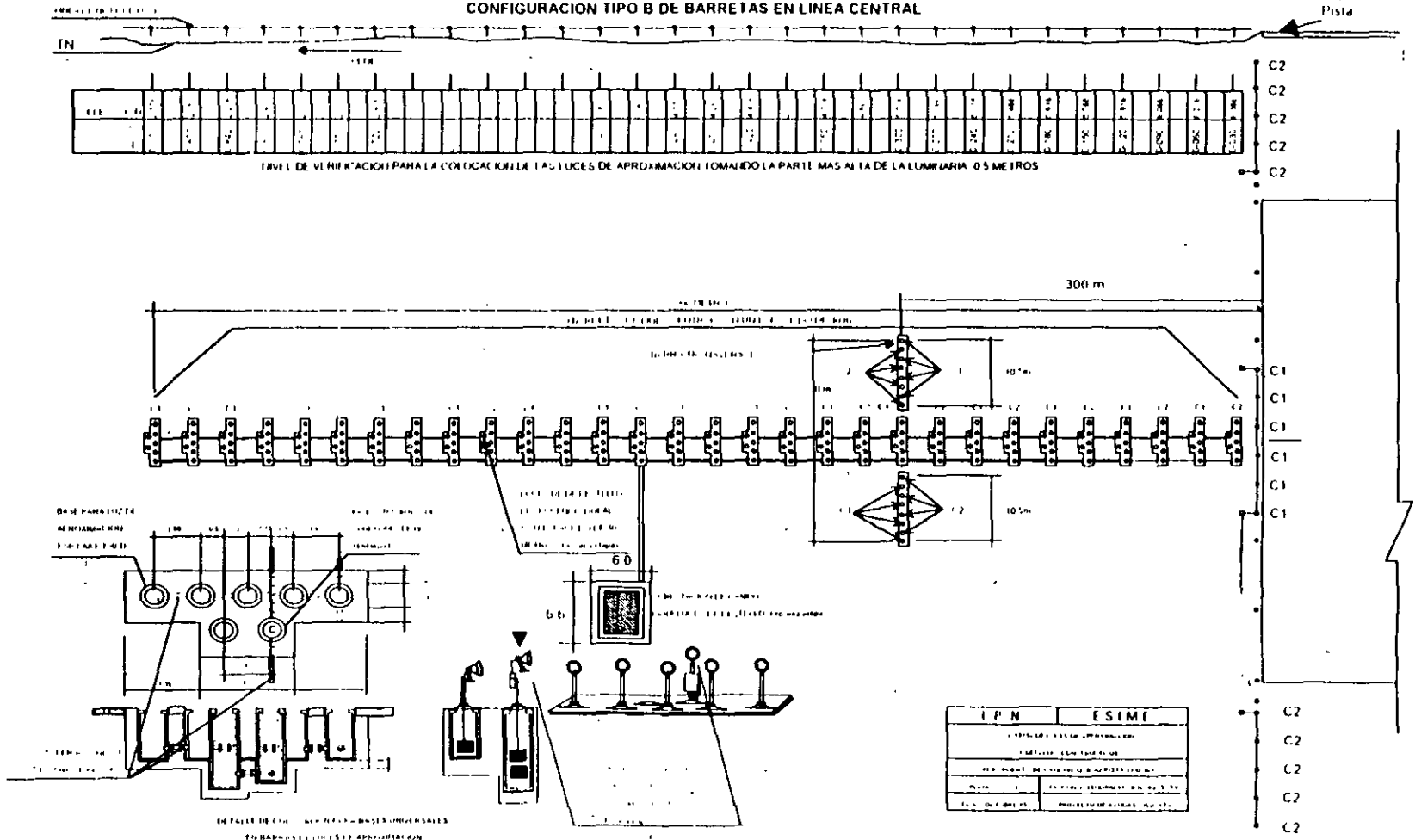
#### Reglaje del angulo de elevacion

Posterior a la instalacion y calibración de los elementos del sistema la verificación del angulo de elevacion del sistema sera efectuado por la S C T a traves del avión verificador.

### 3.5.8 CIMIENTOS PARA SISTEMAS VISUALES INDICADORES DE PENDIENTE DE APROXIMACION DE PRECISION ( PAPI )

Sera de concreto con una resistencia de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$  y vanilla de  $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$ ; se fijaran anclas que deberan quedar perfectamente colocadas y niveladas; el espesor de la losa, el armado y la colocacion de anclas debera ser tal como se indica en el proyecto ( plano AV-03 ). Los registros seran bases universales L-850 galvanizadas por inmersión en caliente tipo I de 40.64 cm de diametro ( 16" ) por 61 cm ( 24" ) de profundidad con tapa ciega, de placa de Fe rotada en frio de 3/8" de espesor maquinada en una cara para recibir el empaque de neopreno de 3.15 mm de espesor, 40 mm de ancho y 40.64 cm ( 16" ) de diametro, protegida con dos manos de pintura de la mejor calidad para uso exterior color naranja aeronáutico, sujetandose con tornillos y arandelas plana y de presion cadminizadas de 25.4 mm ( 1" ) y 9.53 mm ( 3/8" ) de diametro para la colocacion de las anclas, deberán emplearse los tubos de concreto de 30 cm de diametro indicados en el proyecto.

DETALLE 1 - SISTEMA DE LUCES DE APROXIMACION DE PRECISION CATEGORIA I  
 CONFIGURACION TIPO B DE BARRETAS EN LINEA CENTRAL



NIVEL DE VERIFICACION PARA LA COLOCACION DE LAS LUCES DE APROXIMACION TOMANDO LA PARTE MAS ALTA DE LA LUMINARIA 0.5 METROS

300 m

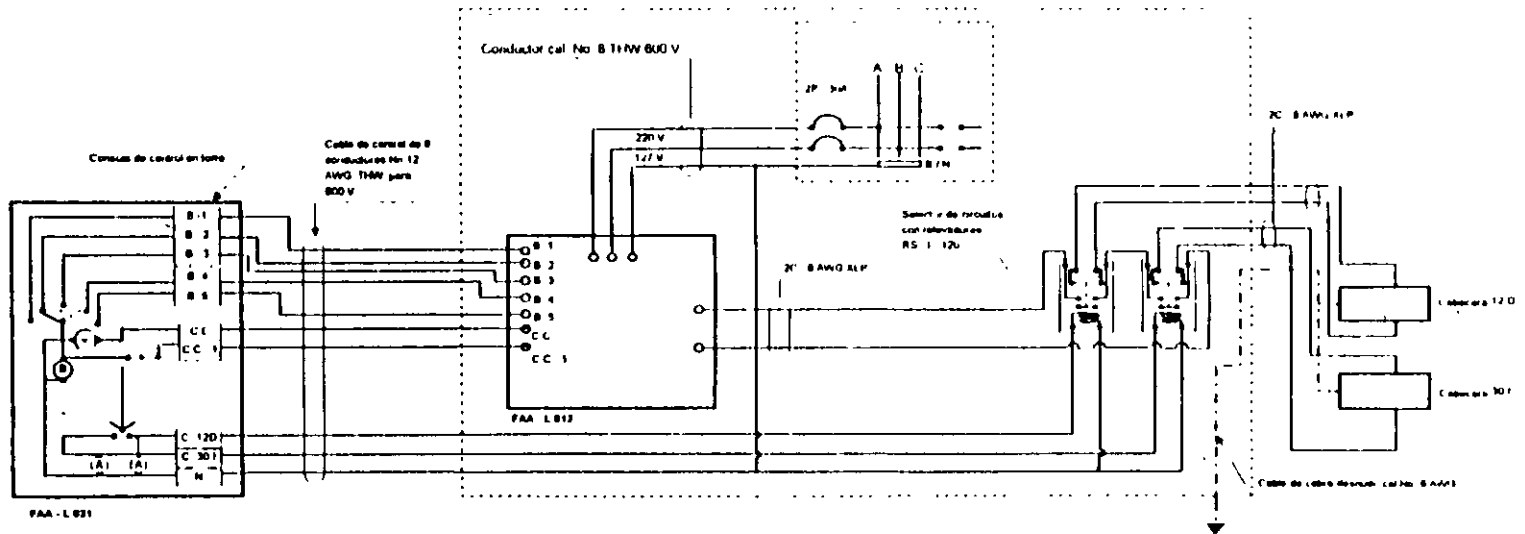
BASE PARAMETRICA  
 ANCHURA: 1.00 m  
 ALTURA: 0.50 m  
 DISTANCIA ENTRE LUCES: 0.50 m

DETALLE DE C1 - BARRAS Y BASES INMERSAS  
 PARA BARRAS Y BASES INMERSAS

IPN	ESIME







COMPLEMENTO DE PLANO AV-03  
 DIAGRAMA DE CONTROL DEL SISTEMA PAPI

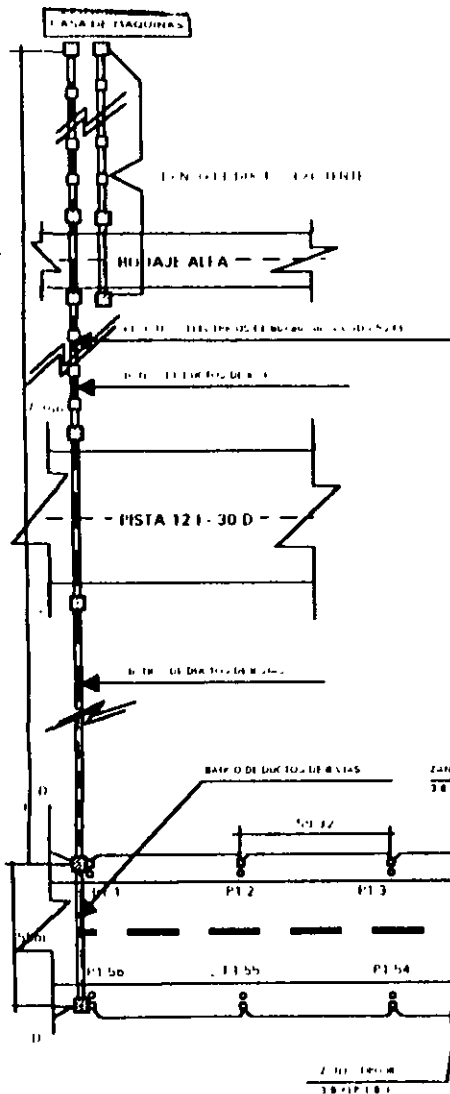




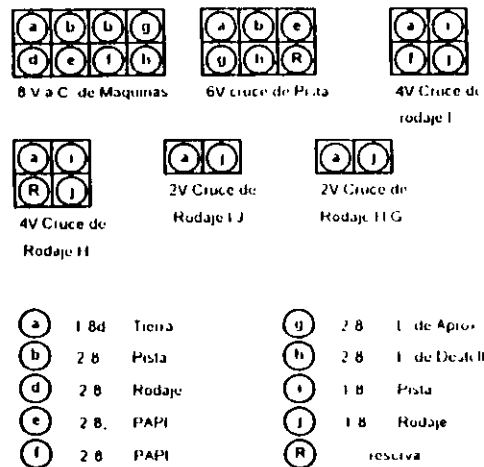




DISTRIBUCION DE LAMPARAS DE BORDO DE PISTA,  
Y ALIMENTACION A CIRCUITOS DE AYUDAS VISUALES



BANCO DE DUCTOS



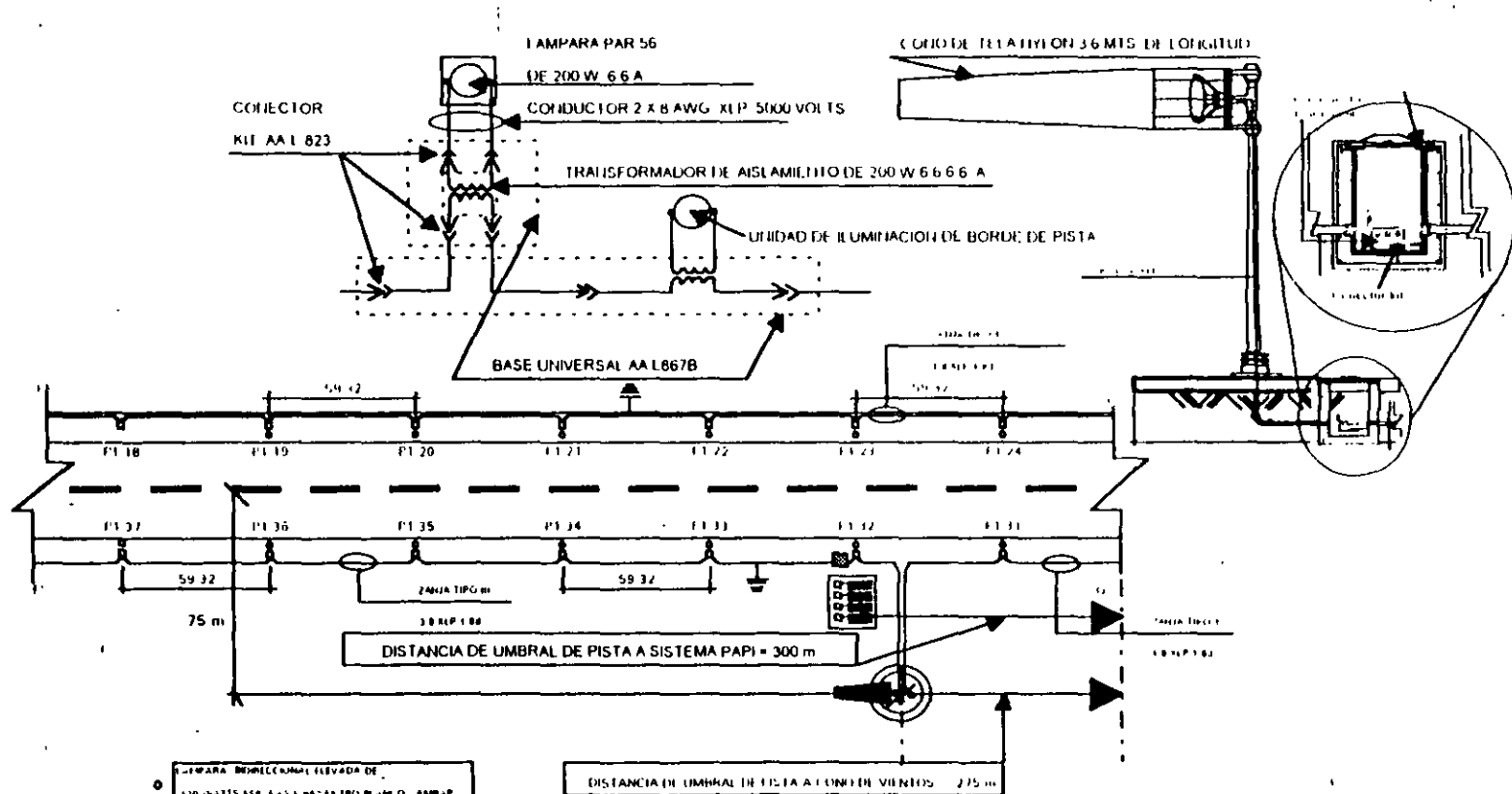
SIMBOLOGIA

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

I. P. N.	FECHA DE ENTREGA DEL DISEÑO	ESIME
ANEXO A LA AYUDA VISUAL DE AYUDAS VISUALES, DISTRIBUCION DE LAS LAMPARAS DE BORDO DE PISTA		
AEROPUERTO DE CANCUN, RUMBO A LA CIUDAD DE MERIDA		
147	FECHA: AV. 86	MAQUINISTA: HERRERA, J. J.
	FECHA: OCTUBRE 55	INGENIERO DE AYUDAS VISUALES



**DISTRIBUCION DE LAMPARAS DE BORDE DE  
PISTA, UBICACION DE SISTEMA PAPI Y CONO DE  
VIENTOS ILUMINADO EN CABECERA 301**



- LAMPARA OMNIDIRECCIONAL ELEVADA DE 45
- 220 WATTS ESP. PAR 56 EN TUBO BUNDO AMBAP
- LAMPARA OMNIDIRECCIONAL RAZANTE DE 200 WATTS
- ESP. PAR 56 EN TUBO VERDE NIQUILAZANTE
- LAMPARA OMNIDIRECCIONAL ELEVADA DE 45
- 200 WATTS ESP. PAR 56 EN TUBO AZUL
- BASE UNIVERSAL E.P. AA L 667 PARA ALOJAR
- TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO
- CABLE XLP P. RA 500 VOLTS (2) X 8 AWG
- UNIDAD (AMBIENTE INTERIOR) ESP. AA L 672
- REGISTRO ELECTRONICO DE 60 X 80 X 80 CM
- P. H. LAMPARA DE P1 18 - 14 - UNIDAD FUENTE
- M. T. 301 DE QU. T. 11 2 - 11 - 101 M. T. DE
- P. H. ESP. PAR 56 EN TUBO

<b>I P. N</b>		<b>ESIME</b>	
PLANTA DE DISTRIBUCION DE			
DE TUBO CONO DE ILLUMINACION DE VIENTOS, CONO DE ILLUMINACION			
ALREDEDOR DE LA CABECERA DE LA PISTA			
PLANO AV 006		MAYO DE 1964	
FECHA DE ELABORACION		DISEÑADO POR G. A. VILLALBA	



SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION Y CONSERVACION  
GERENCIA DE OBRAS Y CONSERVACION

EL USO DEL "MEGGER" EN EL MANTENIMIENTO DEL CIRCUITO SERIE DE LUCES EN EL AEROPUERTO.

Quizá el más efectivo consejo factible a la técnica de iluminación, para el mantenimiento del sistema de luces es el "MEGGER". Este instrumento mide las resistencias de aislamiento del cable XLP, 5KV, en un circuito serie. Es simple de operar, versátil y relativamente barato. La mayoría de los problemas en el sistema de alumbrado de un Aeropuerto aparecen en circuitos fundamentales. Cuando las pruebas de un circuito muestran resistencia decreciente.

La base es indicada en el circuito de tierra. Lecturas periódicas "MEGGER" del sistema, por tanto, prevén un caos de problemas potenciales y permiten su corrección antes de que ocurra una falla en el sistema. Para revisar la resistencia del circuito con un megger solo es necesario:

- 1.- Apagar la corriente del regulador.
- 2.- Desconectar los cables del circuito serie del regulador.
- 3.- Conectar una punta del megger dirigido a la serie de cables.
- 4.- Conectar la otra punta del megger dirigido a tierra.
- 5.- Accionar la palanca del megger y leer la resistencia.

El megger puede usarse para localizar una falla o tierra en el circuito esto puede conseguirse como sigue:

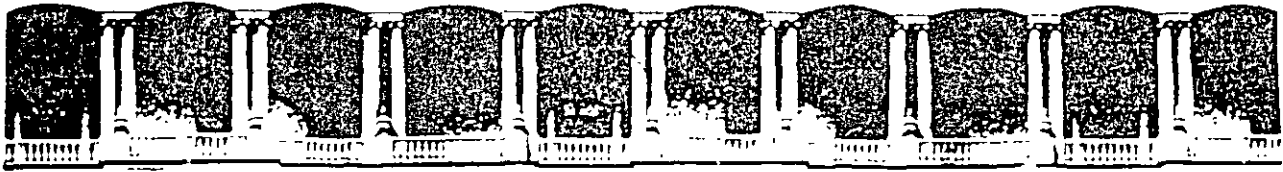
- 1.- Desconéctese la serie de cables dirigidos al regulador.
- 2.- Abrase el principal de cada lado de un transformador de aislamiento localizado mas o menos a la mitad del circuito y aislense estos principales dirigidos hacia tierra.
- 3.- Conectese una punta del megger dirigido a tierra.



- 4.- Conectese la otra punta del **megger** dirigido a un lado de el cable del circuito serie.
- 5.- Hagase la lectura del **megger**.
- 6.- Repitanse los pasos 4 y 5 para el otro lado del cable.

La comparación de las lecturas **megger** revelara el lado del circuito donde se encuentra el problema (suponiendo que sólo haya una averia en el circuito)

Repitiendo el proceso antes mencionado, y dividiendo a la mitad, cada "**lado problema**" del circuito, la porción del cable que es fundamental, puede ser aislada facilmente.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

XXVI CURSO INTERNACIONAL DE INGENIERIA DE  
AEROPUERTOS

MODULO II

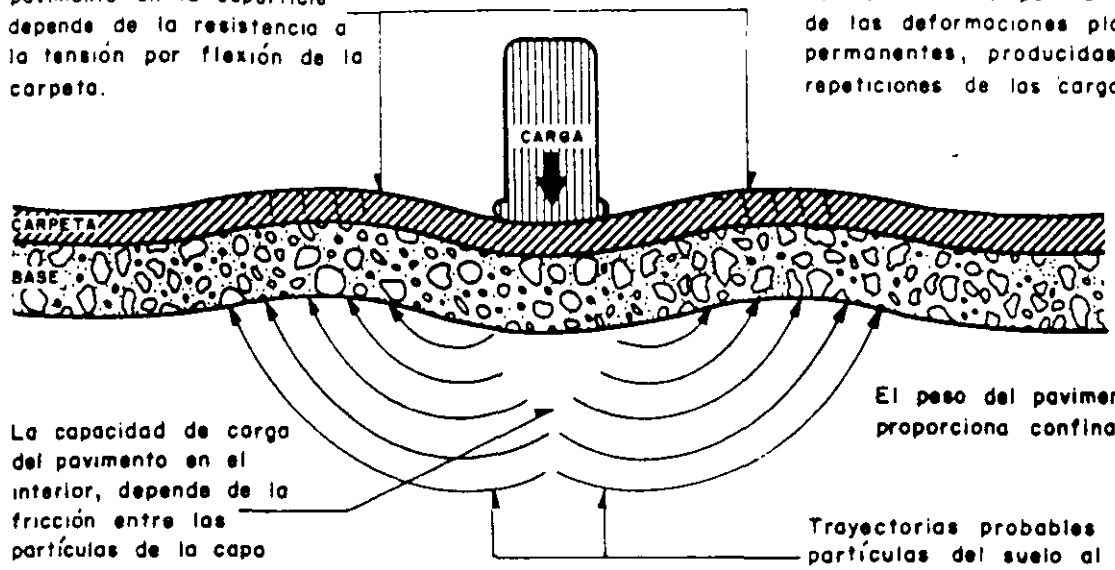
Del 31 de agosto al 30 de octubre de 1998.

*Proyecto de Aeropuertos*

Ing. Sosa Garrido.  
Palacio de Minería  
1998.

La capacidad de carga del pavimento en la superficie depende de la resistencia a la tensión por flexión de la carpeta.

Los pavimentos asfálticos fallan estructuralmente por la acumulación de las deformaciones plásticas o permanentes, producidas por las repeticiones de las cargas.



La capacidad de carga del pavimento en el interior, depende de la fricción entre las partículas de la capa subrasante.

El peso del pavimento proporciona confinamiento

Trayectorias probables de las partículas del suelo al producirse la falla.

Fig. 6.3 Modelo de falla estructural de un pavimento asfáltico

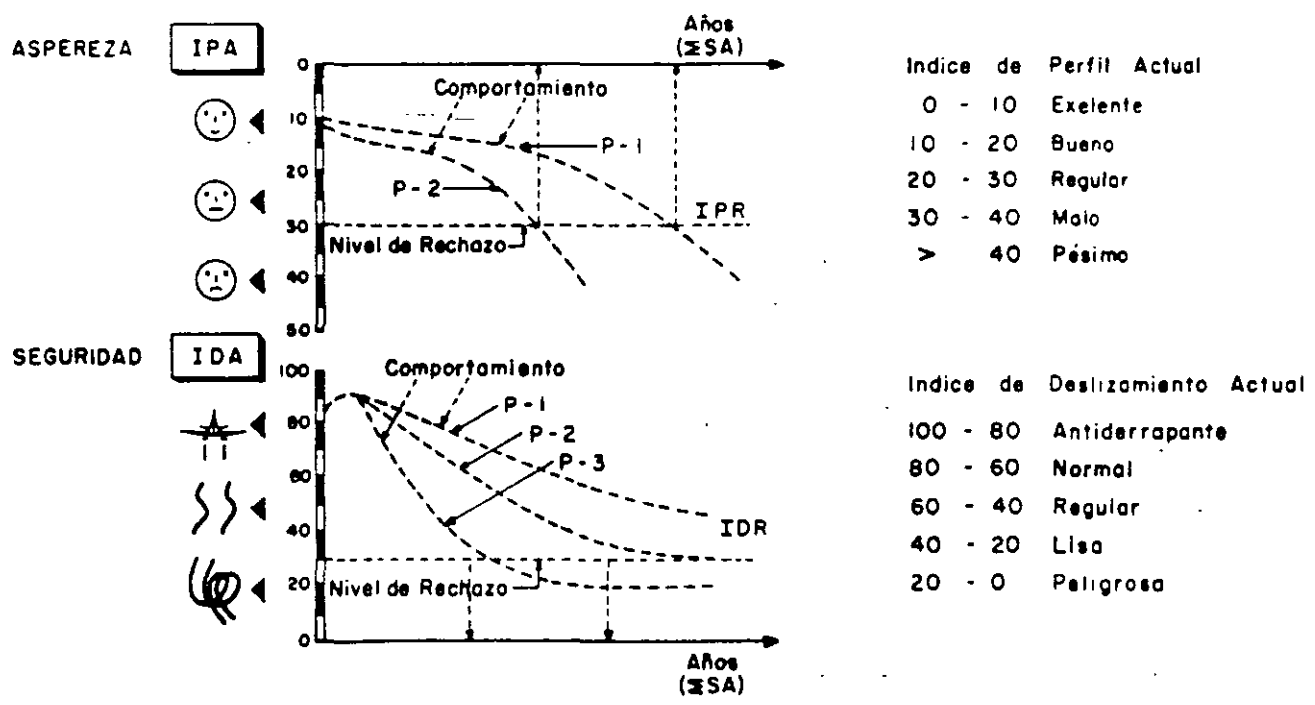


Fig. 6.4 Modelos de falla funcional de pavimentos (Análisis de comportamiento superficial)

Fig. 6.5 DIAGRAMA DEL PMS PARA AEROPISTAS

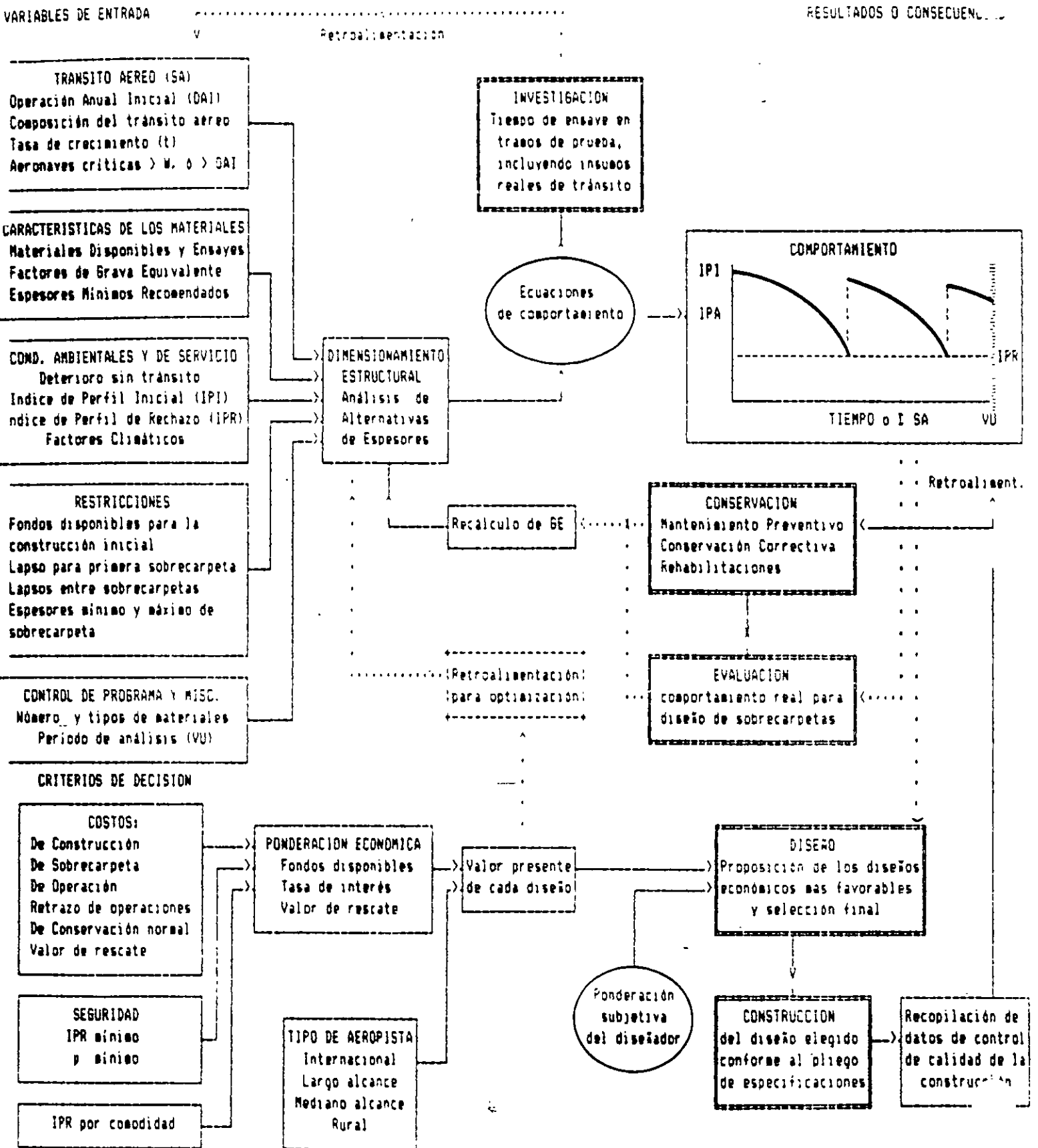
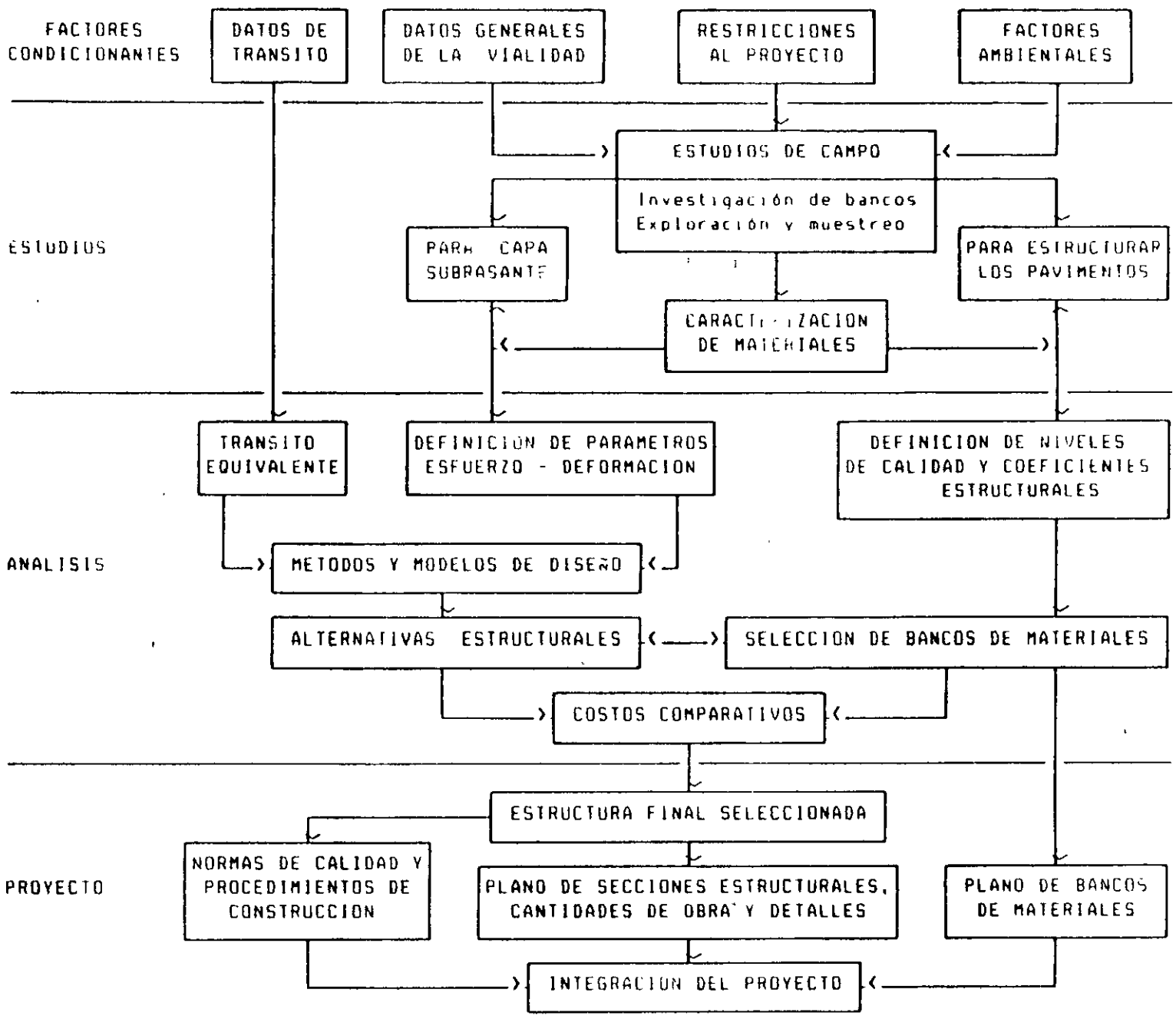


Fig.66 PROCESO PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS



6.9



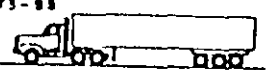
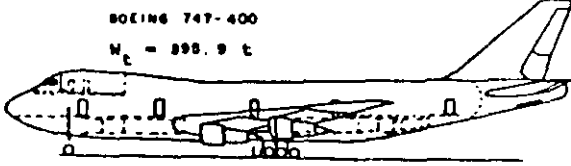
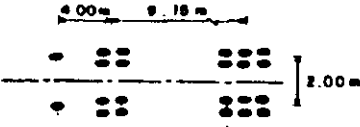
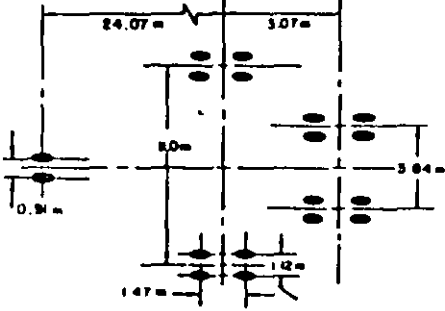
FACTORES		CARRETERAS	AERODROMOS
Magnitud de las cargas	por elemento, en t por rueda, en t	0.8 a 22.5, por eje 0.4 a 5.0, por rueda	0.24 a 95.42, por pierna 0.24 a 23.90, por pierna
Presión de inflado máxima		5.8 kg/cm <sup>2</sup>	15.9 kg/cm <sup>2</sup>
Vehículo tipo	más ligeros	 Peso total $M_c = 2$ t	 $M_c = 0.48$ t
	más pesados	 $M_c = 59$ t	 $M_c = 398.9$ t
Configuraciones y disposiciones más críticas de las llantas			
Número de elementos de descarga		de 2 a 6 ejes (4 a 12 ruedas)	de 3 a 5 piernas (3 a 18 llantas)
Elemento de diseño		Eje sencillo de 8.2 t; $P_c = 5.8$ kg/cm <sup>2</sup>	Aeronave más frecuente (OA1) o con peso por llanta mayor (Wr)
Velocidad máxima de circulación		150 kph	300 kph
Efecto del impacto		Hasta dos veces la carga estática	Intrascendente
Vida útil normal de proyecto		15 años (pavimento asfáltico) 30 años (pavimento de concreto)	20 años (pavimento asfáltico) 20 años (pavimento de concreto)
Geometría de rodamiento		2.75 m a 3.65 m, por carril	23 m, rodajes; 45 m, aeropistas; > 80 m plataformas
Frecuencia de cargas	por capacidad acumuladas	hasta 2000 automóviles por hora $10^5$ a $10^6$ ejes estándar de 8.2	de 45 a 99 operaciones por hora $25 \times 10^4$ a $5 \times 10^5$ salidas de la aeronave de diseño
Banda crítica de rodamiento		de 20 a 70 cm de la orilla externa	en la franja central de 15 m de ancho de los rodajes

TABLA . CARACTERISTICAS DE AERONAVES COMERCIALES USUALES EN EL DISEÑO Y  
EVALUACION DE PAVIMENTOS DE AEROPISTAS

Aeronave tipo	Peso bruto $W_b$ (t)	Disposición y número de ruedas	Carga por pierna $W_p$ (t)	Presión de neumáticos $P_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Area de contacto $A_c$ (cm <sup>2</sup> )	Separación de ruedas (cm)		
						S	St	Sd
DC-3	11.4	2, sencilla	5.35	3.2	1672	-	-	-
DC-6/A/B	48.5	4, gemelas	21.35	7.4	1443	78	-	-
DC-9/15	41.5	4, gemelas	19.18	9.1	1054	61	-	-
DC-9/21	45.8	4, gemelas	21.62	10.0	1081	64	-	-
DC-9/41	52.2	4, gemelas	24.33	11.2	1086	66	-	-
B-737/300	62.8	4, gemelas	28.89	13.4	1078	86	-	-
DC-9/80	64.0	4, gemelas	30.57	11.7	1306	71	-	-
A-320/100	66.4	4, gemelas	30.88	11.9	1297	93	-	-
B-727/100	77.1	4, gemelas	34.85	11.4	1515	86	-	-
B-727/200N	78.5	4, gemelas	36.25	11.7	1549	86	-	-
B-727/200P	95.3	4, gemelas	43.91	11.7	1877	86	-	-
B-757/200	109.3	8, bogie	49.52	12.3	1007	86	114	143
B-767/200	141.5	8, bogie	63.37	12.9	1290	114	142	182
B-707/320B	148.8	8, bogie	68.44	12.7	1353	88	142	167
A-300/B4	150.9	8, bogie	69.41	14.1	1231	93	140	168
B-767/200ER	159.7	8, bogie	71.52	13.1	1365	114	142	182
DC-8/63	162.4	8, bogie	77.30	13.7	1411	81	140	162
Concorde	185.1	8, bogie	88.80	12.9	1721	68	187	180
LC-10/10	196.4	8, bogie	92.61	13.0	1781	137	163	213
LC-10/30	253.1	8, b + 2, g	95.42	12.0	1988	137	163	213
B-747/100B	341.6	16, bogie	78.90	13.4	1470	112	147	185
B-747/200B	352.9	16, bogie	83.28	13.9	1497	112	147	185
B-747/400	395.9	16, bogie	92.75	14.8	1567	112	147	185

A. DATOS

B. ANALISIS

6.18

AERONAVE MODELO	TREN TIPO	PESOS (t)			TRANSITO		PASADAS ANUALES P/Y	AERONAVE + FREC		AERONAVE + PESADA		AERONAVE DC-10-30	
		Wb BRUTO	Wp PIERNA	Wr RUEDA	OA1	r, %		CTYP-?	PEQ	CTYP-?	PEQ	CTYP-?	PEQ
DC-3-B	TYP-2	11.30	5.35										
DC-6A/B	TYP-4	48.50	21.35										
B-7-21	TYP-4	45.80	21.60										
DC-9-41	TYP-4	52.20	24.33	12.17	830	10	1804	1804	465	1082	158	1082	147
DC-9-81	TYP-4	64.00	30.57	15.29	840	7	1722	1722	937	1033	281	1033	259
B-727-100	TYP-4	77.10	34.85		0	0							
B-727-200N	TYP-4	78.50	36.25	18.13	960	7	1968	1968	1968	1181	523	1181	476
B-727-200P	TYP-4	95.30	43.91		0	0							
B-757-200	TYP-8	109.30	49.52		0	0							
B-767-200	TYP-8	141.50	63.37		0	0							
B-707-320B	TYP-8	148.80	68.44		0	0							
DC-8-63	TYP-8	162.40	77.30		0	0							
CONCORDE	TYP-8	185.10	88.80		0	0							
DC-10-10	TYP-8	196.40	92.61	23.15	365	8	835	1392	3572	835	835	835	795
DC-10-30	TYP-8	253.10	95.42		0	0							
B-747-100B	TYP-8	334.70	77.33		0	0							
B-747-200B	TYP-8	352.90	83.28	20.82	365	4	543	906	1476	543	392	543	350
B-747-400	TYP-8	395.90	92.75		0	0							
SUMAS					3160		6872	7791	8419	4675	2190	4675	1995

FORMULAS:

$P/Y = (OA1/20) \times [(1+r/100)^P - 1] \div r/100$

CONVERS DE (TYP-4) A (TYP-8): 0.6 ---» CTYP

$PEQ = \text{Antilog} [ \log CTYP \times \sqrt{(Wr \div Wrad)} ]$

AERONAVE

+ FREC?

OA1

960

+ PESADA?

RUEDA

Wrad 23.15

ESPECIAL

TIPO

TYP-4

TIPO

TYP-8

TYP-8

Wrad

MODELO

B-727-200N

MODELO

DC-10-10

DC-10-30

RUEDA

18.13

RUEDA

23.15

23.86

OA1

960

OA1

365



## AEROPUERTO:

## A. DATOS

## B. ANALISIS

AERONAVE MODELO	TREN TIPO	PLSOS (t)			TRANSITO		OPERACS 20 años OPT	FRC TAXI WAY	REPETCS REALES	
		Wb BRUTO	Wp PIERNA	Wt TREN	INICIAL DAI	r, %				
DC-3 o <	TYP-2	11.40	5.35	10.70	0	0		0.12		
DC-6A/B	TYP-4	48.50	21.35	42.70	0	0		0.40		
DC-9-21	TYP-4	45.80	21.60	43.20	0	0		0.40		
DC-9-41	TYP-4	52.20	24.33	48.66	630	10	36,083	0.41	14794	
DC-9-81	TYP-4	64.00	30.57	61.14	840	7	34,436	0.41	14119	
B-727-100	TYP-4	77.10	34.85	69.70	0	0		0.41		
B-727-200N	TYP-4	78.50	36.25	72.50	960	7	39,356	0.41	16136	
B-727-200P	TYP-4	95.30	43.91	87.82	0	0		0.41		
B-757-200	TYP-8	109.30	49.52	99.04	0	0		0.83		
B-767-200	TYP-8	141.50	63.37	126.74	0	0		0.83		
B-707-320B	TYP-8	148.80	68.44	136.88	0	0		0.83		
DC-B-63	TYP-8	162.40	77.30	154.60	0	0		0.83		
CONCORDE	TYP-8	185.10	88.80	177.60	0	0		0.83		
DC-10-10	TYP-8	176.40	92.61	185.22	365	8	16,703	0.57	9521	
DC-10-30	TYP-8	253.10	75.42	190.84	0	0		0.58		
747-100B	TYP-8	334.70	77.33	309.32	0	0		0.58		
747-200B	TYP-8	352.90	83.28	333.12	365	4	10,869	0.58	6304	
B-747-400	TYP-8	395.90	92.75	371.00	0	0		0.58		
		SUMAS				3160		137447		60874

bancos de materiales para constituir los pavimentos.

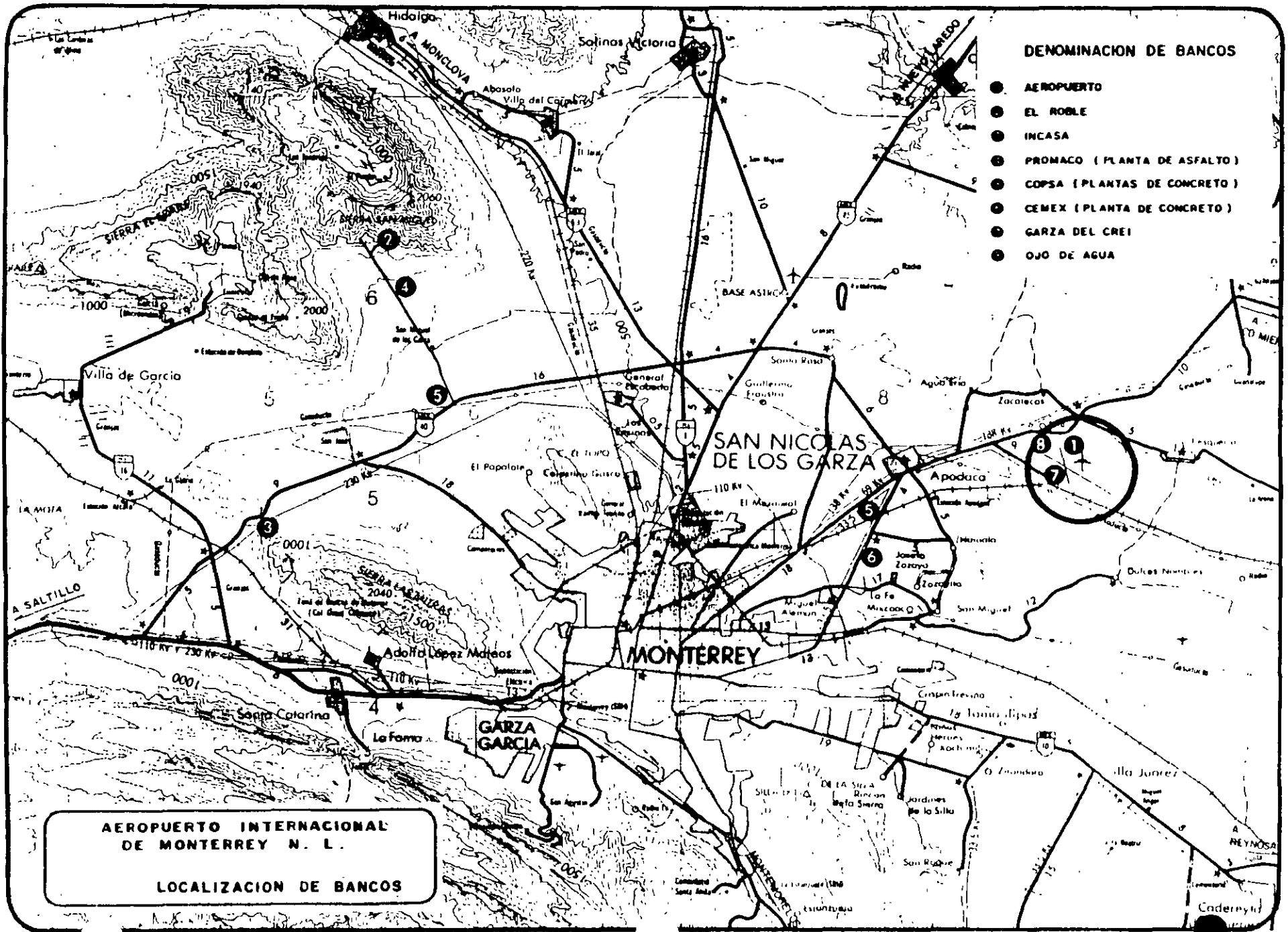
Una vez definir el sitio donde ha de emplazarse el aeródromo en proyecto y previamente a los estudios de campo, conviene contar con planos topográficos del área, así como con mapas geológicos de la región (fig. 6.11) y, si es posible, con un inventario de bancos de materiales que se hayan empleado en otras obras de las vías similares.

### 6.6.1 Investigación de sub suelo

La primera etapa del estudio se lleva a cabo mediante el recorrido y

observación minuciosa de las fallas y afloramientos de roca que existen en el área. Debe recordarse que las aeropistas llegan a abarcar áreas de 300 m de ancho y que no basta recorrer su eje para detectar todos los posibles problemas que pueden presentarse.

Considerando que la mayor parte de los aeródromos se ubican sobre terrenos más o menos planos, es muy frecuente encontrar formaciones de suelos con espesores importantes, lo cual permite efectuar su exploración mediante pozos a cielo abierto, para definir su estratigrafía.



TAULA CARACTERIZACION DE MATERIALES EN LAS ESTRUCTURAS VIALES

PROPIEDADES FUNDAMENTALES	ENSAYES TÍPICOS PARA SU VALUACION	METODO DE PRUEBA	DENOM. ASTM	SUELO DE CEMENT	TERRAC Y SUBRS.	SUB-BASE Y BASE	CARP. ASFALT	LOSA DE CONCR.
CLASIFICACION Y ESTRUCTORACION	clasificación de suelos	SUCS	D-2487	OOO	OOO	OOO		
	contenido de agua "in situ" (w)	por secado	D-2216	OOO	OOO	OOO		
	contenido de asfalto	aparato nuclear	D-3017		OOO	OOO		
	peso volumétrico "in situ" (γ <sub>d</sub> )	aparato nuclear	D-4125				OOO	
		muestra inalterada	D-2937	OOO	OOO		OOO	OOO
		cono de arena	D-1556		OOO	OOO		
		membrana de hule	D-2167		OOO	OOO		
		aparato nuclear	D-2922		OOO	OOO		
		aparato nuclear	D-2950				OOO	
		límites de consistencia (w <sub>L</sub> , w <sub>P</sub> )	límite líquido	D-4318	OOO	OOO	OOO	
		límite plástico	D-4318	OOO	OOO	OOO		
	granulometria (G,S,F)	mallas e hidrómetro	D- 422	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO
		finos por lavado	D-1140	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO
	forma y textura de partículas	índice de forma	D-3398			OOO	OOO	OOO
COMPACTABILIDAD (γ <sub>d</sub> máx y W <sub>o</sub> )	por impactos tipo Proctor	AASHTO estándar	D- 698		OOO			
		AASHTO modificada	D-1557		OOO	OOO		
	por presión estática	Porter estándar	K.06		OOO	OOO		
	por amasado (suelos)	California (Cal301)	D-2844		OOO	OOO		
	por vibración (e <sub>min</sub> )	mesa vibratoria	D-4253		OOO	OOO		
	por impactos (mez. asfáltica)	Marshall	D-1559				OOO	
	por amasado (mez. asfáltica)	California (Cal304)	D-1561				OOO	
PERMEABILIDAD	granulometria (G,S,F)	mallas e hidrómetro	D- 422	OOO	OOO	OOO	OOO	
	permeámetros	de carga constante	D-2434	OOO	OOO	OOO		
		de carga variable de aire	D-3637	OOO	OOO		OOO	
DURABILIDAD	densidad y absorción	agregado grueso	C- 127				OOO	OOO
		agregado fino	Cal208				OOO	OOO
	abrasión o desgaste	Los Angeles	C- 535			OOO	OOO	OOO
	sanidad	intemp. acelerado	010-N				OOO	OOO
	índice de durabilidad	gruesos y finos	D-3744			OOO	OOO	OOO
	forma de las partículas	índice del lajeo	B- 812			OOO	OOO	OOO
RESISTENCIA AL ESFUERZO CONSTANTE	compresión simple (q <sub>u</sub> )	en suelos	D-2166	OOO	OOO			
	compresión triaxial (c,σ)	estabilizaciones	D-1633			OOO		
		no cons. no drenada	D-2850	OOO	OOO			
		cons. no drenada	D-4767	OOO	OOO			
		consolidada drenada		OOO				
		Texas Hwy. Dept.	D-3397		OOO	OOO		
	pruebas de placa	repetitiva (S)	D-1195		OOO	OOO	OOO	
		no repetitiva (k)	D-1196		OOO	OOO	OOO	
	valor relativo de soporte (CBR)	muestra inalterada	MS- 10	OOO	OOO			
		de campo "in situ"	D-4429	OOO	OOO			
	estabilidad (R) y pres. exud.	Cuerpo Ingenieros	D-1883		OOO	OOO		
	estabilidad (S) mezc. asfáltica	California (Cal301)	D-2844		OOO	OOO		
		California (Cal304)	D-1560				OOO	
RESISTENCIA A LA TENSION	tensión por flexión	cohesiómetro	D-1560				OOO	
	tensión en compresión diametral	Marshall	D-1559				OOO	
	módulo de resiliencia (E <sub>r</sub> )	tensión indirecta	D 4123				OOO	
	resistencia a la tensión (σ <sub>T</sub> )	flexión en vigas	C -883					OOO

TABLA (CONT.) CARACTERIZACION DE MATERIALES EN LAS ESTRUCTURAS VIALES

PROPIEDADES FUNDAMENTALES	ENSAYES TÍPICOS PARA SU VALUACION	METODO DE PRUEBA	DENOM. ASTM	SUELO DE CEMENT	TERRAC Y SUBRS.	SUB-BASE Y BASE	CARP. ASFALT	LOSA DE CONCR.	
D E F O R M A B I L I D A D E F O R M A C I O N E S P E R M E N E N T E S	COMPRESIBILIDAD	consolidación unidimensional	odometro	D-2435	(((				
	EXPANSIBILIDAD	contenido de agua "in situ" limites de consistencia (wL, wp y wc)  contracción unidimensional peso volumétrico "in situ" (va)  potencial de expansión saturación en prueba de valor relativo de soporte (CBR)  presión de expansión (p <sub>exp</sub> ) saturación bajo presión expansión unidimensional	por secado	D-2216	(((	(((			
			limite liquido	D-4318	(((	(((	(((		
			limite plástico	D-4318	(((	(((	(((		
			limite de contrac.	D- 427	(((	(((	(((		
			contracción lineal	T- 107		(((	(((	(((	
			muestra inalterada	D-2937	(((	(((			
			cono de arena	D-1556		(((	(((		
			membrana de hule	D-2167		(((	(((		
			aparato nuclear	D-2922		(((	(((		
indice de expansión estándar			D-4829	(((	(((				
muestra inalterada	MS- 10	(((	(((						
Cuerpo Ingenieros	D-1883		(((						
California (Cal301)	D-2844		(((	(((					
odómetro		(((	(((						
odómetro		D-3877		(((					
D E F O R M A B I L I D A D E F O R M A C I O N E S P E R M E N E N T E S	DEFORMABILIDAD PLASTICA (DEFORMACIONES PERMANENTES)	limites de consistencia (wL, wp y wc)	limite liquido	D-4318	(((	(((	(((		
		limite plástico	D-4318	(((	(((	(((			
		limite de contrac.	D- 427	(((	(((	(((			
		contracción unidimensional equivalente de arena (EA)	T- 107		(((	(((			
		equiv. de arena	D-2419			(((			
		estabilidad (R) suelos	California (Cal301)		D-2844		(((	(((	
		estabilidad (S) mezc.asfálticas	California (Cal304)		D-1560			(((	
		flujo plástico	Marshall		D-1559			(((	
		compresión triaxial (ε)	no cons. no drenada	D-2850	(((	(((			
			cons. no drenada	D-4767	(((	(((			
	consolidada drenada		(((						
	Texas Hwy. Dept.	D-3397		(((	(((				
	paso de regla	E-1703				(((	(((		
	varianc. pendientes					(((	(((		
	GHR Travel Road profilometer		E- 950			(((	(((		
	perfilógrafo transversal		SCT			(((	(((		
	perfilógrafo California (C526)		E-1274			(((	(((		
	Mays Ride Meter					(((	(((		
D E F O R M A B I L I D A D E L A S T I C A (FATIGA)	DEFORMABILIDAD ELASTICA (FATIGA)	deflexómetros mecánicos (δ)	Viga Benkelman	D-4695			(((		
			California (Cal356)	D-4695			(((		
		deflexómetros dinámicos	Falling Weight Def	D-4694			(((		
			Dynaflect (Cal356)	D-4695			(((		
		deflexión en pba. de placa (δ)	repetitiva	D-1195		(((	(((	(((	(((
módulo de resiliencia (M <sub>r</sub> , E <sub>as</sub> )	triaxial dinámica			(((	(((				
módulo de resiliencia (E <sub>r</sub> , E <sub>r1</sub> )	tensión indirecta	D-4123				(((			
FRICCIÓN SUPERFICIAL	texturómetros superficiales	μ meter	E- 670				(((		
		péndulo de fricción	E- 303				(((		

NOTAS. B: British Standards  
 MS: The Asphalt Institute  
 T: Texas Highway Department  
 Cal: California Highway Department  
 C. D. o. E: American Standards of Testing and Materials  
 resto: Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Libros 6.01.01 y 6.01.03, México.



Tabla 6.10.1 Características estructurales recomendables para secciones de pavimentos en aeródromos

ELEMENTO	MATERIALES TÍPICOS	NIVELES DE CALIDAD		
		CARACTERÍSTICA	ENSAYE	VALOR
Subrasante	Suelos no plásticos (GM, GP, GM, GC, SM, SP, SM, SC, CL, ML)	Granulometría	Tamaño máx. (cm) % de Finos	7.6 < 25
		Plasticidad	Límite Líquido ( $w_L$ , %) Índice Plástico ( $I_p$ , %)	< 30 < 10
		Compactación	AASHTO estándar (%)	> 100
		Resistencia	CBR (%)	> 20
		Deformabilidad	Expn. ensayo de CBR (%)	< 2
		Espesor mínimo	Medición directa (cm)	50
Sub-base granular (SB)	Grava poco arenosa (GM-SM) Grava triturada (GM)	Granulometría (Fig. 6.20)	Tamaño máx. (cm) % de Finos Zona granulométrica	5.1 < 15 1 a 2
		Plasticidad	Límite Líquido ( $w_L$ , %) Índice Plástico ( $I_p$ , %) Equivalente de arena (%)	< 25 < 6 > 20
		Compactación	AASHTO modificada (%)	> 100
		Resistencia	CBR (%)	> 40
		Durabilidad	Desgaste Los Angeles (%)	< 40
		Espesor mínimo	Medición directa (cm)	15
Base granular de pavimentos asfálticos y sub-base de pavimentos de concreto (BG)	Grava triturada, bien graduada (GM)	Granulometría (Fig. 6.21)	Tamaño máx. (cm) % de Finos Zona granulométrica	3.8 < 10 1 a 2
		Plasticidad	Límite Líquido ( $w_L$ , %) Índice Plástico ( $I_p$ , %) Equivalente de arena (%)	< 25 < 6 > 50
		Compactación	AASHTO modificada (%)	> 100
		Resistencia	CBR (%)	> 100
		Durabilidad	Desgaste Los Angeles (%)	< 40
		Espesor mínimo	Medición directa (cm)	20

Tabla 6.10.2 Características estructurales recomendables para secciones de pavimentos en aeropuertos

ELEMENTO	MATERIALES TÍPICOS	NIVELES DE CALIDAD		
		CARACTERÍSTICA	ENSAYE	VALOR
Base (BTL)	Suelos estabilizados con cal (GP, GM, GC, SP, SM, SC)	Granulometría (MN) (fig. 6.30)	Tamaño máx. (ca)	3.8
			% de Finos	15 a 30
			Zona granulométrica	1 a 2
		Plasticidad (MN)	Límite Líquido (w <sub>L</sub> , %)	> 30
			Índice Plástico (I <sub>p</sub> , %)	> 10
Equivalente de arena (Z)	< 30			
Compacción (ME)	AASHTO modificada (X)	> 100		
Resistencia (ME)	CBR (X)	> 100		
Esesor mínimo	Medición directa (ca)	15		
Base (BTC)	Suelos estabilizados con cemento (GM, GM, GC, SM, SM, SC)	Granulometría (MN) (fig. 6.30)	Tamaño máx. (ca)	3.8
			% de Finos	10 a 25
			Zona granulométrica	1 a 2
		Plasticidad (MN)	Límite Líquido (w <sub>L</sub> , %)	> 25
			Índice Plástico (I <sub>p</sub> , %)	< 12
Equivalente de arena (Z)	< 50			
Compacción (ME)	AASHTO modificada (X)	> 100		
Resistencia (ME)	Compresión simple f' <sub>c</sub> a los 7 días (kg/cm <sup>2</sup> )	> 46		
Esesor mínimo	Medición directa (ca)	20		
Base (RTA)	Grava triturada, estabilizada con asfaltos (GM, GP)	Granulometría (MN) (fig. 6.22)	Tamaño máx. (ca)	3.8
			% de Finos	0 a 4
			Zona granulométrica	1
		Plasticidad (MN)	Índice Plástico (I <sub>p</sub> , %)	< 6
			Equivalente de arena (Z)	> 50
Compacción (ME)	Ensaye Marshall (X) (75 golpes/cara)	> 95		
Resistencia (ME)	Estabilidad Marshall (kg)	> 350		
Deformabilidad (ME)	Flujo Marshall (cm)	2 a 4		
Durabilidad (MN)	Desgaste Los Angeles (%)	< 45		
Esesor mínimo	Medición directa (ca)	10		

Tabla 6.10.3 Características estructurales recomendables para secciones de pavimentos en aeródromos

ELEMENTO	MATERIALES TÍPICOS	NIVELES DE CALIDAD		
		CARACTERÍSTICA	ENSAYE	VALOR
Carpetas (CA)	Concreto asfáltico, grava triturada, bien graduada (GW, GF, SW, SP)	Granulometría (fig. 6.32)	Tamaño máx. (cm)	3.8
			% de Finos	0 a 10
			Zona granulométrica	1
		Forma de partículas	Índice de lajeo (%)	1-25
		Plasticidad	Equivalente de arena (%)	1-15
		Compactación	Ensaye Marshall (%) (75 golpes/cara)	1-95
		Resistencia	Estabilidad Marshall (kg)	200
		Deformabilidad	Flujo Marshall (mm)	2 a 4
		Permeabilidad	Vacios (%)	0 a 5
		Durabilidad	Desgaste Los Angeles (%)	1-4%
Espesor mínimo	Medición directa (cm)	8		



# GRAFICAS DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

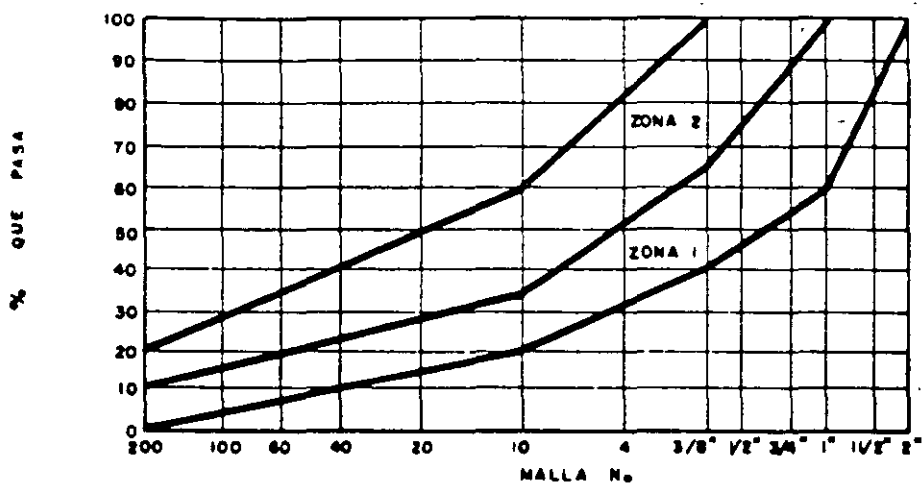


Fig. 6.30 Granulometría recomendada para materiales de sub-base

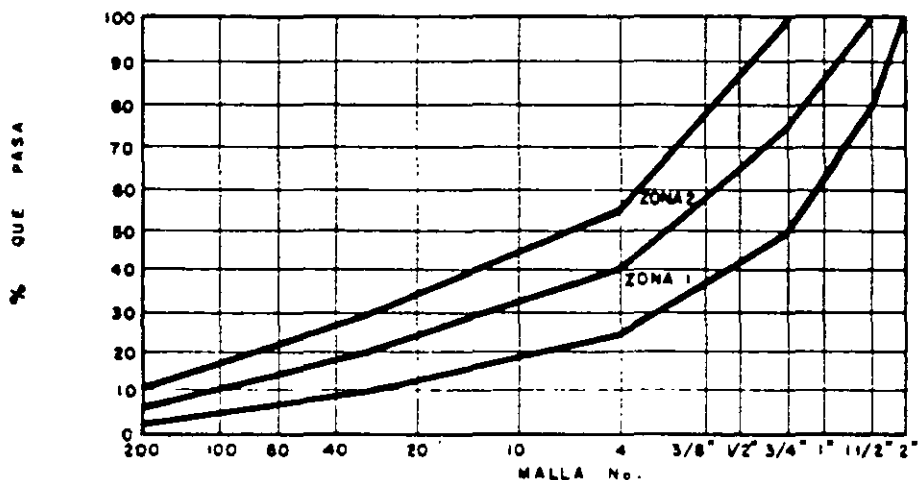


Fig. 6.31 Granulometría recomendada para materiales de base

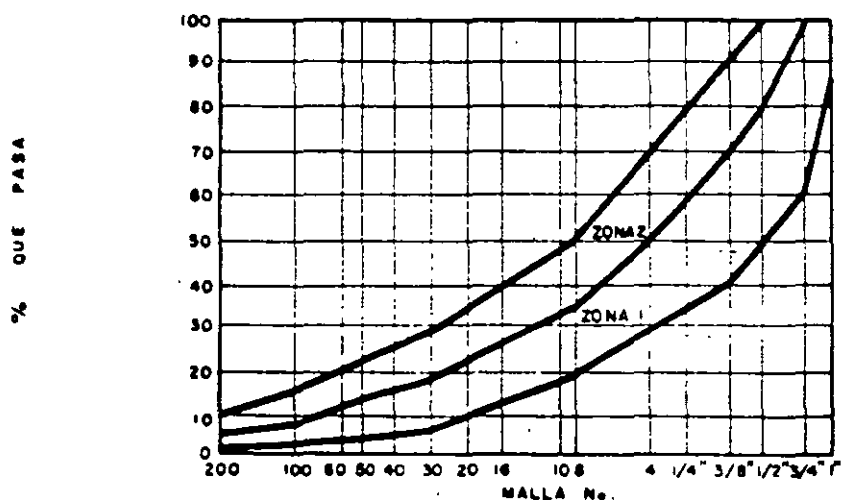


Fig. 6.32 Granulometría recomendada para materiales de carpetas y bases asfálticas

Como en el caso de los pavimentos asfálticos, la FAA ha elaborado gráficas para el diseño de espesores de losas de concreto para pavimentos (ref. 6.3), considerando el tránsito de aeronaves con diámetros de ruedas sencillas, y con gemelas, sistemas en bogie y también para el caso de aeronaves de fuselaje ancho.

Para determinar el espesor de diseño, en las zonas críticas del aeródromo, se selecciona la gráfica de diseño correspondiente, del catálogo que proporciona la FAA y que se presenta en las figs. 6.34 a 6.35 para pavimentos de ruedas gemelas, sistemas en bogie y aeronaves de fuselaje ancho de los tipos B-707, B-737, B-747-100 y B-747-200 respectivamente.

El modo de aplicar las gráficas es el siguiente:

A partir de la escala vertical de la izquierda, correspondiente al módulo de resistencia a la tensión por flexión, se traza una línea horizontal hasta interseccionar la curva de módulo de reacción (fig. 6.34). Por el punto encontrado, se lleva una línea vertical hasta el trazo de la recta que representa el peso bruto de la aeronave (fig. 6.34); por este nuevo punto de intersección se dibuja otra línea horizontal hasta encontrar la escala vertical del lado derecho, que pertenece al número de salidas anuales (FA) estimadas en la vida útil, determinándose así el espesor de diseño del pavimento.

6.5.3 Diseño de los espesores de losas de concreto. Método de la FAA.

El método de la FAA para el diseño de losas de concreto para pavimentos de aeródromo, se basa en el estudio de la fatiga, en la correlación con el nivel de esfuerzos y la tensión que produce cada tipo de aeronave, en la fibra más fatigada de las losas y el número de aplicaciones esperado de cada tipo de aeronave.

Por lo tanto, la FAA propone gráficas de diseño resueltas para cada tipo de aeronave, como las que se presentan en las figs. 6.39 a 6.41, usualmente incluidas en el manual correspondiente, y que están basadas en el cálculo elástico de los esfuerzos a la tensión por flexión de las losas, para el caso de cargas aplicadas en su interior. Para la construcción de dichas gráficas se ha supuesto un módulo de elasticidad del concreto del orden de  $150,000 \text{ lb/cm}^2$  y una relación de Poisson de 0.15.

La capacidad del concreto para resistir a la tensión por flexión, un cierto número de aplicaciones de determinada carga, está en función principalmente de la relación que existe entre el esfuerzo máximo y su resistencia propiamente dicha.

La tabla 6.12, que se presenta a las siguientes páginas, muestra el número de repeticiones admisibles, para varias relaciones entre los esfuerzos de trabajo y de ruptura del concreto, propuestos por la FAA.

Para aplicar el método de diseño de la FAA se puede utilizar una hoja de cálculo como la que se presenta en la tabla 6.13. En otros casos, cuando es necesario estimar el número de repeticiones reales (FR) para un tipo de aeronave que operará en el aeródromo, de acuerdo con el método indicado en el Inciso 6.5.2.

314

de los abacos de concreto, se debe considerar el efecto de las fuerzas de frenado, las cuales se aplican a los abacos de concreto.

Coeficiente	Superficie abacos.	Coeficiente	Repet. Admis.
0.50	Ilimit.	0.65	1,500
0.51	400,000	0.69	1,500
0.52	300,000	0.70	2,000
0.53	240,000	0.71	1,500
0.54	180,000	0.72	1,100
0.55	120,000	0.73	850
0.56	100,000	0.74	850
0.57	75,000	0.75	490
0.58	58,000	0.76	380
0.59	45,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	90
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,000	0.83	50
0.66	6,000	0.84	40
0.67	4,500	0.85	30

A continuación, después de suponer un espesor tentativo de losa (d), se determina el esfuerzo de trabajo ( $\sigma_w$ ), inducido por la carga por pie cuadrado de una aeronave en particular, haciendo uso de los abacos ya mencionados (figs. 6.39 a 6.41), de la manera siguiente:

Trazando una línea horizontal por el valor del espesor tentativo de losa (d), a partir de la escala vertical de la derecha, se intersecta la curva correspondiente al módulo de reacción vertical combinado ( $k_v$ ) del sistema soportante - sub-base. En seguida, se traza una línea vertical, se intersecta la gráfica perteneciente al peso por pie cuadrado de la aeronave en cuestión ( $W_p$ ), punto por el cual se vuelve a trazar otra línea horizontal para determinar, en la escala vertical de la derecha, el

Dividendo dicho esfuerzo entre la resistencia a la tensión por flexión del concreto ( $f_c$ ), definido conforme se indicó en el Inciso 6.9.1, y aplicando los valores señalados en la tabla 6.12, se determina el número de repeticiones admisibles (RA).

Las repeticiones reales (RR) de cada aeronave, expresada como porcentaje de las repeticiones admisibles (RA), es lo que se conoce como por ciento de fatiga usada (FU). La suma de los porcentajes de fatiga (SF), debe ser igual o inferior al 100%, para asegurar que el pavimento no tendrá una falla por fatiga, pudiéndose admitir un valor de 110% como máximo.

#### 6.9.4 Diseño de las juntas

Los pavimentos de concreto simple deben ser capaces de absorber los movimientos producidos por los cambios de temperatura de las losas. Estos movimientos, debido a las dilataciones y contracciones, producen agrietamientos que se evitan a la construcción de juntas, con el objeto de controlarlos. Estas juntas, por otra parte, deben asegurar una adecuada transferencia de carga entre losa y losa y lograr un trabajo eficiente de conjunto.

La PCA ha experimentado varios tipos de juntas, de los cuales ha escogido los que ofrecen un comportamiento conveniente en la práctica usual, cuyas características geométricas se muestran en la fig. 6.42.

En seguida se describen los principales tipos de juntas generalmente utilizadas.

- a) Juntas longitudinales. Estas juntas son paralelas a

DC-9-81

B 727

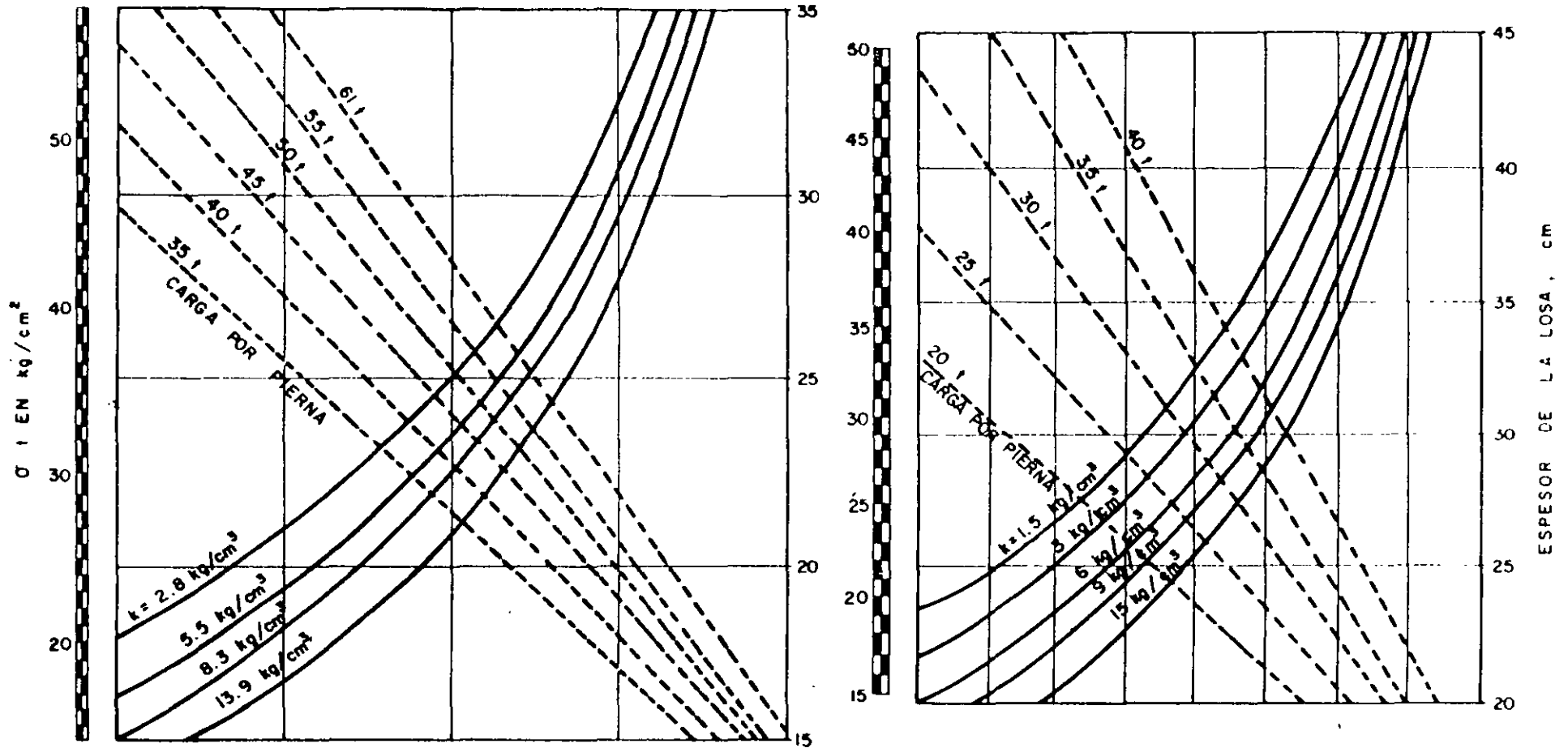


Fig. 6.39 Gráfica de diseño de pavimentos de concreto. Método de la PCA

DC-8

DC-10

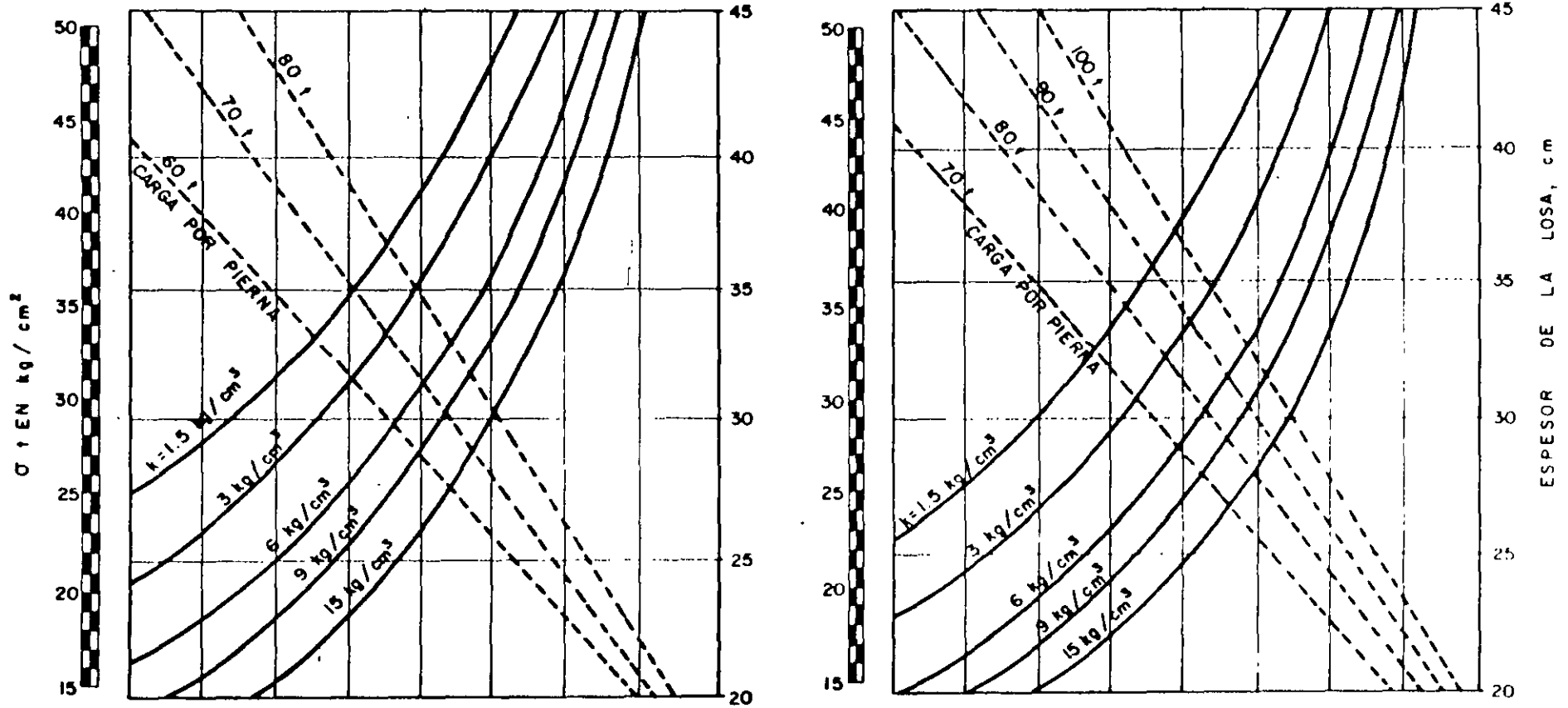
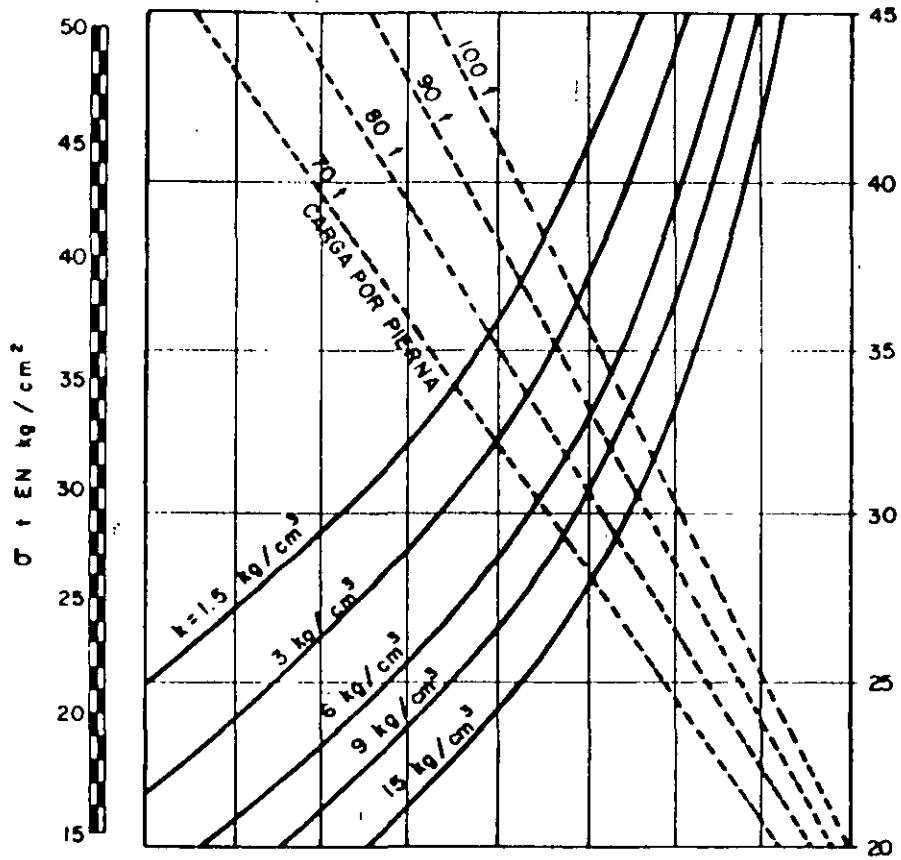


Fig. 6.40 Gráfica de diseño de pavimentos de concreto. Método de la PCA

B 747-100 y 200



B 747-400

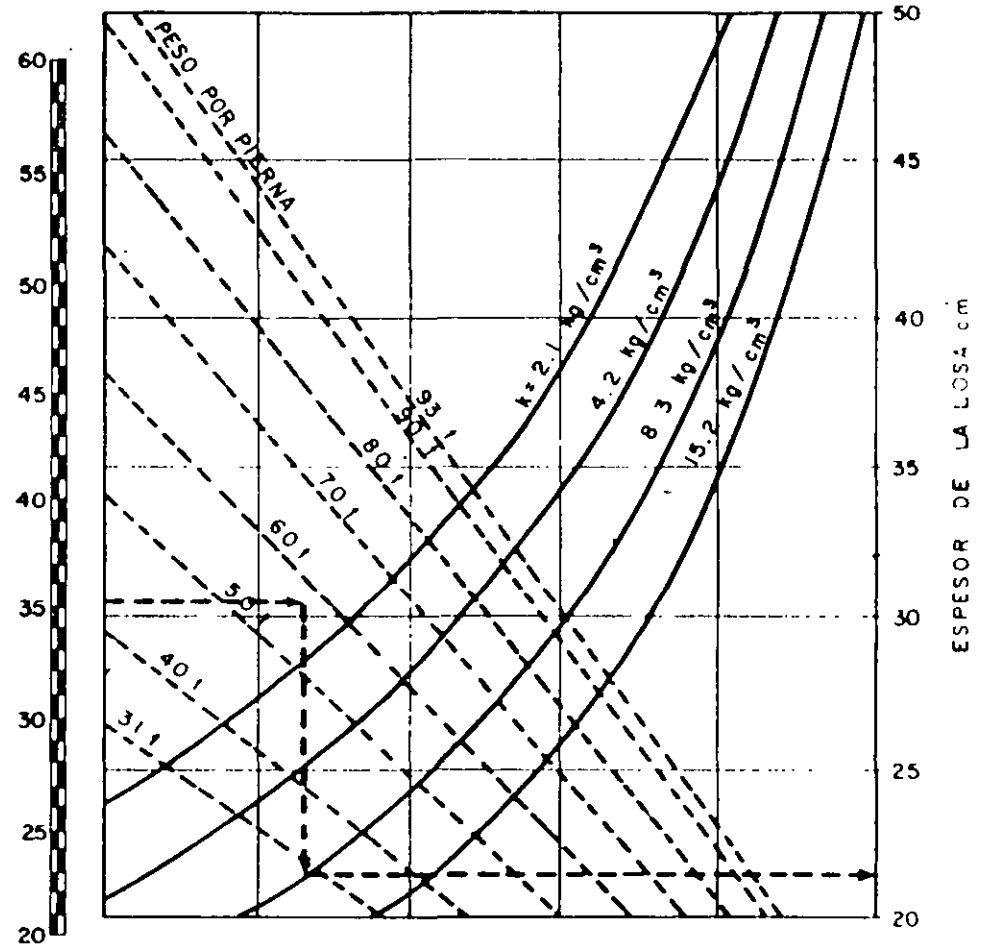
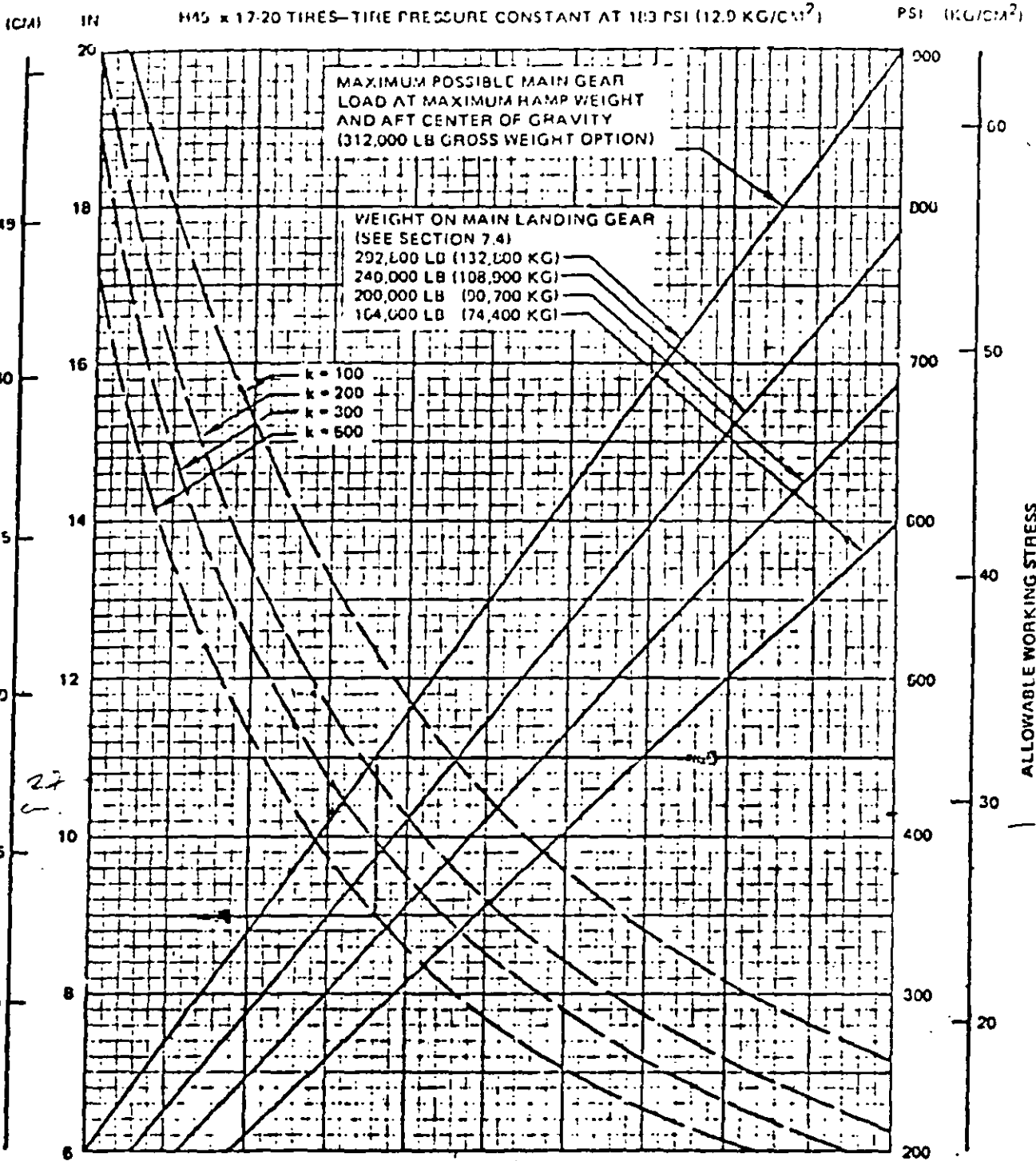


Fig. 6.41 Gráfica de diseño de pavimentos de concreto. Método de la PCA



NOTE: THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF  $k$  ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR  $k = 300$  BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF  $k$ .

REFERENCES: "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN—PROGRAM PDILB," PORTLAND CEMENT ASSN.

PAVEMENT REQUIREMENTS—  
PORTLAND CEMENT ASSOCIATION DESIGN METHOD  
MODEL 767-200

$W_B = 141,648 \text{ kg}$   
46.9% pierna  
289 plazas

$45 \times 1.1 \times 1.1 \times 0.2 = 1.1$   
 $p_{211} = 25,000 \text{ repel} \times 0.51 \sqrt{1} = 29$   
 $FS = 1.1$

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA AEROPUERTOS (PCA)

TABLA 6.13

CONCRETO TIPO:

PROYECTO:

6-11-1990

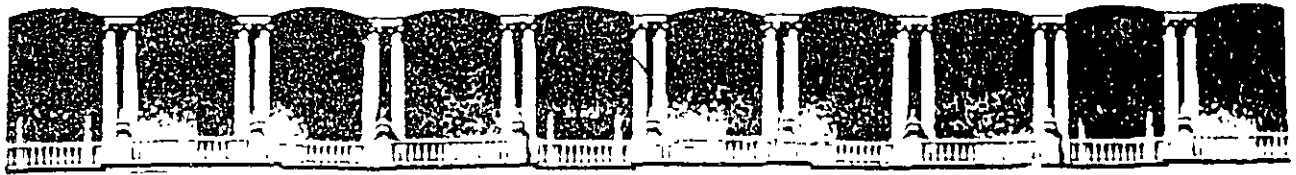
DATOS:

CBR subrasante:		9 %	
Sub-base:	a) tipo granular	86	86
	b) Espesor	20 cm	8 pulg
Módulos de reacción:	a) En subrasante	5 kg/cm <sup>3</sup>	193 pci
	b) Combinado	7 kg/cm <sup>3</sup>	249 pci
Concreto:	a) err' a 28 días	45 kg/cm <sup>3</sup>	639 psi
	b) cv de calidad	12 %	12 %
	c) err' de diseño	44 kg/cm <sup>3</sup>	619 psi
ESPESOR TENTATIVO:		36 cm	14 pulg

6.66

AERONAVE MODELO	IREN TIPO	PESOS (t)			TRANSITO INICIAL		OPERACS TOTALES OPT	FRC TAXI WAY	REPETCS REALES RR	ESFUERZOS, kg/cm <sup>2</sup>		REPETCS ADMISBLS RA	F, % DE FATIGA USADA
		Wb BRUTO	Wp PIERNA	Wt IREN	UA1	r, %				et (gráfica)	et/err' Sr		
DC-3	TYP-2	11.40	5.35	10.70	0	0		0.12		0.0			0%
DC-6A/B	TYP-4	48.50	21.35	42.70	0	0		0.40		0.0			0%
DC-9 21	TYP-4	45.80	21.60	43.20	0	0		0.40		0.0			0%
DC-9 41	TYP-4	52.20	24.33	48.66	630	10	36,083	0.41	14,794	17.5	0.40	s/limite	
DC-9-81	TYP-4	64.00	30.57	61.14	840	7	34,436	0.41	14,119	20.5	0.47	s/limite	
B-727-100	TYP-4	77.10	34.85	69.70	0	0		0.41		0.0			0%
B-727-200N	TYP-4	78.50	36.25	72.50	960	7	39,356	0.41	16,136	23.5	0.54	179,405	9%
B-727-200P	TYP-4	95.30	43.91	87.82	0	0		0.41		0.0			0%
B-757-200	TYP-8	109.30	49.52	99.04	0	0		0.83		0.0			0%
B-767-200	TYP-8	141.50	63.37	126.74	0	0		0.83		0.0			0%
B-707-320B	TYP-8	148.80	68.44	136.88	0	0		0.83		0.0			0%
DC-8-63	TYP-8	162.40	77.30	154.60	0	0		0.83		0.0			0%
CONCORDE	TYP-8	185.10	88.80	177.60	0	0		0.83		0.0			0%
DC-10-10	TYP-8	196.40	92.61	185.22	365	8	16,703	0.57	9,521	26.5	0.61	26,020	37%
DC-10-30	TYP-8	253.10	95.42	190.84	0	0		0.58		0.0			0%
B-747-100B	TYP-8	334.70	77.33	309.32	0	0		0.58		0.0			0%
B-747-200B	TYP-8	352.90	83.28	333.12	365	4	10,869	0.58	6,304	27.5	0.63	13,671	46%
B-747-400	TYP-8	395.90	92.75	371.00	0	0		0.58		0.0			0%
		SUMAS			3,160		137,447		60,874				91.70%





FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES  
XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍA DE AEROPUERTOS

Del 31 de agosto al 30 de octubre.

Módulo III Construcción

*Reconstrucción de Aeropuertos*

Ing. Luis A. Martín Chávez  
Palacio de Minería  
1998.

# RECONSTRUCCIÓN DE AEROPUERTOS

## T E M A R I O

- 1.- **JUSTIFICACIÓN**
- 2.- **ESTABLECIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA RECONSTRUCCIÓN**
- 3.- **REFUERZO Y MODIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE OPERACIÓN AERONÁUTICA Y TERRESTRE**
  - 3.1.- Refuerzo de pavimentos
  - 3.2.- Rehabilitación de acotamientos o márgenes
  - 3.3.- Prolongación de pista
  - 3.4.- Corrección de pendientes transversales y longitudinales
  - 3.5.- Rehabilitación de calles de rodaje
  - 3.6.- Ampliación de filetes de unión con pista, otro rodaje o plataforma
  - 3.7.- Rehabilitación de plataformas
  - 3.8.- Rehabilitación de fajas de seguridad
  - 3.9.- Instalación o reconstrucción de subdrenajes
  - 3.10.- Reconstrucción de canales de drenaje pluvial
  - 3.11.- Nuevas alcantarillas de drenaje
  - 3.12.- Rehabilitación del camino de acceso
  - 3.13.- Rehabilitación del camino perimetral
  - 3.14.- Señalamiento horizontal
  - 3.15.- Señalamiento vertical
- 4.- **RECONSTRUCCIÓN, MODIFICACIÓN Y AMPLIACIÓN DE EDIFICIOS**
  - 4.1.- Reconstrucción de edificios dañados
    - .1.- Identificación de las Causas de la Falla. Revisión de la estructura existente
    - .2.- Refuerzo y reconstrucción de estructura existente
    - .3.- Reconstrucción de elementos dañados.
  - 4.2.- Construcción de ampliaciones
    - .1.- Edificios complementarios
    - .2.- Edificio del Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios
    - .3.- Edificio Terminal
  - 4.3.- Reposición de Acabados.
  - 4.4.- Reposición de equipos de climatización interior
    - .1.- Ampliación de capacidad con equipos de inyección directa
    - .2.- Ampliación de capacidad con equipos enfriadores de agua

- 4.5.- Reposición de instalaciones hidráulicas y sanitarias
  - .1.- Reemplazo de tuberías troncales
  - .2.- Reemplazo de tuberías en ramales
  - .3.- Reposición de registros y/o pozos de visita
  - .4.- Reposición de muebles
- 4.6.- Rehabilitación de sistemas de tratamiento de aguas
  - .1.- Rehabilitación de sistemas de cloración
  - .2.- Rehabilitación de sistemas de filtrado
  - .3.- Rehabilitación de sistemas de suavización de aguas duras
  - .4.- Rehabilitación de plantas potabilizadoras
  - .5.- Rehabilitación de fosas sépticas
  - .6.- Rehabilitación de plantas de tratamiento de aguas negras
- 4.7.- Rehabilitación de sistemas eléctricos
  - .1.- Subestaciones
  - .2.- Cableados de distribución primaria
  - .3.- Tableros
  - .4.- Alambros de distribución secundaria
  - .5.- Plantas de emergencia y tableros de transferencia

## **5.- RECONSTRUCCIÓN Y MODIFICACIÓN DE PLANTAS DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES**

- 5.1.- Refuerzo o reposición de pavimentos
- 5.2.- Reconstrucción y refuerzo de muros contenedores
- 5.3.- Sustitución de tanques horizontales
  - .1.- Rehabilitación de bases de cimentación
  - .2.- Reposición de succión flotante
  - .3.- Pruebas
- 5.4.- Reparación y refuerzo de tanques verticales
  - .1.- Reposición de placas deformadas en el cuerpo
  - .2.- Reposición de elementos estructurales en la soportería de la tapa
  - .3.- Reposición de succión flotante
  - .4.- Pruebas
- 5.5.- Nuevos tanques
  - .1.- Bases de cimentación
  - .2.- Diques contenedores
  - .3.- Tuberías de liga con los sistemas de llenado y vaciado
  - .4.- Pruebas
- 5.6.- Rehabilitación de redes de tuberías de combustible
  - .1.- Tuberías aéreas
  - .2.- Tuberías subterráneas
- 5.7.- Rehabilitación o reposición de garzas para el llenado de pipas
- 5.8.- Rehabilitación de la red de agua contra incendios

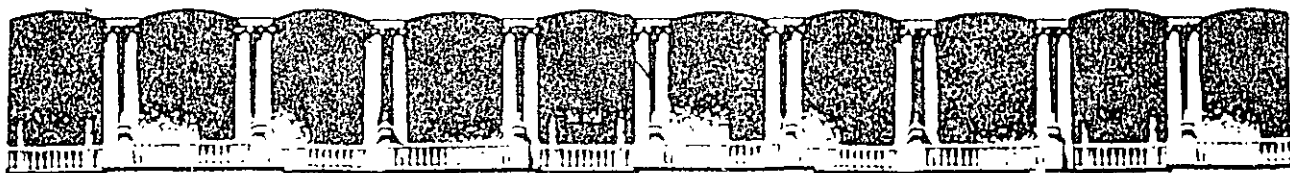
- 5.8.- Rehabilitación del sistema de espuma contra incendios
- 5.9.- Rehabilitación de sistemas eléctricos a prueba de explosión
- 5.10.- Rehabilitación de sistemas de alumbrado
- 5.11.- Hidrantes en plataforma
  - .1.- Válvula de mariposa
  - .2.- Adaptador Parker

## **6.- RECONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN Y AYUDAS VISUALES**

- 6.1.- Reposición de Reguladores de Corriente Constante
  - .1.- Selector de circuitos
- 6.2.- Recableado general
  - .1.- Ductos
  - .2.- Registros
- 6.3.- Lámparas del sistema de iluminación
  - .1.- Rehabilitación de los cimientos-registro
  - .2.- Sustitución de lámparas
  - .3.- Transformadores de aislamiento
- 6.4.- Indicadores de Pendiente de Aproximación
  - .1.- Cableados de alimentación
  - .2.- Cimientos-registro
  - .3.- Losas de protección y contraste
  - .4.- Transformadores de aislamiento
- 6.5.-Faro de Aeropuerto
  - .1.- Rehabilitación del motor
  - .2.- Rehabilitación del sistema luminoso
  - .3.- Instalación de un nuevo faro
- 6.6.- Postes de alumbrado en plataforma
  - .1.- Reconstrucción de postería existente
    - .a).- Poste
    - .b).- Canastilla
    - .c).- Luminarias
  - .2.- Instalación de nuevos postes
    - .a).- Cimentación
    - .b).- Poste y canastilla
    - .c).- Luminarias

## **7.- CERCADOS**

- 7.1.- Cercado perimetral de postería y alambre de púas
- 7.2.- Cercado perimetral de malla de alambre

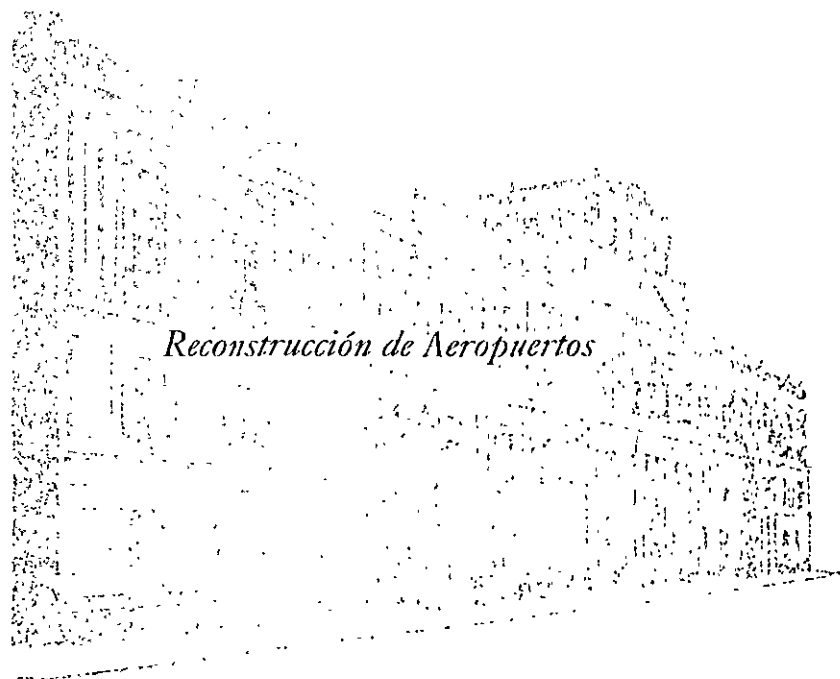


FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES  
XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍA DE AEROPUERTOS

Del 31 de agosto al 30 de octubre.

Módulo III Construcción



*Reconstrucción de Aeropuertos*

Ing. Luis A. Martín Chávez  
Palacio de Minería  
1998.

# RECONSTRUCCIÓN DE AEROPUERTOS

Ing. Luis Antonio Martín Chávez

## 1.- JUSTIFICACIÓN

Habrán dos puntos de vista para justificar la reconstrucción de un aeropuerto o de partes de él. El primero será por razones operacionales y puede darse cuando un aeropuerto va a cambiar de categoría hacia una superior, o está llegando al término de la vida útil programada para sus elementos.

Aunque en la actualidad la evolución de los equipos de vuelo se ha sostenido en forma casi constante y siempre ha sido hacia la mejor eficiencia y el mayor tamaño de las aeronaves, afortunadamente no se presenta la crítica situación que se vivió en todo el mundo por los años 50, cuando aparecieron los aviones comerciales a retroimpulso. Entonces existió una emergencia que afectó, sobre todo, a los países en desarrollo en los cuales apenas uno o un número muy reducido de sus aeropuertos estaba en condiciones de recibir aviones más veloces, más grandes y pesados que demandaban pistas más largas y anchas, calles de rodaje con curvas de unión más amplias, plataformas de mayor tamaño y pavimentos más resistentes. Los edificios para pasajeros no estaban preparados para manejar de un día a otro cantidades de pasajeros por vuelo de más del doble de lo que normalmente recibían. Las estaciones de almacenamiento de combustibles no tenían capacidad para contener y servir los gigantescos volúmenes de queroseno que demandaban los grandes reactores. Los sistemas de iluminación y ayudas visuales resultaban inadecuados para los veloces aterrizajes y despegues de las nuevas aeronaves. Además, los espacios aéreos que hasta entonces habían sido adecuados, ahora resultaban obstaculizados y provocaban serias restricciones a la operación.

En fin, los aeropuertos resultaban chicos e inadecuados. Muchos tuvieron que ser construidos nuevamente en otra localización y otros más debieron ser reconstruidos en el mismo lugar, adaptándolos a nuevas especificaciones internacionales cuando era posible, o soportando restricciones operativas cuando no lo era. Aún actualmente, aeropuertos que cumplían con las normas existentes en los años 70, no satisfacen las que se encuentran en vigor, sobre todo en lo que se refiere a separaciones entre pistas, entre éstas y las plataformas, entre éstas y los edificios, etc.

Por otra parte algunos de esos aeropuertos, construidos entre 1970 y 1980, están alcanzando o ya rebasaron la estimación de la vida útil de sus elementos, que pudo haber sido considerada entre los 15 y los 25 años. Seguramente ya tienen problemas de fatiga en los pavimentos, insuficiente longitud de pista y edificios "anticuados" en donde se observa saturación generalizada o por áreas, plantas de combustibles que requieren tanques de mayor capacidad para satisfacer la demanda, cableados en los sistemas de iluminación que fallan constantemente porque el aislamiento se ha envejecido.

Además, seguramente en varios de ellos se habrán tenido incrementos importantes en el número de operaciones que pueden manejar pero se ven impedidos a recibir aviones de mayor tamaño por el tamaño de sus instalaciones.

En todos estos casos es necesaria una reconstrucción prácticamente generalizada.

Aunque el caso extremo de rehabilitar totalmente un aeropuerto será el que se manejará en este tema, habrá otros en los que solamente se necesita reconstruir y ampliar algunos de ellos: una pista, alguna calle de rodaje, la plataforma, el edificio terminal, las luces de pista, el sistema de abastecimiento de combustibles por medio de hidrantes en plataforma, etc.

Desde el punto de vista económico también podrá darse la necesidad de reconstruir alguna parte de un aeropuerto: cuando el costo del mantenimiento se ha vuelto demasiado elevado y los resultados que se obtienen no resultan satisfactorios.

## **2.- ESTABLECIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA RECONSTRUCCIÓN**

Se entenderá que el aeropuerto debe ser reconstruido totalmente para permitir que lleguen a él aviones de mayor tamaño y con más pasajeros. Seguramente que los estudios que se realicen para proyectar las obras que se han de realizar habrán considerado que las mismas van a cambiar la categoría del aeropuerto y que, consecuentemente, van a variar las especificaciones que se tengan que respetar. Para este caso se supondrá que los espacios aéreos no provocan restricciones en la operación y que se cumplen los requisitos de separación entre elementos de las áreas de operación.

A fin de comprender y programar adecuadamente el conjunto de obras que se han de realizar conviene establecer un cuadro comparativo de los elementos, en la forma que muestran las tablas de las páginas de la 3 a la 9.

De las mismas se desprende que hay que realizar los siguientes trabajos:

a).- En áreas de operación:

- ✓ Construcción de una ampliación de 500 x 45 metros de pista en el extremo 20, más 60 metros de zona de seguridad con 45 m de ancho;
- ✓ Refuerzo del pavimento en 2300 x 45 m mediante una sobrecarpeta de 15 cm de espesor con membrana de tensión sobre la capa de rodamiento actual;
- ✓ Construcción de nuevos acotamientos en la zona de ampliación, con 7.5 m de ancho, con la estructura que señale el proyecto;
- ✓ Reconstrucción de acotamientos en toda la pista existente a partir de la capa subrasante, ampliándolos de 5 a 7.5 m. Será necesario recompactar las terracerías de la ampliación de 2.5 m hasta el 95 % del p.v.s.m. y modificar los espesores de la estructura conforme al proyecto;
- ✓ Refuerzo del pavimento de las calles de rodaje existentes ( A y B ) mediante una

sobrecarpeta de 15 cm de espesor con membrana de tensión sobre la capa de rodamiento actual;

(Sigue en la página 9)

### ÁREAS DE OPERACIÓN

<b>Elemento</b>	<b>Características Actuales</b>	<b>Características Modificadas</b>
Pista 02-20	2300 x 45 m. Requiere refuerzo	2800 x 45
Acotamientos en pista	5 m de ancho. Requieren refuerzo	7.5 m de ancho.
Calles de rodaje	2 de 497 x 23 m. Requieren refuerzo	No se modifican.
Acotamientos en rodajes	6 m de ancho. Requieren refuerzo	10 m de ancho.
Rodaje paralelo a pista	No hay	2950 x 23 m, con acotamientos de 10 m de ancho y fajas de seguridad de 20 m a ambos lados
Fajas de seguridad	En pista tienen 47.5 m de ancho. En rodajes 20 metros.	En pista se incrementan en longitud y su ancho debe ser de 119 m a ambos lados.
Plataforma de operaciones	180 x 90 m. Requiere refuerzo	360 x 120 m.
Plataforma de avionetas	150 x 90 m. Requiere reparación del pavimento.	No se modifica.
Vialidades interiores	325 m de longitud total con ancho de 6.10 m. Requieren refuerzo	No se modifican
Estacionamiento público	100 x 100 m con capacidad para 700 automóviles. Requiere reparación del pavimento	No se modifica
Camino de acceso	4650 x 7.5 m y acotamientos de 1.25 m a ambos lados. Requiere refuerzo.	No se modifica



## EDIFICIOS

<u>Elemento</u>	<u>Características Actuales</u>	<u>Características Modificadas</u>
Edificio Terminal	2300 m <sup>2</sup> de área construida. Requiere ampliación de salas y reacondicionamiento de superficies	3000 m <sup>2</sup> de área construida, ampliando lateralmente y hacia el estacionamiento público. Se reacondiciona boletaje, concesiones, renta de autos y restaurante
Edificio del CREI	Cobertizo de 20 x 12 m para 8 unidades. Cuartel con 600 m <sup>2</sup> construidos en dos plantas. No hay espacio para ampliación	Nuevo edificio en otra localización con cobertizo de 30 x 15 m para 10 unidades y reserva. Cuartel de 800 m <sup>2</sup> de construcción en dos plantas.
Edificio Casa de Máquinas	Edificio modular de 15 entre-ejes, con 478 m <sup>2</sup> en una planta.	No se modifica
Edificio de Oficinas Técnicas	Edificio modular de 11 entre-ejes, con 350 m <sup>2</sup> en una planta	No se modifica
Torre de Control	De planta exagonal con área útil de 77 m <sup>2</sup> en cabina y sub-cabina. Altura de 24 m a nivel de cabina	No se modifica
Aire Acondicionado	Capacidad actual de 120 T.R. con cuatro unidades de enfriamiento de agua de 30 T.R. y cuatro manejadoras	Se modifica a 200 T.R. sustituyendo los equipos actuales por nuevos de 50 T.R. Se rehabilitan las manejadoras sin reemplazarlas. Se modifican e incrementan los ductos de inyección y retorno
Bandas Transportadoras de Equipaje	Dos bandas "T" tipo Rodacarga	Se adiciona una banda "T" igual a las existentes
Sub-Estación Eléctrica General	Capacidad actual de 350 KVA. Planta de emergencia de 200 KW	Se reemplaza el transformador por otro de 425 KVA. La planta de emergencia se sustituye por otra de 350 KW
Sub-Estación Eléctrica de Aire Acondicionado	Con transformador de 125 KVA	Se sustituye el transformador por otro de 250 KVA
Alumbrado	A base de luminarias cónicas con lámpara de vapor de mercurio de 500 W y gabinetes empotrados con 2 tubos Slim-Line de 38 W	Se mantiene el esquema, incrementando el número de luminarias y gabinetes conforme indica el proyecto.

## ZONA DE COMBUSTIBLES

<u>Elemento</u>	<u>Características Actuales</u>	<u>Características Modificadas</u>
Almacenamiento de Turbosina (Queroseno)	Tres tanques verticales de 160 m <sup>3</sup> con capacidad útil de 150 m <sup>3</sup> para un total de 450 000 litros. Requieren repintado	Se incrementa capacidad añadiendo un tanque vertical para 1000 m <sup>3</sup> . Incrementa red de llenado y vaciado actual de 6" Pintura general de tanques y tuberías.
Muros contenedores	De mampostería de piedra. En buen estado general	Se construyen los nuevos que requiere el nuevo tanque.
Almacenamiento de Gas-Avión (Gasolina)	Tres tanques horizontales de 60,000 litros, con capacidad útil de 55,000 para 165,000 litros. Requieren repintado.	No se modifica la capacidad. Pintura general de tanques y tuberías.
Almacenamiento de Agua	Un tanque vertical de 160 m <sup>3</sup> con capacidad útil de 158 m <sup>3</sup> .	Se construye un nuevo tanque vertical de 500 m <sup>3</sup> , modificando líneas de llenado y distribución
Red de espuma contra incendios	Utiliza bomba vertical de 125 HP para alimentar 6 codos espumadores de 3"	Se sustituye la bomba por otra vertical de 200 HP y se incrementa un codo espumador de 4"
Hidrantes contra incendio	Hay bomba horizontal de 75 HP para 4 hidrantes con bocas gemelas	Se reemplaza la bomba por otra de 100 HP y se incrementan dos hidrantes adicionales del mismo tipo.
Caseta de control	Construida en 220 m <sup>2</sup> en una planta. Requiere sustitución de acabados y alumbrado. Urge impermeabilización.	No se modifica el edificio. Se sustituyen pisos actuales por loseta vitrificada antirresbalante. Se resanan y pintan muros y se rehabilita la impermeabilización. Se reemplaza plafón y gabinetes luminosos.
Calle de servicio	Pavimento de concreto hidráulico en 7500 m <sup>2</sup> . Losas fracturadas en el 60 % de la superficie. No hay sello en juntas.	Se sustituyen losas dañadas y se repone el sello de juntas en la totalidad del pavimento.
Alumbrado exterior	Consta de 6 arbotantes urbanos de una sola ménsula, con luminarias autobalastradas y focos de 500 W.	Se incrementa a 8 arbotantes del mismo tipo, reacomodándolos conforme al proyecto.

## ILUMINACIÓN Y AYUDAS VISUALES

<u>Elemento</u>	<u>Características Actuales</u>	<u>Características Modificadas</u>
Umbrales de pista	Unidades ADB rasantes con doble foco incandescente de 150 Watts	Se reemplazan por nuevas unidades rasantes planas HP con lámparas de cuarzo de 100 W. Y nuevos transformadores de aislamiento.
Borde de Pista	Lámparas elevadas ADB con foco incandescente de 150 W separadas a cada 68 m. Montadas sobre el cimiento-registro	Se sustituyen por nuevas de la misma marca con foco de cuarzo de 100 Watts. Se usará el sistema de cimiento-registro fuera del acotamiento y lámpara sobre una base de concreto a 3 m de la orilla del pavimento. Separación de proyecto.
Borde de rodaje y plataforma	Lámparas azules elevadas ADB con foco incandescente de 60 W montadas sobre el cimiento-registro. Separación cumple con normas.	Se sustituyen por nuevas de la misma marca con foco de cuarzo de 40 W con la disposición de la pista y la separación de proyecto. La calle de rodaje paralela llevará el mismo tipo de lámpara y el mismo acomodo. Su separación será la de proyecto.
Equipos PAPI	Marca ADB de dos lámparas. En buen estado	Los de la cabecera 20 deben ser reubicados
Reguladores de Corriente Constante	Marca GE con 20 años en servicio. Tienen problemas	Se sustituyen por nuevos marca Heavy Duty con transformador seco, con las capacidades de proyecto. Dos para la pista, uno para el rodaje paralelo y otro para los dos rodajes actuales y las plataformas.
Cableados	Un solo circuito para pista y otro para rodajes y plataformas. Cable N° 8 XLP y desnudo del mismo calibre en tierra. Está "puenteado" en el 60 % del desarrollo por fallas. Antigüedad de 20 años.	Se reemplaza totalmente por cable N° 8 con pantalla y se elimina el cable de tierra. En pista se usará doble circuito; en rodajes y plataformas se mantiene un solo circuito.
Faro de Aeropuerto	Marca Crouse Hinds giratorio y con sistema de doble foco. Sobre torre de control. Tiene muchas fallas.	Se reemplaza por uno de destello de la marca Hughey & Phillips.
Alumbrado de Plataformas	Cuatro postes telescópicos de 18 metros con canastilla y 4 luminarias de vapor de sodio de 1000 Watts.	Se aumentan dos postes similares en plataforma de operaciones

## CERCADOS

<u>Elemento</u>	<u>Características Actuales</u>	<u>Características Modificadas</u>
Cercado perimetral del predio	Postería de concreto a cada 4 m con 6 hilos de alambre de púas. En mal estado general en todo el desarrollo de 11 320 m	Se reemplaza por malla de alambre de 2.10 m de alto, enmarcada en tubería galvanizada cédula 40 de 2" con postes de tubo de 3" a cada 4 metros. Llevará espadines superiores para tres hilos de alambre de púas.
Cercado perimetral del Área Terminal	Malla de alambre de 2.10 m de alto, enmarcada en tubería galvanizada cédula 40 de 2" con postes de 3" a cada 3 m y espadines con tres hilos de alambre de púas. En buenas condiciones en todo su desarrollo de 1245 m. Las puertas deben rehabilitarse.	Se incrementará conforme lo demande la ampliación del Edificio Terminal. El cercado actual será rehabilitado, al igual que las puertas de acceso peatonales y vehiculares..
Cercado perimetral de la Zona de Combustibles	Malla de alambre de 2.70 m de altura, enmarcada en tubería galvanizada cédula 40 de 2" con postes de 3" a cada 3 m y espadines con tres hilos de alambre de púas. En malas condiciones.	Se construirá nuevo cercado de las mismas características que el actual, protegiendo el área que se ve modificada por la inclusión de nuevos tanques.

## SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL

<u>Elemento</u>	<u>Características Actuales</u>	<u>Características Modificadas</u>
Señalamiento Horizontal en Áreas de Operación Aeronáutica y Terrestre	En mal estado general	Se repone en su totalidad, con las nuevas marcas que indique el proyecto
Señalamiento Vertical en Áreas de Operación Aeronáutica y Terrestre	En mal estado general	Se repone en su totalidad, con las nuevas marcas que indique el proyecto

## SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES EN PLATAFORMA

<u>Elemento</u>	<u>Características Actuales</u>	<u>Características Modificadas</u>
Línea de conducción de Turbosina (Queroseno)	Tubería aérea de acero de 6" de diámetro con 650 m de longitud y con 180 m subterráneos. La tubería enterrada está en mal estado. Tiene una bomba vertical de 150 HP	La longitud aérea no se modifica; la subterránea se sustituye en su totalidad y se incrementa en 150 m para alimentar los nuevos hidrantes. La bomba se sustituye por otra de 250 HP.
Línea de conducción de Gas-Avión (Gasolina)	Tubería aérea de acero de 4" de diámetro con 720 m de longitud, hasta un tanque subterráneo de fibra de vidrio de 4000 lt de capacidad. Tiene una bomba vertical de 75 HP.	No se modifica
Sistema de Hidrantes	Hay tres en plataforma de operaciones. Tienen adaptador Parker automático y están en buen estado.	Se construyen tres hidrantes adicionales en la ampliación de la plataforma
Bomba de Gas-Avión	Hay una bomba de gasolinera de dos mangueras para surtir el combustible. Está en malas condiciones.	Se reemplaza la bomba existente por un nuevo mueble con cuatro mangueras y medidores digitales.

## SISTEMAS ELECTROMECA'NICOS GENERALES

<u>Elemento</u>	<u>Características Actuales</u>	<u>Características Modificadas</u>
Sub-estación Eléctrica General del Aeropuerto	Recibe corriente en 13.2 KV y su capacidad actual es de 650 KVA. Entrega suministro a la sub-estación del Edificio Terminal en el mismo voltaje y a la de radio-ayudas en 440 Volts. Suministra alimentación en 227 Volts a los reguladores de corriente constante. Hay una planta de emergencia para Ayudas Visuales de 200 KW con equipo de transferencia normal.	Se reemplazará el transformador por otro de 900 KVA y se agregará un nuevo gabinete para la distribución en 440 Volts a los reguladores de corriente constante. La planta de emergencia será reemplazada por una nueva con 350 KW de capacidad.
Sistema de bombeo general y equipo hidroneumático	Están instaladas 4 bombas de 5 HP que alimentan el sistema hidroneumático, mismo que tiene un solo tanque de presión. Hay dos bombas de 25 HP para alimentar la zona de combustibles y otras dos (eléctrica y de gasolina) de 25 HP para mandar agua a la cisterna del CREI	Se instalará un segundo tanque de presión en el equipo hidroneumático y dos bombas más de la misma capacidad. Se redistribuyen las líneas de alimentación a los tanques, para que cada uno tenga tres bombas. Se cambian las bombas para el CREI por otras de 50 HP porque el edificio se aleja. Se sustituye el tablero de control

- ✓ Reconstrucción de los acotamientos existentes ampliándolos de 6 m a 7.5 m. Será necesario recompartar las terracerías de la ampliación de 2.5 m hasta el 95 % del p.v.s.m. y modificar los espesores de la estructura conforme al proyecto;
- ✓ Aunque no está en la tabla de características, se requiere la construcción de un ducto de cruce de 4 vías para el cableado de los PAPIS reubicados en la prolongación de pista. Deberá contar con los registros necesarios en sus dos extremos;
- ✓ Renivelación y ampliación de las fajas de seguridad de la pista, para satisfacer la norma por cambio de categoría del aeropuerto;
- ✓ Ampliación y refuerzo del pavimento existente en la plataforma de operaciones.
- ✓ Pintura de señalización horizontal provisional mientras duran los trabajos;
- ✓ Pintura reflejante definitiva en el señalamiento horizontal de todas las áreas de maniobra aeronáutica y terrestre. Los colores serán los de norma;
- ✓ Reposición y adecuación de todo el señalamiento vertical de las áreas de maniobra aeronáutica y terrestre. Las de las áreas aeronáuticas tendrán iluminación interior;

las de las áreas terrestres, materiales reflejantes. Las dimensiones, colores y mensaje serán los estipulados en cada caso.

**b).- En edificios:**

- ✓ En el Edificio terminal, ampliación de 700 m<sup>2</sup> en diversas zonas;
- ✓ Reacomodo de áreas interiores para mejorar la distribución y el tamaño del espacio aprovechable de las concesiones existentes;
- ✓ Instalación de una nueva banda para entrega de equipaje;
- ✓ Sustitución progresiva de los equipos de enfriamiento de agua del sistema de aire acondicionado, la rehabilitación de las máquinas manejadoras de aire y el mejoramiento y ampliación de los ductos para aire de inyección y retorno;
- ✓ Rehabilitación de la sub-estación eléctrica general del Edificio, sustituyendo el transformador, la planta de emergencia y el equipo de transferencia;
- ✓ Rehabilitación de la sub-estación eléctrica del sistema de aire acondicionado, sustituyendo el transformador;
- ✓ Construcción de un nuevo edificio para el Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios, conforme a las necesidades que el cambio de categoría del aeropuerto impone;
- ✓ Rehabilitación y ampliación del sistema de alumbrado del Edificio.

**c).- En la Zona de Combustibles:**

- ✗ Construcción de dos nuevos tanques verticales: uno para turbosina (queroseno) de un millón de litros y otro de 500 000 litros para agua. Se requerirá acondicionar el terreno, construir los muros de contención del primer tanque, las bases de cimentación de los dos y las modificaciones que se requieran a las tuberías;
- ✗ Sustitución de los equipos de bombeo para agua, espuma y turbosina (queroseno) incrementando su potencia al crecer las necesidades;
- ✗ Reconstrucción del 60 % del área de la calle de servicio, reemplazando las losas dañadas y reponiendo el sello de juntas;
- ✗ Incrementar las longitudes de tubería para agua contra incendios y de ductos para alambros eléctricos, para servir a dos nuevos hidrantes y dos arbotantes adicionales para el alumbrado. Los arbotantes existentes se reubican, debiéndose construir nuevas bases para los mismos;
- ✗ Rehabilitación de los acabados y la impermeabilización de la caseta de control;
- ✗ Revisión y, en su caso, ajuste de los tableros del centro de control de motores.

**d).- Iluminación y Ayudas Visuales:**

- ✗ Sustitución total de las lámparas de umbral y borde de pista, agregando las necesarias en la ampliación de la pista. Se colocarán nuevos cimientos registro en pista, dado que la disposición de las lámparas se modifica. Todos los

- transformadores de aislamiento se sustituyen, pues cambia la capacidad de los focos;
  - ✕ En los rodajes actuales y la plataforma de avionetas se construyen también nuevos cimientos-registro, dado que como ahora se usará cable con pantalla las bases universales actuales no podrían conectarse a tierra; se reemplazan los transformadores de aislamiento;
  - ✕ Como la plataforma de operaciones se modifica, las lámparas de borde se reacomodarán incrementando su número. Su disposición se modifica, dejando el cimiento-registro en la faja de seguridad. Todos los transformadores de aislamiento serán nuevos;
  - ✕ Cableado nuevo en todas las áreas de maniobra aeronáutica existentes. En la pista se instalará doble circuito incluyendo la prolongación, mientras que en los rodajes se mantiene un circuito para los dos actuales y las plataformas, incluyendo la ampliación de la de operaciones;
  - ✕ Se construye nuevo sistema de iluminación en el rodaje paralelo; un solo circuito que será alimentado desde un Regulador de Corriente Constante específico;
  - ✕ Se usarán los ductos de cruce existentes;
  - ✕ Se reemplazan e incrementan los Reguladores de Corriente Constante, siendo ahora dos para la pista, uno para el rodaje paralelo y otro más para los rodajes existentes y las plataformas;
  - ✕ El viejo faro de aeropuerto deberá ser desmantelado y bajado de la torre de control, colocando en su lugar otro, nuevo, de destello;
  - ✕ Los postes de alumbrado de plataforma se incrementan en dos unidades. El cableado de alimentación se continuará desde el existente. Deberán construirse los ductos necesarios para conducirlo.
- e).- En Cercados:
- + Se sustituye la totalidad del cercado perimetral, instalando ahora malla de alambre con las características que señala el proyecto;
  - + El cercado actual del área terminal se debe rehabilitar, sustituyendo la longitud de malla y los tubos de soporte o marco que estén en mal estado. Las puertas de acceso vehicular y peatonal se deben desmontar para alinearlas y someterlas a refuerzo de soldadura. La malla de relleno en los marcos se sustituirá por nueva.
- f).- En los Sistemas Electromecánicos Generales:
- ♣ Se sustituyen el transformador de la sub-estación eléctrica y la planta de emergencia por los nuevos que marca el proyecto;
  - ♣ Se incrementa el sistema hidroneumático con un nuevo tanque de presión y dos bombas adicionales para su alimentación. Deberá revisarse si con el compresor de aire existente se pueden alimentar los dos tanques que se tendrán; en caso de no ser así, se instalará un compresor adicional para el nuevo tanque. Las bombas para alimentar la cistema del CREI se reemplazan por nuevas, de mayor potencia. Si el proyecto así lo indica, una será eléctrica y la otra tendrá motor de combustión interna;



- ✦ Se reemplaza el tablero automático de control, pues el existente no tiene capacidad para las bombas nuevas y de mayor potencia.

Hecho el análisis de las condiciones existentes y las necesidades para reconstruir el aeropuerto, se puede empezar a trabajar en su proyecto.

Ante todo deberá definirse si el campo aéreo podrá ser cerrado durante el tiempo que duren los trabajos o bien permanecerá en operación. Como generalmente es la segunda opción la que se toma, a ella se referirán estas notas.

Previamente al inicio de los proyectos será necesario llevar a cabo un estudio de evaluación de los pavimentos existentes, con el propósito de conocer su capacidad de carga y el refuerzo que requerirá para prolongar su vida útil durante por lo menos 10 años. Como las áreas operacionales deben mantenerse en operación, será necesario considerar que el refuerzo solamente puede hacerse a base de incrementar el espesor de las capas asfálticas.

El tamaño de la sobre-capa que se vaya a construir marcará el nivel que deberá tener la rasante del pavimento en las zonas de ampliación o construcción nueva, como en la calle de rodaje paralela que considera el ejemplo.

### **OBSERVACIÓN**

*Para el análisis que sigue se considera que todas las áreas de operación existentes tiene pavimento flexible. En el caso del de concreto hidráulico sólo es posible llevar a cabo su ampliación geométrica si se mantiene la misma estructura del pavimento pues, aunque es factible reforzarla sobreponiendo nuevas losas, ese trabajo solamente se puede llevar a cabo cerrando el elemento en cuestión, cosa imposible en el caso de la pista, que debe mantenerse en operación. Dado el caso, es factible reforzar el pavimento rígido incrementando su espesor mediante sobre-capas asfálticas, como en su momento será comentado.*

Así mismo, deberá revisarse el estado que guarda la estructura del Edificio Terminal, pues si se proyecta ampliarlo agregando un segundo nivel al existente, puede resultar que se requiera reforzar dicha estructura. Esa revisión se minimiza si solamente se trata de ampliaciones exteriores y en el interior sólo habrá reacomodo de áreas.

En este caso se requerirá preparar un programa detallado de la forma en que se habrán de realizar los trabajos, a fin de reducir las molestias que se ocasionarán a los usuarios del inmueble: trabajadores, pasajeros y acompañantes.

### **3.- REFUERZO Y MODIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE OPERACIÓN AERONÁUTICA Y TERRESTRE**

En la práctica se llevan a cabo etapas de trabajo simultaneo en varias de estas áreas. Sin que sea una regla absoluta pueden considerarse que podrían ser las siguientes:

#### *PRIMERA ETAPA:*

- a).- Colocación de sobre-capas de re-nivelación y refuerzo en la pista;
- b).- Trabajos de construcción en la zona de ampliación de la pista y la plataforma de operaciones, hasta el nivel de base hidráulica impregnada;
- c).- Trabajos de ampliación en uno de los acotamientos de la pista; generalmente en el del lado contrario al área terminal, hasta el nivel de base hidráulica impregnada;
- d).- Trabajos de ampliación en uno de los acotamientos de las calles de rodaje. Casi siempre es la del lado interior, hacia la isleta entre ambos. Se llevará hasta el nivel de base hidráulica impregnada;
- e).- Trabajos de construcción de la calle de rodaje paralela hasta la base hidráulica impregnada;
- f).- Colocación de sobre-carpeta en el camino de acceso.

#### *SEGUNDA ETAPA*

- a).- Continuación de sobre-capas en la pista, hasta dejar pendiente la última de ellas;
- b).- Ampliación del segundo acotamiento de la pista, hasta nivel de base hidráulica impregnada;
- c).- Ampliación de los segundos acotamientos de las calles de rodaje hasta base impregnada;
- d).- Continuación de la construcción de la calle de rodaje paralela;
- e).- Colocación de la carpeta sobre la ampliación de la plataforma, formando rampas de unión con el pavimento existente;
- f).- Renivelación de faja de seguridad exterior de la pista (del mismo lado en que ya se terminó la ampliación del acotamiento);
- g).- Colocación de sobre-carpeta en vialidades interiores.

#### *TERCERA ETAPA*

- a).- Tendido de la capa de rodamiento en pista, iniciando en la cabecera de la ampliación y hacia el otro extremo. Se incluirá la carpeta de los acotamientos ampliados;
- b).- Tendido de la carpeta en el rodaje paralelo, iniciando en la misma cabecera de la pista que ya haya recibido esa capa;
- c).- Colocación de primera capa de refuerzo en plataforma de operaciones, iniciando en la frontera con la ampliación y terminando cada jornada con la construcción de rampas de liga entre el pavimento nuevo y el existente;
- d).- Renivelación de la segunda faja de seguridad de la pista;
- e).- Ampliación y nivelación de la faja de seguridad interior de las calles de rodaje existente;
- f).- Colocación de sobre-carpeta en el estacionamiento público.

Y así sucesivamente...

Puesto que el aeropuerto está en operación una buena parte de estos trabajos deben ser realizados de noche, empleando sistemas adecuados de alumbrado, o bien durante el día, guardando celosamente las medidas de seguridad exigidas por las autoridades aeronáuticas y retirando las máquinas de las proximidades de las áreas operacionales cada vez que haya una operación aeronáutica.

**3.1.- Refuerzo de Pavimentos.-** El proyecto deberá consignar como piso existente el pavimento actual, con las deformaciones longitudinales y transversales que tenga, pues por regla prácticamente general todo pavimento que ha de rehabilitarse está deformado y a menudo tiene los hombros caídos y ondulados. Indicará también la nueva rasante que deberá obtenerse.

Revisando el plano de secciones transversales del elemento de que se trate, el constructor deberá identificar los espesores máximos que deberá colocar para re-nivelar la superficie, así como el de la capa final (de espesor constante) que en su caso se continuará sobre la ampliación, cuando ésta existe.

Tomando en cuenta las especificaciones relativas al máximo espesor de carpeta que se pueda colocar (que en las Normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México corresponde a 11 centímetros sueltos), deberá programar la colocación de las capas sucesivas de espesor variable que integrarán la renivelación. Si las deformaciones son fuertes, no es extraño encontrar espesores de más de 15 cm que ameritan la colocación de, por lo menos, dos capas sucesivas.

En la actualidad se cuenta con equipos electrónicos que facilitan el trabajo de renivelación al permitir un adecuado control de niveles en capas de espesor variable. Cuentan con un dispositivo computarizado que puede ser programado para que la pavimentadora coloque una capa de carpeta nivelada, independientemente de las irregularidades que tenga la superficie existente. Tienen un par de sensores en forma de trineo con varios patines que se adosan a los costados de la máquina que envían señales del nivel que tiene la superficie. La computadora hace que los tornillos del conjunto enrasador de la pavimentadora se muevan arriba o abajo hasta dar la cota que debe tener la capa de carpeta. Esta operación se repite rápidamente a ambos lados, a medida que la máquina se mueve hacia adelante.

En otra forma de trabajar, se usan dos sensores dotados de un patín con fondo acanalado que sigue sendos hilos nivelados que se colocan a ambos lados y que indican la cota de la carpeta por tender; entonces la computadora altera la altura de los tornillos en la misma medida que el sensor detecta que el patín sube o baja según los movimientos de la pavimentadora.

Los resultados que se obtienen con ambos sistemas son adecuados, aunque debe señalarse que resultan más exactos con el segundo.

Si no se cuenta con equipos electrónicos, puede emplearse un dispositivo mecánico que ayuda a obtener buenos resultados. Consiste en un sencillo aparato que puede ser construido en el taller de campo con materiales de desperdicio y con la forma que muestran los esquemas de la figura 1, en donde las dimensiones son sólo para dar una idea, puesto que parte del éxito de este método estriba en emplear materiales disponibles. En cada caso se podrá improvisar con los elementos con que se cuenta.

Básicamente hay sólo dos reglas que respetar:

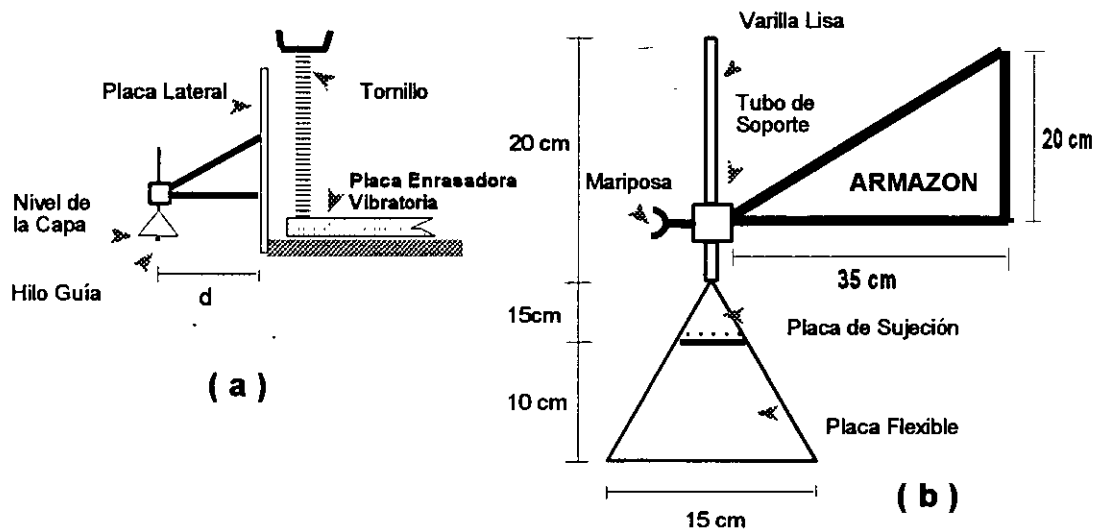


Figura N° 1

- 1a. El armazón debe ser lo suficientemente rígido para que no vibre. La varilla lisa debe de quedar en posición vertical.
- 2a. En el esquema (b) del dispositivo se ha deformado intencionalmente la parte "guía" del mecanismo porque es la más importante: la placa flexible debe ser de material lo suficientemente pesado para que se conserve más o menos vertical, pero lo suficientemente suave para permitir que se curve. Por ello se recomienda emplear trozos de neopreno o de banda transportadora con espesor entre 3 y 5 mm, que se atornillarán a la placa sujetadora para poderlos reemplazar.

Tanto para usar este aparato como para el electrónico que usa hilo de guía, se requiere un trabajo topográfico previo que consiste en lo siguiente:

- El ancho total de la franja por pavimentar se divide en tantas partes como lo permita el de la pavimentadora; mientras menos anchos se tengan el resultado será mejor. Por ejemplo, para una pista de 45 m de ancho pueden resultar cinco franjas de 4.5 m a cada lado del eje.

- ▶ Se obtienen perfiles longitudinales precisos de la superficie por pavimentar siguiendo las líneas de límite lateral de las franjas.
- ▶ Los perfiles se dibujan a escala horizontal reducida, pero vertical 1:1 y en cada uno de ellos se dibuja también la rasante del proyecto o el perfil correspondiente a una capa de nivelación. A cada perfil se le da una identificación conveniente a base de letras o números y siempre se señalará si corresponde al lado izquierdo o derecho del eje. El origen de los cadenamientos debe ser el mismo que se tenga en la obra. A continuación se dibujan en cada uno líneas de la rasante que se obtiene al considerar el abundamiento de la capa después de salir de la pavimentadora.
- ▶ Puesto que la escala vertical es 1:1, se pueden medir físicamente los espesores que deberá tener la capa en cada punto de control (que pueden ser tantos como se desee, aunque es normal usar separaciones de 5 m entre ellos), llevando la precisión al milímetro. Esas lecturas se vacían en tablas que permitan llevarlas al campo.

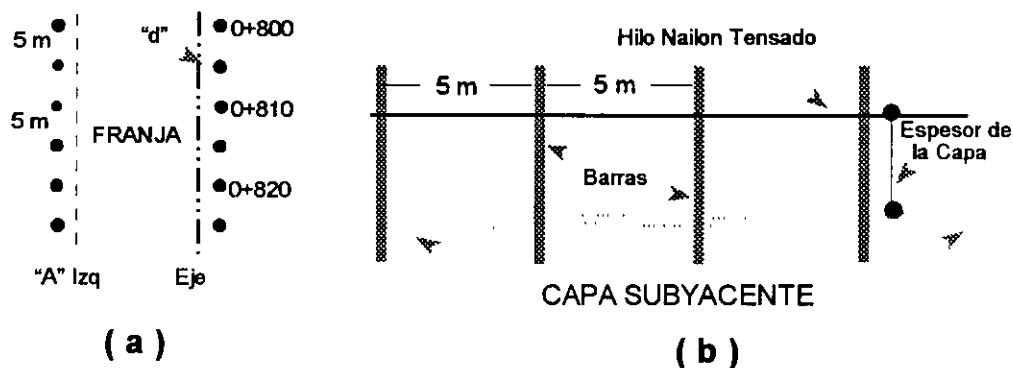


Figura N° 2

- ▶ Previamente al tendido se coloca una línea de varillas o clavos largos alineados topográficamente, a una distancia tal de la orilla de cada franja, que equivalga a la que existe entre el borde de la placa lateral de la pavimentadora y la varilla vertical <“d” en el esquema (a) de la figura 1>; en los soportes clavados en la capa subyacente y con la separación establecida en gabinete (por ejemplo: a cada 5 m), se marca con una regla graduada al milímetro el espesor que según la tabla preparada corresponda a ese punto, a cualquier lado de la franja.

Normalmente los puntos se indican con su cadenamiento original desde el 0+000 del elemento y con la letra que corresponda a su ubicación transversal, como lo muestra la parte (a) de la figura 2.

## **OBSERVACIÓN**

*Cuando se trabaja una renivelación, puede ocurrir que los hilos lleguen a tener altura nula cuando su nivel coincida con las zonas elevadas en la carpeta deformada.*

- ▶ Con hilo de nailon fuertemente tensado con grosor en el orden de 1.2 a 1.5 mm, similar a los empleados en pesca deportiva, se formará una línea coincidente con las marcas que se pusieron a cada barra de soporte y que representa, trasladada a la distancia “d”, la rasante del borde de la capa corregida por abundamiento después del vibrado.
- ▶ Antes de arrancar el tendido, el operador de la pavimentadora hará descender el conjunto enrasador de la máquina hasta ponerlo en contacto con una superficie plana. En el aparato adaptado, se aflojará el tornillo “mariposa” que sujeta a la varilla vertical, haciéndola subir o bajar hasta que la placa de neopreno ó hule (caucho) toque, sin doblarse, la superficie del piso.
- ▶ Con la máquina en posición para comenzar a trabajar, se hacen girar los tornillos que gobiernan el conjunto hasta que la placa de hule de cada uno de los aparatos colocados a los costados de la caja de salida entre en contacto, sin doblarse, con el hilo nailon tensado o, en su caso, con la superficie de la capa previamente tendida.

En ese momento la pavimentadora estará lista para iniciar el tendido de la mezcla.

- ▶ Conforme progrese el tendido, los tornilleros solo tendrán que vigilar que la placa de hule vaya en contacto con el hilo de guía o la carpeta vecina (no compactada); si el hilo desciende la placa se separa de él dejando un espacio claramente visible. Si el hilo sube, la placa se doblará en el sentido del movimiento de la máquina. En ambos casos será sencillo corregir el avance de los tornillos de la pavimentadora para mantener el ligero contacto entre la placa y el hilo de guía.
- ▶ Con el tiempo y el rozamiento la placa de caucho se deteriora y presenta deformaciones o canalizaciones en su piso, alterándose su precisión. Entonces se hará necesario reemplazarla.

Aunque la colocación de hilos para controlar el tiro de la carpeta puede considerarse incómodo y significar cierta pérdida de tiempo, lo cierto es que sólo afecta al tendido de la primera franja de la jornada, pues mientras se ejecuta se pueden estar instalando los hilos correspondientes a las franjas restantes en el ancho del elemento. La pérdida de tiempo que ello pueda significar se recupera con creces durante la jornada, pues el tendido de carpeta se puede hacer sin tropiezos y el resultado es magnífico, sobre todo cuando se trabaja de noche. Además, cuando se usa el equipo electrónico con sensor para hilo, es obligado su empleo.

Si el trabajo tiene que ejecutarse durante la noche, habrá que contar con equipos de iluminación con la intensidad adecuada y en número suficiente para alumbrar la zona de trabajo.

Cualquiera que sea el procedimiento a seguir para controlar los niveles de la carpeta, siempre deberá empezarse a trabajar por las orillas de la pista o elemento de que se trate, pues usualmente son las que presentan mayor deformación. Se acostumbra considerar franjas de unos 100 m de longitud, pues casi siempre es lo que se puede construir durante una jornada nocturna. Si el ancho de las mismas fuera de 4.5 m, se pueden colocar las 10 que se requieren para completar el de la pista en unas 7 horas.

Es común que cuando se empieza el trabajo, la pavimentadora frecuentemente encuentra elevaciones que impiden el tendido de la carpeta. Si se está usando agregado con tamaño máximo de 19 mm (3/4"), el espesor mínimo de la capa será de unos 25 mm y, por ello, cuando se observa que los hilos de guía se acercan al suelo menos de esa medida, deberá interrumpirse la carpeta, levantando el extremo posterior de la máquina y permitiendo que el material que haya quedado se esparza a mano, eliminando las partículas gruesas con rastrillos metálicos. Si la máquina sigue los hilos, llegará el momento en que encuentre de nuevo una zona en que se rebase el espesor de 25 mm y se procede a tender la mezcla nuevamente.

Esto puede suceder en la segunda y quizás hasta la tercera franja (de la orilla hacia el centro), pues es poco probable que en una primera capa de nivelación se llegue hasta el centro.

En la siguiente jornada se puede elegir una de dos opciones: continuar longitudinalmente colocando la primera capa de nivelación hasta completar la longitud de la pista o el elemento que se trabaje, o bien reparar el primer tramo tendiendo ahora la segunda capa de nivelación. Es más conveniente la segunda, pues de esa forma se empieza a notar alguna mejoría en el estado de la superficie, aunque, si el contratista cuenta con una planta de asfalto con buena producción, varias máquinas pavimentadoras y de compactación así como equipo de iluminación suficiente, podrá combinar el trabajo, de suerte que en cada jornada coloque franjas de primera capa y, uno o dos tramos atrás, otras de segunda capa. De esa manera avanzará más rápidamente.

Cuando el espesor del refuerzo es importante y no puede ser colocado en una sola pasada de las pavimentadoras, se requerirá tender una tercera capa sobre las antes descritas, que todavía puede tener espesor variable para eliminar pequeñas deformaciones que hayan quedado en el trabajo inicial o que existan en la parte central del pavimento original, lo que permite tener una superficie mejor para el tendido de la capa final, de rodamiento.

Por último se deberá tender la capa de rodamiento. Se debe procurar que nunca tenga menos de 5 cm de espesor compactado, a fin de garantizar que el concreto asfáltico se acomode adecuadamente y no aparezcan zonas ralladas porque el agregado grueso se atasca en las placas del conjunto enrasador. Es frecuente que esta capa tenga entre 7 y 9 centímetros. El tendido debe ser iniciado en la zona de ampliación longitudinal cuando se trata de la pista, trabajando del centro hacia los lados hasta concluir en el acotamiento (margen) de cada lado.

## **OBSERVACIONES**

- *Cuando se trabaja únicamente el refuerzo de los pavimentos y no hay ampliaciones laterales en los elementos, normalmente los acotamientos llevan una carpeta gruesa que renivela y refuerza los acotamientos. Esto va a provocar que las bases o cimientos-registro de las lámparas de borde queden enterradas y sea necesario elevarlas. En el capítulo 6 se trata el procedimiento a seguir.*
- *En cambio, si las hay y son simétricas, a menudo ocurre que la carpeta tenga un espesor menor al de la pista, la calle de rodaje o una plataforma. Esto forzará a que primero se coloque la capa de rodamiento del elemento, rematándolo en la base hidráulica del acotamiento. Posteriormente se tenderá la carpeta de éste, con el espesor que señale el proyecto y cuidando la continuidad de los niveles transversales.*
- *Si existen ampliaciones laterales a ambos lados del elemento consideradas con ancho menor a 3 metros, resultarán inadecuadas para trabajarlas con equipo pesado, lo que puede forzar a que el proyectista opte por hacer la ampliación hacia un solo lado acarreado con ello que las secciones transversales queden asimétricas, como lo muestra el esquema de la figura 3. Esta circunstancia puede provocar que el ancho de las franjas en el tendido de la capa de rodamiento tengan anchos diferentes a ambos lados del parte-aguas, pues no es conveniente trabajarlas a partir del eje geométrico, ya que será difícil conseguir que dicho parte-aguas quede bien alineado.*



**Figura N° 3**

El caso más sencillo de rehabilitación del pavimento de algún elemento es, indudablemente, cuando no se requiere reforzarlo porque su estructura es suficiente.

En estos casos podrán darse dos situaciones: en la primera la superficie de rodamiento está deteriorada a causa del desprendimiento de partículas superficiales debida a la oxidación del asfalto o mala afinidad entre el agregado y el asfalto; en la segunda, la carpeta está envejecida y presenta agrietamiento múltiple en forma de mapa, con algunos desprendimientos de conchas en forma aislada. En ninguno de los dos casos se observan deformaciones de importancia.

Para atender el primer caso, es necesario extraer corazones de la carpeta para identificar la razón



del desprendimiento. Aunque el laboratorio hará las pruebas necesarias y señalará la razón, en el campo se puede observar fácilmente la causa. Si es oxidación, las partículas sueltas estarán cubiertas de una ligera capa de asfalto de color café claro o gris que no se despega al frotarla con el pulgar, aunque éste puede quedar manchado con el mismo color; además, si se trata de desprender algún grano se encontrará resistencia y casi siempre se observa una coloración generalizada en tono café claro o gris, habiéndose perdido el color negro típico del asfalto. Si es falta de afinidad, las partículas estarán limpias o, si acaso, presentan pequeños lunares de asfalto, pero su color seguirá siendo negro o gris muy oscuro; si se trata de desprender algún grano de la superficie, éste sale con facilidad, sin asfalto adherido o partículas del mortero asfáltico.

En ambos casos deberá revisarse la afinidad del agregado con el asfalto y obtener la recomendación de algún aditivo para resolverla. Una vez que se cuente con ella, se procede a rehabilitar la superficie.

Si el desprendimiento no es grave y el espesor de carpeta dañada no excede de 1.5 cm, se seguirán los siguientes pasos:

- a).- Barrer la superficie que se vaya a tratar en la jornada, empleando escobas mecánicas con rodillo de fibras textiles (palma) o de nailon suave, a fin de no provocar un mayor desprendimiento.
- b).- Aplicar un riego de asfalto rebajado de fraguado rápido o la emulsión asfáltica equivalente. Conviene hacer mosaicos preliminares de prueba para determinar la densidad por aplicar, considerando que desde la aplicación hasta que la superficie se ponga en operación solamente se dispone de unas 4 o 5 horas y que para entonces el asfalto deberá haber perdido los solventes y estar seco al tacto, para evitar que se adhiera a las llantas de los aviones y manche el fuselaje. La densidad dependerá de la resequedad que presente la carpeta y la velocidad con que absorba el producto.

Si se usa asfalto rebajado, deberá aplicarse muy caliente (90 a 100°C) y en proporciones que seguramente estarán entre 0.9 y 1.5 litros por metro cuadrado. En el caso de la emulsión generalmente se diluye ésta con agua en proporciones que variarán de 60:40 a 80:20 (agua y emulsión, respectivamente). Se calienta hasta unos 35 a 40° C antes de aplicarla y la proporción podrá variar entre las dos que antes se señalan, aunque pueden variar, pues ahora dependerá también de la cantidad de asfalto libre que quede después del rompimiento de la emulsión.

A los dos asfaltos se deberá añadir el aditivo que haya sido recomendado para garantizar su afinidad con el agregado.

- c).- Después de dejar reposar el riego por un mínimo de 48 horas, se aplicará una capa de mortero asfáltico en frío ("slurry-seal") con agregado de 9 mm de tamaño máximo y 15 mm de espesor. La emulsión deberá ser de rompimiento rápido y estar adicionada con el aditivo

mejorador de la adherencia; el agregado deberá ser limpio, tener buena granulometría y un equivalente de arena de, por lo menos 60 %, aunque los resultados serán mejores si ese valor sube a 70 % o más.

Si se cuenta con planta de asfalto y agregado fino suficiente, puede optarse por colocar una capa de mortero asfáltico caliente con tamaño máximo de agregado similar al antes señalado y con espesor de 20 mm. El asfalto deberá tener el aditivo mejorador de afinidad que corresponda. Naturalmente, en este caso se requerirá controlar los niveles del tendido en forma adecuada.

Si el espesor que ya se ha desprendido es de entre 1.5 y 3 cm, se deberán seguir los dos primeros pasos antes señalados, pero ahora será indispensable colocar una nueva capa de rodamiento con espesor mínimo de 3 cm. Para lograrla sin imperfecciones en la superficie, será conveniente usar agregado con tamaño máximo de 13 mm (1/2"), pues si se emplea el común de 19 mm (3/4") pueden tenerse superficies rayadas o con huecos que deben ser reparadas a mano.

Cuando debe reforzarse un pavimento rígido, en el que las losas ya se encuentran muy dañadas por fatiga y presentan gran cantidad de agrietamientos, desprendimiento superficial y desconchamientos, como antes ha sido comentado sólo puede hacerse mediante sobre-capas de concreto asfáltico cuando el elemento debe mantenerse en operación. En tal caso seguramente el proyecto considera un espesor de, por lo menos 18 cm de carpeta y la inclusión de una membrana de tensión que impida el reflejo de las grietas y juntas del concreto hidráulico en la superficie de la nueva carpeta. (La razón de ese espesor es que existe una norma respecto a que cuando se usa geo-textil el espesor de carpeta sobre él debe ser de, por lo menos, 15 cm.)

El procedimiento, considerando que el elemento se mantiene en operación y se trabajará de noche, consiste en los siguientes pasos:

- a).- Antes de empezar a colocar capas de concreto asfáltico debe hacerse una reparación cuidadosa de las losas dañadas. Puede consistir en:
- ☒ Sellar los agrietamientos con un mortero asfáltico fluido fabricado mezclando una emulsión de rompimiento rápido diluida y con la adición de un 15 a 20 % (en volumen) de arena fina;
  - ☒ Desprender los trozos sueltos de concreto hidráulico y rellenar los huecos con mortero epóxico o con concreto asfáltico caliente, compactado a mano;
  - ☒ Sustituir trozos de losa de por lo menos 1/4 de su área, demoliendo la zona dañada y volviéndola a colar en una sola jornada. Para ello deben usarse concretos de alta resistencia (no menos de  $f'c = 450 \text{ Kg/cm}^2$ ), con aditivos acelerantes para que en 3 horas adquieran por lo menos el 35 % de su resistencia y la completen entre 3 y 5 días;
  - ☒ Reponer losas completas con el mismo procedimiento indicado en el párrafo anterior.
- b).- Terminada la reparación se procederá al tendido, por tramos con todo el ancho del

elemento, de una capa niveladora de concreto asfáltico de, por lo menos, 3 cm de espesor compacto. Esta capa se continuará hasta completar la longitud del elemento que se repara.

- c).- En seguida y en una sola jornada nocturna, se deberá colocar la membrana geo-textil que servirá como elemento absorbente de los esfuerzos de tensión que puedan transmitir las losas, seguida de una capa de concreto asfáltico de no menos de 5 cm de espesor compacto.

La membrana casi siempre se especifica como constituida por fibras de polipropileno o polietileno no trenzadas sino adheridas por calor y compresión; debe cumplir con especificaciones de peso por metro cuadrado y cierta resistencia a la tensión.

Se coloca con un dispositivo mecánico que se acopla al frente de un tractor agrícola o manualmente y se va extendiendo sobre la superficie de la capa niveladora previamente construida. Debe cuidarse que no presente pliegues o bolsas y para ello se recurre al uso de cepillos de cerda animal o a la aplicación de un tubo que rueda sobre la superficie aplicando cierta tensión a la tela, en la forma que muestra el esquema de la figura 4.

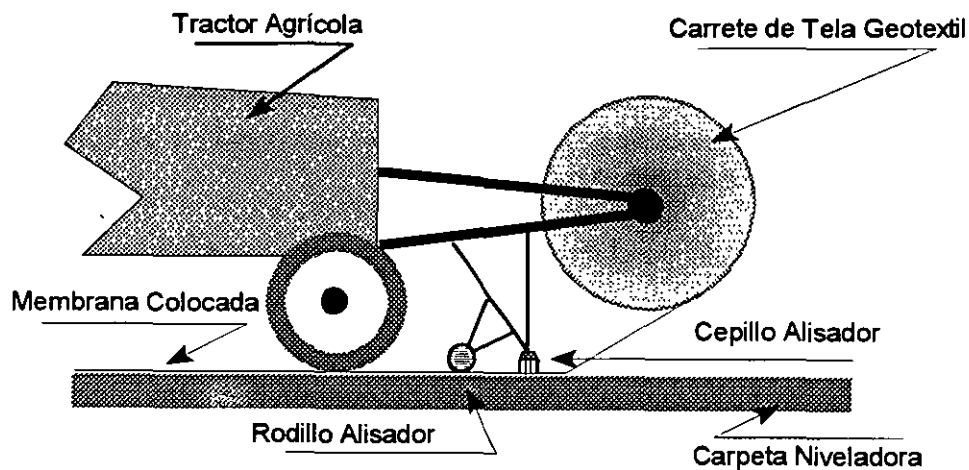


Figura N° 4

Para fijar la membrana se aplica un riego del mismo cemento asfáltico empleado en la carpeta, calentado a 140 - 150° C y en una proporción de 1.5 a 2.0 litros por metro cuadrado, conforme a las indicaciones del proyecto. La aplicación del manto debe hacerse en cuanto haya pasado la petrolizadora, para aprovechar el estado de fluidez del asfalto.

En cuanto se tenga longitud suficiente, se hará transitar un rodillo neumático liviano, que debe dar por lo menos una cerrada a todo el ancho de la membrana para asegurar su adherencia al asfalto y que éste alcance a pasar a la superficie de la tela.

Al cubrir con una franja de lienzo la longitud que se vaya a trabajar en la jornada (de 80 a 90 metros), se regresará el rodillo al inicio del tramo y se colocará la siguiente franja en sentido transversal. Todos los traslapes que deban hacerse, tanto longitudinal como transversalmente deben tener por lo menos 50 cm de ancho y se usará también el cemento asfáltico para pegarlos.

Ya que se tengan por lo menos tres franjas de tela colocada a ambos lados del eje del elemento se procederá al tendido de la capa de concreto asfáltico antes mencionada. No requiere riego de liga porque el cemento asfáltico que sube a la superficie de la membrana hará sus veces. Huelga decir que debe trabajarse con cuidado para no provocar rupturas en la membrana.

- d).- Una vez que toda el área del elemento es cubierta por la membrana y la primera capa de carpeta sobre ella, se procederá al tendido de la última capa, que constituirá la nueva capa de rodamiento.
- e).- Si el espesor total de carpeta hubiera sido de 18 cm compactados y se colocaron primero 3 cm como capa niveladora, más otros 7 cm sobre la tela geo-textil, la última capa será de 8 cm.

### **OBSERVACIONES**

- *Es frecuente que las normas complementarias de un contrato para la realización de trabajos de nivelación y refuerzo en áreas de operación aeronáutica señalen que antes de iniciarlos debe eliminarse el señalamiento horizontal de pintura reflejante. La razón de ello es que se considera que las micro-esferas de vidrio que constituyen el elemento reflejante no permiten que el concreto asfáltico se adhiera a la superficie, provocando fallas posteriores.  
Para eliminar la pintura se pueden usar varios procedimientos mecánicos, de ellos el que ha mostrado mayor eficiencia es un equipo abrasivo similar a las máquinas que se emplean en el pulido de pisos. Estas máquinas manuales hacen su trabajo con rapidez y eliminan totalmente las micro-esferas, aunque quede algún residuo de pintura, que ya no hace daño a la adherencia de la carpeta.*
- *En todos los trabajos de nivelación y refuerzo que se hagan sobre las áreas de operación, la O.A.C.I. recomienda que se dejen chaflanes de mezcla asfáltica con el 1 % de pendiente entre el nivel de la sobre-capa y el de la subyacente. En la práctica se ha observado que los pilotos se quejan menos del efecto de esos chaflanes cuando la pendiente que se usa varía entre el 0.5 y el 0.7 %.*

*Antes de iniciar el trabajo en la siguiente jornada deben eliminarse los chaflanes de la anterior, para conseguir una buena liga entre las capas y mantener los niveles adecuados.*

*Esa eliminación se facilita si en la zona donde quedará el chaflán no se coloca riego de liga; la tenue liga que proporciona el cemento asfáltico es suficiente para que no se desprenda durante unos dos o tres días.*

**3.2.- Rehabilitación de Acotamientos (márgenes).**- Pueden darse dos situaciones: cuando los acotamientos tienen el ancho especificado (7.5 m para pistas de 45 m) y cuando es necesario ampliarlos para obtener dicho ancho. Se comentará inicialmente el primero, pues es más sencillo.

El deterioro de los acotamientos frecuentemente se debe a falta de mantenimiento y se refleja en pérdidas casi totales o desprendimientos graves de la capa de rodamiento. En otros casos se presenta como una destrucción de la estructura a causa de la expansión y contracción de materiales arcillosos empleados en la construcción de las fajas de seguridad, que se identifica por la abundante presencia de grietamientos longitudinales muy profundos.

El primer tipo se puede resolver en forma más sencilla, ya que se asume que la estructura está sana y tiene la resistencia necesaria, requiriéndose solamente de una rehabilitación superficial. De esta suerte, los trabajos consistirán en:

- a).- Retirar las lámparas de borde en el tramo que se vaya a reparar, sustituyéndolas por tapas de lámina que preserven las bases universales.
- b).- Aplicar alguno de los procedimientos mencionados en la página anterior: colocación de un mortero asfáltico o en caliente.
- c).- Al terminar, limpiar el material sobre la ubicación de las lámparas, retirar las tapas y reponer las unidades.

Por otra parte, cuando la estructura es deficiente y requiere reforzarse, si la rehabilitación se asocia con la de la pista, seguramente deberá continuarse la colocación de la sobre-carpeta de refuerzo en los acotamientos. Entonces los pasos a seguir serían:

- a).- Retirar las lámparas de borde en el tramo que se vaya a trabajar, sustituyéndolas por tapas de lámina que eviten el deterioro de las bases universales;
- b).- Barrer la superficie deteriorada y aplicar un riego de asfalto rebajado o emulsión, en la forma antes comentada, para “revivir” el cemento asfáltico que reste;
- c).- Reparar a mano los huecos que presente la carpeta dañada, empleando mezcla caliente y compactándola con rodillos vibratorios manuales o pisones;
- d).- Colocar la sobrecarpeta que corresponda a la continuación de la que se tiende en la pista. Al cubrir las tapas de lámina donde van las lámparas, dejar una marca que permita

localizarlas posteriormente;

- e).- Una vez que se haya completado el espesor de carpeta, incluyendo la nueva capa de rodamiento, se deberán abrir huecos para ubicar la posición de las lámparas, pero no se retirarán las tapas de lámina hasta que se cuente con los elementos que se requieran para elevar los cimientos-registro. La forma de dichos elementos será comentada en el capítulo correspondiente (6);
- f).- Las lámparas son colocadas en su nuevo nivel y el acotamiento queda terminado;
- g).- La zona de contacto entre el acotamiento y la faja de seguridad deberá repararse, pues habrá quedado un desnivel que no debe existir. Seguramente se requerirá hacer un recargue de terracerías que luego se distribuirá y conformará empleando una motoniveladora.

El caso del acotamiento deteriorado por el trabajo de arcillas es más complejo, pues seguramente ya no bastará con rellenar las grietas con morteros asfálticos fluídos para permitir que lleguen hasta su fondo. Desafortunadamente no se trata solamente de restituir la estructura del elemento desde, por lo menos, la subrasante, reconstruyendo las capas dañadas y reponiendo la carpeta, pues la historia volverá a repetirse al cabo de cierto tiempo.

El mejor procedimiento a seguir entraña necesariamente esa reconstrucción, pero obliga también a establecer un "amortiguador" entre las arcillas de la faja de seguridad y el acotamiento. El trabajo es conflictivo porque debe realizarse al lado de la pista en uso y demanda más tiempo del que podría disponerse en jornadas nocturnas. Consecuentemente, requiere una estrecha coordinación con la autoridad aeronáutica del aeropuerto y las compañías aéreas, a quienes debe explicarse con todo detalle cómo se va a trabajar, la longitud de los tramos que se ataquen (en un solo lado de la pista o elemento de que se trate) y el tiempo estimado que se requerirá para ejecutar cada uno de ellos. La zona de trabajo deberá estar copiosamente señalada y se deberán seguir rigurosamente todas las normas de seguridad que se señalen.

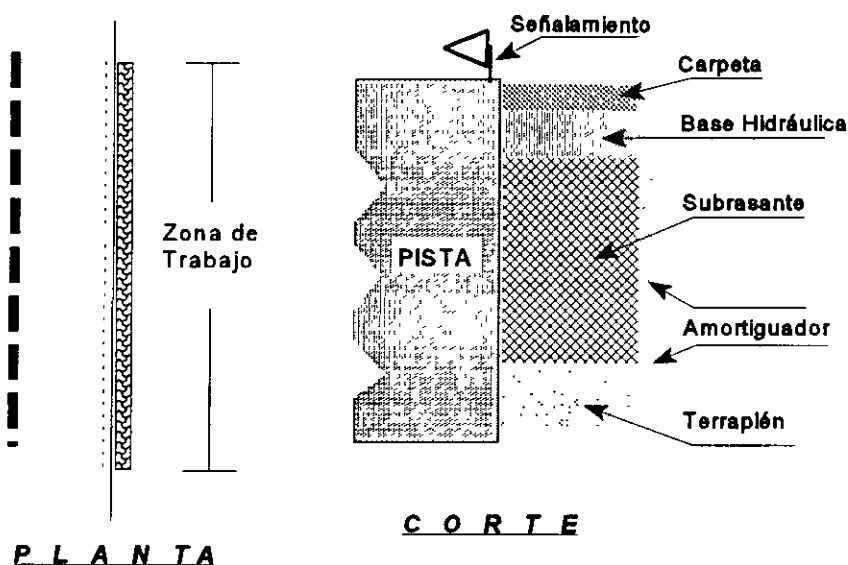
Si se trata de la pista la zona de trabajo es recta, pero en una calle de rodaje habrá curvas que complican el movimiento de las máquinas y disminuyen su rendimiento. Así pues, al programar los trabajos se tomarán en cuenta todos los inconvenientes existentes antes de definir el tamaño de los tramos. Puede resultar que para la pista la longitud adecuada sea de unos 100 m, mientras que para la zona de curvas de una calle de rodaje se reduzca a 60 m, para el mismo tiempo de ejecución.

Como amortiguador contra los movimientos de las arcilla lo adecuado podrá ser construir un "muro" constituido por arena gruesa o grava fina acomodados por vibración en seco, con espesor entre 30 y 60 cm y con la altura de la estructura del acotamiento, a partir del desplante de la subrasante.

### **OBSERVACIÓN**

*Si el aeropuerto no tiene sub-drenaje y se tiene considerado colocarlo, este trabajo puede ser realizado simultáneamente con la reconstrucción de los acotamientos, con lo que se aprovechan las excavaciones que deberán realizarse. Además, si el dren se ubica en la parte exterior del acotamiento, el relleno de su zanja podrá constituir el "amortiguador" que se menciona líneas antes.*

En la figura 5 se muestra esquemáticamente la forma en que se haría el trabajo en el acotamiento de un lado de una pista.



**Figura N° 5**

El procedimiento consiste en:

- 1.- Al ser comentado con amplitud el procedimiento a seguir, se indicará el tamaño de los tramos y la secuela con que se trabajaría. Por ejemplo:
  - Primero el lado interior de la pista, en tramos de 140 m hasta llegar al centro de la longitud.
  - Se inicia en cabecera "NN" (la contraria a la preferencial)
  - Se pasa al lado exterior de la pista aumentando longitud a 160 m y hasta concluir en la otra cabecera
  - Se termina el lado interior hasta la otra cabecera en tramos de 120 m
- 2.- Se solicita a la autoridad aeronáutica la emisión del NOTAM correspondiente al primer

- tramo, mismo que será cancelado al terminar el trabajo. La operación deberá repetirse para cada tramo, a fin de evitar confusión a los operadores de la torre de control y a los pilotos.
- 3.- Transcurrido el tiempo reglamentario para que el NOTAM sea conocido, se inician la colocación del balizamiento en el tramo que se vaya a trabajar.
  - 4.- Todo el equipo que se emplee deberá estar dotado de torretas luminosas reglamentarias. El responsable del trabajo debe tener un equipo de radio portátil (tipo "walkie-talkie") con la frecuencia de la torre de control.

### **OBSERVACIÓN**

*Es prudente que se deje transcurrir un día entre la colocación del señalamiento y el inicio del corte, para que las compañías aéreas y sus pilotos se familiaricen con las condiciones alteradas de la pista.*

- 5.- Las lámparas de borde (una o dos, que se verán afectadas en cada tramo) serán retiradas y se plantarán provisionalmente sobre cajones de madera en la misma línea del balizamiento diurno, alimentándolas con un cableado provisional. Si la autoridad aeronáutica así lo indica, puede requerirse agregar una línea de focos de color rojo que indiquen la presencia de la excavación a la orilla de la pista durante la noche.
- 6.- Con una sierra para concreto se cortará la línea de frontera entre el acotamiento y el cuerpo de la pista. El corte tiene por objeto evitar que las máquinas dañen la carpeta de la pista con su cuchilla. Debe practicarse tan profundo como sea posible.
- 7.- Los materiales procedentes de la excavación serán desperdiciados, pues estarán contaminados agua, polvo y basura que haya entrado por las grietas; consecuentemente la misma puede llevarse hasta la profundidad deseada tan pronto como sea posible. La única limitante que habrá será la posibilidad de que los materiales puedan ser extraídos por el mismo equipo que se usa para el corte, por ejemplo, cargadores frontales. El ancho inicial de la caja será la misma que del acotamiento.
- 8.- Deberá preverse la construcción de una rampa de acceso sobre la faja de seguridad dentro de la longitud del tramo que se trabaja, para permitir la entrada y salida del equipo. Dicha rampa será rellenada posteriormente con el mismo producto de su excavación.
- 9.- Una vez descubierto el nivel de desplante de la subrasante, se deberá revisar su compactación. Si está dentro de los límites esperados, simplemente se humedece la superficie y sobre ella se empieza a colocar el material para la primera capa de la subrasante.



**OBSERVACIONES**

- *Por lo general a esa profundidad se conserva la compactación original, no siendo raro encontrar que se haya incrementado por un proceso de consolidación natural. Si se diera el caso de que la compactación hubiera bajado, se requerirá escarificar por lo menos 20 cm de la capa, incorporarle humedad y recompactarla.*
  - *Es común que los pavimentos de los acotamientos tengan la misma resistencia que los de la pista, pero que se construyan con el criterio de sustitución de componentes. Eso trae como consecuencia una capa de subrasante con espesor muy grande (no es raro que tenga 90 cm o más) de terracerías de buena calidad o mejoradas que en su momento fue construida sin precipitaciones en el número de sub-capas que haya sido necesario. Durante una reconstrucción, el criterio que debe prevalecer es el de ejecutar los trabajos con la mayor rapidez posible y por ello es válido que el proyectista considere materiales granulares (grava-arenas de río o materiales de trituración, con tamaño máximo de 76 mm --3"--), de más fácil y rápida compactación, en lugar de las terracerías originales.*
  - *Como en la zona de obra no hay espacio y no se dispone de mucho tiempo, los materiales para la subrasante y la base deben humedecerse en plataformas de mezclado o empleando máquinas estabilizadoras. Al tramo deben llegar con la humedad ligeramente por encima de la óptima, para compensar la que se pierda durante el proceso de tendido y compactación.*
- 10.- En cuanto sea concluida la compactación de la mitad del espesor de la subrasante, es conveniente empezar la construcción de la capa o muro de amortiguación a la acción de las arcillas. Para ello, con una pequeña retroexcavadora montada sobre un tractor agrícola, cuyo cucharón apenas tiene entre 30 y 40 cm de ancho, o bien empleando una zanjadora de cadena se hace el corte de la zanja que de inmediato es rellenada por capas que deben vibrarse para conseguir su acomodo. Si no es posible introducir una placa vibratoria para bacheo, con motor a gasolina o no cabe una persona, es preferible ampliar el ancho de la zanja para que ello ocurra. Otro recurso podría ser el apisonar las capas de arena o material granular seco con compactadores neumáticos del tipo "pata de elefante" para conseguir su mejor acomodo.
- Las capas posteriores de la franja de amortiguación deberán construirse en la medida que se eleven las del resto de la subrasante.
- 11.- Una vez concluida la subrasante se procederá a colocar la base y la carpeta, que usualmente son capas delgadas en este tipo de estructura, pues suelen tener 15 a 20 cm para la base y 5 centímetros para la carpeta.
- 12.- El espesor final de la franja de amortiguación se cubrirá con terracerías cementadas con una reducida cantidad de cal o cemento portland, humedecidas y compactadas hasta un 90 %

del p.v.s.m. para evitar que los materiales granulares queden expuestos a la lluvia.

### **OBSERVACIÓN**

*Cuando se construye el sub-drenaje aprovechando la rehabilitación del acotamiento, el procedimiento sería similar al descrito, con la excepción de que la zanja deberá tener los niveles de piso que marque el proyecto para luego desplantar los tubos perforados. El relleno que se usa en estos casos generalmente es una grava con tamaños limitados entre dos mallas y sin finos, que debe ser apisonada para acomodarla. Por ello constituye también un excelente amortiguador contra la acción de las arcillas de la faja de seguridad.*

- 13.- Se construye un nuevo cimiento-registro para las lámparas que hayan sido removidas, se restituye el cableado de alimentación y se reubican las luminarias sobre éstos.

Como se observa, el trabajo es complicado y, por mucha velocidad que se le imprima, rara vez es posible obtener un tramo en menos de tres días de trabajo continuo. El tiempo se puede alargar si la autoridad aeronáutica exige que las máquinas se retiren de la zona de trabajo cada vez que haya la operación de una aeronave comercial y éstas ocurren con frecuencia.

Este tipo de reconstrucción, por su complejidad y duración no es muy empleado y casi siempre se opta por sólo construir la zona de amortiguación y calafatear las grietas con lechadas o morteros asfálticos diluidos, confiando en que ya no se volverán a producir. Si con el tiempo se observa que se ha tenido la razón, se podrá proceder a rehabilitar la capa de rodamiento en la forma que ya ha sido comentada.

Cuando la reconstrucción del acotamiento está ligada con su ampliación lateral, el trabajo a realizar guarda similitud con el que se acaba de describir. Hay una condición ineludible: el ancho de la ampliación debe ser suficiente para que pueda ser ejecutado con equipo pesado, lo cual significa que no puede ser de menos de 2.5 m.

### **OBSERVACIÓN**

*En la mayor parte de los casos en que se requiere esta ampliación en una pista, los acotamientos tienen ancho de 4 o 5 metros y serán ampliados a 7.5 m para que el alcanzar un ancho total de la zona pavimentada de 60 m. En las calles de rodaje, los acotamientos originales tienen 7.5 m y se amplían a 10 m. Esto es, por lo menos se cuenta con el espacio mínimo para trabajar con maquinaria de construcción.*

*Si se da la circunstancia de que las ampliaciones tengan menos de 2.5 m y se requiere la ampliación, será necesario recurrir a trabajo manual intenso y a máquinas de ancho reducido, considerando que difícilmente se contará con motoniveladoras para acomodar y conformar las*

capas; puede haber cargadores frontales, compactadores vibratorios y hasta neumáticos con ancho máximo de 2 m, pero trabajarán en condiciones adversas por falta de espacio. El tener que recurrir a equipos manuales demorará la terminación de los trabajos.

También en las ampliaciones se darán los dos casos comentados: la estructura de pavimento existente es adecuada y el acotamiento sólo requiere rehabilitación de la capa de rodamiento, o está dañada y es insuficiente para las nuevas condiciones de operación.

Sin embargo, puesto que deberá haber una buena liga entre los cuerpos existentes y la ampliación, el trabajo a realizar resulta bastante similar, como se indica en seguida:

Procedimiento para ampliar acotamientos cuya estructura es adecuada:

- 1.- Se retiran las lámparas que se vean afectadas por los trabajos en el tramo de que se trate. Se montarán provisionalmente sobre cajones de madera en la línea del señalamiento y se cablearán por medio de "puentes" temporales.
- 2.- Para que haya una buena liga entre los elementos de los dos cuerpos, se debe hacer un corte escalonado de por lo menos 50 cm de ancho en cada una de las capas, a partir de la capa de terraplén compactada al 95 % del p.v.s.m., en la forma que muestra el esquema de la figura 6. De esta suerte, la última capa de terraplén tendrá 0.5 m de corte, la subrasante 1.0, la base 1.5 y la carpeta 2.0 m.

La excavación se ejecuta incluyendo el total de la ampliación y los escalones de liga de las capas. Los materiales se desperdician, pues serán reemplazados por nuevos.

### **OBSERVACIÓN**

*En este trabajo no puede seguirse el criterio anunciado antes de reemplazar las terracerías mejoradas de la subrasante por materiales granulares, pues se establecería una línea de falla en la frontera entre ambos. Será necesario emplear el mismo tipo de material que ya exista.*

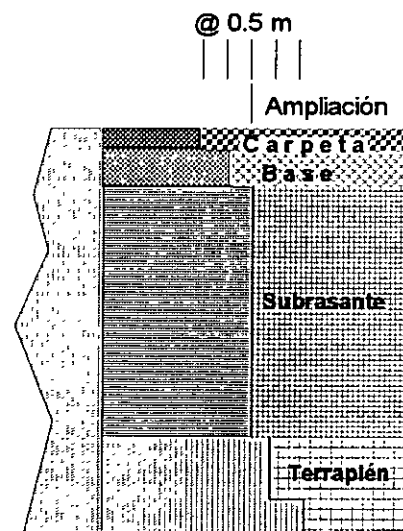


Figura N° 6

- 4.- Una vez alcanzado el nivel de desplante de la última capa de terraplén se inicia la construcción de la ampliación. Al igual que en la reconstrucción del acotamiento, los materiales deberán prepararse externamente incorporándoles la humedad, siempre un poco

por encima de la óptima.

- 5.- El terraplén de la faja de seguridad no debiera cortarse más allá de lo requerido para la ampliación, pero deberá preverse que si hay riesgo de que un corte vertical se desplome por falta de cohesión o resecamiento, debiera practicarse en talud, procediendo a su relleno a medida que va subiendo el nivel de las nuevas capas.
- 6.- Por último se repone(n) el o los cimientos-registro, se re-cablea(n) y se repone(n) la o las lámpara(s).

Si el acotamiento existente deberá reconstruirse con una nueva estructura, el procedimiento a seguir será en todo similar al descrito para la reconstrucción (páginas 23-25), con el ancho total que ahora tendrá. En este caso sí será válido reemplazar el material de la subrasante por otro de tipo granular, para acelerar el trabajo.

**3.3.- Prolongación de pista.-** Por lo general es un trabajo sencillo porque se trabaja en un área despejada; sin embargo deberán tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones y restricciones.

- a).- Como el trapecio de aproximación de las aeronaves se inicia en la parte posterior de las marcas de umbral, las máquinas que trabajen cerca de la zona de unión entre el cuerpo existente y el nuevo seguramente lo intersecarán, constituyendo un obstáculo. Como esto puede provocar que la autoridad aeronáutica exija que no haya maquinaria en esa zona cada vez que aterriza un avión, independientemente de que estén adecuadamente balizadas mediante banderas cuadrículadas y torreta luminosa, es prudente negociar con ella la posibilidad de desplazar el umbral en la longitud necesaria para que el trapecio de aproximación pase por encima de la máquina más alta.
- b).- Ya que puede tratarse de un desplazamiento en el orden de 150 a 300 metros, a veces las líneas aéreas se oponen a él porque les provoca la necesidad de restringir el peso de sus aeronaves tanto en el aterrizaje como en el despegue. Esta oposición deberá ser negociada con la participación del Comandante del Aeropuerto a fin de obtener la totalidad del desplazamiento o, en el peor de los casos, de los dos tercios de su longitud.
- c).- Cuando no se autoriza el desplazamiento total, deberá definirse la distancia máxima a la que pueden aproximarse las máquinas a la orilla de la pista, conviniendo en que sólo se trabajará en esa zona cuando no haya vuelos o por la noche.
- d).- Contando con el NOTAM respectivo se procederá a modificar el señalamiento horizontal y luminoso, de acuerdo a las normas de la O.A.C.I. Simultáneamente deberá borrar el existente, usando medios abrasivos para desprender la pintura y retocando las zonas con un riego de asfalto para eliminarlas totalmente.

- e).- Como se debe establecer una liga escalonada entre las capas de la estructura existente y la nueva, que en este caso seguramente será distinta a aquélla al requerirse su refuerzo, se debe de revisar si la zona de seguridad atrás del umbral tiene la misma estructura que el cuerpo de la pista y la forma en que se establecerían los escalones de liga. En este caso es conveniente que el ancho de los escalones tenga por lo menos 2 metros.
- f).- Una vez definida la forma de trabajar, siempre deberá empezarse por el extremo más alejado de la prolongación, que sería la nueva zona de seguridad. La construcción se lleva a cabo en forma normal, avanzando simultáneamente en la construcción de las capas de la estructura en el cuerpo resistente y los acotamientos, así como en las fajas de seguridad.
- g).- A partir de la aplicación del riego de impregnación sobre la base hidráulica deberá implementarse el señalamiento de zona cerrada (cruz blanca con las dimensiones especificadas) y flechas hacia el umbral desplazado. Conviene ejecutarlo con pintura vinílica de tipo económico, pues deberá ser repuesto cada vez que el trabajo avance sobre él, borrándolo. Las marcas provisionales que se pinten sobre la carpeta serán de tamaño menor a las que luego se colocarán como señalamiento definitivo. Así, las de umbral pueden ser 20 cm menores en todo su perímetro, los guiones de eje 10 cm a cada lado y 20 cm en sus dos extremos, etc.  
Este señalamiento debe subsistir hasta que vaya a ser puesta en operación la prolongación de la pista y entonces, estableciendo la coordinación necesaria con la autoridad aeronáutica y una vez emitido el NOTAM correspondiente, se procederá a pintar el señalamiento definitivo, tanto de umbral como del resto de las marcas de norma.
- h).- En el momento adecuado se construirán las bases para las nuevas lámparas, tanto de umbral como de borde y se ejecutarán los cableados correspondientes; sin embargo, dichas lámparas no deberán instalarse hasta que se vaya a poner en servicio la prolongación.

### **OBSERVACIÓN**

*A menudo la prolongación de la pista está ligada con el refuerzo de la misma, lo cual provoca que los niveles de la rasante de la pista existente y de la ampliación no sean los mismos. En tal caso, la prolongación no puede ser puesta en servicio hasta que el refuerzo se haya construido y la capa de rodamiento tenga los mismos niveles en la línea de unión entre los cuerpos. Desde luego, en esta situación deberá repintarse la totalidad del señalamiento horizontal, como si se tratara de una nueva pista.*

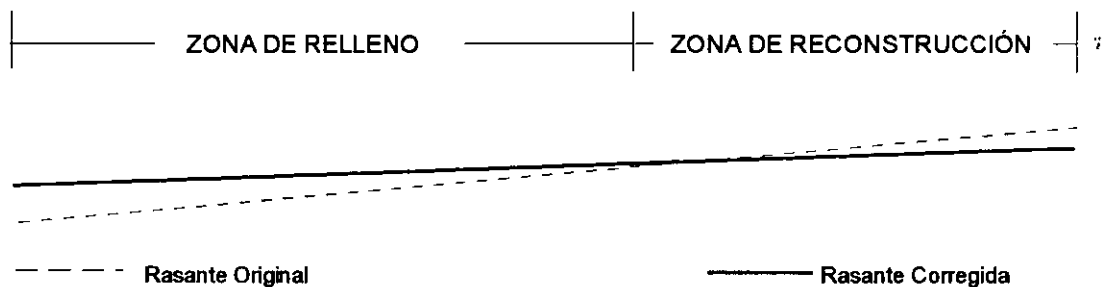
- i).- Una vez que la prolongación entra en servicio, deberán reubicarse los indicadores de pendiente de aproximación, colocándolos sobre las losas de contraste y cimientos-registro que previamente se hayan construido en la faja de seguridad.
- j).- Si existen y así es requerido, deberán reubicarse las antenas del Sistema de Aterrizaje por

### Instrumentos ( I.L.S.).

- k).- El cono de vientos que hubiera sobre la pista prolongada debiera ser reubicado también, a fin de conservar su distancia al umbral.

**3.4.- Corrección de Pendientes Transversales y Longitudinales.-** Cuando se realiza un trabajo de renivelación y refuerzo en la pista es fácil corregir las pendientes transversales, aumentándolas o disminuyéndolas, siempre y cuando se mantenga el espesor total esperado en la franja central en, por lo menos 16 metros de ancho (8 a cada lado del eje). Esto seguramente es contemplado en el proyecto y así lo indicarán las secciones transversales.

En cambio la corrección de la pendiente longitudinal, por ejemplo para reducir una original del 1.5 por ciento en el eje de la pista al 1 % que indica el Anexo 14 (Enmienda 39) de la O.A.C.I. para aeropuertos con clave D-4, podrá requerir un importante volumen de trabajo. El proyectista deberá buscar que la mayor parte del trabajo se ejecute rellenando, tratando de no llegar al extremo de tener que cerrar el aeropuerto a la operación de las aeronaves mayores porque deba dejar fuera de servicio una longitud significativa de la pista. De cualquier manera, habrá una zona de ella que irremediamente se deberá reconstruir, modificando su estructura, como se señala en la figura 7.



**Figura N° 7**

Siempre será más sencillo aumentar el espesor colocando capas de concreto asfáltico sucesivas, aún en una combinación de base negra y carpeta, que ejecutar el tramo de reconstrucción.

El trabajo de reconstrucción puede ameritar abrir una caja de más de un metro de profundidad para poder modificar la estructura del pavimento, reforzándola para las nuevas condiciones de operación que vaya a tener la pista, pues seguramente se deberán incrementar los espesores de subrasante, sub-base (si se considera), base y carpeta.

A menudo, cuando se requiere modificar la pendiente longitudinal de la rasante también se deberá aumentar la longitud de la pista. Si esto ocurre, el problema que ocasiona la zona de reconstrucción

se verá resuelto --parcial o totalmente-- si la prolongación se proyecta en el lado que se vaya a rellenar. En este caso, el proceso de construcción podrá tener la secuela siguiente:

- a).- Iniciar el trabajo de prolongación en la forma que se comenta en el inciso precedente;
- b).- Simultáneamente empezar a colocar sobre la zona requerida de la pista actual, las capas de relleno que se necesitarán para elevar su rasante, dejando pendiente la capa de rodamiento;
- c).- En su momento, colocar la última capa de carpeta desde el inicio de la prolongación hasta el límite longitudinal de la modificación de la pendiente. Esto es: hasta la línea en que se intersecan los planos de la nueva rasante y la existente.
- d).- Una vez ejecutado el señalamiento horizontal modificado, que debe contemplar el desplazamiento de umbral del otro extremo de la pista, solicitar a la autoridad aeronáutica la emisión del NOTAM correspondiente. Será sensato esperar unos cuantos días a que los pilotos se acostumbren a la disposición alterada de la pista, pues los que viajan frecuentemente a ese aeropuerto pueden estar acostumbrados a ejecutar su aproximación rutinariamente... hacia la posición anterior del umbral.
- e).- En la fecha convenida, se deberán iniciar los cortes en la zona por reconstruir, siempre a partir del extremo más alejado al nuevo umbral. Los trabajos deberán continuar hasta llegar a la línea de corte más próxima a él.
- f).- En cuanto se cuente con longitud de corte suficiente deberán iniciarse los trabajos de formación de las nuevas capas de terraplén y estructura del pavimento, conforme al proyecto.
- g).- En la medida en que las máquinas se aproximen al nuevo umbral habrá las restricciones a su operación que ya fueron comentadas. Los trabajos deben continuar, observando las medidas de seguridad que se requieran y las instrucciones del comandante del aeropuerto.
- h).- Cuando ya se tenga la base impregnada, se procederá al tendido de la carpeta. Ésta deberá iniciarse en contacto con la existente en la zona de pista en operación, a fin de igualar los niveles. No deberán omitirse los señalamientos de pista fuera de uso y umbral desplazado que se comentaron antes.
- i).- Una vez completa la modificación se deberán pintar las nuevas marcas que se requieran, borrando las anteriores.

**3.5.- Rehabilitación de Calles de Rodaje.-** En general sigue los mismo lineamientos que para la pista, con la excepción de que siempre será posible cerrar la calle a operación mientras duren los trabajos, a condición de que haya al menos dos de ellas entre la pista y la plataforma.

Si la rehabilitación sólo implica el refuerzo de la estructura mediante sobre-capas de mezcla asfáltica, los trabajos pueden ser realizados por la noche, manteniendo la operación del rodaje durante el día. Pero si modifica su geometría o debe realizarse su reconstrucción sin alterar los niveles existentes, será necesario cerrarlo.

### **OBSERVACIÓN**

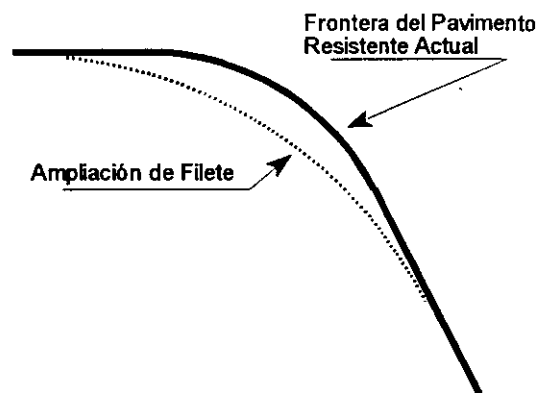
*Cuando se tiene un solo rodaje para acceder a la plataforma, seguramente la reconstrucción del aeropuerto considerará la construcción de otros más en diferente localización. En tal caso no se requeriría rehabilitar el existente, pues generalmente se cancela al poner en servicio los nuevos.*

El trabajo se ejecutará en la forma que ha sido comentada, tanto para el refuerzo como para la reconstrucción. Únicamente deberá tenerse en cuenta que será obligatorio colocar señales en forma profusa para indicar que no hay acceso al rodaje, tanto en el borde de la pista como en la plataforma, pues puede ocurrir que un piloto distraído pretenda utilizarlo siguiendo su costumbre. El señalamiento debe incluir luces rojas de advertencia durante la noche.

Como a menudo las modificaciones que se llevan a cabo en el aeropuerto puede incluir nuevos canales de drenaje pluvial y la construcción de alcantarillas de cruce en las calles de rodaje, deberá aprovecharse la circunstancia de que estén cerradas para ejecutarla. Las actividades se programarán adecuadamente para que la construcción de nuevas capas en la estructura no se vean demoradas por la del ducto.

**3.6.- Ampliación de filetes de unión con pista, otro rodaje o plataforma.-** Desde luego, se refiere a los filetes de ampliación que llevan las calles de rodaje para impedir que las ruedas del tren de aterrizaje se salgan del pavimento. Cuando las calles de rodaje son nuevas o se reconstruyen, durante los trabajos se incluirá la modificación que requiera la geometría de los filetes; sin embargo, si dichos rodajes solamente se refuerzan para soportar aviones más grandes, será necesario ampliar los filetes.

La figura 8 muestra esquemáticamente cómo aparece en un plano la ampliación de un filete.



**Figura N° 8**

### **OBSERVACIONES**

- *El hecho de que se tenga que escalonar la unión de las capas obliga a utilizar la misma*



*estructura de terracerías y pavimento que tengan los elementos, siendo común que sea igual en la pista y los rodajes. El refuerzo de dicha estructura incrementará su capacidad.*

- *Si se van a reconstruir o ampliar los acotamientos de los elementos, debe aprovecharse la presencia de esa obra para llevar a cabo la ampliación de los filetes, evitando con ello afectar su operación en dos periodos diferentes.*

Como antes se indica, el espacio para la ejecución de los trabajos es demasiado reducido para poder emplear maquinaria pesada. Los materiales deben prepararse externamente, en plataformas o usando una estabilizadora, adicionándoles el agua requerida hasta un poco sobre la óptima. Se pueden acomodar usando pequeños tractores o cargadores frontales del tipo "Bob-Cat", en espesores reducidos adecuados al equipo de compactación. Éste puede consistir en pequeños rodillos lisos vibratorios para trabajos de bacheo, apisonadoras neumáticas o con motor de gasolina, o placas vibratorias con motor de gasolina. El afinamiento de las capas superiores de cada estrato de la estructura deberá hacerse a mano, empleando rastras de madera e hilos para constatar que se cumpla con el alineamiento y los niveles del proyecto.

Al terminar la base, si es posible, el riego de impregnación se hará usando sólo media barra de la petrolizadora; si el espacio no lo permite o la máquina no cuenta con los controles necesarios para reducir el ancho de la barra de riego, se deberá usar la manguera rociadora, cuidando aplicar la proporción de asfalto especificada.

**3.7.- Rehabilitación de plataformas.-** Aunque en el inciso 3.1 se comentó el procedimiento general para llevar a cabo la rehabilitación de los pavimentos, ahora se abordará la metodología que conviene seguir. Se pueden dar dos situaciones: la plataforma (de operaciones o de avionetas) nunca tiene ocupada la totalidad de sus posiciones de estacionamiento o bien, la plataforma de operaciones sólo se satura a ciertas horas, mientras que la de avionetas está llena la mayor parte del día.

Además, habrá que considerar si una plataforma o ambas va a tener ampliación longitudinal, lateral o ambas.

Como la combinación de una rehabilitación con una ampliación facilita la operación de la plataforma se analizará en primer término.

**a).- Rehabilitación de plataforma de operaciones que presenta todas sus posiciones ocupadas varias veces al día, con ampliaciones lateral y longitudinal.**- El esquema de la figura 9 muestra una opción de dicha solución.

Como ejemplo, supóngase que una plataforma con dimensiones originales de 180 x 90 m que originalmente acepta tres aviones Boeing 727 será rehabilitada y ampliada a 270 x 120 m, para permitir el estacionamiento de cuatro aeronaves B-767.

Se considera, también, que los rodajes están siendo reforzados en la misma medida que lo será el pavimento de la plataforma.

El procedimiento a seguir tendrá los pasos siguientes:

- 1.- Mientras se lleva a cabo el refuerzo de las calles de rodaje, deberá iniciarse la ampliación lateral de la plataforma, tomando en cuenta que habrán de construirse nuevos filetes de ampliación en las uniones con las calles. Con el escalonamiento de capas adecuado, se continuará con la ampliación longitudinal. Se buscará siempre que la zona lateral esté lista al mismo tiempo que se termine el refuerzo de las dos calles, para que la capa de rodamiento de los elementos pueda ligarse adecuadamente. Será necesario dejar rampas de liga amplias y con pendiente reducida (inferior al 1 %) entre las calles de rodaje y la plataforma existente, para que los aviones puedan acceder y salir de ésta.

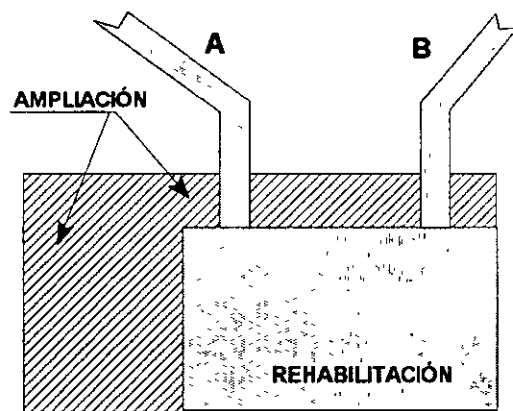


Figura N° 9

- 2.- Como seguramente la prolongación longitudinal estará lista poco tiempo después, se deberá proceder a señalar ambas ampliaciones, marcando la nueva posición de estacionamiento y el rodaje interior, respectivamente. En cuanto la autoridad aeronáutica del aeropuerto lo permita, se empezará a usar la nueva posición, procediéndose en seguida a iniciar la rehabilitación de la plataforma original.
- 3.- Como se indicó en el inciso 3.1, es conveniente empezar junto a la ampliación longitudinal, eligiendo el procedimiento a seguir según el deterioro del pavimento. Aunque ya esté en servicio una posición nueva, seguramente la Comandancia del aeropuerto obligará a que se tengan tres posiciones disponibles: una en la ampliación y dos más en la plataforma original. De esta suerte sólo se podrá rehabilitar una de ellas: la contigua a la ampliación.

### **OBSERVACIÓN**

*En este momento de la obra ya sería posible, si se cuenta con el tamaño de pista requerido, que la nueva posición de estacionamiento fuera ocupada por una aeronave B-767, aunque las restantes sigan estando limitadas al avión original de proyecto (B-727).*

- 4.- Si la Comandancia lo permite, no será necesario dejar rampa de liga entre las sobre-capas de refuerzo de la posición que se rehabilita y las restantes ( 2 y 1 ) de la plataforma original, pues siempre se contará con las de las calles de rodaje para permitir el acceso.
- 5.- Cuando la antigua posición 3 esté lista, se procederá a señalarla, pasando a estar disponible para una aeronave mayor, siempre y cuando el ala de ésta no obstaculice el trabajo en la posición contigua. De ser así, mientras duren los trabajos en ésta no se autorizará que dicho tipo de avión la ocupe.
- 6.- Por último se rehabilitará la posición más alejada. Para esta etapa ya se cuenta con una longitud de plataforma mayor que la original, lo que permitirá estacionar tres aviones grandes, pues el señalamiento ya incluye tres posiciones del nuevo tipo. Otra vez: si el que ocupe la nueva posición 2 obstaculizara los trabajos en la antigua 1, sólo se autorizará a usarla con una aeronave más pequeña. Una vez que se concluyan los trabajos, las cuatro nuevas posiciones estarán disponibles para el nuevo avión de proyecto.

Si la rehabilitación a realizar considera la reconstrucción de la estructura del pavimento el procedimiento será el mismo, pero deberá incrementarse la señalización tanto diurna como nocturna, para impedir que los aviones que se estacionen tanto en la zona nueva como en la original, se aproximen demasiado a la excavación que se practique.

Si la plataforma que se rehabilita es de avionetas, el procedimiento será el mismo, pues se hace necesario contar con nuevos cajones de estacionamiento en los que se puedan colocar las avionetas que obstaculicen la continuación de los trabajos. En este caso suele ocurrir que la disposición de las calles de rodaje interiores se modifique, obligando a tomar la providencia de construir rampas de liga en los sitios que se requiera.

Cuando en la plataforma de operaciones no se tienen ocupadas todas sus posiciones al mismo tiempo o en la de Avionetas hay suficientes cajones desocupados el trabajo se facilita, pues se puede rehabilitar una parte de la plataforma original simultáneamente con las ampliaciones, dado que se dispone de espacio para el estacionamiento de las aeronaves

Por otra parte, si las ampliaciones se realizan en plataformas cuya estructura es suficiente para nuevas aeronaves y no requiere más tratamiento que la sustitución de la capa de rodamiento, dañada por derrames de combustible o intemperismo, el procedimiento será también el mismo, excepto que no se requerirán rampas de liga entre los niveles nuevo y existente. En este tipo de trabajo, ordinariamente el proyecto especifica que la carpeta existente sea removida por el procedimiento de fresado en frío, empleando máquinas Roto-Mill o similares. El procedimiento será el siguiente:

- Una vez que se cuente con las ampliaciones y se pueda ocupar la posición de la zona de ampliación se procederá a remover la carpeta de la antigua posición 3. Para ello se deberá mover la fresadora en sentido transversal al eje de la plataforma, para que en caso de lluvia las canalizaciones que deja la máquina faciliten el drenaje.

- ▶ Ya que la máquina haya cortado el espesor especificado y sea retirada, debe barrerse enérgicamente la superficie con escobas mecánicas. A continuación se hará una nueva limpieza empleando el aire a presión que proporcione un compresor y que salga por tubos de diámetro reducido ( no más de 13 mm --1/2"--).
- ▶ Terminada la limpieza se riega el asfalto de liga y se procede al tendido de la nueva capa de rodamiento, controlando rigurosamente sus niveles.

### **OBSERVACIÓN**

*A veces los proyectos indican que entre la carpeta fresada y la nueva se coloque un lienzo geotextil similar al mencionado en el refuerzo de pavimentos rígidos, a fin de impedir que los agrietamientos que tuviera el pavimento se reflejen en la nueva superficie de rodamiento. Si este fuera el caso, después de la limpieza se regará la liga de cemento asfáltico. En seguida se colocará la manta geotextil, empleando el procedimiento mencionado páginas atrás. A continuación se colocará la carpeta siguiendo los procedimientos normales.*

**b).- Ampliación longitudinal de plataforma de operaciones o Aviación General.**- Si el proyecto considera el refuerzo del pavimento existente, el procedimiento a seguir guardará similitud con el antes indicado, como ahora se indica:

- 1.- Puesto que no hay ampliación lateral, la plataforma tiene el ancho necesario para aceptar nuevas aeronaves; sin embargo, su pavimento carece de la capacidad requerida para no deformarse. Consecuentemente requiere reforzarse. En tal virtud, se procederá a construir la prolongación de la plataforma hasta terminarla a nivel de carpeta.
- 2.- Mientras ello ocurre, puesto que no hay simultaneidad en la ejecución de los trabajos, durante la noche o cuando la ocupación de la plataforma lo permita, puede empezarse la colocación de las capas de refuerzo que se requieran sobre el pavimento existente. La ejecución de este trabajo deberá ser comentado con la autoridad aeronáutica del aeropuerto, a fin de definir la mejor manera de realizarlo.

El procedimiento lógico debiera ser el comentado para el resto de las áreas de operación; es decir, en sentido longitudinal, empezando por la renivelación de las zonas laterales hasta alcanzar el centro y luego tendiendo la capa de rodamiento. Sin embargo, con este procedimiento no se recuperan con rapidez nuevas posiciones de estacionamiento para las aeronaves más grandes, sino que será hasta el final de los trabajos cuando se tenga toda la plataforma disponible.

Otro procedimiento, válido si se cuenta con ancho de plataforma superior a los 100 metros, consiste en tender las capas en sentido perpendicular al eje. Tiene el inconveniente del

cambio de pendiente que se producirá en el eje de la plataforma. Es posible establecerlo, en la capa de rodamiento, si se tiene la precaución de interrumpir el tendido al llegar a él y reanudarlo una vez que la pavimentadora se acomode en el otro lado del parte-aguas, a fin de establecer claramente el límite del mismo. Si ésta tiene una sola pendiente (del lado exterior hacia el canal cubierto de captación en la frontera con el área terminal), este inconveniente no existe. Con este método, si los trabajos se inician junto a la ampliación, se irán recuperando posiciones de estacionamiento con mayor rapidez.

Ambos procedimientos son válidos en el caso de la plataforma de aviación general, aunque en este caso, dado que generalmente los cajones de estacionamiento se acomodan en el sentido longitudinal de su geometría, sí puede resultar más conveniente el primero, a partir de que se cuente con la zona de ampliación

El caso de la ampliación solamente en un costado no amerita mayor comentario, pues no afecta a la operación de las plataformas. Se ejecuta independientemente de la rehabilitación que se lleve a cabo en la superficie existente, la que ordinariamente y para las de Operaciones, se realiza en sentido transversal, a fin de ir contando rápidamente con posiciones completas, ya reforzadas. En las de Avionetas, como queda dicho es preferible trabajar en el sentido longitudinal.

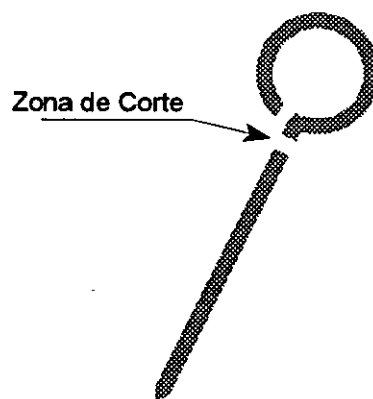
Una vez que se completa la ampliación se modifica el señalamiento según esté proyectado.

### **OBSERVACIÓN**

*Si la plataforma de aviación general tiene anclas para el amarre de aeronaves a base de barras de acero incrustadas en la estructura, las ampliaciones pueden traer aparejada una nueva disposición de los cajones. Consecuentemente las anclas existentes no servirán.*

*En tal caso lo más sensato es cortar las barras abajo del ojillo que forma su extremo superior, en la forma que indica la figura 10. Pretender extraerlas seguramente no será posible, pues el corrugado de las barras lo impedirá (usualmente se implementan con trozos de varilla de construcción en diámetro de 19 o 25 mm <3/4 o 1" >). Además, la eliminación de las anclas debe irse realizando sólo en los cajones que van siendo rehabilitados, dejando el resto en su posición para que siga siendo empleado.*

*Las nuevas anclas debieran incrustarse antes de que se tienda la capa de rodamiento, para que no sobresalgan demasiado. Los huecos que hay que dejar en cada una de ellas se pueden formar fácilmente en la carpeta caliente.*

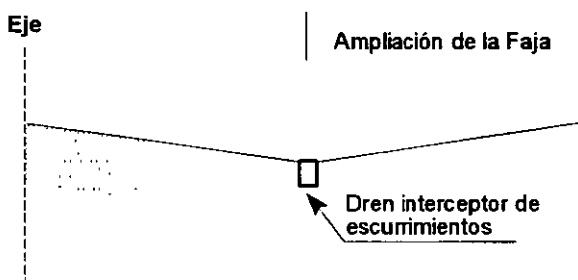


**Figura N° 10**

**3.8.- Rehabilitación de fajas de seguridad.-** Puede ser requerida por dos razones: la modificación del ancho de franja aeronáutica forzado por el cambio de clave del aeropuerto o por deterioro provocado a consecuencia de erosiones hidráulicas o eólicas y a deformaciones ocasionadas por la acción de arcillas, si el material empleado en su formación las tiene.

Por economía durante la construcción es frecuente que las fajas de seguridad se construyan con terraplenes a volteo (sin compactación) que solamente se acomodan por el paso de los tractores que distribuyen los materiales o las motoniveladoras que afinan su superficie. Cuando esto ocurre, nada impedirá que la ampliación de las fajas se realice en la misma forma. Si el terraplén existente estuviera compactado, el de ampliación deberá estarlo al mismo grado.

Si las cotas de la pista y el terreno natural lo permiten, será posible que el ancho adicional que haya que ampliar las fajas a cada lado de aquélla sigan con pendiente descendente, aunque tal vez se modifique su valor para evitar que bajen demasiado. Por ejemplo, si tuvieran 1.5 % originalmente, se puede pasar a 1.25 por ciento, lo que obligará a rellenar parte de la zona existente y, de paso, propiciará que su superficie sea renivelada y las erosiones lineales o localizadas se rellenen durante el proceso. En cambio, cuando continuar la sección transversal descendente de una o las dos fajas de seguridad provoca que haya necesidad de cortar el terreno natural más allá de lo económicamente razonable, puede resultar más conveniente elevarlas a partir de la línea del límite actual de ellas; Esta opción requerirá la construcción de un dren cubierto en dicha línea, como lo muestra la figura 11.



**Figura N° 11**

Por lo general ese ducto tendrá la misma pendiente longitudinal de la pista, aunque en ocasiones sea necesario incrementarla para propiciar el mejor escurrimiento del agua captada.

Se construye de concreto hidráulico reforzado y sus tapas podrán ser de rejilla electroforjada o concreto, aunque en este caso deberá haber huecos para permitir la entrada del agua.

Por norma tanto el canal como las tapas deben ser diseñadas para permitir el paso del avión de diseño, pues deberá preverse el caso de que alguno llegara a rodar sobre ellos.

Si la rehabilitación debe practicarse sin modificar el tamaño de las fajas, seguramente es debido a que se han deformado demasiado por el efecto de contracción y expansión de materiales arcillosos o la presencia de canalizaciones y erosiones importantes cuando el terreno es deleznable, esto es: cuando han sido construidas con materiales arenosos o limosos con escaso valor cementante.

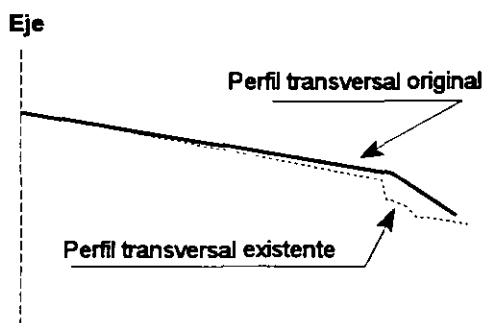


Figura N° 12

El primer caso resulta más sencillo de resolver, pues bastará con establecer los niveles que deban recuperarse y hacer el trabajo con motoniveladoras, cuya cuchilla cortará los excesos y rellenará las depresiones que existan, recuperando el perfil de las secciones transversales. En cambio en el segundo, como se ve en la figura 12, hay una pérdida de material que seguramente ha sido arrastrado por el agua de las lluvias y depositado en el fondo de los canales o dentro de las alcantarillas del drenaje.

El procedimiento que ahora se requerirá debiera tener los siguientes pasos:

- Llevar a cabo un recorrido por las zonas más densamente dañadas, tratando de identificar los lugares en los que el agua ha labrado cursos más profundos y ha provocado las mayores erosiones en los hombros. Definidos éstos, fijar sus cadenamientos respecto al eje de la pista y verificar si coinciden con cambios en la pendiente longitudinal de aquélla. Por ejemplo: en donde se localiza la parte inferior de una curva vertical en columpio, a la descarga de los abanicos de las transiciones de las calles de rodaje, etc.
- Cortar las zonas erosionadas de los hombros del terraplén ampliándolas hasta donde el material está sano; se ha de formar un escalonamiento que permita ligar los materiales existentes con los de la reparación. Se procurará que dicho corte esté alineado en forma paralela al eje de la pista en la mayor longitud posible y con la misma geometría transversal.

### OBSERVACIÓN

*No siempre puede hacerse el corte antes indicado en longitudes considerables que permitan mejorar el rendimiento de las máquinas durante el relleno. Ello es debido a que las erosiones se forman de manera caprichosa y a veces existen zonas muy socavadas entre grandes espacios en que el daño es mínimo. De cualquier manera, puede valer la pena cortar más profundamente zonas que no lo requieran en favor de que las reparaciones se realicen más rápidamente.*

- De manera prácticamente simultánea con la ejecución de los cortes, se deberá proceder al relleno de los encauzamientos y erosiones menores que tenga la superficie de la faja. Si el material existente ha sido tendido sin compactación, el relleno debiera hacerse en la misma forma, aunque sería prudente no usar el mismo tipo de material. Si es posible conseguir otro con mejores características cementantes, sería preferible emplearlo. De no ser así, puede valer la pena adicionar a la terracería una pequeña cantidad de cal hidratada o

cemento portland (en no más de un 2.5 a 3 % en peso) y mezclarla con algo de agua: del orden del 50 a 60 % de la óptima para compactación. De esa manera se conseguirá una ligera cementación que puede mejorar el comportamiento de la superficie.

Primero se ejecutará la conformación de la superficie existente a fin de uniformizarla dentro de lo posible, rellenando las oquedades más profundas. En seguida se hará el recargue del material, nivelándolo hasta restablecer las cotas originales de la sección transversal.

Si el terraplén estuvo compactado, será necesario escarificar la superficie de la zona de trabajo usando los arados de la motoniveladora hasta una profundidad del orden de los 20 cm. Una vez que esté suelto el material, se le adicionará el que vaya a usarse para restituir los niveles, mezclándolos y humedeciéndolos hasta el grado óptimo. El tendido se hará vigilando las cotas que deban reponerse y la compactación deberá alcanzar el grado original (normalmente del 90 % del p.v.s.m.).

También en este caso sería conveniente cambiar de tipo de material o adicionar el cementante sugerido antes, pues si a pesar de haber compactación se produjeron erosiones es evidente que no hay un buen valor cementante en el existente.

- Una vez que haya longitud de corte suficiente en los hombros que se van a reparar deberá procederse a su relleno. Si el material será colocado sin compactar y no se ha conseguido otro de mejor calidad, será conveniente cementarlo en la forma descrita. A medida que avance el relleno --siempre de abajo hacia arriba--, puede valer la pena que cada vez que se alcance el nivel de la huella del escalón inmediato superior, al relleno colocado se le den una o dos cerradas con un tractor ligero, a fin de que las orugas le proporcionen una ligera compactación. Si no se cuenta con un tractor, podría emplearse una aplanadora tándem ligera.
- Una vez que se recupere el nivel de los hombros reparados, en los lugares en que se localizaron las erosiones mayores debieran construirse "lavaderos" (canalizaciones revestidas de mampostería de piedra o concreto hidráulico) que en el futuro permitan captar y conducir las aguas que vienen desde la pista o las intersecciones con los rodajes evitando que se reproduzcan las socavaciones mayores.

**3.9.- Instalación o reconstrucción de subdrenajes.-** Si el aeropuerto carece de sub-drenaje en sus áreas operacionales y es patente que su ausencia está ocasionando daños a la estructura del pavimento, será necesario construirlo. Si existe pero no está funcionando adecuadamente, será necesario rehabilitarlo.

- a).- Construcción o Instalación de un Sistema de Subdrenaje.- Hay dos criterios respecto a la ubicación del subdrenaje. En el primero se considera que debe ser instalado en la frontera entre el acotamiento y el cuerpo del pavimento del elemento; su profundidad debe ser la



del desplante de la subrasante, pues ahí se forma una frontera entre materiales filtrantes y densos que propicia la acumulación de agua.

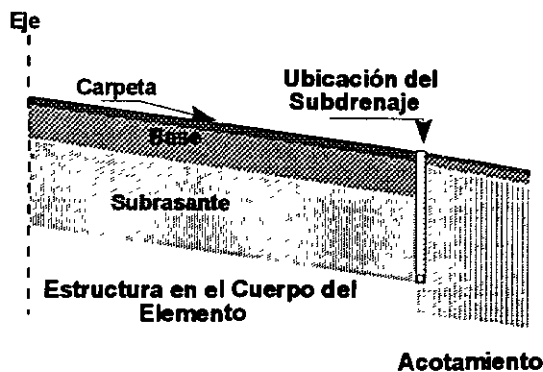


Figura N° 13

La razón de ello es que en muchos proyectos las estructuras del cuerpo y los acotamientos son distintas, pues en éstos se emplean grandes espesores de subrasante, reduciendo los de sub-base (cuando la hay), base y carpeta. Consecuentemente el nivel de desplante de la subrasante del cuerpo está más alto que el del acotamiento y en esa frontera puede captarse el agua, como lo muestra la figura 13.

El segundo criterio desplaza el subdrenaje a la frontera entre el acotamiento y la faja de seguridad, considerando que los materiales de ésta son más impermeables que los de los pavimentos y en ese lugar se almacenaría el agua, propiciando un ambiente de saturación que afecta a las partículas coloidales del terraplén de las fajas y produciendo un incremento de volumen que a la larga afectará tanto a él mismo como al pavimento del acotamiento. Este acomodo puede verse en la figura 14.

Se antoja que la segunda alternativa es mejor, pues la construcción del sub-drenaje no se ejecuta en el borde del cuerpo del elemento, sino que se aleja de él, reduciendo el riesgo durante los trabajos. Sin embargo, tiene el inconveniente de que la zanja se cruza con los cables de alimentación de las luces de borde, impidiendo el empleo de máquinas zanjadoras (al menos en los sitios de cruce) y prolongando el tiempo en que se ejecuta la excavación.

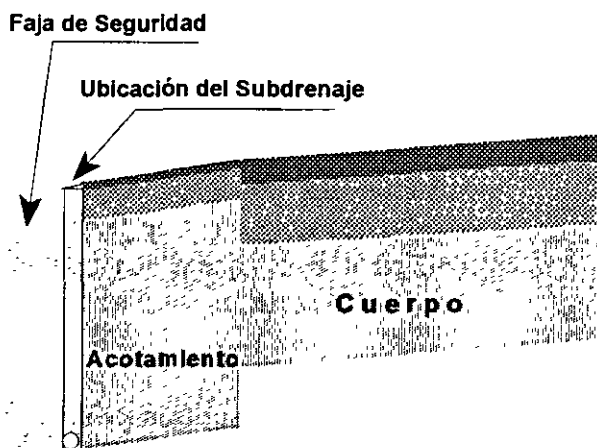


Figura N° 14

Naturalmente, si los materiales de la estructura de los acotamientos son iguales a los del cuerpo, la ubicación más adecuada será la segunda.

Una vez establecida la ubicación del sub-dren, deberá definirse el tipo de éste que se vaya a colocar. Las opciones serán:

- Tubo de mortero de cemento de 15 o 20 cm de diámetro y con juntas machihembradas, con perforaciones en la parte inferior para captar el agua y conducirla hasta el punto de captación. La zanja será de por lo menos 60 cm de ancho, para permitir el acceso de obreros a su fondo para la colocación de los tubos. Puede ser practicada con zanjadora, retroexcavadora o a mano, cuidando en su caso los cruces con los cables de alimentación a las lámparas de borde. El relleno de la zanja será de grava graduada, sin finos y apisonada a mano hasta 15 cm antes de la parte superior, en donde se colocará el material existente en la capa contigua: carpeta si va entre el cuerpo y el acotamiento o terracería si va junto a la faja de seguridad.
- Tubo de geo-malla de polietileno de 10 o 15 cm de diámetro, con canalización en la parte inferior y soportado en una bolsa de geo-textil de polietileno de baja densidad. La zanja será angosta, de entre 40 y 50 cm, pudiendo excavarse con zanjadora. El tubo, que se proporciona en carretes en forma continua, se puede colocar fácilmente pues basta desenrollar una cierta longitud, armar la bolsa de manto geotextil como muestra la figura 15 y depositarla en el fondo de la zanja. El relleno será de terracería permeable (arena, limo o mezcla de ambos), apisonada a mano, hasta los 15 cm antes de la parte superior, completándose con el material existente en la capa contigua.

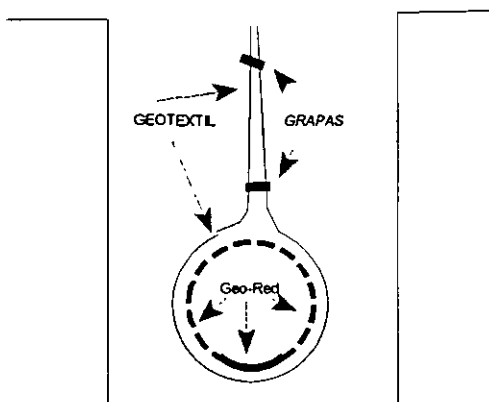


Figura N° 15

- Tubo alargado de polietileno con canalización en la parte inferior, colocado en zanja angosta de no más de 15 cm de ancho, practicada con zanjadora de cadena. El tubo también es entregado en un carrete y no requiere ser instalado en una bolsa geotextil, por lo que puede colocarse en fondo de la zanja apenas unos metros atrás de la zanjadora, como muestra la figura 16. El relleno será de material permeable, como en el caso anterior y también será rematado con el existente en la capa contigua.

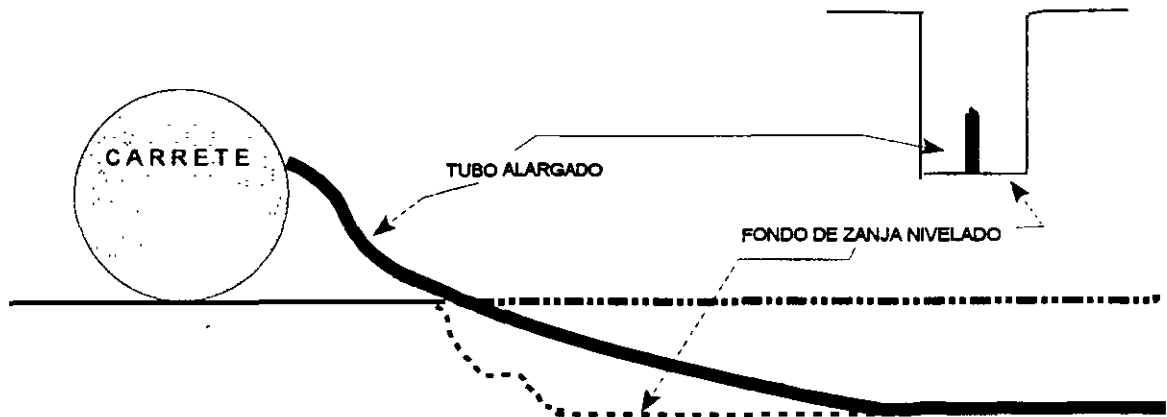


Figura N° 16

La ejecución del trabajo no entraña mayor problema y por ello no es comentado. Únicamente habrá que vigilar que la nivelación de los tubos, de cualquier tipo, sea la requerida para conducir el agua hasta los lugares de captación, que deberán ser proyectados en forma similar a la que muestra el croquis de la figura 17. Generalmente la pendiente empleada es del 2 %.

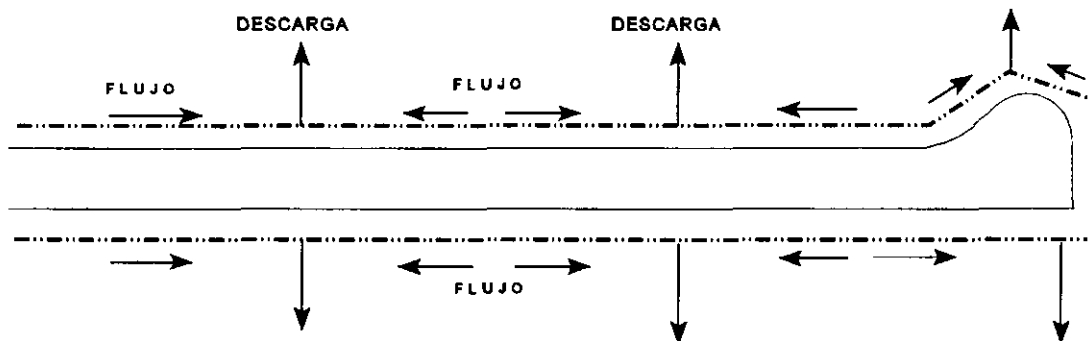


Figura N° 17

En cada uno de los puntos de captación deberá colocarse un registro o pozo de visita, con tapa de fierro forjado perforada, similar a las empleadas en instalaciones urbanas y con amplitud suficiente para que pueda acceder un hombre durante los trabajos de mantenimiento que deberán ser ejecutados periódicamente.

Los tubos de descarga, en todos los casos, serán de mortero de cemento, con pendiente entre el 2 y el 3 %, y deberán llegar hasta un canal de drenaje pluvial contiguo al elemento o hasta donde intersecten a la faja de seguridad. Deberán rematarse en lavaderos prefabricados en concreto hidráulico, para impedir que las descargas sean cubiertas por hierba o maleza. La separación entre las descargas estará en función de la pendiente de los colectores, resultando frecuentemente entre

50 y 70 metros.

b).- Rehabilitación de un Sistema de Subdrenaje.- Cuando existe pero no está funcionando adecuadamente, es necesario identificar las causas y luego proponer los trabajos a ejecutar.

Las razones de la deficiente operación pueden ser varias; entre las más comunes están:

- ◆ Durante la construcción no se dejaron pozos de visita en las intersecciones de las tuberías de captación y descarga, ni se colocaron los lavaderos pre-fabricados en los extremos de éstas.
- ◆ Las tuberías, tanto del sistema colector como de las descargas están azolvadas por la acumulación de polvo arrastrado por el agua.
- ◆ Las descargas están obstruidas en su salida por ruptura de los extremos de los tubos (y a veces, de los lavaderos), acumulación de polvo y presencia de hierba.

Desde luego, la más grave es la primera, pues casi siempre está asociada con las otras dos. Al comentar su procedimiento de rehabilitación quedará descrito el de las restantes.

1).- Se sabe que durante la construcción del aeropuerto, o en alguna etapa posterior, se instaló el sistema de subdrenaje, sin embargo se detecta que no está trabajando adecuadamente porque se empiezan a producir fallas en las orillas de las estructuras de pavimento del cuerpo de los elementos o en las de sus acotamientos. Es fácil identificar que son ocasionadas por la presencia de agua acumulada en las capas inferiores.

Como esta situación puede aparecer después de 5 años de la instalación del sistema, a menudo ocurre que ya no se cuenta con los planos del proyecto.

2).- Casi siempre se puede identificar la ubicación de la zanja dentro del acotamiento, pues en la carpeta aparece como una franja de color más oscuro que el resto, debido a que el relleno de su parte superior tiene menos edad que la carpeta del entorno y consecuentemente está menos oxidada. En la faja de seguridad ordinariamente se puede identificar por la presencia de hierba de color más intenso que la zona contigua, debido a que hay humedad dentro de la zanja.

3).- Una vez identificada la ubicación de la línea de tubería de captación, se requerirá localizar las de descarga. A veces también se puede distinguir por la presencia de hierba de otro color en una línea determinada, pero cuando no ocurre así, deberán buscarse las descargas. Si éstas siguen conduciendo agua, aunque sea en pequeño volumen, los sitios de las descargas destacarán como manchones más verdes que el entorno; conociendo la separación que ordinariamente se da a las descargas, una vez localizadas algunas de ellas se tratará de establecer la presencia de las restantes.

En ocasiones no resulta fácil encontrar las descargas, sobre todo en aeropuertos ubicados en lugares húmedos o lluviosos, porque en ellos la hierba de las fajas de seguridad tiene coloración uniforme y no se distingue dónde se encuentran. Si después de hacer varios

recorridos a pié el resultado es infructuoso, convendrá meter una pequeña retroexcavadora para abrir con cuidado una zanja paralela al eje del elemento, hasta intersecar dos o más tuberías. Una vez localizadas y medida su separación se facilitará encontrar las restantes. Establecidas éstas, habrá que ubicar la localización de los puntos de intersección entre ellas y la tubería de captación y de los de descarga.

Cuando se cuente con más de 5 descargas sucesivas, se puede iniciar el trabajo.

4).- Con herramienta manual se practican excavaciones del orden de 0.8 x 0-8 m en los posibles sitios de intersección hasta alcanzar la tubería de captación. Si no se encuentra la "T" que sirvió para conectar la descarga, será necesario extender linealmente la excavación hasta localizarla.

5).- Ya que se cuenta con la ubicación de la unión, se procede a desarmarla, cortando los tubos con discos abrasivos para no destruirlos. Seguramente se encontrará que en la unión existe un cierto volumen de azolve y, antes de construir el registro o pozo de visita recomendado, es conveniente proceder a la limpieza de la tubería: longitudinalmente entre dos intersecciones sucesivas y transversalmente entre éstas y la descarga.

Para ello se pueden usar máquinas limpiadoras de drenaje sanitario, que pueden tener un bote de diámetro reducido (adecuado al diámetro de la tubería existente), que se conduce a través de un cable que se mueve entre dos de esas máquinas, para cortar el material acumulado en el fondo y extraerlo. El número de veces que deba moverse el bote dependerá de la cantidad de azolve que se tenga.

### **OBSERVACIONES**

- *La limpieza de tuberías con bote de arrastre solamente es posible cuando el diámetro de éstas es de por lo menos 15 cm. Consecuentemente se puede efectuar en tubos de mortero de cemento y en los de geo-red plástica con ese diámetro, pero no es posible si el diámetro de éstos es de 10 cm o se trata de tubos alargados, cuyo ancho interior rara vez rebasa los 5 cm. En estos casos deben usarse cables con escobillas circulares que al ser jalados arrastren el sedimento.*
- *Cuando al cortar los tubos en la intersección o hacer pasar el bote a través de la tubería de captación o la de descarga no se encuentra evidencia de azolve, convendrá abrir algunos sondeos sobre la trayectoria de la primera para constatar la presencia del agua que está ocasionando la falla en los pavimentos. Si se confirma, podrá haber ocurrido que los huecos en los tubos perforados de cemento o la tela geotextil que envuelve el tubo de geo-red estén tapados por la presencia abundante de polvo limoso que impide que el agua llegue al interior de los tubos. Aunque muy rara, esta situación resultaría grave, pues obligará a la reconstrucción total de la captación, pudiendo mantenerse las descargas. El procedimiento a seguir será el mismo que para una construcción nueva,*

*guardando las medidas de seguridad a que obliga el aeropuerto en operación.*

- *No se tiene noticia de que la oclusión descrita se haya presentado en drenes de tubo plástico alargado, pues en él no se emplea el geo-textil y los huecos que hay en su superficie son lo suficiente mente grandes para impedir su taponamiento.*
- 6).- Si los extremos exteriores de las tuberías de descarga están rotos, se procederá a sustituirlos.
- 7).- Una vez limpias y reconstruidas las tuberías, se construyen los registros o pozos de visita en las intersecciones, pudiendo emplearse piezas pre-fabricadas de concreto hidráulico en las cuales sólo hay que cuidar la unión con los tubos y construir el fondo de los mismos empleando concreto hidráulico y formando las "medias cañas" que conducirán el agua.
- 8).- Finalmente se colocarán los lavaderos prefabricados en los extremos de las descargas y se procederá a rellenar las excavaciones practicadas, empleando los mismos materiales que existieran en ellas.

**3.10.- Reconstrucción de canales de drenaje pluvial.-** Los canales a cielo abierto que normalmente existen en los aeropuertos y corren paralelos al eje de la pista tienen sección triangular o trapezoidal, como los muestra la figura 18. En casi todos los casos están cortados en el terreno natural o en terraplenes específicamente construidos para ubicarlos y, consecuentemente, están expuestos a erosionarse; además, por su pendiente que casi siempre es reducida y a la baja velocidad del flujo pluvial tienen tendencia a azolverse rápidamente al poco tiempo de estar en operación.

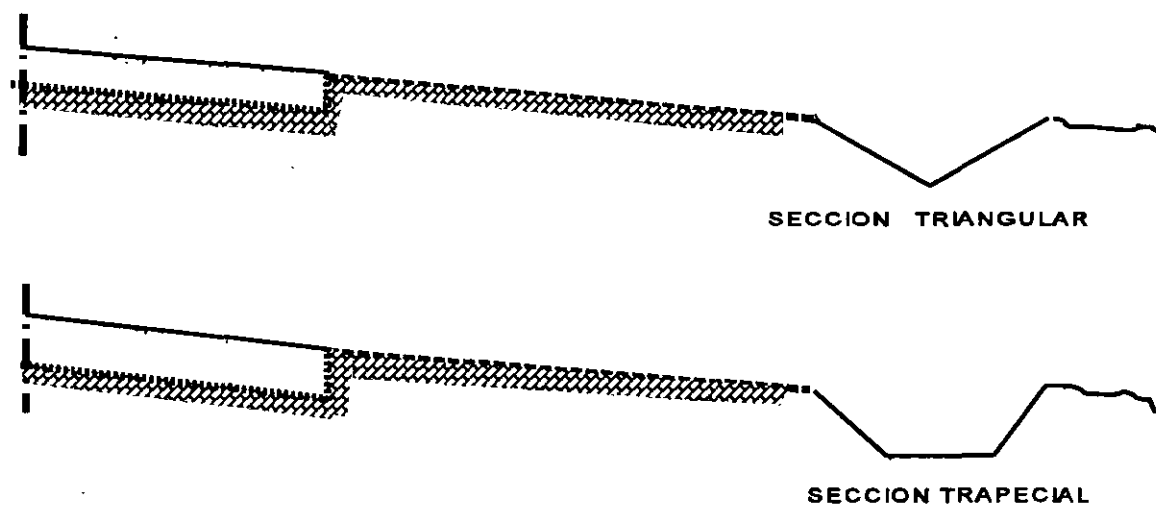


Figura N° 18

En algunos casos, cuando la pendiente es demasiado pobre y se requiere mejorar el coeficiente de fricción hidráulica o, por lo contrario cuando es elevada (forzada por la topografía) y se destruirían rápidamente a causa de la fuerte velocidad del agua, los canales estarán revestido de concreto hidráulico.

Desde luego, su rehabilitación será diferente en ambos casos. Siempre deberá llevarse a cabo en tiempo de estiaje para trabajar en seco.

a. Rehabilitación de canales no revestidos.- Se deberá restituir la geometría original de la sección y la pendiente longitudinal de la plantilla. El procedimiento es sencillo y puede llevarse a cabo con poca maquinaria: un tractor pequeño sobre orugas, una motoniveladora, un cargador frontal o retroexcavadora para extraer el azolve y camiones para transportarlo. Consiste en lo siguiente:

✓ Identificar las zonas en donde las paredes del canal presentan las erosiones mayores a fin de rellenarlas, siguiendo el mismo procedimiento escalonado que se menciona en el inciso 3.8.

✓ Empleando el tractor y el cargador o la retroexcavadora, despallar el azolve existente, cortando la hierba que existiera y retirando el material a desperdicio por medio de los camiones..

✓ Con el mismo equipo cortar y extraer el material de azolve, dando forma burda a las paredes y a la nivelación de la plantilla. El material podrá servir para rellenar las erosiones en las paredes y las socavaciones que tuviera la plantilla. Si hubiera excedente se desperdiciará.

✓ Utilizando la motoniveladora se afinarán los taludes de las paredes y la nivelación de la plantilla, extrayendo el material que sobra.

✓ Simultáneamente se desazolvarán las alcantarillas de cruce que hubiera, a mano o empleando máquinas con bote de arrastre. El material extraído se desperdiciará.

b. Rehabilitación de Canales Revestidos.- Casi siempre presentan losas erosionadas por gasto hidráulico excesivo y rápido o bien losas falladas por asentamientos o socavaciones habidos en el terreno de asiento.

En el primer caso, si la longitud es considerable, lo prudente es colar nuevas losas sobre las existentes, empleando concreto de mayor densidad y resistencia y conservando la modulación previa y la pendiente longitudinal. En los extremos deberán hacerse rampas de ajuste. Si se trata de losas aisladas, deberán demolerse y colarse nuevamente, después de rehabilitar el terraplén de asiento.

mínimo del 95 % del p.v.s.m.

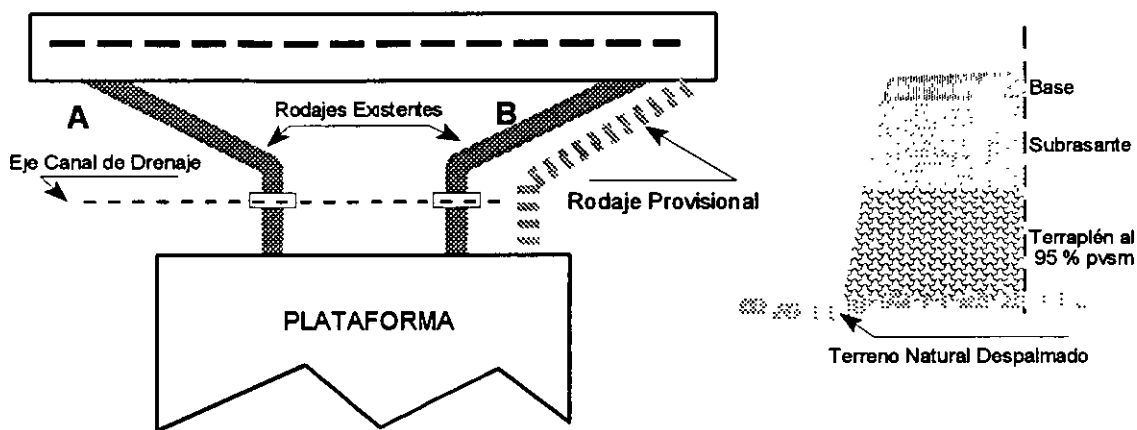


Figura N° 19

La superficie de la base, con las pendientes longitudinal y transversal que se requieran, debe impregnarse con asfalto rebajado de fraguado rápido o la emulsión equivalente, con la máxima densidad que se determine mediante mosaicos de prueba. Puede ser del orden de 1.5 a 2.0 litros por metro cuadrado. Una vez que el asfalto haya penetrado, quedando aún un residuo fresco, conviene aplicar un poreo de arena que cubra toda la superficie uniformemente. A continuación se hará transitar una aplanadora tándem ligera para que la arena se adhiera al asfalto remanente. Sin barrer el exceso de arena que hubiera quedado, después de 48 horas se aplicará un segundo riego de asfalto cuya temperatura se eleve al máximo aceptado (100° para el rebajado y 40 a 50° Celsius para la emulsión), en proporción no mayor a 1.2 litros por metro cuadrado. Una vez que se haya terminado la aplicación, la superficie debe permanecer en reposo por un mínimo de 72 horas para permitir que el asfalto pierda la totalidad de sus solventes volátiles o su humedad y adquiera una ligera oxidación.

Al concluirse este período debe verificarse si el asfalto no se adhiere a las llantas de un vehículo o compactador neumático. Si se observa que hay algún desprendimiento, deberá extenderse el período de exposición del asfalto al intemperismo o tratar de acelerar su oxidación regando agua sobre la superficie. Si no se mejora el estado de la superficie, se puede aplicar una segunda capa de arena, aplanarla y barrer el exceso que no se hubiera adherido al asfalto.

### **OBSERVACIÓN**

*Si se llega a requerir el riego de agua, será necesario llevarlo a cabo haciendo transitar la pipa en reversa, para que sus llantas se mojen y se evite la adherencia con el asfalto. La válvula de*



En el segundo, casi siempre las fallas son debidas a un deficiente mantenimiento en las juntas de las losas, en donde no se repone el material elástico de su sello con la oportunidad debida, propiciándose la penetración de agua y la presencia de asentamientos o socavaciones. A veces esta situación llega a provocar la falla de áreas importantes que afectan a un elevado número de losas, tanto en el fondo como en las paredes (en secciones trapeciales).

En tales circunstancias será necesario retirar la totalidad del concreto de las losas fracturadas, limpiar el terreno y proceder a su relleno. Es conveniente que éste se compacte a por lo menos el 90 % del p.v.s.m.

Una vez restituido el terreno de asiento, se colarán las nuevas losas, sellando convenientemente todas sus juntas.

**3.11.- Nuevas alcantarillas de drenaje.-** Cuando se reconstruye el aeropuerto prolongando y ampliando lateralmente su pista, los antiguos canales a cielo abierto del drenaje pluvial seguramente cambian de localización y características. Entonces las alcantarillas de cruce, sobre todo las de las calles de rodaje, dejarán de servir pues su ubicación ya no coincide con los nuevos canales.

Si se construyen nuevas calles de rodaje que reemplazarán las anteriores, la construcción de las nuevas alcantarillas no implica problema, pues se llevará a cabo simultáneamente con la de las estructuras de tierra y pavimentos.

El problema se presenta cuando las calles solamente se refuerzan y amplían lateralmente, pues las nuevas obras de cruce, del tipo que sean, no pueden construirse sin interrumpir la operación de la calle de rodaje respectiva. Esto puede convertirse en un serio problema si únicamente hay dos calles entre pista y plataforma comercial y el número de operaciones requiere el empleo continuo de ambas calles.

En tal caso la única alternativa viable es construir un rodaje provisional cuya vida útil solamente será lo que dure la obra (del orden de 60 a 90 días si sólo hay que trabajar en uno de los rodajes y de 120 a 180 días si hay que trabajar en ambos). Deberá analizarse con cuidado cuál puede ser la mejor ubicación para dicha calle de rodaje y hacer un cálculo de la estructura de pavimento que requerirá, considerando que el número de cubrimientos será bajo.

Un ejemplo de lo que podría ser esta calle de rodaje provisional se muestra en los esquemas de la figura 19.

Siempre se buscará que el rodaje provisional sustituya a uno de los existentes, siguiendo aproximadamente su geometría y procurando que su llegada a la plataforma se ubique en un sitio en donde las aeronaves puedan tomarlo o abandonarlo sin dificultad. Se debe procurar emplear materiales que sean recuperables una vez que hayan cumplido su cometido. Por eso la sección transversal no muestra carpeta como capa de rodamiento. En su lugar, pueden engrosarse las capas de subrasante y base elevando también el grado de compactación del terraplén de asiento a un

*salida del agua debe estar parcialmente cerrada para bajar el número de litros que se tire a aproximadamente la mitad de un riego normal. Se trata de mojar la superficie, no de encharcarla provocando que la mayor parte del líquido se escurra hacia los lados y no cumpla su objetivo.*

Cuando se tiene la certeza de que el asfalto ya se ha endurecido y ha formado una pequeña carpeta con la arena, el rodaje está listo para ser utilizado. Seguramente la autoridad aeronáutica del aeropuerto exigirá que, por lo menos, se le pinte la línea amarilla de eje y una marca simplificada en el punto de espera antes de pista.

La construcción de las alcantarillas no requiere ser comentada, pues es tratada en la materia de respectiva.

La secuela de ataque será la que se convenga con las autoridades y no afecta a la construcción del canal de drenaje, excepto en la zona ocupada por el rodaje provisional. No podrá ser simultánea en los dos rodajes, pues se debe mantener uno de ellos en operación. Así, si se conviene en que primero se ataque el rodaje B, se mantendrá operando el A, auxiliado por el provisional. Cuando se termine la reposición de la carpeta y el señalamiento del primer rodaje, se pondrá en servicio, procediéndose a trabajar en el segundo.

Cuando ambos rodajes originales puedan estar en servicio, se procederá a remover los materiales del rodaje provisional, haciendo los cortes con cierto cuidado, a fin de recuperarlos para ser empleados en otro sitio. Por último, podrá ser nivelada la faja de seguridad de la pista y cortado el canal en la zona que ocupaba éste.

### **3.12.- Rehabilitación del camino de acceso.- Puede ser debida a que:**

- a).- Su construcción original se llevó a cabo con especificaciones modestas y para velocidades de tránsito reducidas, requiriéndose cambiar su categoría llevando a cabo trabajos de:
  - 1.- Corrección de pendientes;
  - 2.- Corrección de radios de curvatura;
  - 3.- Ampliación de corona;
  - 4.- Rehabilitación y refuerzo de pavimentos;
  - 5.- Construcción de acotamientos o márgenes y
  - 6.- Reparación en los taludes de cortes o terraplenes que presenten socavaciones o erosiones significativas.
  
- b).- Aunque sus especificaciones son adecuadas, y no requiere cambios en su geometría, la estructura del pavimento ya presenta fatiga y deterioro superficial generalizado, requiriéndose:
  - 1.- Reforzar o reconstruir la estructura;
  - 2.- Rehabilitar los acotamientos o márgenes y
  - 3.- Reparar los taludes de cortes o terraplenes que presenten socavaciones o

erosionessignificativas.

Como estos trabajos han sido descritos en páginas anteriores, no requieren serlo nuevamente. Baste comentar que la diferencia entre aquellos trabajos y éstos estriba en que ahora sí será posible construir desvíos para que por ellos transiten los vehículos mientras se llevan a cabo los trabajos. En los casos que no sea posible construir un desvío, se puede conducir el tráfico por uno de los carriles mientras se trabaja en el otro. En ambos se requerirá señalamiento profuso y la presencia de bandereros para advertir a los conductores de la presencia de cualquiera de las dos circunstancias citadas.

**3.13.- Rehabilitación del camino perimetral.-** Como casi siempre se trata de un camino de bajas especificaciones, construido “a pelo de tierra”, con un solo carril de tránsito y libramientos a cada cierta distancia y, por último, con una estructura de pavimento apenas suficiente para permitir el tránsito de los vehículos de inspección, su rehabilitación, aún en el caso de reconstrucción total, es muy sencilla y no requiere mayor comentario.

Hay, desde luego, una situación que puede hacer que este trabajo alcance un cierto grado de dificultad: cuando dentro de la reconstrucción general del aeropuerto se estime necesario que el camino perimetral se convierta en una vía de tránsito para los vehículos de emergencia y que, además, se estipule la necesidad de dotarlo de rutas de penetración hacia la pista, sus cabeceras y las zonas de aproximación.

Entonces se deberá proyectar una auténtica carretera con dos carriles de tránsito, con acotamientos, pendientes adecuadas, curvas amplias y estructura de pavimento suficiente para las mayores máquinas con que cuente el Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios. Las rutas de penetración podrán reducirse a un solo carril, pero deberán tener en su extremo una ampliación con área suficiente para permitir que los vehículos puedan maniobrar para regresar por donde llegaron. Las obras de drenaje deberán sustituirse o reforzarse y se suprimirán los vados que frecuentemente tienen los caminos perimetrales en los pasos de agua efímeros, construyendo estructuras adecuadas para que la pendiente longitudinal no se altere.

Este caso ya no corresponderá a una rehabilitación, pasando a ser una auténtica construcción nueva, por lo que se sale del presente tema.

**3.14.- Señalamiento horizontal.-** Las pinturas “de tránsito” en base a hule clorado que se emplean para las marcas de norma en un aeropuerto casi siempre tienen una vida útil del orden de los 4 a 5 años. Al término de ese período se las observa decoloradas o amarillentas y a menudo están surcadas por numerosas grietas que, a su vez, provocan el desprendimiento de costras formadas por la capa de pintura con micro-esferas y algo del mortero superficial de la carpeta (cuando es asfáltica; si se trata de concreto hidráulico, el desprendimiento será únicamente de la capa de pintura).

Las pinturas en base agua, del tipo vinil-acrílico, no se han empleado en México todavía, aunque las pruebas que se han realizado permiten detectar que su duración es menor: de 24 a 30 meses. Al cabo de ese tiempo no se levantan, pero han perdido casi la totalidad de su pigmentación.

Consecuentemente, tanto por mantenimiento como porque la realización de obras de refuerzo o renivelación de los pavimentos han borrado las marcas anteriores, se requiere reponer las marcas del señalamiento horizontal. Puesto que se ha unificado el criterio y ya se usan internacionalmente las señales contenidas en el Anexo 14 de la O.A.C.I., no requieren mencionarse su geometría ni características.

En cambio, se considera adecuado dejar los siguientes comentarios:

- Las pinturas en base de hule clorado tienen solventes oleosos que reaccionan con el asfalto. Si las áreas de operación aeronáutica han sido objeto de modificación, tanto porque se prolongan o amplían o porque su pavimento se refuerza, seguramente la autoridad aeronáutica del aeropuerto exigirá que en cuanto se vayan concluyendo tramos de carpeta se inicien los trabajos el señalamiento sea repintado conforme a normas. Ello provocará que se esté pintando apenas unos cuantos días después, cuando el asfalto aún está “tierno” y no ha tenido tiempo de oxidarse.

Al poco tiempo de aplicarse la pintura pueden ocurrir dos cosas: que la pintura cambie de color (la blanca se torna amarillenta y la amarilla adquiere tonalidad naranja) o que la reacción de los solventes con el asfalto provoque un inmediato agrietamiento con “enrizamiento” de los bordes hacia arriba, formando costras que arrastran parte del mortero superficial de la carpeta. Al poco tiempo esas costras se desprenderán, dañando la superficie y anulando buena parte del señalamiento. Por supuesto, ambas situaciones provocan la necesidad de volver a pintar todas las marcas, generalmente a costa del contratista.

Esta situación se puede evitar si se consigue que la Comandancia del aeropuerto acepte mantener el señalamiento provisional por dos o tres semanas, para propiciar que el asfalto adquiera cierta oxidación y resista mejor la reacción de los solventes.

Este problema puede obviarse en las vialidades vehiculares, en donde la carencia de señalamiento no resulta demasiado grave y se puede esperar hasta un mes antes de proceder a la pintura.

- Si existe señalamiento provisional con pintura vinil-acrítica común no es necesario removerlo, pues es compatible con la nueva pintura. Además, como las marcas temporales son más pequeñas, quedarán cubiertas con el señalamiento definitivo.
- Si las áreas de operación tenían anteriormente marcas de señalamiento conforme a normas de la F.A.A. o de la propia O.A.C.I., pero según algún viejo ejemplar del Anexo 14, debe

aprovecharse la necesidad de repintar para ajustarse a las normas actuales.

### **OBSERVACIONES**

- *Si en un pavimento asfáltico solamente debe repintarse el señalamiento porque ya se encuentra muy deteriorado, suele ocurrir que las marcas conforme a normas actuales no coinciden con las anteriores y quedan áreas con la pintura anterior visible. Si ese fuera el caso, es necesario remover esa pintura empleando medios abrasivos. Este trabajo debe ejecutarse antes de que se haga el nuevo señalamiento, para evitar que las orillas de las marcas se deterioren. Aún siguiendo este procedimiento, suele ocurrir que todavía sean visibles los restos del viejo señalamiento provocando confusión, sobre todo a nivel del suelo. Para evitarlo será conveniente pintar de negro las zonas que deben ocultarse.*
- *Cuando el trabajo de repintado se debe hacerse sobre una superficie de concreto hidráulico, seguramente el señalamiento anterior presenta numerosos lunares en donde la pintura se ha desprendido. Si se pinta sobre esa superficie, seguirá presentándose desprendimiento en las zonas que antes no lo tuvieron, pues seguramente ya hubo penetración de agua entre la pintura y el pavimento.  
Para evitarlo es preferible remover primero la pintura existente, empleando tanto herramientas manuales (barretas con extremo plano en forma de espátula) o usando máquinas con elementos abrasivos.*
- *Si el nuevo señalamiento sobre concreto no coincide con el existente, también subsistirán zonas en que la vieja pintura aún es visible, pese a que haya sido desprendida o raspada. En este caso se deberá emplear pintura de color gris para cubrirlas, procurando que la que se use tenga acabado mate, pues si hay brillo, subsistirá la confusión a nivel del suelo, sobre todo en condiciones de visibilidad a contra-luz.*

**3.15.- Señalamiento vertical.-** También en él se dan dos casos: el primero, que debido a los cambios en la geometría de las áreas de operación la nomenclatura de los elementos se ha modificado y los tableros de señalamiento deben ser reemplazados, adaptándolos a las nuevas necesidades. El segundo, que por el deterioro que presentan deban ser repuestos o rehabilitados.

El primer caso no requiere mayor comentario, pues bastará con adquirir los tableros que se requieran, conforme a las dimensiones y características señaladas en el Anexo 14 y proceder a su instalación sobre elementos frangibles.

En el segundo, igual que en el señalamiento horizontal, puede presentarse la situación de que los tableros que existen no cubren las normas actuales y deben ser reemplazados en su totalidad. Si cumplieran con ellas pero están deteriorados, será conveniente analizar si el costo de rehabilitarlos resulta inferior que el de sustituirlos, resolviendo lo conducente.

## **OBSERVACIÓN**

*Las normas actuales respecto a dimensiones de los tableros, su contenido y su visibilidad a distancia, tanto de día como de noche, pueden resultar excesivas para la rehabilitación de los existentes. Por ejemplo, aunque tengan las dimensiones adecuadas, seguramente deberán cambiar el tamaño de las letras o señales que contengan para mejorar su visibilidad. Por otra parte, si con el sistema convencional de alumbrado (con lámparas ubicadas en la parte superior del tablero) no se consigue que sean visibles desde la distancia especificada, podrá requerirse sustituirlos por nuevos tableros traslúcidos con alumbrado interior.*

## **4.- RECONSTRUCCIÓN, MODIFICACIÓN Y AMPLIACIÓN DE EDIFICIOS**

Contando con el plan de ejecución de obras que dio lugar al listado de necesidades comentado en el Capítulo 2, también en los edificios se pueden (y deben) llevar a cabo varias obras simultáneamente, sobre todo si se va a trabajar en varios de ellos y no solo en el Terminal. Sin embargo, no sólo se tratará de modernizaciones o ampliaciones, sino también de atender la reconstrucción de aquéllos edificios que resultan dañados por contingencias climatológicas o telúricas: huracanes, lluvias, granizadas o nevadas extraordinarias y sismos, por lo que las condiciones de ejecución deberán adecuarse a las circunstancias.

**4.1.- Reconstrucción de edificios dañados.-** Dependiendo del tipo de fenómeno que azote al aeropuerto los daños que éstos sufran pueden ser distintos; por ejemplo, a título informativo más no limitativo:

### ➤ A consecuencia de huracanes.-

- ⊗ Desprendimiento parcial o total de la techumbre;
- ⊗ Caída total o parcial de muros;
- ⊗ Ruptura de cristales y daños en las cancelerías, tanto exteriores como interiores, a consecuencia del viento y/o el impacto de objetos arrastrados por él;
- ⊗ Desprendimiento de acabados en fachadas;
- ⊗ Daños en acabados y pisos interiores a consecuencia del viento y la lluvia que penetre después de que se han dañado las cancelerías exteriores;
- ⊗ Desprendimiento de plafones por efecto del viento o daño en ellos ocasionados por la lluvia que penetre;
- ⊗ Daño mayor en lambrines y acabados de muros interiores.

### ➤ A consecuencia de lluvias torrenciales, nevadas o granizadas extraordinarias.-

- ⊗ Obstrucción de las coladeras y tuberías de caída de las aguas pluviales por presencia de basura, nieve o granizo;
- ⊗ Falla de impermeabilización por presencia de un depósito de agua que no es desalojado, propiciando numerosas goteras;

- ⊗ Falla parcial de la techumbre, tragaluces o domos por el peso excesivo de la nieve o granizo;
- ⊗ Daños generalizados en plafones y acabados interiores ocasionados por el agua de goteras o el desplome de elementos de la techumbre.

➤ A consecuencia de sismos.-

- ⊗ Desplome total de uno, varios o todos los edificios;
- ⊗ Agrietamiento severo o destrucción total o parcial de muros, cancelerías y elementos estructurales;
- ⊗ Fallas de pisos, presentando agrietamiento y desniveles;
- ⊗ Desprendimiento total o parcial de acabados en muros exteriores e interiores

Esta relación no incluye daños que puedan sufrir las instalaciones eléctricas, electro-mecánicas, hidráulicas o sanitarias, que también pueden verse más o menos afectadas, y que sería largo enumerar.

Desde luego, la situación más grave que puede presentarse es la de pérdida total de uno o más edificios a consecuencia de un sismo, pues obligará a improvisar rápidamente la forma en que el aeropuerto pueda seguir funcionando. Seguramente mientras se decide qué hacer y se avienen los recursos necesarios para su ejecución, no quedará más remedio que dejar fuera de servicio el aeropuerto algunos días.

### **OBSERVACIÓN**

*Un sismo de tan elevada magnitud que hay sido capaz de derribar el Edificio Terminal o la Torre de Control --que quizás sean los más vulnerables a ellos--, puede haber dañado los edificios restantes y tal vez las áreas de operación aeronáutica debido a la aparición de agrietamientos y desniveles importantes. En tal caso, el cierre temporal del aeropuerto puede prolongarse por semanas y hasta meses, mientras se reparan los daños en los pavimentos y se improvisan instalaciones para la atención de los pasajeros y el control aeronáutico.*

Si el edificio perdido es el Terminal, puede haber varias formas de improvisar rápidamente una instalación provisional, a un lado del edificio dañado, pues seguramente el que lo reemplace quedará en la misma ubicación. Entre las posibilidades a emplear podrían estar:

- ☺ El alquiler o adquisición de una o varias carpas similares a las empleadas para los circos ambulantes. A menudo las empresas que se dedican a la organización de exposiciones o ferias cuentan con ellas o están en condiciones de proporcionar los datos de los fabricantes. Esta solución es incómoda, complica la distribución de espacios y la instalación de sistemas de control de ambiente, alumbrado y servicios sanitarios. Solamente debiera emplearse por tiempo reducido.

- ☺ El alquiler de una o varias carpas inflables similares a las empleadas para el almacenamiento temporal de granos. Pueden tener dimensiones más que suficientes para el propósito buscado, sin embargo, como dependen de una cierta cantidad de aire inyectado para mantener su forma, resultan inconvenientes para acomodar servicios sanitarios, sistemas de control de ambiente y alumbrado, por lo que tampoco son adecuadas para un uso prolongado.
- ☺ El alquiler o adquisición de una o varias estructuras metálicas abovedadas prefabricadas tipo Wonder, que permiten su armado rápidamente y pueden ser usadas por un tiempo prolongado, pues constituyen elementos rígidos y herméticos en los que se pueden instalar los sistemas y equipos que se deseen. Pueden durar tanto como se desee y al término de su empleo se desarman con facilidad.
- ☺ La adquisición y ensamble de una o varias casetas prefabricadas a base de lámina esmaltada o paneles de lámina con relleno de espuma de poliuretano. Las empresas especializadas cuentan con diseños para construir casetas de dimensiones generosas con las que puede improvisarse un edificio terminal, por ejemplo: usando una de tamaño grande para la documentación de pasajeros y la sala de espera de salida, otra similar para la sala de reclamo y el vestíbulo de bienvenida y, si se requiere, otras de tamaños menores para oficinas de gobierno, compañías aéreas, servicios sanitarios, restaurante, etc. Acomodándolas convenientemente se podrá contar con una instalación que sustituya al edificio destruido mientras se lo reemplaza.

Naturalmente que puede haber otras soluciones más, dependiendo de las facilidades con que se cuente localmente.

Si hubiera sido la Torre de Control la que cayera, la forma más rápida de improvisar un servicio de control aeronáutico es solicitar el auxilio de las fuerzas armadas. Generalmente la fuerza aérea cuenta con uno o varios equipos para control aeronáutico montados sobre un camión. Cuentan con lo necesario para sustituir una torre: equipo de radio VHF para la comunicación tierra-aire-tierra, equipo automático de meteorología, consola de control con altímetro patrón y facilidades para el control remoto de ayudas visuales, etc. Las luces de pista, rodajes y plataformas se operarían manualmente desde los reguladores de corriente constante, al igual que los indicadores de pendiente de aproximación. El sistema de aterrizaje por instrumentos y el VOR/DME se podrían operar manualmente desde sus propias casetas de equipos, manteniendo vigilancia permanente pues se carecería de monitoreo. Usando este procedimiento no se tendría faro de aeropuerto, a no ser que se monte uno de destello sobre un poste, provisionalmente.

Otra forma más o menos rápida será la construcción de una estructura de madera para sostener una pequeña cabina en la que hubiera los equipos elementales: consola para radiocomunicación, meteorología y altímetro maestro. Los sistemas de ayudas se operarían en la forma antes señalada. En este caso sí sería posible colocar un faro de destello sobre su techumbre.



### **OBSERVACIÓN**

*En cualquier forma, los usuarios de las instalaciones provisionales estarán sujetos a ciertas incomodidades, que seguramente aceptarán con resignación mientras se construyen los edificios que reemplacen a los destruidos.*

Resuelta la emergencia, las autoridades correspondientes deberán atender rápidamente la solución para reemplazar los edificios dañados. Como ya fallaron, seguramente requerirán nuevos proyectos estructurales adaptados a normas más estrictas. Si la geometría y distribución de los originales seguía siendo suficiente para las condiciones del aeropuerto, pudieran usarse los mismos proyectos arquitectónicos para acelerar la construcción.

Si ya existía el proyecto de reubicar la torre de control y hacerla de mayor altura o si el Edificio Terminal ya requería remodelación y ampliación, lo sensato sería aprovechar el desgraciado acontecimiento para modificar el proyecto, dando a los edificio mayores dimensiones y distribución interior adecuada a sus nuevas necesidades.

Los trabajos de construcción no requieren comentario.

En orden de mayor a menor gravedad, los daños ocasionados por un ciclón o huracán (que pueden ser muy importantes) ocuparían el segundo término.

Como se indica en páginas anteriores, el paso de una tormenta de elevada violencia, con vientos muy veloces y grandes cantidades de lluvia pueden ocasionar un alto número de daños. La desaparición de una parte o la totalidad de la techumbre puede ser la que revista mayor gravedad. Lamentablemente esta circunstancia está asociada con la destrucción de cancelerías, plafones, pisos, acabados e instalaciones, por lo que la reconstrucción integral debe ser atacada simultáneamente de manera rápida.

### **OBSERVACIÓN**

*Casi siempre que un huracán desprende la techumbre (total o parcialmente), se trata de elementos contruidos a base de lámina o losa-acero de peso ligero, que se apoyan en alguna estructura reticular de acero o concreto. Los techos contruidos por losas integrales de concreto o por sistemas de vigas pre-esforzadas con losa de compresión rara vez son levantados por la presión ejercida por los vientos, aunque sí pueden resultar dañados, sobre todo los segundos.*

Ante todo se deberá buscar la forma de tapar el hueco del techo para tratar de seguir operando el edificio en condiciones lo más parecidas a la normalidad. La solución inmediata que se antoja es cubrirlo con varias lonas ahuladas ligadas entre sí. Puede hacerse uso desde lonas para camiones hasta carpas cirqueras, si el área por cubrir fuera importante.

**4.1.1.- Identificación de las Causas de la Falla. Revisión de la estructura existente.-** Tanto si la techumbre desapareció en su totalidad como si solo lo hizo parcialmente, mientras se busca como tapar el edificio, debe revisarse con cuidado la estructura sobre la que se apoyaba, pues las presiones negativas que habrán provocado el desprendimiento seguramente la sometieron a esfuerzos para los que no fue diseñada. Si la revisión no identifica anomalías, se colocará la cubierta provisional y se emprenderán los trabajos de reposición de la definitiva.

Si se detectan deformaciones inadmisibles o fallas en soldaduras, placas de unión o tornillería, será necesario solicitar la presencia de un despacho de expertos estructuristas que valúen los daños y proyecten la reparación y/o el refuerzo de la estructura. Normalmente se aprovecha su presencia para identificar, si ello es posible, las causas que ocasionaron el problema. Casi siempre la conclusión a la que llegan es alguna de las siguientes:

- Una o varias puertas de acceso al edificio quedaron entornadas o mal aseguradas y se abrieron a los primeros embates del viento, permitiendo que entrara. No hubo alguna persona que abriera una salida al aire en el extremo contrario para aligerar la presión.
- Un objeto pesado arrastrado por el viento golpeó la cancelería exterior, rompiéndola y propiciando la entrada del viento. Aunque había personas dentro del edificio, se guarecieron en una bodega y no se dieron cuenta del problema.
- Uno de los domos de plástico acrílico de un tragaluz estaba agrietado y se rompió fácilmente, permitiendo que se formara un efecto de subpresión contra la techumbre que primero hizo que se desprendieran unas cuantas láminas en las inmediaciones del tragaluz, arrastrando luego al resto.

Una vez que se cuente con el dictamen de los peritos y sus recomendaciones para reforzar la estructura o corregir las deformaciones que presente, así como para fijar de mejor manera la nueva techumbre, se procederá a la ejecución de los trabajos. La cubierta provisional deberá mantenerse hasta que se hayan terminado, procediendo a retirarla cuando se esté colocando la impermeabilización.

### **OBSERVACIÓN**

*En ocasiones los daños sufridos por la estructura que soporta la techumbre, sobre todo cuando cubre un claro demasiado grande, obligan a modificarla mediante nuevos elementos que lo reduzcan. Esto puede significar la construcción de columnas o marcos, de acero o concreto reforzado, que lleguen a afectar el acomodo interior de los espacios del edificio obligando a su redistribución.*

Siguiendo la escala de daños, tanto los temblores como los huracanes pueden ocasionar la ruptura de grandes cancelerías exteriores, agrietamientos o la aparición de inclinaciones visibles en muros de relleno o su caída total o parcial, la presencia de grietas y desniveles de pisos (sólo en temblores)

y daños diversos a elementos decorativos en fachadas.

Aunque es fácil dejarse llevar por la impresión de que dichos daños fueron causados solamente por la fuerza del viento o los movimientos del terreno y no por daños en la estructura, nunca estará por demás efectuar su cuidadosa revisión. Ésta nunca debe obviarse cuando aparecen agrietamientos y desniveles en los pisos, y si éstos están asociados con la presencia de grandes fisuras tanto en muros interiores como exteriores. El trabajo puede llegar hasta el extremo de practicar sondeos, tanto en el interior como en el exterior del edificio, para revisar si la cimentación o las trabes de liga de la misma están dañadas. Al igual que en el caso de las techumbres, si se detectan fallas y el personal del aeropuerto no puede saber si se consideran peligrosas, debiera intervenir un grupo de expertos que revisen los edificios y emitan recomendaciones para su refuerzo y reparación..

En la siguiente escala podrían ubicarse los daños a que puede estar sujeta una techumbre (y la estructura que la soporta), cuando se presenta una carga excesiva en ella a consecuencia de la acumulación de un gran volumen de agua, granizo o nieve. Pueden presentarse no solo problemas de taponamiento en las bajadas de agua pluvial sino también daños en la impermeabilización por la combinación de una saturación prolongada y cambios bruscos de temperatura, llegándose hasta la falla de la techumbre por la presencia de agrietamientos que provocan numerosas filtraciones de agua o su colapso, cuando se rebasa la capacidad de carga para la que fue diseñada.

Este tipo de circunstancia es común que se produzca de noche, cuando el personal de mantenimiento del aeropuerto no se encuentra en él; consecuentemente no habrá quién se de cuenta de que durante una gran precipitación pluvial --tromba--, las coladeras de las bajadas de agua se tapan por la presencia de basura que no fue recogida oportunamente y el agua se acumula sobre la azotea. Al llegar a cierto nivel, puede rebasar el límite hasta el que se haya elevado la impermeabilización sobre los pretilos y empezará a penetrar entre ella y el aplanado del murete. El agua que penetra llegará hasta el nivel de la losa (reforzada o de compresión, según el tipo de techumbre) y empezará a saturarla; si la lluvia ha seguido cayendo y el tirante de agua se sigue incrementando, el peso excesivo podrá empezar a deformar la techumbre, agrietándola y propiciando el paso del agua. Si persiste el incremento de peso, podrá producirse la ruptura de la losa y su derrumbe.

Si la lluvia torrencial cesa, el tirante de agua permanecerá elevado y, aunque la techumbre no se llegue a colapsar, la saturación que se ha ido presentando en la losa hará que al cabo de unas pocas horas empiece a caer como goteras que continuarán por cierto tiempo, aún después de que se destapen las coladeras y el agua se desaloje por las bajadas pluviales..

En el caso de granizo o nieve, no necesariamente se tapan las coladeras de las bajadas de agua pluvial por la presencia de basura: la acumulación de los granos de hielo o de los copos de nieve las irán cubriendo hasta impedir que desaloje el pequeño volumen de agua que pudiera producirse por el deshielo al contacto con el acabado de la azotea. De esta suerte, el peso se irá incrementando hasta provocar el mismo proceso de falla antes descrito. En este caso probablemente no se produzcan goteras, pero sí la eventualidad del colapso de la techumbre.

Desde luego, la existencia de un derrumbe producido por cualquiera de las tres contingencias será desastroso para todo lo que encuentre bajo él. El peso combinado de la techumbre fallada, más la presencia de agua o hielo podrá arrastrar plafones, luminarias, muebles, etc., agravando la situación aún sin considerar la posibilidad de desgracias personales, que podrían complicarla aún más.

Tanto si llega a ocurrir como si únicamente se presentan goteras en abundancia, se requerirá revisar la parte inferior de las losas reforzadas, las losetas o las vigas prefabricadas (“T” o “Doble T”) buscando evidencias de daño mayor al visible. Si se detectan agrietamientos en una zona mayor a la que se derrumbó o presentó la mayor abundancia de goteras, debiera señalarse por medio de marcas con pintura o la incrustación de objetos, a fin de que cuando lleguen los peritos en estructuras, cuya presencia nuevamente es recomendable, tengan la evidencia de lo que el personal del aeropuerto detectó después del fenómeno.

### **OBSERVACIÓN**

*Cuando lo que falla es una losa convencional de concreto armado, la detección de agrietamientos o deformaciones en la periferia de una zona de falla es relativamente fácil, pues casi siempre habrá vestigios de humedad que permitan identificarlos; sin embargo, cuando se trata del colapso de una estructura a base de elementos prefabricados y losa de compresión, no siempre se puede determinar qué tan grande es la zona en que se agrietó dicha losa produciendo las goteras, o si existe un área dañada mayor a la que sufrió el colapso, a no ser que se desprendan los elementos de impermeabilización y acabado de las azoteas, dejando al descubierto la cara superior de la losa.*

*Si la falla es en una techumbre de losa de compresión sobre láminas (losa-acero), se podrá detectar la zona que aunque se haya deformado no se colapsó, pero será muy difícil detectar agrietamientos en la periferia de la misma, aunque se retiren las capas de impermeabilización.*

Si la estructura deberá reconstruirse, incluyendo la losa dañada, seguramente los expertos recomendarán algún refuerzo a sus elementos (sobre todo si falló por peso de granizo o nieve) y la demolición de un área perimetral adicional a la parte colapsada para eliminar la posibilidad de que esté dañada. Como casi siempre se deberán conservar los niveles de construcción, seguramente proyectarán algún refuerzo interno para aumentar su capacidad de carga. Además, exigirán la presencia de adhesivos epóxicos en la frontera entre los concretos de la losa existente y la nueva cuando se realice el colado de reposición.

En la escala inferior de los desperfectos que haya que reconstruir o reponer estarán todos aquéllos que correspondan a elementos ornamentales, de recubrimiento o de acabado; por ejemplo: reposición de impermeabilizaciones, de plafones, lambrines, pisos, recubrimientos y pinturas.

En todos esos casos siempre hubo antes un problema mayor que ocasionó su daño o deterioro, por lo que serán resueltos una vez que aquél haya sido solucionado. Aunque su reconstrucción o

reposición pueda ocasionar molestias a los usuarios, no se podrán comparar con el hecho de que no exista edificio o haya sido severamente dañado.

**4.1.2.- Refuerzo y reconstrucción de estructura existente.-** Aunque los procedimientos a seguir son más propios de las materias de construcción que se imparten en las Instituciones de Enseñanza Superior, sin entrar en el detalle de cómo se llevarían a cabo físicamente, baste comentar en qué consiste la mayor parte de los criterios empleados.

▶ *Refuerzo de cimentaciones de concreto hidráulico:*

- Las zapatas y dados de cimentación se refuerzan usualmente demoliendo el recubrimiento de los primeros y la parte superior de la losa en la zapata. Se colocan nuevos armados de acero, perimetralmente en los dados y como parrillas adicionales en las zapatas y se cuegan nuevamente, ampliando la sección y el refuerzo en ambos casos. Para lograr buena adherencia entre los concretos viejo y nuevo se aplican adhesivos de tipo epóxico.

▶ *Refuerzo de columnas y vigas de concreto hidráulico:*

- También se trabajan demoliendo el concreto del recubrimiento, colocando armados adicionales que se fijan a los existentes y volviendo a colar los elementos. Se usa adhesivo para asegurar la liga entre los concretos viejo y nuevo.

▶ *Refuerzo de columnas, trabes o vigas de perfiles de acero estructural:*

- Ordinariamente se prefiere sustituirlas por otras de mayor resistencia que reforzarlas, pero como ese trabajo requiere de andamiajes complicados para sostener otras partes de la estructura mientras se realiza, a menudo se opta por reforzarlas soldando placas al alma y los patines, a fin de aumentar el área de acero de la sección y con ello su resistencia. Requiere la participación de soldadores expertos que a menudo deben trabajar en condiciones adversas; además, es necesario un cuidadoso control de calidad de las soldaduras, para evitar posibles zonas de falla.

Por otra parte, seguramente el proyectista determinará que se requiera colocar elementos adicionales (contravientos, nuevas vigas o columnas) que refuercen el total de la estructura y no solo sus elementos.

▶ *Refuerzo de columnas, trabes o vigas en forma de caja, formadas por placas soldadas:*

- Cuando la estructuración lo permite, a veces se opta por ahogar estos elementos en concreto hidráulico, adicionando algún acero de refuerzo perimetral. Este procedimiento tiene el inconveniente de aumentar considerablemente el área ocupada por cada elemento.

Si no hay espacio para usar el método anterior, las “cajas” estructurales se pueden

reforzar soldándoles nuevas placas perimetralmente, de suerte que se construya una nueva caja sobre la existente. También en este caso el trabajo de soldadura es complicado y requiere un riguroso control de calidad; además, seguramente habrá nuevos elementos de refuerzo en la estructura general.

- ▶ *Refuerzo de armaduras y tridilosas de perfiles soldados:*
  - Siempre se hace necesario revisar su cálculo estructural para determinar qué elementos deben reforzarse o sustituirse por otros, más robustos. Es común que las armaduras se refuercen añadiendo placas a las cuerdas superior e inferior, en los sitios determinados por el cálculo. En las tridilosas, la solución puede ser más compleja, pues además de tener que reforzar los lechos superior e inferior, se puede requerir el reemplazo de diagonales en áreas específicas, lo que también obliga a la colocación de complicados y robustos andamiajes y al empleo de gatos hidráulicos para nivelarla mientras se ejecutan los trabajos.

### **OBSERVACIÓN**

*Puesto que la tridilosa es una estructura espacial concebida para cubrir claros muy amplios, realiza su trabajo estructural en conjunto y por ello no es usual que se hable de que “falló una zona”, sino que se interpreta como falla general que seguramente se ratifica por la presencia de deformaciones que dan a la estructura el aspecto de un enorme cedazo curvo. Esto suele complicar severamente su refuerzo, pues cuando es posible, debe tenerse en cuenta que la estructura puede pesar cientos de toneladas y que para soportarla o nivelarla debe haber otra compleja estructura provisional que seguramente llenará de obstáculos el piso del edificio, impidiendo su utilización.*

*Por eso es que a veces los estructuristas optan por colocar columnas (adecuadamente cimentadas) en sitios convenientes para reducir el claro cubierto por la tridilosa y únicamente reforzar las zonas en que habrá contacto entre la estructura espacial y los nuevos soportes. Con ello se reducen las áreas de afectación a nivel del piso y, aunque haya incomodidades para los usuarios, el edificio puede continuar sirviendo.*

- ▶ *Refuerzo de losas convencionales:*
  - Usualmente no se pueden reforzar mas que demoliéndolas para cambiar su armado, modificar su peralte o emplear concreto más resistente. De hecho se trataría de una construcción nueva. Cuando estas losas tienen problemas, los estructuristas optan por colocarles nuevos elementos de soporte (trabes, vigas y columnas) que reduzcan la dimensión de los claros y permitan mantener la losa existente.
- ▶ *Reconstrucción de techumbres de lámina con losa de compresión (losa-acero):*
  - Tanto si son destruidas por la subpresión de un huracán como por el peso excesivo de agua, granizo o nieve, lo que menos importa será la cubierta, pues su reposición

se realiza generalmente empleando los mismos criterios de su construcción original. Será indispensable corregir y reforzar la estructura dañada y mejorar los elementos de soporte de aquélla. Este comentario también es válido para el caso de las que se colocan sobre tridilosas.

► *Reconstrucción de techumbres a base de placas prefabricadas de concreto hidráulico con losa de compresión:*

- Será necesario que primero se reconstruya o refuerce la estructura de soporte dañada; una vez que ocurra se colocarán las placas prefabricadas; la revisión del cálculo señalará si se deben sustituir las placas originales por otras más robustas o se utilizarán aquéllas.

La losa de compresión no tiene por que ser modificada, utilizándose el proyecto original.

► *Reconstrucción de techumbres a base de vigas "T" o "Doble T" prefabricadas y losa de compresión:*

- Es común que cuando falla una estructura de este tipo se desplomen varias vigas prefabricadas completas, pues se acomodan sobre las vigas portantes en la ubicación las placas que se sueldan a las que hay en el patín de la viga "T". En la zona fallada habrá desaparecido la losa de compresión dejando a la vista una parrilla de varillas que cuelga hacia el piso del edificio, a veces con fragmentos de concreto adheridos a ella.

Si la revisión de la estructura detecta como daño adicional el desprendimiento de las placas de apoyo en las vigas portantes, con la posible ruptura del concreto en la zona del empotramiento, mas no la presencia de falla estructural en ella, puede ocurrir que solamente se recomiende una cuidadosa demolición con cincel de la zona del desprendimiento, seguido de la nueva colocación de las placas de apoyo pero ahora ahogadas en mortero epóxico para mejora la resistencia en dichas zonas. Después deberán colocarse las nuevas vigas que reemplacen a las que se cayeron, seguramente con un incremento en su acero de refuerzo. Sus placas en los patines se soldarán a las de la portante.

La losa de compresión se demolerá en una zona perimetral del orden de 1.0 a 1.5 metros de ancho para eliminar el concreto que pudiera estar agrietado; se repondrá la parrilla de armado y se volverá a colar, empleando adhesivo epóxico en la zona de contacto entre los concretos viejo y nuevo.

**4.1.3.- Reconstrucción de elementos dañados.-** Puesto que en el inciso anterior se ha comentado lo relativo a las estructuras y techumbres, ahora se hará referencia a algunos de los elementos más importantes de los restantes:

- *Cancelerías exteriores de gran tamaño:* Sobre todo en Edificios Terminales de grandes dimensiones, en donde es frecuente que la distribución interior ocupe dos o más niveles, los arquitectos son propensos a diseñar monumentales cancelerías para soportar gruesos cristales matizados con la mayor longitud y altura que pueda conseguirse comercialmente. Aunque siempre se diseñan para soportar vientos de alta velocidad y sismos de cierta intensidad, cuando ambos rebasan los valores del cálculo sufren daños graves.

Es usual que estas cancelerías estén soportadas por una estructura de acero soldada, que puede ser de perfiles comerciales “T” o “H”, o bien de tubulares de sección cuadrada. Sobre ellos se colocan un “forro” de placas de aluminio anodizado, formando secciones rectangulares, que se fijan a la estructura mediante soportes atornillados ocultos; una sola de las piezas, la que cierra la sección, se inserta a presión. Estas “cajas”, a su vez, reciben los elementos que sostendrán los cristales templados, que frecuentemente son de 19 mm de espesor y, por consiguiente, muy pesados.

Durante un huracán, los cristales están expuestos a una enorme presión y pueden resistirla mientras se mantenga abajo del límite para el que fueron calculados; si son golpeados por algún objeto que arrastre el viento o se excede su resistencia, pueden romperse una o varias piezas desencadenando una sucesión de fracturas que puede llegar a interesar a casi la totalidad de una fachada.

Por su parte, las estructuras pueden fallar de dos maneras:

- ☒ Por desprendimiento de las piezas del forro de aluminio que puede interesar a uno o varios de los claros de la cancelería. Puede ocurrir porque el cristal fijado a ellas actúa como vela y deforma las placas del perímetro hasta propiciar el desprendimiento de una de ellas; a su vez, ésta puede arrastrar a su vecina y ella a la que sigue, generalizando el desprendimiento; o bien
- ☒ Por falla de la estructura de acero sometida a una presión mayor a la que se usó en su diseño. Cuando esto ocurre, aunque originalmente no se hubieran roto los cristales, al deformarse bajo la presión que está haciendo fallar a la estructura de soporte, acabarán rompiéndose y deformando las piezas del forro de aluminio.

La reconstrucción de estas cancelerías es delicada y costosa y provoca la necesidad de implementar soluciones emergentes para cerrar la zona de falla mientras se realiza. De hecho, una vez que se inician los trabajos de limpieza de los destrozos y se procede al análisis de los daños, se requiere colocar algo para impedir que el interior del edificio siga expuesto a la intemperie. Para cerrar la zona se puede usar uno de los procedimientos siguientes:

- Adquirir o rentar lonas plásticas con el tamaño y número adecuados al espacio que hay que cerrar, sujetándolas a los restos de la estructura de la cancelería por medio de cuerdas o alambres, o



- Construir por el interior del edificio un tapial de tabla de yeso o lámina acanalada (galvanizada o pintada) que pueda armarse rápidamente. Debe ser por el interior para que los trabajos de reconstrucción se realicen por fuera, sin molestar a los usuarios del edificio.

El primero es más rápido y económico, pero obliga a tener que ir descubriendo las zonas en que se trabaje, pues las lonas estorbarán. El segundo, aunque más costoso y de ejecución más lenta, puede ser el más indicado. En ambos casos los materiales son recuperables.

Si la estructura de soporte resultó dañada, se hará necesario revisar su diseño para determinar si es necesario reforzarla y el procedimiento que se seguiría para ejecutar los trabajos. El estructurista deberá tomar en cuenta que si modifica de manera importante la geometría original de las piezas, posiblemente no se puedan seguir empleando las placas de aluminio originales y se requiera la fabricación --bajo pedido-- de otras diferentes.

### **OBSERVACIÓN**

*Esta situación puede resultar grave, pues generalmente las piezas de aluminio que se emplean en los "forros" de la estructura de soporte no son de línea comercial y deben ser fabricadas conforme al diseño del proyectista, lo que trae aparejada la costosa y complicada preparación de los dados usados para extrucción del aluminio. Si se siguen empleando las mismas piezas, el fabricante seguramente contará aún con dichos dados y la fabricación se iniciará con mayor rapidez y a un costo razonable. El cambio de la figura de las placas provocará que todo el trabajo deba hacerse de nuevo.*

*Por tal motivo, la solución que se da casi siempre consiste en colocar nuevos soportes dentro de la estructura de acero, reduciendo el tamaño de los cristales en el sentido vertical: donde sólo había un cristal ahora habrá dos. Con ello no solo se refuerza la estructura, sino que también se aumenta la resistencia de los cristales y se mantiene el diseño de las placas del forro de aluminio.*

Una vez definido qué se hace con la estructura de soporte, quedará resuelto lo relativo a los elementos de aluminio. Si se van a usar las mismas piezas, deben ser pedidas de inmediato, pues su fabricación y el proceso de anodizado al que normalmente se someten consumen algún tiempo.

De manera simultánea deberá fincarse el pedido de los cristales templados de reemplazo, cuya entrega tampoco será inmediata.

Mientras se cuenta con el aluminio y los cristales se entrará en un compás de espera, pues no se puede trabajar mientras no se cuente con los materiales.

El tiempo debe ocuparse en revisar todas las puertas de acceso al edificio, pues también pueden estar dañadas y requieran reparadas. En las que están enmarcadas en aluminio, puede hacerse necesario reconstruirlas empleando materiales comerciales similares a los que tenían; si son de cristal templado grueso, deberán ser pedidas a la empresa vidriera, para que las incluya en la entrega de los de la cancelería, incluyendo sus soportes y jaladores.

### **OBSERVACIÓN**

*Como se sabe, en todos los casos en que se empleen cristales de gran tamaño y grosor, éstos deben ser templados, pues resultan más resistentes que los que no reciben ese tratamiento. Sin embargo, tienen el inconveniente de que su tiempo de entrega es prolongado, pues las empresas vidrieras deben de cortar primero todas las piezas a su tamaño exacto y luego someterlas --una a una-- al proceso de templado. Esto puede significar que la entrega de este material se demore entre dos y cuatro semanas, dependiendo del número de piezas, la tonalidad de su matizado y su grosor.*

En cuanto se cuente con las placas de aluminio y los cristales se empezará su colocación. El procedimiento no requiere mayor comentario, pues estará a cargo de personal especializado.

- *Plafones exteriores e interiores:* Los primeros generalmente son de mortero de cemento portland y arena o de mortero de cemento, cal y arena que se apoyan en lienzos de metal desplegado que, a su vez, están sujetos al techo mediante colgantes de alambre o fleje de acero. Casi siempre se desprenden porque el agua arrastrada por el viento a gran velocidad puede saturarlos en unos cuantos minutos y el exceso de peso hace que se despeguen del metal de apoyo. Una vez que caiga un trozo del aplanado, el viento se arremolinará en el interior del espacio entre el plafón y el techo provocando presiones que harán fallar al metal desplegado y hasta a los colgantes. Aunque es poco común que estos plafones se desprendan totalmente, quedan tan dañados que deben ser reparados en su totalidad.

Ya que tal reparación es realmente una reconstrucción en la que hay que reponer colgantes, metal de soporte y aplanado, no amerita más comentario.

Los plafones interiores, en cambio, pueden resultar un verdadero dolor de cabeza. Por lo general se dañan en las zonas contiguas a cancelerías que permitieron el paso de agua, en lugares en que hubo la caída de una parte de una techumbre o en donde se produjo un intenso goteo a causa de la falla de una losa o daños importantes en la impermeabilización.

Puesto que hay una amplia variedad de materiales para la construcción de techos falsos, resultaría sumamente extenso tratar uno por uno, por ello se generalizarán a tres tipos:

- + De tabla de yeso
- + De placas cuadradas de yeso o materiales sintéticos

+ De largas tiras de aluminio pintado.

Los primeros son los plafones más fáciles de reparar: basta con demoler todas las tablas que estén dañadas, revisar que la colgantería de alambre o fleje acerado estén en buen estado (reponiendo los elementos que no lo estén), sujetar las canaletas galvanizadas que se emplean como apoyo y reponer las placas de yeso que se requiera. Sólo es necesario tener el cuidado de mantener los niveles pre-existentes y vigilar que el acabado de la parte nueva sea igual al que tiene el resto del área. Si no fuera posible igualarlo, quedará el recurso de reponer el acabado en toda la superficie.

En los de placas cuadradas, tanto de colgantería oculta como de aluminio aparente ("registrable") el principal problema que se puede presentar es que ya no se consiga en el mercado el mismo tipo de material que se empleó originalmente y aún subsista en el área que no resultó dañada. Aunque a veces se logra localizar un material "similar", al colocarlo siempre se notará la diferencia; el recurrir a pintar toda la superficie para tratar de corregir el efecto visual de los dos materiales distintos, normalmente no es solución.

Consecuentemente, la mejor medida que se puede tomar es la de reemplazar las placas por un nuevo modelo del cual haya existencia abundante en el mercado. Una vez tomada esa decisión, se revisará la colgantería, los rieles de soporte para los plafones de suspensión oculta o las estructuras de aluminio de los que la tienen visible. Si se requiere, se procede a reponer los elementos que estén dañados.

La reposición de las placas no requiere comentario.

En el caso de los plafones de tiras de aluminio coloreado puede suceder algo similar a lo anterior: aunque se sigan empleando tiras de las mismas dimensiones, las piezas especiales para su montaje sean iguales y la colgantería esté en condiciones de fácil reparación, suele ocurrir que los colores empleados hayan sido discontinuados y reemplazados por otros de distinta tonalidad. Entonces, si la cantidad de material que se requiere es considerable, cabe el recurso de que el fabricante acepte producir un cierto lote en el color deseado, mediante un sobre-precio razonable; pero si la cantidad de tiras es reducida, el costo puede resultar tan elevado que debe analizarse la posibilidad de cambiar colores en alguna zona.

### **OBSERVACIÓN**

*Es frecuente que estos plafones se coloquen en un solo color cubriendo la totalidad de la superficie, en cuyo caso la opción para repararlos será pagar el sobre-precio que pida el fabricante. En otra disposición se suelen colocar bandas de varias tiras de un color alternadas con otras de un color contrastante u otro matiz del mismo color. Por ejemplo: tres o cuatro tiras de color azul oscuro alternadas con igual número de tiras de color gris, o por tiras de color azul claro. En este caso, la solución puede ser: en una cierta área dañada pero aislada de las*

*contiguas, se procede a desmontar las tiras que se requieran de uno o los dos colores y se sustituyen por otras, conforme al catálogo actual del fabricante; las tiras recuperadas pueden ser empleadas para reparar el plafón de otra zona en donde el reemplazo resulte demasiado costoso.*

El trabajo debe ser ejecutado por personal especializado, que se encargará de reparar la soportería y reponer las piezas dañadas.

- ***Elementos decorativos en fachadas a base de muros postizos:*** Por su trabajabilidad y fácil instalación, es frecuente que en las fachadas se agreguen formas no convencionales que se construyen con elementos a base de paneles de espuma de poliuretano reforzado con alambre, o de placas de fibra prensada armados con malla de alambre ( Sus denominaciones en México corresponden a: Covintec, Panel Rey, Panel W, etc.), que se recubren con morteros de cemento y arena y se les da acabado empleando pastas texturizadas, losetas de mármol o algún otro tipo de material. Como no tienen gran resistencia estructural, normalmente están soportados por alguna estructura de madera, acero laminado o aluminio. Cuando se dañan, es frecuente que las estructuras queden intactas pero todo el elemento decorativo haya desaparecido.

Para su reposición, bastará con revisar el estado en que se encuentra la estructura de apoyo, procediendo a su reparación, si se requiere. La reposición del elemento es, de hecho, volverlo a construir, por lo que no amerita comentarios.

**4.2.- Construcción de ampliaciones.-** Con la única excepción de la Torre de Control, sobre todo cuando está montada sobre un fuste no habitable, los restantes edificios de un aeropuerto son susceptibles de ser ampliados cuando su ocupación muestra saturación y está provocando incomodidad y problemas a los usuarios.

Conforme a algunos criterios el Edificio del Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios quizá debiera considerarse también como otro que no resulta fácil ampliar cuando, por el cambio de categoría del aeropuerto, requiere más equipo y personal para dar cumplimiento a las normas respectivas. Ello involucra mayor área para el cobertizo de las máquinas y dimensiones mayores para todos los espacios que ocupe el personal. Es frecuente que se piense que es más sencillo construir una nueva instalación y no crear problemas operativos al Cuerpo mientras se ejecutan los trabajos, pues podrían resultar muy graves ante una emergencia. Sin embargo, una negativa tajante no sería prudente sin haber analizado las posibilidades.

**4.2.1.- Edificios complementarios.-** Si estos edificios: oficinas técnicas, casa de máquinas, almacenes generales, etc. están construidos siguiendo un diseño modular, su ampliación se puede realizar simplemente adicionando tantos módulos como se requiera, dentro de la disponibilidad del espacio existente.

El procedimiento es sencillo y solamente conviene apuntar los siguientes comentarios:

- a).- Los nuevos módulos deben construirse con el mismo proyecto estructural de los que ya existan; únicamente se deberá descubrir la cimentación para llevar a cabo la liga de los aceros de armado en los elementos de la sub-estructura: trabes de liga, contra-trabes, etc.
- b).- Si hubiera patios de máquinas en los que estuvieran ubicados equipos de enfriamiento para el sistema de control de ambiente, se demolerán las bardas que los rodean y los equipos permanecerán en su lugar hasta que los de reemplazo, de mayor capacidad, estén listos para empezar a trabajar. De ser posible la sustitución deberá llevarse a cabo durante el invierno, cuando las temperaturas más bajas no hagan necesario el enfriamiento de aire. De no ser así, se deberá planear que la unión entre los antiguos y los nuevos ductos de alimentación y retorno del aire se lleve a cabo durante una sola noche.

Se requerirá dejar un espacio suficiente en alguno de los nuevos muros exteriores para por él poder sacar la maquinaria que ya no será empleada.

- c).- Hasta que la ampliación esté terminada e incluso cuente con la distribución interior conforme al nuevo proyecto (a base de cancelerías de madera o aluminio con vidrios, o mediante muros falsos de tabla de yeso) no debiera demolerse el muro que divida los cuerpos. En preparación para ese trabajo, deberá colocarse algún tipo de encortinado (a base de lienzos de polietileno, por ejemplo) para evitar que el polvo que se genere afecte a los usuarios.

El personal que ocupe la zona limítrofe deberá ser reubicado en la ampliación, dejando libre el espacio que antes ocupaba.

- d).- En seguida se procederá a remodelar el edificio viejo, ampliando las áreas que lo requieran. Se usará el mismo tipo de material que se hubiera colocado en el área nueva, para uniformizar su aspecto. Los trabajos siempre deberán ejecutarse en las áreas que van quedando libres por el desplazamiento del personal hacia la zona recién ampliada.

Habrá un momento en que ya no será posible desplazar a dicho personal hacia zonas remodeladas porque el tamaño de éstas ha crecido respecto al que tenían originalmente. Entonces se requerirá solicitar su cooperación para soportar incomodidades agrupándose con otros compañeros durante unos días, mientras se acondicionan sus nuevas zonas de trabajo.

- e).- Si el edificio que se amplía es una casa de máquinas, el procedimiento será similar al descrito, aunque ahora la modulación interior del espacio disponible es diferente: en este caso hay grandes espacios y pocas personas afectadas. Sin embargo, como seguramente la ampliación es provocada por la necesidad de instalar nuevos equipos: más gabinetes en una sub-estación eléctrica, reguladores de corriente constante adicionales, una planta motogeneradora de emergencia de mayor tamaño, un tanque de presión adicional para el equipo hidroneumático, etc., los nuevos espacios serán para ellos y pocas veces se requiere

mover los que ya están instalados. Por otra parte, se tiene la ventaja de que en este tipo de edificio no es común que haya instalaciones de control de ambiente.

f).- Lo mismo ocurriría si se trata de un almacén.

**4.2.2.-Edificio del Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios.-** En la eventualidad de que se decida ampliar este edificio, si consta de dos o más niveles la problemática de los trabajos será mucho mayor que si solamente hubiera una planta. Se finca en la necesidad de ligar las estructuras nueva y vieja en cada uno de los pisos de que conste el edificio: cimentación, trabes, columnas y losas de entre-piso y azotea requerirán ligar sus armados con los de las que existen; Por otra parte, es posible que hacer crecer el edificio implique que la estructura actual deba reforzarse incrementando su acero de refuerzo y ampliando su sección.

Es simple entender que todos esos trabajos es difícil llevarlos a cabo en un edificio ocupado y sin que se interrumpan sus labores. Por ello es que a veces se prefiere construir otro, como ha sido comentado líneas atrás. El personal y equipo permanecerán en las instalaciones originales hasta que las nuevas están listas para alojarlos.

Si los edificios no tienen un proyecto modular y su forma semeja más bien una construcción urbana típica, ampliarlos guarda alguna similitud con el caso del Edificio Terminal; siendo éste el más complejo del conjunto aeroportuario, se comentarán algunos de los procedimientos usuales, considerando que son aplicables.

**4.2.3.- Edificio Terminal.-** Cuando el aeropuerto ha ido creciendo hasta hacer necesario su cambio de categoría, seguramente ya está teniendo severos problemas de saturación en su Edificio Terminal. Las áreas vestibulares, de documentación, ambulatorios, salas de espera, de reclamo, los núcleos de sanitarios, el restaurante y hasta las concesiones comerciales se ven siempre ocupadas y a veces se hace complicado caminar entre los grupos de gente que normalmente se forman. En todos los casos se hace notorio que hay espacio insuficiente.

Desde antes de que una situación como la descrita se haga patente, los proyectistas ya estarán ocupados en analizar qué hacer con el edificio, tomando en cuenta que el número de pasajeros crecerá aún más en el momento que se autorice la operación de aviones mayores. Su análisis, desde luego, no estará encaminado a resolver el tamaño que deban tener los espacios en esa fecha, sino que deberán prever un cierto crecimiento futuro, no tanto por lo que les diga la curva de crecimiento de la demanda en los años próximos pasados sino lo que supongan que ocurrirá en los siguientes 10 o 15 años.

Un análisis de esa naturaleza los puede llevar a la conclusión de que deben prever un área total que puede ser 100 o 150 % más que la que se tenga en la actualidad. Así, si el edificio tuviera 2500 m<sup>2</sup>

de superficie construida, podría resultarles que la necesaria llegará a los 5000 o 6250 m<sup>2</sup> y que, además, no bastará con construir nuevos espacios, sino que deben reacomodar todas las áreas en una nueva disposición. Se puede entender que solamente el llevar a cabo el proyecto implica una enorme cantidad de trabajo y que debe ser emprendido con la suficiente anticipación.

Cuando finalmente se cuenta con los planos del proyecto de ampliación se procederá a planear la ejecución de los trabajos.

En dicha planeación deben participar representantes de todas las autoridades, empresas y servicios involucrados y hasta afectados por la realización de los trabajos; a título enunciativo, aunque no limitativo podrían ser:

- ◆ La dependencia propietaria del aeropuerto
- ◆ El administrador o gerente del mismo
- ◆ La autoridad aeronáutica
- ◆ Las empresas de aviación
- ◆ Los concesionarios de locales comerciales y restaurante
- ◆ Los prestadores de servicios
- ◆ La empresa constructora que realizará las obras
- ◆ La empresa supervisora de las mismas.

Coordinadamente la dependencia propietaria del aeropuerto, la autoridad aeronáutica, la empresas constructora y la supervisora, trabajando en sus instalaciones centrales preparan un plan general de las etapas en que consistirá la obra, tratando de llegar al máximo detalle de cómo se afectará la operación del edificio en el estado en que se encuentra y cómo se irán resolviendo los mayores problemas. Han de generar tantos esquemas como se necesiten para poder explicar al resto de los involucrados qué ocurrirá cuando se amplíe la zona "A" y haya que remodelar la zona existente "1", a dónde se ubicará a los usuarios de la "2" mientras se remodela ésta y se amplía la "B", etc. Por supuesto, deben hacer gala de imaginación para suponer las interpelaciones que seguramente tendrán cuando expongan dicho planteamiento.

En su momento se inician las reuniones de coordinación en el aeropuerto, con la participación de los representantes antes indicados. En una primera junta se expondrán las ideas generales de cómo se hará crecer el edificio y cómo se arreglarán los espacios interiores. Será conveniente que a cada representante se entregue un folleto en el que se reproduzcan las ideas que son expuestas, a efecto de que las analicen con más detalle y preparen sus comentarios.

En reuniones sucesivas se irán afinando los conceptos, se aclararán dudas y se tomará nota de las sugerencias que puedan enriquecer el planteamiento general.

Para el momento en que se vayan a empezar los trabajos, todos los involucrados deberán estar plenamente enterados de qué se va a hacer, cómo se ejecutará, qué participación tendrán en las acciones y de qué manera los afectarán.

Supóngase que se trata de ampliar y remodelar un Edificio Terminal conforme el esquema planteado en el capítulo 2; las obras del primer tipo se harán en las áreas de documentación, sala de espera y sala de reclamo. Las zonas de vestíbulo general, ambulatorio y restaurante serán remodeladas para conseguir un mejor flujo de los pasajeros en las dos primeras y para incrementar en un 15 % el área rentable del tercero.

### **OBSERVACIÓN**

*A veces los edificios sólo necesitan la ampliación de un área específica, por ejemplo: la zona de documentación, la sala de reclamo o la sala de espera general. En tal caso sólo se aplicaría el criterio de construcción que le corresponda, dentro de los que en seguida se mencionan.*

En la descripción que sigue se mencionarán algunos elementos imaginarios que formarían parte del edificio, para mejor comprensión del asunto.

- a).- Debe tenerse en cuenta que para causar la menor cantidad de molestias a los usuarios del inmueble, primero se construirán las ampliaciones, con el mismo número de niveles que tengan las áreas existentes, en forma similar a la indicada para los edificios complementarios; esto es: en cuanto se hayan establecido las adecuadas uniones entre los niveles de los cuerpos nuevo y existente se demolerán los muros o cancelerías que impidan el libre tránsito entre las áreas y se empezarán a usar las de la ampliación. Después y en forma similar a la antes comentada, se deberá iniciar la remodelación del interior del edificio, siempre por secciones que puedan cerrarse al público mediante tapias de cualquier tipo.  
Guardadas las proporciones el procedimiento básico es el mismo, aunque nunca será igual trabajar con edificios de una sola planta que con los que tienen dos o tres.
- b).- Si las condiciones del edificio se prestan para trabajar simultáneamente en todas las zonas de ampliación, indudablemente se ganaría tiempo aunque representara un mayor grado de incomodidad para los usuarios. Sin embargo, aunque todas se hayan iniciado en la misma fecha, no deben entrar en servicio al unísono, porque pretender reacomodar todas las áreas interiores a la vez podría originar un caos.
- c).- La ejecución de las etapas de puesta en servicio de las ampliaciones y el reacomodo interior deberá cumplir con el programa originalmente planteado. De esta suerte, podría resultar que el orden fuera:
  - c.1).- Iniciar y llevar a su conclusión la ampliación de la zona de documentación, trabajando exteriormente hacia el costado del edificio y sin demoler el muro de frontera entre cuerpos nuevo y existente.
  - c.2).- Demoler el muro de frontera y poner en servicio la ampliación de la zona de documentación. En seguida se procederá a remodelar las divisiones de tabla de yeso que forman las oficinas de compañías aéreas, para incrementar su número y el área ocupada de cada una.



Iniciar los trabajos de ampliación de la sala de espera y la de reclamo, ya que no se obstaculizan entre sí: la primera es hacia la plataforma y la segunda es sobre el costado contrario del edificio.

- c.3).- Reacomodar las cancelerías que distribuyen las áreas de concesiones comerciales y restaurante, tanto en el vestíbulo general como en el ambulatorio para eliminar los estorbos que actualmente impiden el libre tránsito de los pasajeros hacia la sala de espera. Con este reacomodo se ganará el área de ampliación que requiere el restaurante, aunque ello significará la cancelación de dos concesiones de venta de artesanías que no están funcionando.
  - c.4).- Desmontar la cancelería existente entre la ampliación y la sala existente, moviendo el mobiliario hacia aquélla y despejando la parte posterior, contigua al ambulatorio, para proceder a la modificación de esa zona
  - c.5).- Demoler el muro de frontera entre la sala de reclamo y su ampliación para liberar la zona contigua al ambulatorio que se va a remodelar.
  - c.6).- Mientras se reacomodan las cancelerías entre el ambulatorio y las salas de espera y de reclamo, instalar en ésta una nueva banda transportadora de equipaje.
  - c.7).- En la medida que vayan avanzando los trabajos desde la zona de documentación hasta la sala de reclamo, durante las horas de menos movimiento de pasajeros deberán modificarse los acabados existentes, para uniformizarlos con los de las ampliaciones. En las áreas que vayan quedando terminadas se pulirán y brillarán los pisos de mármol para uniformizar su aspecto y borrar las huellas de las cancelerías removidas.
  - c.8).- Reacomodar y complementar el mobiliario institucional: mostradores en áreas de documentación; mesas de revisión para el personal de aduanas y mostradores de revisión de documentos para el personal de migración en la sala de reclamo; asientos en salas de espera, etc.
  - c.9).- Redistribuir y complementar la señalización interior, conforme sea requerido.
- d).- En la descripción anterior solamente se hace referencia a trabajos civiles y a uno de tipo electromecánico (la instalación de la banda transportadora en la sala de reclamo). Por supuesto, para que cada área nueva entre en servicio, será necesario llevar a cabo otros trabajos, tanto del propio tipo electromecánico como hidráulico y sanitario, tales como:**
- ✓ Adecuación de ductos de inyección y retorno de aire acondicionado
  - ✓ Adecuación de instalaciones hidráulicas y sanitarias
  - ✓ Adecuación de instalaciones eléctricas principales y secundarias
- El detalle de algunos de estos trabajos se describe en incisos posteriores. Por ahora se harán únicamente algunos comentarios respecto a la forma en que conviene llevarlos a cabo.
- d.1).- Durante la construcción de las áreas de ampliación se deberán de construir los nuevos ductos para el sistema de control de ambiente, tanto para la inyección del aire frío como para el retorno del templado hasta y desde las correspondientes rejillas de dispersión como de captación, respectivamente. Se requerirá dejar preparado el ducto troncal de cada tipo para que rápidamente se conecten a los

existentes en una sola jornada nocturna, pues en el momento en que las nuevas zonas entren en servicio deben de contar con la climatización adecuada.

Puede ocurrir que aunque los sistemas de enfriamiento con que se cuente tengan la capacidad suficiente para atender las áreas nuevas, la capacidad de los ductos troncales de distribución y retorno no la tengan. De ser así, será necesario que, mientras se construyen las ampliaciones, los contratistas de climatización tengan que sustituir dichos ductos a través de varias jornadas, debiendo construir los cajones de lámina requeridos durante el día e instalarlos durante la noche, para que el edificio no carezca del ambiente adecuado.

### **OBSERVACIÓN**

*Si los equipos de enfriamiento no cuentan con la capacidad necesaria, se pueden dar dos situaciones: que las áreas de ampliación se atiendan con equipos independientes o que se opte por ampliar la capacidad de los que ya hay. El primer caso corresponderá a una instalación nueva y no será comentada; el segundo será tratado posteriormente.*

- d.2).- Por lo que se refiere a las instalaciones hidráulicas y sanitarias, sólo se requerirá adecuarlas si se están incorporando nuevos núcleos de sanitarios o se modifica la cocina del restaurante. De ser así, se revisará si las líneas de alimentación de agua potable o los colectores de drenaje existentes tienen capacidad suficiente para satisfacer las nuevas necesidades. Cuando requieren ampliarse, lo más conveniente es construir nuevas líneas troncales de mayor diámetro con desarrollo paralelo a las existentes, a fin de no dejar éstas fuera de servicio. En el momento adecuado, se harán las conexiones entre las redes nueva y vieja.

Lo usual es que las instalaciones anteriores solamente se taponan, dejándolas en el sitio en que se encuentren.

Las redes hidráulica y sanitaria de las ampliaciones se integrarán a ellas y entrarán en operación.

- d.3).- En el caso de las instalaciones eléctricas, dada su amplia gama de posibilidades, requieren una revisión cuidadosa durante la etapa de elaboración del proyecto pues pueden darse varias circunstancias:

> La subestación, la planta de emergencia, los tableros y los alambrados de distribución tienen capacidad para alimentar las áreas de ampliación sin problema.

En tal caso sólo se requerirá conectar las nuevas instalaciones a las existentes y poner a trabajar los motores, lámparas de alumbrado, contactos, etc. controlados desde nuevos tableros de control.

> La subestación y la planta de emergencia tienen capacidad suficiente, pero los alambrados y tableros de distribución no.

Se requiere reemplazar los alambrados de distribución, ampliando el calibre de los conductores y sustituir las unidades termomagnéticas de los tableros

- por los requeridos según la demanda adicional.
- > La subestación, la planta de emergencia, los alambrados y los tableros de distribución no tienen la capacidad necesaria. Usualmente se sustituye el transformador de la subestación por otro de mayor capacidad; la planta de emergencia se reemplaza por otra mayor; los cables de distribución y las unidades termomagnéticas de los tableros también se cambian, por los calibres y capacidades que les correspondan, respectivamente.

En cualquier forma, las instalaciones de las zonas de ampliación se construyen en forma normal, dejándose los cableados hasta el tablero de distribución secundaria que les corresponda. Éste se conectará al resto de las instalaciones del Edificio Terminal en el momento oportuno.

**4.3.- Reposición de acabados.-** Cuando un edificio se rehabilita porque fue ampliado o sufrió daños, generalmente se tiene que uniformizar el tipo de acabados que deba tener, tanto en el interior como en el exterior. Es frecuente que los proyectistas aprovechen esta circunstancia para modernizar los acabados y hasta para alterar el aspecto arquitectónico de las fachadas. Naturalmente, el colocar los acabados en las áreas de nueva construcción no implica mayor dificultad. Ésta se presenta en las zonas que prevalecen los existentes, pues a menudo se presenta el conflicto de que los nuevos materiales deban colocarse sobre algún aplanado diferente al que hay, obligando a tener que eliminarlo de los muros y limpiar éstos para que reciban el nuevo. Aunque teóricamente no entraña mayor dificultad, sí puede provocar molestias a los usuarios del edificio, por lo que el trabajo deberá ser cuidadosamente planificado para tratar de reducir las.

**4.4.- Reposición de Equipos de Climatización Interior.-** La reposición de los equipos de climatización no siempre estará ligada con la ampliación de los edificios a los que dan servicio. Si ese fuera el caso, casi por lo general sólo se requiere en el Edificio Terminal, pues el resto de los edificios, como queda comentado, poco variarán sus dimensiones a lo largo de la vida útil de un aeropuerto.

De esta suerte, a veces los equipos deben ser sustituidos simplemente porque han llegado al término de su vida útil y ya resulta demasiado costoso estarlos reparando. Entonces, es normal que se instalen aparatos de la misma capacidad que los que existen, siguiendo los procedimientos que en seguida se comentan.

Como es sabido, se usan preponderantemente dos sistemas de enfriamiento: el llamado de inyección directa, que maneja un cierto número de equipos en donde el enfriamiento se produce por la circulación de gas refrigerante comprimido; el segundo (y el más empleado) usa agua enfriada en equipos de compresión de gas refrigerante, que se hace circular por bombeo hasta máquinas manejadoras de aire en donde se produce el cambio de temperatura: se enfría el aire movido por el ventilador y se entibia el agua. Por cierto, éstos equipos son compatibles con los sistemas de calefacción a base de calderas, pues usan las mismas conducciones de agua y manejadoras de aire, sólo que ahora en éstas se calienta el aire y baja su temperatura el agua caliente..

Con estos antecedentes, se facilita hablar de los procedimientos para reponer equipos que se han dañado o que requieren mayor capacidad:

**4.4.1.- Ampliación de capacidad con equipos de inyección directa.-** Bastará con instalar tantos nuevos equipos como se requiera para ampliar la capacidad de enfriamiento. Dado su tamaño relativamente reducido, se pueden ubicar en las azoteas o en patios de máquinas aledaños a las áreas por enfriar.

**4.4.2.- Ampliación de capacidad con equipos enfriadores de agua.-** Se pueden dar dos casos: cuando sólo se necesita mejorar el enfriamiento y las instalaciones de agua y manejo de aire son adecuados, o bien cuando hay ampliaciones que requieren enfriarse a través de nuevas máquinas manejadoras de aire.

En el primero, bastará con sustituir las máquinas existentes por otras de mayor capacidad de enfriamiento en toneladas/hora. Se usarán las mismas bombas y redes de conducción de agua.

En el segundo, puede hacerse necesario:

- Cambiar la capacidad de las enfriadoras o aumentar su número.
- Modificar la potencia de las bombas de agua o aumentar su número.
- Modificar el diámetro de las tuberías de alimentación de agua helada, según el gasto que ahora deberán conducir.

a).- Cambio de Capacidad o incremento del número de las máquinas enfriadoras. - Si se va a cambiar la capacidad de los equipos, siempre convendrá sustituir los existentes por otros, nuevos, con la capacidad adecuada, pues aunque pudiera bastar con sustituir los compresores de gas y los sistemas de enfriamiento de agua, el trabajo requiere demasiado tiempo y el ahorro económico es prácticamente inexistente. De esta suerte, si el cambio se produce en temporada cálida, cuando se requiere mantener el edificio a temperatura agradable, obligadamente se deberá programar el reemplazo durante la noche.

Es relativamente sencillo llevarlo a cabo porque es común que, dentro de ciertos límites, los gabinetes de los equipos conservan prácticamente las mismas dimensiones. De esta suerte, se aislará la enfriadora que se vaya a sustituir; se desconectan los alimentadores eléctricos y las tuberías de agua, tanto de inyección como de retorno y, con el auxilio de una grúa ligera, se remueve la máquina vieja. La nueva, que previamente se ha aproximado al sitio, es también cargada por la grúa y depositada en su lugar. Las tuberías y los alimentadores eléctricos se conectan y el nuevo equipo se arranca para probarlo.

No se requerirá purgar las tuberías de agua, pues en la red de agua fría seguramente habrá válvulas eliminadoras de aire que se encargarán de desalojarlo.

Si el trabajo se planea adecuadamente, la sustitución demora en el orden de unas 6 a 7 horas.

Ahora bien, si la capacidad se incrementa mediante el recurso de adicionar una o más máquinas enfriadoras el trabajo no será tan sencillo, aunque tiene la ventaja de poderse realizar sin presiones de tiempo. Se requerirá instalar el o los nuevos equipos de enfriamiento, sus conexiones hidráulicas y eléctricas, la bomba que impulsará el agua y las preparaciones para integrar las nuevas tuberías a la red de circulación del líquido frío. En cuanto estén listas, se programará la conexión entre instalaciones hidráulicas nueva y

existente para llevarla a cabo durante una noche y llevarla a cabo, ajustando los termostatos de operación en esa misma jornada, para que los diversos equipos entren en operación cuando se requiera, en función de las demandas térmicas.

- b).- Modificar la potencia de las bombas de agua o aumentar su número.- Siempre se tratará de nuevas bombas, con motores de mayor potencia y carcazas más grandes, para mover mayor gasto de agua fría. En el primer caso, se reemplazarán las existentes por las nuevas, siguiendo una cierta programación. En el segundo, sólo se justificará cuando se agregan nuevas enfriadoras.

Su instalación no requiere más comentario. Si acaso, podrá darse la situación de que las bombas mayores no encajen en las mismas bases de concreto de las existentes. De ser así, se requerirá construir las nuevas junto a las que ya hay, pues siempre será más sencillo agregar un cople de tubería que construir la base durante la noche en que se tenga que hacer la conexión. Esta situación no se da, por supuesto, en las bombas para equipos adicionales.

- c).- Modificar el diámetro de las tuberías de alimentación de agua helada.- De las tres posibilidades es la más complicada. Solamente ocurre en las ampliaciones de los edificios, cuando el volumen por refrigerar crece mucho (no es extraño que el área crezca al doble) y cuando, por supuesto, el volumen de agua fría que se debe mover crecerá en forma importante, pues se adicionan máquinas manejadoras de aire a las ya existentes.

Este tipo de trabajo no se puede realizar cuando los sistemas de control de ambiente están trabajando. Consecuentemente se tiene que programar para los tiempos en que los equipos estén parados: durante el invierno, si no se requiere la calefacción, o en los periodos entre las temporadas fría y cálida (o viceversa), cuando baste con hacer funcionar las manejadoras de aire para mantener un ambiente agradable dentro del edificio, simplemente haciendo circular el aire.

**4.5.- Reposición de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias.**- Al igual que con los sistemas de control de ambiente, no siempre está ligada con la ampliación de los edificios. Puede ser requerida simplemente porque las instalaciones se encuentren deterioradas y deban ser sustituidas.

Puesto que en los dos tipos de instalación se trabaja con tuberías, se mencionarán éstas de manera indistinta, pues hay mucha similitud en los procedimientos constructivos.

**4.5.1.- Reemplazo de tuberías troncales.**- Se hace necesaria cuando disminuye su gasto a causa, casi siempre, de la presencia de incrustaciones que no se pueden remover. Aparecen en las de agua cuando los tubos son de acero galvanizado o en las de drenaje cuando pierden su recubrimiento interior. En ambas, es una consecuencia del uso prolongado y la presencia de aguas con alto contenido de sales.

Debido a que no se puede dejar sin servicio a las instalaciones del edificio, como se ha mencionado los trabajos de reposición deben hacerse construyendo una nueva línea de conducción paralela a la existente. Si es requerido por el incremento de necesidades, se aprovecha para instalar tuberías de mayor diámetro y, en el caso de las de agua, para sustituir las de acero galvanizado por cobre, cuya vida útil es mayor y no son afectadas por la formación de incrustaciones.

En el momento adecuado y en una jornada nocturna, se harán las conexiones de las nuevas troncales a los ramales a que darán servicio.

### **OBSERVACIÓN**

*En las nuevas instalaciones de agua potable se pueden usar, si así lo considera el proyectista, tuberías de PVC de alta densidad, que tienen la bondad de poderse instalar en forma muy rápida y cuya vida útil, en la actualidad, compite favorablemente con las metálicas.*

**4.5.2.- Reemplazo de tuberías en ramales.-** Si originalmente se dejaron ductos de ramaleo dentro de los edificios, el trabajo es sencillo, pues se pueden ir aislando salidas individuales en las que se desinstalan los viejos tubos y se sustituyen por los nuevos. El empleo de conductos de PVC está ampliamente difundido para la ejecución de estos trabajos, tanto en los sistemas de agua como en los de drenaje.

La situación se complica si no existen esos ductos y las tuberías están alojadas bajo los pisos o dentro de los muros, pues no será posible sustituirlas sin dejar fuera de servicio el módulo del que se trate.

Si son núcleos de sanitarios, la opción será dejarlos fuera de servicio uno por uno, trabajando a puerta cerrada y procurando hacerlo con prontitud, por las molestias que ello puede ocasionar a los usuarios. Es frecuente que esta necesidad sea aprovechada para remozar las instalaciones completas, reemplazando pisos y lambrines y hasta los propios muebles sanitarios.

En la cocina del restaurante, por la naturaleza de su función, habrá resistencia del concesionario a dejarla fuera de servicio y, a lo sumo, estará de acuerdo en suspenderlo durante un cierto número de horas durante las noches.

Siendo así, el trabajo se debe programar para ejecutarse por etapas, buscando que cada una de ellas se complete en cada jornada. Esa programación podría fijar, por ejemplo, las siguientes acciones:

- ▶ Ranurado de muro para descubrir las tuberías de alimentación, desde el piso hasta la salida de agua.
- ▶ Ranurado de piso para descubrir las conexiones al ramal de alimentación o descarga, previendo cubrirlas con tarimas de madera o placas metálicas que no se muevan fácilmente.
- ▶ Preparación de nuevas tuberías de agua o drenaje para facilitar su pronto reemplazo.

### **OBSERVACIÓN**

*La preparación sólo es requerida si se usan tuberías metálicas roscadas o soldadas, pues se ganará tiempo en la nueva instalación. Si se utilizan las de PVC esta operación puede suprimirse, pues el trabajo de armado y pegado de sus piezas se realiza rápidamente.*

- ▶ Si es requerido mover los muebles de acero inoxidable para llevar a cabo la instalación de las nuevas tuberías, por lo general sólo se puede hacer a razón de uno por cada jornada, pues se deberán remover los sistemas de sujeción a muro o piso, retirar el mueble, cambiar las tuberías, volver a colocar el mueble en su lugar fijándolo adecuadamente, conectar las

llaves o descargas de drenaje y probarlas.

Afortunadamente el número de muebles por lo general es reducido y la solución requerirá menos de una semana para completarla.

- ▶ Rellenar las ranuras en piso y muros, restituyendo el firme o el aplanado, respectivamente.
- ▶ Reponer las losetas de piso y lambrines, para restituir los acabados.

**4.5.3.- Reposición de registros y/o pozos de visita.-** Es requerida cuando se deben reubicar para dejarlos fuera de una zona de ampliación o se destruyen por alguna razón imprevista. En el primer caso, simplemente se construyen los nuevos en la ubicación que les corresponda, tanto para ubicar válvulas de control en las tuberías de agua o para facilitar las labores de desazolve en las de drenaje, quedando integradas a las nuevas redes.

En el segundo, será necesario demoler totalmente el elemento, dejando únicamente la losa de fondo para apoyar los nuevos muros, el brocal y la tapa.

Son trabajos de albañilería sencillos que no requieren más comentario.

**4.5.4.- Reposición de muebles.-** Se refiere exclusivamente a los de tipo sanitario, que deben ser sustituidos periódicamente tanto por razones de funcionamiento como por motivos estéticos.

Aunque, como queda dicho, este trabajo se puede llevar a cabo cuando se restituyan las tuberías de núcleos sanitarios, lo común es que se hagan en forma independiente, cuando así sea requerido. Para hacerlo sin causar molestias a los usuarios generalmente se hace durante las noches. Un buen equipo de personal puede reemplazar entre 5 y 7 muebles en una sola jornada, pues se trata de un trabajo relativamente sencillo.

La otra opción, preferida por algunos gerentes o administradores de aeropuertos, es cerrar durante uno o dos días un núcleo sanitario y reemplazar la totalidad de los muebles, para que entren en servicio simultáneamente.

**4.6.- Rehabilitación de Sistemas de Tratamiento de Aguas.-** Puede tratarse de algo sencillo como el reemplazo de materiales de tratamiento o filtro en sistemas de suavización o filtrado (de arenas graduadas o carbón activado), en donde bastará con vaciar los tanques que contienen las sales o el material filtrante, limpiarlo y volverlo a llenar con los productos limpios, o bien requerir reparaciones y hasta el reemplazo de componentes en plantas potabilizadoras o de tratamiento de aguas negras.

**4.6.1.- Rehabilitación de sistemas de cloración.-** La falla que con mayor frecuencia presentan es en el dosificador del cloro líquido o en polvo químico, que casi siempre se identifica por la aplicación de cantidades del producto distintas a las deseadas. Como la mayor parte de estos equipos tienen componentes electrónicos, su rehabilitación debe quedar a cargo de técnicos especializados que trabajan para las empresas que venden o dan mantenimiento a este tipo de aparatos. Consecuentemente, no requiere más comentario.

**4.6.2.- Rehabilitación de sistemas de filtrado.-** Como por lo general se encuentran en depósitos cerrados, cuando se ensucian demasiado sólo se identifica que es necesario rehabilitarlos porque el gasto a la salida del filtro disminuye en forma importante. De ser así, previamente al trabajo de

rehabilitación se deberán adquirir las arenas graduadas o el carbón activado que se emplee en el proceso, teniéndolos disponibles para hacer el trabajo durante una jornada nocturna. Llegado el momento, se debe separar la tapa del recipiente, aislar el filtro cerrando la válvula de entrada y abrir la de purga del tanque, para permitir que se vacíe. En cuanto ello ocurra, se retiran las partículas filtrantes hasta dejar el depósito limpio, se lava con agua y se reponen los materiales filtrantes. Cuando se trata de arenas graduadas, se deberán colocar los materiales en el mismo orden en que estaban previamente, cuidando que las capas queden con espesor uniforme. En el caso del carbón activado la operación es más sencilla, pues basta con reponer el material hasta el nivel que deba tener.

Concluida la reposición del filtro, se abrirá la válvula de llenado y se verificará que el agua a la salida sale limpia. A veces, cuando se usan arenas graduadas se requiere que éstas se laven primero, produciendo líquido de aspecto lechoso hasta que se ha eliminado el polvo que hubiera en los materiales. Cuando el líquido sale transparente, se interpretará que el filtro está limpio. Una vez hecha esta verificación se restituye la tapa, se accionan las válvulas necesarias y el filtro estará listo para seguir operando.

**4.6.3.- Rehabilitación de sistemas de suavización de aguas duras.-** Tanto si se trabajan a base de sal en grano como si lo hacen con esferas químicas, el trabajo de rehabilitación es similar al comentado en el inciso precedente. La diferencia estribará en que estos equipos denotan su deficiencia en el tratamiento simplemente porque los productos químicos se han diluido y ya no existen. De todos modos, es conveniente que antes de recargarlos se haga una limpieza del tanque de dilución para eliminar la presencia de sarro que es frecuente se forme en ellos.

### OBSERVACIÓN

*Tanto en los equipos de filtrado como en los de suavización, suele suceder que su rehabilitación implique el cambio de los depósitos porque los existentes presenten fugas o su capacidad deba incrementarse. En tales casos, habrá que prever que se deban hacer ajustes en las instalaciones hidráulicas, pues seguramente las dimensiones de los tanques existentes serán distintas de las de los nuevos.*

**4.6.4.- Rehabilitación de plantas potabilizadoras.-** Estas instalaciones por lo general están reservadas para los aeropuertos más grandes. En el resto, puede bastar con sistemas de filtrado y cloración, empleando agua embotellada para consumo humano.

Son usuales las plantas integradas en un paquete de funcionamiento automatizado, en las cuales los tanques de sedimentación y filtrado son depósitos cerrados y únicamente está a la vista el sistema de aireación, que casi siempre aparece como una vistosa fuente. Tales equipos generalmente se adquieren en paquete y su mantenimiento se contrata con la empresa vendedora, por lo que, cuando se llega a requerir rehabilitarla, ella misma se encarga de ella.

**4.6.5.- Rehabilitación de fosas sépticas.-** Se pueden dar dos situaciones: que el aeropuerto tenga una fosa séptica convencional, con las dimensiones y el número de celdas de tratamiento que se



requiera para el gasto previsto, o que tenga tanques sépticos prefabricados formando una batería. Por otra parte, la rehabilitación puede deberse a dos causas: que los sistemas de tratamiento estén funcionando en forma ineficiente porque la cámara de digestión ya tiene un volumen excesivo de sedimento, o bien, porque se requiere aumentar la capacidad del tratamiento.

En este orden de ideas, si sólo se trata de un problema de sedimentación excesiva, se procederá a contratar los servicios de una empresa especializada en la extracción de estos lodos, que llegará con el camión adecuado, introducirá una manguera de succión y traspasará los sedimentos a su propio depósito. Entonces la fosa puede quedar lista para seguir funcionando.

En el caso de los tratamientos a base de tanques sépticos, el procedimiento puede consistir en taponar temporalmente la llegada de las aguas negras; proceder a la succión de lodos y llevar a cabo una recarga de bacterias digestoras en el tanque de digestión. El producto se obtiene de los mismos vendedores de los tanques y se debe depositar dentro de un cierto volumen de agua para evitar que las bacterias anaerobias mueran al contacto con el aire. Hecha la recarga, el tanque se cierra en forma hermética y se deja correr el agua negra, para restablecer el funcionamiento del tanque de tratamiento.

En cambio, en las fosas convencionales, no es necesario interrumpir el paso de las aguas negras. Cuando se succionan los lodos se deja una capa ligera de ellos para que persista la población de bacterias digestoras. Luego, la celda de digestión se irá llenando sin que se interrumpa el tratamiento, hasta que alcance el nivel deseado y se produzca la descarga por derrame en la siguiente celda.

Ahora, si la rehabilitación es propiciada por la necesidad de incrementar la capacidad del tratamiento, en ambos casos la solución será aumentar el número de equipos. Si se trata de fosas sépticas convencionales, se podrá construir una nueva junto a la existente o bien, si no se cuenta con espacio suficiente para ello, adosarle uno o varios tanques sépticos prefabricados con la capacidad conveniente. Cuando el tratamiento es a base de estos tanques, la solución es la misma: agregar tanques de igual o mayor capacidad. Desde luego, cada nueva unidad deberá tener su propio sistema de alimentación y descarga.

De ser requerido, habrá que prever que los campos de oxidación y los pozos de absorción también deban aumentar su capacidad de tratamiento. En los primeros, podrá bastar con ampliar el área del campo y adicionarle las tuberías de conducción de agua tratada que se requieran. Los pozos de absorción, por su parte, no pueden hacerse crecer; consecuentemente, para ampliar la capacidad de desalojo se deberán construir nuevos pozos, en el número que se requiera según el gasto y la capacidad de absorción del terreno.

**4.6.6.- Rehabilitación de plantas de tratamiento de aguas negras.-** Al igual que las potabilizadoras, su existencia estará restringida a los aeropuertos mayores. También en este caso y para evitar la presencia de malos olores, las plantas que normalmente se usan son a base de tanques cerrados y de funcionamiento automatizado.

Su mantenimiento y eventual rehabilitación serán realizados por las mismas empresas que las venden e instalan.

**4.7.- Rehabilitación de Sistemas Eléctricos.-** Puede estar asociada con la necesidad de reconstruir edificios que han sido dañados, que han sido ampliados y se requiere ampliar la capacidad de algunas de sus instalaciones, o simplemente que deban ser modernizados porque estén llegando al límite de su vida útil.

Como en cualquiera de estas circunstancias los trabajos pueden tener similitud, en lugar de comentarlos conforme a su ubicación en los edificios, conviene más hacerlo sobre sus componentes.

**4.7.1.- Rehabilitación de subestaciones.-** Usualmente su mantenimiento y limpieza rutinaria son suficientes para garantizar una larga vida útil. Así, casi siempre que deben ser rehabilitadas es porque se necesita aumentar su capacidad, aunque pueden darse casos en que el requerimiento surja de daños a las instalaciones. Conforme a ello, se comentarán las dos situaciones:

### **OBSERVACIÓN**

*Para simplificar los comentarios, se referirán a la subestación central (o distribuidora) del aeropuerto, entendiéndose que mucho de lo que de ella se diga será aplicable a las secundarias que existan en edificios, instalaciones de aire acondicionado, equipos electrónicos para la aeronavegación, etc.*

**a).- Rehabilitación por incremento de capacidad.-** Ocurre casi siempre que se adicionan instalaciones eléctricas de demanda considerable: la iluminación de una nueva pista, calles de rodaje, ampliaciones de edificios, más equipos de aire acondicionado, etc.

Mientras la demanda se mantenga dentro de los límites que se pueden manejar con la capacidad existente en el transformador de la subestación, probablemente sólo se requiera incrementar interruptores termomagnéticos en los gabinetes de distribución, o más aún, adicionar un nuevo gabinete para alimentar y controlar las nuevas instalaciones, si éstas se manejan en voltaje no mayor a los 440 volts nominales. Si tales instalaciones requirieran alimentación en alta tensión, para una nueva subestación secundaria, seguramente será necesario hacer modificaciones en el gabinete de distribución correspondiente.

### **OBSERVACIÓN**

*Cualquier trabajo que deba ejecutarse en áreas de alto voltaje requerirá que la subestación sea desconectada, por lo que sólo se llevarán a cabo durante las noches, a horas en que la desconexión no interfiera con la operación del aeropuerto. Habrá que tomar en cuenta que ciertos trabajos se pueden ejecutar aunque el aeropuerto esté en operación o durante el día, empleando la energía de las plantas de generación de emergencia.*

Cuando se hace necesario sustituir el transformador porque está dañado o se requiere más capacidad, el trabajo se debe programar cuidadosamente, empezando por verificar si el nuevo equipo cabe en el espacio destinado para él y previendo, en su caso, contar con nuevas gargantas de lámina adecuadas a los tamaños que deberán cubrir tanto en la entrada en alta tensión como en la salida a tensión reducida.

Se debe prever cómo y en cuánto tiempo se ejecutarán las operaciones de:

- ▶ Desconexión de la alimentación en alta tensión de la subestación.
- ▶ Desarmado y retiro de las piezas de lámina de las gargantas de conexión.
- ▶ Desconexión de las barras y cables que llegan y salen del transformador existente.
- ▶ Retiro del transformador.
- ▶ Instalación del nuevo transformador.
- ▶ Conexión de las barras y cables de alimentación y descarga.
- ▶ Armado de las nuevas piezas de las gargantas de entrada y salida.
- ▶ Reinstalación de la energía eléctrica en alta tensión.
- ▶ Calibración del voltaje de salida del transformador sin carga.
- ▶ Verificación del voltaje de salida bajo carga.
- ▶ Comprobación del funcionamiento del transformador bajo las condiciones ambientales existentes.

Con excepción de las dos últimas operaciones, que se llevan a cabo a lo largo de varias horas o días de observación, el resto deberán ejecutarse en tiempo breve para no trastornar el funcionamiento de las instalaciones.

**b).- Rehabilitación por daños a la subestación.**- Puede ser debida a múltiples causas: terremotos, huracanes, inundaciones, descargas de rayos, etc. En todos los casos, lo primero que deberá hacerse es valorar el tamaño de los daños y qué posibilidades reales hay de rehabilitar la instalación. Los técnicos deberán tener en cuenta que puede resultar más conveniente instalar una nueva subestación que pretender rehabilitar la existente, sobre todo porque a menudo los tiempos de entrega de los gabinetes, cuchillas y conectores en alta tensión o del transformador que se deba reemplazar pueden llegar a ser mayores que los de un equipo completo.

### **OBSERVACIÓN**

*Cuando las instalaciones han sido dañadas por fenómenos naturales de gran magnitud, como huracanes o terremotos, seguramente afectaron no solo al aeropuerto sino a la ciudad próxima o hasta a la región. Consecuentemente, las posibilidades de conseguir elementos de repuesto en ella se verán limitadas, tanto porque los proveedores también hayan sufrido daños, como porque la demanda de partes provocada por otros afectados seguramente rebasará las existencias de la localidad. Consecuentemente, todos recurrirán a proveedores centrales. Obviamente, la decisión rápida de qué hacer facilitará el contar con los repuestos en el menor tiempo.*

Los responsables de la rehabilitación tienen que estar conscientes de que, cuando ocurre una contingencia seria que afecte a la región, el aeropuerto puede tener una gran importancia para que acuda la ayuda que se requiera del exterior; por ello, si se cuenta con áreas de operación aeronáuticas poco dañadas o no afectadas, deben buscarse los medios para que la terminal aérea entre en servicio lo más pronto posible.

De esta suerte, una vez que se decida lo que más conviene hacer para una rehabilitación definitiva, deben de ser analizadas opciones alternativas. Por ejemplo: si la subestación está dañada sólo en las partes de alta tensión o no se recibe energía del exterior, se cuenta con los tableros de

distribución en baja, el equipo de transferencia y la planta de emergencia, podría restablecerse la energía para operar el aeropuerto usando la planta, quizás solamente durante horario diurno para reducir el consumo de combustible, si se da el caso de que escasee durante cierto tiempo.

Desde luego, si no existieran opciones posibles, puede llegar a ocurrir que las áreas del aeropuerto que dependan de la electricidad para funcionar deban permanecer fuera de servicio hasta que se hayan reparado los daños. El aeropuerto podría recibir y despachar aeronaves durante el día si los controladores de vuelo cuentan con equipos de radiocomunicación de baterías, pero no habría ayudas visuales, suministro de combustibles ni alumbrado en los edificios, con los inconvenientes que ello signifique.

**4.7.2.- Cableados de distribución primaria.-** Cuando los alimentadores que salen de la subestación principal, tanto en alta tensión hacia otras subestaciones secundarias, como los que conducen energía en tensión reducida (casi siempre 440 volts nominales) hacia los tableros centrales de distribución, han llegado al término de su vida útil y están presentando problemas por el envejecimiento de su aislamiento, será necesario sustituirlos.

Otra situación se da cuando se amplían los edificios o sus instalaciones y la demanda de corriente crece; entonces los cableados deben sustituirse por otros de mayor calibre y capacidad, aunque tengan vida útil remanente.

En ambos casos los trabajos deberán realizarse en forma similar y el procedimiento guarda cierta similitud con el comentado en las redes hidráulicas y sanitarias: para no interrumpir el servicio, lo más conveniente es construir nuevos ductos e introducir en ellos los conductores necesarios, para que en una sola jornada nocturna se hagan las conexiones, tanto en las subestaciones --cuando se trata de unir las--, como entre ellas y los tableros de distribución central.

A veces y alegando razones de economía, el personal de mantenimiento de los aeropuertos prefiere llevar a cabo otro tipo de trabajo: empleando cables de los que dispongan (que casi siempre son los del tipo XLP N° 8 usados para los sistemas de iluminación de pista), hacen tendidos provisionales sobre la superficie y a la intemperie, entre los equipos que van a cablear nuevamente; los ponen en operación y proceden a extraer los conductores existentes de los ductos que los conducen, procediendo luego a introducir en ellos los nuevos cables que serán los definitivos. En una jornada nocturna final, desconectan los provisionales y conectan los nuevos, quedando lista la instalación.

Este procedimiento puede tener el inconveniente de que los alambrados provisionales quedan expuestos a todo género de posibilidades de sufrir daños o a la aparición de fallas, sobre todo si el material empleado no es nuevo y ya presenta deficiencias en los aislamientos.

Guardadas las reservas respecto al segundo, cualquiera de los dos procedimientos puede ser seguido.

**4.7.3.- Tableros.-** Tanto los de distribución central como los de tipo secundario deberán rehabilitarse periódicamente. Salvo en el caso de que el espacio dentro de ellos no sea suficiente

para albergar nuevos alimentadores, sobre todo en los primeros en donde el número de interruptores crezca en forma excesiva a causa de nuevas áreas en los edificios o nuevas instalaciones dentro de ellos, por lo general el trabajo se limitará a sustituir interruptores termomagnéticos que ya tengan fallas de funcionamiento o cuya capacidad resulte insuficiente.

Cuando los tableros no tienen capacidad para alojar más interruptores, la solución suele ser colocar un nuevo tablero junto al existente, distribuyéndose entre ambos el número de interruptores requerido. Esto suele ocasionar algunas molestias a los usuarios, por lo que usualmente los trabajos se realizan de noche, tratando de avanzar lo más posible en cada jornada.

**4.7.4.- Alambrados de distribución secundaria.-** A veces también se requerirá sustituir los conductores entre la subestación y el tablero central, o entre éste y los secundarios, tanto por término de su vida útil como por la necesidad de incrementar su calibre. Entonces y puesto que dentro de los edificios en operación no es fácil abrir canalizaciones para colocar nuevos ductos, el procedimiento usual es el de colocar alambrados provisionales exteriores, mientras se reemplazan los que van dentro de los ductos existentes. Aquí el riesgo de daños se reduce, pues los hilos pueden tenderse sobre los plafones o sujetados temporalmente a las paredes, fuera del alcance de las personas.

El mismo procedimiento se aplicará cuando es necesario cambiar los alambrados entre los tableros secundarios y las salidas: de contactos, apagadores, unidades de alumbrado, etc.

**4.7.5.- Plantas de emergencia y tableros de transferencia.-** En una instalación nueva, ambos equipos están asociados y los componentes del tablero de transferencia serán los adecuados para la energía que brinda la planta.

Con el tiempo, puede suceder que la planta de emergencia deba reemplazarse por otra de mayor capacidad y no se contemple la sustitución del tablero de transferencia; seguramente parte de sus elementos deberán ser reemplazados por los adecuados al nivel de generación que ahora se tenga. Aunque esta situación puede darse, no corresponde a las que son más frecuentes, como las averías en el motor de combustión interna o del generador.

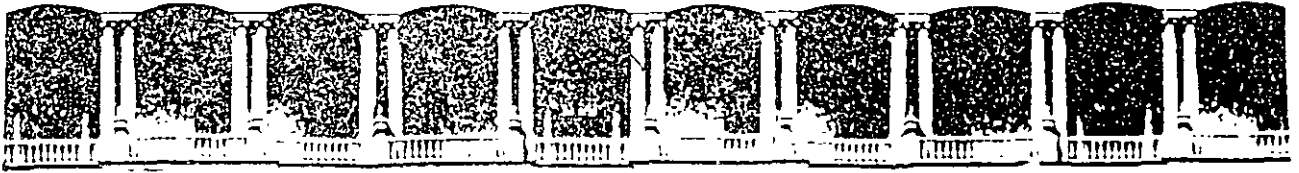
### **OBSERVACIÓN**

*Aunque en los aeropuertos pueden existir sistemas de alimentación de emergencia del tipo "no interrumpible" (no break), dado que sus componentes guardan similitud con los motogeneradores convencionales, sólo se hace referencia a éstos.*

Los motores a diesel que normalmente se usan en las plantas de emergencia son equipos confiables y de larga vida útil; sin embargo, suelen sufrir averías que casi siempre pueden ser resueltas por los mecánicos del aeropuerto. Sin embargo, cuando las fallas se producen en el generador de electricidad, no siempre los electricistas del grupo de mantenimiento pueden resolverlas, pues el problema puede estar produciendo en los devanados del rotor o en los elementos del excitador, requiriéndose los servicios de un técnico capacitado en este tipo de equipo.

Las reparaciones de estos elementos, cuando son sencillas, pueden tomar desde pocos minutos hasta varias horas, pero cuando son graves y no pueden ser resueltas sin tener que desinstalar el que ha fallado para enviarlo a un taller especializado, comprometerán la operación del área a la que den servicio, llegando incluso, a provocar el cierre del aeropuerto como cuando falla la planta de emergencia da servicio al alumbrado de la pista o los indicadores de pendiente de aproximación, por solo citar un ejemplo.

Consecuentemente, los responsables deberán estar atentos a la presencia de fallas menores repetitivas que puedan desembocar en una falla grave. Cuando ello ocurre y sobre todo en aeropuertos importantes, deberán contar con medios que les permitan reemplazar en corto tiempo un generador dañado, un motor desbielado o toda la planta, en el caso extremo.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

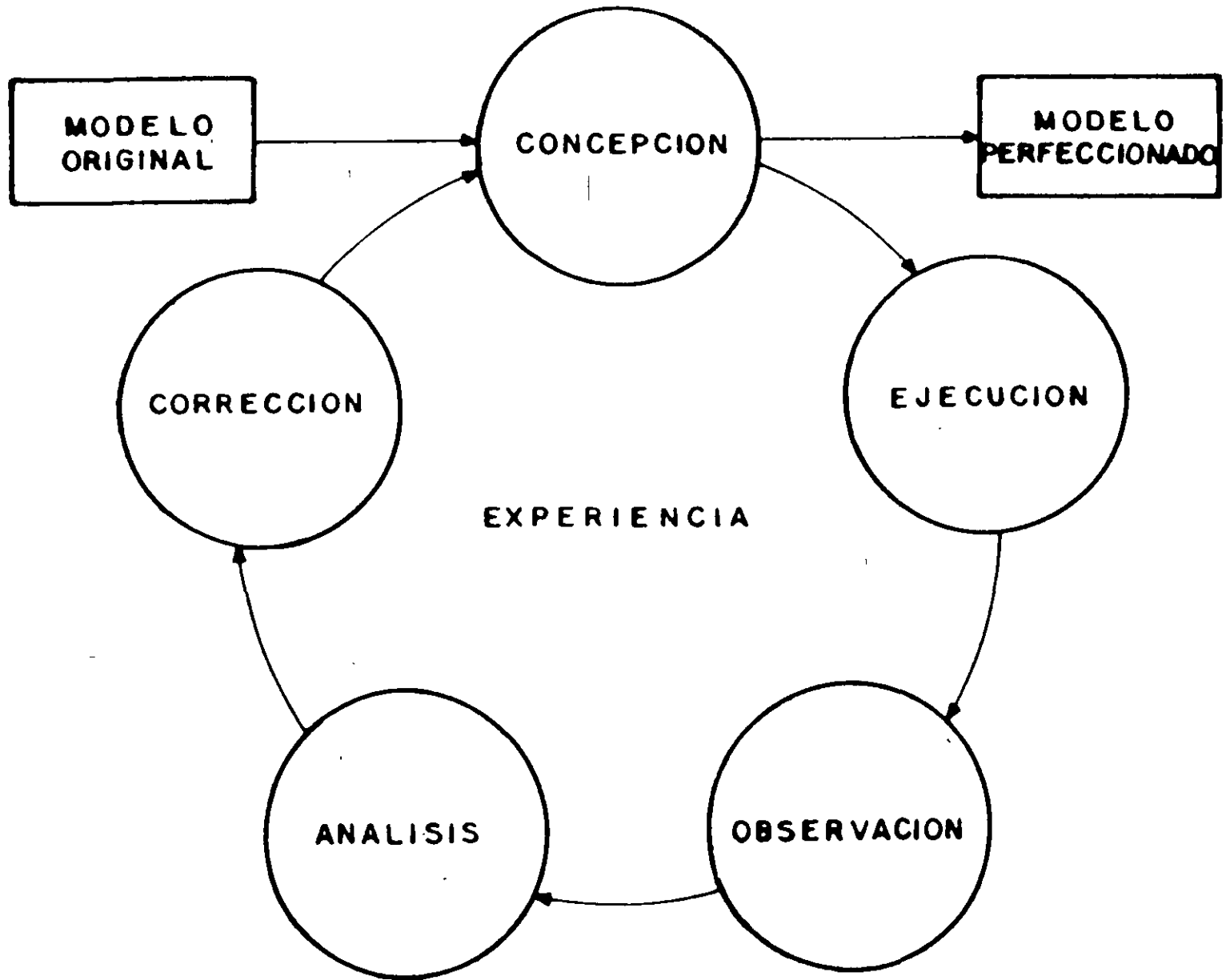
CURSOS INSTITUCIONALES  
XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍA DE AEROPUERTOS

Del 31 de agosto al 30 de octubre.

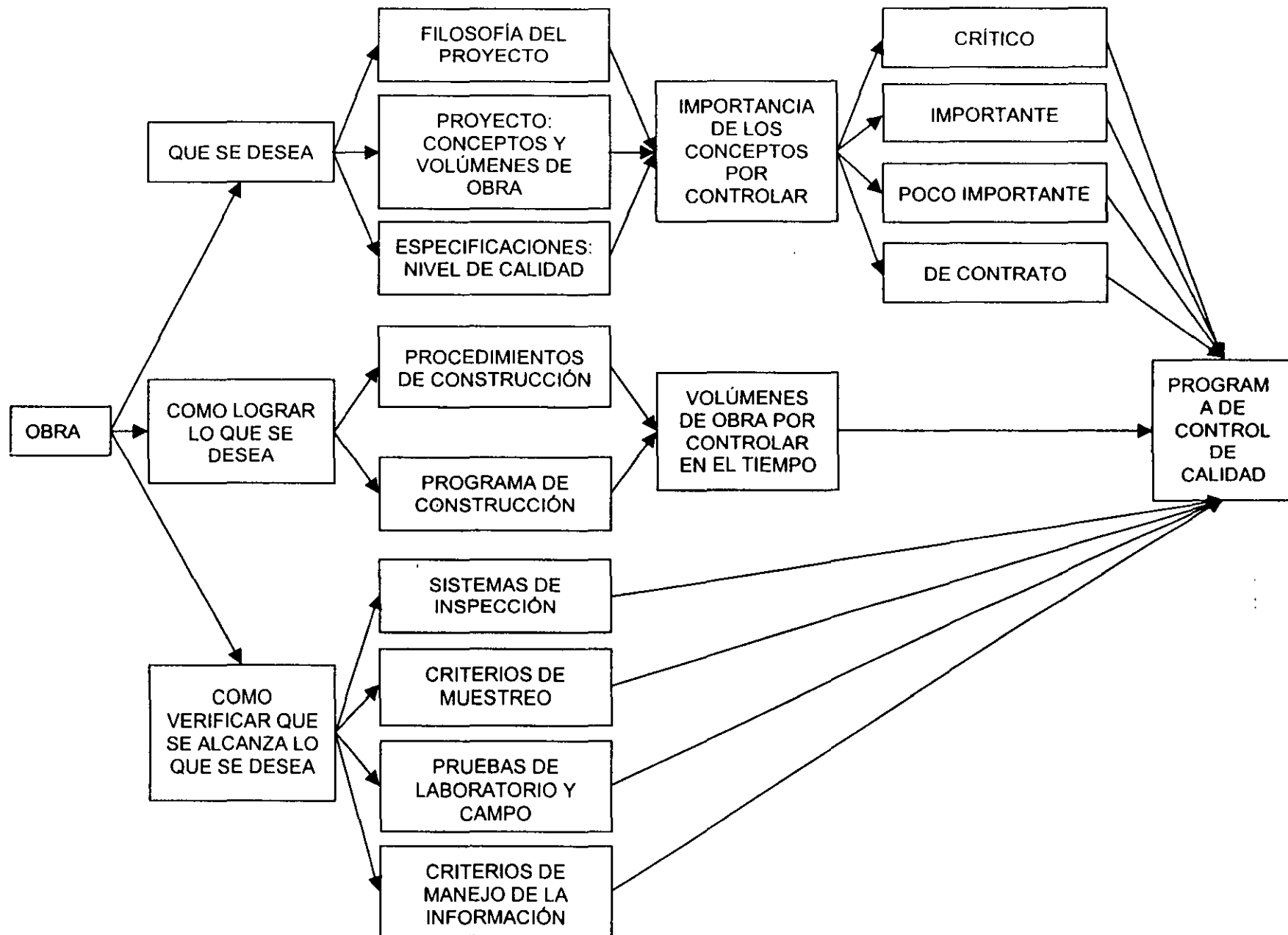
Módulo III Construcción

*Control de Calidad*

Ing. Alfonso M. Elizondo Ramírez  
Palacio de Minería  
1998.







8

## **REQUISITOS PARA UN BUEN PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD**

1. FUNDARSE EN ASPIRACIONES REALISTAS PARA NO CONDUCIR A CONFUSIONES.
2. BASARSE EN PRUEBAS DE SIGNIFICACIÓN RELEVANTE DESDE EL PUNTO DE VISTA TÉCNICO, PARA OBTENER INDICACIONES APROPIADAS SOBRE EL ESTADO REAL DEL TRABAJO.
3. EL SISTEMA DE INSPECCIÓN DEBE CENTRAR SU ATENCIÓN A LOS ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL COMPORTAMIENTO DE LA OBRA Y NO A LOS ACCESORIOS.
4. QUE LA INTERPRETACIÓN DEL PROGRAMA SEA CLARA, PARA LO QUE UN ENFOQUE CIENTÍFICO ES DE VITAL IMPORTANCIA.

## **... CUALIDADES DE LAS PRUEBAS PARA CONTROL DE CALIDAD**

1. ESTAR DIRIGIDOS A LA COMPROBACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ESENCIALES.
2. SER RÁPIDOS EN SU EJECUCIÓN.
3. SER SENCILLOS Y RIGUROSAMENTE ESTANDARIZADOS.
4. SER DE FÁCIL INTERPRETACIÓN.
5. EMPLEAR EQUIPOS DE MANEJO SIMPLE Y ECONÓMICO, FÁCILES DE CALIBRAR O CORREGIR.

## **CUALIDADES DEL CONTROL DE CALIDAD**

1. QUE SEPRE LAS CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DE LAS ACCESORIAS DE LA OBRA, DISTINGUIENDO LAS DESVIACIONES Y DEFICIENCIAS SIGNIFICATIVAS.
2. QUE DISTINGA LAS DEFICIENCIAS O DESVIACIONES INHERENTES A PROBLEMAS DE LA OBRA, DE LAS QUE EMANAN POR LAS PARTICULARIDADES DEL MUESTREO O DE LA EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE CAMPO O LABORATORIO.
3. QUE EJERZA VIGILANCIA OPORTUNA DE LOS MATERIALES QUE VAYAN A USARSE, PARA GARANTIZAR EL COMPORTAMIENTO ADECUADO DE LOS QUE SE SELECCIONES PARA UN CIERTO FIN.
4. QUE ESTABLEZCA NORMAS CLARAS Y SEGURAS PARA LA ACEPTACIÓN O EL RECHAZO DE LOS TRABAJOS PARCIALES EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE LA OBRA.
5. QUE SE BASE EN NORMAS EXPEDITAS Y RÁPIDAS, QUE CONCUERDEN CON LOS ASPECTOS LEGALES Y DE CONTRATACIÓN DE LA OBRA.
6. QUE NO INTERFIERA O LO HAGA LO MENOS POSIBLE CON EL RITMO NORMAL DE CONSTRUCCIÓN.
7. QUE SE BASE EN ESPECIFICACIONES REALISTAS, DE ACUERDO A LAS POSIBILIDADES REALES Y A LAS NECESIDADES DE LA OBRA, ASÍ COMO AL AMBIENTE TÉCNICO GENERAL.
8. QUE SE FUNDAMENTE EN TÉCNICAS DE MUESTREO, ASÍ COMO EN PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO OBJETIVAS, RÁPIDAS, SENCILLAS, DE FÁCIL INTERPRETACIÓN Y QUE SEAN PARTE DE UN ESQUEMA CIENTÍFICO.
9. QUE ESTÉ PREVISTO DESDE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO PARA QUE SUS INTERFERENCIAS Y NECESIDADES, ESTÉN DEBIDAMENTE PROGRAMADAS PARA QUE NO CAUSE DILACIONES INESPERADAS.
10. QUE POSEA UN CRITERIO INDEPENDIENTE RESPECTO AL PROYECTISTA Y AL CONSTRUCTOR, PARA LO QUE SERÁ CONVENIENTE QUE TENGA INDEPENDENCIA JERÁRQUICA Y ADMINISTRATIVA EN RELACIÓN CON AMBOS.
11. QUE EL PERSONAL DE CONTROL DE CALIDAD SEA CAPAZ Y QUE POSEA FACILIDAD PARA LAS RELACIONES HUMANAS.

## **NORMAS**

LA LEY FEDERAL SOBRE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN (SECOFI), ESTABLECE LAS SIGUIENTES NORMAS:

### **1. NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM)**

LA REGULACIÓN TÉCNICA DE OBSERVANCIA OBLIGATORIA A NIVEL NACIONAL, EXPEDIDA POR LAS DEPENDENCIAS COMPETENTES. CONTEMPLAN PRINCIPALMENTE LAS CARACTERÍSTICAS Y/O ESPECIFICACIONES QUE DEBAN REUNIR LOS PRODUCTOS Y PROCESOS CUANDO ESTOS PUEDAN CONSTITUIR UN RIESGO PARA LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS, ANIMALES, VEGETALES, EL MEDIO AMBIENTE GENERAL Y LABORAL, O PARA LA PRESERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES.

### **2. NORMAS MEXICANAS (NMX)**

LA REGULACIÓN TÉCNICA DE APLICACIÓN VOLUNTARIA, QUE ELABORAN LOS ORGANISMOS NACIONALES DE NORMALIZACIÓN O LAS DEPENDENCIAS COMPETENTES, QUE PREVEN PARA UN USO COMÚN Y REPETIDO REGLAS, ESPECIFICACIONES, ATRIBUTOS, MÉTODOS DE PRUEBA, DIRECTRICES, CARACTERÍSTICAS O PRESCRIPCIONES APLICABLES A UN PRODUCTO, PROCESO, INSTALACIÓN, SISTEMA, ACTIVIDAD, SERVICIO O MÉTODO DE PRODUCCIÓN U OPERACIÓN, ASÍ COMO AQUELLAS RELATIVAS A TERMINOLOGÍA, SIMBOLOGÍA, EMBALAJE, MARCADO O ETIQUETADO.

### **3. NORMAS INTERNACIONALES**

NORMAS, LINEAMIENTOS O DOCUMENTOS NORMATIVOS QUE EMITE UN ORGANISMO INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN U OTRO ORGANISMO INTERNACIONAL RELACIONADO CON LA MATERIA, RECONOCIDO POR EL GOBIERNO MEXICANO EN LOS TÉRMINOS DEL DERECHO INTERNACIONAL.

ADICIONALMENTE, EXISTEN LAS NORMAS TÉCNICAS, QUE ELABORAN LAS DEPENDENCIAS, CONFORME A LAS CUALES EFECTÚAN LA ADQUISICIÓN, ARRENDAMIENTO O CONTRATACIÓN.

ESTAS NORMAS TÉCNICAS SUELEN SER CONOCIDAS COMO:

#### **NORMAS GENERALES**

DE LA DEPENDENCIA QUE LAS HAYA ELABORADO.

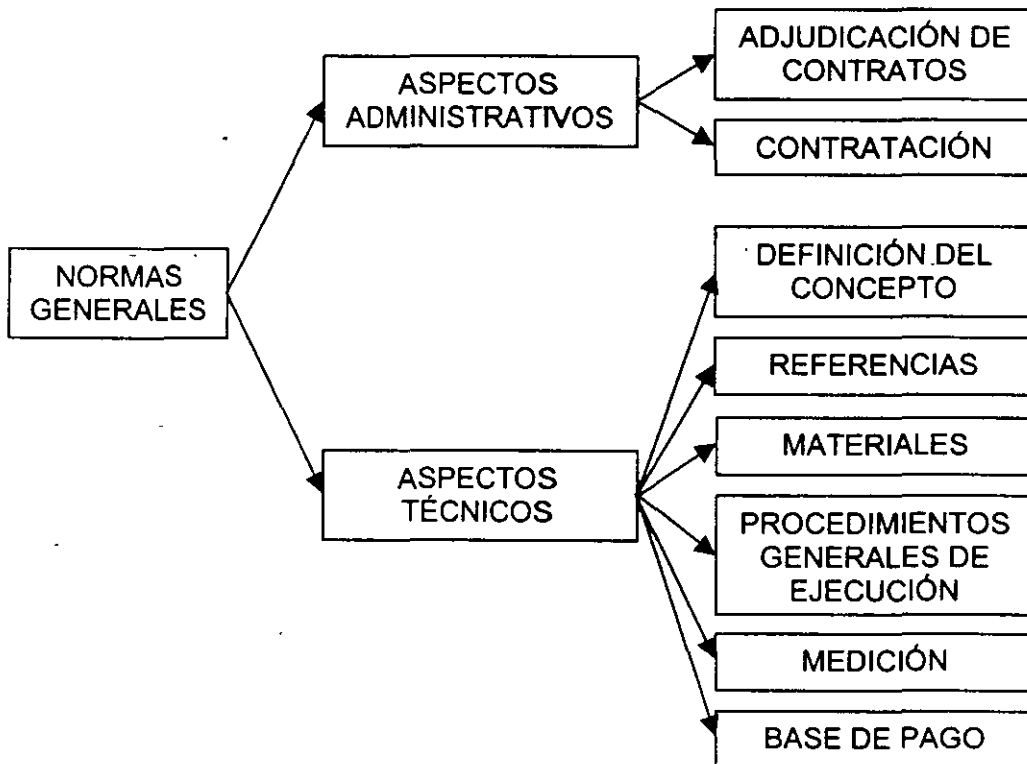
## OBJETIVO DE LAS NORMAS GENERALES

EL PROPÓSITO DE LAS NORMAS GENERALES, ES:

**ESTABLECER LOS ASPECTOS LEGALES DE LA CONSTRUCCIÓN Y DE LA CONTRATACIÓN, ASÍ COMO LAS RELACIONES CON LOS CONTRATISTAS, PROPORCIONANDO UNIFORMIDAD EN EL ESTILO Y LA CALIDAD DE LAS OBRAS DE LA DEPENDENCIA CORRESPONDIENTE.**

## INTEGRACIÓN DE LAS NORMAS GENERALES

NORMALMENTE, LAS NORMAS GENERALES SE INTEGRAN DE LA SIGUIENTE MANERA:



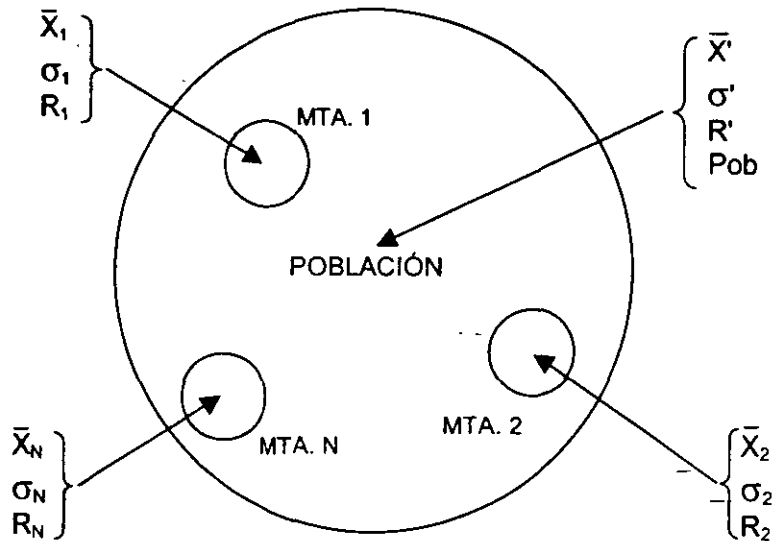
## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

LAS ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN SON EL CONJUNTO DE LAS NORMAS GENERALES DE LA DEPENDENCIA CORRESPONDIENTE Y LAS ESPECIFICACIONES PARTICULARES DEL PROYECTO.

LAS ESPECIFICACIONES PARTICULARES DEBEN SER ELABORADAS POR EL PROYECTISTA, DE ACUERDO CON LAS CARACTERÍSTICAS PROPIAS DE CADA OBRA Y EN SU ELABORACIÓN SE DEBEN TOMAR EN CUENTA LO SIGUIENTE:

1. TODOS LOS PARÁMETROS DE DISEÑO, SE DEBEN ESPECIFICAR, PARA QUE SU CUMPLIMIENTO GARANTICE EL BUEN COMPORTAMIENTO DE LA OBRA.
2. SE DEBE ESTABLECER EL NIVEL DE CALIDAD REQUERIDO PARA CADA UNO DE LOS CONCEPTOS DE OBRA, MEDIANTE TOLERANCIAS O PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.
3. SE DEBEN INCLUIR LOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS ESPECIALES.
4. SE DEBEN ESTABLECER LOS ACABADOS DE LOS CONCEPTOS DE OBRA QUE ASÍ LO REQUIERAN.
5. SE DEBEN ESTABLECER LOS CRITERIOS DE PENALIZACIÓN QUE SE APLICARÁN CUANDO NO SE SATISFAGA EL NIVEL DE CALIDAD REQUERIDO Y, EN SU CASO, LOS CRITERIOS DE ESTÍMULOS QUE SE OTORGARÁN AL CONTRATISTA CUANDO MEJORE DICHO NIVEL DE CALIDAD.

## PARÁMETROS ESTADÍSTICOS



$\bar{X}' =$  MEDIA DE LA POBLACIÓN

$\sigma' =$  DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA POBLACIÓN

$R' =$  AMPLITUD O RÁNGO DE LA POBLACIÓN

$Pob =$  TAMAÑO DE LA POBLACIÓN

$N =$  NÚMERO DE MUESTRAS

$\bar{X} =$  MEDIA DE LAS MUESTRAS

$\sigma =$  DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MUESTRAS

$R =$  AMPLITUD O RÁNGO DE LAS MUESTRAS

$n =$  TAMAÑO DE LAS MUESTRAS

DE LA POBLACIÓN:

$$\bar{X}' = \frac{\sum_{i=1}^{Pob} X_i}{Pob} \qquad \sigma' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{Pob} (X_i - \bar{X}')^2}{Pob - 1}}$$

$$R' = X_{MAX} - X_{min}$$



DE CADA MUESTRA:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$R = X_{\text{MAX}} - X_{\text{min}}$$

DE TODAS LAS MUESTRAS:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{k=1}^N \bar{X}_k}{N} \quad \sigma_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\bar{X}_k - \bar{\bar{X}})^2}{N-1}}$$

$$R_{\bar{X}} = \bar{X}_{\text{MAX}} - \bar{X}_{\text{min}}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{k=1}^N \sigma_k}{N}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{k=1}^N R_k}{N}$$

SE CONSIDERA QUE:

$$\bar{X}' \approx \bar{\bar{X}}$$

## VALORES DE "t" PARA DIFERENTES NIVELES DE CONFIANZA

NIVEL DE CONFIANZA (%)	t
99.7	3.00
98.0	2.33
95.5	2.00
95.0	1.96
90.0	1.64
80.0	1.28
68.2	1.00
50.0	0.67

### ERROR INHERENTE

ES LA VARIACIÓN DE LOS RESULTADOS DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN QUE INEVITABLEMENTE SE DEBE ESPERAR, POR CAUSAS DEBIDAS AL AZAR:

$$Em = \frac{t \sigma'}{\sqrt{n}}$$

Donde:

Em = Error inherente

$\sigma'$  = Desviación estándar de la población

n = Tamaño de las muestras

t = Factor que determina el nivel de confianza con el que se desea trabajar

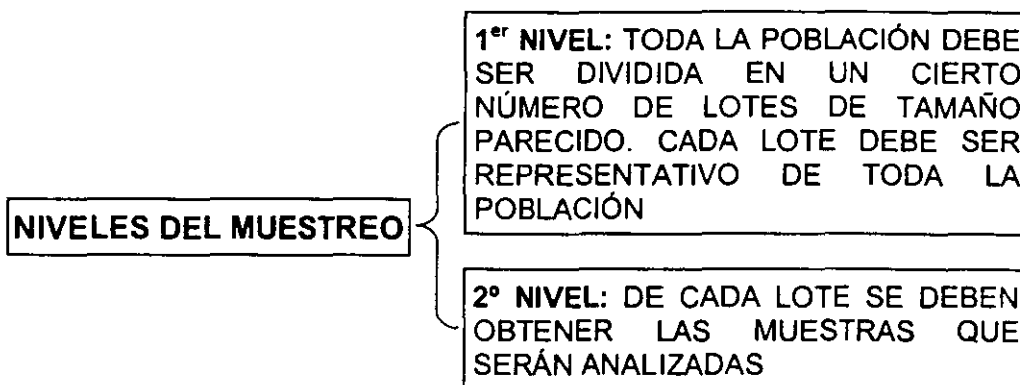
## REQUISITOS DEL MUESTREO LÓGICO

DEBE SER SUFICIENTE PARA CUBRIR LOS REQUERIMIENTOS DEL PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD PERO NO MÁS, PUES SERÍA MUCHO MÁS COSTOSO.

DEBE ESTAR ACORDE CON LA HOMOGENEIDAD DE LO QUE SE MUESTREA, YA QUE LOS MATERIALES U OPERACIONES QUE TENGAN TENDENCIAS A LA DISPERSIÓN SE DEBEN MUESTREAR MÁS QUE LOS HOMOGÉNEOS.

DEBE ADAPTARSE A LA IMPORTANCIA DEL CONCEPTO DE OBRA, ASÍ COMO A LA REPERCUSIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE SU ACEPTACIÓN O RECHAZO.

## NIVELES Y TAMAÑO DEL MUESTREO



EL TAMAÑO DE LOS LOTES DEPENDE DEL VALOR O LA IMPORTANCIA DE LOS MATERIALES U OPERACIONES QUE CONSTITUYEN LA POBLACIÓN.

EL NÚMERO Y TAMAÑO DE LAS MUESTRAS PARA HACER LAS PRUEBAS, DEPENDEN DE LA HOMOGENEIDAD DE LO PROBADO, DEL COSTO DEL MUESTREO Y DE LA REPRESENTATIVIDAD QUE SE LE PUEDA ATRIBUIR A CADA MUESTRA.

## **PLAN DE MUESTREO SENCILLO**

CONSISTE EN TOMAR UNA MUESTRA AL "AZAR" DE UNA UNIDAD DE PRODUCCIÓN, POR EJEMPLO:

- EXTRAER UNA PEQUEÑA CANTIDAD EN UN RECIPIENTE, DE CAMIÓN CON AGREGADOS O DE UNO CON ASFALTO.
- EXTRAER UN METRO CÚBICO PARA JUZGAR UN VOLUMEN DE X METROS CÚBICOS DE MATERIAL DE UN BANCO

EL PLAN DE MUESTREO SENCILLO NO CUMPLE CON UNA CONDICIÓN FUNDAMENTAL:

**ACEPTAR LO QUE SE DEBE ACEPTAR Y RECHAZAR LO QUE SE DEBE RECHAZAR**

## **PLAN DE MUESTREO ESTADÍSTICO**

EN VIRTUD DE QUE LA VARIABILIDAD DE LOS RESULTADOS DE CUALQUIER PROCESO DE PRODUCCIÓN, DEPENDE DE PROBLEMAS DERIVADOS DE LOS PROCEDIMIENTOS DE PRODUCCIÓN, DE MUESTREO Y DE LAS PRUEBAS, ASÍ COMO OTROS PROPIOS DE LOS MATERIALES, QUE CONSTITUYEN VARIABLE ALEATORIAS, EL PLAN DE MUESTREO ESTADÍSTICO CONSIDERA QUE SÓLO MUESTRAS TOMADAS EFECTIVAMENTE AL AZAR, PUEDEN DAR UNA INDICACIÓN VERDADERA DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES O DE LOS TRABAJOS QUE SE CONTROLAN.

**EL PLAN DE MUESTREO ESTADÍSTICO DEBE TENER LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS:**

- **POSEER UN PROCEDIMIENTO OBJETIVO PARA LA SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS, FUNDADO EN TABLAS DE NÚMEROS ALEATORIOS**
- **INCLUIR UN PROCEDIMIENTO CLARO PARA LA ESTIMACIÓN CUANTITATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS Y DEL ERROR ESTÁNDAR DE DICHA ESTIMACIÓN**
- **TENER CLARAMENTE INCLUIDAS LAS REGLAS QUE RIJAN EL JUICIO DE ACEPTACIÓN O RECHAZO**

**UNA TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS ES UNA DISPOSICIÓN DE NÚMEROS COMPUESTOS POR UNA CIERTA CANTIDAD PREFIJADA DE CIFRAS OBTENIDAS Estrictamente AL AZAR.**

## TABLA SIMPLE DE NUMEROS ALEATORIOS

R/C	01 02 03 04 05	06 07 08 09 10	11 12 13 14 15	16 17 18 19 20	21 22 23 24 25
01	64 36 06 90 25	20 03 42 08 95	23 53 03 60 33	26 15 47 64 35	93 89 50 08 19
02	42 01 06 94 97	60 42 80 59 02	83 91 52 00 12	80 13 48 92 78	68 83 72 56 45
03	94 30 43 54 85	43 49 18 33 69	89 32 87 81 54	51 88 19 94 37	09 62 15 54 41
04	07 91 70 73 61	69 50 06 66 81	36 17 92 70 33	57 65 98 85 11	68 47 27 19 34
05	28 78 17 67 00	74 83 45 83 47	13 34 17 78 54	29 18 06 10 68	80 96 89 71 06
06	47 95 41 79 45	66 46 15 45 04	43 38 66 43 79	51 59 00 33 20	72 49 60 82 19
07	89 93 33 13 54	35 54 96 35 97	33 07 33 62 45	31 77 00 24 90	93 53 80 10 26
08	05 85 79 57 48	66 92 26 85 05	68 02 38 18 38	97 73 52 47 18	56 76 16 62 02
09	52 49 45 35 48	67 86 09 10 95	34 33 27 76 90	73 80 91 17 39	35 25 01 29 76
10	50 17 90 95 25	21 84 60 63 65	40 29 73 63 17	64 43 70 82 07	44 93 53 20 16
11	22 45 98 75 67	42 14 89 09 29	46 05 21 88 77	32 96 88 22 54	85 05 56 38 14
12	15 64 13 92 65	97 54 10 44 60	32 49 20 75 04	48 57 08 81 22	79 19 74 22 85
13	07 33 56 17 15	38 27 66 11 97	59 83 12 39 33	44 09 34 40 88	48 98 98 46 52
14	37 18 38 70 70	56 41 17 32 74	05 97 41 07 31	90 86 71 57 85	52 05 92 39 87
15	10 58 15 07 46	86 40 55 12 64	12 42 72 97 48	07 96 94 39 28	20 37 00 70 11
16	25 64 18 68 72	93 48 91 69 62	36 03 05 03 11	62 76 39 90 94	91 68 22 40 66
17	15 68 33 23 66	03 47 80 12 95	04 70 17 53 11	79 98 68 77 12	61 99 73 17 80
18	50 10 62 66 79	76 01 68 88 36	36 00 91 51 47	54 90 64 93 29	84 02 75 60 86
19	46 65 44 77 69	04 50 48 65 03	58 74 81 74 95	11 73 71 86 40	09 76 85 21 17
20	72 37 63 82 23	31 15 12 80 11	45 35 55 74 57	43 21 82 53 14	80 56 70 38 17
21	89 16 65 52 40	80 96 54 37 63	24 05 29 37 61	20 20 04 02 00	42 48 47 82 64
22	99 03 24 51 29	33 43 17 54 12	05 11 09 69 71	84 56 92 55 36	71 56 33 04 80
23	32 56 24 35 75	55 48 57 63 46	90 35 12 48 82	33 28 87 09 83	70 21 54 49 05
24	96 95 79 10 25	86 96 75 79 85	69 40 75 91 22	24 74 05 39 00	82 91 12 38 71
25	52 84 35 83 42	80 78 79 73 93	35 53 38 82 52	64 60 03 44 35	47 57 96 27 03
26	11 63 38 66 00	95 04 23 69 74	15 06 89 00 39	46 18 24 23 97	52 14 74 11 20
27	94 23 41 73 41	29 58 33 80 14	70 98 08 35 03	69 53 33 40 42	68 45 03 05 26
28	16 11 76 88 15	88 51 86 94 54	34 94 45 53 03	43 01 54 56 05	08 19 81 01 36
29	40 26 55 60 02	23 14 35 74 52	43 17 60 10 16	09 45 42 37 96	72 98 27 28 77
30	39 29 41 14 40	28 86 05 46 91	77 36 74 77 08	88 93 36 47 70	22 52 00 61 01
31	57 97 32 34 26	30 06 06 31 79	35 05 30 14 90	01 86 74 39 23	24 08 18 40 45
32	27 94 66 78 38	36 53 47 15 39	59 66 15 48 61	44 82 01 18 33	99 52 07 21 95
33	47 00 48 28 35	16 86 49 91 75	46 23 92 54 08	91 94 99 23 37	76 45 92 08 68
34	55 17 48 01 71	79 70 02 74 52	97 02 45 19 75	94 52 80 21 80	22 39 73 81 77
35	51 41 13 60 89	82 69 59 99 78	91 48 83 28 56	46 93 13 68 23	49 73 76 47 87
36	37 76 59 13 11	31 15 01 99 67	38 29 62 65 67	90 88 43 97 04	07 25 67 43 09
37	80 78 51 56 82	72 32 80 11 40	50 31 56 48 52	50 29 42 01 52	77 54 82 77 39
38	90 39 98 94 05	10 07 52 98 97	22 67 07 58 09	01 60 34 33 50	86 77 56 50 14
39	63 69 38 40 44	58 76 07 69 51	35 38 87 01 82	49 10 16 15 01	19 41 79 84 87
40	34 66 70 84 87	86 21 48 42 07	16 13 14 67 11	11 03 20 59 25	87 62 40 70 97
41	89 59 73 24 44	62 87 55 94 19	54 73 74 31 04	72 91 25 92 92	43 85 75 92 67
42	38 11 71 12 33	15 74 95 80 01	20 06 46 87 62	10 25 52 98 94	07 04 27 62 96
43	24 99 94 53 68	29 10 32 48 30	02 28 00 70 75	47 32 75 46 15	47 79 98 02 31
44	75 52 07 92 15	41 79 56 19 67	40 30 28 85 43	54 66 68 06 84	53 14 87 96 01
45	20 25 62 59 14	93 37 52 23 25	68 17 28 16 22	37 26 96 63 05	98 83 88 52 73
46	45 05 27 43 37	92 74 19 61 39	51 46 26 29 45	69 65 95 93 42	77 04 74 58 26
47	24 18 80 90 88	99 04 08 98 09	44 26 13 96 47	62 39 34 07 35	84 48 02 44 45
48	14 19 36 02 46	01 71 63 18 45	31 37 89 74 56	33 05 14 27 77	65 25 50 93 98
49	05 95 29 96 38	11 59 54 00 69	96 54 72 96 28	99 54 23 91 23	81 76 18 28 64
50	24 24 72 25 10	86 24 49 04 96	45 94 71 25 27	35 61 93 35 65	38 24 63 33 75

## **CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD**

DESDE EL PUNTO DE VISTA ESTADÍSTICO, LA CALIDAD PUEDE DETERMINARSE MEDIANTE LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS:

**CARACTERÍSTICAS MEDIBLES.** TODA AQUELLA CARACTERÍSTICA QUE PUEDE SER MEDIDA COMO EL DIÁMETRO DE UNA VARILLA, LA RESISTENCIA DEL CONCRETO O EL VOLUMEN DE TERRAPLÉN.

**CARACTERÍSTICAS CONTABLES.** TODA AQUELLA CARACTERÍSTICA QUE PUEDE SER CONTADA COMO EL NÚMERO DE TABIQUES DEFECTUOSOS O EL NÚMERO DE DEFECTOS EN UN ELEMENTO PRODUCIDO.

LA CALIDAD DE CUALQUIER PRODUCTO ESTÁ SUJETA A VARIACIONES QUE PUEDEN DEBERSE A:

**CAUSAS ALEATORIAS.** QUE SON PROPIAS AL PROPIO PROCESO DE PRODUCCIÓN, IGNORADAS O INEVITABLES Y QUE NORMALMENTE PRODUCEN VARIACIONES PEQUEÑAS.

**CAUSAS ASIGNABLES.** QUE SON AJENAS AL PROPIO PROCESO DE PRODUCCIÓN, IDENTIFICABLES, SUSCEPTIBLES DE SER ELIMINADAS Y QUE GENERALMENTE PRODUCEN VARIACIONES IMPORTANTES.

CUANDO EN UN PROCESO DE PRODUCCIÓN SÓLO ACTÚAN CAUSAS ALEATORIAS SE DICE QUE EL PROCESO DE PRODUCCIÓN ESTÁ:

### **BAJO CONTROL ESTADÍSTICO**

CUANDO EN UN PROCESO DE PRODUCCIÓN INTERVIENEN UNA O MÁS CAUSAS ASIGNABLES SE DICE QUE EL PROCESO DE PRODUCCIÓN ESTÁ:

### **FUERA DE CONTROL ESTADÍSTICO**

PARA OBTENER LA MÁXIMA EFICIENCIA POR MEDIO DE MÉTODOS DE CONTROL ESTADÍSTICO SE DEBEN CONSIDERAR LOS SIGUIENTES PRINCIPIOS FUNDAMENTALES:

1. AL EFECTUAR UNA OPERACIÓN REPETIDAMENTE, SIEMPRE EXISTIRÁ UNA VARIACIÓN EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS.
2. NO SE DEBE ESTABLECER UN ESTADO DE CONTROL RIGUROSO.
3. SE DEBE ESTABLECER UN ESTADO DE CONTROL SATISFACTORIO POR DEBAJO DE LA MÁXIMA EFICIENCIA QUE SE PUEDE OBTENER EN LA OPERACIÓN.
4. LA CALIDAD ES INTRÍNSECA AL PRODUCTO Y NO PUEDE INTRODUCIRSE A ÉL POR MEDIO DE SU INSPECCIÓN O PRUEBA.
5. LAS TÉCNICAS DE LAS CARTAS DE CONTROL SON APLICABLES EN CUALQUIER ETAPA DEL PROCESO.

$$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2 \longrightarrow fcr = 242 \text{ kg/cm}^2 \pm 65 \text{ kg/cm}^2$$

MUEST No.	RESISTENCIA COMPRESIVA A 28 DIAS kg / cm <sup>2</sup>					PROMEDIO $\bar{X}$	DESVIACION ESTANDAR $\bar{V}$	AMPLI- TUD R
1	295	193	179	330	225	244.4	65.54	151
2	193	179	330	225	179	221.2	63.66	151
3	179	330	225	179	193	221.2	63.66	151
4	330	225	179	193	179	221.2	63.66	151
5	225	179	193	179	225	200.2	23.35	46
6	179	193	179	225	274	210.0	40.41	95
7	193	179	225	274	295	233.2	50.26	116
8	179	225	274	295	243	243.2	44.96	116
9	225	274	295	243	179	243.2	44.96	116
10	274	295	243	179	243	246.8	43.84	116
11	295	243	179	243	436	279.2	96.82	257
12	243	179	243	436	295	279.2	96.82	257
13	179	243	436	295	193	269.2	103.82	257
14	243	436	295	193	179	269.2	103.82	257
15	436	295	193	179	330	286.6	105.61	257

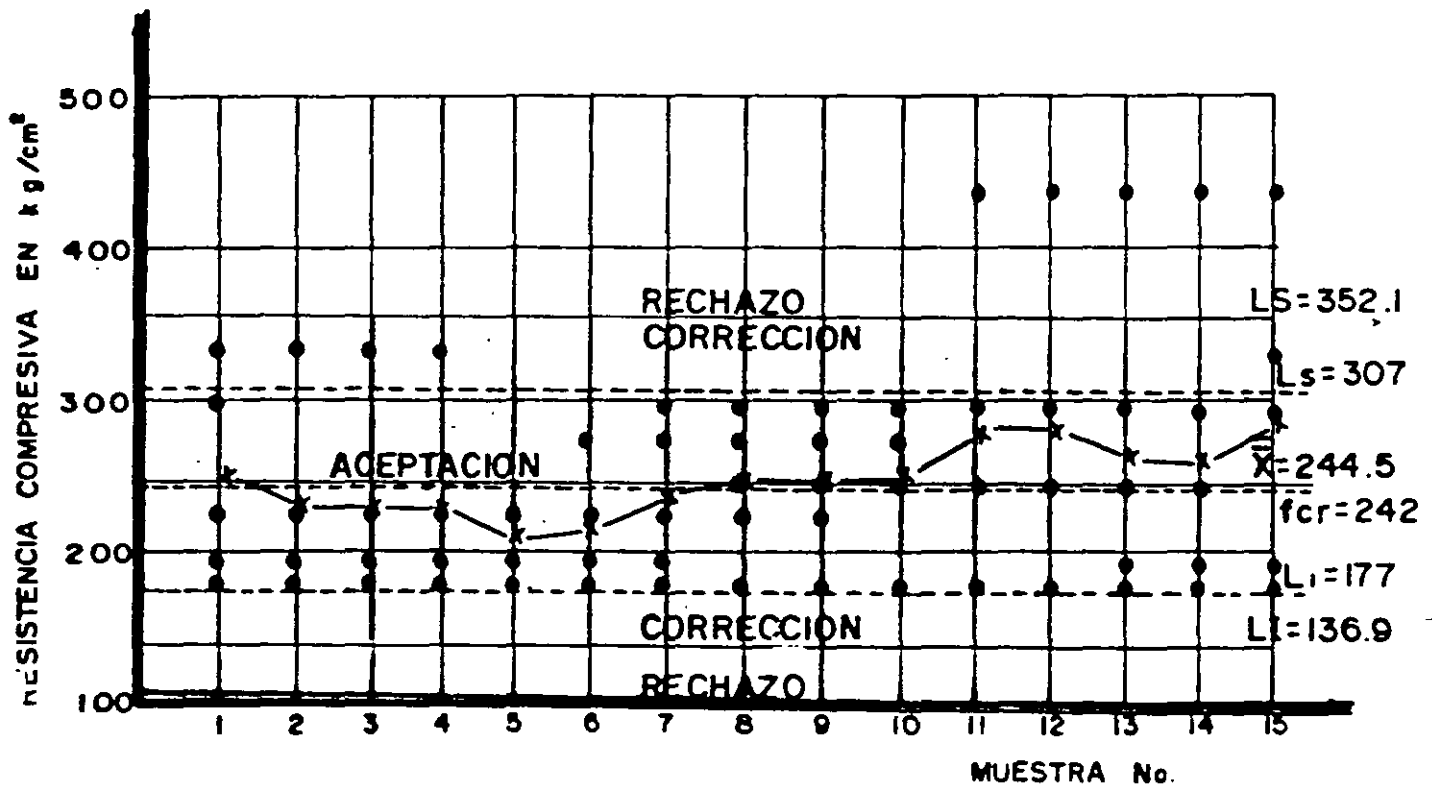
$$\bar{X} = 244.5, \quad \bar{V}_x = 27.15, \quad \bar{V} = 67.41, \quad \bar{R} = 166.27$$

n = 5

$$\bar{X} \pm A \frac{\bar{V}}{C_2}$$

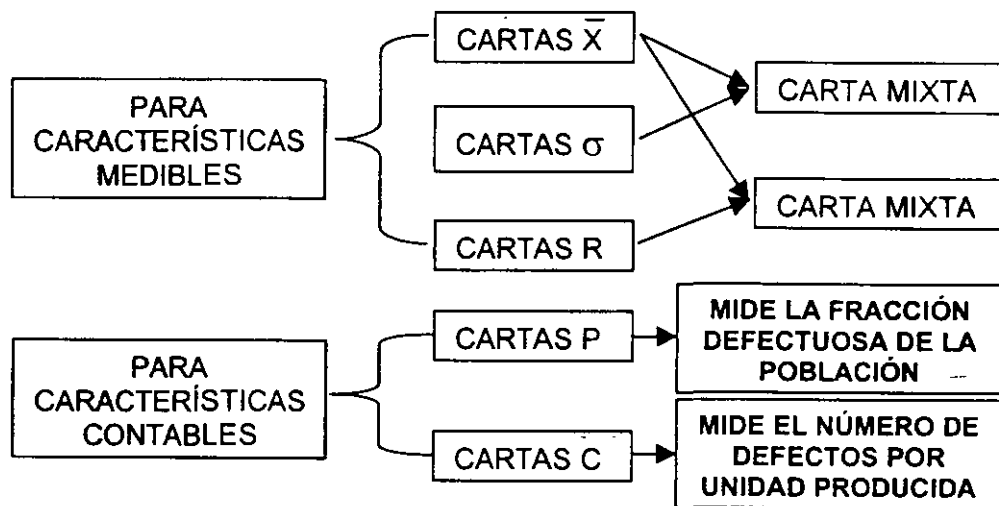
$$A = 1.342, \quad C_2 = 0.8407$$

$$244.5 \pm 1.342 \left( \frac{67.41}{0.8407} \right) \quad LS = 352.11, \quad LI = 136.89$$





LAS CARTAS DE CONTROL DE CALIDAD SON:



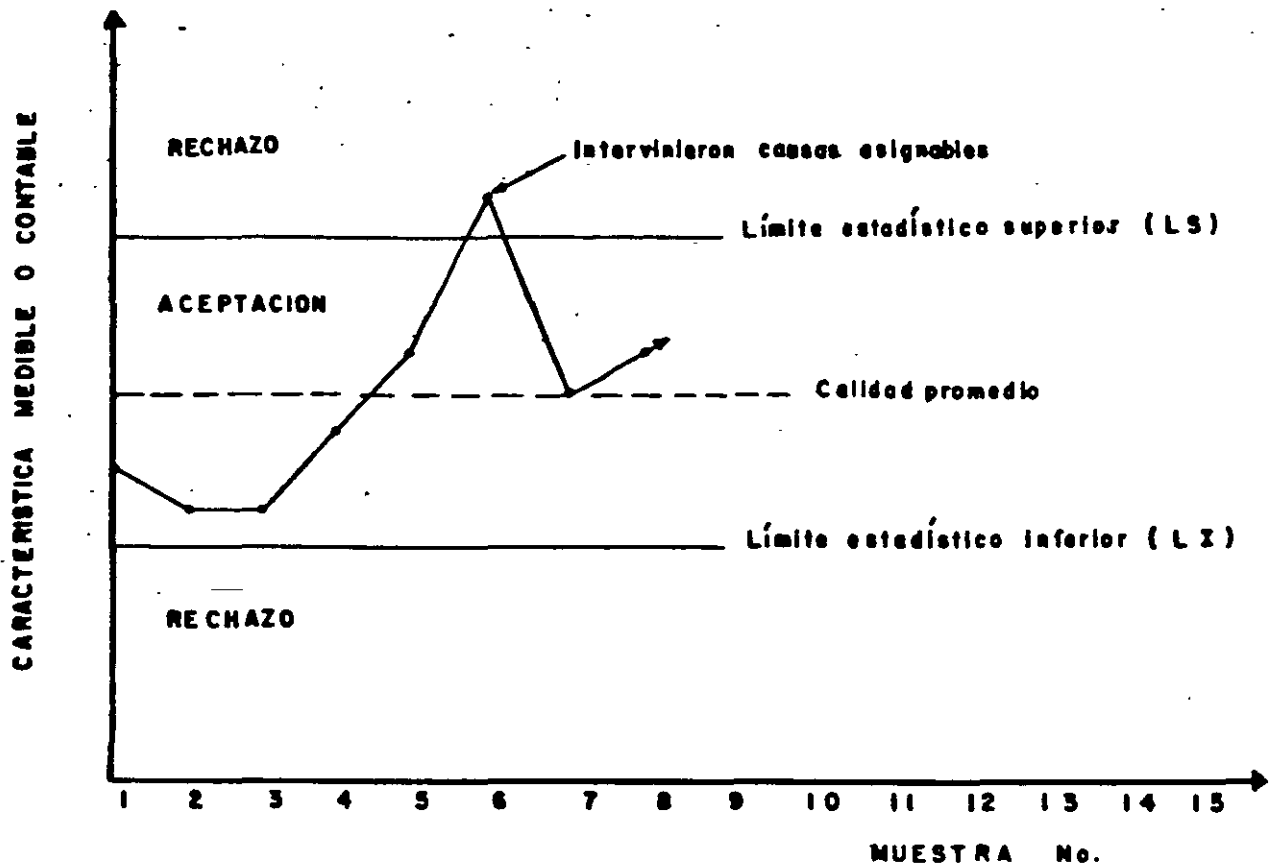


Fig 3.2 Carta de Control típica

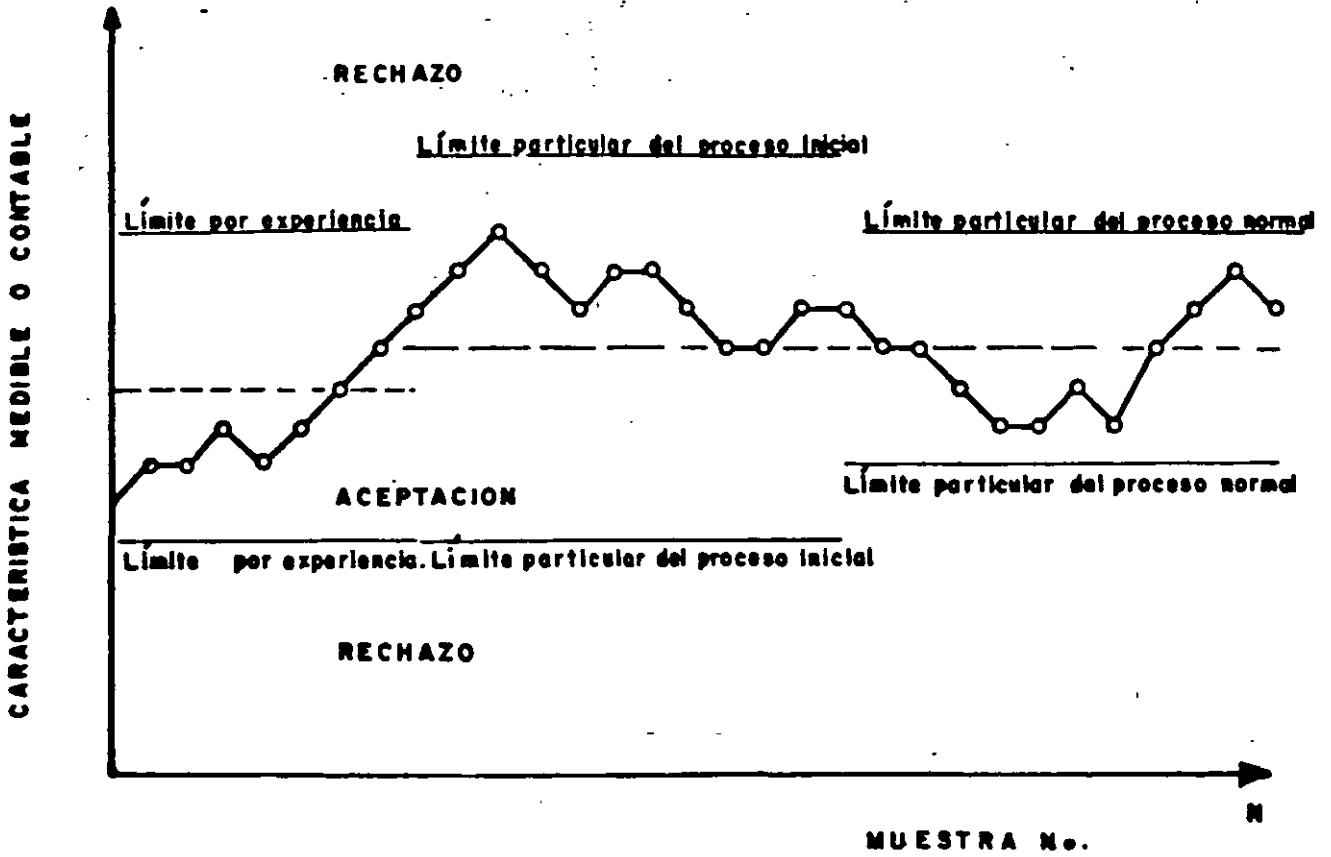


Fig 3.3 Límites estadísticos en una Carta de Control

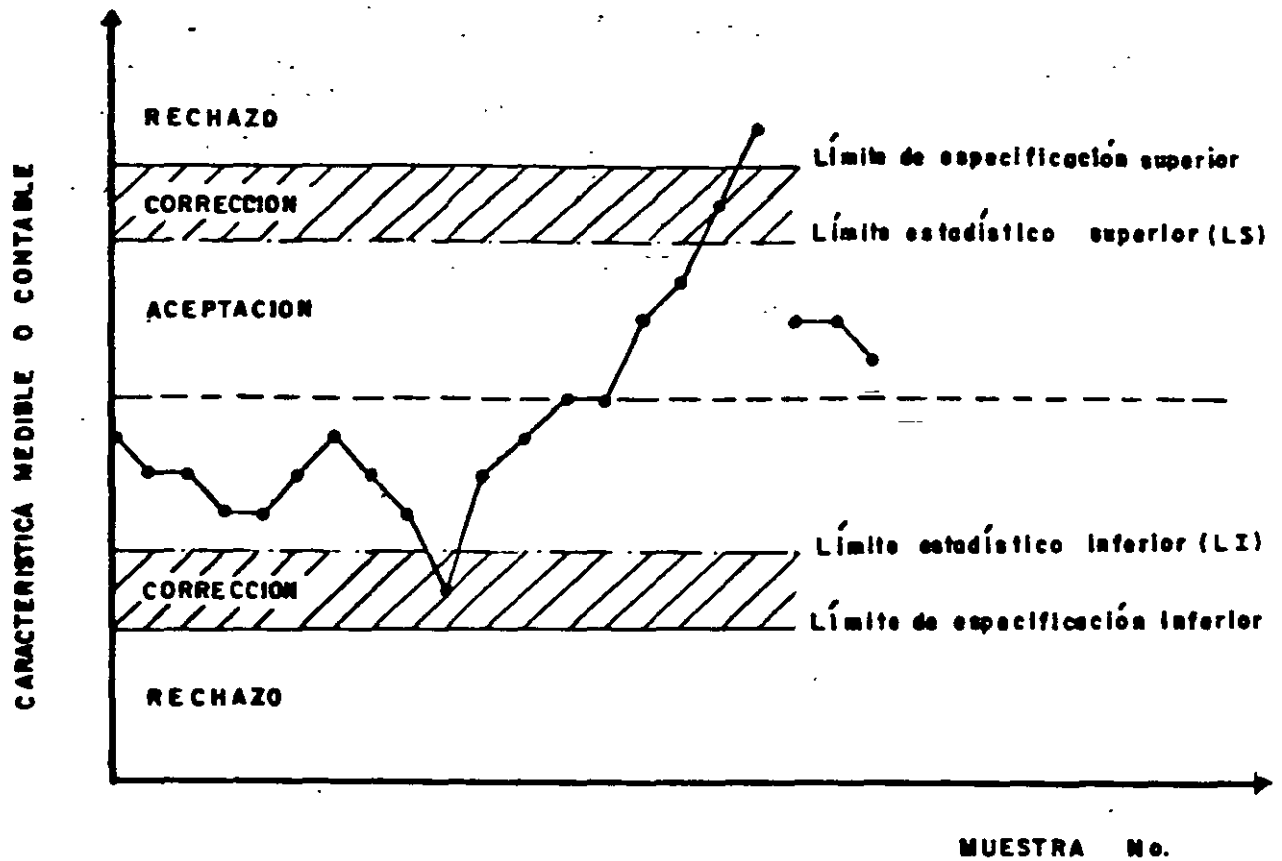
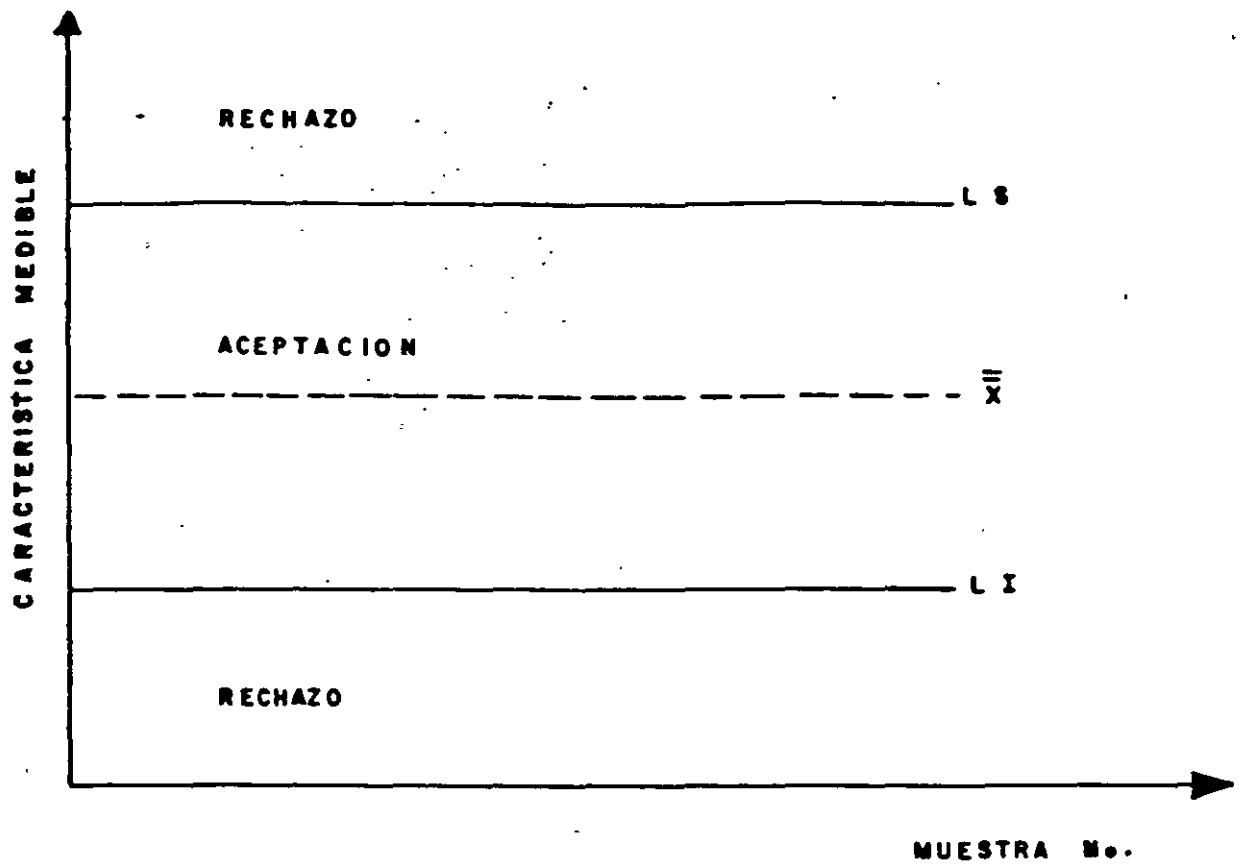


Fig 3.4 Límites estadísticos y de especificación en una Carta de Control



$$L I = \bar{X} - A_1 \bar{C}$$

$$L S = \bar{X} + A_1 \bar{C}$$

$$L I = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

$$L S = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$

Fig 3.5 Corte  $\bar{X}$

## CARTAS $\bar{X}$

SON CARTAS DE CENTRALIZACIÓN YA QUE SE BASAN EN LA MEDIA.

ESTAS CARTAS SE FUNDAMENTAN EN EL ERROR INHERENTE:

$$Em = \frac{t \sigma'}{\sqrt{n}}$$

DE MANERA QUE LOS LÍMITES ESTADÍSTICOS ESTAN DADOS POR:

$$Lest. = \bar{X}' \pm Em$$

DE FORMA QUE:

$$LS = \bar{X}' + \frac{t}{\sqrt{n}} \sigma' \quad \gamma \quad LI = \bar{X}' - \frac{t}{\sqrt{n}} \sigma'$$

SI SE HACE:

$$A = \frac{t}{\sqrt{n}}$$

ENTONCES:

$$\boxed{LS = \bar{X}' + A\sigma'} \quad \gamma \quad \boxed{LI = \bar{X}' - A\sigma'}$$



Tabla 1. Factores para Calcular Líneas de Cartas de Control ( $\alpha = 3\%$ ;  $NC = 99.7\%$ )

Tamaño de Muestra  n	Carta $\bar{X}$					Carta $\sigma$				Carta R						
	Factores para límites			Factores línea central		Factores para límites				Factores línea central		Factores para límites				
	A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	1/c <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	d <sub>2</sub>	1/d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
2	2.121	3.760	1.890	0.5642	1.7728	0	1.843	0	3.267	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	2.394	1.023	0.7236	1.3820	0	1.688	0	2.568	1.693	0.5907	0.828	0	4.358	0	2.878
4	1.500	1.680	0.729	0.7979	1.2533	0	1.808	0	2.266	2.059	0.4867	0.880	0	4.686	0	2.282
5	1.342	1.596	0.577	0.8407	1.1894	0	1.758	0	2.089	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.118

Nota: La tabla para n comprendida entre 2 y 25 puede verse en la referencia Bowker A. H. y Lieberman G. J., "Engineering Statistics", Prentice-Hall 1961, pag. 382

TABLA 3  
VALORES DE "t" PARA DIFERENTES  
NIVELES DE CONFIANZA

NIVEL DE CONFIANZA %	t
99.7	3.00
98.0	2.33
95.5	2.00
95.0	1.96
90.0	1.64
80.0	1.28
68.2	1.00
50.0	0.67

TABLA 4  
FACTORES PARA CÁLCULAR LOS LÍMITES ESTADÍSTICOS PARA LAS CARTAS DE CONTROL  
DE CALIDAD CON UN NIVEL DE CONFIANZA DE 99.7%.

TAMAÑO DE LA MUESTRA n	CARTAS $\bar{X}$		CARTAS $\bar{V}$			CARTAS R	
	$A_1$	$A_2$	$B_3$	$B_4$	$C_2$	$D_3$	$D_4$
2	3.760	1.880	0	3.267	0.5642	0	3.267
3	2.394	1.023	0	2.568	0.7236	0	2.575
4	1.880	0.729	0	2.266	0.7979	0	2.282
5	1.596	0.577	0	2.089	0.8407	0	2.115
6	1.41	0.48	0.03	1.97	0.8686	0	2.00
7	1.28	0.42	0.12	1.88	0.8882	0.08	1.92
8	1.17	0.37	0.19	1.81	0.9027	0.14	1.86
9	1.09	0.34	0.24	1.76	0.9139	0.18	1.82
10	1.03	0.31	0.28	1.72	0.9227	0.22	1.78



## CARTAS $\bar{X}$ CON BASE AL PROMEDIO DE LAS DESVIACIONES ESTÁNDAR ( $\bar{\sigma}$ )

SE PUEDE CONSIDERAR QUE:

$$\bar{X} = \bar{X}' \quad \text{Y QUE} \quad \sigma' = \frac{\bar{\sigma}}{C_2}$$

DE MANERA QUE:

$$LS = \bar{X} + \frac{t}{C_2 \sqrt{n}} \bar{\sigma} \quad \text{Y} \quad LI = \bar{X} - \frac{t}{C_2 \sqrt{n}} \bar{\sigma}$$

SI SE HACE:

$$A_1 = \frac{t}{C_2 \sqrt{n}}$$

ENTONCES:

$$\boxed{LS = \bar{X} + A_1 \bar{\sigma}}$$

Y

$$\boxed{LI = \bar{X} - A_1 \bar{\sigma}}$$

## CARTAS $\bar{X}$ CON BASE AL PROMEDIO DE LOS RANGOS ( $\bar{R}$ )

TAMBIÉN SE PUEDE CONSIDERAR QUE:

$$\bar{X} = \bar{X}' \quad \text{Y QUE} \quad \sigma' = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

DE MANERA QUE:

$$LS = \bar{X} + \frac{t}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R} \quad \text{Y} \quad LI = \bar{X} - \frac{t}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R}$$

SI SE HACE:

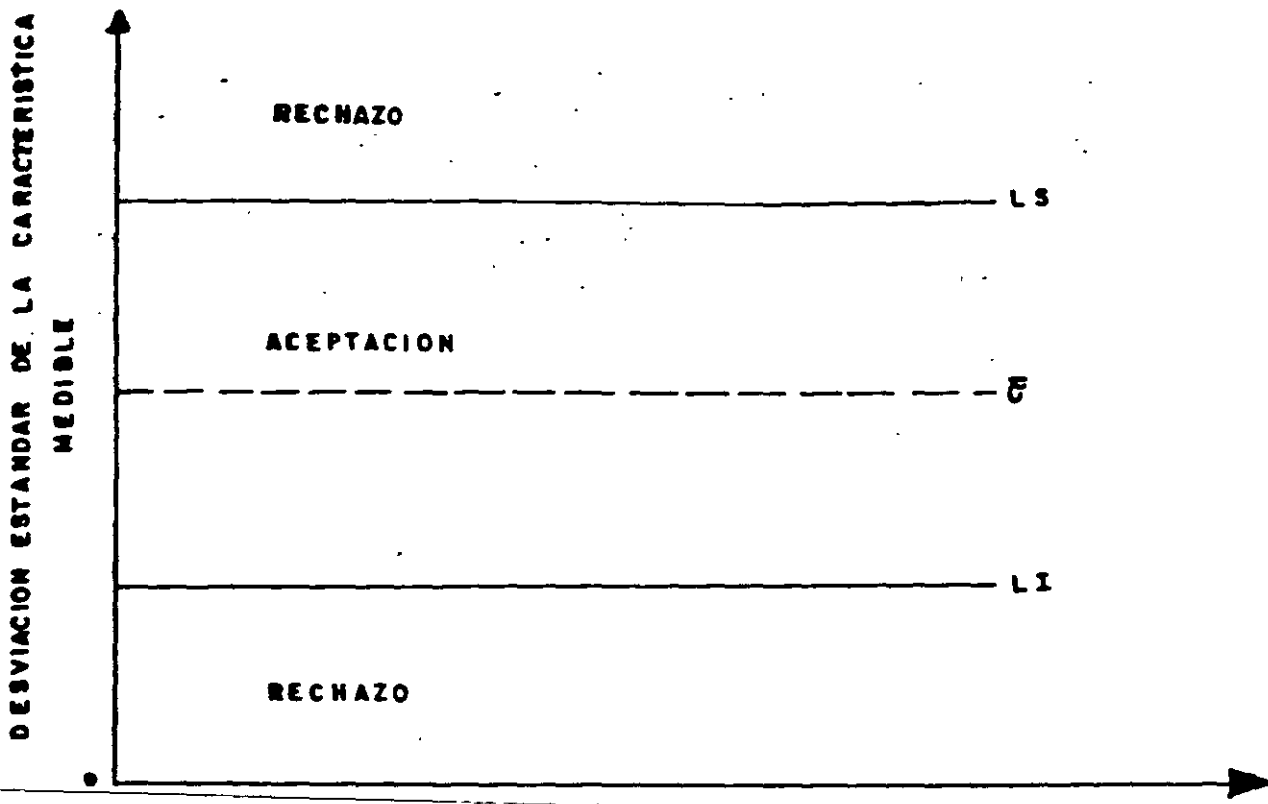
$$A_2 = \frac{t}{d_2 \sqrt{n}}$$

ENTONCES:

$$\boxed{LS = \bar{X} + A_2 \bar{R}}$$

Y

$$\boxed{LI = \bar{X} - A_2 \bar{R}}$$



MUESTRA No.

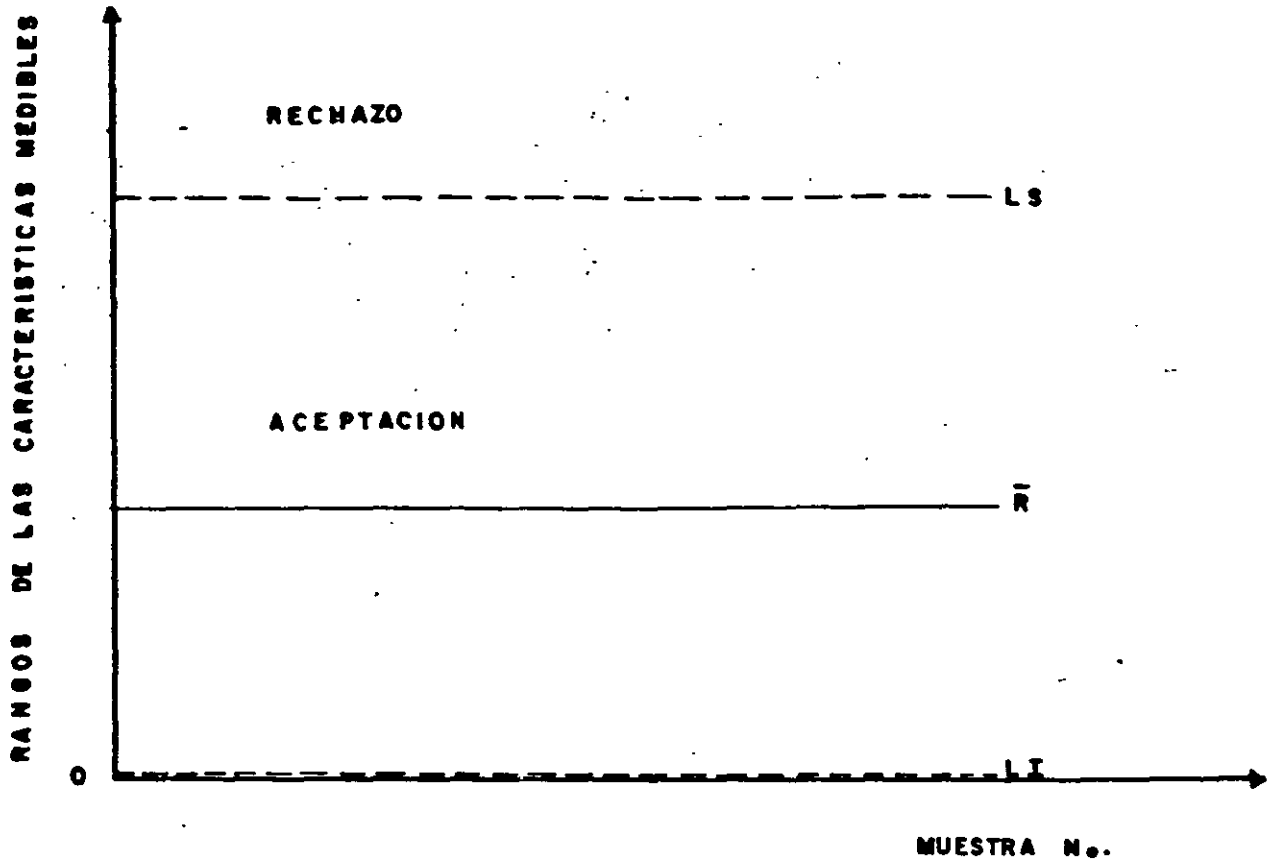
$$LI = B_3 \bar{C}$$

$$B_3 = 1 - \frac{t}{c_2 \sqrt{n}} \sqrt{2(n-1) - 2nc_2^2}$$

$$LS = B_4 \bar{C}$$

$$B_4 = 1 + \frac{t}{c_2 \sqrt{2n}} \sqrt{2(n-1) - 2nc_2^2}$$

Fig. 3.6 Carta G



$$LI = D_3 \bar{R}$$

$$LS = D_4 \bar{R}$$

Fig 3.7 Carta R

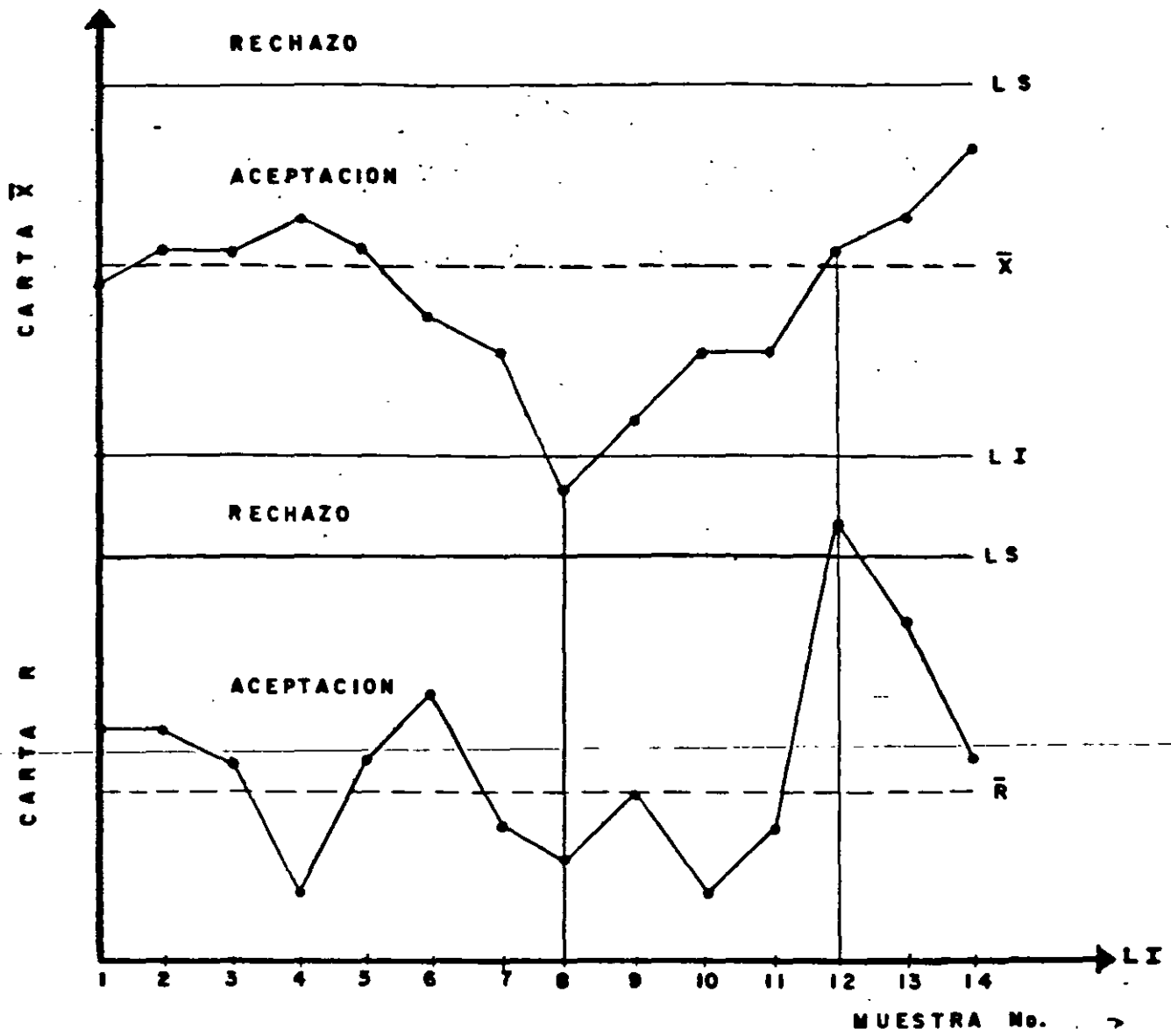
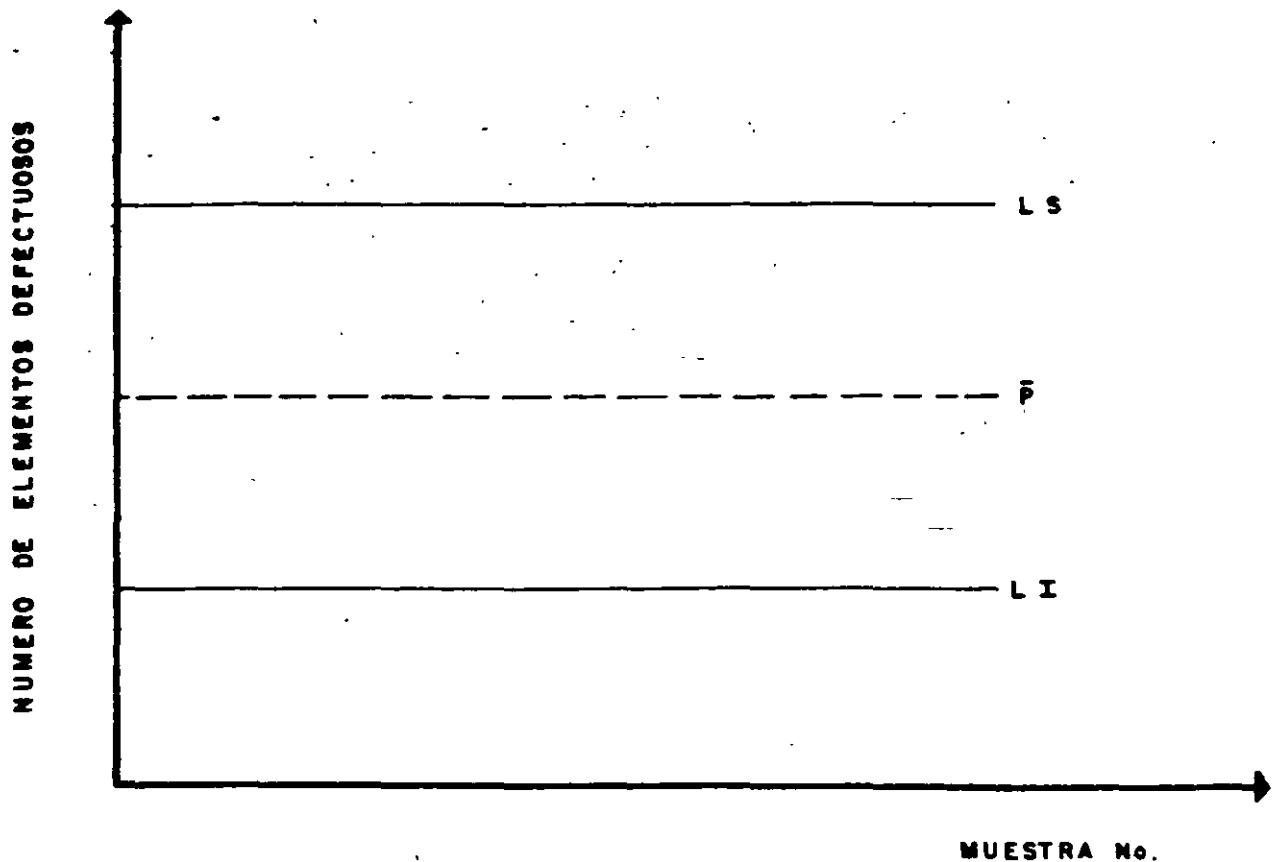


Fig 3.8 Carta mixta



$$L I = \bar{P} - \frac{3 \sqrt{\bar{P}(1-\bar{P})}}{\sqrt{n}}$$

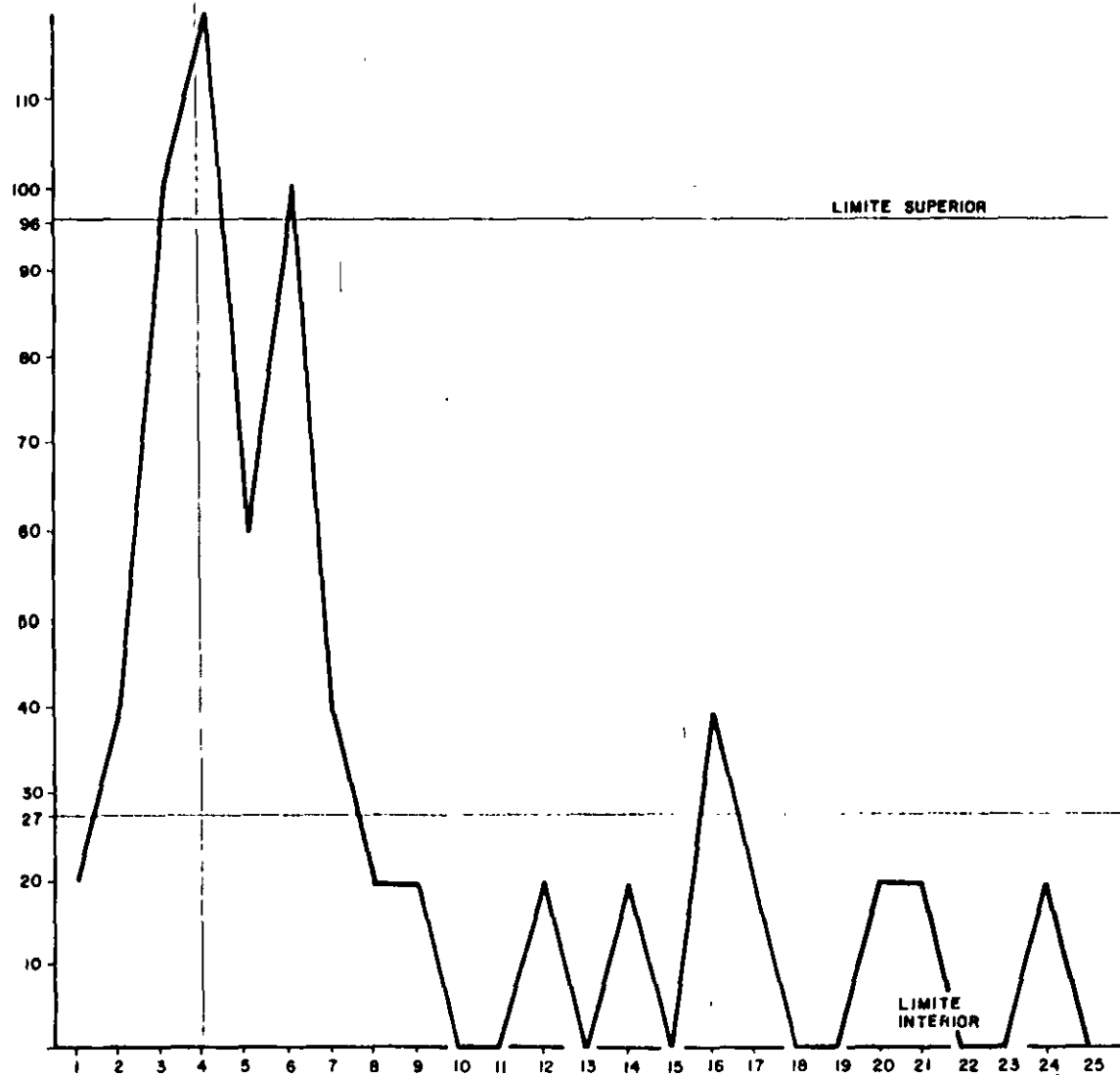
$$L S = \bar{P} + \frac{3 \sqrt{\bar{P}(1-\bar{P})}}{\sqrt{n}}$$

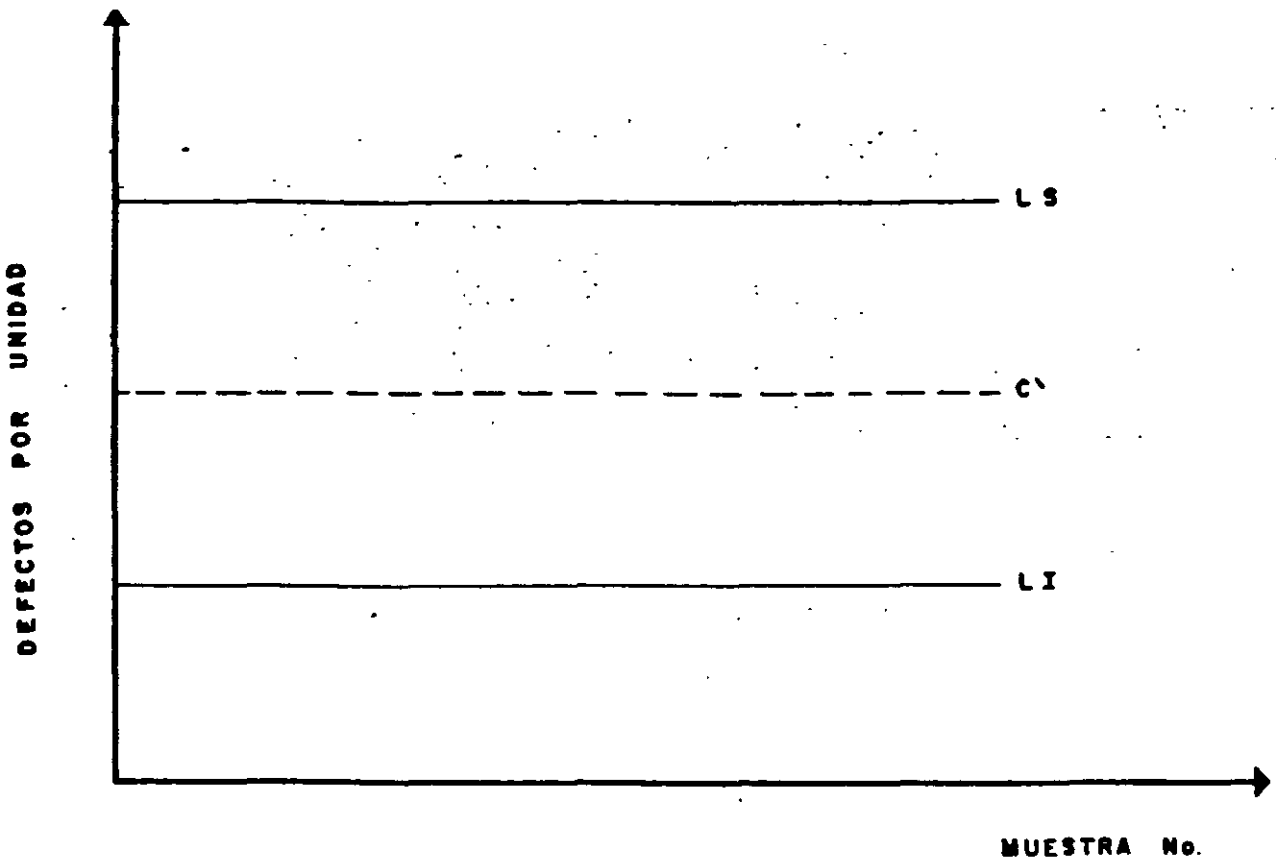
Fig 3.9 Carta P

DE UNA FABRICA DE TABIQUES SE OBTUVIERON 25 MUESTRAS DE 50 TABIQUES CADA UNA. LOS ELEMENTOS DEFECTUOSOS DETECTADOS EN CADA MUESTRA, SE RELACIONAN EN LA TABLA MOSTRADA. DIBUJE LA CARTA DE CONTROL DE CALIDAD "P" (FRACCION DEFECTUOSA).

PARA UN NIVEL DE CONFIANZA DE 99.7%

T A B L A		
MUESTRA	DEFECTOS	FRACCION ("P")
1	1	0.02
2	2	0.04
3	8	0.10
4	6	0.12
5	3	0.06
6	5	0.10
7	2	0.04
8	1	0.02
9	1	0.02
10	0	-
11	0	-
12	1	0.02
13	0	-
14	1	0.02
15	0	-
16	2	0.04
17	1	0.02
18	0	-
19	0	-
20	1	0.02
21	1	0.02
22	0	-
23	0	-
24	1	0.02
25	0	-
SUMA	34	0.68





$$LI = C - 3\sqrt{C}$$

$$LS = C + 3\sqrt{C}$$

Fig 3.10 Corte C



OBRA: Aeropuerto de  
Pista Franjo 2  
 DIVISION: AD-02-85 REPORTE No. 1

CONTROL DE COMPACTACION Y HUMEDAD EN LA CAPA: TERRAPIEN T-1, C-1 ESPESOR: 30 cm.

DESCRIPCION DEL MATERIAL: Arcilla de mediana plasticidad,  
arenosa, color café (CL) PESO VOL. SECO MAXIMO 1540 kg/m<sup>3</sup> HUMEDAD OPTIMA 24.6 %

ENSAJE	UBICACION		PROF. SONDEO cm	PESO VOL. SECO LUGAR kg/m <sup>3</sup>	COMPACTACION %	HUMEDAD DEL LUGAR %	RELACION DE HUMEDAD	OBSERVACIONES:
	ESTACION	LADO						
1	0+817	7.5	25	1426	92.6			
2	0+839	3.2	25	1466	95.2			
3	0+873	-22.0	25	1460	94.8			
4	0+857	-3.5	25	1443	93.7			
5	0+890	-17.2	25	1440	93.5			
6	0+899	18.5	25	1440	93.5			
7	0+917	-2.5	25	1468	95.3			
8	0+924	15.7	25	1465	95.1			
9	0+953	1.5	25	1517	98.5			
10	0+960	-10.3	25	1461	94.9			
11	0+975	-5.7	25	1438	93.4			
LABORATORISTA			RVR	2°	94.6	ENTERADO:		
5/II/86			JOC	1 <sup>er</sup>	1.6	FECHA: 6 de febrero de 86 HORA: 10:30 Hr.		
FECHA			REVISOR	V %	1.7			

OBRA: Aeropuerto de  
Pista Franjo 2  
 DIVISION: AD-02-85 REPORTE No. 2

CONTROL DE COMPACTACION Y HUMEDAD EN LA CAPA: TERRAPIEN T-1 C-2 ESPESOR: 30 cm.

DESCRIPCION DEL MATERIAL: Arcilla de mediana plasticidad,  
arenosa, color café (CL) PESO VOL. SECO MAXIMO 1540 kg/m<sup>3</sup> HUMEDAD OPTIMA 24.6 %

ENSAJE	UBICACION		PROF. SONDEO cm	PESO VOL. SECO LUGAR kg/m <sup>3</sup>	COMPACTACION %	HUMEDAD DEL LUGAR %	RELACION DE HUMEDAD	OBSERVACIONES:
	ESTACION	LADO						
1	0+725	17.5	25	1415	91.9			
2	0+776	5.5	25	1491	96.8			
3	0+804	24.5	25	1478	96.0			
4	0+875	-12.0	25	1525	99.0			
5	1+017	10.8	25	1506	97.8			
6	1+075	-3.0	25	1395	90.6			
LABORATORISTA			RVR	2°	95.4	ENTERADO:		
6/II/86			JOC	1 <sup>er</sup>	3.4	FECHA: 7 de febrero de 1986 HORA: 10:15 Hr.		
FECHA			REVISOR	V %	3.6			

AEROPUERTO DE

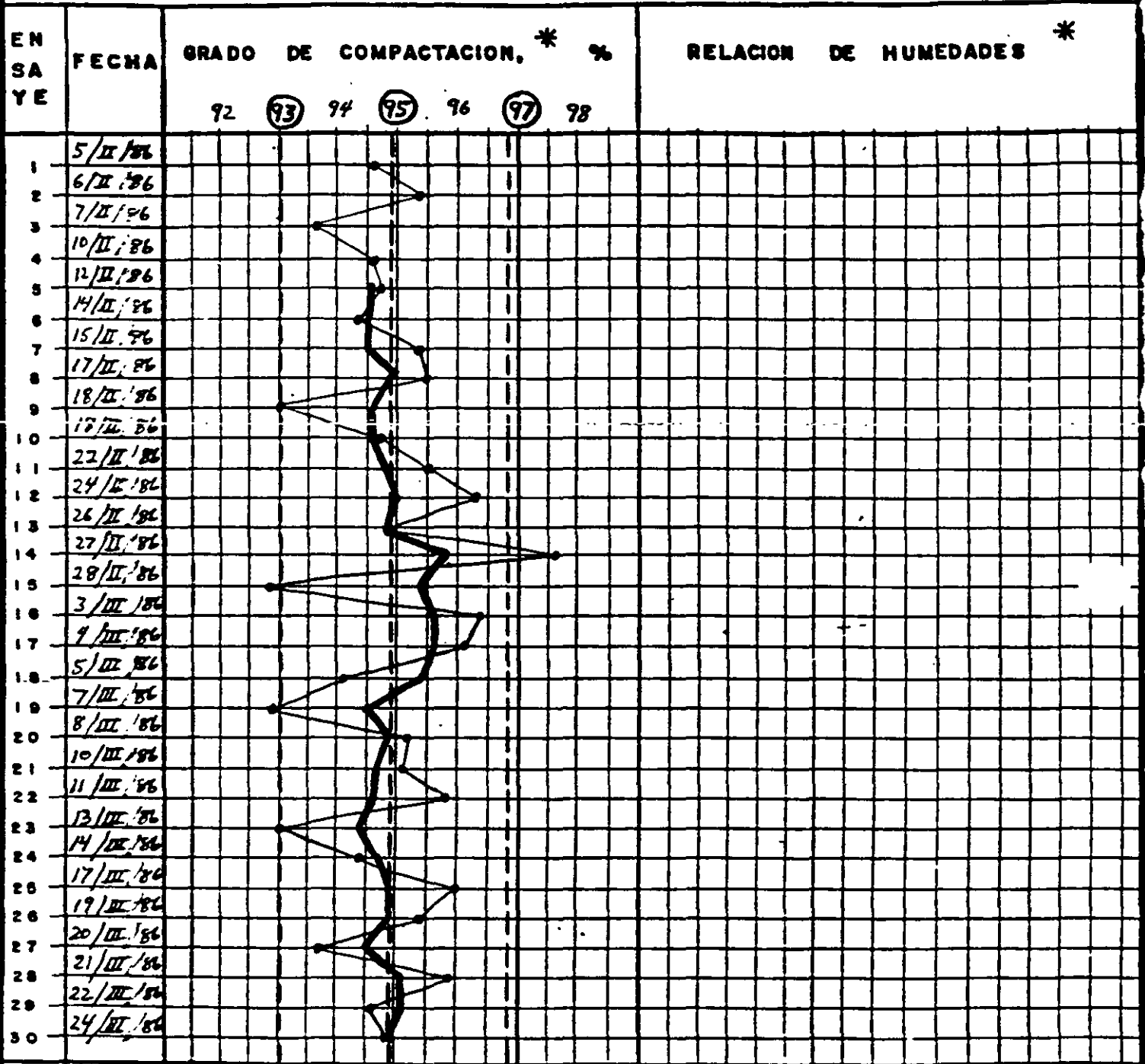
PISTA 02-20 FRANJA 2

TERRAPLEN

GRADO DE COMPACTACION

MUESTRA NO.	FECHA	$\bar{X}$	$\bar{X}_m$	$\sigma_m$	$R_m$
1	5/FEB/86	94.6			
2	6/FEB/86	95.4			
3	7/FEB/86	93.6			
4	10/FEB/86	94.6			
5	12/FEB/86	94.7	94.6	0.6	1.8
6	14/FEB/86	94.4	94.5	0.6	1.8
7	15/FEB/86	95.4	94.5	0.6	1.8
8	17/FEB/86	95.5	94.9	0.5	1.1
9	18/FEB/86	93.0	94.6	1.0	2.5
10	18/FEB/86	94.7	94.6	1.0	2.5
11	22/FEB/86	95.5	94.8	1.1	2.5
12	24/FEB/86	96.3	95.0	1.3	3.3
13	26/FEB/86	94.9	94.9	1.2	3.3
14	27/FEB/86	97.6	95.8	1.2	2.9
15	28/FEB/86	92.8	95.4	1.8	4.8
16	3/MAR/86	96.4	95.6	1.8	4.8
17	4/MAR/86	96.1	95.6	1.8	4.8
18	5/MAR/86	94.1	95.4	1.9	4.8
19	7/MAR/86	92.9	94.5	1.7	3.6
20	8/MAR/86	95.2	94.9	1.5	3.5
21	10/MAR/86	95.1	94.7	1.2	3.2
22	11/MAR/86	95.8	94.6	1.1	2.9
23	13/MAR/86	93.0	94.4	1.4	2.9
24	14/MAR/86	94.4	94.7	1.1	2.8
25	17/MAR/86	96.0	94.9	1.2	3.0
26	19/MAR/86	95.4	94.9	1.2	3.0
27	20/MAR/86	93.7	94.5	1.2	3.0
28	21/MAR/86	95.9	95.1	1.0	2.3
29	22/MAR/86	94.6	95.1	1.0	2.3
30	24/MAR/86	94.8	94.9	0.8	2.2
		$\bar{X}_m =$	94.4		
		$\sigma_{\bar{X}_m} =$	0.4		
			$\sigma_m =$	1.2	
				$\bar{R}_m =$	3.0

GRADO DE COMPACTACION Y RELACION DE HUMEDADES EN LA CAPA:



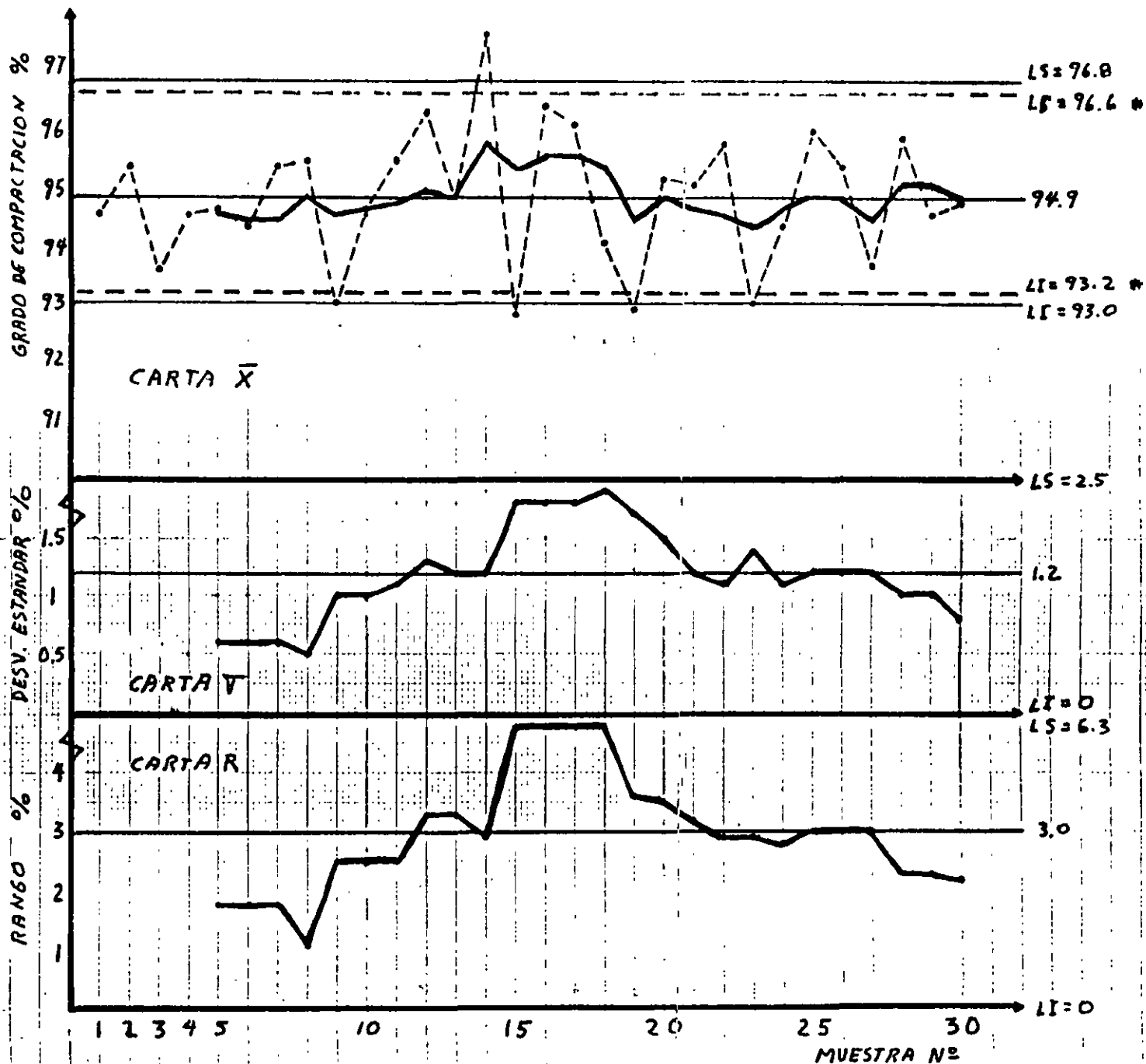
R A 94.9 A C R

OBSERVACIONES: \*P.V.S. lugar/ P.V.S. máximo  
Cada punto de la gráfica de tendencias representa

OBSERVACIONES: \*HUM. lugar/HUM. óptima  
el promedio de 5 valores consecutivos

F. E. C. M. A. LABORATORISTA Vo. Be.

$\bar{x} = 94.9$  %  $\sigma = 0.4$  %  $V = 0.42$  %  $\bar{x} =$   $\sigma =$   $V =$  %



CONTROL DEL GRADO DE COMPACTACION

CONTROL DE CALIDAD  
INF. NUM.

INDICE

	Página
1) FINALIDAD	1
2) VOLUMENES DE CONCRETO	1
3) PROPORCIONAMIENTOS	1
4) CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS	1
4.1 Arena	1
4.2 Grava	1
5) CONTROL DEL CONCRETO	1
5.1 Consistencia del concreto tierno (Prueba de revenimiento)	1
5.2 Composición del concreto tierno (Prueba de inmersión)	2
5.3 Resistencia del concreto	2
6) RECOMENDACIONES	2

---

TABLAS

LAMINAS

## CONTROL DE CALIDAD

### 1) FINALIDAD

Presentar un resumen del Control de Calidad llevado durante el mes de mayo de 19  , en lo referente al concreto hidráulico colado en la

### 2) VOLUMENES DE CONCRETO

En el mes de mayo se colaron 673.7 m<sup>3</sup> de concreto. La distribución de volúmenes por zonas y su avance se presentan en la Tabla 1.

En la Tabla 2 se presentan los volúmenes de cada colado y en la Lámina 1 se presenta la gráfica de tendencias correspondiente al volumen diario colado.

### 3) PROPORCIONAMIENTOS

Los proporcionamientos utilizados en cada colado se indican en la Tabla 2 y sus características generales en la Tabla 3.

### 4) CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

#### 4.1 Arena

Se utilizó una mezcla de arena triturada de basalto con arena de río parcialmente triturada, en proporción de 20% y 80% respectivamente.

En la Tabla 3 se anotan los valores de densidad y absorción de la mezcla de arenas.

#### 4.2 Grava

Se utilizó grava totalmente triturada, procedente de la rezaga basáltica obtenida de la obra de toma.

En la Tabla 3 están contenidos los datos sobre densidad y absorción.

### 5) CONTROL DEL CONCRETO

#### 5.1 Consistencia del concreto tierno (Prueba de revenimiento)

En las Láminas 2 y 3 se presentan los revenimientos medidos en la revolvedora y en la forma.

En la Lámina 4 se presentan los resultados para grupos de 30 pruebas consecutivas efectuadas en el concreto al salir de la revolvedora. Se ob

serva que en los revenimientos de  $8 \pm 2$  cm los resultados están en la zona de correcciones superior y los revenimientos de  $12 \pm 2$  cm permanecen en la zona de aceptación. Los Coeficientes de Variación continúan disminuyendo en ambos casos, lo que indica que se sigue mejorando el Control de Calidad del concreto tierno.

Durante el mes no se efectuaron pruebas de revenimiento en el concreto al llegar a la forma (Lámina 5).

### 5.2 Composición del concreto tierno (Prueba de inmersión).

A pesar de las recomendaciones del Informe pasado, aún no se inician las pruebas de inmersión.

### 5.3 Resistencia del concreto.

En las Láminas 6, 7, 8 y 9 se presentan los resultados correspondientes de los cuales se deduce lo siguiente:

En los concretos con  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  no se ha logrado alcanzar la resistencia media requerida ( $f_{cr} = 278 \text{ kg/cm}^2$ ) a pesar de que se ha tenido cuidado en la elaboración de especímenes (véase la Lámina 9).

En los concretos con resistencias de 140, 150 y  $200 \text{ kg/cm}^2$  no se tuvieron resultados durante el mes.

## 6) RECOMENDACIONES

- PRIMERA.- Se vuelve a insistir en la necesidad de llevar al día las Cartas de Control, para lo cual es indispensable que la Residencia de Construcción las exija.
- SEGUNDA.- Para que sea más efectivo el Control de Calidad, es necesario que a la mayor brevedad posible se inicien las pruebas de inmersión.
- TERCERA.- Es importante tomar los revenimientos del concreto al llegar a la forma, de preferencia.

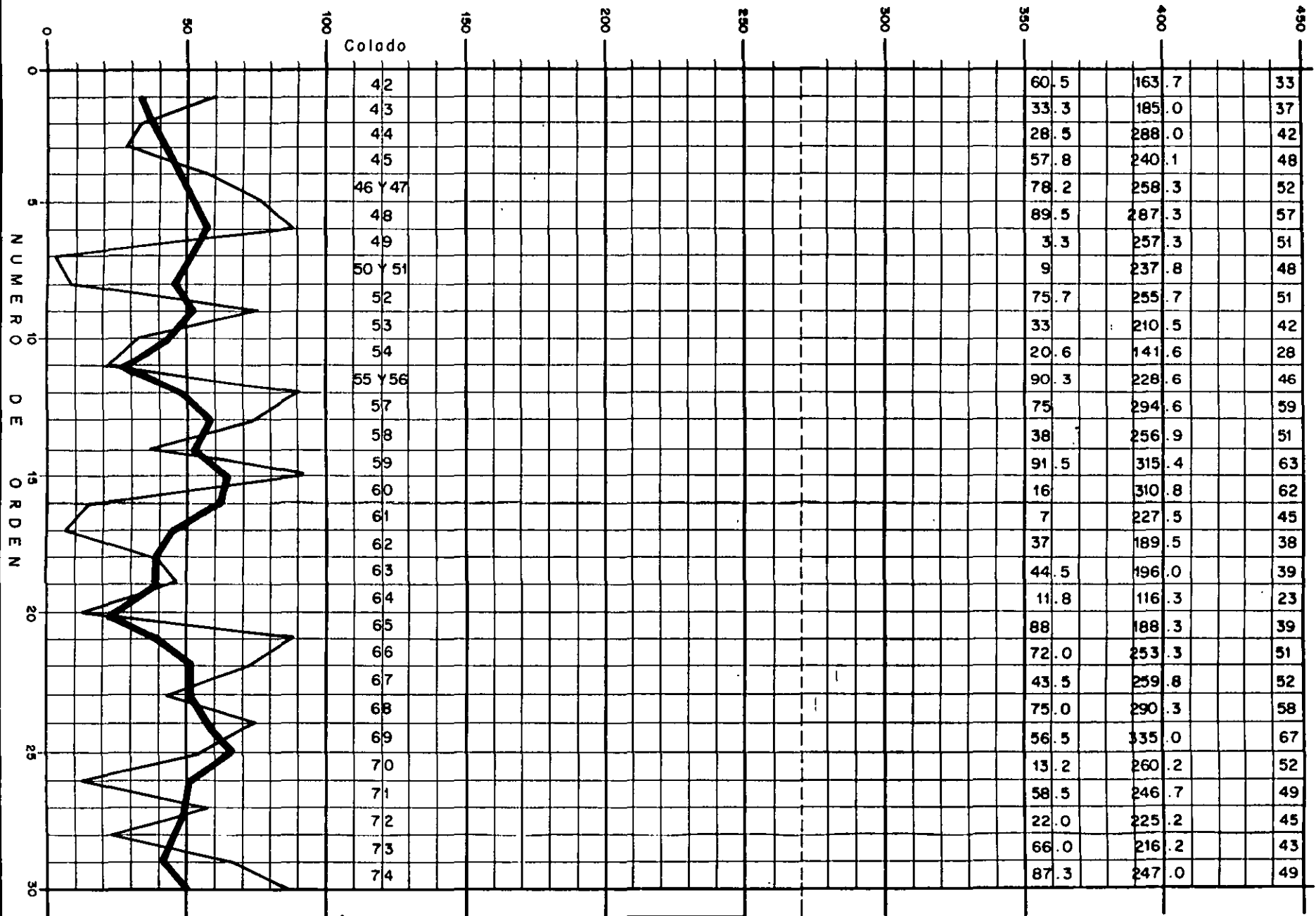
FORMULO:





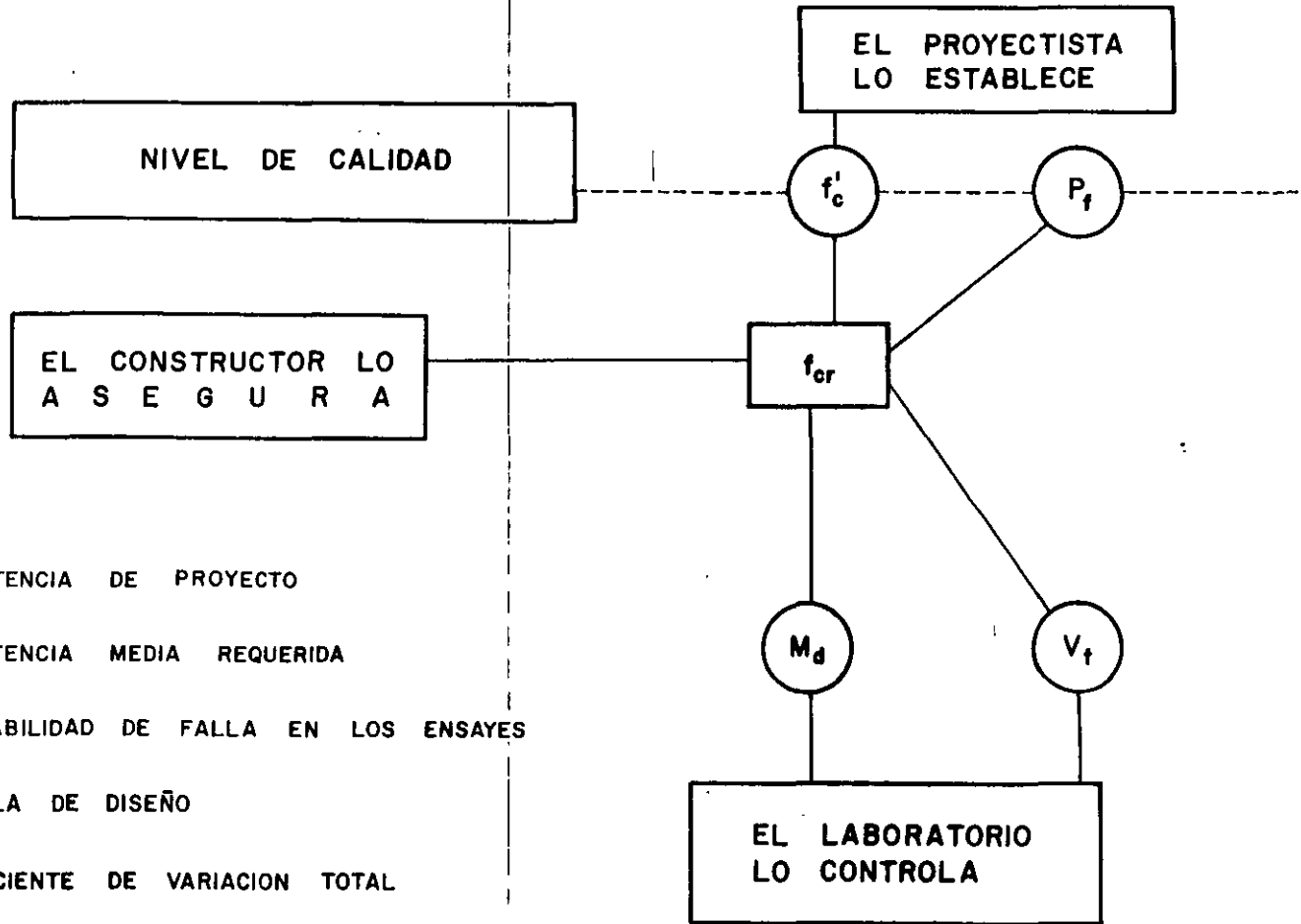


VOLUMEN DIARIO ME (MOVIL) E<sup>3</sup>



$\bar{X} = 49.4 \text{ m}^3$   $\nabla \bar{X} = \pm 28.9 \text{ m}^3$   $V\bar{X} = 58.5 \%$

43



$f'_c$  = RESISTENCIA DE PROYECTO

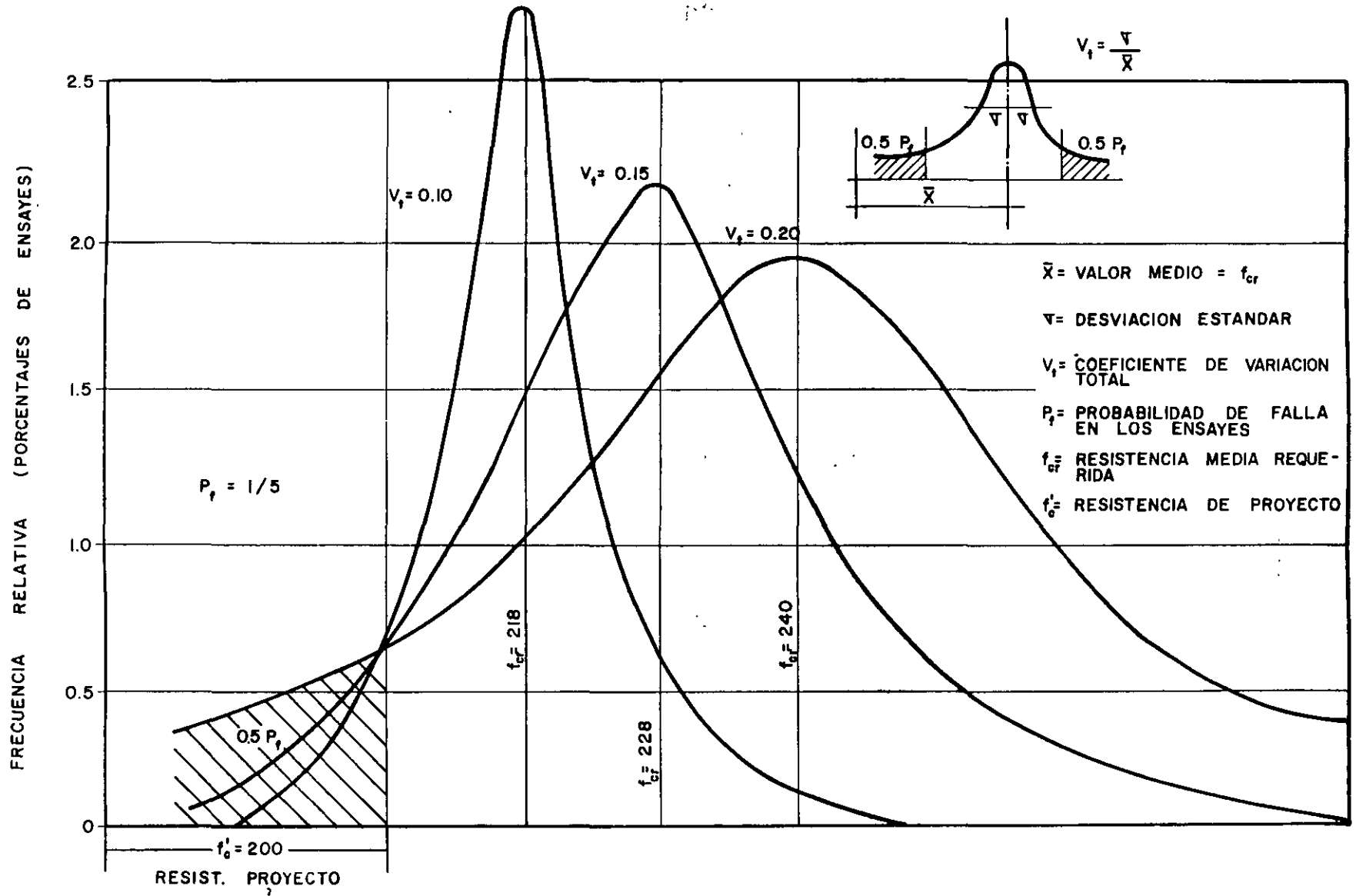
$f_{cr}$  = RESISTENCIA MEDIA REQUERIDA

$P_f$  = PROBABILIDAD DE FALLA EN LOS ENSAYES

$M_d$  = MEZCLA DE DISEÑO

$V_f$  = COEFICIENTE DE VARIACION TOTAL

# CURVAS NORMALES DE FRECUENCIA

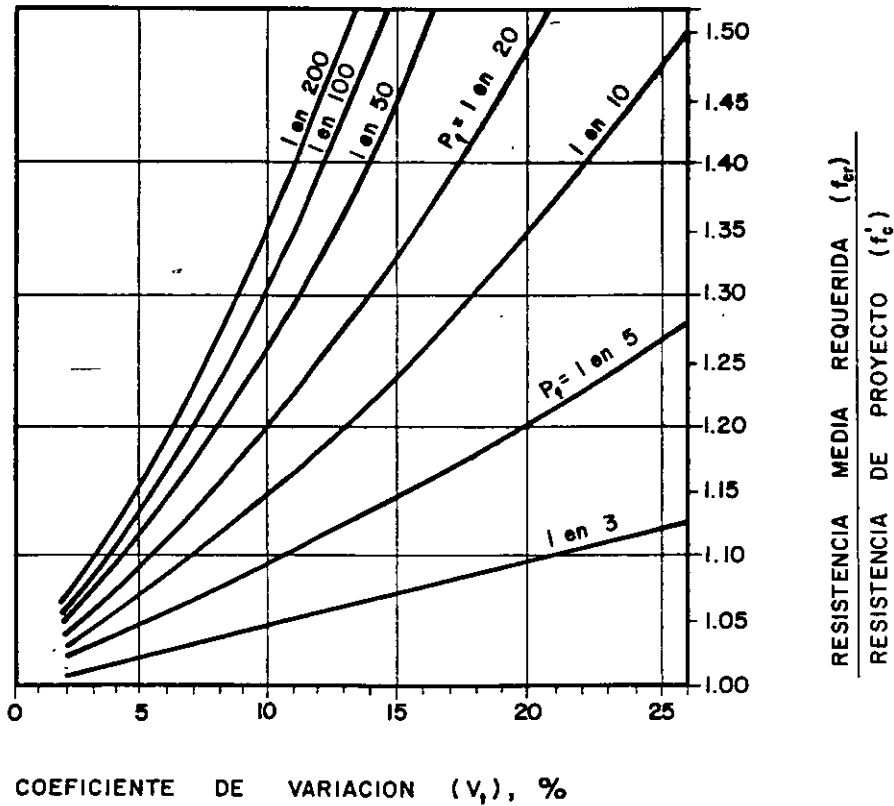


## GRADO DE UNIFORMIDAD DEL CONCRETO

COEFICIENTE DE VARIACION TOTAL ( $V_f$ )	CALIFICACION	CONDICION
0 - 0.05	EXCELENTE	LABORATORIO
0.05 - 0.10	MUY BUENO	<u>PRECISO</u> CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR <u>PESO</u>
0.10 - 0.15	BUENO	<u>BUEN</u> CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR <u>PESO</u>
0.15 - 0.20	MEDIANO	<u>ALGUN</u> CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR <u>PESO</u>
0.20 - 0.25	MALO	<u>ALGUN</u> CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR <u>VOLUMEN</u>
> 0.25	MUY MALO	<u>NINGUN</u> CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACION POR <u>VOLUMEN</u>

# SELECCION DE LA MEZCLA DE DISEÑO

PROBABILIDAD DE FALLA EN LOS ENSAYES ( $P_f$ )





**MEZCLAS BASICAS DE CONCRETO HIDRAULICO (Proporcionamiento)**

DATOS DE PROYECTO	PROPORCIONAMIENTO NUMERO			3	10	
	RESISTENCIA DE PROYECTO	kg/cm <sup>2</sup>	f'c	140	250	
	RESISTENCIA MEDIA REQUERIDA	kg/cm <sup>2</sup>	fcr *	180	278	
	REVENIMIENTO REQUERIDO ± DESV. EST.	cm	Rev	8 ± 2	12 ± 2	
	CEMENTO	Cruz Azul, Apasco, Tolteca, Anáhuac.	Tipo	I	I***	
	AGUA	Río Alfajayucan	Fuente	no potable		
	ARENA **	Trituradora y bco. Río Alfajayucan		20% triturada	80% cribada	de río
	GRAVA	Trituradora **		tamaño nominal 1 1/2"		
RELACIONES POR PESO	CEMENTO / CEMENTANTE	C / Ct	PASTA	1	1	
	AGUA / CEMENTO	A / C		0.97	0.55	
	ARENA / CEMENTO	a' / C	SECOS	2.68	1.59	
	GRAVA / CEMENTO	g' / C		4.85	3.09	
	AGREGADOS / CEMENTO	(g'+a') / C		7.53	4.68	
	GRAVA / ARENA	g' / a	1.81	1.94		
	ARENA / CEMENTO	a / C	SATURADOS	3.08	1.70	
	GRAVA / CEMENTO	g / C		5.01	3.16	
	AGREGADOS / CEMENTO	(g+a) / C		8.09	4.86	
	GRAVA / ARENA	g / a		1.63	1.86	
CONSUMOS UNITARIOS	AGUA	Lt	POR SACO	48.46	27.5	
	ARENA SATURADA	kg		154.00	85.0	
	GRAVA SATURADA	kg		250.50	158.0	
	ADITIVO : Ferroset	cm <sup>3</sup>	10 kg			
	ADITIVO : Airmex	cm <sup>3</sup>		45		
	CEMENTO	kg	POR m <sup>3</sup>	228	360	
	AGUA	Lt		221	198	

OBSERVACIONES: \* Para una probabilidad de falla en los ensayos de 0.20 y un coeficiente de variación total de 0.12, fcr / f'c = 1.11

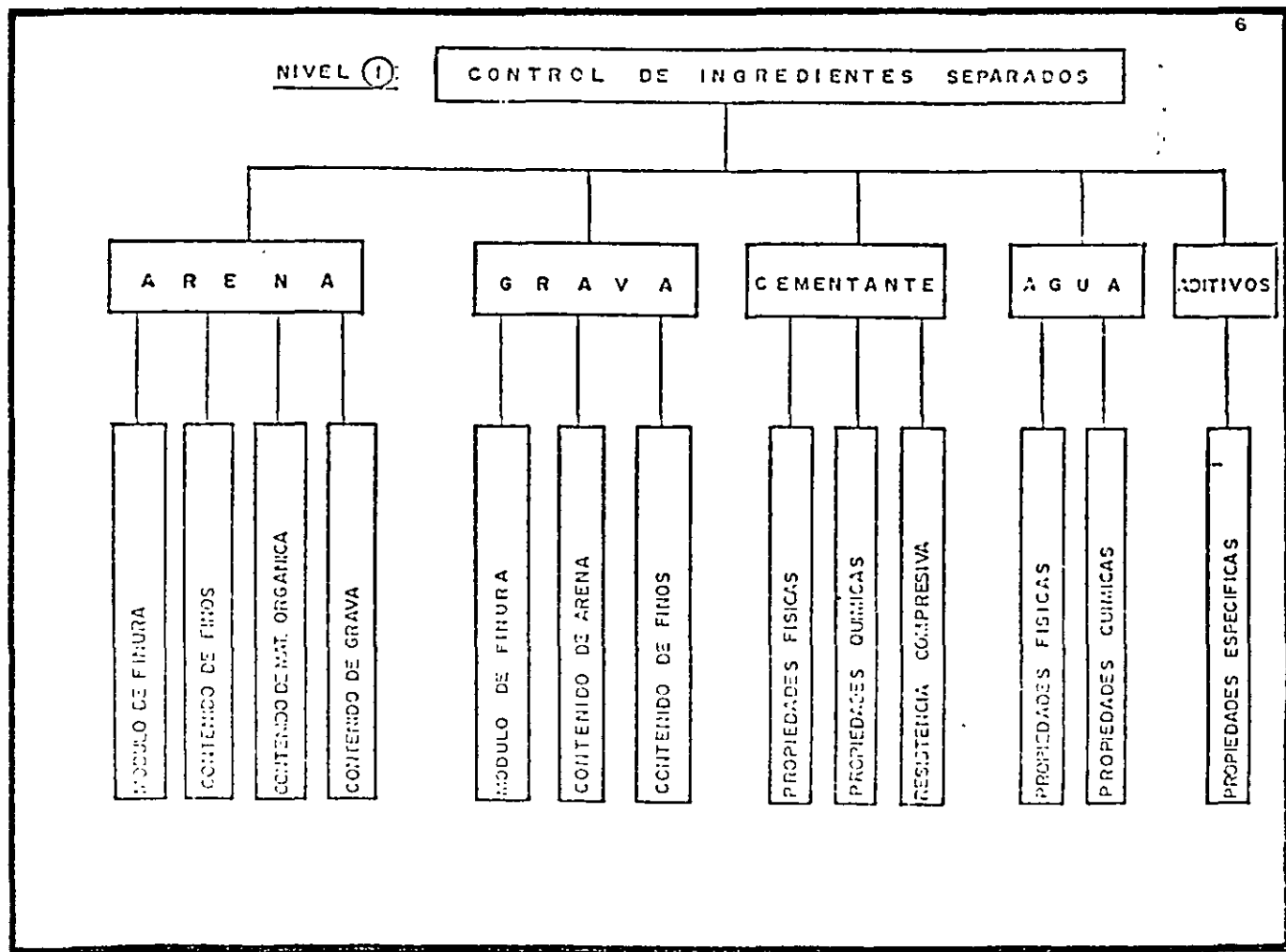
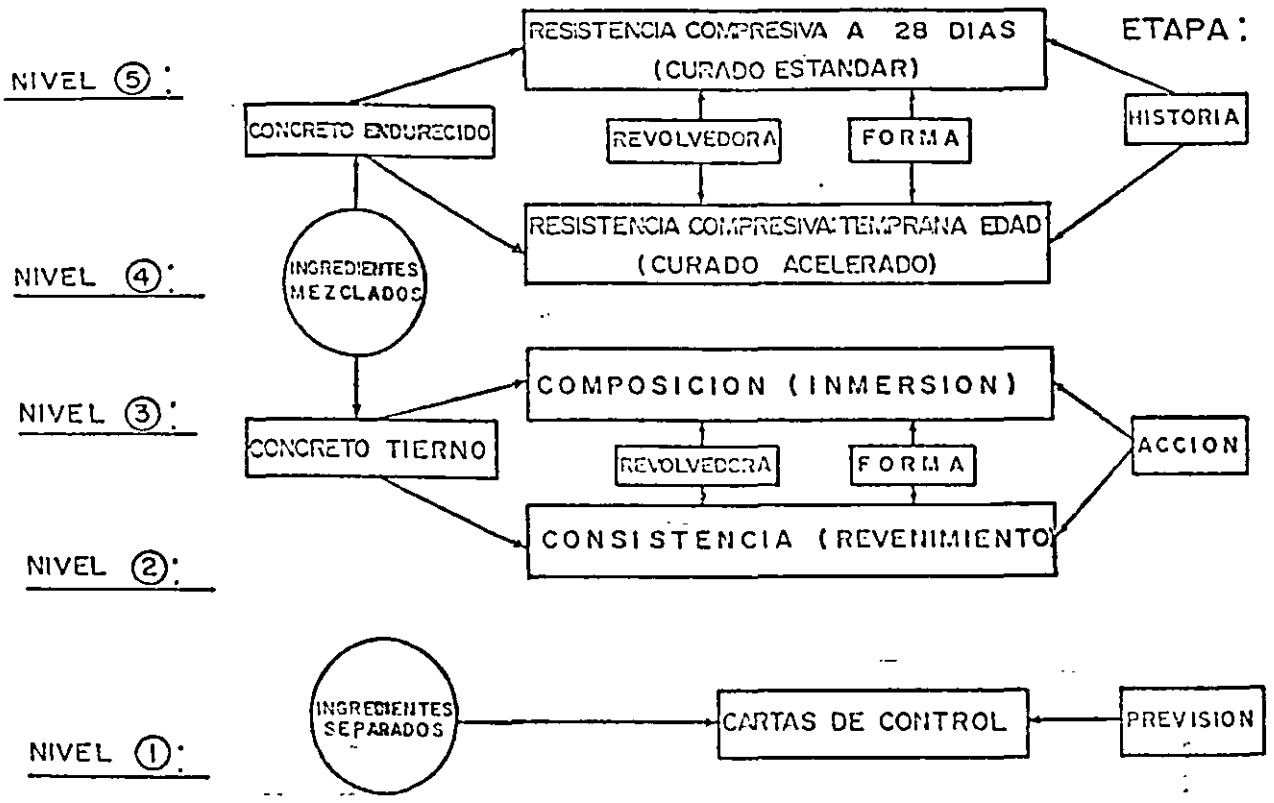
\*\* Basalto local

\*\*\* Bajo contenido de álcalis

Vo. Bo. LABORATORISTA FECHA

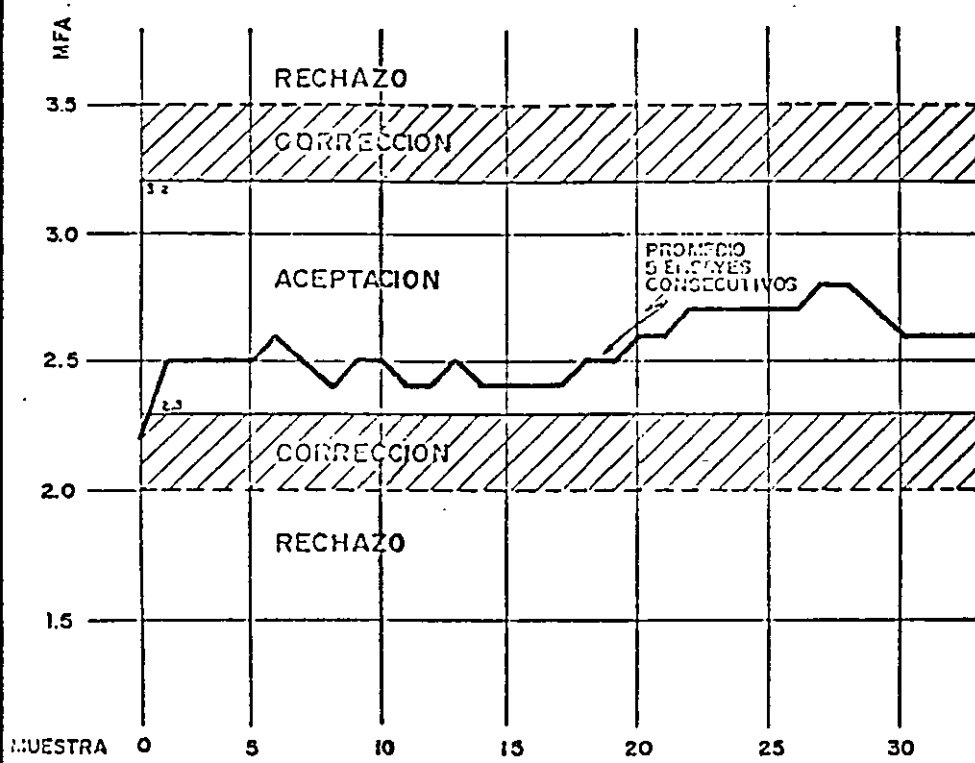
MATERIAL	DENSIDAD RELATIVA	ABSORC
arena	2.48	6.70 %
arena	2.59	2.25 %

# ETAPAS Y NIVELES DE CONTROL

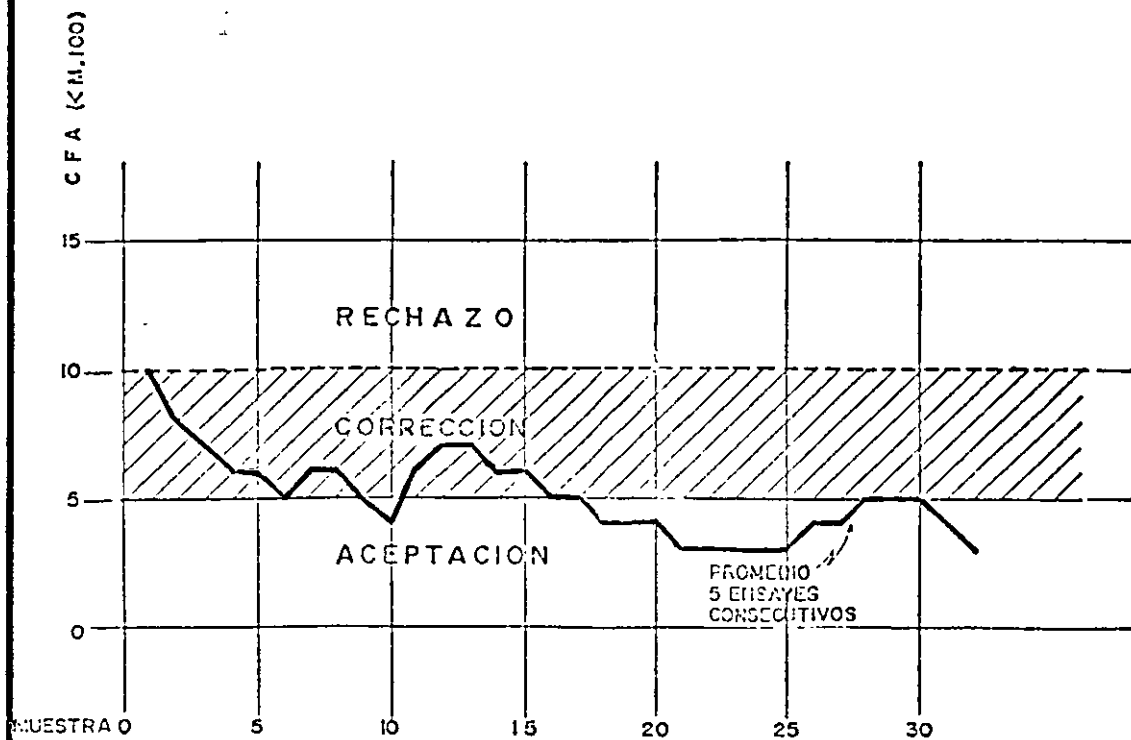




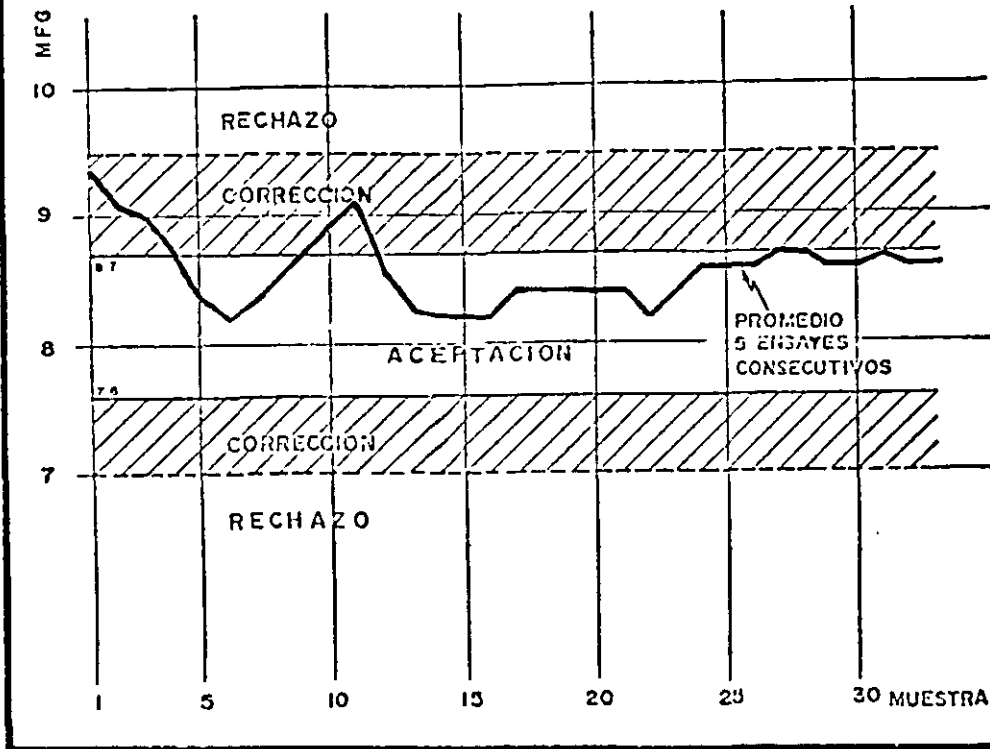
### CARTA DE CONTROL: MODULO DE FINURA DE LA ARENA



### CARTA DE CONTROL. CONTENIDO DE FINOS EN LA ARENA

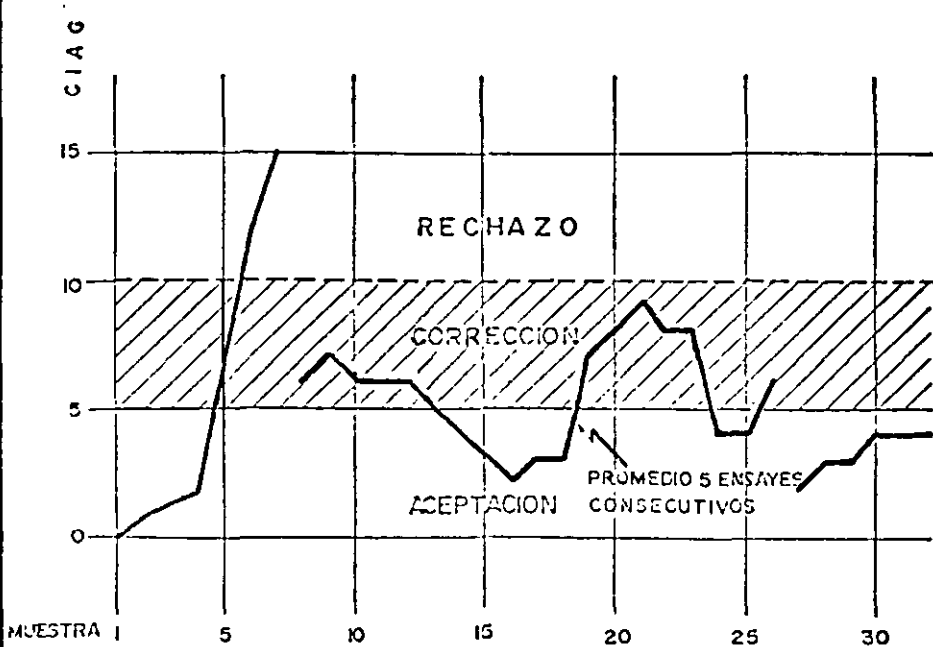


## CARTA DE CONTROL: MODULO DE FINURA DE LA GRAVA

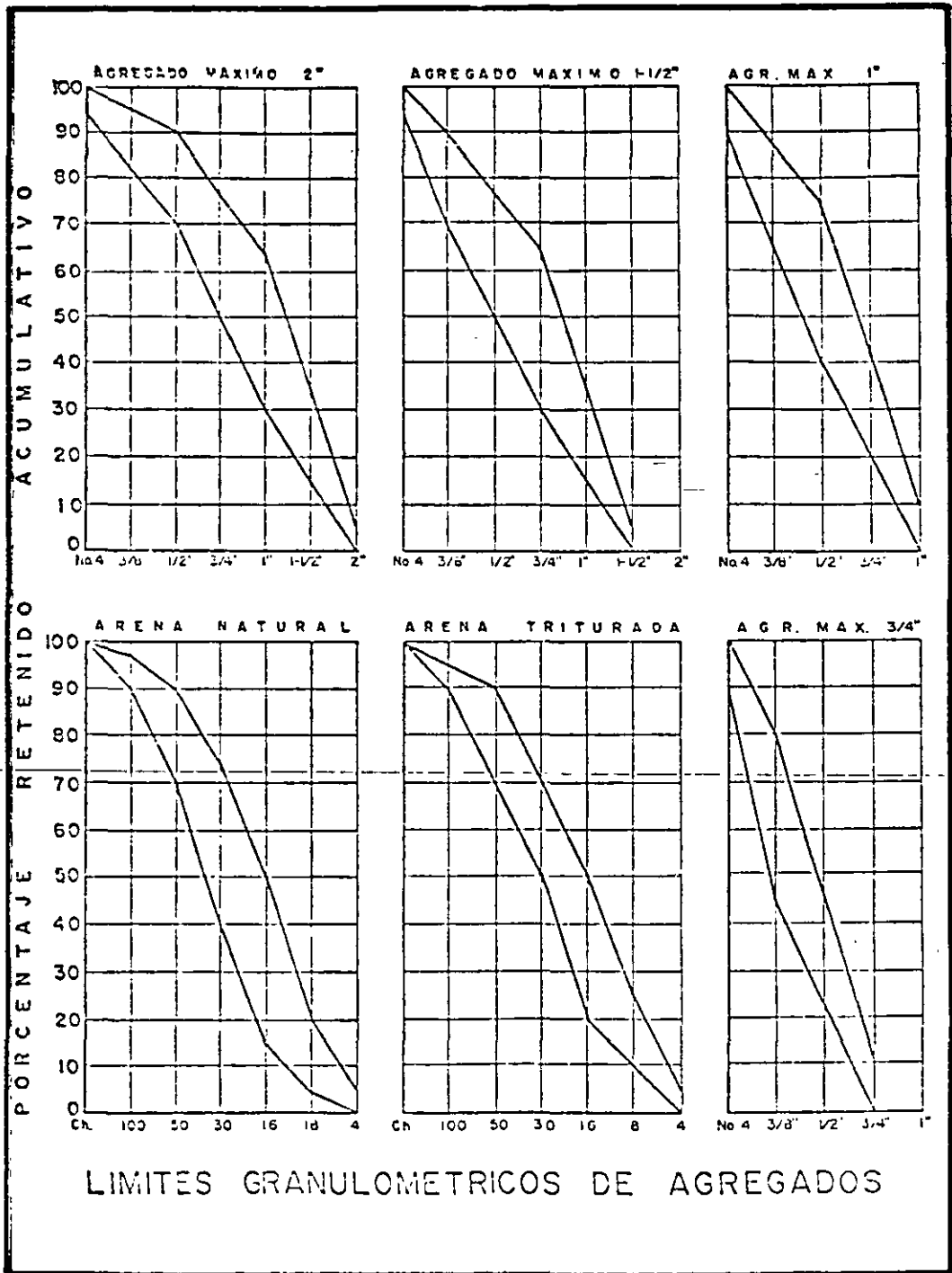


10

## CARTA DE CONTROL. CONTENIDO INDESEADABLE DE ARENA EN LA GRAVA



51





OBRA \_\_\_\_\_

DIVISION A-3 LAMINA 2.1. a

**CONSISTENCIA DEL CONCRETO TIERNO (Revenimiento) EN LA REVOLVEDORA**  
 Revenimiento requerido  $8 \pm 2$

MTA.	REVENIMIENTO MEDIO MOVIL, cm							REVENIMIENTO, cm			IDENTIFICACION MUESTRAS				HORA	LABORATORISTA	PROPOR.	PLANTA						
	2	4	6	8	10	12	14	5 VALORES		PROMEDIO	D I A S													
								PROM.	SUMA		7	7	28	28										
1	17/IV/ Colado 58 Prop. 3	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	15	39	13														
2								12	51	13														
3								13	64	13														
4								14	67	13														
5								13	67	13														
6								13	65	13														
7								13	66	13														
8								12	65	13														
9								12	63	13														
10								12	62	12														
11								14	63	13														
12								13	63	13														
13								12	63	13														
14								16	67	13														
15	12/V/ Colado 70 Prop. 3	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	12	12	12														
16								13	25	13														
17								12	37	12														
18								13	50	13														
19								13	63	13														
20								13	64	13														
21	17/VV/ Colado 72 Prop. 3	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	[Tendencia lineal descendente]	13	13	13														
22								12	25	13														
23								12	37	12														
24								12	49	12														
25								12	61	12														
26								12	60	12														
27								12	60	12														
28								13	61	12	245	246	247	248										
29								12	61	12														
30																								

RECHAZO CORR. ACEPTACION CORR. RECHAZO  $\bar{X} = 12.77$  cm  $\sigma_{\bar{x}} = \pm 0.97$  cm  $V\bar{X} = 7.6$  %

OBSERVACIONES: CADA PUNTO DE LA GRAFICA DE TENDENCIAS REPRESENTA EL PROMEDIO DE 5 VALORES CONSECUTIVOS

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

FECHA LABORATORISTA V.B.



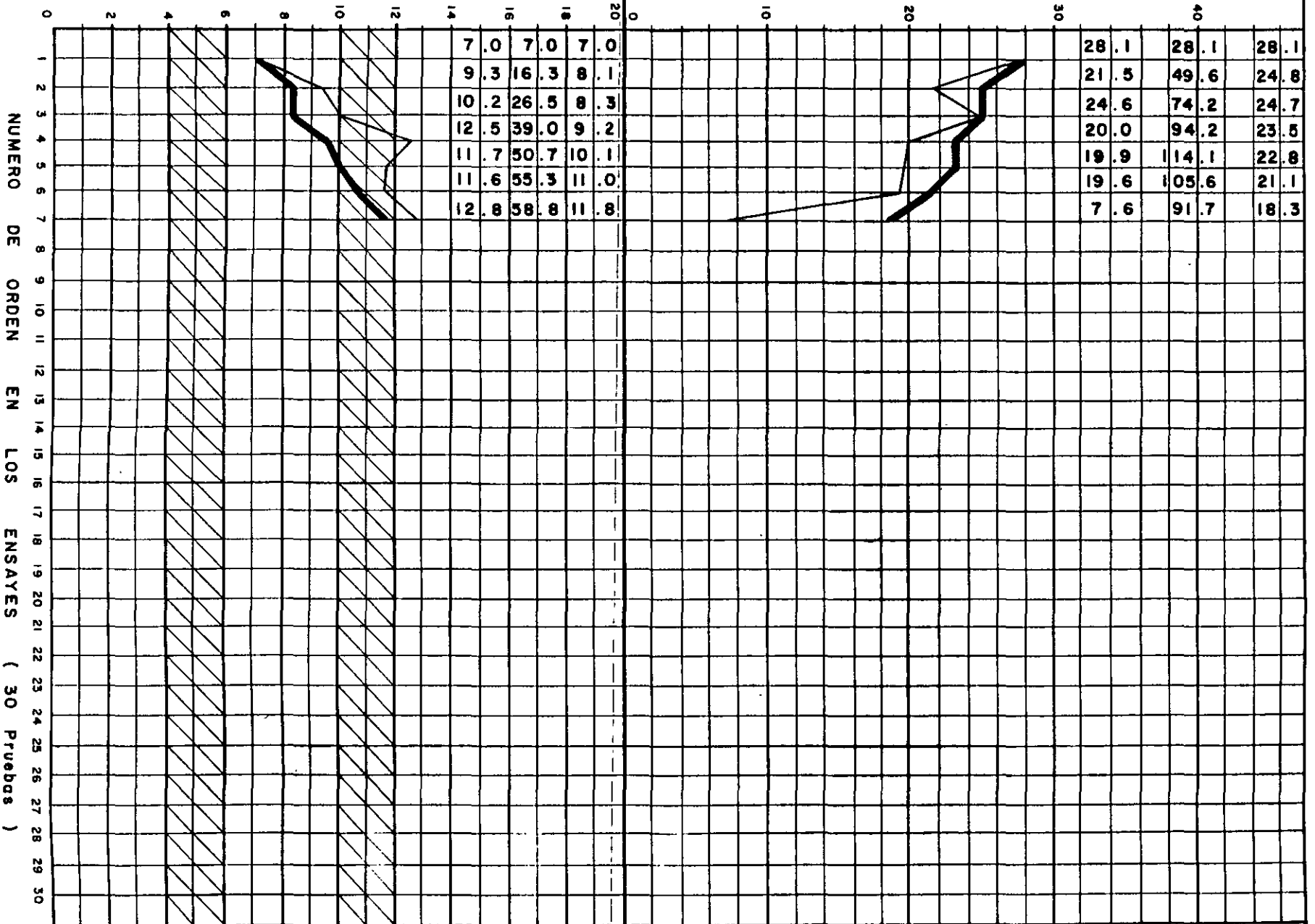
ANALISIS ESTADISTICO DE REVENIMIENTOS EN: 1a revolvedora

Revenimiento requerido  $8 \pm 2$

OBRAS: \_\_\_\_\_  
 DIVISION: A-3  
 LAMINA 4.1

COEFICIENTE DE VARIACION MEDIO, %

REVENIMIENTO MEDIO, cm



$\bar{X} = 7$  cm

$\sigma_{\bar{X}} = \pm 2.1$  cm

$V_{\bar{X}} = 19.2$  %

$\bar{X} = 20.2$  %

$\sigma_{\bar{X}} = \pm 6.4$  %

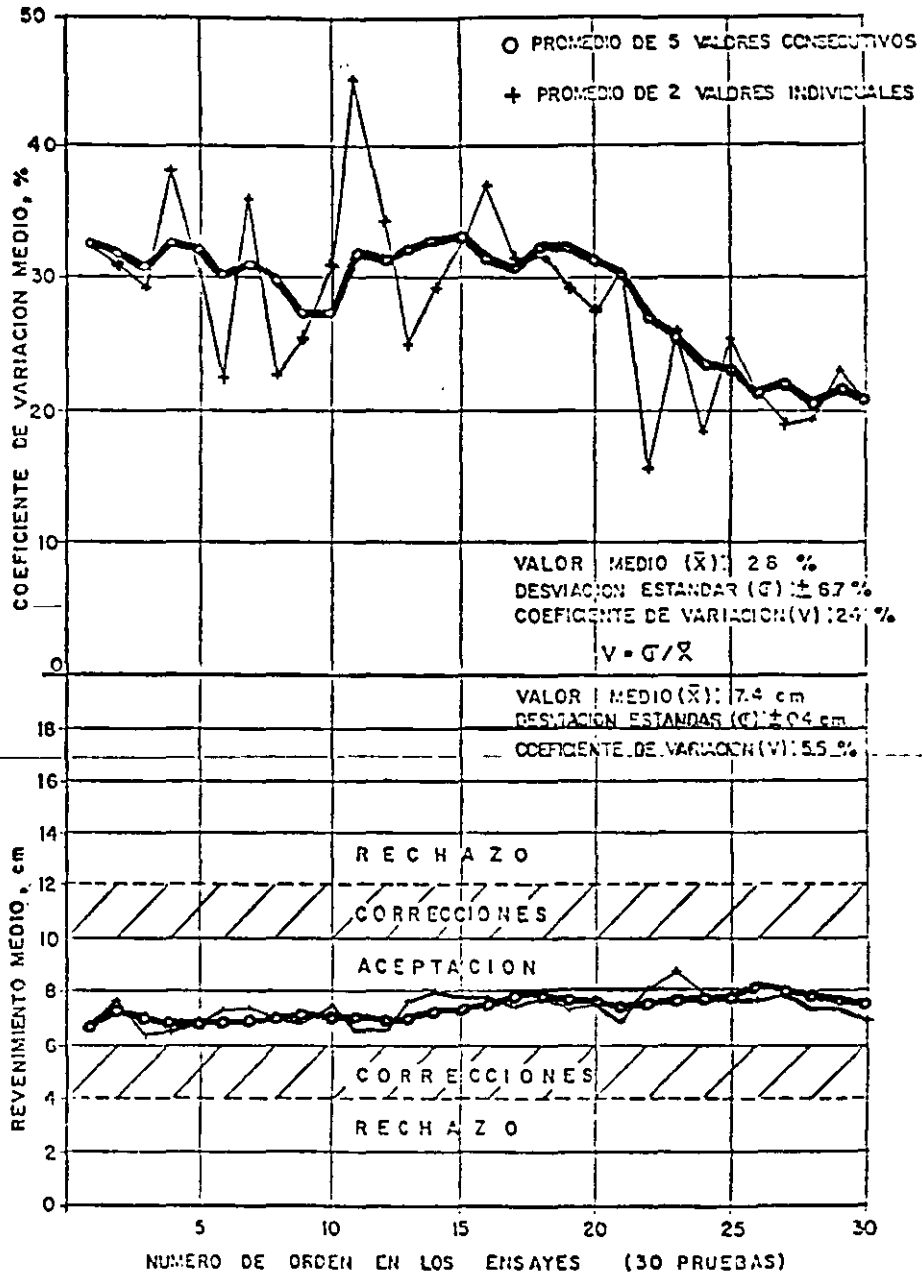
$V_{\bar{X}} = 31.5$  %

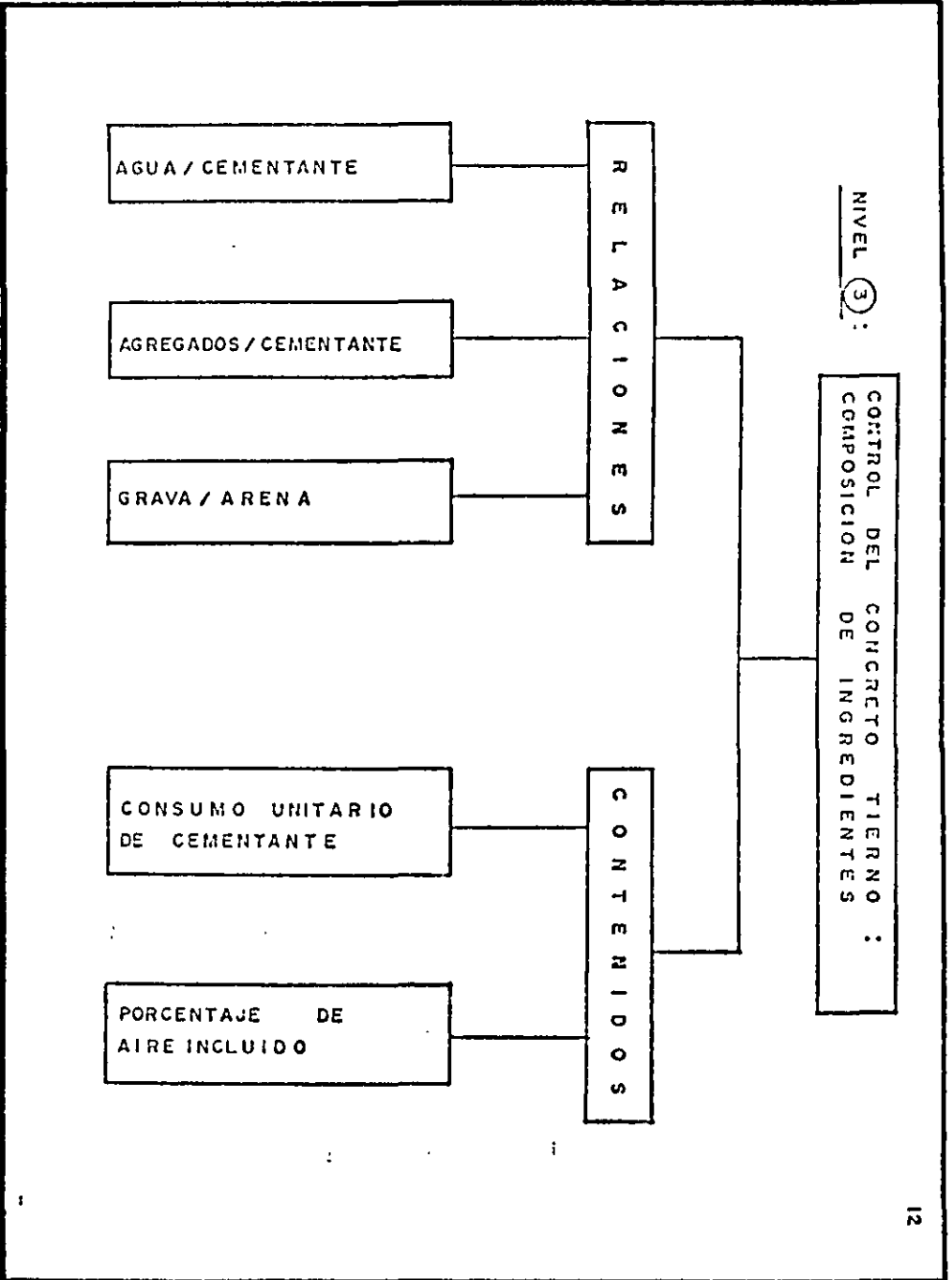
FECHA \_\_\_\_\_ LABORATORISTA \_\_\_\_\_  
 REVISOR \_\_\_\_\_

54



### ANALISIS ESTADISTICO DE REVENIMIENTOS EN : LA FORMA





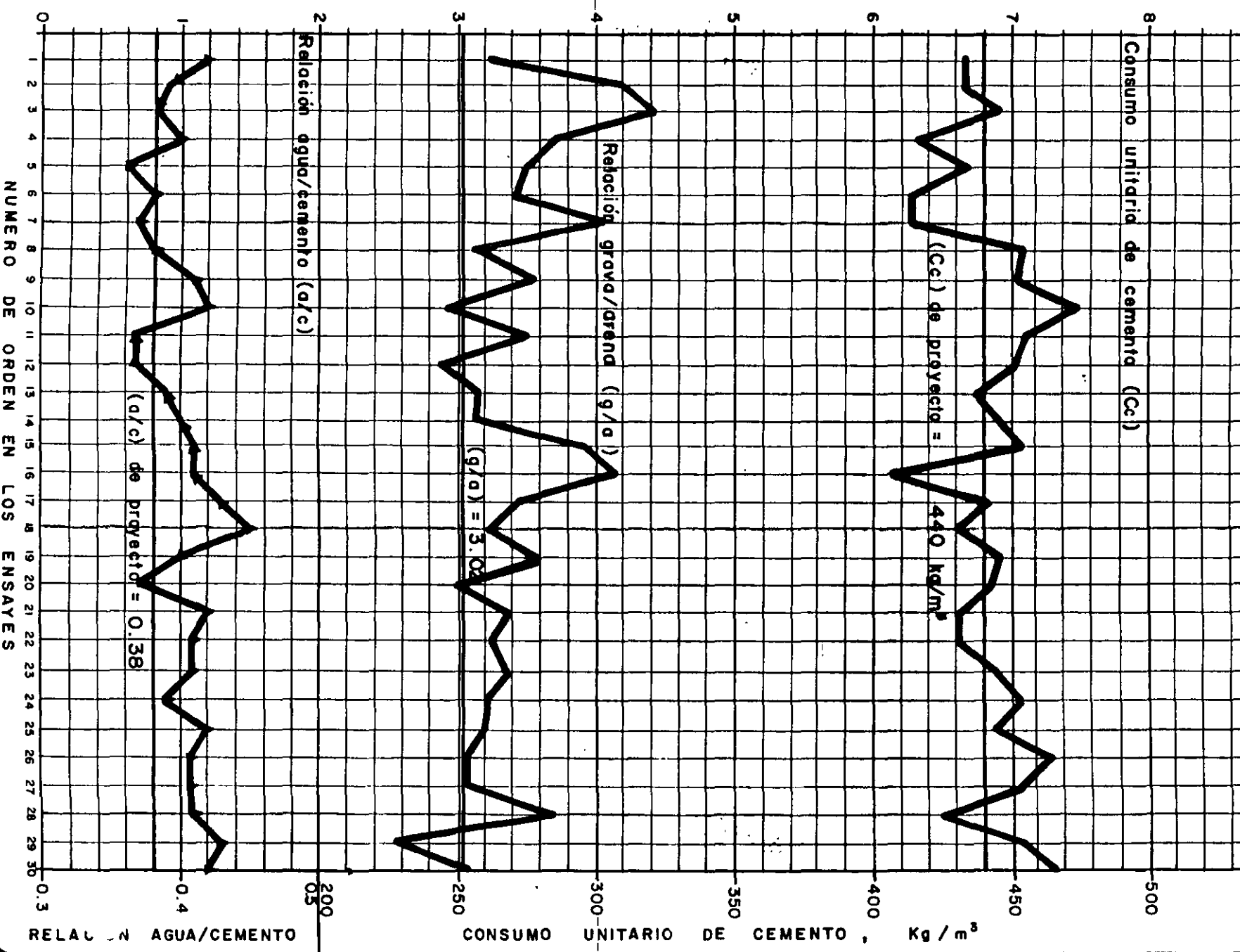


**COMPOSICION DEL CONCRETO TIERNO (Prueba de Inmersión)**

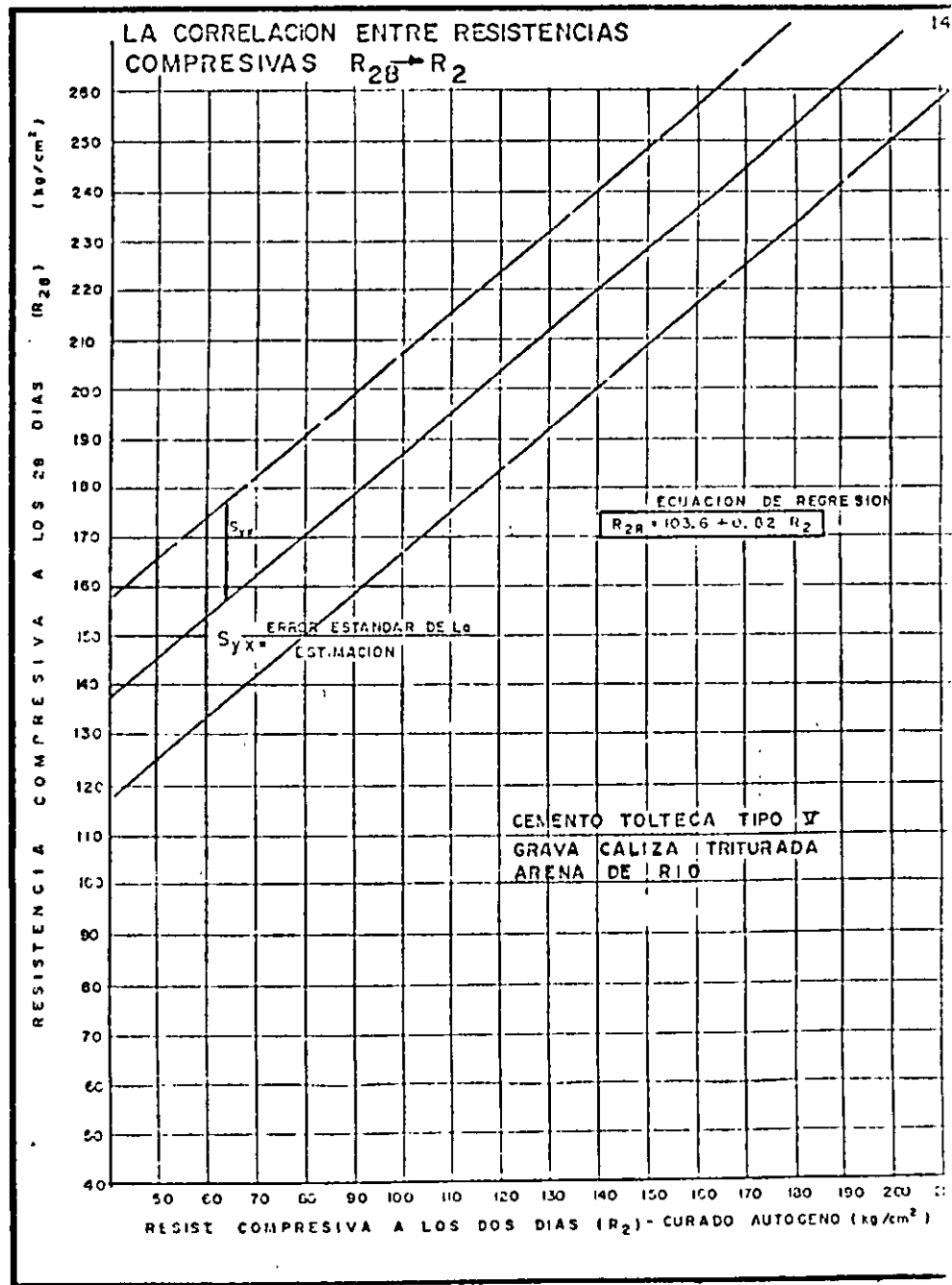
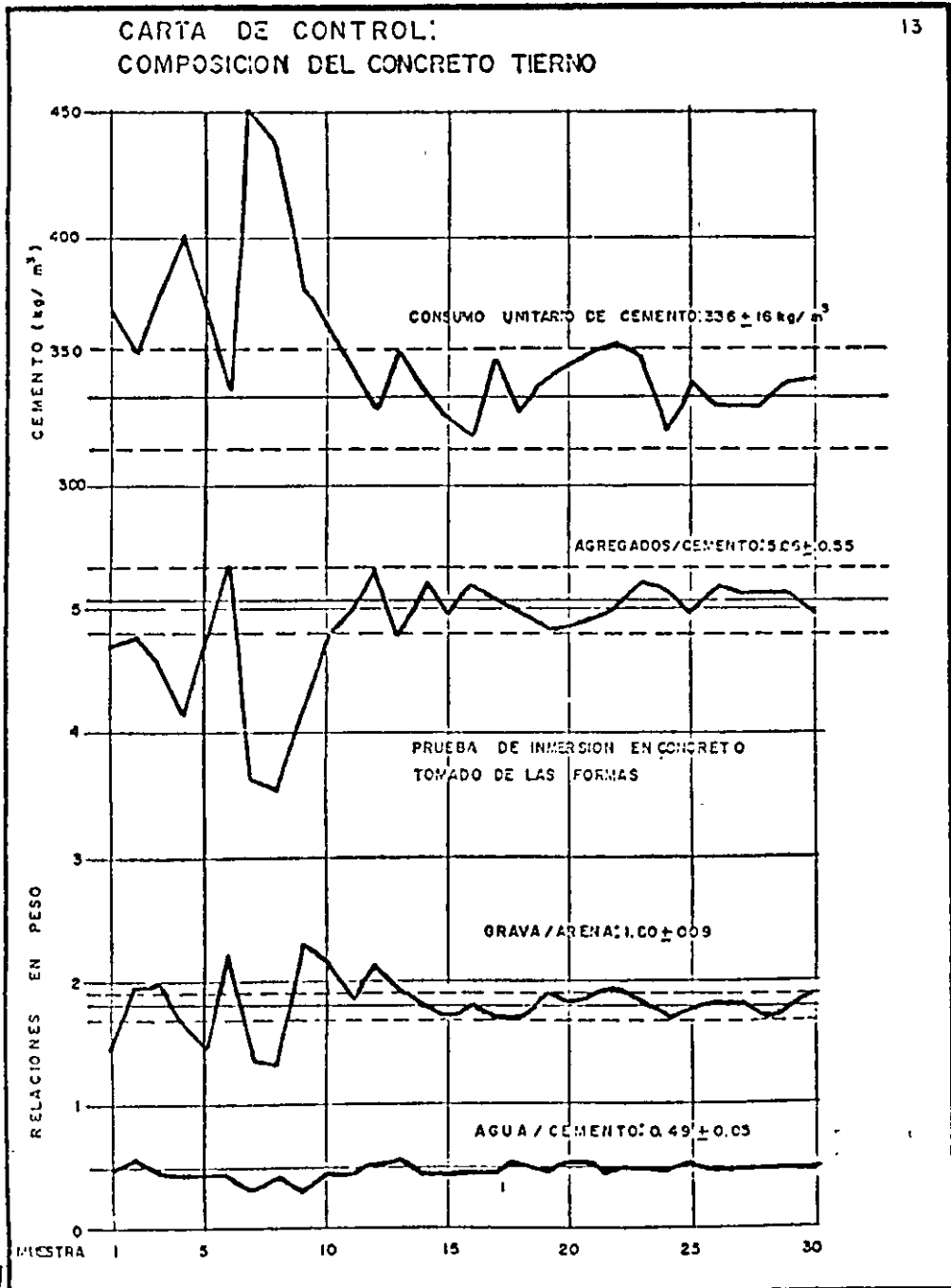
OBRA: \_\_\_\_\_  
 DIVISION: B-4 LAMINA 6.0

Colado
32
33
34
36
37
37
39
40
40
41
42
43
43
44
45
47
48
48
50
52
53
55
57
57
58
59
60
61
62
63

**RELACIONES EN PESO (Agregados Saturados y Superficialmente Secos)**



FECHA \_\_\_\_\_ LABORATORISTA \_\_\_\_\_ REVISOR \_\_\_\_\_



59



OBRA \_\_\_\_\_

DIVISION \_\_\_\_\_

A-3

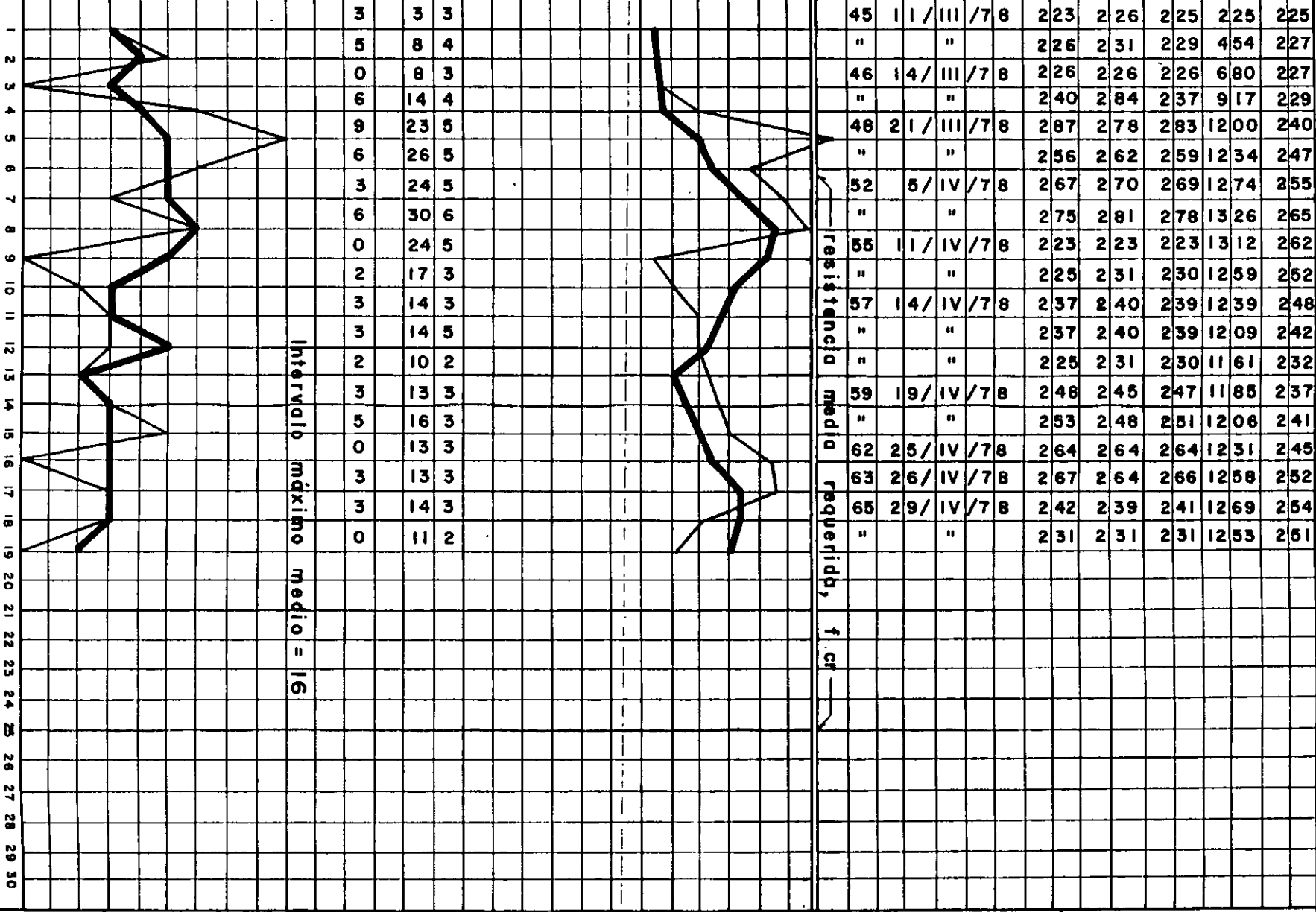
LAMINA \_\_\_\_\_

9

RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRAULICO. EDAD 28 DIAS

$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

INTERVADO MEDIO MOVIL,  $\text{kg/cm}^2$       RESISTENCIA COMPRESIVA MEDIA,  $\text{kg/cm}^2$



Intervalo máximo medio = 16

$\bar{X} = 3.3 \text{ kg/c}$

$\bar{x} = \pm 2.4 \text{ kg/cm}^2$

$V\bar{x} = 75.0 \%$

$\bar{X} = 245.6 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma\bar{x} = .9 \text{ kg/cm}^2$

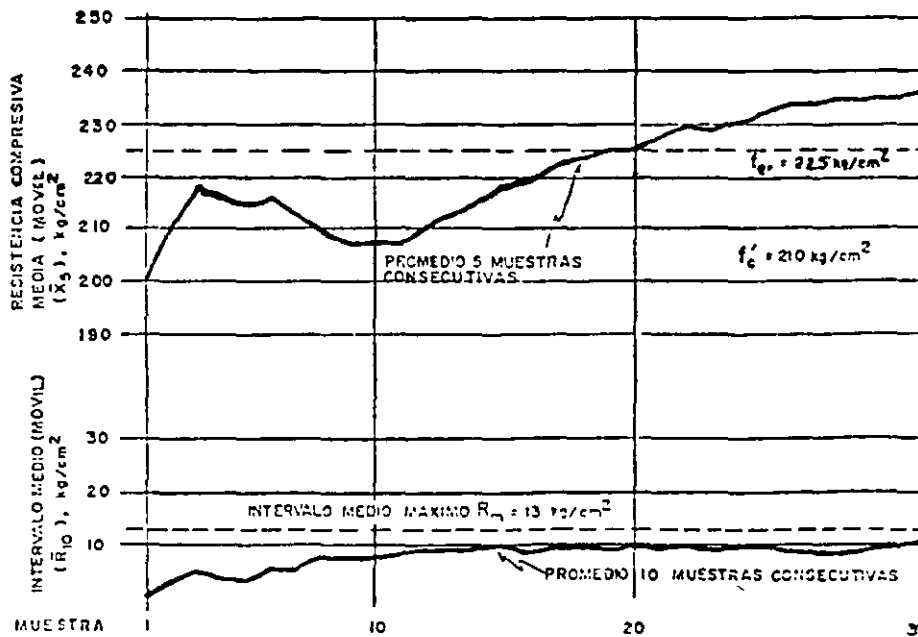
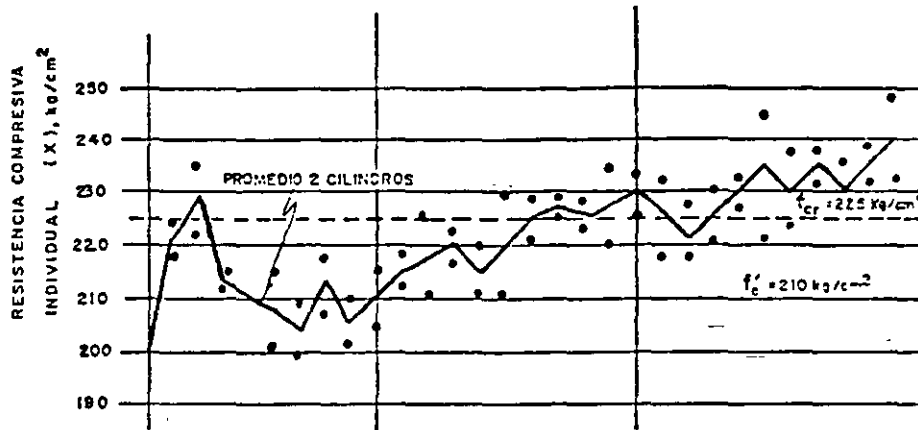
$V\bar{x} = 7.7 \%$

FECHA \_\_\_\_\_ LABORATORISTA \_\_\_\_\_

REVISOR \_\_\_\_\_

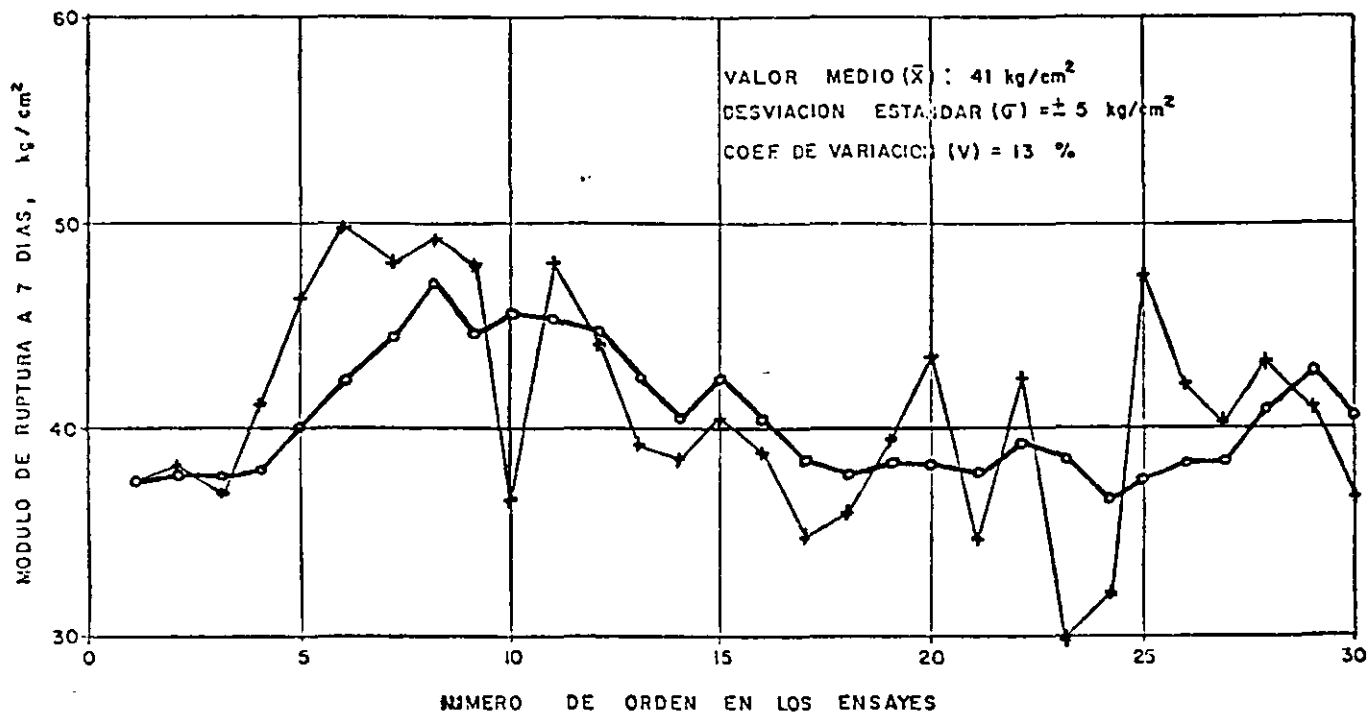
60

### CARTA DE CONTROL: ANALISIS DE RESISTENCIAS COMPRESIVAS A 28 DIAS



### CARTA DE CONTROL: RESISTENCIA EN LOSAS

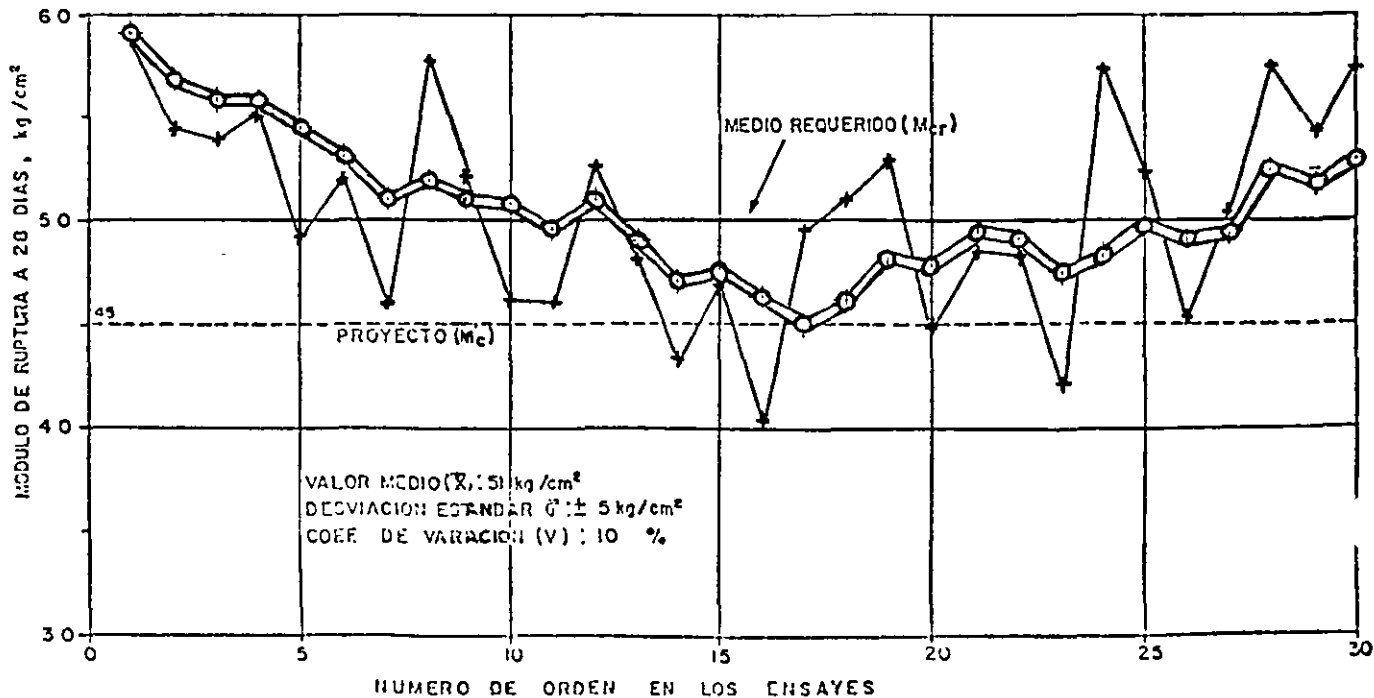
- PROMEDIO DE 5 VALORES CONSECUTIVOS
- + PROMEDIO DE 2 VALORES INDIVIDUALES



### CARTA DE CONTROL: RESISTENCIA EN LOSAS

- ⊕ PROMEDIO DE 5 VALORES CONSECUTIVOS
- + PROMEDIO DE 2 VALORES INDIVIDUALES

$M_{cr} = 1.11 M'_c$

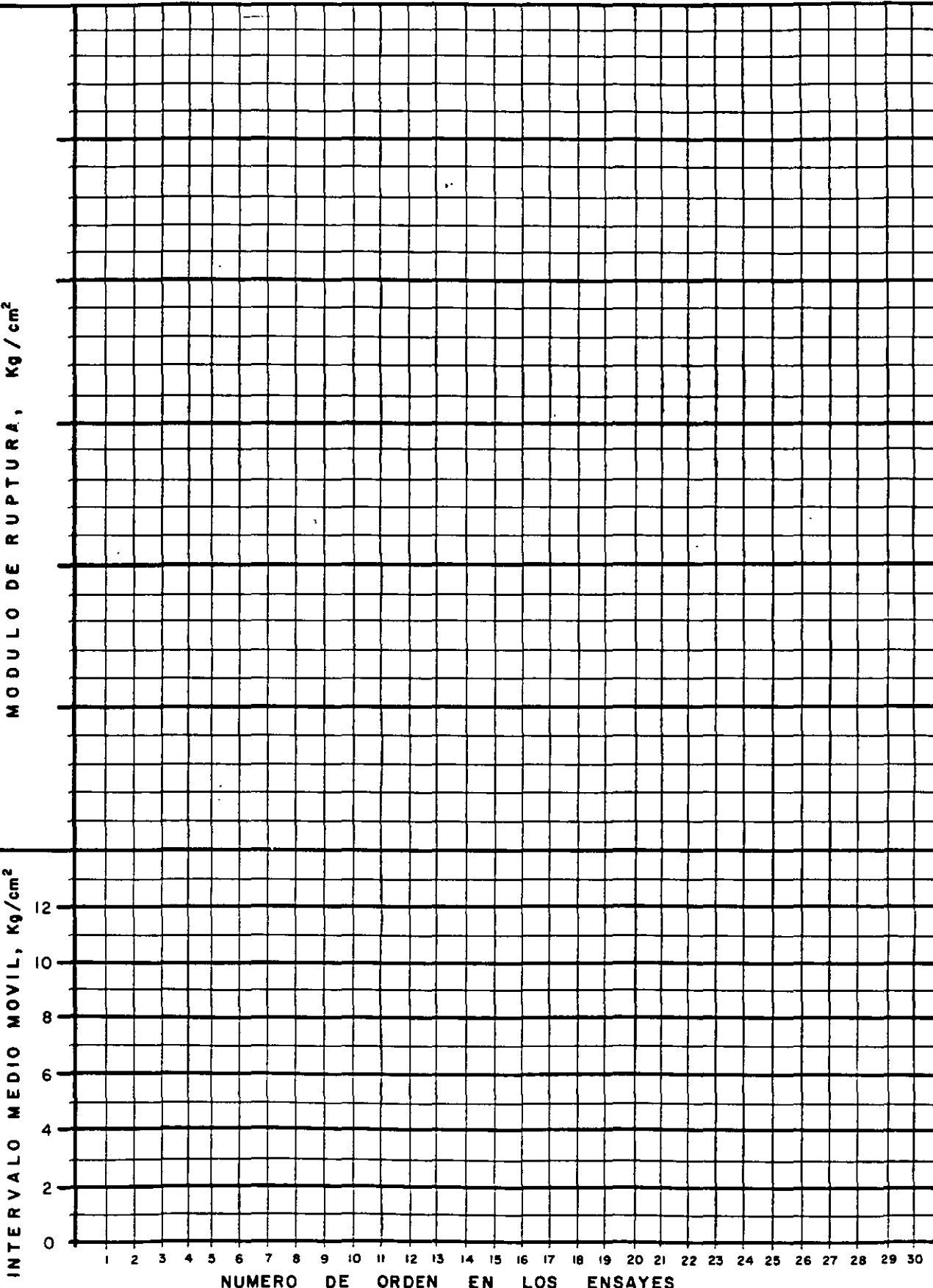




OBRA: \_\_\_\_\_

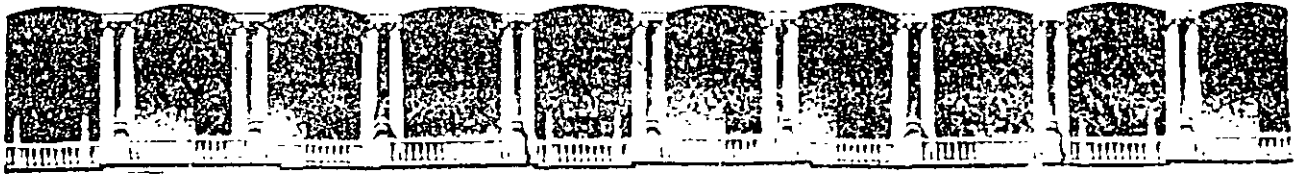
DIVISION: \_\_\_\_\_ LAMINA \_\_\_\_\_

MODULO DE RUPTURA DEL CONCRETO HIDRAULICO. EDAD: \_\_\_\_\_ DIAS



MODULO DE RUPTURA, Kg/cm²

LABORATORISTA
REVISOR
FECHA
%
$V\bar{X} =$
Kg/cm²
$\sigma\bar{X} \pm =$
Kg/cm²
$\bar{X} =$
%
$V\bar{X} =$
Kg/cm²
$\sigma\bar{X} \pm =$
Kg/cm²
$\bar{X} =$



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES  
XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍA DE AEROPUERTOS

Del 31 de agosto al 30 de octubre.

Módulo II

PROYECTO DE AEROPUERTOS

*Tema: Manual de servicios de Aeropuertos  
Parte 6  
"Limitación de Obstáculos"*

Palacio de Minería  
1998.

# **Manual de servicios de aeropuertos**

(Doc 9137-AN/898/2)

## **Parte 6**

### **Limitación de obstáculos**

**Segunda edición — 1983**







## Preámbulo

En esta parte del Manual de Servicios se incluye orientación destinada a imponer ciertos límites en los obstáculos situados en las proximidades de los aeropuertos. Gran parte del texto incorporado al presente documento está estrechamente relacionado con las especificaciones contenidas en el Anexo 14 — *Aeródromos*. La finalidad primordial del presente Manual consiste en fomentar la aplicación uniforme de dichas especificaciones y facilitar información y guía a los Estados. Los aspectos importantes agregados a la presente edición del Manual son:

- a) información sobre las superficies limitadoras de obstáculos en las pistas para aproximaciones de precisión de Categoría I y sobre las relaciones que existen entre las

- superficies definidas en el Anexo 14 y las superficies definidas en los PANS-OPS (Capítulo 1); y
- b) orientación sobre limitación de obstáculos en los aeropuertos (Capítulo 2 y Apéndice 2).

El Capítulo 4 y el Apéndice 3 del presente Manual, que tratan, respectivamente, del apantallamiento y del levantamiento de planos de obstáculos, se basan en gran medida en información puesta al día facilitada por los Estados y, por consiguiente, es de creer que son de actualidad. Si, en un momento dado, un Estado considera que alguna parte del texto ya no está al día, debería comunicárselo al Secretario General proporcionándole, de ser posible, un texto revisado.

# Indice

	<i>Página</i>		<i>Página</i>
Capítulo 1. Superficies .....	1	Capítulo 3. Riesgos de carácter temporal .....	20
1.1 Generalidades .....	1	Capítulo 4. Levantamiento de planos de obstáculos .	23
1.2 Anexo 14 — Superficies limitadoras de obstáculos .....	1	4.1 Práctica seguida en Australia .....	23
1.3 Superficies de los PANS-OPS .....	5	4.2 Práctica seguida en el Reino Unido .....	28
1.4 Comparación entre las superficies de transición interna y de aterrizaje inte- rrumpido y las superficies "Y" y de aproximación frustrada .....	10	4.3 Práctica seguida en los Estados Unidos de América .....	31
1.5 Antecedentes del modelo de riesgo de colisión .....	10	Capítulo 5. Equipos e instalaciones de aeropuerto que pueden constituir obstáculos .....	35
Capítulo 2. Limitación de obstáculos en los aeropuertos .....	12	5.1 Introducción .....	35
2.1 Antecedentes .....	12	5.2 Frangibilidad .....	35
2.2 Autoridad y responsabilidad en el orden jurídico .....	12	5.3 Tipos de equipo e instalaciones de aero- puerto que pueden constituir obstáculos ..	35
2.3 Zonificación de alturas .....	13	Apéndice 1. Ilustraciones de las superficies limita- doras de obstáculos ajenas a la zona despejada de obstáculos .....	43
2.4 Adquisición de servidumbre y del derecho de propiedad .....	14	Apéndice 2. Modelo de ordenanza de zonificación destinada a limitar la altura de los objetos en los aeropuertos y sus alrededores .....	47
2.5 Notificación de proyectos de construcción ..	14	Apéndice 3. Prácticas de apantallamiento seguidas por los Estados .....	61
2.6 Establecimiento de las superficies limitadoras de obstáculos .....	16		
2.7 Levantamiento de planos de obstáculos ....	16		
2.8 Supresión de obstáculos .....	17		
2.9 Apantallamiento .....	17		
2.10 Señalamiento e iluminación de obstáculos ...	18		
2.11 Notificación de obstáculos .....	18		

# Capítulo 1

## Superficies

### 1.1 GENERALIDADES

1.1.1 La utilización eficaz de un aeródromo puede verse considerablemente influida por las características naturales del terreno y por las construcciones que se encuentren dentro y fuera de los límites del mismo. Esto puede dar como resultado la introducción de restricciones con respecto a las distancias disponibles para el despegue y el aterrizaje y con respecto a la gama de condiciones meteorológicas en las cuales pueden realizarse dichas maniobras. Por estas razones, algunas áreas del espacio aéreo local tienen que considerarse como partes integrantes del medio que circunda al aeródromo. El grado de libertad con respecto de los obstáculos que existen en estas áreas resulta tan importante para el uso seguro y eficaz del aeródromo como los requisitos físicos más obvios aplicables a las pistas y franjas respectivas.

1.1.2 La importancia de los objetos, tanto existentes como previstos, dentro de los límites del aeródromo o en las vecindades del mismo, se evalúa utilizando dos conjuntos distintos de criterios que definen los requisitos en materia de espacio aéreo. El primero de estos conjuntos se refiere a las superficies limitadoras de obstáculos respecto a determinada pista, y su uso previsto se detalla en el Capítulo 4 del Anexo 14 — *Aeródromos*. La finalidad general de estas superficies consiste en definir la parte del espacio aéreo que, en condiciones ideales, debería mantenerse libre de obstáculos con el fin de reducir al mínimo los peligros que para las aeronaves representan dichos obstáculos, ya sea al hacer una aproximación completamente visual o el tramo visual de una aproximación por instrumentos. El segundo conjunto de criterios se refiere a las superficies que se describen en los *Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Operación de aeronaves (PANS-OPS), Volumen II — Construcción de procedimientos de vuelo visual y por instrumentos*. Las superficies de los PANS-OPS están destinadas al uso de los diseñadores de procedimientos, para la construcción de procedimientos de vuelo por instrumentos y para la especificación de altitudes/alturas mínimas seguras para cada tramo del procedimiento. El procedimiento y/o las alturas mínimas pueden variar según la velocidad del avión, la ayuda para la navegación que se utilice y, en algunos casos, el instrumental con que esté equipado el avión.

1.1.3 Las superficies del Anexo 14 están previstas para ser de carácter permanente. Por lo tanto, para que resulten eficaces, deberían incluirse en leyes u ordenanzas locales de

zonificación o como parte de los planes nacionales de consulta para la planificación. Las superficies establecidas deberían tener en cuenta no solamente las operaciones existentes sino también el desarrollo final previsto correspondiente a cada aeródromo. También puede surgir la necesidad de restringir obstáculos en zonas distintas de las previstas en el Anexo 14, si no se desea incrementar los mínimos operacionales calculados utilizando los criterios de los PANS-OPS lo que, en definitiva, limitaría la utilización del aeródromo.

### 1.2 ANEXO 14 — SUPERFICIES LIMITADORAS DE OBSTACULOS

#### 1.2.1 *Finalidad de las superficies*

1.2.1.1 En los párrafos siguientes se describe la finalidad de las distintas superficies definidas en el Capítulo 4 y, en algunos casos, se incluye información complementaria relativa a las características de las mismas. A los efectos de facilitar la comprensión del asunto, en el Apéndice 1 se incluyen varias ilustraciones de superficies limitadoras de obstáculos.

#### 1.2.2 *Superficie horizontal externa*

1.2.2.1 Según la experiencia de algunos Estados, la construcción de estructuras de gran altura en la vecindad de los aeropuertos, más allá de las áreas actualmente reconocidas por el Anexo 14 como áreas en las que puede ser necesario restringir las nuevas construcciones, puede originar graves problemas para las operaciones. Las complicaciones que se presentan para las operaciones pueden dividirse en dos grupos: las que afectan a la seguridad y las que afectan a la eficiencia.

1.2.2.2 *Consecuencias para la seguridad.* Es especialmente conveniente examinar con gran detenimiento todas las propuestas de construcción de postes elevados u otras estructuras reticuladas de gran altitud en zonas que de otra forma serían adecuadas para su utilización por las aeronaves en circuitos visuales amplios, en las trayectorias de descenso hacia el circuito o el aeropuerto, o en las trayectorias de ascenso en el despegue. No se puede confiar invariablemente en que el peligro se evitará por medio de señales o

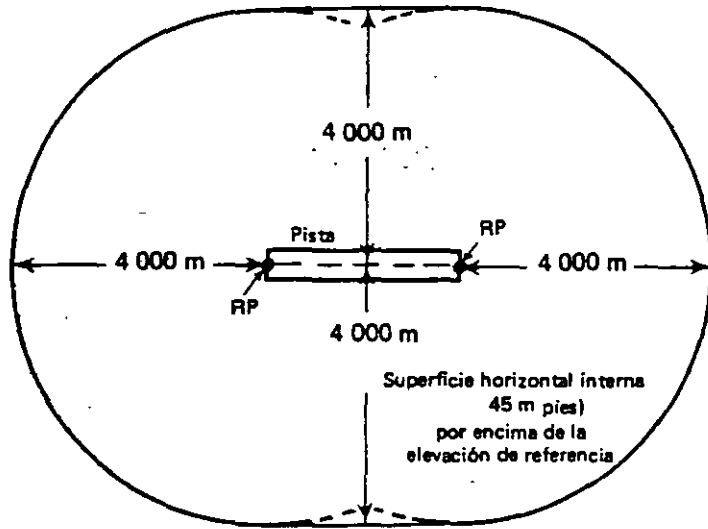
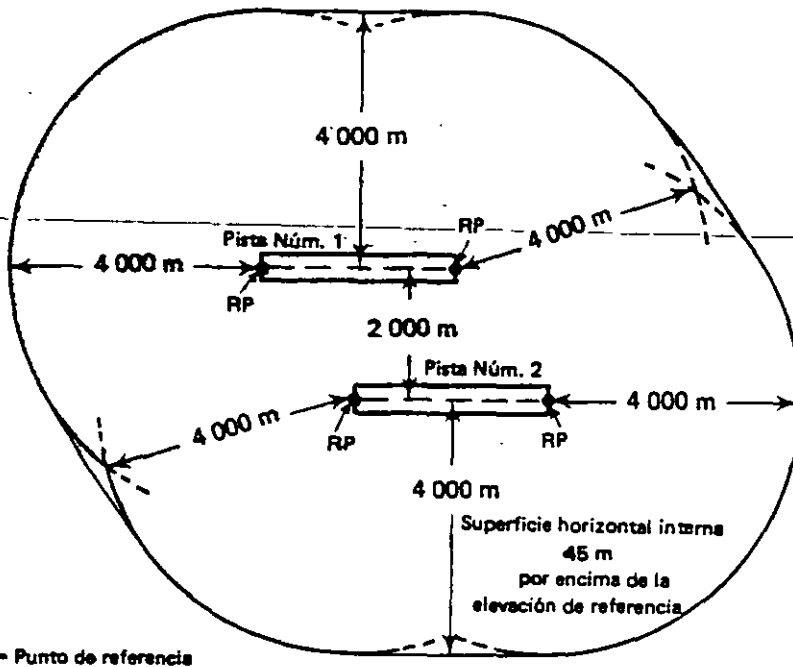


Figura 1-1.—Superficie horizontal interna para una pista única del número de clave 4



RP = Punto de referencia

Figura 1-2.—Superficie horizontal interna compuesta, para dos pistas paralelas de número de clave 4

iluminación, en vista del carácter de estas estructuras, relativamente poco visibles, especialmente en condiciones de visibilidad reducida, y tampoco será siempre posible evitar el peligro que suponen meramente notificando su existencia.

1.2.2.3 *Consecuencias para la eficiencia.* Si se construyen estructuras elevadas en zonas que de otra forma serían adecuadas para los procedimientos de aproximación por instrumentos, o cerca de ellas, puede que sea necesario adoptar alturas de vuelo mayores, con el efecto adverso consiguiente en la regularidad y en la duración del procedimiento de aproximación tales como la necesidad de denegar la utilización de altitudes útiles a las aeronaves en los circuitos de espera correspondientes. Dichas estructuras pueden limitar además la flexibilidad deseable para dirigir por radar las aproximaciones iniciales, así como la facilidad de efectuar virajes durante la subida a continuación del despegue o en la aproximación frustrada.

1.2.2.4 En vista de estas consideraciones de carácter operacional, que pueden adquirir importancia, las autoridades pudieran considerar conveniente adoptar medidas que les permitan conocer de antemano todas las propuestas para construir estructuras de gran altura, con el fin de poder estudiar las consecuencias, desde el punto de vista aeronáutico, y tomar las medidas que estén a su alcance para proteger los intereses de la aviación. Al calcular el efecto que una nueva construcción que se propone causaría en las operaciones, las estructuras elevadas no tendrían importancia inmediata si se propone situarlas en:

- a) una zona en la que ya existan bastantes obstáculos, debido al terreno o a estructuras de altura equivalente; y
- b) una zona que se pueda evitar con garantías de seguridad mediante procedimientos prescritos en relación con las ayudas para la navegación, cuando convenga.

1.2.2.5 Como especificación de carácter general para la superficie horizontal externa, las estructuras elevadas pueden considerarse de posible importancia si su altura es mayor de 30 m por encima del nivel del terreno donde estén situadas, y también mayor de 150 m por encima de la elevación del aeropuerto, estando situadas dentro de un radio de 15 000 m a partir del centro del aeropuerto cuando el número de clave de la pista sea 3 ó 4. Pudiera ser necesario ampliar las zonas en cuestión para que coincidan con las superficies de determinación de obstáculos que figuran en los PANS-OPS para cada procedimiento de aproximación aplicable al aeropuerto considerado.

### 1.2.3 Superficie horizontal interna y superficie cónica

1.2.3.1 La finalidad de la superficie horizontal interna es proteger el espacio aéreo para el circuito visual dentro del cual la aeronave deba volar antes de aterrizar, posiblemente después de descender a través de las nubes sobre una instalación alineada con una pista distinta de la utilizada para el aterrizaje.

1.2.3.2 En ciertos casos, algunos sectores del circuito visual no serán esenciales para las operaciones de aeronaves y, si pueden establecerse procedimientos para conseguir que las aeronaves no vuelen en tales sectores, no será necesario extender a éstos la protección proporcionada por la superficie horizontal interna. Las autoridades competentes pueden seguir un criterio similar cuando se hayan establecido procedimientos, y se proporcione guía para la navegación, con los cuales se logre que las aeronaves sigan trayectorias definidas de aproximación y de aproximación frustrada.

1.2.3.3 Si la protección del circuito visual para las aeronaves más lentas que utilizan pistas más cortas puede lograrse mediante una superficie horizontal interna circular única, cuando aumenta la velocidad de la aeronave puede ser necesario adoptar una configuración de hipódromo (similar a la que figura en los PANS-OPS) y utilizar arcos circulares con centro en los extremos de las pistas, unidos por rectas tangentes. Para proteger dos o más pistas muy separadas entre sí puede ser necesario establecer una configuración aún más compleja, con cuatro o más arcos de círculo. Las Figuras 1-1 y 1-2 ilustran ambas situaciones respectivamente.

1.2.3.4 *Elevación de referencia para la superficie horizontal interna.* Para conseguir el objetivo de la superficie horizontal interna, descrito anteriormente, es conveniente que las autoridades adopten como referencia una elevación a base de la cual se determine la altura de la superficie horizontal interna. Al elegir esta elevación de referencia, deberían tenerse en cuenta los siguientes factores:

- a) las elevaciones de los puntos de referencia que se utilicen más frecuentemente para reglaje de altímetro;
- b) las altitudes mínimas de vuelo en circuito utilizadas o que se requieran; y
- c) la naturaleza de las operaciones que se lleven a cabo en el aeropuerto.

En las pistas relativamente a nivel, la elección de la elevación de referencia no es crítica, pero cuando las elevaciones de los umbrales difieren en más de 6 m, la referencia que se elija debería tener especialmente en cuenta los factores antedichos. En el caso de superficies horizontales internas complejas (Figura 1-2), no es esencial una elevación común, pero cuando las superficies se superponen, debe considerarse más importante la superficie más baja.

### 1.2.4 Superficies de aproximación y de transición

1.2.4.1 Estas superficies definen la parte del espacio aéreo que debería mantenerse libre de obstáculos para proteger a los aviones durante la fase final de la maniobra de aproximación para el aterrizaje. Sus pendientes y dimensiones variarán dependiendo de la clave de referencia del aeródromo y de si la pista se utiliza para aproximaciones visuales, de precisión o que no son de precisión.

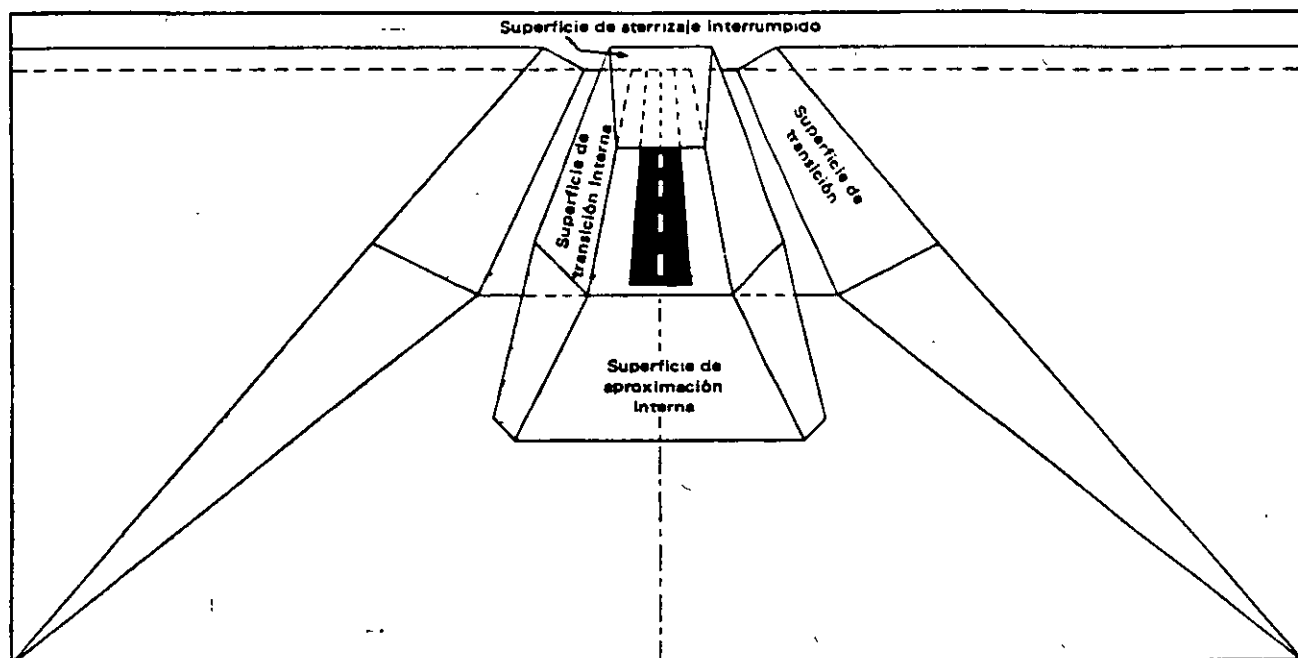


Figura 1-3.

### 1.2.5 Superficie de ascenso en el despegue

1.2.5.1 Esta superficie proporciona protección para las aeronaves durante el despegue, indicando qué obstáculos deberían eliminarse, si ello es posible, y señalarse o iluminarse si la eliminación es imposible. Las dimensiones y pendientes también varían dependiendo de la clave de referencia del aeródromo.

### 1.2.6 Superficies de aproximación interna, de transición interna y de aterrizaje interrumpido

1.2.6.1 En su conjunto, estas superficies (véase la Figura 1-3) definen aquella parte del espacio aéreo en la vecindad inmediata de las pistas para aproximaciones de precisión, conocida como zona despejada de obstáculos (OFZ). Esta zona se mantendrá libre de objetos fijos, aparte de las ayudas para la navegación aérea, montadas en soportes ligeros y frangibles, que deben encontrarse cerca de la pista para llevar a cabo su cometido, y de objetos transitorios tales como aeronaves y vehículos cuando la pista se utilice para aproximaciones ILS de las Categorías II ó III. Cuando se establezca una OFZ para una pista de aproximación de precisión de la Categoría I, tiene que estar libre de esos objetos cuando la pista se utilice para hacer aproximaciones ILS de la Categoría I.

1.2.6.2 La OFZ que se establezca en relación con una pista para aproximaciones de precisión de número de clave 3 ó 4 tiene por objeto proteger a los aviones cuya envergadura sea de 60 m en aproximaciones de precisión por debajo de

una altura de 30 m, correctamente alineados con la pista a dicha altura, para permitir que puedan ascender siguiendo una pendiente del 3,33% y con una divergencia, respecto al eje de la pista, de un 10% como máximo. La pendiente de 3,33% es la más baja que se permite para el aterrizaje interrumpido con todos los motores en funcionamiento, correspondiente a la distancia de aceleración-parada. La distancia horizontal de 1 800 m desde el umbral hasta el principio de la superficie de aterrizaje interrumpido se basa en la suposición de que el último punto en que puede iniciarse la maniobra de aproximación interrumpida es el final de la iluminación de zona de toma de contacto y que los cambios de configuración de la aeronave, para obtener una pendiente de ascenso positiva, exigirán normalmente una distancia suplementaria de 900 m, equivalente a un tiempo máximo de unos 15 s. La pendiente del 33,33% de la superficie de transición interna corresponde a la superficie resultante de la aplicación de una pendiente de ascenso del 3,33% con una divergencia del 10%. Esta divergencia del 10% se basa en la dispersión de los datos recopilados con los programas realizados por dos Estados.

1.2.6.3 La OFZ correspondiente a las pistas para aproximaciones de precisión de la Categoría I, con número de clave 1 ó 2, tiene por objeto proteger a los aviones, cuya envergadura es de 30 m, para permitirles que puedan ascender siguiendo una pendiente del 4% y con una divergencia, respecto al eje de la pista, de un 10% como máximo. La pendiente del 4% es la correspondiente a la superficie de ascenso para despegue normal de este tipo de avión. Combinada con una divergencia del 10%, da como resultado

una pendiente del 40% para las superficies de transición interna. La superficie de aterrizaje interrumpido comienza a 60 m más allá del extremo de la pista más alejado con respecto del umbral y coincide con la superficie de ascenso para el despegue, correspondiente a la pista en cuestión.

### 1.3 SUPERFICIES DE LOS PANS-OPS

#### 1.3 Generalidades

1.3.1.1 Las superficies de los PANS-OPS tienen por objeto su utilización por los diseñadores de procedimientos, fundamentalmente para la construcción de procedimientos de vuelo por instrumentos, destinados a evitar colisiones con obstáculos cuando se realizan vuelos por instrumentos. Al diseñar los procedimientos, el diseñador determinará las zonas (horizontales) necesarias para los diversos tramos del procedimiento. Posteriormente, analizará los obstáculos dentro de determinadas zonas y, a base de este análisis, especificará las alturas/altitudes mínimas de seguridad para cada tramo del procedimiento, que utilizarán los pilotos.

1.3.1.2 La altitud/altura mínima de seguridad especificada para la fase de aproximación final de un vuelo se denomina "altitud/altura de franqueamiento de obstáculos (OCA/H)". Los procedimientos de aproximación frustrada, iniciados por el piloto a esta altitud/altura, o por encima de ella, asegurarán que, aun si el piloto no posee referencia visual exterior con respecto al suelo en punto alto, el avión pasará sin dificultad por encima de todos los obstáculos que puedan representar peligros. El piloto puede descender por debajo de la OCA/H solamente cuando se haya cerciorado visualmente de que el avión está correctamente alineado con la pista y de que existen suficientes referencias visuales para continuar la aproximación. Se permite que el piloto suspenda la aproximación en cualquier punto por debajo de la OCA/H, por ejemplo, si ha perdido la referencia visual requerida. Dicha aproximación frustrada tardía se denomina aterrizaje interrumpido. Debido a que el punto de iniciación del procedimiento de aterrizaje interrumpido se conoce con más precisión que el punto de iniciación del procedimiento de aproximación frustrada, solamente es necesario proteger un espacio aéreo más reducido.

*Nota. — No todo el texto anterior se aplica a las operaciones de Categoría III realizadas sin altura de decisión*

1.3.1.3 El volumen y las dimensiones del espacio aéreo despejado de obstáculos, necesarios para hacer la aproximación, la aproximación frustrada iniciada a la OCA/H o por encima de ella y para el procedimiento en maniobra visual (en circuito), se especifican en los PANS-OPS. Los aviones que continúan el descenso por debajo de la OCA/H especificada y, por lo tanto, con confirmación visual de que están correctamente alineados, están protegidos con respecto a los obstáculos por medio de las superficies limitadoras de obstáculos previstas en el Anexo 14 y por los requisitos conexos en materia de restricción y señalamiento/iluminación de obstáculos. Análogamente, la superficie

del Anexo 14 proporciona protección para el aterrizaje interrumpido. En condiciones que no sean de mala visibilidad pudiera ser necesario que el piloto tenga que evitar visualmente algunos obstáculos.

1.3.1.4 El espacio aéreo requerido para la aproximación (incluso la aproximación frustrada y el vuelo en circuito visual) está limitado por superficies que no siempre coinciden con las superficies limitadoras de obstáculos previstas en el Anexo 14. En el caso de una aproximación que no sea de precisión, aproximación frustrada y maniobra visual, las superficies tienen una forma relativamente simple. Las Figuras 1-4 y 1-5 muestran secciones transversales características de dicho espacio aéreo despejado de obstáculos. La vista en planta de dicha zona despejada de obstáculos depende de las características de la instalación para la navegación utilizada en la aproximación, pero no de las características del avión en cuestión. La Figura 1-6 muestra una vista en planta característica.

1.3.1.5 En el caso de aproximaciones de precisión, la forma del espacio aéreo despejado de obstáculos se vuelve más complicada, debido a que depende de variables tales como las características propias del avión (dimensiones, equipo, performance) y las características de la instalación ILS en cuestión (categoría de actuación de la instalación, altura del punto de referencia, anchura del rumbo del localizador y distancia entre el umbral y la antena del localizador). El espacio aéreo puede estar limitado por superficies planas o curvas que han dado como resultado la introducción de "superficies ILS básicas", "superficies de evaluación de obstáculos (OAS)" y del modelo de riesgo de colisión (CRM) (véanse 1.3.2 y 1.3.4 a continuación).

1.3.2 *Superficies ILS básicas.* Las "superficies ILS básicas", definidas en los PANS-OPS, representan la forma más simple de protección para las operaciones ILS. Estas superficies son ampliaciones de ciertas superficies del Anexo 14, con referencia a todo el tramo hasta el nivel del umbral y modificadas después de éste para proteger la aproximación frustrada por instrumentos. No obstante, el espacio aéreo limitado por las superficies ILS básicas resulta, por lo general, demasiado restringido y, por lo tanto, se especifica en los PANS-OPS otro conjunto de superficies denominadas "superficies de evaluación de obstáculos".

1.3.3 *Superficies de evaluación de obstáculos.* La superficie de evaluación de obstáculos establece una parte del espacio aéreo dentro de la cual se supone que estarán contenidas, con muchísimas probabilidades, las trayectorias de vuelo de los aviones que efectúan aproximaciones ILS y las aproximaciones frustradas subsiguientes. Por lo tanto, normalmente sólo habrá que proteger a los aviones con respecto a los obstáculos que penetran en este espacio aéreo; por lo general, los objetos que no penetran en dicho espacio aéreo no representan peligro alguno para las operaciones ILS. No obstante, si por debajo de la OAS la densidad de obstáculos resulta muy elevada, éstos se agregarán al riesgo total y, por consiguiente, habrá que evaluarlos (véase 1.5.2). El espacio aéreo superior (embudo) se ilustra



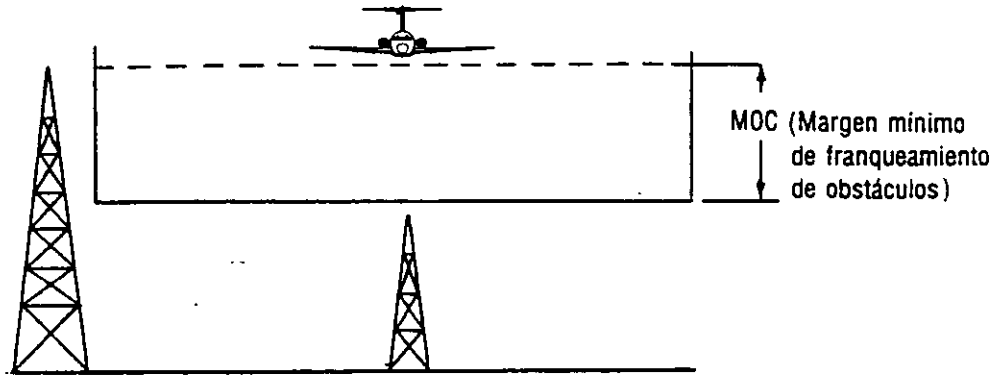


Figura 1-4.

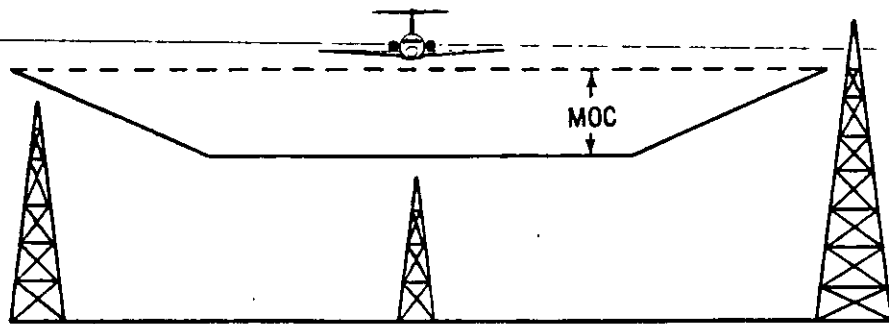


Figura 1-5.

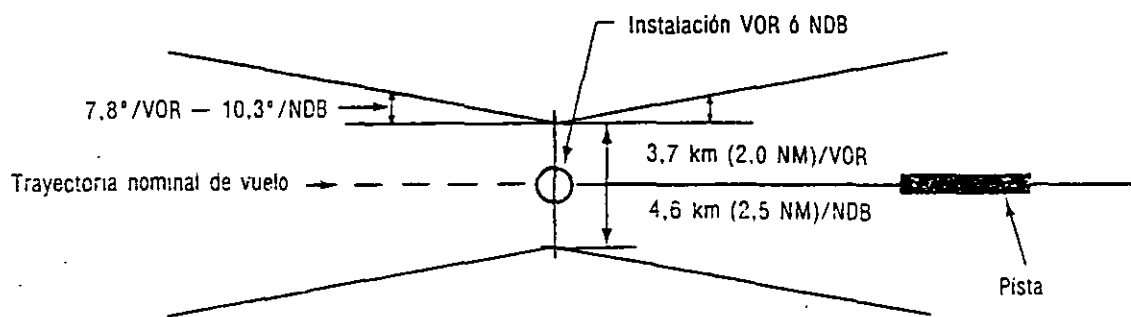


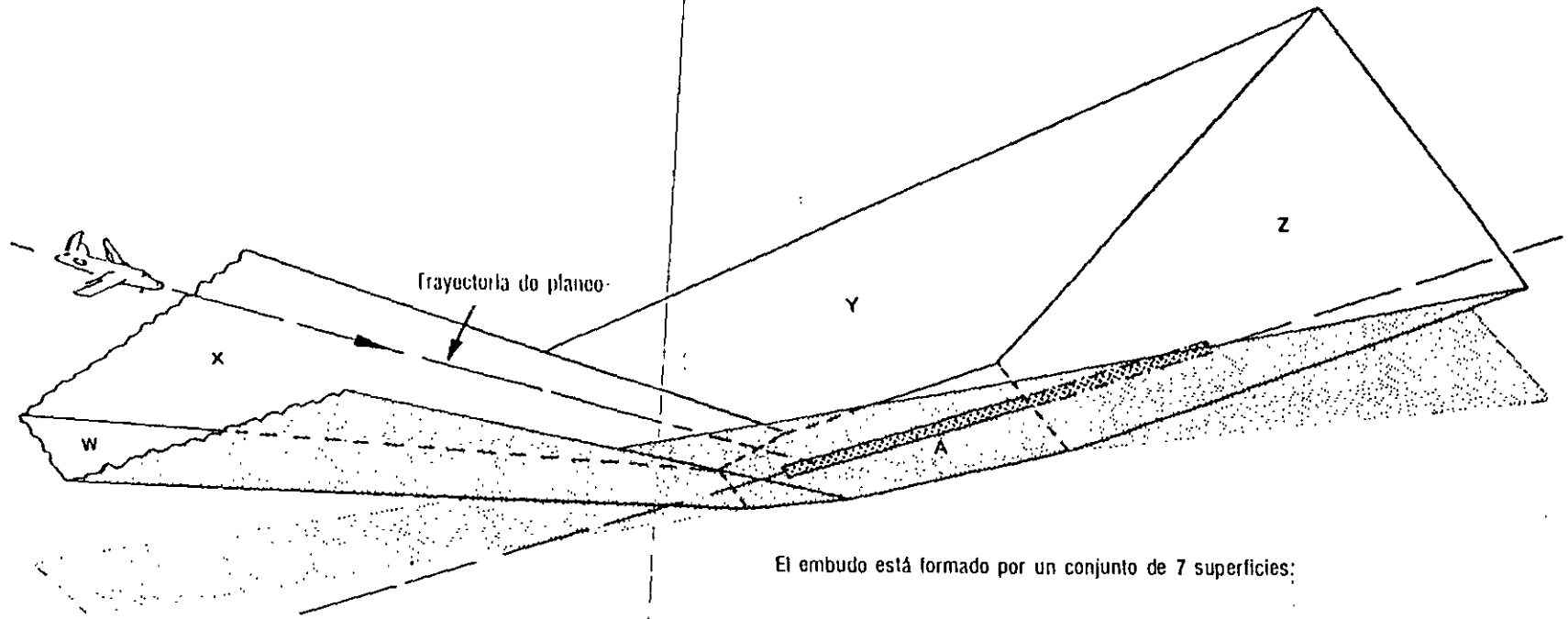
Figura 1-6.

en la Figura 1-7. Está constituido por un conjunto de superficies planas: una superficie de aproximación (W), una superficie terrestre o "huella en el suelo" (A) y una superficie de aproximación frustrada (Z), todas ellas limitadas por superficies laterales (X e Y). Las dimensiones de dichas superficies están tabuladas en los PANS-OPS, Volumen II. Los límites laterales del embudo representan estimaciones de la divergencia máxima de un avión respecto al eje de la pista durante la aproximación y la aproximación frustrada, de modo que la probabilidad de que un avión toque el embudo en un punto determinado, es igual o inferior a  $1:10^{-7}$ . Las trayectorias de vuelo probables, tanto verticales como laterales, para los aviones que siguen los haces ILS durante la aproximación, se han basado en la consideración de posibles tolerancias del equipo de navegación, tanto terrestre como de a bordo, y en la medida en la cual el piloto puede permitir que el avión se desvía respecto al haz cuando intenta seguir la guía ILS (pilotaje). Las trayectorias de vuelo probables de la aproximación frustrada se basan en hipótesis arbitrarias de performance mínima en el ascenso y ángulo máximo de divergencia del avión durante la maniobra de aproximación frustrada. Obsérvese que, según se menciona en 1.3.1.5, las dimensiones exactas del embudo varían dependiendo de varios factores. Una vez definido este volumen de espacio aéreo, se puede calcular fácilmente la OCA/H que protegería al avión con respecto de todos los obstáculos. La diferencia entre las superficies ILS básicas y la OAS consiste en que las dimensiones de esta última se basan en un conjunto de datos sobre performance de las aeronaves en las aproximaciones de precisión ILS en condiciones meteorológicas reales de vuelo por instrumentos, en vez de las superficies del Anexo 14

1.3.4 *Modelo de riesgo de colisión ILS (CRM)*. El embudo de aproximación de la OAS se diseñó a base de un presupuesto de riesgos total de un accidente por 10 millones de aproximaciones (es decir, un nivel de seguridad de

$1 \times 10^{-7}$  por aproximación). Una de las consecuencias de lo anterior fue la necesidad de aplicar un criterio operacional para evaluar la densidad aceptable de los obstáculos en las vecindades de la OAS, aunque éstos pudieran estar por debajo de la superficie propiamente dicha. Además, las OAS resultaban sobreprotectoras en ciertas áreas debido a que eran superficies planas relativamente simples destinadas a contener una forma compleja y permitir la aplicación manual fácil. Como consecuencia de estos factores, se elaboró un método más perfeccionado de relacionar las alturas y emplazamientos de los obstáculos con el riesgo total y con la OCA/H. Este método fue integrado a un programa de computadora denominado Modelo de riesgo de colisión (CRM). Dicho programa permite obtener una evaluación mucho más real de las consecuencias de los obstáculos, tanto individual como colectivamente. La construcción del embudo de aproximación (que se ilustra en la Figura 1-8) implica la realización de algunos cálculos matemáticos muy precisos y no puede realizarse manualmente. No obstante, su aplicación resulta sencilla debido a que todos los cálculos los hace una computadora. El modelo de riesgo de colisión está ampliamente disponible (la OACI ofrece el servicio y el programa pueden adquirirlo los usuarios interesados. En 1.5 se proporcionan más detalles al respecto).

1.3.5 *Maniobras de vuelo visual (procedimiento en circuito)*. Las maniobras de vuelo visual (procedimiento en circuito) que se describen en los PANS-OPS consisten en la extensión visual de un procedimiento de aproximación por instrumentos. Las dimensiones de la zona correspondiente a una maniobra de vuelo visual (en circuito) dependen de la velocidad de vuelo. Cuando existe un obstáculo prominente, es posible eliminar de la consideración un sector particular mediante el establecimiento de procedimientos operacionales apropiados. En muchos casos, las dimensiones del área serán considerablemente mayores que las comprendidas por la superficie horizontal interna del Anexo 14. Por lo tanto,



El embudo está formado por un conjunto de 7 superficies:

- Superficie de aproximación W y dos superficies de aproximación X (véase Figura 4).
- "Huella en el suelo" A.
- Superficie de aproximación frustrada Z.
- Dos superficies de transición Y.

Figura 1-7 Embudo de aproximación (OAS)

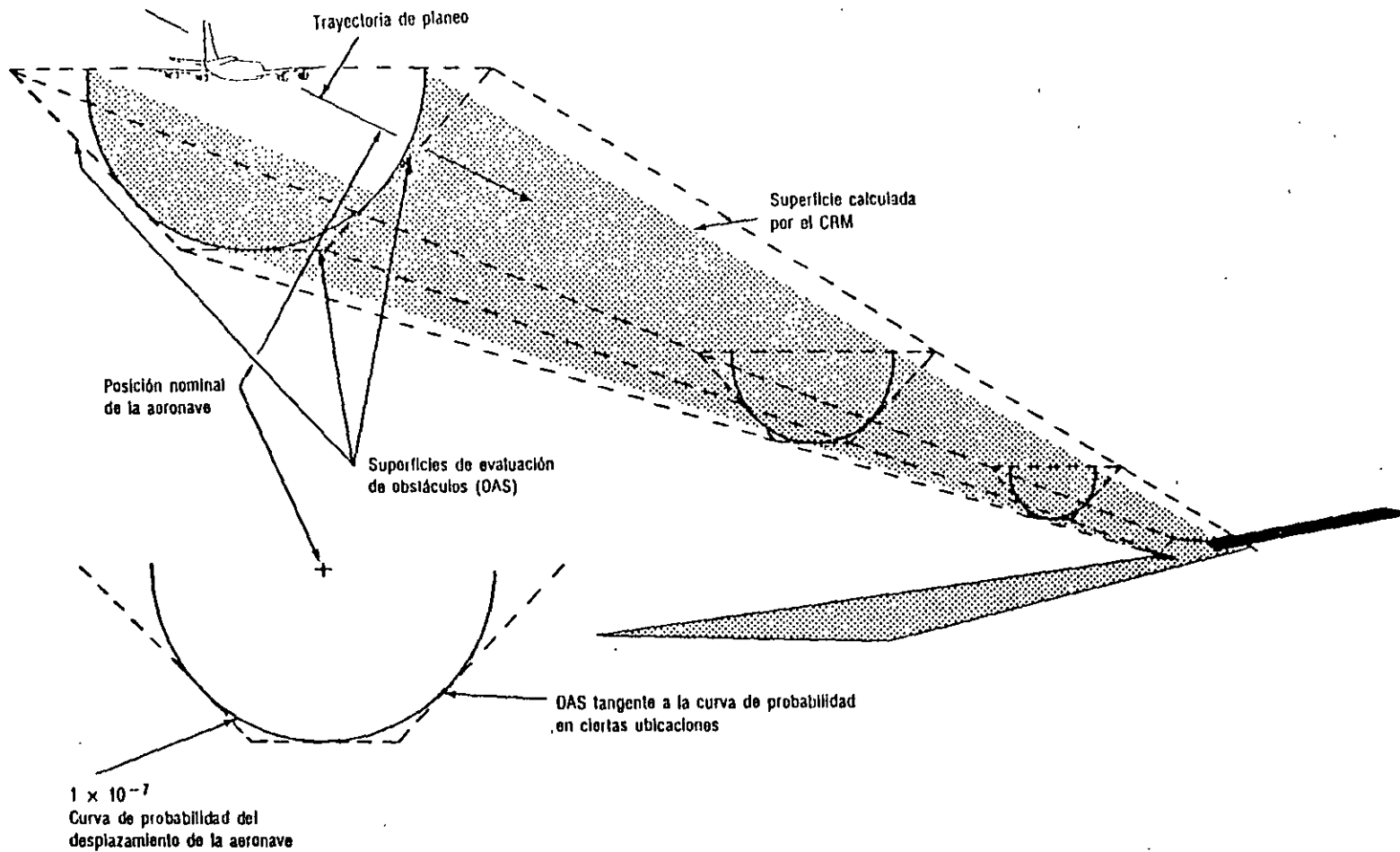


Figura 1-8. Embudo de aproximación (CRM)

las altitudes/alturas de vuelo en circuito, calculadas con arreglo a los PANS-OPS para las operaciones reales pueden ser mayores que las basadas solamente en aquellos obstáculos que penetran la zona cubierta por la superficie horizontal interna.

1.3.6 *Mínimos operacionales.* En conclusión, cabe destacar que una pista protegida solamente por las superficies limitadoras de obstáculos especificadas en el Anexo 14 no permitirá, necesariamente, el logro de los mínimos operacionales más bajos posibles si, al mismo tiempo, no satisface lo previsto en los PANS-OPS. En consecuencia, debe prestarse la debida consideración a los objetos que penetran las superficies indicadas en los PANS-OPS, independientemente de si penetran, o no, la superficie limitadora de obstáculos indicada en el Anexo 14 y cuando dichos obstáculos pueden constituir riesgos desde el punto de vista operacional.

#### 1.4 COMPARACION ENTRE LAS SUPERFICIES DE TRANSICION INTERNA Y DE ATERRIZAJE INTERRUMPIDO Y LAS SUPERFICIES "Y" Y DE APROXIMACION FRUSTRADA

1.4.1 Al establecer la zona despejada de obstáculos para las operaciones de aproximación de precisión de la Categoría II, el Grupo de expertos sobre franqueamiento de obstáculos (OCP) introdujo las superficies denominadas de transición interna y de de obstáculos (OCP) introdujo las superficies denominadas de transición interna y de aterrizaje interrumpido. Al elaborar los nuevos procedimientos de aproximación que figuran en los PANS-OPS, Volumen II (primera edición), en vez de utilizar estas superficies para la evaluación de obstáculos, el OCP utilizó la superficie "Y" y una nueva superficie denominada superficie de aproximación frustrada (véase la Figura 1-7). Ambos conjuntos de superficies son necesarios. Al determinar la necesidad de estos dos conjuntos, debe tenerse en cuenta la diferencia entre los objetivos del Anexo 14 y los de los PANS-OPS. Las superficies que figuran en los PANS-OPS tienen por finalidad evaluar las consecuencias de los objetos con respecto a la determinación de la altura de franqueamiento de obstáculos, la cual, a su vez, se utiliza para determinar los mínimos de aproximación y garantizar que se logre el nivel de seguridad aceptable mínimo (es decir, que la probabilidad de colisión con los objetos no supere el  $1:10^{-7}$ ). Las superficies del Anexo 14 tienen por finalidad definir los límites alrededor de los aeropuertos hasta los cuales puede extenderse la presencia que los PANS-OPS proporcionan evaluación de obstáculos para las operaciones hasta el nivel de la altura de franqueamiento de obstáculos y, en cuanto a la mayoría de aviones, para poder hacer aproximaciones frustradas, con un motor inactivo, a dicha altura o por encima de ella. Las superficies del Anexo 14 tienen por objeto proteger los aterrizajes desde la altura de

franqueamiento de obstáculos o los aterrizajes interrumpidos que se ejecutan con todos los motores en funcionamiento e iniciados por debajo de la altura de franqueamiento de obstáculos. En el caso de aproximaciones frustradas, las superficies de los PANS-OPS (véanse 1.3.2 a 1.3.4), que incluyen una superficie de aproximación frustrada, son las superficies dominantes. Las superficies de evaluación de obstáculos (OAS) están ubicadas por debajo de una parte de la superficie de aproximación interna, establecida en el Anexo 14, y por debajo de la parte de la superficie de transición más cercana al extremo de la zona de toma de contacto. En estos casos, las superficies del Anexo 14 se utilizan para determinar la OCH. En los aterrizajes y en los aterrizajes interrumpidos las superficies de transición interna y de aterrizaje interrumpido son las superficies dominantes.

1.4.2 Las superficies de los PANS-OPS y del Anexo 14 difieren por varias razones. La aproximación frustrada debe ejecutarse a la altura de franqueamiento de obstáculos o por encima de ésta. En este punto, no puede suponerse que la alineación de la aeronave con la pista sea tan buena como en el caso del aterrizaje interrumpido, dado que el piloto puede no haber obtenido referencias visuales con respecto de la pista. La anchura necesaria para ejecutar la aproximación frustrada es, por lo tanto, mayor que la requerida para el aterrizaje interrumpido; así pues, se utilizan las superficies de transición que están más separadas que las de transición interna. En segundo lugar, dado que puede suponerse que la aproximación frustrada se ejecute con un motor inactivo, la velocidad de ascenso será inferior a la correspondiente a un aterrizaje interrumpido ejecutado con todos los motores en funcionamiento y, en consecuencia, la pendiente de la superficie de aproximación frustrada debe ser menor que la correspondiente a la superficie de aterrizaje interrumpido. Ya que la operación de aproximación frustrada debe comenzarse, por definición, a la altura de franqueamiento de obstáculos o por encima de ella, el origen de la superficie de aproximación frustrada puede encontrarse más cerca del umbral que el de la superficie de aterrizaje interrumpido.

#### 1.5 ANTECEDENTES DEL MODELO DE RIESGO DE COLISION

1.5.1 El modelo de riesgo de colisión (CRM) es un programa de computadora que calcula la probabilidad de colisiones con los obstáculos para los aviones que ejecuten aproximaciones ILS y las subsiguientes aproximaciones frustradas. El CRM fue elaborado por el Grupo de expertos sobre franqueamiento de obstáculos como resultado de un extenso programa de reunión de datos seguido de análisis matemáticos detallados. En CRM constituye una parte importante de los criterios relativos a las operaciones ILS que se describen en la Parte III de los PANS-OPS, Volumen II.

1.5.2 Los cálculos en materia de evaluación y de franqueamiento de obstáculos pueden llevarse a cabo utilizando superficies de evaluación de obstáculos (véase 1.3.3). No obstante, este método manual, si bien sencillo en

cuanto a su concepto, implica la realización de cálculos numéricos tediosos e insume, por consiguiente, un tiempo excesivo, particularmente si el número de obstáculos es elevado. Además, tiene dos deficiencias importantes.

- a) En primer lugar, el requisito de que la OAS tenga una geometría sencilla (un conjunto de superficies planas) para permitir la fácil aplicación manual de los criterios, da como resultado que las superficies resulten sobreprotectoras en ciertas zonas, en particular en la vecindad de las pistas. Esta es, precisamente, la zona en la que la probabilidad de la presencia de obstáculos críticos es mayor (antena de trayectoria de planeo, aeronaves en espera, etc.). Por lo tanto, con arreglo a los criterios OAS dichos obstáculos pueden impedir, innecesariamente, que los aviones operen con mínimos reducidos.
- b) En segundo lugar, la utilización de las OAS implica que estas superficies pueden transformarse en verdaderos muros sólidos sin que existan limitaciones operacionales en términos del aumento de la OCA/H. Claramente, semejante situación podría ir en desmedro de la seguridad. Si se deja enteramente a criterio del especialista en procedimientos el establecer en qué punto hay una densidad excesiva de obstáculos en torno a la pista, podría llevar a una limitación operacional insuficiente.

1.5.3 Así pues, aunque los criterios OAS tienen por objeto lograr determinado nivel de seguridad deseado, pueden también resultar en la imposición de un nivel de seguridad mayor y, por ende, impedir innecesariamente la

realización de operaciones con mínimos reducidos; o, por el contrario, comprometer la seguridad de las operaciones por debajo de los niveles requeridos. En respuesta a estos problemas se ha elaborado el CRM. Este modelo proporcionará:

- a) cálculos de riesgo (por separado para todos los obstáculos y para obstáculos individuales) correspondientes a determinado conjunto de condiciones y medio circundante de la pista; y
- b) valores OCA u OCH mínimos aceptables correspondientes a determinado conjunto de condiciones y medio circundante de la pista.

1.5.4 El CRM también puede utilizarse para prestar asistencia en:

- a) la planificación de aeródromos (en la evaluación de posibles emplazamientos de nuevas pistas en determinado medio geográfico y obstáculos circundantes);
- b) la decisión de si debe eliminarse, o no, un objeto existente; y
- c) la decisión de si determinada nueva construcción ocasionaría o no alguna limitación operacional (es decir, el aumento de la OCA/H).

1.5.5 En el Doc 9274-AN/904, *Manual de utilización del modelo de riesgo de colisión (CRM) para las operaciones ILS*, se proporciona una descripción completa del CRM e instrucciones para su utilización.

## Capítulo 2

# Limitación de obstáculos en los aeropuertos

### 2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 En los albores de la aviación, se consideraba que la propiedad del terreno se extendía hasta el centro de la tierra y hacia arriba sin limitación. Por consiguiente, el propietario podía erigir estructuras de altura ilimitada y hubiera constituido una transgresión de sus derechos toda intromisión de terceros en el espacio aéreo de su terreno. Según este criterio, para que una aeronave pudiera volar sobre terrenos privados, no importa a qué altura, era necesario que cada propietario le concediera el correspondiente permiso. Es evidente que este modo de pensar hubiera impedido el progreso de la aviación civil y del transporte regular por vía aérea. Paso a paso, los tribunales de justicia y las leyes han modificado el derecho de propiedad, haciendo que los derechos del propietario se extiendan con carácter exclusivo solamente al espacio aéreo de terreno y hasta la altura máxima que pueda razonablemente utilizar, quedando libre el derecho de tránsito por encima de tal altura.

2.1.2—Cuando los edificios penetran en el espacio aéreo necesario para las operaciones de las aeronaves se suscita un conflicto de intereses entre los propietarios del terreno y los explotadores de aeropuertos. Si éstos no llegaran a un acuerdo, pudiera ser necesario que las autoridades nacionales, a quienes incumbe la responsabilidad de aprobar los procedimientos de explotación de las aeronaves, establecieran restricciones limitando las operaciones para fines de seguridad. Estas restricciones pudieran consistir en obligar a desplazar el umbral (con la consiguiente disminución de la longitud efectiva de la pista), en mínimos meteorológicos más elevados para las operaciones, en la disminución de la masa autorizada de las aeronaves y quizá en excluir algunos tipos de éstas. Cualquiera de estas medidas influiría notablemente en el transporte aéreo ordenado y eficiente hacia un aeropuerto y perjudicaría los intereses económicos de la población que utiliza el aeropuerto.

2.1.3 La limitación de los obstáculos en las cercanías de los aeropuertos es, por tanto, un asunto que interesa y preocupa a los gobiernos nacionales, a las poblaciones circundantes, a los propietarios de terrenos y a los explotadores de aeropuertos. Todos ellos pueden ver afectada la defensa de sus intereses por varias razones de orden jurídico, económico, social y político en lo tocante a determinado aeropuerto en el que ya existen obstáculos. Aun en el caso ideal del establecimiento de un nuevo aeropuerto en una

zona en la que no existan obstáculos, quizá sería difícil impedir que surgieran nuevos obstáculos, pues es un hecho histórico que los aeropuertos se han venido extendiendo hacia las poblaciones vecinas y que al mismo tiempo las poblaciones han crecido en dirección a las zonas limítrofes de los aeropuertos. Las partes interesadas deberían esforzarse en impedir que aparezcan nuevos obstáculos y en procurar suprimir o reducir la altura de los ya existentes.

### 2.2 AUTORIDAD Y RESPONSABILIDAD EN EL ORDEN JURIDICO

2.2.1 En general, los gobiernos nacionales tienen fundamentalmente la autoridad, y a ellos incumbe, en primer lugar, la responsabilidad de establecer normas y criterios de limitación de obstáculos y de orientar y prestar ayuda a quienes estén directamente afectados. Los criterios deben corresponder con las superficies limitadoras de obstáculos mencionadas en el Capítulo 1, y deben ser compatibles con los expuestos en el Capítulo 4 del Anexo 14. Además, las autoridades nacionales deben indicar claramente a la población y a las autoridades aeroportuarias los problemas de índole social y económica que se presentarían si no se lograra que las superficies limitadoras de obstáculos se mantuvieran despejadas.

2.2.2 Las entidades gubernamentales, además de establecer criterios, deberían, cuando sea posible o necesario, autorizar a las autoridades municipales del lugar a reglamentar la zonificación, con objeto de imponer límites a la altura de los edificios y de los árboles, de forma que en el futuro se reduzca al mínimo la penetración de las superficies limitadoras de obstáculos. Los gobiernos también deberían autorizar a los explotadores de los aeropuertos (o a los municipios del lugar) a que adquieran servidumbres aéreas o derechos de propiedad (siempre que no esté ya concedida tal autorización), incluso el derecho de expropiación por razones de utilidad pública. Los gobiernos pudieran también adoptar disposiciones que obligaran a notificar la posible existencia de obstáculos, a fin de garantizar la seguridad de las operaciones de las aeronaves.

2.2.3 Las autoridades municipales o regionales, las entidades planificadoras y las autoridades que otorgan los permisos de construcción deberían, cuando estén debida-

mente autorizadas, reglamentar la zonificación de alturas, que tenga en cuenta las correspondientes superficies limitadoras de obstáculos y, con el mismo criterio, poner límites con miras al futuro. Se podría exigir que los propietarios de fincas y los planificadores notificasen formalmente todo proyecto de obra que pudiera penetrar alguna de las superficies limitadoras de obstáculos. Las autoridades locales deberían cooperar estrechamente con los explotadores de los aeropuertos para que las medidas adoptadas garantizaran el máximo grado de seguridad y eficiencia posible en relación con las operaciones de las aeronaves, los máximos beneficios económicos para las poblaciones circundantes y la menor limitación posible de los derechos de los propietarios.

2.2.4 En la práctica, la limitación y regulación de los obstáculos incumbe, en último término, a los explotadores de los aeropuertos. Esta responsabilidad consiste en limitar los obstáculos en los terrenos del aeropuerto y en procurar que se supriman o que disminuyan de altura los obstáculos existentes fuera de sus límites. Para cumplir con esta última responsabilidad quizá sea preciso negociar la adquisición o la expropiación (con la autorización debida) de servidumbres, o de los títulos de propiedad.

2.2.5 Todos los administradores de aeropuertos deberían designar a alguien del personal para que tenga a su cargo garantizar que las zonas de aproximación, de salida y de maniobras del aeropuerto estén libres de los obstáculos que comprometan la seguridad. El administrador del aeropuerto, o quien éste haya designado, debe trabajar en estrecha colaboración con las entidades gubernamentales a nivel nacional y local, para cerciorarse de que se han dado todos los pasos posibles para evitar la erección de nuevos obstáculos, e informar a las autoridades encargadas de la zonificación acerca del emplazamiento, longitud, orientación y elevación de las pistas, datos en los que se basa la construcción de las superficies limitadoras de obstáculos. Todo administrador de aeropuertos debe vigilar constantemente para que no se levanten nuevos obstáculos alrededor del aeropuerto y poner en conocimiento de otras entidades las dificultades, incumbencia de éstas, que pudieran suscitarse. Para cumplir con estas obligaciones, todo administrador de aeropuertos debería organizar un programa de visitas de inspección, regulares y frecuentes, a todas las zonas circundantes del aeropuerto para estar seguro de que no se ha iniciado ninguna obra ni se ha descubierto ningún obstáculo natural (por ejemplo, árboles) que puedan trasgredir alguna de las superficies limitadoras de obstáculos, antes de que constituyan un problema. Este programa de visitas debería incluir la observación diaria de todas las luces de obstáculos, tanto en el aeropuerto como fuera de él, y las medidas que hubiera que tomar en caso de avería de las luces.

2.2.6 Resumiendo, una vez que los gobiernos nacionales hayan establecido las normas y criterios necesarios, los métodos más importantes, a disposición de las autoridades municipales y de los explotadores de aeropuertos, para

limitar los obstáculos son los siguientes: zonificación de alturas, adquisición de derechos de servidumbre y compra de fincas. A continuación se analizan detalladamente estos temas.

## 2.3 ZONIFICACION DE ALTURAS

2.3.1 La promulgación de reglamentos de zonificación que impongan límites a las alturas de los edificios, de acuerdo con las superficies limitadoras de obstáculos de los aeropuertos, es un proceso difícil y complicado, pero necesario. En el Apéndice 2 figura un modelo de ordenanza de zonificación que permite lograr este objetivo. En general, todo núcleo de población que desee adoptar una ordenanza similar tiene que obtener, de autoridades estatales más altas, la autorización necesaria. Incluso cuando se ha obtenido tal autorización, la zonificación de alturas, como sistema de protección de los aeropuertos, pudiera tener importantes limitaciones.

2.3.2 Es principio jurídico bien fundado, que la zonificación no puede privar al propietario del terreno del derecho a utilizarlo sin indemnización apropiada. Muchos tribunales han anulado ordenanzas de zonificación de alturas al alegar los propietarios que se las coartaba el ejercicio de sus derechos de propiedad.

2.3.3 Por estas razones, la efectividad de una zonificación de alturas es muy limitada, sobre todo en las zonas más críticas cercanas a los extremos de las pistas, en las que las alturas permitidas por las superficies limitadoras de obstáculos son muy reducidas. En todo reglamento de zonificación de alturas hay que tener en cuenta este hecho y permitir una altura mínima razonable en consonancia con la utilización del terreno circundante. Aún así, cabe esperar que la oposición local a las operaciones de las aeronaves y a cualquier forma de limitación del derecho de propiedad ocasione litigios que lleven eventualmente a la invalidación de las ordenanzas de zonificación, a no ser que éstas estén cuidadosamente redactadas.

2.3.4 Ni la zonificación de alturas ni cualquier otra forma de zonificación pueden tener carácter retroactivo. Los edificios y árboles ya existentes que sobrepasan los límites de zonificación permitidos continuarán, en general, autorizados, aunque no se atengan a lo actualmente prescrito. En el caso de obstáculos de esta índole habrá que recurrir a otros métodos, tales como la adquisición de derechos de servidumbre o de derechos de propiedad.

2.3.5 El hecho de que las superficies limitadoras de obstáculos de un aeropuerto puedan coincidir con propiedades de distintos municipios, independientes unos de otros, o jurisdicciones, dificulta todavía más la zonificación efectiva. Los explotadores de los aeropuertos no pueden zonificar sino que dependen de la cooperación de los municipios vecinos. En algunos casos, pueden intervenir hasta 30 o 40 jurisdicciones distintas, entre las cuales algunas quizá no cooperen. En algunos casos, las esferas estatales superiores han autorizado la formación de grupos regionales



de planificación con autoridad para adoptar normas uniformes de planificación. Por ejemplo, en un caso particular, un Estado ha autorizado la creación de juntas de planificación de aeropuertos de las que son miembros el explotador del aeropuerto y los municipios circundantes. La junta puede limitar la utilización del terreno por una distancia de 3,2 km de los límites del aeropuerto en las zonas de aproximación y por una distancia de 1,6 km en las otras zonas. La junta puede también implantar la zonificación restrictiva de alturas en el ámbito comprendido entre 1,6 y 2,4 km desde los límites del aeropuerto.

2.3.6 Según se ha indicado, la zonificación del terreno puede también servir, en algunas áreas, para impedir que aparezcan menos obstáculos. Siempre que sea posible, la zonificación de terrenos baldíos puede hacerse a base de que se utilicen para fines que normalmente no requieran estructuras elevadas. Como ejemplos se pueden citar: la agricultura, campos de recreo, parques, cementerios, estacionamiento de vehículos y edificios industriales bajos (de una planta).

2.3.7 En los ejemplos de ordenanzas de zonificación esbozadas en el Apéndice 2, figura en general una exposición de la finalidad o necesidad de las medidas; una descripción de las superficies limitadoras de obstáculos, que deberían estar de acuerdo con las descritas en el Capítulo 1, y una indicación de las alturas permitidas, según las especificaciones del Anexo 14, Capítulo 4. Se incluyen también disposiciones acerca de la altura mínima permitida, de los usos que no se atienen a lo prescrito, del señalamiento e iluminación de los obstáculos y del recurso de apelación contra las disposiciones de las ordenanzas.

## 2.4 ADQUISICION DE SERVIDUMBRE Y DEL DERECHO DE PROPIEDAD

2.4.1 En aquellas áreas donde no baste la zonificación, por ejemplo, en los emplazamientos cercanos a los extremos de las pistas o donde ya existen obstáculos, los explotadores de los aeropuertos deberían hacer lo conducente para proteger las superficies limitadoras de obstáculos. Esto incluiría la supresión o disminución de la altura de los obstáculos existentes, así como medidas que garanticen que no aparecerán nuevos obstáculos.

2.4.2 Las autoridades aeroportuarias podrían lograr estos objetivos mediante la adquisición de servidumbre o del derecho de propiedad. Entre estas dos posibilidades, la adquisición de servidumbre es frecuentemente la forma más sencilla y económica. En tales casos las autoridades aeroportuarias obtienen (mediante indemnización apropiada) el consentimiento del propietario de reducir la altura del obstáculo de que se trate. Esto podría lograrse negociando directamente con el propietario. El consentimiento tendría que incluir una disposición que prohibiera la aparición de nuevos obstáculos, siempre que no haya límites de zonificación de alturas o que, de haberlos, no basten para proteger debidamente las superficies limitadoras de obstáculos.

2.4.3 Cuando no tenga éxito la adquisición de servidumbre, los explotadores de aeropuertos tendrían que pensar en la segunda posibilidad, es decir, la compra de propiedades. Los explotadores de los aeropuertos podrían recurrir a la compra de la propiedad mediante expropiación forzosa, claro está, sancionada por la autoridad competente. En tales casos, los explotadores de aeropuertos deben pagar una indemnización razonable a los propietarios de las fincas, es decir, según el precio vigente en el mercado.

2.4.4 Al explotador de un aeropuerto importante se le autorizó concretamente a recurrir la expropiación, por razones de franqueamiento de obstáculos, hasta una distancia máxima de 4,8 km desde los extremos de las pistas. La expropiación de fincas para instalar ayudas para la navegación también está autorizada, pero sin restricción alguna en lo tocante a la distancia.

2.4.5 La adquisición de los derechos de propiedad tiene algunas dificultades. Si se eximen de contribuciones las fincas adquiridas, como ocurre frecuentemente cuando el aeropuerto es propiedad pública, los municipios y los vecinos del aeropuerto pudieran oponerse por razón de que a las otras fincas les aumentarían las contribuciones. Hay también otras razones por las cuales los vecinos de las fincas afectadas pudieran oponerse a la adquisición de éstas por parte del aeropuerto. Las propiedades que no son necesarias para fines aeroportuarios pudieran también constituir una carga para el explotador del aeropuerto, ya que tiene que incurrir en mayores gastos de mantenimiento de la propiedad.

2.4.6 El problema de la exención de contribuciones podría solucionarse si el explotador del aeropuerto accediese a pagar determinada cantidad en lugar de las contribuciones, lo cual supondría para él nuevos gastos que no son realmente necesarios. Sería mejor solución, si es factible, la venta del conjunto de fincas a propietarios particulares que se comprometieran a no erigir obstáculos en el futuro. Naturalmente, la reventa de los terrenos tendría que efectuarse según la zonificación vigente aplicable. Los explotadores de los aeropuertos podrían vender la mayor parte del terreno a distancias superiores a 300 m de los extremos de la pista, salvo el necesario para instalar los sistemas de iluminación de aproximación y otras ayudas para la navegación, con limitaciones adecuadas con respecto a la altura y a la utilización. Con tales ventas se recuperaría una parte considerable del coste de adquisición, se suprimirían los gastos permanentes de mantenimiento y los nuevos propietarios pagarían también contribuciones. Se considerarán limitaciones adecuadas de utilización las mencionadas en la Sección 2.3, si están autorizadas en el reglamento de zonificación y las acepta la población.

## 2.5 NOTIFICACION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION

2.5.1 Uno de los aspectos más arduos de la limitación de obstáculos consiste en prever nuevas construcciones que pudieran penetrar en las superficies limitadoras de obstáculos. Los explotadores de aeropuertos no pueden impedir

directamente que esto suceda. Según se indicó anteriormente, deben inspeccionar frecuentemente los alrededores de los aeropuertos para enterarse si hay o no proyectos en pie. Aunque, según la ley, los explotadores de aeropuertos no tienen la obligación de notificar los proyectos de construcción que hayan llegado a su conocimiento, por interés propio y por la necesidad de proteger al aeropuerto estarían bien aconsejados si pusieran tal hecho en conocimiento de las autoridades competentes. Por supuesto que el explotador del aeropuerto tiene la obligación de notificar proyectos tales como el emplazamiento de obstáculos en los terrenos del aeropuerto, tratándose por ejemplo, de ayudas electrónicas o visuales.

2.5.2 Algunos países han promulgado leyes o adoptado reglamentos indicando a quién incumbe la obligación de notificar los nuevos proyectos de construcción. Esta obligación de notificar las construcciones pudiera corresponder a entidades locales tales como los órganos de planificación o a las autoridades que otorgan el permiso de construir, o a la propia empresa constructora. En algunos casos se ha fijado el límite de altura por debajo del cual las autoridades locales pueden autorizar sin más un proyecto, y para ello se siguen en general los criterios del Anexo 14, Capítulo 4. Si alguna parte integrante de un proyecto penetra alguna superficie limitadora de obstáculos, esto debería notificarse a las autoridades de aviación civil competentes para que analicen el problema. Este análisis consideraría el influjo de la construcción prevista en la navegación aérea en general y en los procedimientos operacionales utilizados, en particular. En caso de que el estudio llegue a la conclusión de que la construcción proyectada puede autorizarse en determinadas condiciones, éstas deberían también mencionarse, por ejemplo, señalamiento e iluminación de los obstáculos, cumplimiento de otras medidas pertinentes para la seguridad de la navegación aérea, etc. Por último, habría que notificar la nueva construcción a todos los interesados, mediante planos (de conformidad con el Anexo 4 — *Cartas aeronáuticas*), NOTAM o publicaciones de información aeronáutica (AIP) según el Anexo 15.

2.5.3 Entre otros Estados, la República Federal de Alemania, el Reino Unido y los Estados Unidos, han fijado procedimientos para la notificación de los proyectos de construcción. Resumimos, a título de información, lo más relevante de tales procedimientos (vigentes a partir de las fechas indicadas):

a) *República Federal de Alemania (RFA)* — Ley de aeronáutica del 8 de enero de 1961)

Los Artículos 12 al 19 inclusive indican los límites a que está sujeta la construcción en las cercanías de los aeropuertos autorizados. En lo previsto por estos artículos, se indica que la *autoridad competente que otorga las licencias de construcción* puede permitir la construcción de edificios solamente previo consentimiento de las autoridades aeronáuticas, siempre que dicha construcción esté emplazada dentro de un radio de 1.5 km desde el punto de referencia del aeropuerto (véase la Sección 2.6

que sigue) o en las zonas de despegue, aterrizaje o de seguridad. También se requiere el consentimiento de las autoridades aeronáuticas si se pretende que la construcción supere determinadas alturas limite a distancias mayores desde el punto de referencia del aeropuerto o a distancias determinadas dentro de las zonas de aproximación.

b) *Reino Unido (UK)* — CAP 168 "Autorización de aeródromos", diciembre de 1978. Capítulo 4 — Evaluación y forma de considerar los obstáculos

En la Sección 11 se especifica que según la Orden 1972 de la Planificación de zonas urbanas y rurales (Aeródromos), el Ministerio de aviación civil protege a algunos aeródromos importantes cuando el desarrollo futuro pudiera obstaculizar su utilización, actual o posible, con fines aeronáuticos. Se entrega un plano de protección a las autoridades locales de planificación, en el que se indican los límites de altura por encima de los cuales las nuevas construcciones cercanas a los aeródromos constituirían un obstáculo. Las *autoridades de planificación* tienen que consultar al Ministerio de aviación civil acerca de todo proyecto cuya altura sobrepase el nivel de referencia apropiado. Si llega al conocimiento de una persona *autorizada (explotador de aeropuertos)* que un proyecto no se atiene, en su opinión, a los criterios establecidos o que pudiera dificultar el desarrollo previsto del aeródromo, esta persona debería solicitar de las autoridades de planificación que, antes de conceder la correspondiente licencia, lo tengan en cuenta.

c) *Estados Unidos (E.U.A.)* — Reglamento federal de aviación, Parte 77 (Enmendado el 4 de marzo de 1972)

En la Sección 77.11 se exige que *toda persona* que proyecte determinadas construcciones o reformas en las existentes envíe la "correspondiente notificación" al Administrador Federal de Aviación (FAA), junto con avisos suplementarios, 48 h antes de iniciar la construcción y una vez terminada. La Sección 77.13 prevé que los *patrocinadores* del proyecto notifiquen toda construcción o reforma de más de 200 ft sobre el nivel del suelo del emplazamiento, o que sobrepasen una superficie imaginaria que se inicia en el punto más cercano de la pista más próxima de cualquier aeropuerto público, que tenga por lo menos una pista de más de 3 200 ft de longitud, y que se eleve a una pendiente ascendente del 100 por 1 hasta una distancia horizontal de 20 000 ft. En aeropuertos con pistas más cortas y en helipuertos se especifican pendientes más pronunciadas. También se exige notificar la construcción de ciertas carreteras y ferrocarriles, otras construcciones en el área de aproximación por instrumentos y la construcción de algunos aeropuertos, en cuyos casos el "patrocinador del proyecto" sería claramente el explotador del aeropuerto. La FAA ha publicado también una circular (AC 70/7460-2G, del 30 de noviembre de 1977) en la que, para los patrocinadores de la construcción, se describen e ilustran los requisitos y procedimientos de notificación de los proyectos de construcción.

## 2.6 ESTABLECIMIENTO DE LAS SUPERFICIES LIMITADORAS DE OBSTACULOS

2.6.1 En todo reglamento de zonificación de alturas relacionado con una pista de aproximación de precisión, las siguientes superficies limitadoras de obstáculos constituyen elementos esenciales:

- a) superficie cónica;
- b) superficie horizontal interna;
- c) superficie de aproximación;
- d) superficies de transición; y
- e) superficie de aterrizaje interrumpido.

De toda estas superficies, solamente la superficie de aterrizaje interrumpido no está incluida en los reglamentos de zonificación de alturas para pistas de aproximación que no son de precisión y para pistas de vuelo visual. En el caso de pistas de despegue, la única superficie que atañe al reglamento de zonificación de alturas es la superficie de ascenso para el despegue. En las Tabla 4-1 y 4-2 del Anexo 14 se especifican las dimensiones y pendientes de las superficies mencionadas y en el Capítulo I de este manual figura también una breve descripción de ellas.

2.6.2 El organismo estatal de aviación civil debe fijar las superficies limitadoras de obstáculos en armonía con las definidas en el Anexo 14. Los explotadores de aeropuertos deben proporcionar a esos organismos estatales y a los planificadores locales (para establecer límites al hacer la zonificación de alturas) la información necesaria respecto a cada aeropuerto, en la cual tienen que incluir:

- a) el emplazamiento, orientación, longitud y elevación de todas las pistas;
- b) el emplazamiento y elevación de todos los puntos de referencia utilizados para determinar las superficies limitadoras de obstáculos;
- c) las categorías previstas de utilización de las pistas — de vuelo visual, de aproximaciones que no son de precisión o de aproximaciones de precisión (Categorías I, II ó III);
- d) los proyectos de prolongación futura de las pistas o de cambios de categoría.

2.6.3 Sería conveniente que las superficies limitadoras de obstáculos se construyeran tomando como base las características más críticas del proyecto de aeropuerto con miras a su futuro desarrollo, pues siempre es más fácil mitigar normas más estrictas que hacer lo contrario en el caso de que se modifique el proyecto. Algunos aeropuertos importantes acostumbra a proteger todas las pistas como si las normas correspondieran a aproximaciones de precisión de Categoría III, para tener la máxima flexibilidad respecto a proyectos futuros.

2.6.4 *Punto de referencia de aeródromo.* Según el Anexo 14, para cada aeródromo se establecerá un punto de referencia que se utilizará para indicar la posición geográfica del aeródromo. Se medirá la latitud y la longitud de la posición del punto de referencia del aeródromo y se notificarán redondeándolas al segundo más próximo. Estos datos

podrían expresarse en un sistema de referencia más conveniente reticulado de la localidad para las autoridades municipales a cargo de la zonificación o de la limitación de las construcciones. Se medirá la elevación de los puntos de referencia y ésta se notificará redondeándola al metro más próximo sobre un nivel de referencia determinado, tal como el nivel medio del mar.

2.6.5 *Superficie horizontal interna.* Aunque en el Anexo 14 no se especifica el punto inicial de la superficie horizontal interna, en algunos Estados importantes, desde el punto de vista aeronáutico, se sigue una usanza común. En principio, la superficie horizontal interna se definió como un círculo con centro en el punto de referencia del aeropuerto. A medida que crecieron los aeropuertos y que se hizo más complicada la configuración de las pistas, se demostró que un círculo no era la forma más adecuada y por ello se describió una superficie más extensa designando un segundo punto de referencia y construyendo una superficie elíptica con los dos puntos de referencia como focos. Recientemente, se ha preferido elegir un punto de referencia en cada extremo de las pistas o en puntos cercanos a dichos extremos. Estos puntos de referencia están ordinariamente situados en el extremo de la franja de las pistas (a 60 m del extremo de la pista, cuando el número de clave de la pista sea 3 ó 4) y en la prolongación del eje de la pista. La superficie horizontal interna se construye entonces trazando arcos de radio conveniente con centro en estos puntos de referencia. Se completa la superficie trazando tangentes comunes a arcos contiguos. En la Figura 1-2, del Capítulo 1, se da un ejemplo de estas superficies. Empezando en la periferia de éstas se construye la superficie cónica. Cuando hay diferencias notables de elevación entre los extremos de las pistas (del orden de 6 m o más), sería conveniente que la elevación de la superficie horizontal interna estuviera a 45 m por encima de la elevación del punto de referencia más bajo, para que así el margen de seguridad fuese mayor.

## 2.7 LEVANTAMIENTO DE PLANOS DE OBSTACULOS

2.7.1 Para tener un conocimiento preciso del emplazamiento de los obstáculos es necesario realizar un levantamiento de plano completo de todas las áreas que están por debajo de las superficies limitadoras de obstáculos. Estos levantamientos generalmente los lleva a cabo el Estado, con la cooperación de los explotadores del aeropuerto (véase el Capítulo 4 de este manual). Si no se tiene un plano de obstáculos proporcionado por el Estado, todo explotador de aeropuerto debería pensar en levantar los planos necesarios con el personal del aeropuerto y la ayuda de algún consultor o de los explotadores locales.

2.7.2 *Levantamiento inicial.* Los planos iniciales deberían consistir en una vista en planta de todo el aeropuerto y de sus alrededores hasta el límite exterior de la superficie cónica — y de la superficie horizontal externa cuando ésta haya sido determinada — junto con vistas de perfil de todas las superficies limitadoras de obstáculos. Debería indicarse en el

mapa todo obstáculo, tanto en la vista en planta como en la de perfil, con una descripción del mismo y su altura sobre el nivel de referencia. En los Capítulos 3 y 4 del Anexo 4, figuran otros requisitos más detallados del Plano de obstáculos de aeródromo. Además del levantamiento ordinario de planos, deberían tomarse fotografías aéreas y utilizar la fotogrametría para localizar posibles obstáculos que no se alcancen a ver fácilmente desde el aeropuerto.

2.7.3 *Levantamiento periódico.* Todo explotador de aeropuertos debería, según se ha indicado anteriormente, inspeccionar frecuentemente las zonas circundantes para detectar la presencia de nuevos obstáculos. Siempre que se observen cambios importantes debe hacerse un nuevo levantamiento. Pudiera ser necesario efectuar un levantamiento minucioso de una zona determinada, siempre que en el levantamiento inicial se observe la presencia de obstáculos cuya supresión estuviera programada. Después de terminar un programa de supresión de obstáculos, se debe hacer un nuevo levantamiento de la zona para tener datos correctos acerca de la presencia o ausencia de obstáculos. Del mismo modo, deberían efectuarse nuevos levantamientos si se modifican (o proyectan modificarse) ciertas características de los aeropuertos, tales como la longitud, elevación u orientación de las pistas. No puede darse una norma fija acerca de la frecuencia con que deben hacerse levantamientos periódicos de planos, pero sí es necesario mantener continuamente la vigilancia. Los datos modificados de los obstáculos, que resulten de tales levantamientos, deben notificarse a la comunidad aeronáutica conforme a lo previsto en el Anexo 15 — *Servicios de Información Aeronáutica.*

## 2.8 SUPRESION DE OBSTACULOS

2.8.1 Cuando se hayan detectado obstáculos, el explotador del aeropuerto, con la ayuda de las corporaciones locales, debe procurar suprimirlos o reducir su altura para que dejen de ser propiamente obstáculos. Esto exigirá entrar en negociaciones con los propietarios de la finca. Si se trata de un objeto concreto como un árbol, una antena de televisión o una chimenea, quizás sea posible llegar a un acuerdo para reducir su altura hasta límites aceptables, sin efectos adversos. Cuando, por el contrario, se trate de edificios, puede ser necesario remover toda la estructura. Esto exigirá probablemente la compra de la finca o su expropiación. En ambos casos, el explotador del aeropuerto debe estar preparado a pagar la correspondiente indemnización al propietario.

2.8.2 Cuando se haya llegado a un acuerdo sobre la disminución de altura de un obstáculo existente, en el acuerdo debería incluirse por escrito una servidumbre aérea limitando en el futuro la altura sobre el terreno hasta determinados niveles acordes con las superficies limitadoras de obstáculos pertinentes, a no ser que ya se haya establecido la zonificación efectiva de alturas (véanse las Secciones 2.3 y 2.4 precedentes).

2.8.3 *Árboles.* En el caso de la poda de árboles, debería llegarse a un acuerdo con el propietario para garantizar que

no se les dejará crecer hasta que constituyen un obstáculo. Los propietarios pueden garantizarlo comprometiéndose a podar los árboles cuando sea necesario o permitiendo el acceso a su finca a los trabajadores enviados por el explotador del aeropuerto para que efectúen la poda.

2.8.4 Algunas ayudas para la navegación, sean electrónicas (tales como partes constituyentes del ILS) o visuales (tales como las luces de aproximación y de pista) constituyen obstáculos inamovibles. Estos objetos deberían proyectarse y construirse de modo que sean frangibles, e ir instalados con armadura frangible, de manera que no resistan al choque de las aeronaves ni les causen daños. En el Capítulo 5, de este Manual, figuran textos de orientación sobre los requisitos de frangibilidad de las ayudas visuales y no visuales para la navegación. Siempre que se juzgue necesario, tales objetos deben señalizarse e iluminarse.

## 2.9 APANTALLAMIENTO

2.9.1 En muchos países se emplea el principio de apantallamiento para permitir aplicar un criterio más lógico a la restricción de nuevas construcciones y para prescribir el señalamiento e iluminación de obstáculos. Con ello también se reduce el número de casos de nuevas construcciones que exigen revisión por las autoridades. Los principios de apantallamiento se aplican cuando algún objeto, un edificio existente o el terreno natural, ya sobresale por encima de una de las superficies de obstáculos que se describen en el Anexo 14. Si se considera que la naturaleza de un objeto es tal que su presencia puede describirse como permanente, entonces puede permitirse que objetos adicionales situados dentro de un área especificada alrededor de dicho objeto permanente atraviesen la superficie de obstáculos, sin que por ello se consideren como tales. El obstáculo original se considera que es dominante o que "apantalla" la superficie que lo rodea.

2.9.2 La Séptima Conferencia del Departamento AGA introdujo el principio de apantallamiento en el Anexo 14. Pero aun reconociendo el empleo de apantallamiento en las especificaciones del Anexo 14, el Departamento no redactó especificaciones relativas a los detalles de la aplicación de dicho principio. Lo que hizo en realidad fue discutir la forma en que debería aplicarse el apantallamiento, pero decidió dejar que por el momento esta información figurase solamente a título de orientación.

2.9.3 Se estuvo, en general, de acuerdo con que la fórmula para el "apantallamiento" debería basarse en un plano horizontal que partiendo del punto más elevado de cada obstáculo se extienda en dirección contraria a la pista y en un plano con una pendiente negativa del 10% hacia la pista. Todo objeto que se encontrase por debajo de cualquiera de los dos planos se consideraría apantallado. No obstante, el permiso para que ciertos objetos atraviesen una superficie de obstáculos bajo el principio de apantallamiento debería regirse por referencia a la necesidad de efectuar un estudio aeronáutico en todos los casos.

2.9.4 El efecto de apantallamiento de los obstáculos inamovibles situados lateralmente respecto a las áreas de aproximación y de subida en el despegue es menos definido. En ciertas circunstancias, puede que resulte ventajoso conservar las áreas transversales existentes no obstruidas, especialmente cuando el obstáculo se encuentre cerca de la pista. Con ello se evitarían cambios futuros en la especificación del área de aproximación o de subida en el despegue, así como la adopción de un procedimiento de despegue en el que intervenga un viraje.

2.9.5 La permanencia del obstáculo inamovible que ha de considerarse que apantalla una superficie debería estudiarse con mucho cuidado. Los obstáculos deben clasificarse como inamovibles solamente si mirando hacia el futuro no se percibe la posibilidad de que su eliminación resulte factible, posible o justificable, con independencia de la forma en que pudiera variar la configuración, el tipo o la densidad de las operaciones aéreas.

2.9.6 En la práctica, los métodos para determinar la extensión de la superficie apantallada por un obstáculo permanente y los límites de las alturas permisibles alrededor del mismo varían entre los diferentes países. A menudo ha resultado difícil aplicar criterios fijos acerca de esta cuestión, y generalmente se lleva a cabo un estudio aeronáutico para determinar con exactitud los efectos resultantes de una nueva construcción. Varios Estados, especialmente Austria, Checoslovaquia, Chile, Egipto, el Reino de los Países Bajos, la República Democrática Popular Lao y Suiza, han notificado que siguen la orientación proporcionada en los párrafos anteriores. Con el fin de dar alguna orientación sobre distintos conceptos de apantallamiento, en los párrafos siguientes se dan los métodos seguidos en varios Estados seleccionados.

## 2.10 SEÑALAMIENTO E ILUMINACION DE OBSTACULOS

2.10.1 Cuando no sea posible eliminar un obstáculo, éste debe señalarse y/o iluminarse convenientemente para que pueda ser visto claramente por los pilotos en cualesquiera condiciones meteorológicas y de visibilidad. En el Anexo 14, Capítulo 6, figuran disposiciones minuciosas sobre el señalamiento y/o la iluminación de los obstáculos. En el *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 4, *Ayudas visuales*, se incluyen orientaciones sobre las características de las luces de obstáculos de gran intensidad.

2.10.2 Es conveniente indicar que el señalamiento e iluminación de los obstáculos tienen la finalidad de reducir los peligros para las aeronaves, indicando su presencia. Esto no reduce forzosamente las limitaciones de operación que pueda imponer la presencia de los obstáculos. En el Anexo 14 se especifica que se señalen los obstáculos e iluminen si la pista se utiliza de noche, salvo que:

a) el señalamiento y la iluminación pueden omitirse cuando el obstáculo esté apantallado por otro obstáculo fijo, y

b) puede omitirse el señalamiento cuando el obstáculo esté iluminado de día por luces de alta intensidad.

También deben señalarse e iluminarse los vehículos y otros objetos móviles, a exclusión de las aeronaves, que se encuentren en el área de movimiento de un aeropuerto, excepto cuando se utilicen exclusivamente en las plataformas.

2.10.3 La instalación y mantenimiento de las señales y luces requeridas pueden llevarlas a cabo el propietario de la finca, las autoridades municipales o el explotador del aeropuerto. El explotador del aeropuerto debe efectuar una inspección ocular diaria de todas las luces de obstáculos del aeropuerto y de sus alrededores y atender a que se reparen las luces que no funcionen debidamente. En algunos casos, sobre todo en emplazamientos comerciales o industriales, los propietarios pueden encargarse del mantenimiento, reparación y sustitución de las luces. De no ser así, el explotador del aeropuerto debe suscribir acuerdos que permitan que otros, en su nombre, puedan entrar en la propiedad y efectúen los trabajos de mantenimiento necesarios. Muchos explotadores de aeropuertos consideran ventajoso utilizar dispositivos luminosos dobles, con conmutación automática del primer dispositivo al segundo, en caso de que el primero falle. De esta forma se tiene más seguridad de que continúe funcionando la iluminación de los obstáculos y se reduce el número de visitas necesarias para sustituir las bombillas que no funcionen.

## 2.11 NOTIFICACION DE OBSTACULOS

2.11.1 En el Anexo 14, Capítulo 2, deberían suministrarse datos sobre el emplazamiento, elevación máxima y tipo de todos los obstáculos significativos sitos en el aeródromo y en sus proximidades. Los Anexos 4 y 15 contienen las especificaciones concernientes a la forma en que deben publicarse los datos mencionados y los servicios a los cuales deben comunicarse los mismos. Desde el punto de vista de la seguridad y regularidad de la aviación civil, debe hacerse todo lo posible para cumplir los requisitos mencionados.

2.11.2 Siempre que se detecte un obstáculo, sea éste temporal o permanente, el hecho debería notificarse inmediatamente a la comunidad aeronáutica. Por ello, atañe al organismo que lleva a cabo el levantamiento de planos de obstáculos (sea éste el Estado o el explotador del aeropuerto) la responsabilidad de procurar que la información sobre los obstáculos se transmita inmediatamente a las autoridades encargadas de la divulgación de la información aeronáutica a través de los servicios de información aeronáutica. Según se indicó en la Sección 2.5, la notificación de nuevas construcciones puede llevarla a cabo el patrocinador del proyecto, el organismo local de planificación, la autoridad que otorga el permiso de construcción o el explotador del aeropuerto. El explotador del aeropuerto es el que está más directamente interesado en que la información se divulgue debidamente y el que con más probabilidad estará al tanto, mediante las

inspecciones oculares y los levantamientos periódicos de planos, de la presencia de nuevos obstáculos. Por lo tanto, interesa sobre todo al explotador del aeropuerto notificar todos los datos sobre los obstáculos, incluso su señalamiento e iluminación, al servicio de información aeronáutica, para su divulgación. Los informes pueden comunicarse de palabra, pero la confirmación por escrito debe enviarse tan pronto como sea posible.

2.11.3 En el Anexo 15 figuran los requisitos detallados sobre los métodos de divulgar la información aeronáutica, incluyendo los datos sobre los obstáculos. Además de los NOTAM, con distribución Clase I (por medio de telecomunicaciones), o Clase II (por otros medios), los datos pueden notificarse por medio de las publicaciones de información aeronáutica (AIP) o de circulares de información aeronáutica. En el caso de que ocurra alguna situación crítica, el control de tránsito aéreo debe transmitir de palabra la información a las aeronaves que se encuentren en las cercanías. En las AIP debe constar la información actualizada (entre otras cosas) sobre los obstáculos y sobre el

señalamiento e iluminación de los mismos. Las publicaciones de información aeronáutica se tienen que enmendar o reproducir con la regularidad necesaria para que estén al día.

2.11.4 Los datos sobre obstáculos, provenientes del levantamiento de planos de obstáculos o de otras fuentes, tales como los informes de los explotadores de aeropuertos, se presentan también en los planos de obstáculos de aeródromo, Tipos A y B, en las cartas de aproximación por instrumentos, en las cartas de aproximación visual y en las cartas de aterrizaje, cuya descripción figura en los Capítulos 3, 4, 8, 11 y 12 del Anexo 4. Las cartas publicadas de conformidad con las disposiciones del Anexo 4 pueden incluirse en las AIP o distribuirse aparte a quienes reciben las AIP.

2.11.5 Para poder limitar los obstáculos y proporcionar un ambiente seguro para la operación eficiente de las aeronaves en los aeropuertos, es necesaria una colaboración más estrecha entre las autoridades estatales y locales, los explotadores de aeropuertos y los propietarios de las fincas.

# Capítulo 3

## Riesgos de carácter temporal

### PROCEDIMIENTO PREFERIBLE PARA HACER FRENTE A LOS RIESGOS DE CARACTER TEMPORAL EN LAS FRANJAS

#### 3.1 INTRODUCCION

3.1.1 La expresión "riesgo de carácter temporal" comprende las obras en vías de realización en los lados y extremos de la pista, motivadas por trabajos de construcción o de mantenimiento del aeropuerto. También incluye la instalación fija, maquinaria y materiales que se necesitan para las obras, y las aeronaves inmovilizadas cerca de las pistas.

3.1.2 La responsabilidad primordial para determinar el grado de riesgo y la magnitud de los obstáculos tolerables debe corresponder en último término a la autoridad competente, la cual debería tener en cuenta los aspectos que se enumeran a continuación:

- a) anchura de pista disponible;
- b) tipos de aeronaves que utilicen el aeropuerto y distribución del tránsito.
- c) si hay o no otras pistas disponibles.
- d) la posibilidad de que haya que realizar operaciones con vientos de costado, teniendo bien presente las variaciones del viento propias de la estación;
- e) las condiciones meteorológicas que probablemente reinarán en ese entonces, tales como la visibilidad y la

precipitación. Esta última es importante, ya que afecta adversamente al coeficiente de frenado de la pista y, por ende, la maniabilidad de la aeronave durante su recorrido en tierra:

- f) la posibilidad de llegar a una transacción entre reducir la longitud de la pista e infringir hasta cierto punto la superficie de aproximación.

3.1.3 Todos esos peligros deberían anunciarse con un NOTAM y señalarse e iluminarse de conformidad con lo previsto en el Anexo 14. Cuando se trate de riesgos imprevisibles, tales como cuando una aeronave se sale de la pista, el control de tránsito aéreo debe informar a los pilotos de la posición y naturaleza del riesgo.

#### 3.2—RESTRICCIONES APLICABLES A LAS PISTAS PARA APROXIMACIONES QUE NO SON POR INSTRUMENTOS Y QUE NO SON DE PRECISION

3.2.1 Es posible identificar tres zonas a lo largo de la pista, que se muestran en la Figura 3-1 como I, II y III.

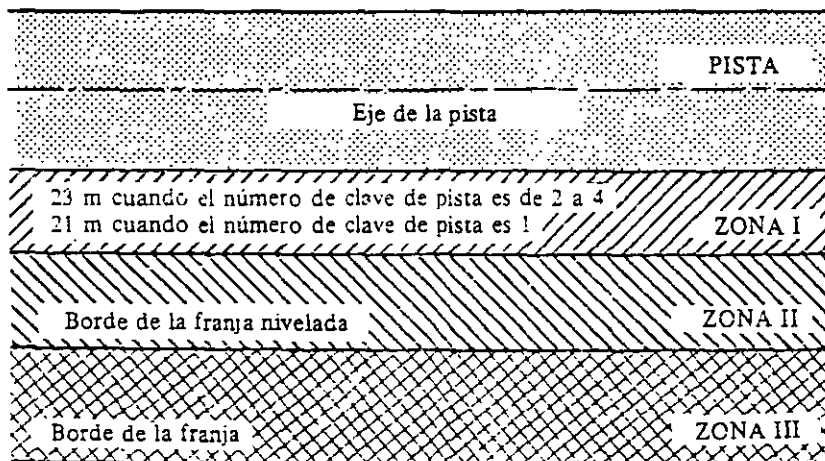


Figura 3-1.—Límites de las Zonas

### Zona I

3.2.2 Esta zona abarca:

hasta 23 m a partir del borde de la pista, cuando el número de clave de la pista sea 2, 3 ó 4;  
hasta 21 m a partir del borde de la pista, cuando el número de clave de la pista sea 1.

3.2.3 En esta zona es posible realizar obras en sólo un lado de la pista, al mismo tiempo. El área obstaculizada no debería exceder de 9 m<sup>2</sup>, pero es posible permitir excepcionalmente que se abran zanjas estrechas hasta un máximo de 28 m<sup>2</sup>. Toda obstaculización que se permita habría que limitarla en altura, para tener en cuenta las distancias de franqueamiento necesarias de las hélices y barquillas de los motores de las aeronaves que utilicen el aeropuerto, pero en ningún caso la altura debería exceder de 1 m por encima del terreno. Los motores de tierra y de escombros que puedan dañar las aeronaves o los motores, deben eliminarse. Las zanjas y demás excavaciones deberían rellenarse y compactarse, tan pronto como sea posible.

3.2.4 No deben existir instalaciones fijas ni vehículos en esta zona cuando está utilizándose la pista.

3.2.5 Si hay alguna aeronave inmovilizada en esa zona hay que cerrar la pista.

### Zona II

3.2.6 Esta zona se extiende desde el borde exterior de la Zona I hasta el borde de la franja nivelada, correspondiente a cada clase de pista.

3.2.7 Las restricciones que hay que imponer dependen del tipo de operación que se realice y de las condiciones meteorológicas.

3.2.8 Si la pista está seca y la componente transversal del viento no excede de 15 kt, para pistas cuyo número de clave sea 4, ni de 10 kt para pistas cuyo número de clave sea 2 ó 3, se podrán autorizar las obras siguientes.

#### a) Condiciones de vuelo visual

- 1) Áreas de construcción sin restricciones, cuando la longitud de la excavación y el material excavado que se halle paralelo a la pista se mantenga al mínimo. La altura total del material excavado no podrá superar los 2 m por encima del terreno.
- 2) Todo el equipo de construcción será móvil y quedará por debajo de los límites de altura admisible.
- 3) La pista podrá seguir utilizándose cuando en esta zona se halle inmovilizada alguna aeronave.

#### b) Condiciones de vuelo por instrumentos

- 1) Áreas de construcción sin restricciones, cuando la longitud de la excavación y el material excavado que se halle paralelo a la pista se mantenga al mínimo. La altura total del material excavado no podrá superar los 2 m por encima del terreno.

- 2) Todo el equipo de construcción debe retirarse de la zona, alejándolo de la pista, cuando está la pista utilizándose.
- 3) Si una aeronave queda inmovilizada en esta zona, debería cerrarse la pista.

### Zona III

3.2.9 Esta zona se aplica únicamente a las pistas para aproximaciones que no son de precisión utilizadas en condiciones de mala visibilidad y de baja base de nubes. Se extiende desde el borde de la franja nivelada hasta el borde de la franja que se requiere para las aproximaciones frustradas, es decir, 150 m desde el eje de la pista.

3.2.10 En esta área las obras no están limitadas. Sin embargo, hay que hacer lo necesario para conseguir que las obras y los vehículos utilizados en éstas no dificulten el funcionamiento de las radioayudas para la navegación. Las zonas críticas para las radioayudas se describen en el Anexo 10, Adjunto C.

*Nota.* — Las instalaciones permanentes y semipermanentes y el equipo móvil de los contratistas que se retire de las franjas no deberían infringir lo prescrito para las superficies de transición que se describen en el Anexo 14.

#### Extremos de pista

3.2.11 En el caso de que se realicen obras en zonas contiguas a los extremos de pista, debería hacerse el mayor uso posible de otras pistas o desplazar el umbral, de modo que el obstáculo no quede dentro de la longitud de franja en servicio, ni sobresalga de las superficies de aproximación correspondientes. Sin embargo, cuando la distancia de aterrizaje sea crítica, quizá sea más seguro permitir esa intromisión cerca del extremo de la pista que desplazar el umbral.

### 3.3 RESTRICCIONES APLICABLES A LAS PISTAS PARA APROXIMACIONES DE PRECISION

3.3.1 *Pistas para aproximaciones de precisión de Categoría III.* En la Circular OACI 148, *Guía y control del movimiento en la superficie*, se detallan los procedimientos especiales que deberían aplicarse para garantizar la seguridad de las operaciones realizadas en malas condiciones de visibilidad. Las restricciones relativas al movimiento de vehículos y personal, que allí se detallan, deberían cumplirse, en particular las que establecen que no debería permitirse la realización de trabajos en parte alguna del área de movimiento cuando se esté utilizando la pista. El equipo correspondiente debería encontrarse fuera de la zona despejada de obstáculos y todo el personal afectado debería encontrarse fuera del área de movimiento. Las restricciones relativas a la altura de los montones de tierra y escombros, que figuran en 3.2.3 y 3.2.8, se aplican igualmente a las pistas para aproximaciones de precisión de Categoría III.



3.3.2 *Pistas para aproximaciones de precisión de Categorías I y II.* Cuando se esté utilizando la pista, no debería permitirse la realización de trabajos dentro de la OFZ. El equipo y el personal afectados a estos trabajos deberían encontrarse fuera de la zona despejada de obstáculos. Las restricciones relativas a la altura de los montones de tierra y escombros, que figuran en 3.2.3 y 3.2.8, se aplican igualmente a estas pistas.

### 3.4 REUNION PREVIA A LA INICIACION DE LAS OBRAS

3.4.1 Constituye una práctica excelente que el constructor, el explotador del aeropuerto y la autoridad que con-

trole el tránsito (cuando ese control exista), se reúnan antes de iniciar las obras. En esta reunión es posible considerar los puntos antes citados y ponerse de acuerdo sobre los siguiente:

- a) medio de controlar los vehículos de la obra, para reducir al mínimo la interferencia con las operaciones de aeronaves;
- b) programar las actividades de construcción para que coincidan lo más posible con los periodos de mínima actividad aeronáutica;
- c) retirar el material excavado; almacenamiento del material y equipo de construcción; y estado en que quedará el lugar donde se van a hacer las obras una vez terminadas éstas.

# Capítulo 4

## Levantamiento de planos de obstáculos

### 4.1 PRACTICA SEGUIDA EN AUSTRALIA

4.1.1 Esta sección trata del levantamiento topográfico de la superficie y área de aproximación, de la superficie y área de ascenso en el despegue, así como de las superficies de transición, horizontales y cónicas, tanto en los aeropuertos existentes como en los previstos, a fin de determinar el emplazamiento y la altura de los objetos que pudieran sobrepasar dichas superficies. En el caso de una pista para aproximaciones de precisión o de una pista en la que sea probable que se instale una ayuda para aproximaciones de precisión, el levantamiento debería comprender la superficie horizontal suplementaria relacionada con dicha ayuda. Esta superficie horizontal, situada a 30 m por encima del punto de referencia del aeropuerto, es de forma rectangular. Su anchura es de 1,75 km, situada simétricamente con respecto al eje de la pista y su longitud se extiende desde una distancia de 1 050 m antes del umbral de aproximaciones de precisión, hasta el otro extremo de la franja.

4.1.2 Los planos de superficie de franqueamiento<sup>1</sup> que resulten de la labor topográfica indicarán las curvas de nivel aéreas de dichas superficies junto con el emplazamiento y el nivel reducido de los objetos que constituyen obstáculos, lo que permitirá:

- evaluar la medida en que los obstáculos sobresalen de las superficies de franqueamiento y determinar la posibilidad de reducirlos o eliminarlos;
- determinar la medida en que es necesario señalar los obstáculos;
- determinar procedimientos operacionales, tales como las alturas críticas para los aviones que vuelen en circuito, así como los procedimientos que deben utilizarse en casos de emergencia durante el despegue y el aterrizaje;
- compilar planos de limitación de altura relacionados con los reglamentos de navegación aérea (reglamentación relativa a las construcciones). A este fin, deberán incluirse en los planos de superficie de franqueamiento las curvas de nivel y las características del terreno en las

zonas críticas. Esta información tal vez pueda obtenerse de los planos recopilados por las autoridades gubernamentales locales, etc., o de lo contrario será necesario obtenerla siguiendo procedimientos topográficos normales.

4.1.3 El levantamiento topográfico de la superficie de franqueamiento debería normalmente efectuarse con un teodolito que permita leer los ángulos, horizontal y vertical, con una precisión mínima de 5 s.

#### *Características de las superficies de franqueamiento*

4.1.4 Las características de la superficie y del área de aproximación, de la superficie y del área de ascenso en el despegue y de la superficie de transición varían según la naturaleza y el tipo de operaciones que se llevan a cabo o que está previsto efectuar en el aeropuerto.

4.1.5 Antes de iniciar el levantamiento es preciso cerciorarse de la naturaleza y del tipo de operaciones que se efectúan o está previsto efectuar en el aeropuerto y luego determinar las características físicas de las superficies de franqueamiento.

4.1.6 Si se dispone de un mapa topográfico del área se podrá facilitar el levantamiento trazando los límites de las superficies de franqueamiento que figuren en el mapa y utilizarlos sobre el terreno.

#### *Procedimientos para el levantamiento de planos*

4.1.7 La labor topográfica consistirá en determinar:

- el emplazamiento y el nivel reducido de los ejes de franja en los extremos de las franjas existentes o previstas, en las extremidades de toda prolongación de una zona libre de obstáculos más allá de los extremos de las franjas y cuando se prevea una futura prolongación, en las extremidades de la prolongación prevista;
- el emplazamiento y el nivel reducido del punto de referencia del aeropuerto;
- el emplazamiento y el nivel reducido de los puntos más elevados de todos los objetos que puedan constituir obstáculos por encima de las superficies de franqueamiento. Asimismo, deberían obtenerse los niveles de terreno para todo obstáculo que, a juicio del topógrafo encargado de los trabajos, puedan eliminarse;
- el emplazamiento y nivel reducido del objeto más elevado entre las áreas adyacentes de ascenso en el despegue. e

1. La expresión 'superficie de franqueamiento' (en inglés: clearance surface) utilizada en la presente sección es sinónima de 'superficie limitadora de obstáculos' (obstacle limitation surface).

- el interior de las superficies horizontales y cónicas, ya sea que este objeto sobresalga o no de dichas superficies;
- e) el emplazamiento y cotas de los puntos en que cualesquier carreteras y vías férreas cambien de pendiente en el área de aproximación, y a menos de 600 m del límite interior de dicha área;
- f) la marcación magnética de los ejes de la franja y la declinación magnética redondeados al grado más próximo.

4.1.8 Los niveles reducidos deberían redondearse a los 30 cm más próximos y, de ser posible, relacionarse con el nivel medio del mar. De no ser esto factible, deberá indicarse claramente el nivel de referencia. Todo procedimiento utilizado para determinar los niveles reducidos debe tener en cuenta la refracción y la curvatura de la tierra, según proceda, a fin de alcanzar el grado de precisión especificado en 4.1.13.

4.1.9 La designación de los obstáculos será, por ejemplo: árbol, colina, pilar, torre, campanario, respiradero, chimenea, mástil, poste, antena, edificio, casa, etc.

4.1.10 Se determinarán los límites vertical y horizontal de penetración de obstáculos importantes como colinas, cadenas de montañas, etc. Para ello, se obtendrán los niveles reducidos de las cotas críticas y la extensión superficial horizontal de penetración.

4.1.11 A excepción de los incisos c) y d), 4.1.7 se refiere a los procedimientos topográficos normales, de los cuales no nos ocuparemos más. En muchos casos, esta información puede obtenerse de planos existentes, que contengan curvas de nivel y otras características.

4.1.12 Los trabajos de campo relacionados con 4.1.7, c) y d) suponen, en primer lugar, un procedimiento preliminar para identificar los objetos que pueden constituir obstáculos y, en segundo lugar, un procedimiento para determinar el emplazamiento y el nivel reducido de dichos objetos. En ciertos casos, es posible combinar ambos procedimientos.

#### Precisión

4.1.13 La precisión de los trabajos de campo será tal, que los resultados obtenidos estén dentro de las desviaciones máximas indicadas a continuación:

- a) las dimensiones horizontales de los extremos de franja, las extremidades de todo prolongamiento aprobado de una zona libre de obstáculos, más allá de los extremos de las franjas, y las extremidades de las futuras prolongaciones, se determinarán con un margen de error de menos de 30 cm;
- b) los objetos que puedan constituir obstáculos sobre las superficies de franqueamiento estarán situados horizontalmente con un error inferior a 4,5 m más 30 cm para cada segmento de 150 m a partir del principio de la superficie. Los niveles reducidos se determinarán con un error de menos de 23 cm en los primeros 300 m a partir

del origen de la superficie y aumentarán posteriormente a razón de 15 cm por cada 300 m.

*Nota.* — Para fines de precisión, el principio de la superficie cónica será el punto de referencia del aeropuerto.

#### Área y superficie de ascenso en el despegue

4.1.14 En el extremo de la franja o al final de toda prolongación de la zona libre de obstáculos aprobada, más allá del extremo de la franja, debería establecerse una base topográfica medida con exactitud. Dicha base debería tener una longitud igual al límite interior del área de ascenso en el despegue y debería ser perpendicular al eje de la franja y simétrica con respecto al mismo. Se colocarán jalones en los extremos de esta base y dichos jalones deberían coincidir con los ángulos interiores del área de ascenso en el despegue. El nivel reducido de estos jalones debería determinarse siguiendo métodos normales de nivelación y podrá utilizarse posteriormente al calcular el nivel reducido de los obstáculos,

4.1.15 Los bordes exteriores del área de ascenso en el despegue se determinarán colocando el teodolito sobre los jalones de esquina (extremos de la base) y tomando un ángulo horizontal con respecto a la base, igual al ángulo de divergencia más 90°. La colocación de objetivos, es decir, puntos de mira en el alineamiento de los bordes exteriores, a cierta distancia de los jalones de esquina, ayudará a evaluar visualmente la extensión del área de ascenso en el despegue.

4.1.16 Con el teodolito situado en la vertical de un jalón de esquina se puede examinar la superficie de ascenso en el despegue mediante el anteojo del instrumento fijándolo en un ángulo vertical igual a la pendiente de la superficie y haciendo girar el anteojo desde el borde exterior del área hacia la prolongación del eje. Este procedimiento se repite en el jalón de esquina opuesto.

4.1.17 Todo objeto que sobresalga de la superficie constituye un obstáculo y, dado que este método de identificación de los obstáculos carece de precisión, todo objeto que se aproxime a la superficie debería calificarse provisionalmente de obstáculo. Este método de identificación de obstáculos carece de precisión debido a los factores siguientes:

- a) no se hace corrección alguna para tener en cuenta el hecho de que el anteojo del instrumento no coincide con el nivel del terreno en el punto central del borde interior de la superficie;
- b) no se hace corrección alguna en cuanto a curvatura y refracción;
- c) la pendiente de la superficie no se lee necesariamente en un plano vertical perpendicular a la superficie.

4.1.18 El emplazamiento y el nivel reducido de los objetos que constituyen obstáculos o que han sido identificados provisionalmente como tales, puede determinarse con exactitud:

- a) por triangulación y leyendo los ángulos verticales desde los extremos de la base o desde otras estaciones de verificación establecidas a este fin;
- b) por poligonación y nivelación a partir de la base o de otras estaciones de verificación. Sería necesario emplear este método, si los objetos que se sospecha son obstáculos, están apantallados por otros obstáculos.

4.1.19 Por regla general, el principio de la triangulación no debería utilizarse cuando el ángulo del vértice (el ángulo en el objeto) sea inferior a  $2^{\circ}15'$ , o donde la distancia hasta el objeto sea más de 25 veces la longitud de la base. Por lo que respecta a los objetos alejados, esta regla supondrá la prolongación de la línea de base mediante el establecimiento de otras estaciones de verificación o la utilización del método poligonal o de una combinación de ambos.

4.1.20 En los casos en que se prevé una prolongación de la pista y/o de la franja, el levantamiento topográfico debería incluir también:

- a) el emplazamiento y el nivel reducido de los objetos situados por encima del nivel del terreno entre los extremos de la franja existente y los extremos de la prolongación final en toda la anchura del área de ascenso en el despegue, basándose en el extremo de la franja existente;
- b) el emplazamiento y el nivel reducido de los objetos que constituyan obstáculos para una superficie de ascenso en el despegue, a partir del extremo de la prolongación final, sobre todo el ancho del área de ascenso en el despegue, basándose en el extremo de la franja existente.

#### *Área y superficie de aproximación*

4.1.21 Las características físicas del área y de la superficie de aproximación son menos críticas que las del área y de la superficie de ascenso en el despegue, salvo cuando se trata de pistas destinadas a aproximaciones de precisión.

4.1.22 En consecuencia, el levantamiento relativo al área y superficie de ascenso en el despegue satisfará los requisitos del área y superficie de aproximación, salvo en el caso de aproximaciones de precisión.

4.1.23 El procedimiento de levantamiento para un área y superficie de aproximación de precisión es el mismo que el que se ha definido para el área y superficie de ascenso en el despegue, salvo que se utilizan las características físicas de un área y de una superficie de aproximación de precisión para vuelos internacionales o del interior (según sea el caso).

#### *Superficie de transición*

4.1.24 Por lo que respecta a la identificación de los objetos que constituyen obstáculos, el levantamiento de las superficies de transición da mejores resultados si se efectúa en dos etapas. En primer lugar, se hace el levantamiento de las superficies de transición relacionadas con la superficie de

aproximación y, en segundo lugar, el de las superficies de transición relacionadas con la franja. Las líneas de referencia por lo que respecta a las superficies de transición relacionadas con la franja, son líneas que coinciden con el nivel del terreno y se originan en los extremos del borde interior de las áreas de aproximación, trazadas paralelamente al eje de la franja.

4.1.25 La mejor manera de levantar el plano de las superficies de transición relacionadas con la superficie de aproximación es utilizar un teodolito o nivel modificado<sup>1</sup> al que se ha incorporado un retículo con una pendiente de 1:7.

4.1.26 Para esta parte del trabajo, el instrumento se coloca a lo largo de la línea que representa el borde del área de aproximación y a una distancia tal hacia el exterior, que el anteojo se encuentre en el plano de la superficie de aproximación. Seguidamente, se eleva el anteojo hasta la pendiente de la superficie de aproximación, orientado a lo largo de la línea que representa el borde y se inmoviliza, tanto en sentido vertical como horizontal. El retículo correspondiente a una pendiente de 1:7 se encontrará entonces en el plano de la superficie de transición relacionada con la superficie de aproximación y todo objeto que sobresalga de este plano constituye un obstáculo. En el lado opuesto de la superficie de aproximación se repite el mismo procedimiento.

4.1.27 Si no se dispone de un instrumento dotado de retículo para la pendiente de 1:7, es preciso determinar el emplazamiento y el nivel reducido de varios objetos que se sospecha constituyen obstáculos en el área objeto de examen, utilizando métodos de precisión como los mencionados en 4.1.18. Pueden compararse otros objetos con estos últimos, mediante una inspección visual y proceder así a la identificación de posibles obstáculos.

4.1.28 El emplazamiento y nivel reducido de objetos que constituyen obstáculos, o que han sido identificados provisionalmente como posibles obstáculos, pueden determinarse según el método indicado en 4.1.18.

4.1.29 En el caso de un levantamiento destinado a identificar obstáculos en la superficie de transición relacionada con la franja, el teodolito se coloca sobre una línea que une el objeto susceptible de ser un obstáculo y el eje de la

1. Un nivel modificado es un nivel del tipo corrientemente utilizado en topografía, que ha sido especialmente modificado para trabajos topográficos de esta clase. La modificación consiste en disponer en forma distinta los elementos ópticos del anteojo, a fin de ampliar el campo de visión para permitir la instalación de un retículo en el que se han grabado las pendientes en porcentajes. Gracias a esta modificación, la burbuja del anteojo se mantiene centrada mientras se lee la pendiente. Esto simplifica la utilización del instrumento, ya que es suficiente nivelarlo, dirigir la visual hacia la mira y leer directamente en porcentaje la pendiente. Para facilitar el levantamiento de superficies de transición, se han incorporado también en el retículo las líneas que corresponden a pendientes de 1:7.

franja (esta línea formará un ángulo recto con el eje de la franja) e igualmente a cierta distancia, hacia el exterior, de la línea de referencia (véase 4.1.24), de modo que el anteojo del instrumento se encuentre en el plano de la superficie de transición.

4.1.30 El anteojo se eleva hasta una pendiente de 1:7 y se inmoviliza verticalmente; seguidamente se apunta hacia el objeto, encontrándose así en el plano de la superficie de transición, y si el objeto sobresale de dicho plano, constituye un obstáculo.

4.1.31 Cuando se hayan observado en forma similar varios objetos, podrán compararse con otros mediante una inspección visual que permite identificar los posibles obstáculos.

4.1.32 El emplazamiento y el nivel reducido de objetos que constituyen obstáculos o que provisionalmente hayan sido identificados como posibles obstáculos, pueden determinarse según el método indicado en 4.1.18.

*Superficie horizontal y cónica —  
Superficie horizontal suplementaria relacionada con una pista para aproximaciones de precisión*

4.1.33 La mejor manera de identificar los objetos que constituyen obstáculos por encima de las superficies de franqueamiento consiste en recurrir a un mapa topográfico en el que se hayan trazado los límites de las superficies. Dado que estos objetos estarán, como mínimo, a 30 m por encima del punto de referencia del aeródromo, serán objetos elevados, fácilmente visibles, o bien objetos situados en terreno elevado, cuya situación debe determinarse examinando el mapa topográfico.

4.1.34 Si no se dispone de un mapa topográfico, será preciso determinar el emplazamiento y el nivel reducido de cierto número de objetos que se sospecha pueden constituir obstáculos por encima de dichas superficies, siguiendo métodos precisos como los indicados en 4.1.18. Otros objetos pueden compararse con estos últimos mediante una inspección visual, prosiguiendo así la identificación de posibles obstáculos.

4.1.35 El emplazamiento y el nivel reducido de objetos que constituyen obstáculos, o que han sido identificados provisionalmente como posibles obstáculos, pueden determinarse según el método indicado en 4.1.18.

*Aplicación de la fotogrametría aérea al levantamiento de planos de superficies de franqueamiento*

4.1.36 Cuando se trata de levantar el plano de superficies de franqueamiento amplias y complejas puede resultar más práctico y más económico utilizar el principio de la aerofotogrametría para producir un plano del área que indique el emplazamiento y la altura de los objetos susceptibles de constituir obstáculos. En este plano pueden trazarse los

límites y las curvas de nivel aéreas de las distintas superficies de franqueamiento, alcanzando así los objetivos enunciados en 4.1.2.

*Aplicación de la fotogrametría terrestre al levantamiento de planos de superficies de aproximación, de ascenso en el despegue y de transición*

4.1.37 Cuando se desea obtener una representación gráfica de las superficies de aproximación, de ascenso en el despegue y de transición, que indique la medida en que se sobrepasan dichas superficies, puede utilizarse un método que consiste en tomar fotografías terrestres, tal como se describe a continuación. Esta representación gráfica es un medio ideal para detallar los requisitos relativos al franqueamiento de las superficies de aproximación, de ascenso en el despegue y de transición, especialmente cuando el obstáculo lo constituyen bosques densamente poblados de árboles. La representación gráfica constituye igualmente un medio excelente de comprobar que todos los objetos que constituyen obstáculos hayan sido identificados al efectuar anteriormente cualquier levantamiento de planos, según los procedimientos normales.

*Nota. — La superficie de transición mencionada, es la que está relacionada únicamente con la superficie de aproximación.*

4.1.38 Si bien es posible ampliar este método fotográfico para obtener un plano que indique el emplazamiento y el nivel reducido de los obstáculos, en la práctica se ha comprobado que las fotografías y el trabajo de campo suplementarios que ello exige, complican excesivamente este aspecto del método.

### *Teoría*

4.1.39 Si se instala una cámara fotográfica en un plano, este plano se proyectará en el negativo como una recta. Además, si el aparato fotográfico está nivelado y orientado en la dirección de la pendiente más pronunciada del plano, la proyección del plano será paralela a la proyección del plano horizontal que pase por la cámara.

4.1.40 Como la superficie de aproximación, la superficie de ascenso en el despegue y la superficie de transición son planos, sus proyecciones sobre el negativo serán líneas rectas, a condición que la lente de la cámara fotográfica esté en el plano en cuestión cuando se toma la fotografía.

4.1.41 Si la cámara se instala en el borde divergente de la superficie de aproximación, es decir, en la intersección de la superficie de aproximación y de la superficie de transición, los dos planos se proyectarán en el negativo como líneas rectas.

4.1.42 No obstante, dichos planos no pueden trazarse en la fotografía, a menos que puedan relacionarse con algún plano de comparación o nivel de referencia, disponible en propia fotografía. Este nivel de referencia puede obtenerse

emplazando objetivos o puntos de mira cuyo nivel reducido sea igual al de la cámara fotográfica. Una línea que pase por dichos puntos en la fotografía será la proyección del plano horizontal que pasa por la cámara.

4.1.43 Si los puntos de mira se fijan de manera que el que esté en el centro se encuentre en el plano vertical pasando por el eje de simetría del plano requerido y los otros se sitúan a cada lado, según un determinado ángulo horizontal, es posible preparar una escala angular a partir de los tres puntos de la fotografía.

4.1.44 Utilizando esta escala, se pueden establecer en la fotografía, por encima del punto de mira u objetivo central, distancias iguales al ángulo de elevación de la superficie objeto de estudio. Trazando una línea que pase por este punto y que sea paralela al plano horizontal se obtendrá la proyección de la superficie.

4.1.45 En el caso de que la cámara fotográfica se instale en el borde divergente de la superficie de aproximación y en la superficie de aproximación o de ascenso en el despegue, los puntos de mira se colocan como en el caso anterior, salvo que el exterior se sitúa de manera que forme, con el punto de mira central, un ángulo de divergencia.

4.1.46 En la fotografía así obtenida, la superficie en cuestión se traza desde un punto situado en la vertical del punto u objetivo exterior. En el caso de la superficie de aproximación, desde este punto puede trazarse una línea con pendiente de 1:7, hasta el borde de la fotografía, ya que estamos mirando transversalmente la pendiente de la superficie de transición.

4.1.47 Dado que puede medirse la marcación de cualquier punto sobre las fotografías, se desprende que la posición de cualquier objeto puede calcularse o trazarse, siempre que aparezca en más de una fotografía y que las posiciones de las estaciones de la cámara hayan sido determinadas mediante procedimientos topográficos. No obstante, según se ha dicho en 4.1.38, en la práctica se ha comprobado que las fotografías y el trabajo de campo suplementario que exigen este método lo hacen excesivamente complicado.

#### Equipo

4.1.48 La cámara fotográfica debería ser de buena calidad, dotada de un objetivo de 90 mm u otro equivalente.

4.1.49 La altimetría se establecerá con un nivel Watts Microptic o de tipo similar. El nivel deberá tener una pequeña plataforma unida al tubo del anteojo y a la cubierta metálica que protege la burbuja principal. Esta plataforma constituye una montura estable para la cámara fotográfica y el peso de esta última carga directamente sobre el eje vertical del nivel. Los bordes anterior y posterior de la plataforma deberían estar dotados de pequeñas estrías para mantener el

aparato en la misma posición que en cada montaje. El tripode de la cámara fotográfica debería llevar un tornillo de fijación apropiado. La planimetría debería establecerse con ayuda de un teodolito.

4.1.50 Los elementos utilizados como puntos de mira deberían ser circulares y de cualquier material rígido; con un tubo y un tornillo de fijación en la parte posterior. Deberían estar pintados en cuatro sectores y tener un radio igual a la distancia que hay entre los ejes de la cámara fotográfica y del anteojo.

4.1.51 La montura sobre la que puede regularse la altura del disco que sirve de mira puede ser la utilizada para levantamientos normales, pero debería poder alargarse hasta 3 a 3,5 m.

#### Trabajos de campo

4.1.52 Las posiciones de la cámara fotográfica se seleccionan sobre la prolongación del eje de la franja y sobre cada uno de los bordes divergentes de la superficie de aproximación, a fin de que cuando esté instalada, en cada caso la cámara estará ya sea en la superficie de aproximación o en la superficie de ascenso en el despegue. Cuando esté en las partes divergentes de la superficie de aproximación, la cámara se encontrará igualmente en la superficie de transición, ya que el borde divergente de la superficie de aproximación coincide con la intersección de los dos planos. La posición y la altura de los emplazamientos de la cámara fotográfica se establecen con respecto al extremo de la franja.

*Nota.* — Con objeto de evitar la necesidad de hacer dos series de fotografías, una para la superficie de ascenso en el despegue y otra para las superficies de aproximación y de transición, las superficies de transición pueden aplicarse a los bordes de la superficie de ascenso en el despegue en vez de hacerlo a los bordes de la superficie de aproximación, cuando se trata de superficies que no son superficies internacionales para aproximaciones de precisión. Esto es posible, siempre que no supongan perjuicios económicos por lo que respecta al franqueamiento de las superficies de transición.

4.1.53 Cuando se haya determinado la posición de la cámara fotográfica en la prolongación del eje, el teodolito se instala en este punto y se establecen las posiciones de los discos de mira. Uno de ellos se sitúa en la prolongación del eje de la franja y los otros dos, uno a cada lado del mismo, formando ángulos iguales, elegidos según convenga a la cámara fotográfica — generalmente de 20°. No es necesario que tales discos de mira estén situados a una distancia fija del aparato fotográfico.

4.1.54 El teodolito se sustituye por el nivel, procediéndose a nivelar los bordes inferiores de los discos de mira.

La cámara se fija entonces al nivel. Debido a que el radio de los discos de mira es igual a la separación vertical entre el eje del anteojo del nivel y el eje de la cámara fotográfica, los centros de los discos de mira quedan al mismo nivel que el eje óptico de la cámara.

4.1.55 La cámara fotográfica se orienta hacia el elemento central y se toma la fotografía.

4.1.56 Por lo que respecta a las posiciones de la cámara fotográfica en los bordes divergentes de la superficie de aproximación, se utiliza un procedimiento similar. El disco de mira central se sitúa en una marcación paralela a la prolongación del eje de la franja, el disco interior a  $20^\circ$  de dicha línea, pero el disco de mira exterior se coloca en el ángulo de divergencia. La cámara se orienta entonces hacia el elemento central. Cabe observar que el eje de la cámara fotográfica es siempre horizontal.

#### *Trabajos de laboratorio*

4.1.57 Los negativos obtenidos se amplían, de manera que el intervalo de  $20^\circ$  entre discos de mira mida 125 mm (lo que representa aproximadamente una ampliación de cuatro diámetros).

4.1.58 Una línea recta que pase por el centro de los discos de mira representa el plano horizontal que pasa por la cámara fotográfica.

4.1.59 Utilizando una escala transparente "positivo-negativo", en la que  $20^\circ$  equivalen a 125 mm, puede marcarse por encima de los discos de mira una distancia igual al ángulo de elevación de la superficie de ascenso en el despegue o de la superficie de aproximación (según sea el caso), y se puede trazar una línea paralela a la horizontal que pasa por los discos de mira. Esta línea representa la superficie requerida e indica claramente si la superficie está obstruida o no.

4.1.60 Por lo que respecta a las fotografías tomadas sobre los bordes divergentes de la superficie de aproximación, la superficie puede trazarse de la misma manera, pero termina inmediatamente por encima del disco de mira situado sobre un borde divergente. A partir de ese punto, se traza hacia el exterior una línea cuya pendiente sea de 1:7 y dicha línea representa la superficie de transición.

4.1.61 El conjunto de las tres fotografías representa una sección completa de la superficie de ascenso en el despegue o de aproximación, y de la superficie de transición.

## 4.2 PRACTICA SEGUIDA EN EL REINO UNIDO

4.2.1 El objeto del levantamiento de planos de obstáculos de aeropuerto es determinar el emplazamiento y la altura de los diversos objetos situados en áreas definidas

alrededor de los aeropuertos. Esta información es necesaria para la elaboración de las cartas aeronáuticas necesarias para los vuelos internacionales, así como para determinar qué objetos constituyen un obstáculo desde el punto de vista aeronáutico. Los objetos que resulten ser obstáculos pueden entonces eliminarse, y si ello no es posible puede señalarse, iluminarse, o ambas cosas.

4.2.2 Las especificaciones que se dan a continuación para el levantamiento de planos de aeropuerto se aplican a la obtención de los datos necesarios en cuanto a obstáculos para cumplir las normas y métodos recomendados de la OACI, que figuran en los Anexos correspondientes, así como con los requisitos contenidos en el documento CAP 168, que trata de los requisitos físicos que deben cumplir los aeropuertos autorizados en el Reino Unido.

#### *Levantamiento de planos de obstáculos — Tipo A*

4.2.3 *Pistas utilizadas por grandes aeronaves de reacción.* La superficie cuyo levantamiento topográfico se ha de efectuar comienza en el borde interior del área de subida en el despegue, en cuyo punto tiene una anchura de 180 m. Esta superficie es simétrica respecto a la prolongación del eje de la pista, y su anchura aumenta uniformemente, de 180 m a 3 930 m, hasta la distancia de 15 000 m desde el origen. La importancia de los obstáculos dentro de esta superficie está relacionada con un plano que tiene una pendiente ascendente de 1% desde el origen hasta una distancia de 9 000 m, en cuyo punto el plano continúa horizontalmente a una altura de 90 m. Cuando este plano no toca ningún obstáculo hay que reducir su pendiente, hasta que toque el primer obstáculo frangible, o hasta que llegue a 0,5%.

4.2.4 Durante los primeros 900 m, se considera que los obstáculos proyectan hacia adelante una sombra horizontal; desde los 900 m hasta los 9 000 m, la sombra tiene una pendiente ascendente de 1%; desde los 9 000 m en adelante la sombra vuelve a ser horizontal. Los obstáculos que están en su totalidad dentro de tales sombras no hay que indicarlos en el plano (véase en 4.2.5 el procedimiento de apantallamiento selectivo). Además, en el tramo más lejano, es decir, desde los 9 000 m hasta los 15 000 m, los obstáculos puede considerarse que proyectan hacia atrás una sombra con una pendiente de un 10%. Todos los obstáculos totalmente comprendidos dentro de tales sombras no necesitan indicarse en el plano (véase en 4.2.5 el procedimiento de apantallamiento selectivo).

4.2.5 La legislación vigente del Reino Unido permite que los pilotos de aeronaves más pequeñas consideren, para tener en cuenta los obstáculos, un área de trayectoria de despegue (TOFPA) de una anchura total menor que la definida en 4.2.3. Para garantizar que en esta área, al utilizar un procedimiento de apantallamiento de obstáculos de aplicación general en toda el área, no se suprimen obstáculos de la carta Tipo A, se adopta un procedimiento de apantallamiento de obstáculos selectivo. Para el apantallamiento de obstáculos, se levantan inicialmente los planos teniendo en cuenta todos los obstáculos del área de

trayectoria de despegue (TOFPA) descrita en 4.2.3. A continuación, se divide en tres secciones. Las dos secciones más externas constan de una franja, de 25 m de anchura, paralela al borde exterior correspondiente de la TOFPA. Los obstáculos que se tienen en cuenta en la sección central pueden apantallar los obstáculos de las dos secciones externas, pero los obstáculos incluidos en las dos secciones externas no pueden apantallar obstáculos de la sección central. Los obstáculos existentes en una de las secciones externas no pueden apantallar obstáculos de la otra sección externa.

4.2.6 El grado de precisión requerido es el que se da en el Anexo 14, Capítulo 3, 3.9.

4.2.7 Si se considera necesario disponer de un área curva para las trayectorias de vuelo de ascenso en el despegue que impliquen un viraje, la superficie cuyo levantamiento topográfico se haya de efectuar se determinará mediante consultas entre las autoridades apropiadas del aeropuerto y los explotadores.

4.2.8 *Otras pistas.* Estas se ajustarán a las especificaciones del Anexo 4.

#### *Levantamiento AGA*

4.2.9 Es necesario determinar los obstáculos que sobresalgan de:

- a) las franjas de pista;
- b) las franjas de calle de rodaje;
- c) las superficies de aproximación;
- d) las superficies de despegue;
- e) las superficies de transición;
- f) las superficies horizontales;
- g) las superficies cónicas.

4.2.10 Las dimensiones y pendientes de estas superficies hay que determinarlas mediante un estudio combinado del Anexo 14 y de CAP 168. Cuando existe una discrepancia, hay que elegir la especificación más estricta.

4.2.11 La precisión del levantamiento topográfico ha de estar de acuerdo con el Anexo 4, Capítulo 4, 4.9.

#### *Levantamiento RAC (en relación con los procedimientos para la aproximación de precisión)*

4.2.12 Para todas las categorías de procedimientos ILS y de aproximaciones por radar de vigilancia (SRA) se requiere un levantamiento detallado hasta un alcance límite de 1/2 NM. Como base para este levantamiento se emplean los requisitos más estrictos para estos procedimientos, el perfil ILS de Categoría I y el área del procedimiento SRA. Todas las obstrucciones del área que sobresalgan o estén dentro de una altura de 3 m de las superficies libres de obstáculos deben incluirse en una tabla de alturas medidas. Para recibir los datos en la forma descrita en 4.2.21 y 4.2.22 se utiliza un computador que está programado para calcular

el OCL y el margen de obstáculos predominantes (utilizado sólo en el Reino Unido) para todas las categorías de ILS. Para fines de protección también se requerirá una verificación de muestra de los cálculos del computador ILS y el cálculo manual de la 1/2 NM del OCL SRA, un plano de levantamiento a una escala de 1:5 000. En algunos aeródromos pueden ser aceptables escalas alternativas de 1:2 500 o de 1:10 000. Los levantamientos deben actualizarse anualmente y renovarse completamente cada tres años.

4.2.13 El espacio aéreo en forma de embudo para la aproximación tiene su origen en el umbral de la pista para el aterrizaje, en cuyo punto tiene una anchura de 600 m; 660 m en sentido opuesto a la aproximación del umbral y diverge en un 15% (equivalente a un ángulo de  $8^{\circ}32'$ ) a cada lado hasta que llega a una anchura de 4 NM, y conserva esta anchura hasta 15 NM del umbral. La parte superior de este embudo es horizontal durante los primeros 790 m y a continuación tiene una pendiente ascensional de 1.32. La aproximación frustrada empieza en el umbral donde tiene una anchura de 600 m y permanece constante hasta que llega a los 875 m en el sentido de la aproximación desde el umbral, y diverge en un ángulo de  $15^{\circ}$  a cada lado. La parte superior de la aproximación frustrada es horizontal en los primeros 1 800 m en el sentido de la aproximación desde el umbral y luego tiene una pendiente ascensional de 1.40. El área termina donde la pendiente intercepta la altitud mínima del sector.

4.2.14 Los requisitos de levantamiento de planos indicados en 4.2.12 y 4.2.13 se proyectaron de forma que satisficieran los requisitos de evaluación de obstáculos correspondientes a los procedimientos de aproximación de precisión utilizados en el Reino Unido, en los cuales la altura sobre la elevación del aeródromo, por debajo de la cual no puede mantenerse el mínimo prescrito de franqueamiento vertical, queda definida como límite de franqueamiento de obstáculos (OCL), es decir, de conformidad con los criterios indicados en los PANS-OPS, tercera edición, 1971. Actualmente se están modificando los requisitos de levantamiento de planos correspondientes a los nuevos procedimientos de aproximación de precisión y a los procedimientos actuales, cuando se revisan, para garantizar que las superficies de evaluación de obstáculos (OAS) satisfacen los requisitos de los PANS-OPS, Volumen II, primera edición, 1979, y todas las enmiendas posteriores de tal documento en la forma aprobada por la Comisión de Aeronavegación. Se están programando los trabajos necesarios para la aplicación de los PANS-OPS, a partir del 25 de noviembre de 1982, fecha recomendada por el Consejo. A partir de esa fecha, los criterios de altura mínima permitida para las aeronaves, correspondientes a cada procedimiento de aproximación de precisión, se expresarán como altitud/altura de franqueamiento de obstáculos (OCA/H).

#### *Procedimientos para levantamientos topográficos de los aeropuertos*

4.2.15 En el Reino Unido se hace el mayor uso posible de los planos nacionales. La totalidad del país, incluyendo Irlanda del Norte, está representada en mapas que utilizan una proyección Mercator transversal. Sobre los mapas de



Inglaterra, Escocia y Gales, se superpone una cuadrícula nacional; Irlanda del Norte está incluida en el sistema irlandés de cuadrícula, en el que el meridiano central de la proyección se encuentra 8° al oeste del meridiano de Greenwich, a diferencia del valor de 2° W, que es el utilizado para el resto del Reino Unido.

4.2.16 Se dispone de cobertura total mediante mapas a la escala de 1:10 000 ó 1:10 560. La mayoría de los aeropuertos en los que se efectúan levantamientos topográficos se encuentran en zonas de las que existen publicados mapas nacionales a la escala de 1:2 500. Estos planos incluyen nivelación de precisión y puntos topográficos de referencia, así como la elevación sobre un nivel especificado, con cotas aisladas a lo largo de las carreteras públicas. Sobre este fondo se efectúan los levantamientos topográficos en el Reino Unido.

4.2.17 Los levantamientos de planos de obstáculos de los aeropuertos tienen que satisfacer las condiciones previstas en los Anexos 4 y 14 de la OACI y también los criterios CAP 168, cuando éstos sean aplicables al levantamiento de planos de obstáculos.

#### Trabajos de campo

4.2.18 Normalmente se efectúan sobre copias de los mapas nacionales, cuando los hay, a escala de 1:2 500. En regiones alejadas de las cuales no existen mapas, se usan planos a escala de 1:2 500, 1:10 000 ó 1:10 560. El levantamiento tiene por objeto la preparación de planos y de tablas de las alturas medidas. Esto requiere: -

- una comprobación de la orientación y longitud de las pistas, de la elevación de los umbrales y de la disposición general del aeropuerto, tal como aparecen en el plano que se está utilizando;
- que el topógrafo señale en las copias de los planos utilizadas en el campo las zonas y alturas permisibles para las operaciones de despegue, aterrizaje y vuelo en circuito;
- localización en el plano de los puntos cuya altura hay que medir;
- medición de las alturas. La diferencia de las alturas se obtiene multiplicando la tangente del ángulo vertical, medido con el teodolito, por la distancia a escala, en el plano, entre la estación donde se encuentra el instrumento y el objeto cuya altura se mide. Esta diferencia se aplica a la elevación de la estación del instrumento para obtener la altura por encima de la referencia del objeto en particular. Para cada punto se efectúan por lo menos dos mediciones de la altura, obtenidas desde diferentes estaciones del instrumento.

#### Trabajos de gabinete

4.2.19 Los levantamientos pueden efectuarse también mediante aerofotografía y sus resultados comprobarse con las muestras topográficas.

4.2.20 Los puntos medidos se representan en una transparencia plástica de dimensiones estables del correspon-

diente plano nacional de cuadrícula de 1:2 500 y se identifican por un número único. La mayor cantidad de puntos posibles se representa también en una recopilación de 1:10 000 de los planos nacionales de cuadrícula de 1:10 000 ó de 1:10 560, que comprenda el aeropuerto y sus diversas áreas de aproximación, de despegue y de vuelo en circuito. A cada plano se le da un número de referencia y en él se deja constancia de la autoridad responsable de la información proporcionada en el levantamiento.

4.2.21 Se prepara una tabla de las alturas medidas en forma de libro. La página en la que figura el título indica:

- el nombre del aeropuerto;
- el área cubierta por el levantamiento topográfico;
- las coordenadas nacionales de la cuadrícula de cada umbral de pista con una corrección de  $\pm 1$  m;
- la elevación por encima de la referencia del servicio cartográfico de cada umbral de pista hasta  $\pm 0,03$  m;
- la fecha del levantamiento y de toda revisión del mismo;
- el número de archivo;
- el nombre de la autoridad responsable de la información proporcionada en el levantamiento.

4.2.22 Cada página de la tabla contiene la siguiente información:

- el número de archivo del plano en que se representa el punto cuya altura se ha medido;
- el número que el punto tiene en el plano;
- la altura del punto por encima de la referencia  $\pm 0,3$  m;
- la referencia de 1 m de la cuadrícula nacional correspondiente a cada punto, obtenida normalmente mediante graduación a escala del plano nacional de la cuadrícula a 1:2 500;
- descripción breve (limitada a ocho dígitos para cumplir con los requisitos de alimentación de la computadora).

4.2.23 Se preparan copias positivas transparentes de estos planos en un material plástico de dimensiones estables y se envían a la autoridad pertinente junto con copias de la tabla. Por la información contenida en ellas, las autoridades aeronáuticas pueden entonces decidir qué objetos constituyen un obstáculo

4.2.24 Los trabajos de campo y los subsiguientes procedimientos de gabinete garantizan que los datos suministrados sean más que adecuados para la elaboración de los planos Tipo A y Tipo B, y permitan un estudio más detallado de las aproximaciones.

4.2.2.5 Los levantamientos topográficos se efectúan en general desde las carreteras y los caminos secundarios, y normalmente no es necesario gestionar la entrada en terrenos privados. En todos los casos, se informa al topógrafo acerca del tipo de levantamiento que ha de efectuar, en los términos siguientes:

- Levantamiento topográfico completo.* Este es un primer levantamiento o un nuevo levantamiento, y en él se

muestran todos los obstáculos y curvas de nivel. Es esencial penetrar en el terreno.

- b) *Levantamiento topográfico limitado.* Este es un primer levantamiento o un nuevo levantamiento, y en él se muestran solamente los obstáculos predominantes de los conjuntos de objetos estrechamente agrupados. Se efectúa desde las carreteras y los caminos secundarios, y normalmente no es necesario penetrar en el terreno.
- c) *Levantamiento topográfico de revisión.* Este es un levantamiento de comprobación, el cual se lleva a cabo en los aeropuertos en que ya se ha efectuado previamente un levantamiento topográfico de precisión, y en los que solamente han tenido lugar programas limitados de nuevas construcciones y eliminación de obstáculos.

4.2.26 Para cada aeropuerto se da una indicación acerca de si las pistas y franjas son para vuelo por instrumentos o para vuelo visual, definiéndose también las dimensiones y pendientes exactas de las áreas de aproximación relacionadas con dichas pistas y franjas. Los requisitos de los levantamientos topográficos AGA incluyen las superficies de transición, horizontal y cónica a que se hace referencia en el Anexo 14 y en CAP 168.

4.2.27 Si el examen del *Plano y tabla de alturas medidas* muestra la necesidad de un programa de eliminación de obstáculos, se efectúa un nuevo levantamiento topográfico del área concreta de que se trate, para el cual es necesario generalmente gestionar la entrada en los terrenos privados, y se prepara un plano a escala 1:2 500 que muestre en detalle los objetos que hay que eliminar y que permita calcular los costes de dicha operación.

### 4.3 PRACTICA SEGUIDA EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

4.3.1 El levantamiento de planos de obstáculos de aeródromo debe proporcionar principalmente:

- a) la elevación del aeropuerto;
- b) las elevaciones del perfil de la pista;
- c) la latitud y longitud del punto de referencia de aeródromo (ARP);
- d) la anchura y longitud de cada pista;
- e) el azimut de cada pista;
- f) la planimetría del aeropuerto; y
- g) la situación y elevación de los obstáculos comprendidos en el área abarcada por el plano.

En algunos Estados tal vez se exija información complementaria, en cuyo caso los procedimientos que se describen más adelante para obtener los datos principales pueden aplicarse también para obtener los datos adicionales.

4.3.2 La complejidad de cada levantamiento topográfico y el número de planos mantenidos al día variarán mucho entre los diferentes Estados. Los métodos utilizados, el equipo empleado y los medios necesarios para el personal

que se ocupe de los trabajos de campo serán también diferentes. La variedad de procedimientos para la obtención de datos en el terreno que aquí se describen es lo suficientemente amplia como para permitir la elección de los métodos adecuados, tanto para las situaciones muy complejas como para las más sencillas. A este respecto, muchos de los métodos presuponen la utilización de fotografías aéreas durante el levantamiento topográfico, seguido de procesos de compilación fotogramétrica en la oficina. Cuando no se consideren factibles los procedimientos fotogramétricos, pueden elegirse métodos que no dependan de ellos. La compilación y los medios de reproducción varían también entre los diversos Estados, hasta el punto que no se incluyen aquí comentarios acerca de estas fases.

4.3.3 Para facilitar la referencia a ellos, los trabajos de campo se consideran divididos en una serie de fases o procesos, es decir:

- a) levantamientos topográficos originales;
- b) levantamientos topográficos de revisión;
- c) planeamiento y reconocimiento;
- d) nivelación;
- e) planimetría;
- f) levantamiento topográfico del área de aterrizaje;
- g) localización y selección de obstáculos;
- h) situación y elevación de los obstáculos;
- i) ayudas para la navegación (ILS, Rbn, Radar, etc.).

#### *Levantamientos topográficos originales*

4.3.4 Un levantamiento topográfico original se define como el primer levantamiento topográfico de obstáculos efectuado en un aeropuerto. Este levantamiento debe proporcionar todos los datos principales, incluyendo también algunos de los datos suplementarios requeridos. Además, este tipo de levantamiento topográfico debería proporcionar una red básica de puntos topográficos de referencia para planimetría y altimetría, descritos en los planos y señalados en el terreno, para asegurar su identificación y utilización en los futuros levantamientos topográficos de revisión. Siempre que los gastos extraordinarios que ello lleva aparejado estén justificados, los puntos topográficos de referencia deberían tener un orden de precisión que resulte de utilidad para las necesidades topográficas de las autoridades del aeropuerto y los ingenieros de la localidad.

#### *Levantamientos topográficos de revisión*

4.3.5 Durante cada levantamiento topográfico de revisión, la brigada topográfica debe efectuar un examen completo del terreno comprendido en el plano de obstáculos existente y obtener en el terreno los datos topográficos necesarios para poner al día dicho plano, a fin de que esté de acuerdo con las necesidades o requisitos del momento. La clase y volumen de los trabajos de campo necesarios para un levantamiento topográfico de revisión variarán considerablemente, de acuerdo con la actualidad del plano. Es obligatorio efectuar en el terreno un examen de los obstáculos que

figuren en el plano existente, para lo cual éste puede utilizarse como hoja de plancheta. En el caso de un nuevo plano de obstáculos, o uno relativamente moderno, esto puede ser en la práctica todo lo necesario para un levantamiento topográfico de revisión. Tratándose de un plano de obstáculos más antiguo, con frecuencia será necesario volver a establecer el punto de referencia de aeropuerto (ARP), hacer una nueva nivelación de la pista, revisar la red de puntos topográficos de referencia para planimetría y altimetría, etc.

#### Planeamiento y reconocimiento

4.3.6 El planeamiento de cada levantamiento topográfico debería iniciarse con un estudio de los mejores mapas disponibles de la región, así como de la planimetría y la altimetría de la zona en cuestión. Siempre es útil dibujar la superficie de aproximación, etc., en los mapas durante este estudio. A continuación deberían tener lugar las reuniones preliminares con el director del aeropuerto, el personal de la torre de control y el ingeniero del aeropuerto, para tratar las cuestiones relacionadas con el levantamiento topográfico, las construcciones o la eliminación de obstáculos propuestas, los obstáculos críticos y los puntos de referencia existentes. Después de lo cual debería efectuarse un reconocimiento general, con el fin de familiarizarse con el aeropuerto y sus inmediaciones.

#### Nivelación

4.3.7 Para fijar la elevación del aeropuerto requerida, incluyendo las elevaciones del perfil de la pista y las cotas de referencia que servirán para determinar las elevaciones de los obstáculos, habrá que efectuar un itinerario de nivelación, de tercer orden o de un orden mayor de precisión, hasta el aeropuerto, utilizando nivel de burbuja. Esta nivelación debería efectuarse hacia adelante y hacia atrás partiendo de dos cotas de referencia existentes en relación con el nivel medio del mar, con lo cual se obtiene una comprobación satisfactoria. Cuando no sea factible basar la altimetría en un nivel de referencia respecto al nivel medio del mar, debería hacerse constar así en una nota que figure en el plano. Durante esta nivelación deberían establecerse en el aeropuerto, para usarse en el futuro, por lo menos dos cotas de referencia, con sus correspondientes hitos y descripción.

4.3.8 A partir de estas dos nuevas cotas de referencia, debería efectuarse un itinerario cerrado de nivelación, con nivel de burbuja, a lo largo del perímetro del área de aterrizaje, debiendo establecerse cerca del extremo de cada pista, para ulterior referencia, un punto semipermanente bien señalado e indicado. Para esta nivelación es suficiente cerrar el itinerario con un error igual a 0,1 ft<sup>1</sup> por la raíz cuadrada de la longitud de la poligonal en millas terrestres.

La nivelación del perfil de la pista y la elevación del aeropuerto pueden determinarse basándose en dichas cotas de referencia. La nivelación puede ampliarse también a partir de estas cotas de referencia, desde el aeropuerto hasta la vecindad de los obstáculos, cuando no existan cerca de ellos otras cotas previamente establecidas.

4.3.9 Todas las nivelaciones anteriormente mencionadas pueden efectuarse con cualquier nivel de burbuja de buena calidad y con una mira exacta de nivelación. Durante el proceso de nivelación, el instrumento debe tenerse bien ajustado, y las longitudes de los tramos visados, hacia adelante y hacia atrás, deben mantenerse equilibradas.

#### Planimetría

4.3.10 En el plano debería mostrarse una relación correcta entre las pistas del aeropuerto, los obstáculos y otros detalles, objeto de lo cual es el levantamiento topográfico planimétrico. Este se lleva a cabo generalmente midiendo una base a lo largo de una de las pistas y avanzando a partir de la misma, mediante una pequeña red de triangulación o una poligonal, hasta determinar las posiciones respecto a la línea de base de tantos puntos de estación para la planimetría local como sean necesarios.

4.3.11 El número necesario de puntos de estación para la planimetría local dependerá de si han de utilizarse o no fotografías durante el levantamiento topográfico encaminado a situar los obstáculos y a medir la elevación de los mismos. Cuando se utilicen fotografías aéreas y procedimientos fotogramétricos, serán suficientes tres estaciones en cada extremo de las pistas, una estación en el punto de referencia de aeropuerto y una estación apartada, justamente más allá de los límites de los obstáculos en cada dirección desde el aeropuerto. Cuando no se utilicen fotografías aéreas, se necesitará una estación en el punto de referencia de aeropuerto y otra en el extremo de cada pista. Asimismo, se necesitarán otros puntos de estación apartados, en cantidad suficiente que permita situar desde los mismos cada uno de los obstáculos u otros detalles, mediante plancheta, intersección de visuales de teodolito o mediante una poligonal.

4.3.12 Las coordenadas planas de cada punto de estación pueden calcularse suponiendo que el origen de coordenadas está en un extremo de la línea de base y otorgando a ésta un azimut arbitrario. Una mejora consistiría en hallar el azimut verdadero de la línea de base mediante observaciones del sol, con lo que se orientaría al norte verdadero el sistema de coordenadas del plano de obstáculos. Otra mejora consistiría en enlazar la red de puntos fijos de estación con un sistema nacional de planimetría, utilizando métodos fotogramétricos, triangulación o poligonales. Esto relacionaría el sistema de coordenadas del plano con un punto geodésico de referencia, haciendo posible con ello la determinación de la posición geográfica del punto de referencia de aeropuerto, por ser uno de los puntos de estación, así como de cualquier otro punto del plano. Cuando no sea

<sup>1</sup> En esta sección se emplean unidades de medida inglesa por ser ésta la práctica en los Estados Unidos.

factible determinar de esta forma la posición geográfica del punto de referencia de aeropuerto, será necesario hallarla valiéndose de la escala gráfica del mejor mapa de que se disponga.

4.3.13 Se conseguirá una precisión suficiente si la base se mide en los dos sentidos con una buena cinta métrica de acero, apoyada en toda su longitud sobre la superficie de la pista, y si la medición se corrige solamente por temperatura. La precisión será también suficiente si los ángulos se miden con un teodolito cuyo limbo azimutal esté dividido por lo menos en arcos de 20" y si cada ángulo se mide dos veces, es decir, en sentido directo e inverso.

#### *Levantamiento topográfico del área de aterrizaje*

4.3.14 Este levantamiento topográfico tiene por objeto fijar la anchura, la longitud y el azimut de cada pista, y obtener los datos necesarios para efectuar una planimetría detallada del aeropuerto.

4.3.15 La anchura de las pistas se halla fácilmente con una cinta métrica; las longitudes de pista pueden obtenerse también con este método. Otro método para medir las longitudes de pista consiste en calcularlas desde cada uno de los puntos de estación establecidos en cada extremo de pista durante los trabajos de planimetría. Cuando se utilice este método, el cálculo proporcionará también el azimut de cada pista. Un tercer método, donde se utilizan procedimientos fotogramétricos para enlazar los puntos de estación locales con un sistema nacional de planimetría, consiste en identificar cada extremo de pista en una fotografía, determinar las coordenadas de estos puntos por métodos fotogramétricos, y calcular entonces la longitud y azimut partiendo de estas coordenadas. Finalmente, cuando las longitudes de pista se hallan por medición directa con la cinta métrica, puede observarse el azimut del sol, a fin de hallar el azimut de una pista, efectuando después un itinerario o poligonal hasta cada una de las otras pistas, para determinar sus respectivos azimutes.

4.3.16 La obtención de detalles por fotogrametría es un medio ideal para el relleno del plano del aeropuerto, es decir, para señalar en el plano los detalles de las pistas, calles de rodaje, edificios, etc. Cuando se utilice este método, el trabajo de campo puede limitarse a anotar en la fotografía los datos que indiquen a la persona que se encargue del trabajo de gabinete todo cambio que haya tenido lugar después de la fecha de la fotografía en cuestión. Cuando no se emplee fotogrametría, la mejor forma de obtener estos detalles necesarios es sirviéndose de la plancheta.

#### *Localización y selección de obstáculos*

4.3.17 El emplazamiento y la elevación de los obstáculos constituyen la información más importante que se muestra en un plano de obstáculos, por lo que el personal de la brigada topográfica debe estar muy familiarizado con las superficies imaginarias que los definen. La validez de un plano de obstáculos publicado depende del cuidado y del

buen criterio ejercidos por el personal de la brigada topográfica durante la localización y selección de los obstáculos, así como de la subsiguiente labor de determinar su emplazamiento y hallar su elevación.

4.3.18 Los obstáculos comprendidos en un área de aproximación que sean visibles desde el extremo de la pista, pueden localizarse explorando el área con el anteojo de un teodolito situado en un punto cercano al extremo de la pista. Para este fin, el anteojo se ajusta con un ángulo vertical equivalente a la pendiente de la superficie de aproximación (1°09' para una pendiente de 1:50; 1°26' para una pendiente de 1:40; 0°41' para una pendiente de 1,2%). Debe contarse con el posible desplazamiento del anteojo por encima o por debajo del plano de la superficie de aproximación. Cuando se utilice este método, debe tenerse el cuidado de comprobar por otros métodos la existencia de los obstáculos que pudieran estar ocultos a la vista desde el extremo de la pista.

4.3.19 La localización de obstáculos en el terreno en el resto del área se puede acelerar mucho estudiando cuidadosamente los mapas topográficos existentes. Este reconocimiento en los mapas debe comprobarse visualmente mediante un reconocimiento en el terreno, a pie, en camión o desde una aeronave ligera. Los tipos de reconocimiento que se efectúen dependerán de la extensión del terreno, la disponibilidad de carreteras y la naturaleza del terreno.

4.3.20 Con frecuencia será necesario efectuar una medición aproximada de la elevación, a fin de determinar si un objeto ha de clasificarse como obstáculo, para situar finalmente su emplazamiento y determinar su elevación. Cuando dicha medición aproximada de la elevación indique que un determinado objeto constituye un obstáculo, pueden compararse con él otros objetos cercanos, a simple vista o mediante un estudio estereoscópico de fotografías, para decidir si deben o no deben considerarse también como obstáculos. Esta primera medición de la elevación para localizar los obstáculos puede efectuarse mediante los ángulos verticales observados desde un punto de elevación conocida (elevación tomada de un mapa topográfico o por otros medios), junto con la distancia medida en un mapa o fotografía a escala conocida. Los puntos de observación para estas mediciones aproximadas de la elevación pueden ser techos de edificios, terreno elevado, extremos de pista, etc. Es preciso poner gran atención para incluir los objetos móviles tales como trenes, camiones, grúas móviles, y en algunos casos hasta embarcaciones, cuando crucen la trayectoria de vuelo cerca de los extremos de pista.

4.3.21 La fase siguiente consiste en elegir los obstáculos que han de figurar en el plano. Con frecuencia, no es posible incluir todos los obstáculos localizados en el terreno. Por esta razón, debe hacerse una selección, a fin de incluir los obstáculos más importantes, incluyendo también aquéllos que caractericen la naturaleza y distribución de los obstáculos en el área abarcada por el plano. Debe hacerse todo lo posible para representar la densidad de los obstáculos en cada una de las áreas, eligiendo en aquéllas en que la densidad sea mayor unos cuantos obstáculos más que los elegidos en áreas menos congestionadas.

*Emplazamientos y elevación de los obstáculos*

4.3.22 Deberá hallarse el emplazamiento (posición en el plano horizontal) de cada uno de los obstáculos elegidos para figurar en el plano, lo cual puede hacerse mediante identificación en una fotografía aérea, para obtener después su posición por métodos fotográficos, o por métodos topográficos en tierra, es decir, por triangulación, poligonal o por una combinación de ambos.

4.3.23. El método fotográfico resulta muy satisfactorio ya que limita el trabajo de fijar la situación en el terreno a la identificación sobre fotografías de cada uno de los obstáculos

y de un número suficiente de puntos de estación de planimetría que sirvan de referencia durante el trazado fotográfico. Cuando no se pueda utilizar este método, la situación de los obstáculos debe hallarse por intersección de visuales, triangulación, poligonal, plancheta o por una combinación de todos estos métodos.

4.3.24 La elevación de los obstáculos puede hallarse de forma muy satisfactoria mediante nivelación trigonométrica con el taquimetro o mediante los ángulos horizontales y verticales medidos al observar la cúspide o parte superior del obstáculo desde un mínimo de dos puntos de elevación y posición horizontal conocidas.

## Capítulo 5

# Equipo e instalaciones de aeropuerto que pueden constituir obstáculos

### 5.1 INTRODUCCION

5.1 Todo objeto fijo o móvil, o parte del mismo, que esté situado en una área destinada al movimiento de las aeronaves en tierra o que sobresalga de una superficie definida destinada a proteger a las aeronaves en vuelo, constituye un obstáculo. Ciertos equipos e instalaciones de aeropuerto, debido a su función aeronáutica, deben estar inevitablemente ubicados y/o contruidos de modo tal que constituyen obstáculos. Sin embargo, no debe permitirse que otro tipo de equipo o instalaciones constituyan obstáculos. En este capítulo se trata del emplazamiento y construcción del equipo y de las instalaciones de aeropuerto que necesariamente deben estar ubicados en: una franja de pista; un área de seguridad de extremo de pista; una franja de calle de rodaje, o dentro del margen de distancia libre de una calle de rodaje especificado en el Anexo 14, Tabla 3-1. columnas 5 y 6; o en una zona libre de obstáculos, si pone en peligro a un avión en el aire.

5.1.2 Cuando el equipo de aeropuerto, tal como vehículos y maquinaria constituye un obstáculo, es generalmente un obstáculo temporal. No obstante, cuando las ayudas visuales, las radioayudas y las instalaciones meteorológicas constituyen obstáculos, generalmente lo son de carácter permanente.

5.1.3 Todo equipo o instalación que esté ubicado en un aeropuerto y que constituya un obstáculo debe tener un peso y alturas mínimos y estar emplazado de tal manera que represente un peligro mínimo para las aeronaves. Además, todo equipo o instalación de base fija debe estar montado en material frangible (véase 5.2).

5.1.4 La medida en que el equipo e instalaciones puedan conformarse a las características de construcción deseadas depende a menudo de los requisitos de performance del equipo o instalaciones en cuestión. Por ejemplo, las características de construcción de frangibilidad y poco peso de la construcción pueden afectar negativamente la rigidez del soporte de un transmisómetro.

5.1.5 Al seleccionar los dispositivos de las ayudas visuales y los accesorios para su montaje deben tenerse en cuenta muchos factores, a fin de garantizar la confiabilidad de las mismas y minimizar el peligro que puedan constituir

para las aeronaves, ya sea en vuelo o al maniobrar en tierra. Por ello es importante que las características estructurales adecuadas de todas las ayudas que puedan constituir obstáculos se especifiquen y publiquen como texto de orientación destinado a los proyectistas. A este fin, en 5.3 se incluyen algunas directrices sobre los requisitos del equipo e instalaciones de aeropuerto en materia de frangibilidad.

### 5.2 FRANGIBILIDAD

5.2.1 La frangibilidad de un objeto es la característica que consiste en que éste conserve su integridad estructural y su rigidez hasta una carga máxima conveniente, deformándose, quebrándose o cediendo con el impacto de una carga mayor, de manera que represente un peligro mínimo para las aeronaves.

5.2.2 Se dice que un objeto que reúne estas características es frangible.

### 5.3 TIPOS DE EQUIPO E INSTALACIONES DE AEROPUERTO QUE PUEDEN CONSTITUIR OBSTACULOS

#### 5.3.1 Generalidades

5.3.1.1 Hay muchos tipos de equipo e instalaciones de aeropuerto que por las funciones que desempeñan en materia de navegación aérea deben estar ubicados de modo tal que constituyen obstáculos. Entre ellos, podemos mencionar:

- a) las antenas indicadoras de la trayectoria de planeo ILS;
- b) las radiobalizas interiores de señalización ILS;
- c) las antenas del localizador ILS;
- d) los indicadores de la dirección del viento;
- e) los indicadores de la dirección de aterrizaje;
- f) los anemómetros;
- g) los telémetros de nubes;
- h) los transmisómetros;
- i) las luces elevadas de borde de pista, de umbral, de extremo de pista y de zona de parada;
- j) las luces elevadas de borde de calle de rodaje;

- k) las luces de aproximación;
- l) las luces de los sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación (VASIS);
- m) los letreros y balizas;
- n) los componentes del sistema de aterrizaje por microondas (MLS);
- o) ciertas instalaciones radar, electrónicas y de otro tipo, no enumeradas en los apartados anteriores;
- p) el VOR ó VOR/DME cuando están emplazados en los aeródromos;
- q) los sistemas o elementos del radar de precisión para la aproximación;
- r) el radiogoniómetro VHF; y
- s) el equipo de mantenimiento del aeropuerto, por ejemplo, camiones, tractores, etc.

5.3.1.2 Hay una gran variedad en las características estructurales de las ayudas de este tipo actualmente utilizadas. No obstante, es necesario que los Estados elaboren material de orientación para los proyectistas sobre las características estructurales apropiadas de estas ayudas. A continuación (5.3.2 a 5.3.4) se dan detalles de las características estructurales de las antenas y los transmisómetros ILS empleados por algunos Estados, junto con texto de orientación preparado por el Grupo sobre ayudas visuales relativo a los requisitos estructurales de las luces de pista, de calles de rodaje, de aproximación, y otras ayudas (5.3.5 a 5.3.7).

### 5.3.2 Antenas de trayectoria de planeo ILS

5.3.2.1 *República Federal de Alemania.* Los mástiles de las antenas indicadoras de trayectoria de planeo ILS utilizados en la República Federal de Alemania consisten en tubos de paredes angostas y amplio diámetro, ligeramente cónicos y hechos de fibra de vidrio, de fibra corta (véase Figura 5-1). Estos mástiles pueden resistir un viento considerablemente fuerte, pero se quiebran al aplicarles una carga como la que les impondría el impacto de una aeronave (véase Figura 5-2).

5.3.2.2 *Francia.* En Francia, los mástiles de las antenas indicadoras de trayectoria de planeo ILS se hacen de piezas angulares de acero. Su sección transversal es un triángulo equilátero con lados de 1 m de largo y abrazaderas soldadas a intervalos de 0,7 m en sentido vertical. Según el tipo de trayectoria de planeo, la altura del mástil oscila entre 15 y 17,5 m. Se logra conciliar la resistencia (resistencia al viento) y la frangibilidad debilitando la sección superior de la torre, a 10 m de altura del terreno, por medio de cortes aserrados en las chapas de unión que conectan las secciones de la estructura. La carga directa de rotura calculada es de 492 kgf aplicados a la punta del mástil.

### 5.3.3 Antenas de localizador ILS

5.3.3.1 *Reino Unido.* Una de las antenas de localizador utilizadas en el Reino Unido es la de tipo bocina. Esta antena se fabrica con materiales de poca masa y escasa resistencia al

impacto. Las abrazaderas de soporte principales son soldadas mecánicamente, con objeto de que se agrieten al recibir un impacto y el reflector de ángulo truncado consiste en alambres de acero inoxidable, con un pequeño espaciado entre ellos, que se extienden horizontalmente entre los largueros extremos de la estructura principal. Dicha estructura está montada en abrazaderas de soporte que se fijan a una base de hormigón, para formar un conjunto de aproximadamente 5,5 m de altura. Las antenas son de 25 a 50 m de largo. En caso de que una aeronave se salga de la pista y choque contra la antena, los pasadores de las abrazaderas de soporte anteriores ceden a la hendidura y toda la estructura cae hacia atrás, causando un daño mínimo a la aeronave. Análogamente, si el avión choca con la parte posterior, por ejemplo en una aproximación baja, la estructura cae hacia adelante.

5.3.3.2 *República Federal de Alemania.* Los soportes para antenas de localizador ILS usados en la República Federal de Alemania consisten en tubos de paredes delgadas hechos de fibra de vidrio, de fibra corta. La altura máxima de la instalación es de unos 3 m (véase Figura 5-3). Los reflectores de las antenas de localizador son varillas de aproximadamente 2,5 m de largo, sujetas sólo por resortes. Cuando se las expone a cargas superiores a la prevista, saltan de los soportes, reduciendo así a un mínimo el peligro para una aeronave que se salga de la pista.

5.3.3.3 *Australia.* Un tipo de antena de localizador empleado en Australia comprende largueros de madera de balsa revestidos de aluminio y protegidos por una tubería de aluminio. La estructura de soporte incluye pasadores de seguridad que ceden en los puntos críticos para permitir que la estructura se derrumbe bajo el peso de un impacto.

5.3.3.4 *Francia.* Las antenas de localizador usadas en Francia son reflectores parabólicos de un alcance de 35 m, hechos de 19 tubos de acero verticales unidos por alambre de cobre. Estos tubos de acero tienen un diámetro de 70 mm y un grosor de 3,75 mm. Están tensados por puntales a un ángulo de 45°, colocados en el punto medio de la altura total de la antena. La superficie reflectante consiste en 56 alambres de cobre horizontales de 2,5 mm de diámetro. El reflector está diseñado para soportar presiones dinámicas resultantes de vientos no congelantes de hasta 125 km/h y para resistir la deformación elástica que puede interferir con la radiación a velocidades del viento adecuadas para las operaciones de aterrizaje. Los tubos centrales están rebajados a una altura de 1,5 m del extremo superior, por medio de un anillo de perforaciones compuesto de 12 orificios de 9 mm de diámetro. Las cargas de fractura directa calculada son: 108 kgf aplicados en la dirección normal del aterrizaje; y 44 kgf en la dirección opuesta. (Estas cargas varían de acuerdo con el ángulo de aplicación relacionado con la curvatura del reflector y la tensión soportada por los alambres.)

### 5.3.4 Transmisómetros

5.3.4.1 *Reino Unido.* En el Reino Unido, los transmisómetros y los reflectores están contenidos en una caja de

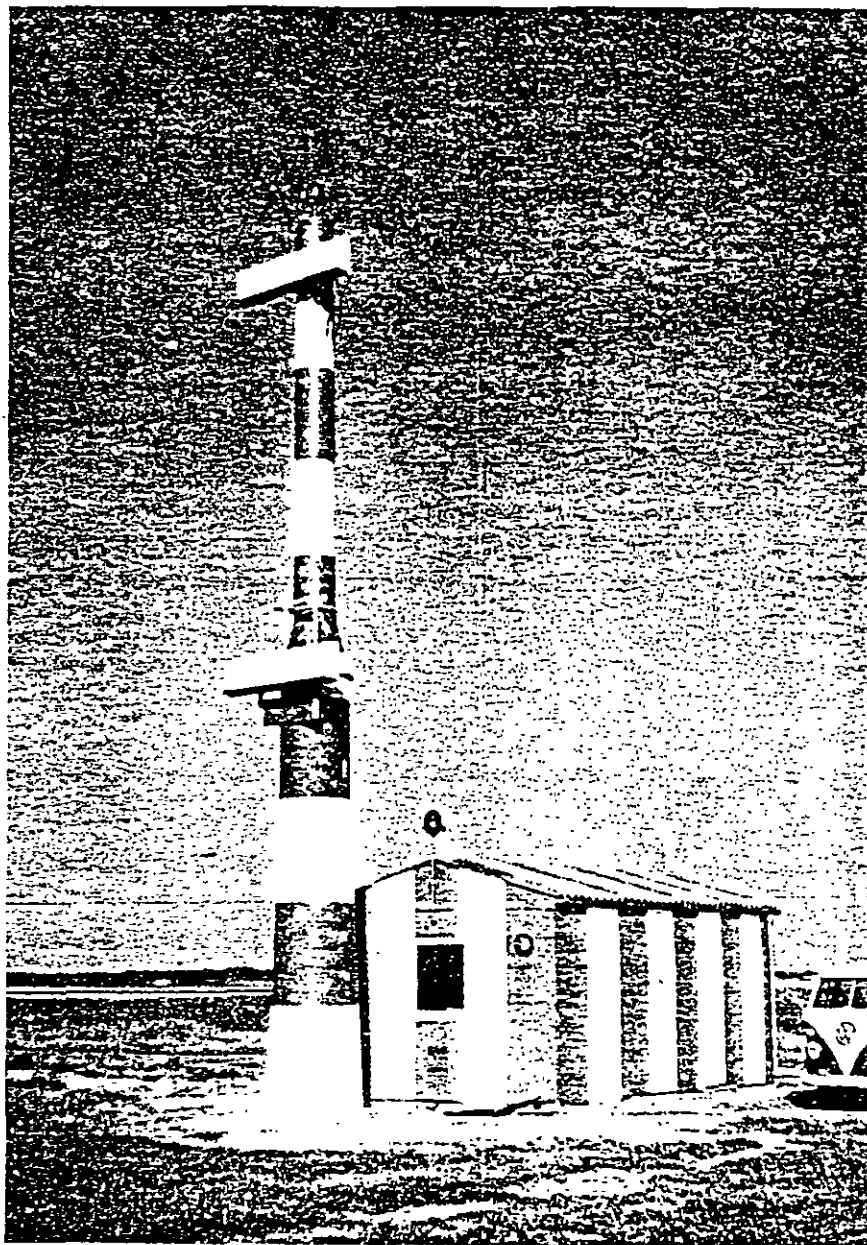


Figura 5-1. Mástil de la antena de la trayectoria de planeo ILS, utilizado en la República Federal de Alemania



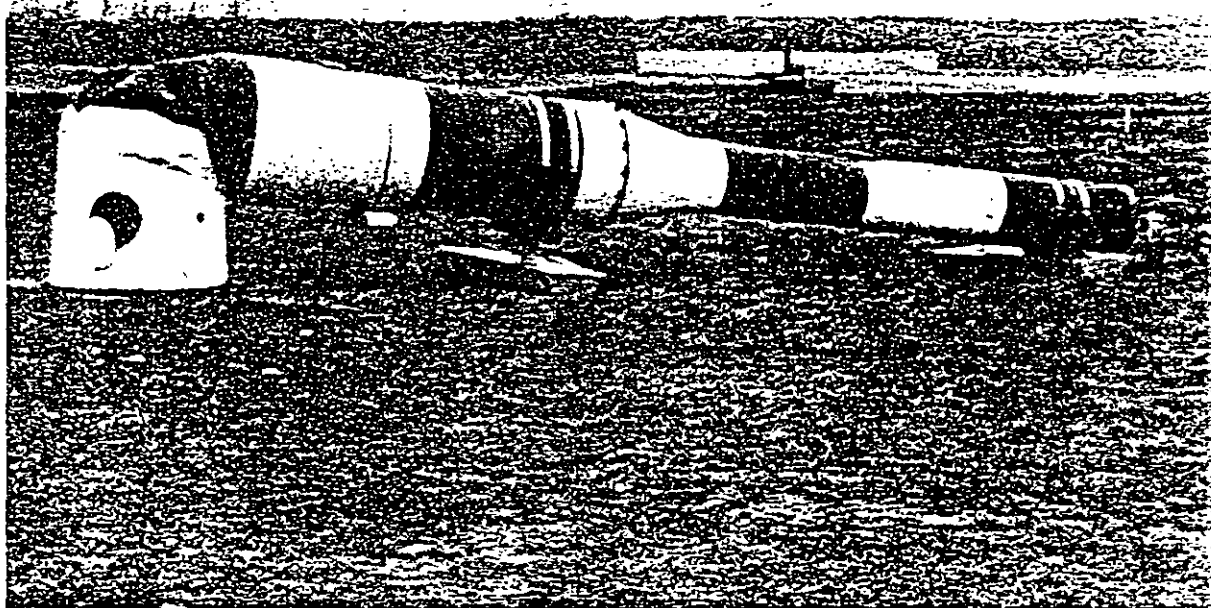


Figura 5-2. Mastil fracturado de la antena de la trayectoria de planeo ILS, utilizado en la República Federal de Alemania

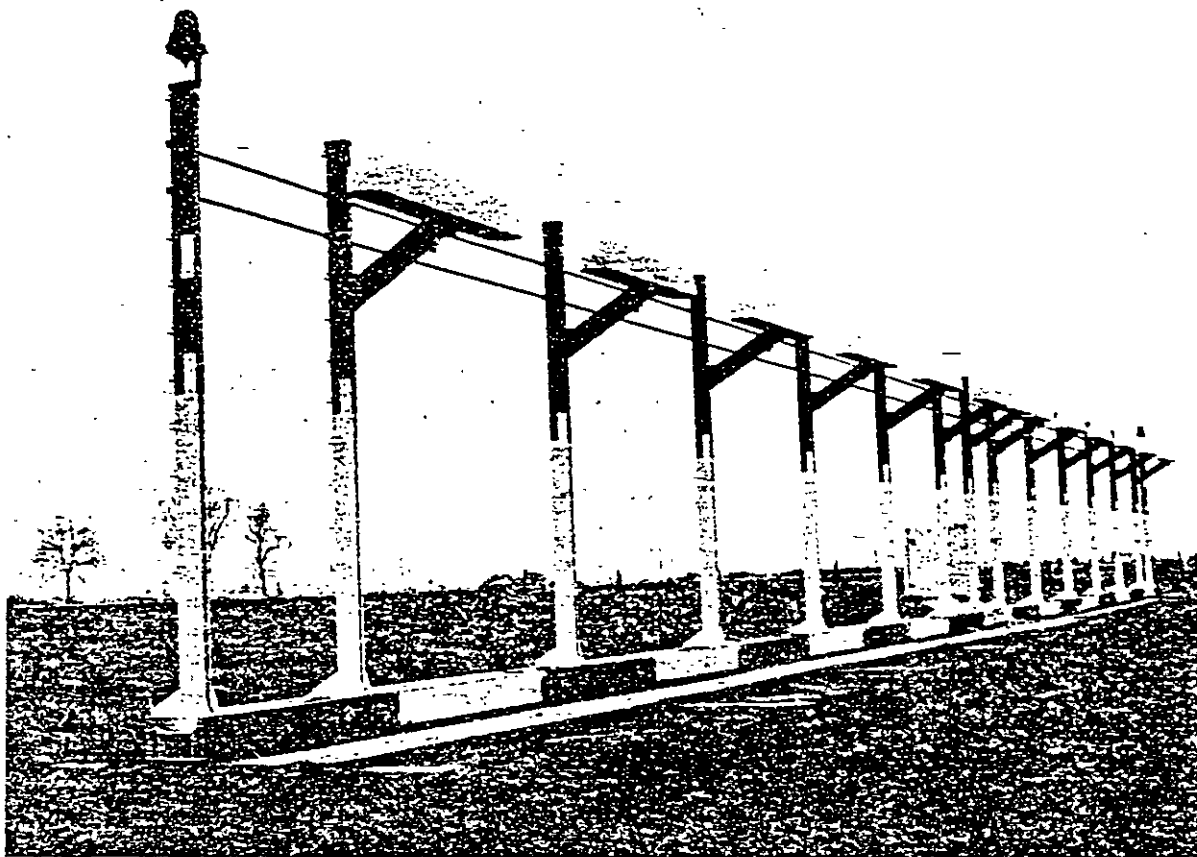


Figura 5-3. Red de antenas de localizador ILS utilizada en la República Federal de Alemania

fibra de vidrio quebradiza que tiene las siguientes características físicas:

Altura	—	1,83 m
Diámetro	—	0,74 m
Masa máxima	—	89 kg
Concentración máxima de masa	—	34 kg a una altura aproximada de 1,5 m

Las unidades se mantienen en posición por medio de un tornillo de vástago entallado, de modo que la estructura pueda quebrarse bajo una carga lateral de 227 kgf.

5.3.4.2 *República Federal de Alemania.* En los aeropuertos de la República Federal de Alemania, los transmisómetros están montados en una base construida de cemento de amianto (eternit), políester reforzado con vidrio o tubos de aluminio fundido. Los fabricantes sostienen que las estructuras de estos transmisómetros se rompen a un momento de flexión de 400 Newton-m.

5.3.4.3 *Reino de los Países Bajos.* En el Reino de los Países Bajos, la estructura en que se colocan los transmisómetros se construye de tubos de aluminio huecos que, si bien suficientemente resistentes por sí mismos, se doblan o quiebran fácilmente en caso de que una aeronave se estrelle contra ellos. La estructura está unida por medio de tornillos que pueden quebrarse a una base de hormigón hundido.

*Nota.* — Los textos de orientación sobre los requisitos estructurales de determinadas ayudas visuales que figuran en 5.3.5 a 5.3.7 fueron elaborados por el Grupo de expertos sobre ayudas visuales.

5.3.5 *Luces elevadas de borde de pista, de umbral, de extremo, de zona de parada y de calles de rodaje.*

5.3.5.1 La altura de estas luces debería ser lo suficientemente reducida para que las hélices y las barquillas de los motores puedan franquearlas. La flexión de las alas y la compresión de los largueros, por efecto de las cargas dinámicas, pueden hacer que las barquillas de los motores de algunas aeronaves lleguen casi hasta el suelo. Sólo puede tolerarse una altura muy reducida y se propugna una altura máxima de 36 cm.

5.3.5.2 Estas ayudas deberían estar montadas en dispositivos frangibles. La fuerza de choque, necesaria para provocar la rotura, en el punto de rotura, no debería exceder de 5 kg.m y la carga estática necesaria para provocar la rotura no debería exceder de 230 kg aplicada horizontalmente a 30 cm por encima del punto de rotura del dispositivo de montaje. La altura máxima conveniente de las luces y de la unión frangible es de 36 cm por encima del terreno. Los elementos que excedan de esta limitación de la altura podrán exigir características de rotura más elevadas, en cuanto al dispositivo frangible de montaje, pero, de todos modos, la frangibilidad debería ser tal que, si un elemento

resultara golpeado por una aeronave, el choque sólo ocasionase daños mínimos a la aeronave.

5.3.5.3 Además, todas las luces elevadas instaladas en las pistas de letras de clave A y B deberían poder resistir los chorros de gases de los motores de reacción que salgan a una velocidad de 300 kt; y las luces instaladas en pistas de letras de clave C, D y E, a una velocidad de 200 kt. Las luces elevadas del borde de las calles de rodaje deberían poder resistir una velocidad de gases de salida de 200 kt.

### 5.3.6 *Sistema de luces de aproximación*

5.3.6.1 Los textos de orientación sobre la frangibilidad de las luces de aproximación resultan más difíciles de preparar, dado que existe mayor variedad de material en el mercado. Las condiciones que se dan cerca de las luces del umbral son diferentes de las que existen al principio del sistema, por ejemplo, se requiere que las luces que estén dentro de los 90 m del umbral o extremo de la pista resistan un chorro de gases de 200 kt, mientras que las luces que queden más alejadas sólo deben resistir un chorro de 100 kt, o el empuje natural del viento. También es de suponer que el terreno próximo al umbral esté casi a la misma elevación que el umbral, lo que permitirá que las luces se instalen en estructuras de poca altura. A mayor distancia del umbral, pueden ser necesarias estructuras de soporte de altura considerable.

5.3.6.2 A fin de reducir el peligro de que las aeronaves puedan chocar con las luces de aproximación, éstas deberían contar con algún dispositivo frangible o estar instaladas en soportes frangibles.

5.3.6.3 Cuando el terreno requiera que los dispositivos de las luces y sus estructuras de soporte sean más altas de 1,8 m y constituyan un peligro crítico, se considera que no es posible pretender que el dispositivo frangible del montaje esté en la base de la estructura. La parte frangible puede limitarse a la parte superior de 1,8 m de la estructura, salvo que la estructura en sí sea frangible. Aunque hay ciertas dudas acerca de la necesidad de que sean frangibles las luces de aproximación que estén instaladas más allá de los 300 m antes del umbral (ya que se requiere que estas luces estén por debajo de la superficie de aproximación), se reconoce que hay que proteger las aeronaves que puedan descender por debajo de las superficies de aproximación o de despegue. Se considera que una parte superior frangible de 1,8 m es el mínimo aceptable, y que, siempre que ello sea posible, debería instalarse una parte superior frangible de mayor longitud.

5.3.6.4 En todos los casos, la luz y los soportes que forman parte del sistema de luces de aproximación deberían romperse cuando se aplique horizontalmente, a 30 cm por encima del punto de rotura de la estructura, una fuerza de choque que no exceda de 5 kg.m y una carga estática no inferior a 230 kg.

5.3.6.5 Cuando sea necesario instalar luces de aproximación en las zonas de parada, deberían estar empotradas en la superficie cuando la zona de parada esté pavimentada o, cuando no lo esté, ya sea estar empotradas o, en el caso de que las luces sean elevadas, satisfacer el criterio de frangibilidad convenido para las luces instaladas más allá del extremo de la pista.

5.3.7 *Otras ayudas (por ejemplo, VASIS, señales y balizas)*

5.3.7.1 Estas ayudas deberían emplazarse a la mayor distancia posible de los bordes de las pistas, calles de rodaje y plataformas, siempre que sea compatible con sus funciones. Debería hacerse todo lo posible para asegurar que las ayudas

mantendrán su integridad estructural al soportar las condiciones ambientales más severas. Sin embargo, cuando el choque de una aeronave exceda de estas condiciones, las ayudas habrán de romperse o deformarse de manera que las aeronaves no sufran daños o éstos sean mínimos.

5.3.7.2 Habrá que adoptar precauciones, al instalar ayudas visuales en el área de movimientos, para que la base de soporte de las luces no sobresalga por encima del terreno, sino que, más bien, quede por debajo del nivel del mismo, según lo requieran las condiciones ambientales, de modo que las aeronaves que pasen por encima de ellas no sufran daños o éstos sean mínimos. No obstante, el acoplamiento frangible siempre debería estar por encima del nivel del terreno.

## Apéndice 1

Ilustraciones de las superficies limitadoras de obstáculos  
ajenas a la zona despejada de obstáculos

### SUPERFICIES LIMITADORAS DE OBSTACULOS

Nota.—La figura muestra las superficies limitadoras de obstáculos en un aeródromo con dos pistas: una pista de vuelo por instrumentos y otra de vuelo visual, que son al propio tiempo pistas de despegue

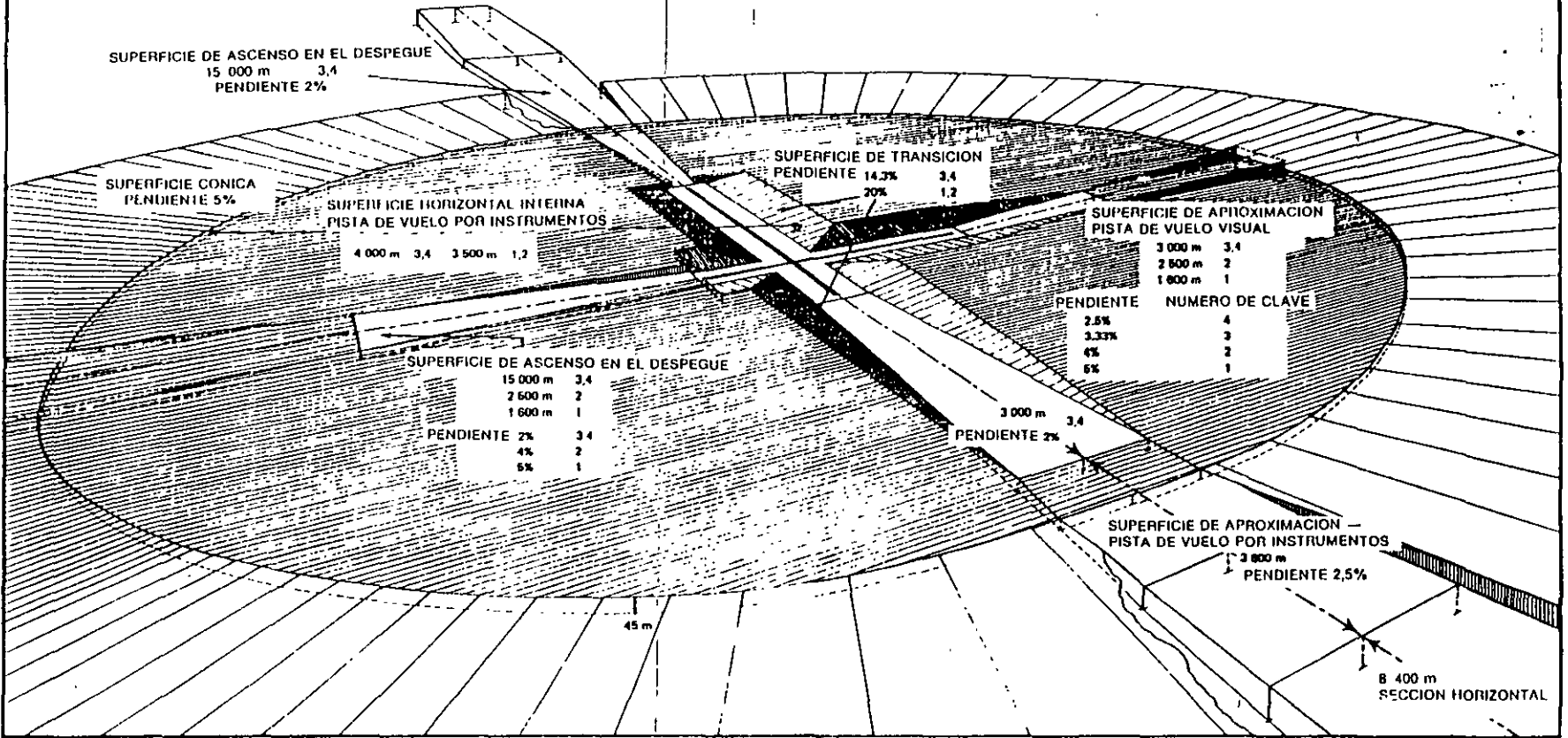


Figura A-1-1

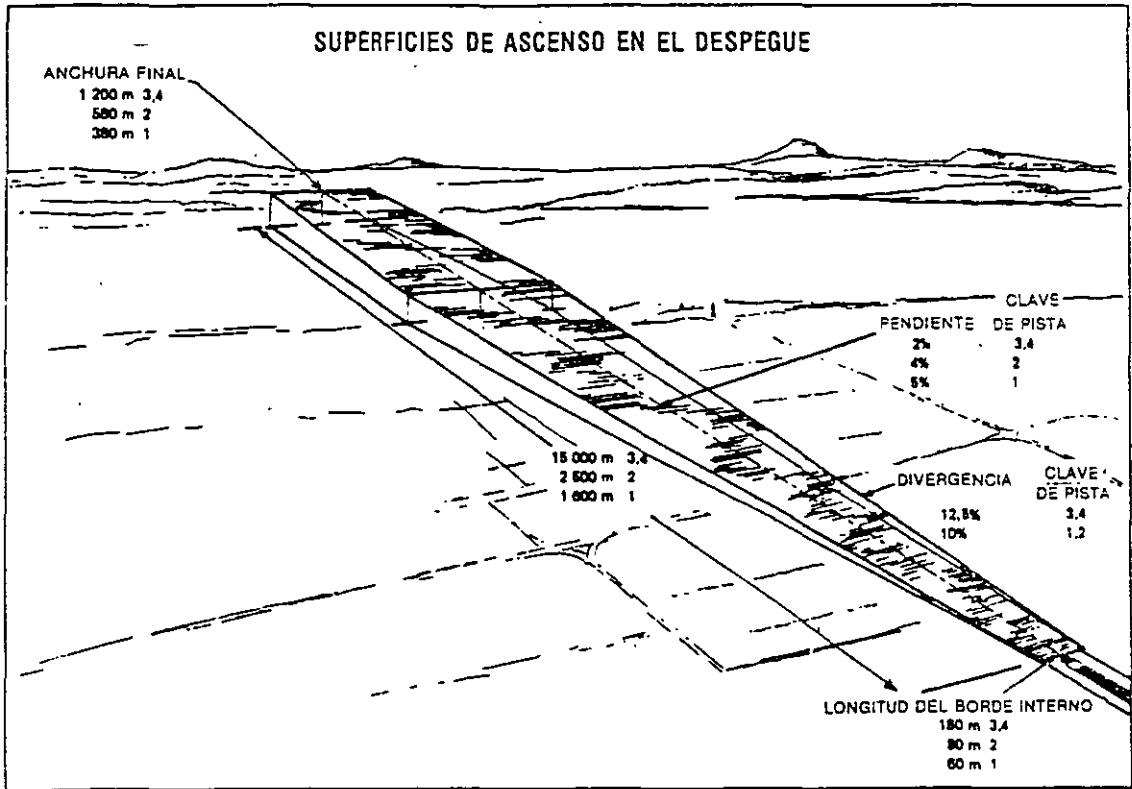


Figura A-1-2

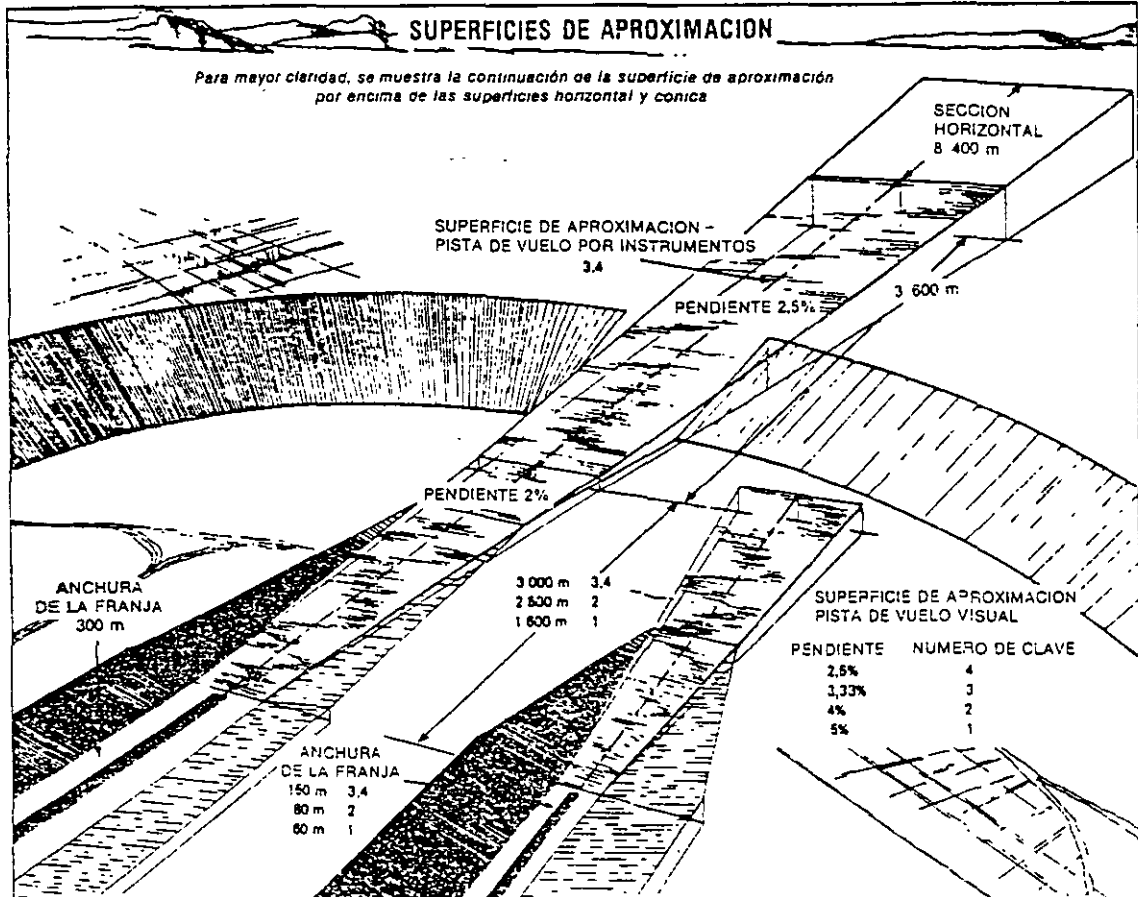


Figura A-1-3

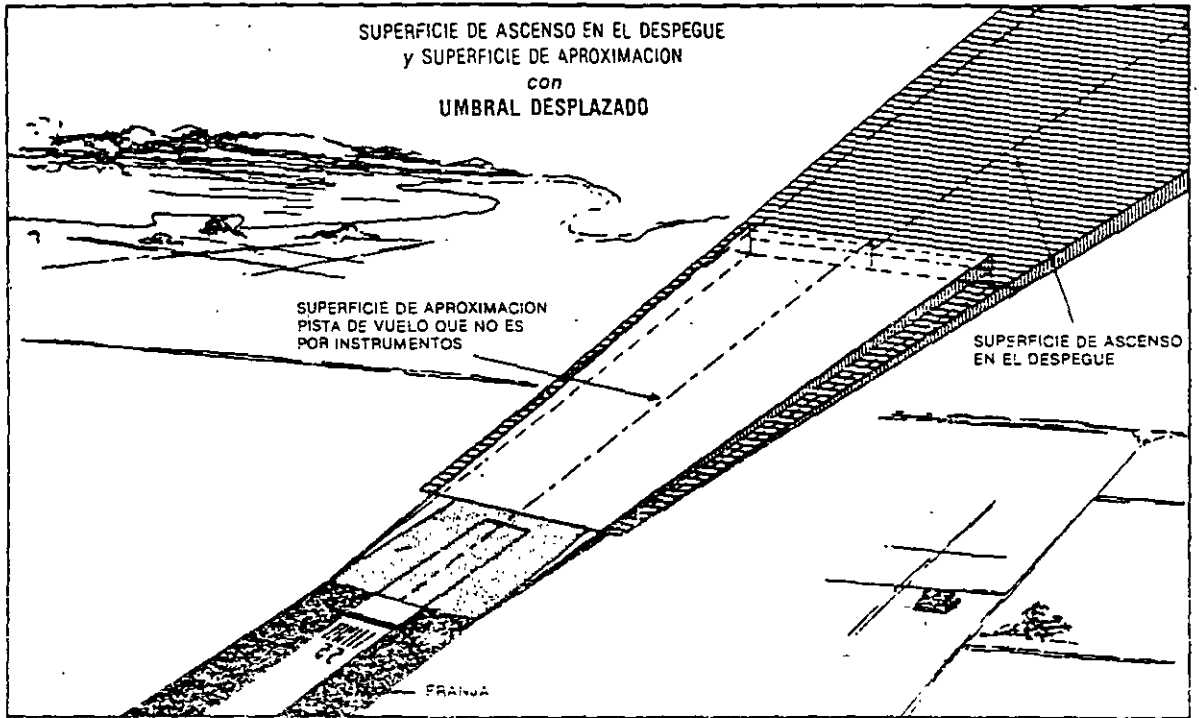


Figura A-1-1

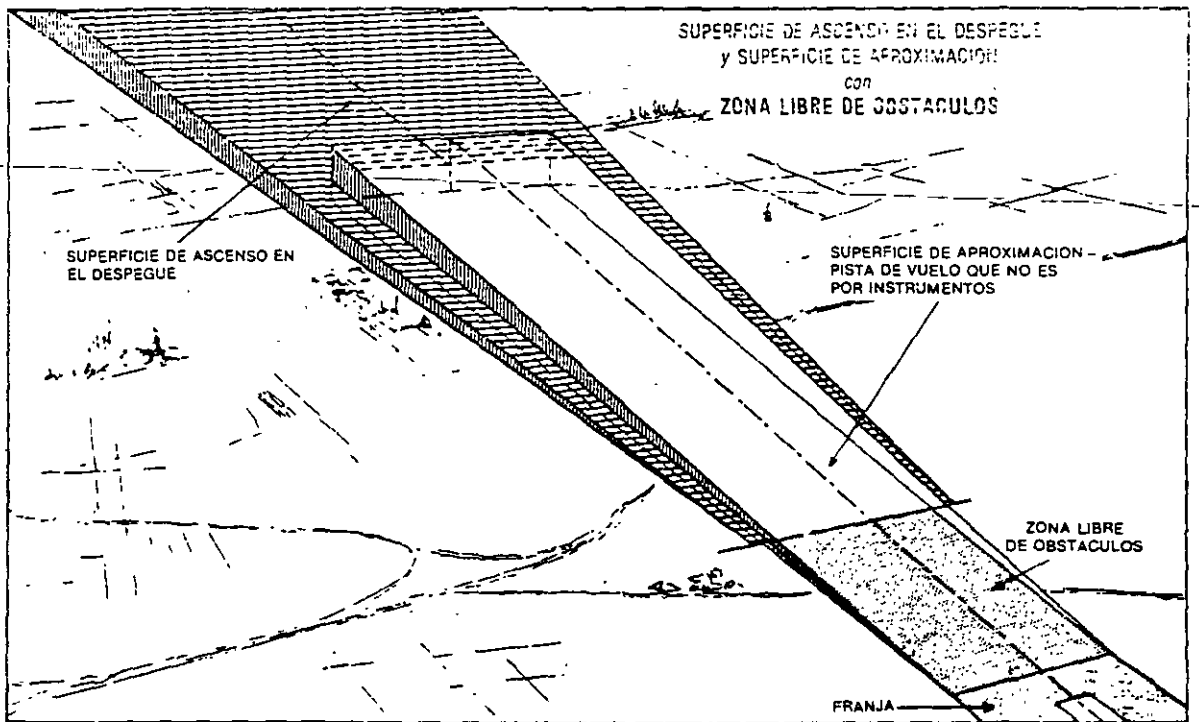


Figura A-1-5



## Apéndice 2

### Modelo de ordenanza de zonificación destinada a limitar la altura de los objetos en los aeropuertos y sus alrededores <sup>1/</sup>

*Nota.* — El siguiente modelo de ordenanza de zonificación, destinada a limitar la altura de los objetos en los aeropuertos y en sus alrededores, fue extraído de la Circular de asesoramiento Núm. 150/5190-4 de la FAA de los Estados Unidos. Se reproduce aquí para ilustrar, en términos generales, los elementos esenciales de toda ordenanza de zonificación. No se

pretende que todas las leyes de zonificación sigan el mismo formato o incluyan disposiciones similares. Es importante observar que, en varios casos, la ordenanza utiliza términos y dimensiones que difieren de los utilizados/especificados en el Anexo 14. Además, no utiliza la nueva clave de referencia de aeródromo empleada en el resto del manual.

ORDENANZA QUE REGULA Y LIMITA LA ALTURA DE LAS ESTRUCTURAS Y OBJETOS DE CRECIMIENTO NATURAL, Y REGULA, ADEMÁS, EL USO DE LA PROPIEDAD, EN LAS PROXIMIDADES DE \_\_\_\_\_ 2/ CREANDO ZONAS APROPIADAS Y ESTABLECIENDO LÍMITES DE LAS MISMAS; PREVE LA MODIFICACIÓN DE LAS RESTRICCIONES Y LÍMITES DE TALES ZONAS; DEFINE CIERTOS TÉRMINOS AQUÍ UTILIZADOS; SE REFIERE AL MAPA DE ZONIFICACIÓN DE \_\_\_\_\_ 2/ QUE SE INCLUYE Y FORMA PARTE DE ESTA ORDENANZA; PREVE SU APLICACIÓN; CREA UNA JUNTA DE APELACIÓN; E IMPONE SANCIONES. <sup>1/</sup>.

Esta Ordenanza se adopta de conformidad con los poderes conferidos por \_\_\_\_\_ 3/. En virtud de esta Ordenanza se considera que un obstáculo puede poner en peligro las vidas y propiedades de los usuarios de \_\_\_\_\_ 2/, y la propiedad o los ocupantes de las fincas sitas en sus proximidades; que un obstáculo puede afectar los mínimos aplicables a la aproximación por instrumentos, actuales y futuros, de \_\_\_\_\_ 2/, y que un obstáculo puede reducir las dimensiones de las zonas disponibles para el aterrizaje, despegue y maniobra de las aeronaves, tendiendo así a anular o menoscabar la utilidad de \_\_\_\_\_ 2/ y las inversiones públicas consiguientes. Conformemente, se declara:

- 1) que la creación o establecimiento de un obstáculo puede constituir una molestia para el público y lesionar la región servida por \_\_\_\_\_ 2/;
- 2) que es necesario, en interés de la salud pública, de la seguridad pública y del bienestar general de \_\_\_\_\_, 4/ evitar la creación o establecimiento de obstáculos que constituyan un peligro para la navegación aérea; y
- 3) que la prevención de esos obstáculos debería llevarse a cabo, dentro de la legalidad posible, ejerciendo sin compensación la autoridad policial.

---

<sup>1/</sup> Ajustar el título a la usanza y requisitos legales del Estado, así como de la correspondiente subdivisión político-administrativa.

<sup>2/</sup> Insertar el nombre del aeropuerto zonificado en virtud de esta ordenanza.

<sup>3/</sup> Seguir la denominación usual de las leyes estatales.

<sup>4/</sup> Si para definir las limitaciones de la autoridad policial los tribunales utilizan comúnmente otros términos, tales como "conveniencia" o "prosperidad", éstos deberían añadirse.

Se declara, asimismo, que la prevención de la creación o establecimiento de peligros para la navegación aérea, la eliminación, remoción, alteración o mitigación de peligros para la navegación aérea, y el señalamiento e iluminación de obstáculos constituyen aspectos públicos para los cuales la subdivisión político-administrativa puede recaudar y utilizar fondos públicos y adquirir terrenos o derechos sobre los mismos.

POR LA PRESENTE \_\_\_\_\_ 5/ ORDENA lo siguiente:

#### SECCION I: TITULO ABREVIADO

La presente Ordenanza será conocida y puede citarse como Ordenanza de zonificación de \_\_\_\_\_ 2/.

#### SECCION II: DEFINICIONES

Los términos utilizados en la presente Ordenanza, a menos que el contexto exija lo contrario, significan:

1. AEROPUERTO - \_\_\_\_\_ 2/.
2. ELEVACION DEL AEROPUERTO - La altitud del punto más elevado de la zona de aterrizaje utilizable de un aeropuerto medida en pies sobre el nivel del mar.
3. SUPERFICIE DE APROXIMACION - Superficie centrada longitudinalmente sobre la prolongación del eje de la pista, que se extiende hacia afuera y hacia arriba a partir del extremo de la superficie primaria y con la misma pendiente que tiene la pendiente limitadora de altura de la zona de aproximación prevista en la Sección IV de esta Ordenanza. En planta, el perímetro de la superficie de aproximación coincide con el de la zona de aproximación.
4. ZONAS DE APROXIMACION, DE TRANSICION, HORIZONTAL Y CONICA - Estas zonas están previstas en la Sección III de esta Ordenanza.
5. JUNTA DE APELACION - Junta integrada por \_\_\_\_\_ 6/ miembros designados por \_\_\_\_\_ 6/, tal como prevé \_\_\_\_\_ 6/.
6. SUPERFICIE CONICA - Superficie que se extiende hacia afuera y hacia arriba a partir de la periferia de la superficie horizontal y que tiene una pendiente de 20 a 1 por una distancia horizontal de 4 000 pies.
7. PELIGRO PARA LA NAVEGACION AEREA - Todo obstáculo respecto al cual se ha determinado que produce un efecto adverso considerable para la utilización segura y eficaz del espacio aéreo navegable.

5/ Utilizar alguna cláusula de aplicación que, para adoptar ordenanzas, utilice comúnmente la subdivisión político-administrativa.

6/ Insertar el número de miembros integrantes de la Junta de apelación, el órgano que los designa y la ley en la cual se ampara.

8. ALTURA - Para determinar la altura máxima de las zonas previstas en esta Ordenanza y que se indican en el mapa de zonificación, la elevación del punto de referencia será sobre el nivel medio del mar, a menos que se indique lo contrario.
9. SUPERFICIE PRIMARIA DE HELIPUERTO - La superficie primaria coincide, en dimensiones y forma, con el área de despegue y aterrizaje designada de un helipuerto. Esta superficie es un plano horizontal situado a la misma elevación que la oficial del helipuerto.
10. SUPERFICIE HORIZONTAL - Plano horizontal situado a 150 pies por encima de la elevación oficial del aeropuerto, cuyo perímetro en planta coincide con el de la zona horizontal.
11. PISTA MAYOR QUE LA UTILITARIA - Pista que se construye para las aeronaves de hélice de peso máximo total superior a 12 500 lb y las aeronaves de reacción.
12. UTILIZACION DISCONFORME - Toda estructura preexistente, objeto de crecimiento natural, o la utilización de terrenos que no se ajusta a lo previsto en esta Ordenanza o a alguna enmienda de la misma.
13. PISTA PARA APROXIMACIONES POR INSTRUMENTOS, QUE NO SON DE PRECISION - Pista cuya utilización está supeditada a un procedimiento de aproximación por instrumentos existente, a base de instalaciones para la navegación aérea con guía horizontal solamente, o de equipo del tipo de navegación de área, respecto a la cual se ha aprobado o previsto un procedimiento de aproximación por instrumentos, que no es de precisión, con entrada directa.
14. OBSTACULO - Toda estructura, vegetación, u otro objeto - incluyendo los móviles - que excede de la altura máxima prevista en la Sección IV de esta Ordenanza.
15. PERSONA - Todo individuo, firma, sociedad, corporación, compañía, asociación, asociación de accionistas, o entidad gubernamental; incluye a los fideicomisarios, administradores judiciales, apoderados y a los representantes similares de cualquiera de éstos.
16. PISTA PARA APROXIMACIONES POR INSTRUMENTOS, DE PRECISION - Pista cuya utilización está supeditada a un procedimiento de aproximación por instrumentos existente, a base de un sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS) o de un radar de aproximaciones de precisión (PAR). También significa una pista respecto a la cual se prevé un sistema de aproximaciones de precisión, según se indica en un plano aprobado del aeropuerto o en cualquier otro documento de planificación.
17. SUPERFICIE PRIMARIA - Superficie longitudinalmente centrada sobre una pista. Cuando la pista tiene una superficie dura preparada especialmente, la superficie primaria se extiende 200 pies más allá de cada extremo de ella. En el caso de pistas militares o cuando la pista no tiene una superficie dura preparada especialmente, o una superficie dura prevista, la superficie primaria termina en cada extremo de la pista. La anchura de la superficie primaria está prevista en la Sección III de esta Ordenanza. La elevación de cualquier punto de la superficie primaria es igual a la elevación del punto más próximo situado en el eje de la pista.

18. PISTA - Area definida de un aeropuerto preparada para el aterrizaje y despegue de aeronaves a lo largo de su longitud.
19. ESTRUCTURA - Objeto - incluyendo los móviles - construido o instalado por el hombre, incluyendo, pero sin limitación, edificios, torres, grúas, chimeneas, terraplenes y cables de transmisión suspendidos.
20. SUPERFICIES DE TRANSICION - Estas superficies se extienden hacia afuera en ángulos de 90°, con respecto al eje de la pista y de la prolongación de éste, con una pendiente de 7 pies, horizontalmente por cada pie en sentido vertical, a partir de los costados de las superficies primaria y de aproximación, hasta donde intersectan a las superficies horizontal y cónica. Las superficies de transición correspondientes a las partes de las superficies de aproximación de precisión que se proyectan a través y más allá de los límites de la superficie cónica, se extienden por una distancia de 5 000 pies, medida horizontalmente a partir del borde de la superficie de aproximación y con ángulos de 90° con respecto a la prolongación del eje de la pista.
21. ARBOL - Todo objeto de crecimiento natural.
22. PISTA UTILITARIA - Pista construida y destinada a las aeronaves de hélice de un peso máximo de 12 500 lb.
23. PISTA VISUAL - Pista destinada exclusivamente a las aeronaves que hagan uso de procedimientos de aproximación visual.

### SECCION III - ZONAS DE AEROPUERTO

A fin de llevar a cabo lo previsto en esta Ordenanza, se crean y establecen ciertas zonas que incluirán todos los terrenos que yacen bajo las superficies de aproximación, de transición, horizontales y cónicas aplicables a \_\_\_\_\_ 2/. Dichas zonas se indican en el mapa de zonificación de \_\_\_\_\_ 2/ consiste de \_\_\_\_\_ hojas, preparado por \_\_\_\_\_, y fechado el \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 19\_\_\_\_, que se adjunta a esta Ordenanza y forma parte de la misma. Toda área ubicada en más de una (1) de las siguientes zonas se considera ubicada solamente en la zona con limitaciones de altura más restrictivas. Por la presente, las diversas zonas se establecen y definen de la manera siguiente: \_\_\_\_\_

1. Zona de aproximación visual a las pistas utilitarias - El borde interior de esta zona de aproximación coincide con la anchura de la superficie primaria y tiene \_\_\_\_\_ 7/ pies de anchura. La zona de aproximación se extiende uniformemente hacia afuera hasta una anchura de 1 250 pies a una distancia horizontal de 5 000 pies con respecto a la superficie primaria. Su eje es la prolongación del eje de la pista.

7/ Insértense las dimensiones indicadas en FAR Parte 77. Cuando sea aplicable más de una dimensión, insértense las dimensiones indicando a qué pistas corresponden.

2. Zona de aproximación por instrumentos, que no es de precisión, de las pistas utilitarias— El borde interior de esta zona de aproximación coincide con la anchura de la superficie primaria y tiene 500 pies de anchura. La zona de aproximación se extiende uniformemente hacia afuera hasta una anchura de 2 000 pies a una distancia horizontal de 5 000 pies con respecto a la superficie primaria. Su eje es la prolongación del eje de la pista.
3. Zona de aproximación visual de las pistas mayores que la utilitaria - El borde interior de esta zona de aproximación coincide con la anchura de la superficie primaria y tiene       7/       pies de anchura. La zona de aproximación se extiende uniformemente hacia afuera hasta una anchura de 1 500 pies a una distancia de 5 000 pies con respecto a la superficie primaria. Su eje es la prolongación del eje de la pista.
4. Zona de aproximación por instrumentos, que no es de precisión, con una visibilidad mínima superior a 3/4 de milla, de las pistas mayores que la utilitaria. El borde interior de esta zona de aproximación coincide con la anchura de la superficie primaria y tiene       7/       pies de anchura. La zona de aproximación se extiende uniformemente hacia afuera hasta una anchura de 3 500 pies a una distancia horizontal de 10 000 pies con respecto a la superficie primaria. Su eje es la prolongación del eje de la pista.
5. Zona de aproximación por instrumentos, que no es de precisión, con una visibilidad mínima de 3/4 de milla, de las pistas mayores que la utilitaria - El borde interior de esta zona de aproximación coincide con la anchura de la superficie primaria y tiene 1 000 pies de anchura. La zona de aproximación se extiende uniformemente hacia afuera a una anchura de 4 000 pies a una distancia horizontal de 10 000 pies con respecto a la superficie primaria. Su eje es la prolongación del eje de la pista.
6. Zona de aproximación de las pistas para aproximaciones por instrumentos, de precisión - El borde interior de esta zona de aproximación coincide con la anchura de la superficie primaria y tiene 1 000 pies de anchura. La zona de aproximación se extiende uniformemente hacia afuera hasta una anchura de 16 000 pies a una distancia horizontal de 50 000 pies con respecto a la superficie primaria. Su eje es la prolongación del eje de la pista.
7. Zona de aproximación de helipuerto - El borde interior de esta zona de aproximación coincide con la anchura de la superficie primaria y tiene       8/       pies de anchura. La zona de aproximación se extiende uniformemente hacia afuera hasta una anchura de 500 pies a una distancia horizontal de 4 000 pies con respecto a la superficie primaria.
8. Zonas de transición - Las áreas que están por debajo de las superficies de transición.

---

8/ Las dimensiones de la superficie primaria de helipuerto deben basarse en las operaciones actuales y futuras del helipuerto.

9. Zonas de transición de helipuerto - Estas zonas se extienden hacia afuera, a partir de los costados de la superficie primaria de las zonas de aproximación de helipuerto, por una distancia horizontal de 250 pies con respecto al eje de la superficie primaria y del eje de la zona de aproximación de helipuerto.
10. Zona horizontal - Esta zona se establece trazando arcos de \_\_\_\_\_ 9/ pies de radio con centro en cada extremo de la superficie primaria de cada pista y conectando los arcos adyacentes trazando tangentes a esos arcos. La zona horizontal no incluye las zonas de aproximación ni las de transición.
11. Zona cónica - Esta zona se establece como el área que comienza en la periferia de la zona horizontal y se extiende hacia afuera, a partir de ella, hasta una distancia horizontal de 4 000 pies.

#### SECCION IV: LIMITACIONES DE ALTURA EN LA ZONA AEROPORTUARIA

Salvo que la presente Ordenanza indique lo contrario, no se erigirá, alterará ni mantendrá ninguna estructura ni tampoco se permitirá el crecimiento de árboles en ninguna zona creada por esta Ordenanza, a una altura que exceda de la máxima aplicable prevista para dicha zona. Dichas limitaciones de altura, para cada una de las zonas en cuestión, se fijan así:

1. Zona de aproximación visual de las pistas utilitarias - Tiene una pendiente de 20 pies hacia afuera por cada pie de altura, comenzando al final y a la misma elevación de la superficie primaria, y se extiende por una distancia horizontal de 5 000 pies a lo largo de la prolongación del eje de la pista.
2. Zona de aproximación por instrumentos, que no es de precisión de las pistas utilitarias - Tiene una pendiente de 20 pies hacia afuera por cada pie de altura, comenzando al final y a la misma elevación de la superficie primaria, y se extiende por una distancia horizontal de 5 000 pies a lo largo de la prolongación del eje de la pista.
3. Zona de aproximación visual de las pistas mayores que la utilitaria - Tiene una pendiente de 20 pies hacia afuera por cada pie de altura, comenzando al final y a la misma elevación de la superficie primaria, y se extiende por una distancia horizontal de 5 000 pies a lo largo de la prolongación del eje de la pista.
4. Zona de aproximación por instrumentos, que no es de precisión, con una visibilidad mínima superior a 3/4 de milla, de las pistas mayores que la utilitaria - Tiene una pendiente de 34 pies hacia afuera por cada pie de altura, comenzando al final y a la misma elevación de la superficie primaria, y se extiende por una distancia horizontal de 10 000 pies a lo largo de la prolongación del eje de la pista.

9/ El radio de arco es:

- a) 5 000 pies para todas las pistas designadas como utilitarias o visuales,
- b) 10 000 pies para todas las otras.

Los arcos correspondientes a cada extremo de la pista tendrán el mismo radio.

El radio utilizado deberá ser el mayor de los que se determinen para cada extremo.

5. Zona de aproximación por instrumentos, que no es de precisión, con una visibilidad mínima de 3/4 de milla, de las pistas mayores que la utilitaria - Tiene una pendiente de 34 pies hacia afuera por cada pie de altura, comenzando al final y a la misma elevación de la superficie primaria, y se extiende por una distancia horizontal de 10 000 pies a lo largo de la prolongación del eje de la pista.
6. Zona de aproximación de las pistas para aproximaciones por instrumentos, de precisión - Tiene una pendiente de 50 pies hacia afuera por cada pie de altura, comenzando al final y a la misma elevación de la superficie primaria, y se extiende por una distancia horizontal de 10 000 pies a lo largo de la prolongación del eje de la pista; a partir de ahí la pendiente es de 40 pies medidos horizontalmente por cada pie de altura por una distancia horizontal adicional de 40 000 pies a lo largo de la prolongación del eje de la pista.
7. Zona de aproximación de helipuerto - Tiene una pendiente de 8 pies hacia afuera por cada pie de altura, comenzando al final y a la misma elevación de la superficie primaria, se extiende por una distancia de 4 000 pies a lo largo del eje de la zona de aproximación de helipuerto.
8. Zonas de transición - Tienen una pendiente de siete (7) pies hacia afuera por cada pie de altura, comenzando a los costados y a la misma elevación de la superficie primaria y de la superficie de aproximación, y se extiende hasta una altura de 150 pies por encima de la elevación del aeropuerto que es de \_\_\_\_\_ pies sobre el nivel medio del mar. Además de lo precedente, hay límites de altura establecidos con pendiente de siete (7) pies hacia afuera por cada pie de altura, comenzando a los costados y a la misma elevación de la superficie de aproximación, y se extienden hasta interceptar la superficie cónica. Cuando la zona de aproximación de la pista por instrumentos, de precisión, se proyecte más allá de la zona cónica, hay límites de altura, comenzando en los costados y a la misma elevación de la superficie de aproximación, y extendiéndose por una distancia horizontal de 5 000 pies medida en ángulos de 90° con respecto a la prolongación del eje de la pista.
9. Zonas de transición de helipuerto - Tienen pendiente de dos (2) pies, hacia afuera, por cada pie de altura, comenzando en los costados y a la misma elevación de la superficie primaria y de las zonas de aproximación de helipuerto, y se extienden por una distancia de 250 pies medida horizontalmente y a ángulos de 90° con respecto al eje de la superficie primaria y del eje de la zona de aproximación de helipuerto.
10. Zona horizontal - Se establece a 150 pies por encima de la elevación del aeropuerto a una altura de \_\_\_\_\_ pies sobre el nivel medio del mar.
11. Zona cónica - Tiene una pendiente de veinte (20) pies hacia afuera por cada pie de altura, comenzando en la periferia de la zona horizontal y a 150 pies por encima de la elevación del aeropuerto, y se extiende hasta una altura de 350 pies también por encima de la elevación del aeropuerto.

12. Excepciones a las limitaciones de altura - Esta Ordenanza no debe interpretarse en el sentido de que prohíbe la construcción o mantenimiento de toda estructura, o crecimiento de todo árbol, hasta una altura de \_\_\_\_\_ 10/ pies por encima de la superficie del terreno.

#### SECCION V: RESTRICCIONES DE UTILIZACION

No obstante lo previsto en la presente Ordenanza, no podrá utilizarse ningún terreno ni superficie de agua alguna dentro de toda zona establecida por esta Ordenanza, de manera que cree interferencia eléctrica con las señales de navegación o las radiocomunicaciones entre el aeropuerto y las aeronaves, haciendo difícil para los pilotos distinguir entre las luces de aeropuerto y las otras, que ocasione deslumbramiento para los pilotos que utilicen el aeropuerto, menoscabe la visibilidad en las proximidades del aeropuerto, cree peligros de choque con aves, o que, de cualquier otra manera, ponga en peligro u obstaculice el aterrizaje, despegue o las maniobras de las aeronaves que tengan que utilizar el aeropuerto.

#### SECCION VI: Utilización disconforme

1. No retroactividad de las disposiciones - No deberá interpretarse que lo previsto por esta Ordenanza exige la remoción, reducción de altura u otro cambio o alteración de cualquier estructura o árbol que no se ajuste a lo previsto a partir de la fecha de entrada en vigor de esta Ordenanza, o que obstaculice de alguna manera la utilización disconforme. Nada de lo aquí previsto exigirá cambio alguno en la construcción, alteración, o uso previsto de toda estructura, cuya construcción o alteración haya comenzado antes de la fecha de entrada en vigor de esta Ordenanza y que se esté llevando a cabo diligentemente.
2. Señalamiento e iluminación - No obstante lo previsto precedentemente en esta Sección, se exige del propietario de toda estructura o árbol existentes disconformes que permita la instalación, funcionamiento y mantenimiento en los mismos de las señales y luces que 11/ considere necesarias para indicar a los explotadores de aeronaves, en las proximidades del aeropuerto, la presencia de dicho obstáculo de aeropuerto. Las señales y luces serán instaladas, operadas y mantenidas corriendo los gastos a cargo de \_\_\_\_\_ 12/.

- 
- 10/ La adopción de límites de altura debería ser razonable y basarse en consideraciones de utilización de los terrenos en las proximidades del aeropuerto y la naturaleza del área que ha de zonificarse. La adopción de límites de altura no debería ser tan limitativa de modo que constituyese un abuso de la propiedad privada, al margen de la ley.
- 11/ Insértese el título del funcionario apropiado encargado de determinar la necesidad de señalar e iluminar los obstáculos.
- 12/ Insértese el nombre del órgano o subdivisión político-administrativa apropiado.



SECCION VII: PERMISOS

1. Utilización futura - Salvo lo previsto específicamente en los incisos a, b y c, que siguen a continuación, no se harán cambios físicos en el uso de los terrenos, no se erigirá ni establecerá estructura alguna y no se plantarán árboles en ninguna zona creada en virtud de esta Ordenanza, a menos que se haya solicitado y recibido el correspondiente permiso para ello. En cada solicitud de permiso se expondrán los fines para los cuales se desea, con suficiente detalle para poder determinar si la utilización consiguiente, la estructura o árbol se ajustarán o no a las disposiciones aquí prescritas. Si tal determinación es afirmativa, se concederá el permiso. No se concederá éste si la utilización deseada es contraria a lo previsto en esta Ordenanza, a menos que, de conformidad con la Sección VIII, 4, se haya aprobado alguna dispensa.
  - a. En el área comprendida dentro de los límites de las zonas horizontal y cónica, no se requerirá permiso alguno para todo árbol o estructura inferior a 75 pies de altura por encima del terreno, excepto cuando, a causa del terreno, contorno de la tierra o características topográficas, tal árbol o estructura, sobrepasaría los límites de altura prescritos para dichas zonas.
  - b. En las áreas comprendidas dentro de los límites de las zonas de aproximación, pero a una distancia horizontal no inferior a 4 200 pies desde cada extremo de la pista, no se requerirá permiso alguno para todo árbol o estructura inferior a 75 pies de altura por encima del terreno, salvo cuando tal árbol o estructura sobrepasaría el límite de altura prescrito para dichas zonas de aproximación.
  - c. En las áreas comprendidas dentro de los límites de las zonas de transición, más allá del perímetro de la zona horizontal, no se requerirá permiso alguno para todo árbol o estructura inferiores a 75 pies de altura por encima del terreno, salvo cuando tal árbol o estructura, a causa del terreno, contorno de la tierra o características topográficas superaría el límite de altura prescrito para tales zonas de transición.

Nada de lo previsto en las excepciones precedentes deberá interpretarse en el sentido de que permite o está destinado a permitir toda construcción, alteración de cualquier estructura o crecimiento de cualquier árbol en exceso de cualquiera de los límites de altura fijados por esta Ordenanza, salvo lo previsto en la Sección IV, 12.

2. Utilización actual - No se concederá permiso alguno que permita el establecimiento o creación de algún obstáculo o que permita que algún uso, estructura o árbol disconformes constituyan un peligro mayor para la navegación aérea de lo que eran en la fecha de entrada en vigor de esta Ordenanza o de cualquier enmienda de la misma, o de lo que eran cuando se hizo la solicitud del permiso. Salvo lo indicado, se concederán los permisos que se soliciten.

3. Utilizaciones disconformes abandonadas o destruidas - Toda vez que \_\_\_\_\_ 13/ determine que un árbol o estructura disconformes han sido abandonados o que más del 80% de los mismos han sido destruidos, físicamente deteriorados o derrumbados, no se concederá permiso que permita que dicha estructura o árbol exceda del límite de altura aplicable, ni que se aparte de los reglamentos de zonificación.
4. Dispensas - Toda persona que desee erigir o aumentar la altura de cualquier estructura, permitir el crecimiento de cualquier árbol o utilizar alguna propiedad, que no sea de conformidad con lo previsto en esta Ordenanza, puede solicitar la correspondiente dispensa a la Junta de Apelación. La solicitud de dispensa irá acompañada del dictamen de la Federal Aviation Administration en cuanto a los efectos de la propuesta en la operación de las instalaciones para la navegación aérea y en el empleo seguro y eficaz del espacio aéreo navegable. Las dispensas se concederán cuando se compruebe debidamente que la aplicación literal o la imposición de lo reglamentado ocasionarían una injusticia innecesaria y que la exención concedida no iría en contra del interés público, no constituiría ningún peligro para la navegación aérea, sería justa y respetaría el espíritu de esta Ordenanza. Además, la Junta de apelación no considerará ninguna solicitud de dispensa, con respecto a lo previsto en esta Ordenanza, a menos que se haya suministrado una copia de la solicitud a \_\_\_\_\_ 14/ pidiendo su opinión en cuanto a los efectos aeronáuticos de la posible dispensa. Si \_\_\_\_\_ 14/ no da curso a la solicitud dentro de los 15 días de recibida, la Junta de apelación podrá actuar de por sí para conceder o negar lo solicitado.
5. Señalamiento e iluminación de obstáculos - Todo permiso o dispensa concedidos pueden, si se considera aconsejable para lograr lo previsto en esta Ordenanza y razonable según las circunstancias, condicionarse para exigir al propietario de la estructura o árbol en cuestión que instale, opere y mantenga - corriendo el propietario con los gastos - las señales y luces que sean necesarias. Si la Junta de apelación lo considera conveniente, esta condición puede modificarse para exigir que el propietario permita a \_\_\_\_\_ 12/ que instale, opere y mantenga, corriendo con los gastos, las señales y luces necesarias.
- 
- 13/ Insértese el cargo oficial del funcionamiento apropiado encargado de hacer esta determinación.
- 14/ Insértese el cargo oficial del funcionario o el nombre del órgano responsable de la operación y mantenimiento del aeropuerto que haya que zonificar.

SECCION VIII: APLICACION DE ESTA ORDENANZA

El \_\_\_\_\_ 15/ tendrá la obligación de administrar y de hacer cumplir lo prescrito en la presente Ordenanza. Las solicitudes de permisos y dispensas se dirigirán al \_\_\_\_\_ 15/ en un formulario publicado al efecto. Las solicitudes prescritas por esta Ordenanza, que hay que presentar al \_\_\_\_\_ 15/, serán consideradas y concedidas o negadas sin dilación. Las solicitudes de aplicación ante la Junta de apelación serán inmediatamente cursadas por el \_\_\_\_\_ 15/.

SECCION IX: JUNTA DE APELACION

1. Por la presente se crea una Junta de apelación, que tendrá las siguientes atribuciones: 1) considerar y decidir las apelaciones de toda orden, requerimiento, decisión o determinación del \_\_\_\_\_ 15/, dimanante de la ejecución de esta Ordenanza; 2) considerar y decidir los casos de excepción especial, en relación con lo prescrito en esta Ordenanza, y con respecto a los cuales se puede requerir estatutariamente la aprobación de la Junta de apelación; y 3) considerar y decidir sobre las dispensas.
2. La Junta de apelación estará formada por \_\_\_\_\_ miembros designados por \_\_\_\_\_ 12/ y cada uno de ellos servirá por un período de \_\_\_\_\_ años, hasta que sea debidamente designado y prestado juramento su sucesor. De los miembros designados por primera vez, uno será nombrado por un período de \_\_\_\_\_ año, \_\_\_\_\_ por un período de \_\_\_\_\_ años, y \_\_\_\_\_ por un período de \_\_\_\_\_ años. Los miembros podrán ser destituidos, por la autoridad que los haya designado, por causa justificada, con acusación escrita y previa audiencia pública.
3. La Junta de apelación adoptará su propio reglamento interior, que tendrá que estar en consonancia con lo previsto en esta Ordenanza. Las reuniones de la Junta de apelación las convocará su presidente y también siempre que lo decida la propia Junta. El presidente, o en su ausencia el presidente suplente podrá juramentar y ordenar la presencia de testigos. Las audiencias de la Junta serán públicas. La Junta llevará actas de sus actuaciones, con indicación del voto de cada miembro respecto a cada cuestión; si algún miembro está ausente o se ha abstenido en la votación, se indicará este hecho; y llevará cuenta de lo considerado y de otras actuaciones oficiales, todo lo cual quedará inmediatamente archivado en la oficina de \_\_\_\_\_ 15/ y se podrá consultar por causa justificada.
4. La Junta de apelación hará por escrito la exposición de los hechos y de sus conclusiones legales, indicando los hechos a base de los cuales ha actuado y las conclusiones a que haya llegado para revocar, afirmar o modificar toda orden, requerimiento, decisión o determinación en que haya entendido de conformidad con lo previsto en esta Ordenanza.

---

15/ Insértese aquí el título del funcionario apropiado, tal como Director del Departamento de Obras Públicas, etc.

5. El voto de la mayoría de los miembros de la Junta de Apelación será suficiente para revocar toda orden, requerimiento, decisión o determinación de \_\_\_\_\_ 15/ o decidir a favor del solicitante sobre todo asunto que se le requiera fallar en virtud de esta Ordenanza, o sancionar dispensas con respecto a ésta.

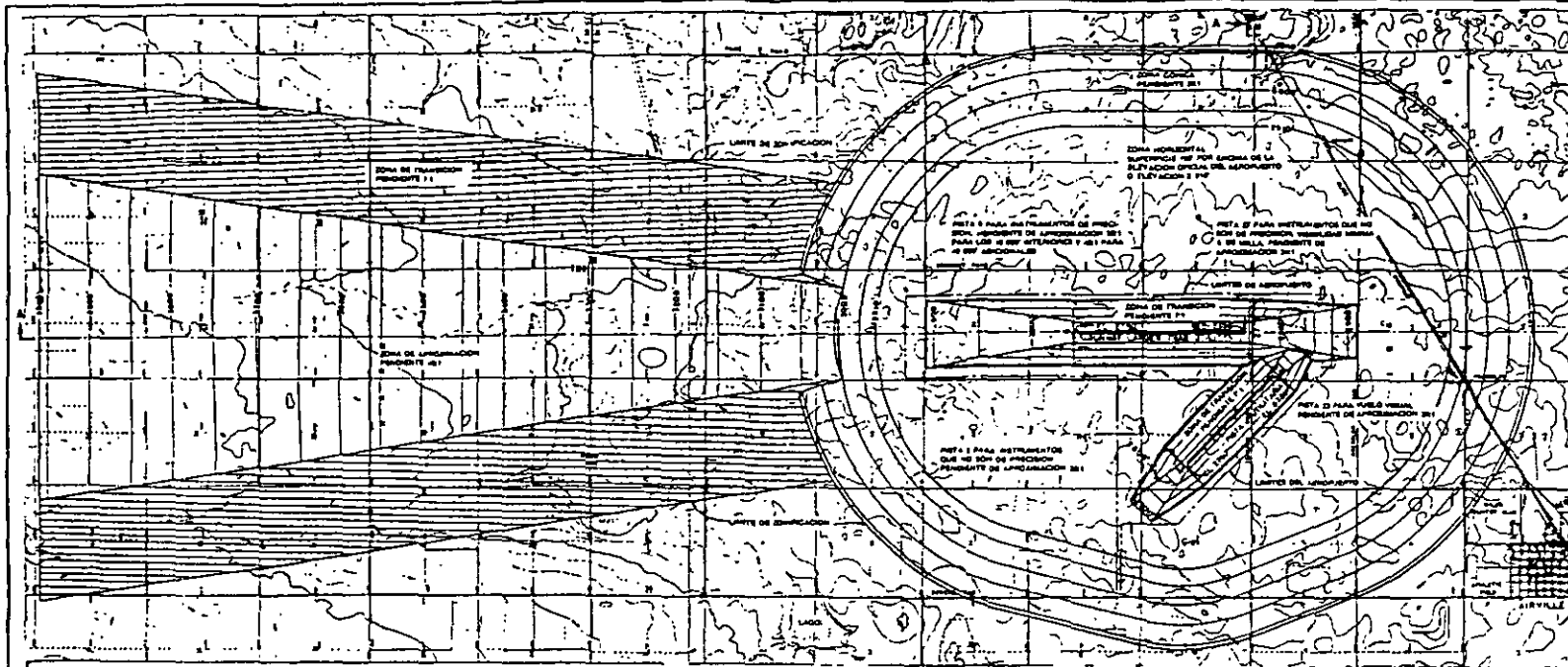
#### SECCION X: APELACIONES

1. Toda persona perjudicada, o contribuyente afectado, por alguna decisión de \_\_\_\_\_ 15/ adoptada en el curso de la administración de esta Ordenanza, podrá apelar ante la Junta de apelación.
2. Las apelaciones que se mencionan a continuación tienen que presentarse dentro de un tiempo razonable de conformidad con el reglamento de la Junta de apelación, presentando ante \_\_\_\_\_ 15/ un aviso de apelación exponiendo los argumentos del caso. El \_\_\_\_\_ 15/ trasladará de inmediato a la Junta de apelación todos los documentos que forman el expediente en las medidas objeto de apelación.
3. Toda apelación suspenderá temporalmente los trámites de aplicación de las medidas apeladas, a menos que el \_\_\_\_\_ 15/ certifique ante la Junta de apelación, una vez recibido el correspondiente aviso de apelación, que, por motivo de los hechos expuestos en el certificado, la suspensión, en opinión del \_\_\_\_\_ 15/, constituirá un riesgo inminente para las vidas o la propiedad. En tal caso, los trámites sólo se suspenderán por orden de la Junta de apelación, con aviso debidamente documentado al \_\_\_\_\_ 15/.
4. La Junta de apelación fijará un plazo razonable para las apelaciones, dar el correspondiente aviso público y notificar debidamente a las partes interesadas, y fallar las apelaciones en un plazo también razonable. En la audiencia, toda parte interesada puede presentarse personalmente, por medio de representante o de abogado.
5. La Junta de apelación puede, de conformidad con lo previsto en esta Ordenanza, revocar o afirmar, en todo o en parte, o modificar la orden, requerimiento, decisión o determinación apelada y puede adaptar la orden, requerimiento, decisión o determinación en la forma que juzgue apropiada, según las circunstancias.

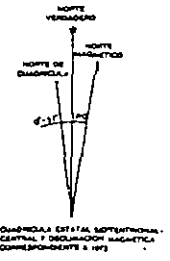
#### SECCION XI: EXAMEN JUDICIAL

Toda persona perjudicada, o contribuyente afectado, por alguna decisión de la Junta de apelación, podrá apelar ante el tribunal de \_\_\_\_\_, según dispone la Sección \_\_\_\_\_ del Capítulo \_\_\_\_\_ de las leyes de \_\_\_\_\_ 16/.

- 16/ Insértese la jurisdicción. Debería considerarse la conveniencia de incluir aquí este procedimiento; o, como alternativa, adjuntar a todos los ejemplares de esta Ordenanza una copia de los extractos del estatuto citado.

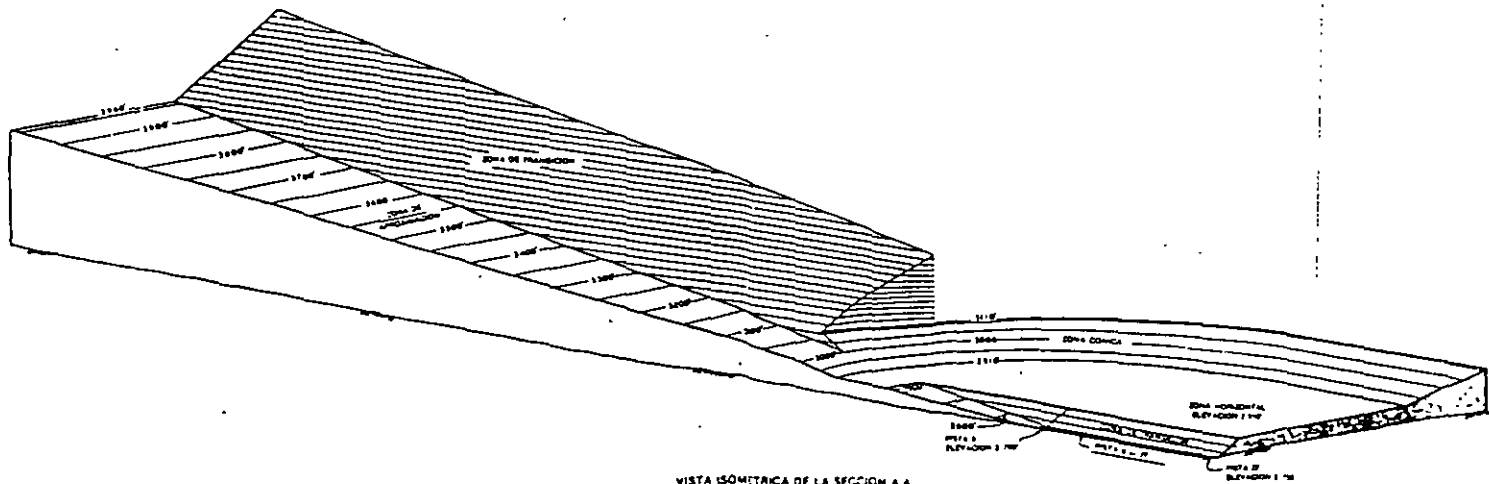
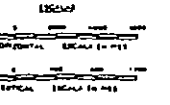


PLAN DE ZONIFICACION



- REFERENCIAS
- META
  - LÍMITE DEL APROXIMADO
  - LÍMITE DE ZONAS
  - CURVAS DE NIVEL
  - CURVAS DE NIVEL AERIAS
  - CAMINO DE CONEXION
  - CAMINO DE REGA ORDEGACION
  - CAMINO DE TIERRA TRANSITABLE

- NOTAS
1. LAS CURVAS DE NIVEL AERIAS MUESTRAN LAS LECTURAS DE AL TUBO DE NIVEL DE CADA ZONA.
  2. UNA PENDIENTE TAL COMO SE REPRESENTA LA DISTANCIA HORIZONTAL DE 100 PIES POR UNA DISTANCIA VERTICAL DE 10 PIES.
  3. LOS NOMBRES TIPOGRAFICOS QUE ESTAN EN LOS NOMBRES DE LAS ZONAS SON LOS UTILIZADOS POR EL SERVICIO SURVEY DE LOS ESTADOS UNIDOS.
  4. DE UNA RED DE DATOS DE QUADRICULA AEREA CENTRAL SUPERFICIAL CENTRAL.



VISTA ISOMETRICA DE LA SECCION A-A

OMBRA Y ZONAS DE NIVEL METRO METRO DE TRANSICION	
MAPA DE ZONIFICACION DEL SERVICIO SURVEY DE LOS ESTADOS UNIDOS	
SERVICIO SURVEY DE LOS ESTADOS UNIDOS	
1:10000	1:10000
1:10000	1:10000
1:10000	1:10000

Figura A-2-1

Parte 6.— Limitación de obstáculos

Apéndice 2.— Modelo de ordenanza de zonificación destinada a limitar la altura de los objetos en los aeropuertos y sus alrededores

59

#### SECCION XII: SANCIONES

Toda violación de esta Ordenanza o de cualquier disposición, orden o decisión promulgadas en virtud de ella, constituirá un delito menor y será punible con una multa máxima de \_\_\_\_\_ dólares o prisión máxima de \_\_\_\_\_ días, o ambas; y cada día que persista la violación constituirá un nuevo delito.

#### SECCION XIII: DISPOSICIONES EN PUGNA

Cuando haya contradicción entre cualesquiera de las disposiciones o limitaciones prescritas en esta Ordenanza y otras disposiciones aplicables a la misma área, ya sea con respecto a la altura de las estructuras o de los árboles, y a la utilización del terreno, o en cualquier otro aspecto, regirá y prevalecerá la limitación o requisito más estricto.

#### SECCION XIV: SEPARABILIDAD

Si cualquiera de las disposiciones de esta Ordenanza o su aplicación a cualquier persona o circunstancia resultan inválidas, su invalidez no afectará a las otras disposiciones ni a las aplicaciones de la Ordenanza que puedan llevarse a efecto sin la disposición o aplicación inválidas, y a este fin, se declara que las disposiciones de esta Ordenanza son separables.

#### SECCION XV: FECHA DE ENTRADA EN VIGOR

CONSIDERANDO que la inmediata vigencia de esta Ordenanza es necesaria para la preservación de la salud pública, seguridad pública y el bienestar general, se declara por la presente que existe un estado de EMERGENCIA, y que esta Ordenanza tendrá plena fuerza y vigencia a partir de su aprobación por \_\_\_\_\_ y publicación y anuncio según las formalidades de la ley.

Adoptada por \_\_\_\_\_ el \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 19\_\_\_\_.

## Apéndice 3

### Prácticas de apantallamiento seguidas por los Estados

#### 1. ARGENTINA

1.1 Se considera que el "Principio de apantallamiento" no debería regir para posibilitar la erección de nuevos obstáculos permanentes, cuando concurren los siguientes factores:

- a) cuando los objetos permanentes sean propuestos dentro de los primeros 3 000 m de la cabecera de la pista;
- b) cuando a pesar de no superar los límites definidos por las superficies de despeje de obstáculos, penalicen las áreas de aproximación por instrumentos;
- c) cuando, no obstante satisfacer lo expresado en b) la disponibilidad de espacios o áreas libres inmediatas a las cabeceras de pista fuesen consideradas como ampliación de las longitudes útiles de las mismas, o, en su caso, como futuras zonas de parada;
- d) cuando se prevean pistas paralelas y se exija la unificación de áreas comunes a los procedimientos de aproximación por instrumentos;
- e) cuando se trate de líneas aéreas de alta tensión, locales destinados a depósitos de combustibles, etc;
- f) cuando se trate de objetos que a pesar de ser frangibles, su altura ha sido considerada para mantener separación vertical de la aeronave respecto a los mismos;
- g) cuando se trate de aeródromos cuya utilización se prevea para aproximación por instrumentos sin haberse definido el tipo de implantación y procedimiento de probable utilización.

1.2 Como corolario, se expresa que el "principio de apantallamiento" sólo debería regir con relación al obstáculo permanente de altura dominante del área, vinculando a ésta con la erección de nuevos objetos cercanos al mismo y de ninguna manera con relación a obstáculos permanentes de menor altura que existan en el área. Sólo cabe la excepción de considerar con otros criterios el "principio de apantallamiento" para los casos en que existan accidentes topográficos asociados en el área, para lo cual no sólo deben ser tenidos en cuenta las superficies de obstáculos que se describen en el Anexo 14, sino las limitaciones de altura establecidas para los procedimientos de aproximación por instrumentos en los casos que así resultare.

#### 2. AUSTRALIA

2.1 *Superficies de ascenso en el despegue y de aproximación.* Cuando la superficie está obstruida de forma importante por obstáculos que no sean obstáculos aislados, se permiten nuevos obstáculos hasta la altura del obstáculo permanente más bajo situado en un radio de 60 m, siempre que cada nuevo obstáculo esté rodeado de obstáculos existentes y no se convierta en el obstáculo crítico. Se considera como obstáculo crítico aquél que subtiende el ángulo mayor, medido desde el extremo de la franja.

2.2 *Superficies de transición.* Cuando las superficies de transición ya están atravesadas por obstáculos permanentes, se permiten nuevos obstáculos hasta la misma altura, siempre que estén más alejados de los bordes de la franja o del área de aproximación y estén apantallados por los obstáculos existentes.

2.3 *Superficies horizontal y cónica.* Cuando las superficies horizontal o cónica ya están atravesadas por obstáculos permanentes, se permiten nuevos obstáculos hasta la misma altura, siempre que estén más alejados del punto de referencia del aeropuerto y estén apantallados por los obstáculos existentes.

#### 3. FRANCIA

3.1 *Apantallamiento de objetos filiformes por obstáculos voluminosos.* El peligro que representa un obstáculo filiforme es menor cuando está apantallado por un obstáculo voluminoso. Se considerará que un obstáculo filiforme está apantallado si permanece por debajo de la superficie envolvente formada por los semiplanos tangentes a la cima del obstáculo voluminoso que cubre al obstáculo con una pendiente descendiente del 15% alrededor del mismo. No es necesario eliminar ni alterar los obstáculos apantallados, en especial si se trata de partes de líneas eléctricas o de cables.

3.2 *Líneas eléctricas vecinas.* Las disposiciones del párrafo precedente podrán igualmente aplicarse en el caso de líneas eléctricas vecinas, es decir, aquellas que se encuentran en el "pasillo" de otra línea. El "pasillo" de una línea

eléctrica está delimitado por los planos verticales paralelos a los planos intermedios de las partes sucesivas del cable, y situados respectivamente a ambos lados de estas partes del cable a una distancia de 150 m para el señalamiento diurno y a 300 m para el señalamiento nocturno. El tramo de una primera línea eléctrica está apantallado por una segunda línea siempre que:

- a) este tramo esté vecino a la segunda línea eléctrica;
- b) este tramo esté a menor altura que el segmento correspondiente del segundo cable delimitado por los mismos planos.

En las zonas de despegue, se señalarán las líneas eléctricas, aunque sean adyacentes, como si estuvieran aisladas, siempre que los planos intermedios estén a una distancia superior a 50 m. En todos los otros emplazamientos, no será necesario señalar el tramo de una línea eléctrica apantallado por otra. En el caso de que haya más de dos líneas cercanas, será necesario estudiar si deberían señalarse las dos líneas eléctricas externas, no obstante las disposiciones de apantallamiento mencionadas. Por último, deberían estudiarse muy en particular los casos en que un número elevado de líneas, más o menos paralelas, ocupan una zona extensa y que pudieran, por consiguiente, constituir un peligro especial.

3.3 *Aplicación de las disposiciones precedentes.* Deberán tomarse medidas más estrictas que las mencionadas en los casos siguientes:

- a) las líneas o cables satisfacen los requisitos de franqueamiento de obstáculos, pero constituyen un peligro para la navegación aérea debido a circunstancias locales o a la clase de tránsito aéreo reinante, y deben, por consiguiente, modificarse o suprimirse;
- b) las líneas o cables no están incluidos en los casos previstos de señalamiento, pero existe peligro para la navegación aérea y no se permitirá que existan, a menos que estén señaladas.

#### 4. INDIA

4.1 En la India no se aplica el principio de apantallamiento a las áreas que están debajo de la superficie de transición, la superficie horizontal interna hasta una distancia de 2 500 m a partir del punto de referencia del aeropuerto (ARP) y el área de aproximación/ascenso después del despegue, hasta una distancia de 3 000 m a partir del borde interno.

4.2 En áreas que no sean las descritas anteriormente, se aplicará el principio de apantallamiento con una pendiente del 10% desde la cima de los edificios o estructuras existentes y autorizados que constituyan un obstáculo, en dirección hacia la pista y en un plano horizontal cuando estos objetos estén situados en la dirección que se aleja de la pista.

#### 5. ESPAÑA

5.1 Se aplica el principio de apantallamiento para autorizar, en determinados casos, la construcción de edificaciones o instalaciones que aún sobrepasando las superficies de limitación de obstáculos, puedan considerarse apantalladas por otros obstáculos naturales o artificiales ya existentes. Se considera que un objeto está apantallado cuando:

- a) se encuentra situado por debajo de un plano que pasa por un punto del obstáculo que sirve de apantallamiento y tiene una pendiente negativa del 10% en cualquiera que sea la dirección que se encuentre con respecto al aeródromo, excepto en sentido contrario a la dirección del mismo, y a una distancia, medida horizontalmente, no superior a 150 m;
- b) se encuentre situado dentro del volumen engendrado por la traslación horizontal del contorno del obstáculo que sirve de apantallamiento, en sentido opuesto al que se encuentra el aeródromo, y a una distancia horizontal de dicho obstáculo, no superior a 150 m.

5.2 En general, no se consideran como obstáculos apantallantes las líneas aéreas de transporte de energía o comunicaciones.

#### 6. ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

6.1 El principio de apantallamiento, aplicado a los obstáculos para la navegación aérea, puede reducir al mínimo las necesidades en cuanto a señalamiento e iluminación de tales obstáculos apantallados, así como la necesidad de eliminar obstáculos o prohibir nuevas construcciones.

6.2 Un objeto no debería considerarse como obstáculo si su emplazamiento respecto a los obstáculos de carácter permanente es tal que ello no da como resultado un aumento de peligrosidad desde el punto de vista aeronáutico. Al determinar si un objeto está apantallado, cada uno de los obstáculos de carácter permanente situados en el área de aproximación y de salida de una pista se considera que proyectan un plano de sombra hacia afuera, alejándose del extremo de la pista. Así pues, no se considerará como obstáculo ningún objeto apantallado por el plano de sombra de un obstáculo dominante.

6.3 *Señalamiento e iluminación.* Las partes de obstáculos que estén apantalladas por objetos que las rodeen no necesitan señalarse ni iluminarse, pero dichos objetos circundantes sí deberían señalarse e iluminarse.

- a) *Obstáculos extensos.* Cuando la parte superior de solamente una porción de un edificio u obstáculo extenso similar, sobresalga por encima de una superficie de obstáculos, sólo será necesario señalar como obstáculo dicha parte, y el punto o borde más elevado de ella en relación con la superficie de obstáculos debería considerarse como la "cumbre del obstáculo". Sin embargo,



en ciertos casos, tales como cuando la superficie de obstáculos de que se trate sea una superficie inclinada (por ejemplo, la superficie de aproximación o la de transición), dicho punto o borde más alto en relación con la superficie de obstáculos puede que no sea el más elevado sobre el plano horizontal que pasa por la base del objeto. En tales casos, aquellas porciones del objeto cuyas partes superiores se encuentren a mayor altura por encima de dicho plano horizontal que la parte superior considerada como la "cumbre del obstáculo" deberían también señalarse como obstáculos.

- b) *Obstáculos agrupados.* En el caso de que los distintos objetos que constituyan un grupo de obstáculos tengan aproximadamente la misma altura general sobre el terreno y estén situados con una separación entre sí de no más de 45 m, el grupo de obstáculos puede considerarse como un obstáculo extenso y señalarse e iluminarse como tal.

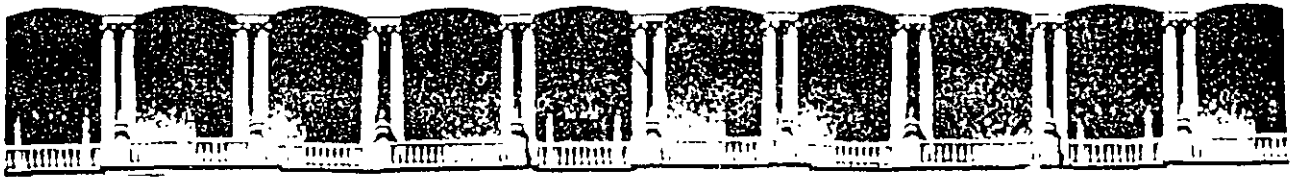
Las torres, postes, depósitos, chimeneas y obstáculos similares que estén agrupados de forma que presenten un peligro común para la navegación aérea, deberían señalarse e iluminarse como un "obstáculo extenso" si tienen aproximadamente la misma altura general. Cuando el espacio entre cada una de las estructuras no sea menor de 45 m, bien sean de la misma altura general o de altura diferente, cada objeto prominente dentro del grupo debería señalarse e iluminarse. Además, en la parte superior de un obstáculo prominente central debería instalarse por lo menos un faro giratorio que produzca destellos luminosos de color rojo.

- c) *Apantallamiento del señalamiento o iluminación de un obstáculo por otro objeto.* Otra característica del "apantallamiento" se refiere a la ocultación o apantallamiento de una luz de un obstáculo por otro objeto. Si una luz

instalada en un obstáculo está oculta en cualquier dirección por un objeto adyacente, en dicho objeto deberían instalarse luces adicionales, de forma que se mantenga la definición general del obstáculo, omitiéndose la luz oculta si no contribuye a definir el obstáculo.

6.4 *Eliminación o restricción de construcciones u obstáculos.* Debe notificarse a las autoridades aeronáuticas nacionales cuando se vayan a construir ciertas estructuras propuestas o cuando se hayan de alterar estructuras existentes, con el fin de que pueda determinarse el efecto de tales estructuras en la navegación aérea. Entre las estructuras exceptuadas de este requisito se encuentran los objetos apantallados.

- a) *Objetos apantallados.* No es necesario notificar ningún objeto que se encontraría apantallado por estructuras existentes de carácter permanente y de cierta importancia, o por el terreno natural o las características topográficas de igual o mayor altura, y que estaría situado en un área congestionada de una ciudad, pueblo o zona habitada, cuando resulte evidente sin lugar a dudas que la estructura así apantallada no afectará adversamente a la seguridad de la navegación aérea.
- b) *Campos de antenas.* Un campo de antenas consiste en un cierto emplazamiento especificado, de dimensiones y altura establecidas, en los que pueden agruparse las torres de antenas que afectan de forma común a la aviación. La utilización de campos de antenas es una aplicación del principio de apantallamiento, y siempre que sea posible debe fomentarse su empleo, así como la aplicación del concepto de una sola estructura con antenas múltiples en el caso de las torres de radio y televisión.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES  
XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍA DE AEROPUERTOS

Del 31 de agosto al 30 de octubre.

Módulo IV

MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE AEROPUERTOS

*Tema: Manual Técnico – Ambiental  
Sobre aplicación de los procedimientos de Homologación  
de las Aeronaves en cuanto al ruido.*

Palacio de Minería  
1998.

**Manual técnico-ambiental  
sobre aplicación de los procedimientos  
de homologación de las aeronaves  
en cuanto al ruido**

(Doc 9501-AN/929)

SEGUNDA EDICIÓN — 1995





## Preámbulo

El texto del presente manual fue elaborado por el Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación (CAEP) en el curso de su primera reunión, celebrada en Montreal del 9 al 20 de junio de 1986, y el 11 de marzo de 1987 el Consejo aprobó que se publicara con carácter de manual de la OACI. Posteriormente, fue enmendado (Enmienda Núm. 1) en la segunda reunión del CAEP, celebrada en Montreal del 2 al 13 de diciembre de 1991. La finalidad del mismo se explica en detalle en el Capítulo 1, 1.1.

Los comentarios de los Estados acerca del manual, especialmente lo que se refiere a su aplicación y utilidad, serán bien recibidos y se tomarán en cuenta al preparar futuras ediciones. Sírvase dirigir los comentarios al:

Secretario General  
Organización de Aviación Civil Internacional  
1000 Sherbrooke Street West, Suite 400  
Montreal, Quebec  
CANADA H3A 2R2

# Índice

	<i>Página</i>		<i>Página</i>
Nomenclatura .....	(vii)	<b>Capítulo 6. Métodos de evaluación .....</b>	<b>34</b>
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>	6.1 Introducción .....	34
1.1 Objeto .....	1	6.2 Irregularidades espectrales .....	34
1.2 Estructura general .....	1	6.3 Niveles de ruido ambiental .....	34
1.3 Incorporación de procedimientos equivalentes en el plan de demostración de cumplimiento de las normas sobre el ruido .....	1	6.4 Elaboración y ampliación de las bases de datos .....	34
1.4 Cambios de los niveles de ruido de las versiones derivadas .....	2	6.5 Correcciones en función del ambiente de ensayo .....	35
<b>Capítulo 2. Procedimientos equivalentes aplicables a los aviones de reacción subsónicos...</b>	<b>3</b>	6.6 Sistemas de navegación inercial para la medición de la trayectoria de vuelo de aviones .....	35
2.1 Procedimientos de ensayo en vuelo .....	3	6.7 Cálculo del EPNL mediante el método integrado de ajuste .....	35
2.2 Procedimientos analíticos .....	7	<b>Capítulo 7. Equipo de medición y análisis .....</b>	<b>39</b>
2.3 Ensayos estáticos y extrapolación a los niveles de ruido en vuelo .....	8	7.1 Generalidades .....	39
<b>Capítulo 3. Procedimientos equivalentes aplicables a los aviones de más de 9 000 kg propulsados por hélice .....</b>	<b>23</b>	7.2 Sistema microfónico .....	39
3.1 Procedimientos de ensayo en vuelo .....	23	7.3 Equipo de registro y de reproducción .....	41
3.2 Procedimientos analíticos .....	26	7.4 Equipo de análisis .....	41
3.3 Procedimientos para ensayos estáticos en tierra .....	26	7.5 Calibración y verificación del sistema .....	41
<b>Capítulo 4. Procedimientos equivalentes aplicables a los aviones de no más de 9 000 kg propulsados por hélice .....</b>	<b>27</b>	<b>Capítulo 8. Control del soporte lógico del programa de computadora para la homologación en cuanto al ruido y documentación relativa a los procesos de extrapolación estática — en vuelo .....</b>	<b>45</b>
4.1 Correcciones del ruido en la fuente .....	27	8.1 Generalidades .....	45
4.2 Procedimientos de ensayo y de referencia para el ruido de despegue .....	27	8.2 Planes de control del soporte lógico .....	45
<b>Capítulo 5. Procedimientos equivalentes aplicables a los helicópteros — Procedimientos de ensayo en vuelo .....</b>	<b>29</b>	8.3 Aplicabilidad .....	46
5.1 Orientaciones sobre la homologación en cuanto al ruido .....	29	<b>Referencias .....</b>	<b>47</b>
5.2 Adquisición de datos de vuelo a bordo .....	32	<b>Apéndices</b>	
		1. Cálculo de los intervalos de confianza .....	48
		2. Identificación de las irregularidades espectrales ..	55
		3. Procedimiento para suprimir los efectos del ruido ambiental de los datos del ruido de los aviones .....	57
		4. Tablas y cifras de referencia utilizadas en el Manual Cálculo del nivel efectivo de ruido percibido .....	59

## Nomenclatura

Los símbolos y abreviaturas utilizados en el presente manual son semejantes a los del Anexo 16 de la OACI — *Protección del Medio Ambiente, Volumen I — Ruido de las Aeronaves*, Primera edición.

<i>Símbolos</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidad</i>	
<i>Símbolo</i>	<i>Unidad</i>		$\delta_{amb}$	—	Relación entre la presión estática absoluta del aire ambiente a la altura del avión y la presión atmosférica ISA al nivel medio del mar (es decir 101.325 kPa)
<i>CI</i>	dB	Intervalo de confianza del 90% en decibeles	$\theta_z$	—	Relación entre la temperatura estática absoluta del aire a la altura del avión y la temperatura absoluta del aire al nivel del mar en condiciones ISA (es decir 288.15 K)
<i>D</i>	m	Diámetro de la tobera del reactor a base de la superficie total de abertura de la salida	$\mu$	—	parámetro relacionado con la potencia del motor o valor medio (véase el Apéndice 1)
EPNL	EPNdB	Nivel efectivo de ruido percibido	$\lambda$	grados	Ángulo entre la trayectoria de vuelo en el sentido del vuelo y una línea recta que una el avión con el micrófono en el momento de emisión del sonido
<i>F</i>	N	Empuje neto del motor			
<i>f</i>	Hz	Frecuencia central de un tercio de octava			
<i>K</i>	—	Constante			
<i>L</i>	dB(A)	Nivel de presión acústica de ponderación A			
<i>M</i>	—	Número de Mach			
<i>M<sub>T</sub></i>	—	Número de Mach en los extremos de la hélice			
<i>N</i>	RPM	Velocidad de rotación de la hélice			
<i>N<sub>1</sub></i>	RPM	Velocidad del rotor de baja presión de los motores de turbina			
<i>N<sub>MCP</sub></i>	RPM	Velocidad de rotación de la hélice a la potencia máxima continua			
PNL	PNdB	Nivel de ruido percibido	<i>Sufijos</i>		
PNLT	TPNdB	Nivel de ruido percibido corregido por tono	vuelo		sufijo relacionado con las condiciones de vuelo
PNLTM	TPNdB	Nivel máximo de ruido percibido corregido por tono	máx		valor máximo
<i>S</i>	—	Número de Strouhal $fD/V_j$	ref		sufijo relacionado con las condiciones de referencia
SHP	kW	Potencia en el árbol	estática		sufijo relacionado con las condiciones estáticas
SPL	dB	Nivel de presión acústica por referencia a 20 $\mu$ Pa	ensayo		sufijo relacionado con las condiciones de ensayo
TCL	°C	Temperatura del aire a la altura del eje del motor	DOP		sufijo relacionado con el efecto Doppler
TMIC	°C	Temperatura del aire a la altura de los micrófonos en el plano del terreno			
<i>V<sub>e</sub></i>	m/sec	Velocidad de los reactores para expansión isentrópica completa a la presión ambiental	<i>Abreviaturas</i>		
<i>V</i>	m/sec	Velocidad aerodinámica de la aeronave	ESDU		Engineering Sciences Data Unit
WCL	Km/h	Velocidad media del viento a la altura del eje del motor	ISA		Atmósfera tipo internacional
<i>x</i>	m	Distancia a favor del flujo de la tobera de salida	NPD		Ruido-potencia-distancia
			SAE AIR		Society of Automotive Engineers — Aerospace Information Report
			SAE ARP		Society of Automotive Engineers — Aerospace Recommended Practice

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 OBJETO

1.1.1 El objeto de este manual es fomentar la aplicación uniforme de los procedimientos técnicos del Anexo 16, Volumen I, y proporcionar orientación para que las autoridades de certificación puedan aplicar los mismos criterios, con igual rigurosidad, a las solicitudes de permiso para emplear procedimientos equivalentes.

1.1.2 Se hallarán en el manual indicaciones destinadas a facilitar la aplicación más extensa de los procedimientos equivalentes que se han aceptado como medios técnicos para demostrar el cumplimiento de las condiciones previstas en el Anexo 16, Volumen I, para la homologación en cuanto al ruido. Esos procedimientos se citan en el Anexo 16, Volumen I, y se tratan más detalladamente en los Apéndices del Anexo, los cuales describen los métodos de evaluación del ruido que sirven para demostrar el cumplimiento de lo previsto en los capítulos pertinentes.

1.1.3 Deben utilizarse los procedimientos del Anexo 16, Volumen I, a menos que las autoridades de certificación hayan aprobado algún procedimiento equivalente. Los procedimientos equivalentes no se limitan a los descritos en el presente manual, ya que éste se ampliará a medida que se elaboren nuevos procedimientos.

1.1.4 A los efectos del presente manual, un procedimiento equivalente es un procedimiento de ensayo o de análisis que, si bien puede ser diferente de los especificados en el Anexo 16, Volumen I, a juicio técnico de las autoridades de certificación produce efectivamente los mismos niveles de ruido que el procedimiento especificado.

### 1.2 ESTRUCTURA GENERAL

Hay dos grandes categorías de procedimientos equivalentes: los de aplicación general y los que se aplican a determinados tipos de aeronaves. Así pues, algunas equivalencias en cuanto al equipo de medición pueden aplicarse a todos los tipos de aeronaves, mientras que ciertos procedimientos de ensayo quizás sean aplicables exclusivamente a los aviones turborreactores, pero no a los de turbohélice. En consecuencia, el presente manual proporciona

información sobre los procedimientos equivalentes aplicables a los diferentes tipos de aeronaves previstos en el Anexo 16, Volumen I, es decir a los aviones de reacción, a los propulsados por hélice, pesados o ligeros, y a los helicópteros. Los procedimientos equivalentes aplicables a cada uno de esos tipos de aeronaves se describen en capítulos aparte. Cada capítulo trata esencialmente de las equivalencias en cuanto a los ensayos en vuelo, de los métodos de análisis y de las equivalencias relacionadas con los procedimientos de evaluación.

### 1.3 INCORPORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS EQUIVALENTES EN EL PLAN DE DEMOSTRACIÓN DE CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS SOBRE EL RUIDO

1.3.1 Antes de hacer una demostración con vistas a la homologación de una aeronave en cuanto al ruido, el solicitante tiene que someter normalmente a las autoridades de certificación un plan para demostrar que se cumplen las normas respecto al ruido. En ese plan, el solicitante expone el método mediante el cual se propone demostrar que se cumplen dichas normas. Corresponde a las autoridades de certificación aprobar el plan, así como también la utilización de los procedimientos equivalentes que se sugieran. Los procedimientos expuestos en el presente manual se agrupan según aplicaciones concretas. La determinación de la equivalencia de todo procedimiento o grupo de procedimientos, se funda en la consideración de todos los hechos pertinentes relacionados con la solicitud de homologación.

1.3.2 La autorización para utilizar procedimientos equivalentes puede solicitarse por diversas razones, por ejemplo:

- a) para poder utilizar los datos de pruebas de homologación obtenidos previamente respecto al mismo tipo de avión;
- b) para permitir y estimular una demostración más confiable de diferencias leves en cuanto a nivel de ruido entre las versiones derivadas de determinado tipo de avión; y



c) para reducir los gastos de demostración del cumplimiento de las condiciones previstas en el Anexo 16, Volumen I, limitando al mínimo la duración de los ensayos en vuelo, el tiempo de ocupación de las pistas y los gastos de equipo y personal.

1.3.3 Los elementos que figuran en el presente manual tienen que considerarse únicamente como indicaciones de carácter técnico. El hecho de presentar ejemplos de equivalencias ya aprobadas no significa que esas equivalencias sean las únicas aceptables, y la forma en que se han presentado no implica limitación alguna en cuanto a su aplicación ni la obligación de utilizarlas en el futuro.

#### 1.4 CAMBIOS DE LOS NIVELES DE RUIDO DE LAS VERSIONES DERIVADAS

1.4.1 Muchos de los procedimientos equivalentes descritos en el presente manual se aplican a las versiones derivadas. El procedimiento empleado facilita la información

necesaria para poder determinar el nivel de ruido de la versión derivada a partir de niveles de ruido de la aeronave de "referencia" (es decir, la aeronave más apropiada respecto a la cual se midieron los niveles de ruido al hacer un vuelo de demostración conforme a lo previsto en el Anexo 16, Volumen I).

1.4.2 Las diferencias físicas entre la aeronave de referencia y la versión derivada pueden revestir numerosas formas: mayor masa de despegue, mayor empuje, otros tipos de motores, hélices o rotores, etc. Algunos de esos cambios alteran la distancia entre la aeronave y los puntos de referencia para la homologación en cuanto al ruido, mientras que otros modifican las características de la fuente de ruido. Los procedimientos utilizados para determinar los niveles de ruido de las versiones derivadas dependerán pues de las modificaciones de que haya sido objeto la aeronave considerada. No obstante, cuando varias versiones derivadas hayan sufrido modificaciones análogas, por ejemplo, instalación de motores construidos por otras firmas comerciales, los procedimientos utilizados para obtener los niveles de ruido de cada una de las aeronaves derivadas deben ser idénticos.

## Capítulo 2

### Procedimientos equivalentes aplicables a los aviones de reacción subsónicos

*Nota.— El objeto de un ensayo de demostración para la homologación en cuanto al ruido consiste en adquirir datos para poder llegar a una definición precisa y fiable de las características de ruido del avión, en las condiciones de referencia [véanse el Anexo 16, Volumen I, Parte II, 2.6 (en cuanto a los aviones previstos en el Capítulo 2) y 3.6 (en cuanto a los previstos en el Capítulo 3)]. Además, en ese Anexo se exponen una serie de condiciones de ensayo y procedimientos para ajustar los datos medidos a las condiciones de referencia. Los métodos que siguen a continuación se han utilizado para conseguir resultados equivalentes a los procedimientos expuestos en los Capítulos 2 y 3 del Anexo 16, Volumen I, en lo concerniente a los aviones de turboreactores y a los de turbofán.*

#### 2.1 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO EN VUELO

##### 2.1.1 Procedimientos de interceptación de la trayectoria de vuelo

2.1.1.1 En vez de los perfiles completos de despegue/aterrizaje descritos en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 1, 9.2 y 9.3 o en el Apéndice 2, 9.2, se han utilizado en ocasiones procedimientos de interceptación de la trayectoria de vuelo, para satisfacer los requisitos de demostración relativos a la homologación en cuanto al ruido. Tales procedimientos se han utilizado igualmente en el marco de los procedimientos generalizados de ensayo en vuelo que se describen en 2.1.2. Con los procedimientos de interceptación de la trayectoria no es necesario ejecutar despegues ni aterrizajes (lo cual representa ventajas económicas y operacionales importantes, cuando la masa bruta es elevada) y la duración de los ensayos se reduce considerablemente. La selección del lugar presenta menos dificultades y la probabilidad de conseguir condiciones meteorológicas estables en el transcurso de los ensayos es más alta por ser éstos de corta duración. El desgaste de los aviones y el consumo de combustible se reducen y se consiguen datos de ruido más coherentes y más precisos.

2.1.1.2 La Figura 2-1 a) ilustra un perfil típico de despegue. El avión ya estabilizado inicialmente en vuelo horizontal en el punto A, prosigue el vuelo hasta alcanzar el

punto B, donde se aplica la potencia para despegar y se inicia un ascenso en régimen estabilizado. El régimen estabilizado de ascenso se consigue al alcanzar el punto C, donde el avión intercepta la trayectoria de despegue de referencia. A partir de ese punto, prosigue hasta el fin de la trayectoria de despegue para la homologación en cuanto al ruido. El punto D es el punto teórico de encabritamiento utilizado para determinar la trayectoria de referencia. Si hay que reducir la potencia, esta reducción tiene lugar en el punto E, y el punto F' constituye el fin de la trayectoria de despegue para la homologación en cuanto al ruido. La distancia TN es la distancia en la cual se mide y sincroniza la posición del avión con la medición del ruido efectuada en el punto K.

2.1.1.3 En cuanto a la aproximación, el avión sigue generalmente la trayectoria prevista, manteniendo una configuración y potencia constantes, hasta que dejan de influir en el nivel de ruido con una tolerancia de 10 dB del nivel máximo de ruido percibido corregido por tono (PNLTM). El avión luego da motor en vez de continuar el aterrizaje [véase la Figura 2-1b)].

2.1.1.4 Para elaborar los datos de ruido-potencia-distancia en el caso de la aproximación (véase 2.1.2.2), las limitaciones de velocidad y ángulo de aproximación que impone el Anexo 16, Volumen I, en 2.6.2, 3.6.3 y 3.7.5 no pueden satisfacerse en las gamas de empuje típicas necesarias. Para la aproximación, la velocidad se mantendrá a  $1.3 V_S + 19 \text{ km/h}$  ( $1.3 V_S + 10 \text{ kt}$ ) con un margen de  $\pm 9 \text{ km/h}$  o  $\pm 5 \text{ kt}$ , manteniendo la altura de sobrevuelo por encima del micrófono a  $120 \text{ m} \pm 30 \text{ m}$  ( $400 \text{ ft} \pm 100 \text{ ft}$ ). Pero el ángulo de aproximación con el empuje de ensayo será el que resulte de las condiciones de la aeronave, o sea, su masa, configuración, velocidad y empuje.

2.1.1.5 Es menester que los perfiles de vuelo se ajusten a las condiciones exigidas en el Anexo para los ensayos en una distancia que corresponda por lo menos al intervalo durante el cual el nivel de ruido se ha atenuado por lo menos 10 dB respecto al PNLTM obtenido en los puntos de medición al hacer la demostración.

##### 2.1.2 Procedimientos generalizados de ensayo en vuelo

2.1.2.1 Los procedimientos equivalentes de ensayos en vuelo que se exponen a continuación se han utilizado para

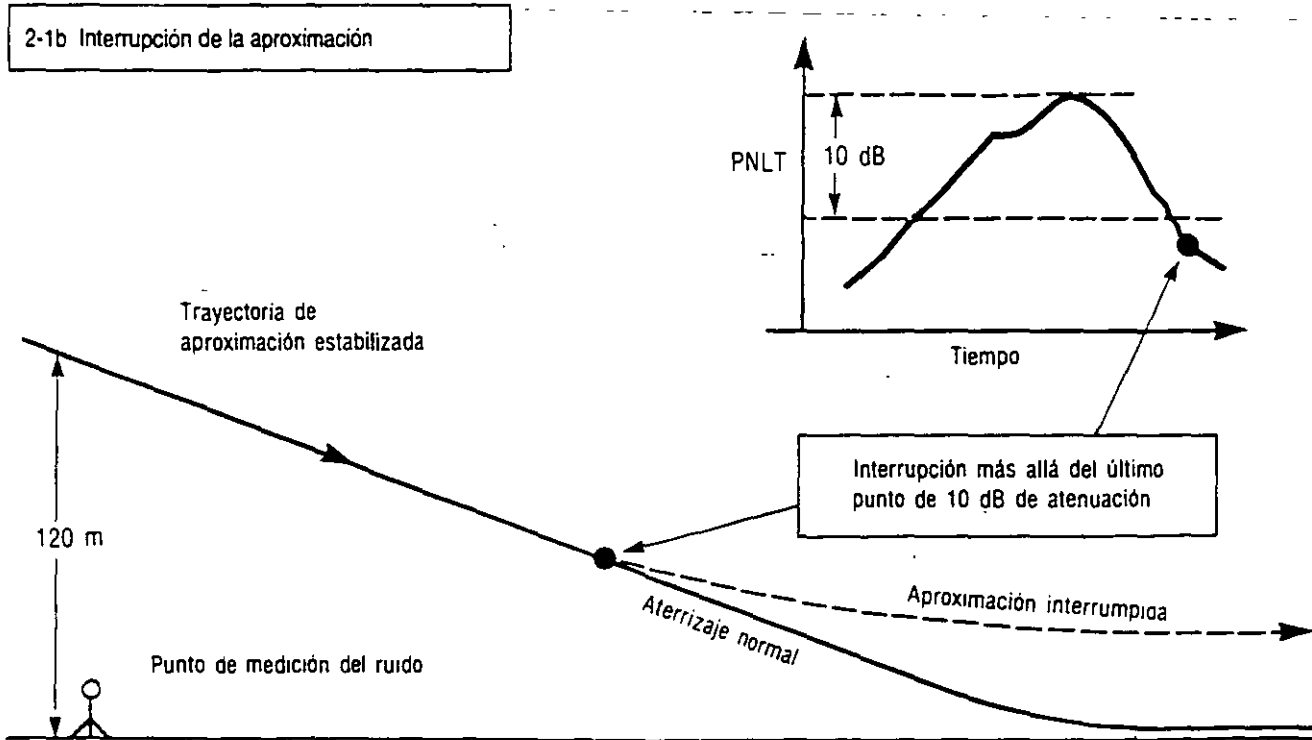
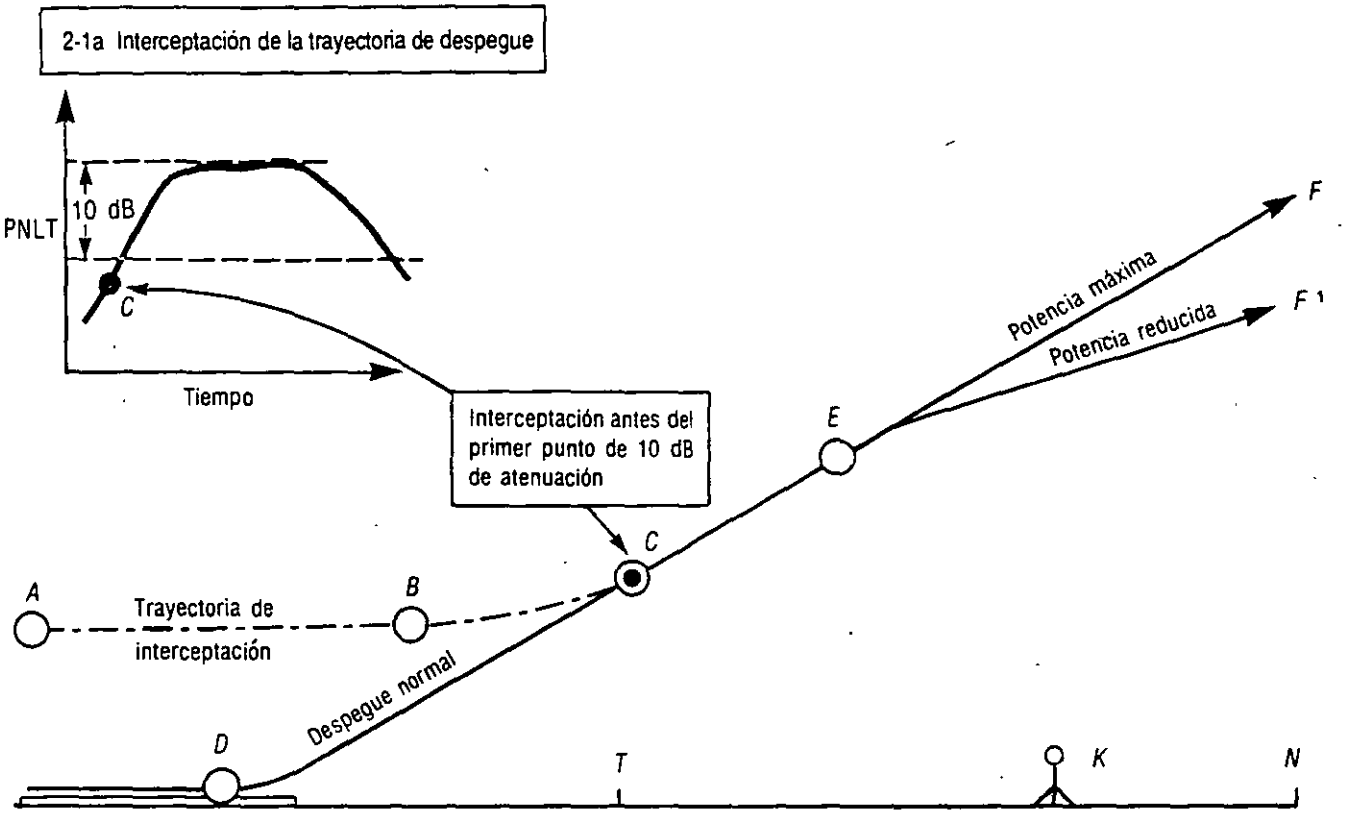


Figura 2-1. Procedimientos de intercepción de la trayectoria

demostrar el cumplimiento de las normas de homologación en cuanto al ruido.

2.1.2.2 Cálculo de los datos de ruido-potencia-distancia

2.1.2.2.1 En lo concerniente a una gama de potencias que abarquen desde la máxima de despegue hasta la reducida, el avión vuela pasando micrófonos situados en puntos laterales y por debajo de la trayectoria de vuelo, de conformidad con lo previsto en el Anexo 16, Volumen I, Parte II, 3.6.2.1 c) y d). Se hacen suficientes mediciones del ruido, para poder determinar las curvas de ruido-potencia a una distancia determinada de los micrófonos laterales y sobrevolados. Se determinan luego otras curvas análogas en función de una gama de distancias, ya sea calculándolas, ya sea utilizando datos de ensayo en vuelo complementarios, con el fin de lograr la base de datos de ruido generalizados que servirá para la homologación en cuanto al ruido de la aeronave de referencia y de las versiones derivadas del mismo tipo; con frecuencia esos conjuntos de curvas se denominan diagramas de ruido-potencia-distancia (NPD) (véase la Figura 2-2).

2.1.2.2.2 Los intervalos de confianza del 90% de las líneas medias se calculan a base de los datos (véase el Apéndice 1, 2.2). Este procedimiento se repite con un micrófono situado por debajo de la trayectoria de vuelo,

respecto a una gama de potencias de aproximación, y la velocidad y configuración del avión tienen que ajustarse a las condiciones previstas en el Anexo 16, Volumen I, Parte II, 3.6.3.

2.1.2.2.3 Debe tenerse en cuenta la disponibilidad de datos de ensayo en vuelo utilizables para hacer los ajustes (de velocidad y altitud, por ejemplo) para la planificación de los ensayos, ya que sería posible homologar una versión derivada sin tener que hacer nuevos ensayos en vuelo, especialmente si la influencia de la velocidad aerodinámica en el nivel de ruido en la fuente reviste cierta importancia.

2.1.2.2.4 Las mediciones del ruido de despegue, en puntos laterales y en la aproximación se corrigen en función de la velocidad de referencia y de las condiciones atmosféricas respecto a una serie de distancias, según los procedimientos expuestos en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 1 (aviones de que trata el Capítulo 2) o en el Apéndice 2 (aviones de que trata el Capítulo 3). Los diagramas NPD pueden construirse a base de los datos corregidos de nivel efectivo de ruido percibido (EPNL), de la potencia y de la distancia. Las curvas presentan valores EPNL respecto a una serie de distancias y de parámetros de performance relativos al ruido de los motores,  $\mu$  (véase el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, 9.3.4.1). Los parámetros son generalmente la velocidad corregida del rotor

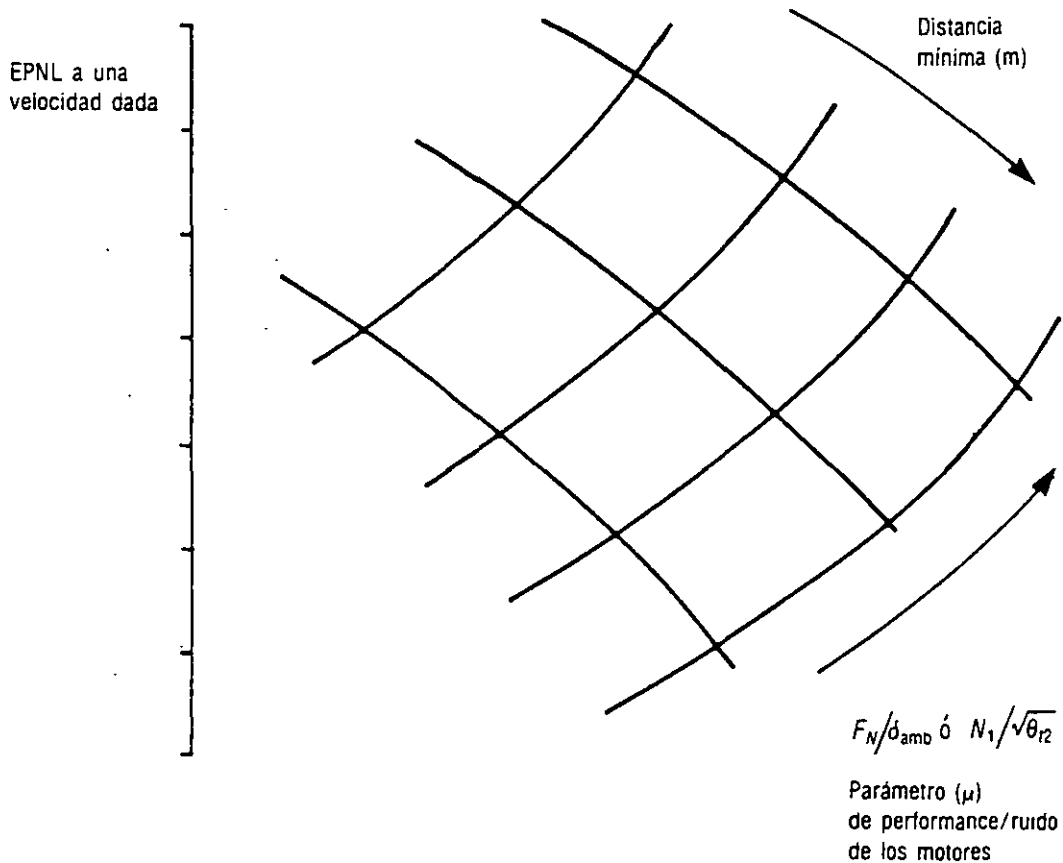


Figura 2-2. Diagrama NDP (ruido-potencia-distancia) para aviones turborreactores o turbofán

a baja presión  $N_1/\theta_{12}$  o el empuje neto corregido  $F_N/\delta_{amb}$  (véase la Figura 2-2), siendo:

- $N_1$  la velocidad verdadera del rotor a baja presión;
- $\theta_{12}$  la relación entre la temperatura estática absoluta del aire a la altura del avión y la temperatura absoluta del aire de la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel medio del mar (es decir, 288.15K);
- $F_N$  el empuje neto verdadero de cada motor;
- $\delta_{amb}$  la relación entre la presión estática absoluta del aire ambiente a la altura del avión y la presión atmosférica ISA al nivel medio del mar (es decir, 101.325 kPa).

2.1.2.2.5 Los datos generalizados NPD pueden utilizarse para homologar el avión sometido a ensayos en vuelo y las versiones derivadas de dicho tipo de avión. En cuanto a las versiones derivadas, esos datos pueden utilizarse juntamente con procedimientos de análisis, con ensayos estáticos del motor y de la barquilla o con un número limitado de nuevos ensayos en vuelo.

#### 2.1.2.3 Procedimientos para determinar los cambios de niveles de ruido

Los cambios de niveles de ruido, obtenidos mediante comparaciones de los datos de ensayos en vuelo de diferentes versiones de un mismo tipo de avión, se han utilizado para establecer los niveles de homologación en cuanto al ruido de nuevas versiones derivadas, tomando como base los niveles del avión de referencia. Estos cambios de ruido se han añadido o sustraído a los niveles de ruido obtenidos en vuelos realizados con el avión de referencia. Los intervalos de confianza de los nuevos datos se han combinado estadísticamente con los datos de referencia, para establecer los intervalos de confianza globales (véase el Apéndice 1, 2.2).

#### 2.1.3 Determinación de los niveles de homologación en cuanto al ruido en puntos laterales

2.1.3.1 Otros procedimientos recurriendo al empleo de dos micrófonos situados simétricamente a ambos lados de la derrota de referencia de despegue, han demostrado ser rápidos y resultar económicos. Permiten evitar muchas de las dificultades que presenta la utilización del método más clásico con diferentes combinaciones de micrófonos. Estos procedimientos consisten en volar el avión de ensayo, a la potencia máxima de despegue, a una o varias alturas especificadas por encima de una derrota perpendicular a la línea que une los dos micrófonos y a distancia igual de éstos. Sin embargo, cuando se utilice este procedimiento, deberían emplearse datos comparables de ambos micrófonos laterales para cada vuelo de control a fin de determinar el ruido lateral; los casos en que sólo se disponga de datos procedentes de un solo micrófono para un vuelo determinado, deberían omitirse de la determinación. Los párrafos que siguen describen los

procedimientos para determinar los niveles de ruido lateral de aviones subsónicos de turboreacción o turbofán.

2.1.3.2 Mediciones del ruido lateral para una gama de aviones de configuración convencional, con motores montados debajo del ala y/o en la parte trasera del fuselaje, indican que a la potencia máxima el ruido lateral máximo se produce normalmente cuando el avión se halla a unos 300 m (985 ft) o a 435 m\* (1 427 ft) de altura durante el despegue. A base de esto, se ha considerado que es aceptable usar el procedimiento equivalente que sigue.

- a) Para aviones que haya que homologar de conformidad con el Anexo 16, Volumen I, Parte II, Capítulo 2 ó 3, se utilizan dos emplazamientos de micrófonos dispuestos simétricamente a uno y otro lado de la derrota de referencia, a 450 m o a 650 m\* de ésta.
- b) La altura del avión, al cruzar la línea que une los micrófonos, debería ser de 300 m (985 ft) o de 435 m\* (1 427 ft) con una tolerancia de +100 m (+328 ft) o de -50 m (-164 ft) respecto a esa altura óptima.
- c) En el transcurso de la demostración en vuelo, la potencia, la configuración y la velocidad aerodinámica deberían ser constantes según lo descrito en el Anexo 16, Volumen I, Parte II, 2.6.1.2, 2.6.1.3 y 3.6.2.1 a) y d).
- d) Deberían ajustarse los niveles de ruido medidos para que correspondan a las condiciones acústicas del día de referencia y a las condiciones de utilización del avión de referencia, tal cual se indica en el Anexo 16, Volumen I, Apéndices 1\* y 2, Sección 9.
- e) Con el fin de tener en cuenta los efectos de asimetría en los niveles de ruido medidos, el nivel de ruido lateral notificado, para demostrar el cumplimiento con los límites de ruido previstos en el Anexo 16, Volumen I, Parte II, Capítulo 2 ó 3, según sea el caso, debe ser igual a la media aritmética de los niveles de ruido máximos corregidos de cada uno de los puntos de medición lateral, y el cumplimiento debería determinarse con un intervalo de confianza del 90% que no exceda de 1,5 dB, como está previsto en el Anexo (vease el Apéndice 1, 2.1).

#### 2.1.4 Niveles de ruido de sobrevuelo de despegue con potencia reducida

Los niveles de ruido de sobrevuelo con potencia reducida también pueden determinarse según lo previsto en 2.2.2 del presente manual, sin que sea necesario hacer mediciones durante el despegue con la potencia máxima seguida de una reducción de potencia.

\* Valores aplicables a los procedimientos del Capítulo 2.

### 2.1.5 Medición en puntos ajenos a los de referencia

2.1.5.1 En algunos casos, los puntos de medición para los ensayos pueden ser distintos de los puntos de medición de referencia previstos en el Anexo 16, Volumen I, Parte II, 2.3.1 y 3.3.1. En esas circunstancias, el solicitante puede pedir la aprobación de los datos obtenidos ajustando sus mediciones a los puntos y condiciones de referencia. Esta solicitud puede hacerse por los motivos siguientes:

- a) para permitir la selección de un emplazamiento de medición más próximo a la trayectoria de vuelo del avión, con el fin de hacer más precisos los datos gracias a una relación más elevada entre señal y ruido de fondo. El Apéndice 3 describe un método de corrección de los efectos del ruido ambiente, pero obteniendo los datos más cerca del avión se evitan las interpolaciones y extrapolaciones que requiere este método;
- b) para que pueda utilizarse una base de datos de homologación aprobados para determinado tipo de avión, en la homologación de una versión derivada, en condiciones de referencia que se aparten de las de referencia de la homologación del tipo inicial; y
- c) para evitar la presencia, en la proximidad de uno o varios puntos de medición, de obstáculos que podrían entorpecer la medición. Cuando se utiliza la técnica de interceptación de la trayectoria, los puntos de medición del ruido al despegar y al hacer la aproximación pueden desplazarse, según sea menester, para evitar obstáculos indeseables. El emplazamiento de los puntos de medición lateral puede ser del mismo orden de magnitud que las desviaciones laterales del avión en relación con las trayectorias nominales de vuelo observadas durante los ensayos.

2.1.5.2 Se ha concedido la aprobación a solicitantes que deseaban utilizar datos provenientes de puntos de medición del ruido ajenos a los puntos de referencia, con tal que los datos medidos se hubieran ajustado a las condiciones de referencia, como prevé el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 1 ó 2, Sección 9, sin que las correcciones excediesen de los límites previstos en la Parte II, 3.7.6 y en el Apéndice 1, 5.4 del Anexo.

### 2.1.6 Condiciones atmosféricas para el ensayo

Algunas autoridades de certificación han encontrado aceptable que se excedan los límites de humedad relativa y temperatura del aire ambiente especificados en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, Sección 2.2.2 c), cuando:

- 1) el punto de rocío y la temperatura de termómetro seco se han medido con un instrumento de una precisión de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  y se utilizan para obtener la humedad relativa y cuando se subdivide la atmósfera en capas para calcular las atenuaciones del sonido ponderadas equivalentes en cada banda de un tercio de octava, con subdivisiones

que sean suficientes a juicio de las autoridades de certificación; o

- 2) cuando los valores noy máximos en el momento del PNLT, después de ajustados a las condiciones de referencia, se presentan en frecuencias inferiores o iguales a 400 Hz.

### 2.1.7 Velocidad de aproximación de referencia

La velocidad de aproximación de referencia se menciona actualmente en el párrafo 3.6.3.1 b) del Capítulo 3 del Anexo 16, Volumen I, como  $1.3 V_s + 19 \text{ km/h}$  ( $1.3 V_s + 10 \text{ kt}$ ). Por razones de aeronavegabilidad, se modificará la definición de velocidad de pérdida, para sustituir la actual definición de velocidad mínima  $V_s$ , por una velocidad de pérdida durante una maniobra con aceleración 1-g (es decir, un coeficiente de carga de vuelo unitario)  $V_{SIG}$ . En virtud de la nueva definición, la velocidad de referencia de aproximación pasa a ser de  $1.23 V_{SIG} + 19 \text{ km/h}$  ( $1.23 \cdot V_{SIG} + 10 \text{ kt}$ ), que puede considerarse equivalente a la velocidad de referencia contenida en el Capítulo 3.

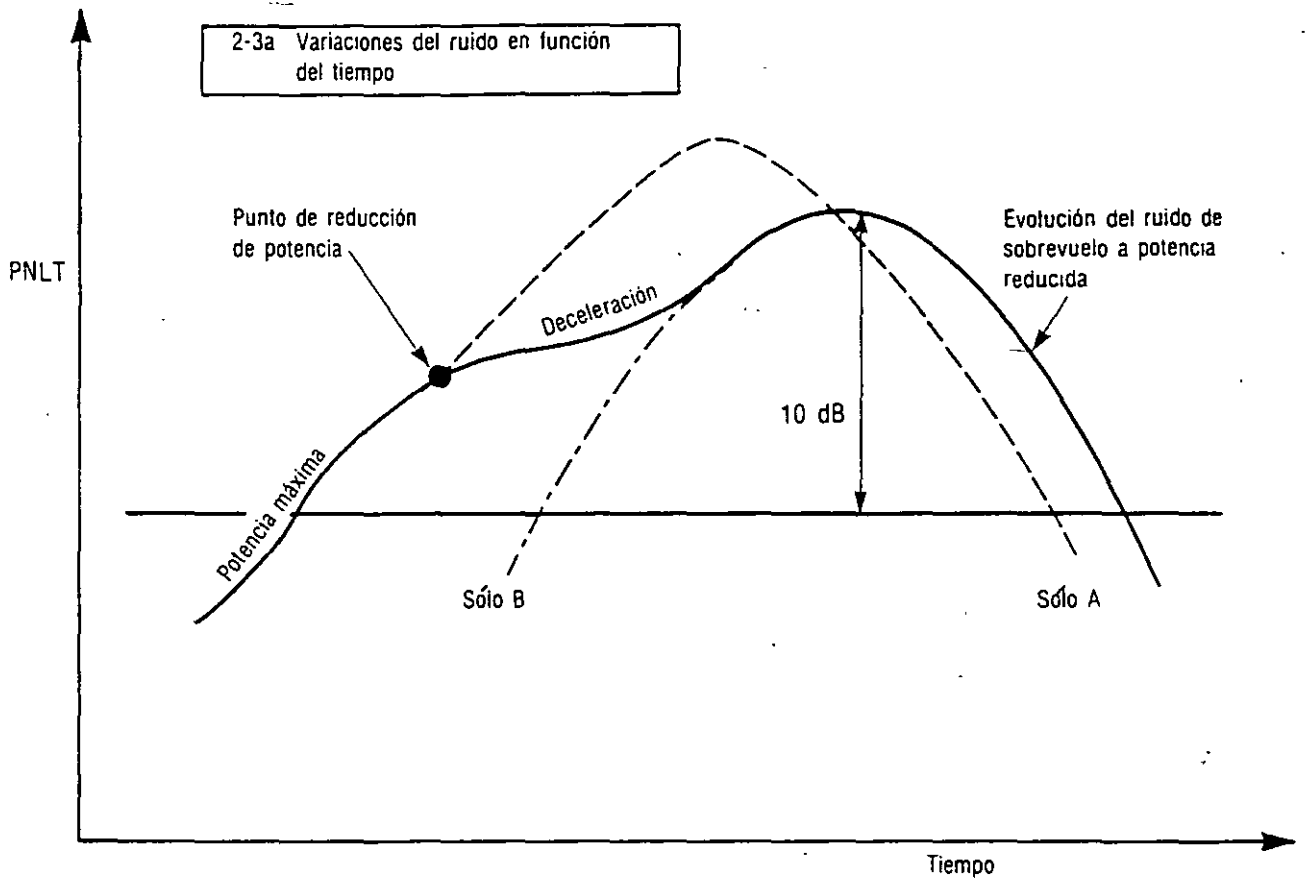
### 2.1.8 Condiciones anómalas de viento

La turbulencia atmosférica puede dispersar el ruido de las aeronaves: como esto incidiría negativamente en las mediciones de los ensayos, se han adoptado los siguientes criterios con respecto a las demostraciones de ensayo en vuelo para la homologación en cuanto al ruido. Cada vuelo frente al micrófono se considera aceptable si la velocidad aerodinámica indicada (IAS) instantánea, obtenida del indicador de velocidad aerodinámica del piloto, está dentro de  $\pm 3\%$  de la velocidad aerodinámica media entre los puntos de atenuación de 10 dB para cada micrófono. Sin embargo, en caso de que la velocidad instantánea exceda en  $\pm 5.5 \text{ km/h}$  ( $\pm 3 \text{ kt}$ ) la velocidad aerodinámica media sobre los puntos de atenuación de 10 dB y el representante de las autoridades de certificación que esté presente en el puesto de pilotaje estime que esto se debe a la turbulencia, debería descartarse el vuelo afectado a los fines de la homologación en cuanto al ruido.

## 2.2 PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS

2.2.1 Los procedimientos equivalentes analíticos se basan en los datos disponibles del ruido y de la performance respecto al avión tipo obtenidos en vuelos de ensayo. Las relaciones ruido-potencia-distancia generalizadas (sobre los diagramas NPD, véase 2.1.2.2) y los procedimientos de corrección de las variaciones de velocidad, según los métodos indicados en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 1 ó 2, se combinan con los datos de performance aerodinámica homologados del avión, para determinar las variaciones de los niveles de ruido atribuibles a las modificaciones realizadas en el avión tipo. Estas variaciones se aplican luego a los niveles de ruido iniciales, según las indicaciones de 2.1.2.3 del presente manual.





2-3b Trayectoria por encima del punto de medición del ruido de sobrevuelo a potencia reducida

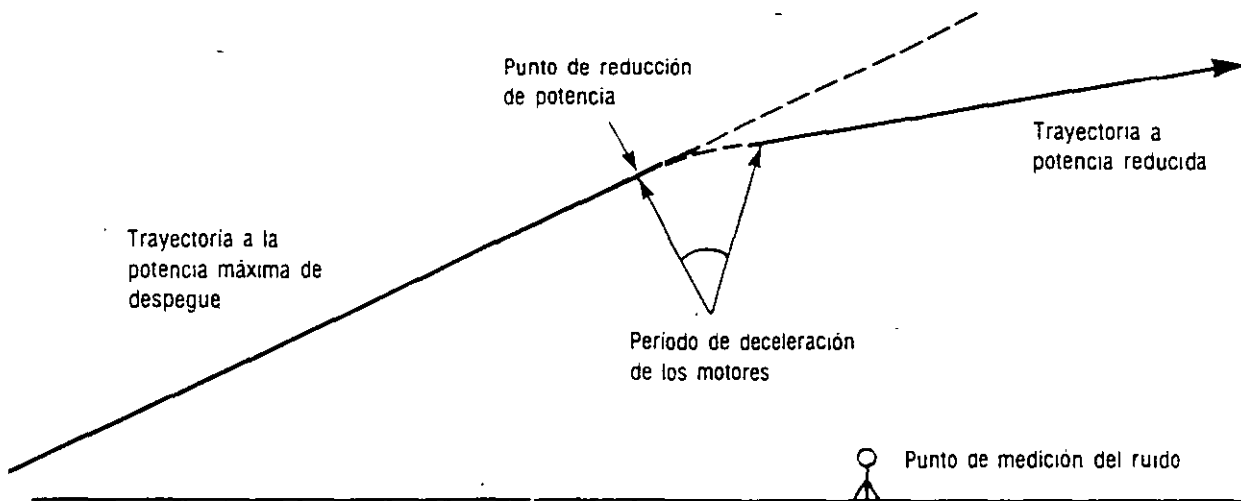


Figura 2-3. Cálculo del nivel de ruido de despegue a potencia reducida a base de los ensayos realizados a potencia constante



los motores y sus componentes. Estos ensayos son útiles para evaluar los efectos que las modificaciones mecánicas y termodinámicas de los motores pueden ejercer sobre las diferentes fuentes de ruido.

2.3.1.5 Las secciones que siguen tratan con detalle de los ensayos estáticos de los motores. Los criterios de aceptación de los ensayos de los componentes son menos fáciles de definir. Con frecuencia, sobre todo si sólo se prevén ligeras modificaciones del EPNL, los ensayos de los componentes proporcionan una demostración suficiente de los efectos del ruido. Esto ocurre así en los casos siguientes:

- a) modificaciones de las especificaciones de los revestimientos de aislamiento acústico de la barquilla del motor;
- b) modificaciones del diseño mecánico o aerodinámico de la soplante, del compresor o de la turbina;
- c) modificaciones del diseño de la cámara de combustión; y
- d) modificaciones menores del sistema de escape.

2.3.1.6 Las autoridades encargadas de la homologación deberían considerar cada solicitud de utilización de datos de ensayo de los componentes, teniendo debidamente en cuenta la importancia de la aportación de la fuente de ruido pertinente en el EPNL del avión.

### 2.3.2 Límites de la extrapolación de los datos estáticos a condiciones en vuelo

2.3.2.1 En los párrafos que siguen se proporcionan detalles de las condiciones en las cuales es posible aceptar, utilizar y aplicar los datos de ensayos estáticos.

2.3.2.2 La diferencia entre los niveles de ruido medidos de un motor derivado y de un motor de referencia es función de diversos factores, especialmente los siguientes:

- a) modificaciones del ciclo termodinámico del motor, comprendido el aumento de empuje;
- b) modificaciones del diseño de los elementos principales (por ejemplo, soplante, compresor, turbina, sistema de escape, etc.); y
- c) modificaciones de la barquilla.

2.3.2.3 Las variables de un día a otro y de un lugar de ensayo a otro pueden también influir en los niveles de ruido medidos y, por consiguiente, los procedimientos de ensayo, de medición y análisis descritos en el presente manual se han concebido para tener en cuenta esos efectos. Para que el grado de cambio resultante de factores tales como los de 2.3.2.2 a), b) y c), cuando se hayan extrapolado a las condiciones de

vuelo, no exceda de un valor aceptable más allá del cual sería necesario hacer un nuevo ensayo en vuelo, es menester fijar un límite que puedan aplicar uniformemente las autoridades encargadas de la homologación.

2.3.2.4 Para fijar ese límite, se recomienda aplicar el principio siguiente: la suma, en valor absoluto, de las variaciones de los niveles de ruido correspondientes a las tres condiciones de homologación de referencia, entre el avión de referencia y la versión derivada, siendo el empuje y la distancia iguales, no debe exceder de 5 EPNdB, con un máximo de 3 EPNdB respecto a cualquiera de las condiciones de referencia (véase la Figura 2-4). Cuando haya diferencias mayores, se recomienda proceder a ensayos en vuelo complementarios, en condiciones en las que quepa esperar modificaciones de los niveles de ruido, con el fin de establecer una nueva base de datos NPD en vuelo.

2.3.2.5 Sin embargo, con tal que los procedimientos detallados de extrapolación se hayan verificado a base de ensayos en vuelo respecto a todas las clases de fuentes de ruido (tonos, la banda amplia de ruidos ajenos a los de los motores de reacción y los ruidos de éstos) del avión considerado, y con tal que no haya diferencias importantes en cuanto concierne a los efectos de instalación de los motores, entre el avión que haya servido para verificar los métodos de extrapolación y el avión considerado, podrá aplicarse el procedimiento sin las limitaciones anteriormente descritas.

2.3.2.6 Para determinar los niveles de ruido de la versión modificada o derivada, hay que emplear los procedimientos analíticos ya utilizados en ocasión de la homologación en cuanto al ruido del tipo de avión original, para pasar de los resultados de ensayos estáticos a las condiciones de vuelo.

### 2.3.3 Ensayos estáticos de los motores

2.3.3.1 Los datos de los ensayos estáticos de los motores de diseño similar al de los motores sometidos a ensayos en vuelo pueden extrapolarse, de ser el caso, a las condiciones de vuelo y, una vez aprobados, se pueden emplear para completar un diagrama NPD aprobado, a fin de demostrar que se ajustan a lo previsto en el Anexo 16, Volumen I, en lo que respecta a la modificación del diseño de tipo. En los párrafos siguientes también se facilitan indicaciones sobre las técnicas de adquisición, análisis y normalización de los datos de ensayos estáticos de los motores. Los datos obtenidos se utilizan teniendo en cuenta ciertas consideraciones de orden técnico y los principios generales concernientes a los lugares de ensayo, los instrumentos de medición y de análisis y los procedimientos de ensayo que figuran en la última versión del documento AIR 1846-1984 de la Society of Automotive Engineers (SAE), titulado *Measurement of Noise from Gas Turbine Engines During Static Operation*. El tipo de motor y las técnicas de ensayo y análisis que hay que emplear tienen que describirse en el plan de ensayo y someterse a la aprobación de las autoridades de certificación, con antelación a los ensayos. Conviene observar que las restricciones especificadas en el Anexo 16, Volumen I, en cuanto a lo

ensayos en vuelo, no son necesariamente apropiadas a los ensayos estáticos. (El citado documento AIR 1846-1984 de la SAE facilita orientación en este aspecto.) A título de ejemplo, las distancias de medición de los ensayos estáticos son netamente inferiores a las que se aplican a los ensayos en vuelo: esto permite efectuar ensayos en condiciones atmosféricas en las cuales los ensayos en vuelo no se permitirían, según lo previsto en el Anexo 16, Volumen I. Aparte de esto, dado que el ruido de los motores en condiciones estáticas da un nivel uniforme de presión acústica, contrariamente al ruido transitorio de sobrevuelo, las técnicas de medición y de análisis pueden ser algo diferentes de las utilizadas en los ensayos estáticos.

### 2.3.3.2 Condiciones aplicables a los lugares de ensayo

Los lugares de ensayo deben responder por lo menos a los criterios especificados en el documento ya citado, AIR 1846-1984 de la SAE. Es posible elegir diferentes lugares para efectuar los ensayos de diferentes configuraciones de motores, a condición de que las mediciones acústicas provenientes de los diferentes lugares puedan ajustarse a condiciones de referencia comunes.

### 2.3.3.3 Abocinamiento de la admisión del motor

En los motores turbofán o turboreactores puede instalarse un abocinamiento delante de la admisión durante los ensayos estáticos de ruido. Esa instalación se emplea para proporcionar una condición de vuelo simulada de la entrada de aire en la admisión durante el ensayo estático. También deben estar instalados durante el ensayo de ruido el revestimiento acústico y el carenado de fábrica de la admisión.

### 2.3.3.4 Dispositivos de control de la entrada de aire

2.3.3.4.1 La utilización de datos de ensayos estáticos de ruido de motores para la homologación de una aeronave en cuanto al ruido con un motor cambiado por otro de diseño similar requiere el empleo de un dispositivo aprobado de control de la entrada de aire (ICD) para motores de alta relación de dilución (BPR 2.0). El ICD debería satisfacer los siguientes requisitos:

- a) el soporte físico específico del ICD deberá ser sometido a inspección por las autoridades de certificación, para garantizar que el ICD esté exento de daños y contaminantes que puedan afectar su rendimiento acústico;
- b) el ICD deberá estar acústicamente calibrado mediante un método aprobado (como el expuesto en 2.3.3.4.2), para determinar su efecto sobre la transmisión del sonido en cada banda de tercio de octava;
- c) los datos obtenidos durante el ensayo estático deberán corregirse para tener en cuenta los efectos de transmisión del sonido provocados por el ICD. Las correcciones se aplicarán a cada banda de tercio de octava medida;

d) deberá determinarse la posición del ICD con relación al borde de la admisión del motor y la calibración debe ser aplicable a esa posición; y

e) no se requiere más de una calibración para un diseño de soporte físico del ICD, a condición de que no haya variantes con respecto al diseño de cualquier conjunto de soporte físico con número de serie del ICD.

No es necesario aplicar las correcciones de calibración del ICD si se emplea el mismo soporte físico ICD (idéntico número de serie) utilizado anteriormente en el ensayo estático de ruido de la configuración de vuelo del motor, y los tonos de soplante para ambos motores se mantienen en las mismas bandas de tercio de octava.

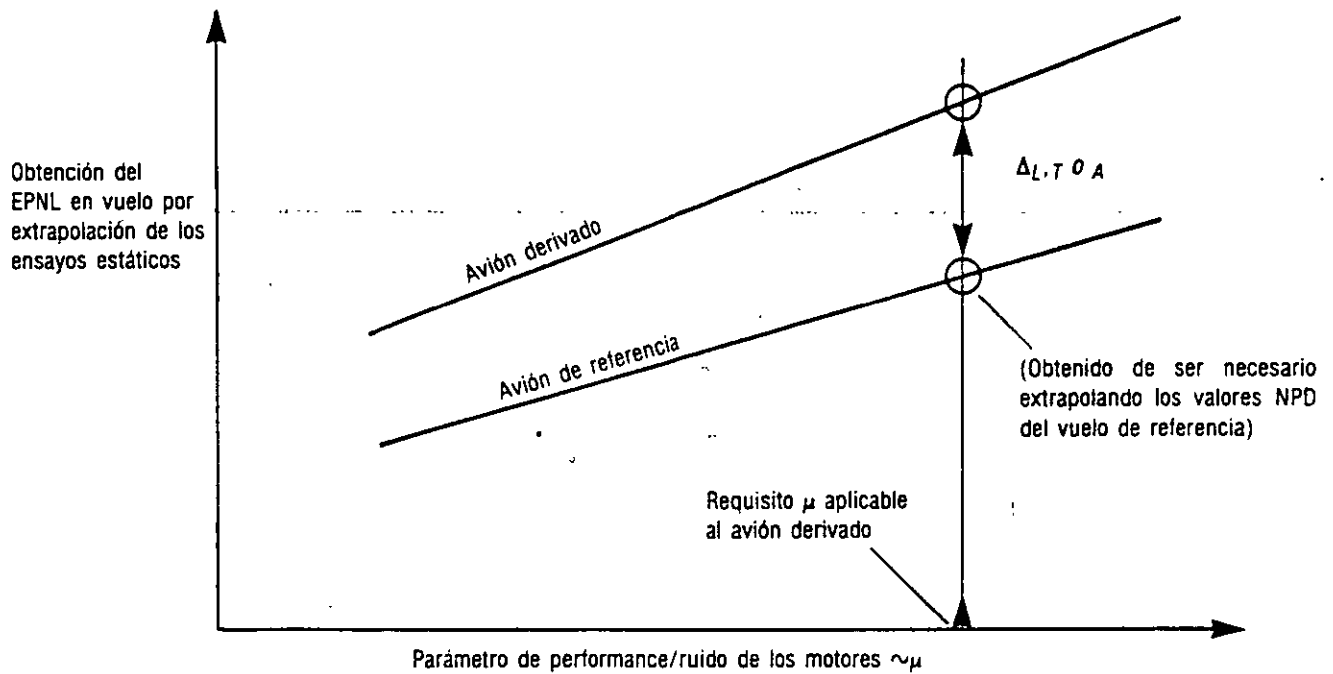
### 2.3.3.4.2 Calibración del ICD

A continuación se indica un método aceptable de calibración del ICD:

- a) colóquese uno o más preamplificadores sobre un eje simulado del motor en el plano del borde de la admisión del motor. Instálense los micrófonos de calibración en el cuadrante frontal en azimut a un radio de entre 15 y 45 m. que proporciona una buena relación señal-ruido ambiente y en cada micrófono el ángulo se utilizará para analizar los datos estáticos de ruido del motor. Instálense un micrófono de referencia de campo de próximo sobre el eje y a menos de 0.6 m del centro acústico de la guía o guías acústicas;
- b) actívese el preamplificador con ruido rosa sin instalar el ICD. Regístrese el ruido durante 60 segundos como mínimo después de la estabilización del sistema. El procedimiento debe llevarse a cabo a una tensión constante de entrada a la guía o guías acústicas;
- c) repítase b) alternativamente con y sin el ICD instalado. Se requieren como mínimo tres ensayos de cada configuración (con y sin ICD instalado). Para ser aceptable, la variación total de la señal OASPL en directo del micrófono de 55° (promediada a una duración de un minuto) para las tres condiciones de ensayo de cada configuración no excederá de 0.5 dB;

*Nota.— Puede eliminarse el desplazamiento físico del ICD para colocarlo y retirarlo alternativamente para esta calibración si se demuestra que la posición del ICD no incide sobre los resultados de la calibración.*

d) todos los datos medidos deben corregirse en función de las variaciones del nivel de presión acústica, medidas con el micrófono de campo próximo, y de la absorción atmosférica a 25°C y 70% de humedad relativa, utilizando la distancia oblicua entre los micrófonos exteriores y el preamplificador o preamplificadores;



### Definiciones

$\Delta_L$  = Diferencia entre los EPNL del avión de referencia y del derivado a la potencia especificada para el avión derivado en condiciones de medición lateral.

$\Delta_T$  = Diferencia entre los EPNL del avión de referencia y del derivado a la potencia y altitud especificadas para el avión derivado en condiciones de despegue.

$\Delta_A$  = Diferencia entre los EPNL del avión de referencia y del derivado a la potencia especificada para el avión derivado en condiciones de aproximación.

### Limitaciones

- (i)  $|\Delta_L| + |\Delta_T| + |\Delta_A|$  no debe exceder de 5 EPNdB.
- (ii)  $\Delta_L$ ,  $\Delta_T$  o  $\Delta_A$  considerados individualmente, no deben exceder de  $\pm 3$  EPNdB.

Figura 2-4. Límites de utilización de los ensayos estáticos cuando no haya validación de los datos de ensayos en vuelo

e) la calibración para cada banda de tercio de octava en cada micrófono es la diferencia entre el promedio de los niveles de presión sonora (SPL) corregidos sin el ICD instalado y el promedio de los SPL corregidos con el ICD instalado; y

f) los ensayos deben efectuarse en condiciones de viento y temperatura que excluyan el enmascaramiento acústico en los micrófonos exteriores y las variaciones inducidas por las condiciones atmosféricas en los datos SPL medidos. Véanse 2.3.3.7.2 y la Figura 2-5.

En algunos casos, pueden producirse grandes fluctuaciones en el valor de las calibraciones en bandas de tercio de octava adyacentes y entre posiciones angulares poco espaciadas de los micrófonos. Estas fluctuaciones pueden vincularse con efectos de reflexión provocados por el procedimiento de calibración y deben adoptarse precauciones para asegurar que no se introduzcan ni supriman tonos del motor. Esto puede hacerse comparando los niveles efectivos de ruido percibido computados con:

- 1) las calibraciones del ICD, tal como se hayan medido;
- 2) un valor medio de las curvas de calibración; y
- 3) los valores de calibración reglados a cero.

### 2.3.3.5 Medición y análisis

Los sistemas de medición y análisis utilizados en los ensayos estáticos y el *modus operandi* del programa de ensayos, pueden variar en función de los objetivos previstos, pero de todos modos deben corresponder en general a los descritos en el documento varias veces citado AIR 1846-1984 de la SAE. Los párrafos que siguen subrayan algunos factores importantes.

### 2.3.3.6 Emplazamiento de los micrófonos

Los micrófonos deben colocarse de forma que abarquen un sector angular suficiente para incluir los tiempos de atenuación de 10 dB, después de extrapolar los datos de ruido en condiciones estáticas de las condiciones de vuelo. El documento AIR 1846-1984 de la SAE, que recomienda emplazamientos de los micrófonos, proporciona indicaciones suficientes para definir debidamente las características de la fuente de ruido de los motores. La posición de los micrófonos en relación con la superficie de ensayo depende del objetivo y de los métodos empleados para la normalización de los datos. Hasta el presente, la mayor parte de ensayos estáticos de homologación en cuanto al ruido de los motores se han hecho con micrófonos colocados en la proximidad del suelo o a la altura del eje del reactor. En general, debido a las dificultades inherentes a la obtención de niveles de presión acústica en campo libre que sean convenientes para poder extrapolar los datos a las condiciones de vuelo, se han utilizado micrófonos colocados casi al nivel de tierra o una combinación de micrófonos al nivel de tierra y elevados. Se recomienda que el

emplazamiento, la altura, etc. de los micrófonos sean los mismos para la medición del ruido de la versión ya aprobada y de la versión modificada de un motor o de una barquilla.

### 2.3.3.7 Apantallamiento acústico

2.3.3.7.1 Cuando se utilicen micrófonos a ras de tierra, es necesario tomar precauciones particulares para obtener mediciones que sean coherentes y evitar, por ejemplo, los efectos de "apantallamiento acústico" (refracción). Cuando el viento sopla en dirección opuesta al sentido de propagación de las ondas sonoras del motor o cuando los gradientes de temperatura en la zona de ensayo son apreciables, la refracción puede influir más sobre las mediciones si el micrófono está colocado próximo al suelo que si se halla en un punto más elevado. Es posible utilizar los resultados anteriores, o los datos de un ensayo complementario, para demostrar que los ensayos realizados en cierto lugar producen mediciones coherentes, sin efecto de apantallamiento. Si se hace un ensayo complementario, habrá que demostrar, por algún método aprobado, que no se ha producido efecto de apantallamiento en relación con las mediciones efectuadas a ras de tierra.

2.3.3.7.2 Respecto a ciertas geometrías de ensayo, se sugiere utilizar los criterios siguientes basados en las mediciones de tres parámetros meteorológicos:

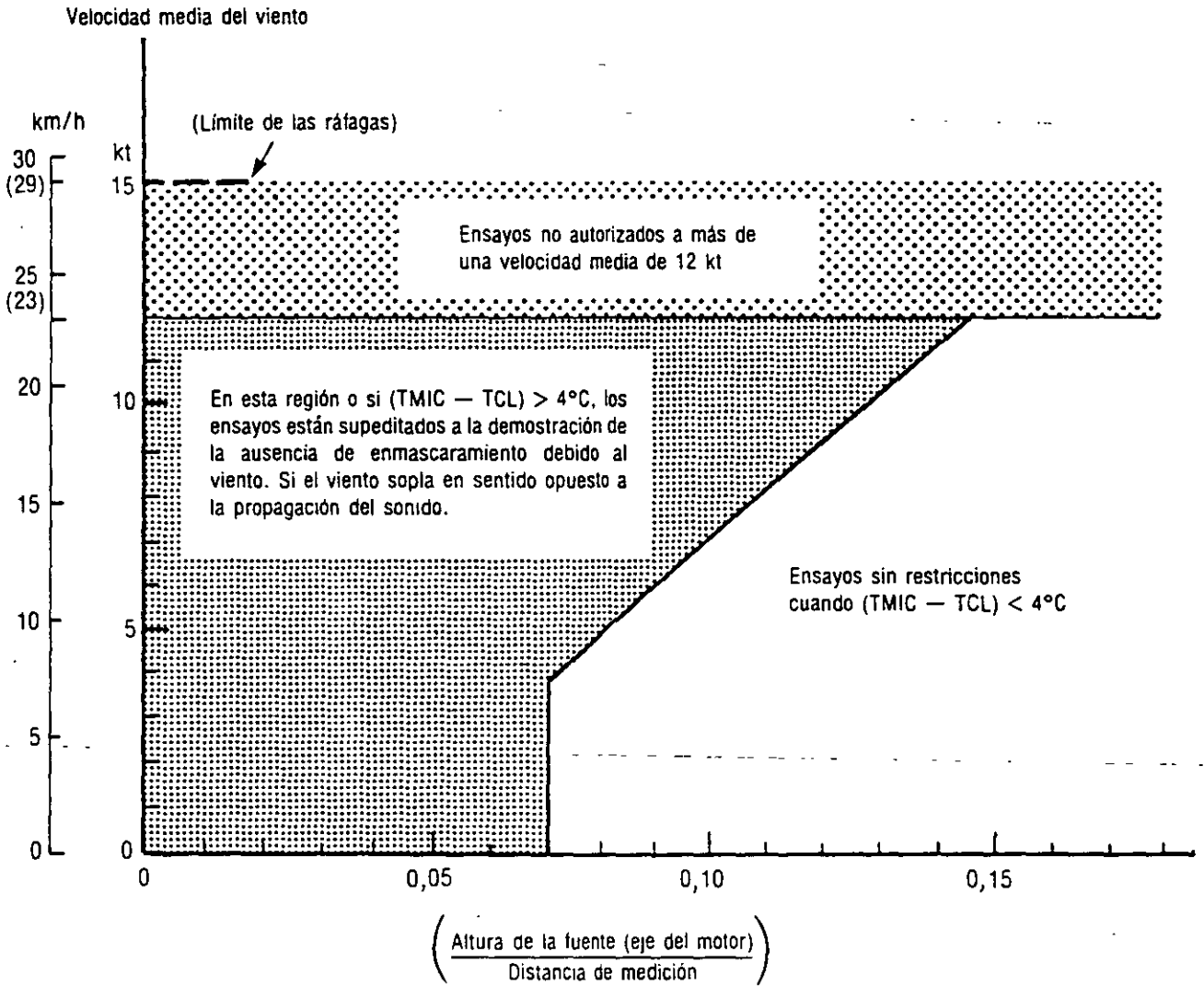
- velocidades medias del viento a la altura del eje del motor (WCL);
- temperatura del aire a la altura del eje del motor (TCL); y
- temperatura del aire a la altura de los micrófonos colocados cerca del nivel del suelo (TMIC).

a) Los instrumentos utilizados para hacer esas mediciones se colocan en un mismo lugar próximos a la posición de medición del ruido a 90°, sin obstaculizar la medición acústica.

b) Los límites sugeridos se añaden a los límites determinados por otros criterios respecto al viento y la temperatura, por ejemplo, la velocidad máxima del viento en el emplazamiento del micrófono si no se utilizan paravientos.

c) La Figura 2-5 define los criterios respecto al viento y a la temperatura con los que se ha demostrado obtener mediciones coherentes sin ningún efecto de apantallamiento acústico al nivel del suelo.

La línea define el límite entre la ausencia de efecto de apantallamiento y la posible aparición de deficiencias espectrales en frecuencias muy altas. Los ensayos se permiten siempre que las condiciones del día de ensayo sean tales que la velocidad media del viento (calculada generalmente a base de 30 s) a la altura del eje del motor se sitúe por debajo de la línea indicada, y que las ráfagas no excedan de 5.5 km/h (3 kt) del valor indicado por esta línea. Si la velocidad del viento excede de la relación lineal indicada, de 7 a 22 km/h (4 a 12 kt), quizás sea



**Definiciones**

TCL = Temperatura a la altura del eje del motor

TMIC = Temperatura a la altura del diafragma del micrófono en tierra con una tolerancia de  $\pm 5$  mm

Figura 2-5. Criterios meteorológicos aplicables a los micrófonos instalados en tierra

necesario demostrar la ausencia de anomalías espectrales, sea antes de los ensayos, sea en el momento en que se realicen, cuando el viento sople en sentido opuesto a la propagación del sonido.

Cuando la temperatura a la altura de los micrófonos instalados en tierra no sea superior a la temperatura a la altura del eje del reactor más 4°, cabe esperar que los efectos de apantallamiento, debidos a los gradientes de temperatura sean despreciables.

*Nota.— Los análisis teóricos y la expresión de criterios del viento en función de la velocidad absoluta más bien que de la velocidad vectorial hacen pensar que los límites indicados son quizás excesivamente rigurosos en ciertas direcciones.*

### 2.3.3.8 Condiciones de ensayo en función de la potencia de los motores

Hay que seleccionar una serie de condiciones de funcionamiento estático de los motores, correspondiente a los valores máximos previstos de condiciones de funcionamiento en vuelo, para establecer los parámetros adecuados de reglaje de la potencia de los motores. Los ensayos tendrían que abarcar un número suficiente de reglajes de la potencia, en régimen estabilizado, dentro de la gama deseada, para poder determinar los intervalos de confianza de 90% del EPNL previsto en vuelo (véase el Apéndice 1, párrafo 3).

### 2.3.3.9 Compatibilidad de los sistemas de datos

2.3.3.9.1 Los sistemas de adquisición y análisis de los datos tienen que ajustarse a las recomendaciones del documento AIR 1846-1984 de la SAE. Si se utilizan diversos sistemas de adquisición y análisis de los datos para obtener los datos de ensayo estático, es preciso que los sistemas sean compatibles, lo cual podrá conseguirse mediante la calibración apropiada.

2.3.3.9.2 Para determinar la compatibilidad de los sistemas de análisis, es posible utilizar señales de ruido pseudoaleatorio en lugar de mediciones reales del ruido de los motores. Las diferencias entre los sistemas de análisis deben ajustarse hasta un tercio de octava.

### 2.3.3.10 Adquisición, análisis y normalización de los datos

Respecto a cada reglaje de la potencia de los motores previsto en el plan de ensayos, es necesario adquirir y analizar los datos de performance de los motores, los datos meteorológicos y los niveles de presión acústica utilizando los instrumentos y procedimientos de ensayo descritos en el documento AIR 1846-1984 de la SAE. Las mediciones acústicas tienen que normalizarse en relación con condiciones uniformes y deben abarcar los niveles de presión acústica en 24 bandas de tercio de octava comprendidos entre las frecuencias de centro de banda de 50 Hz y 10 kHz correspondientes a cada estación de medición (micrófono).

Antes de extrapolar los datos de ensayo estático de los motores a las condiciones de vuelo, es preciso proceder a la corrección de los datos de nivel de presión acústica para poder tener debidamente en cuenta lo siguiente:

- a) las características de respuesta en frecuencia del sistema de adquisición y análisis de datos; y
- b) la contaminación atribuible al ruido de los sistemas eléctricos o al ruido ambiental de fondo (véase el Apéndice 3).

## 2.3.4 Extrapolación de los datos de ensayo estático de los motores a las condiciones de vuelo del avión

### 2.3.4.1 Generalidades

2.3.4.1.1 Los niveles de presión acústica de los motores obtenidos con ensayos estáticos desde cada ángulo de medición se tienen que analizar y normalizar para tener en cuenta los efectos indicados en 2.3.3.10. Estos datos se extrapolan a las condiciones de vuelo del avión que han servido para elaborar el diagrama NPD aprobado. Según sea el caso, el procedimiento de extrapolación incluye:

- a) los efectos de desplazamiento de la fuente, comprendidos los efectos Doppler;
- b) el número de motores y los efectos de apantallamiento;
- c) los efectos de instalación;
- d) la geometría del vuelo;
- e) la propagación atmosférica incluyendo la divergencia de ondas esféricas y la atenuación atmosférica; y
- f) los efectos de propagación en vuelo, incluyendo la reflexión del suelo y la atenuación lateral (véase 2.3.4.11).

Para tener en cuenta esos efectos, hay que analizar el conjunto de datos de ruido medidos al hacer los ensayos estáticos, con el fin de determinar la aportación de cada una de las fuentes de ruido. Después de extrapolar los datos espectrales en la banda de tercio de octava a las condiciones del vuelo, se calculan los niveles efectivos de ruido percibido para el diagrama NPD revisado. Esta sección facilita indicaciones sobre los elementos de un procedimiento aceptable de extrapolación. El procedimiento se ilustra en las Figuras 2-6 y 2-7.

2.3.4.1.2 El procedimiento ilustrado en las Figuras 2-6 y 2-7 no es exclusivo. Existen diversas soluciones, según la naturaleza de las fuentes de ruido del grupo motopropulsor y la aportación de cada fuente al EPNL del avión. De todos modos, el método presentado especifica los principales puntos que hay que tener en cuenta al hacer el cálculo. Tampoco es necesario que los cálculos se efectúen siempre en el orden

indicado. Existen interrelaciones entre las diferentes etapas del procedimiento, que dependen de la forma particular adoptada para hacer el cálculo. La forma más eficaz de estructurar el cálculo no puede determinarse siempre por anticipado.

2.3.4.1.3 Hay varios efectos, atribuibles a la instalación de los motores, que pueden modificar los niveles de ruido pero que no pueden obtenerse a base de los ensayos estáticos. Es posible que en una versión derivada de avión aparezcan otras fuentes de ruido tales como las interacciones reactor/flap o reactor/alas, que no existían en el avión de referencia. Las características de directividad del ruido en campo alejado (formas de campos) se pueden modificar por los efectos de apantallamiento ala/barquilla o reactor/reactor, de dispersión por el plano de cola y el fuselaje o de reflexión de la célula, pero no existen todavía métodos generales de corrección para poder tener en cuenta esos efectos. Es pues importante, antes de aprobar los procedimientos que siguen respecto a las versiones derivadas, tener pruebas de que la geometría del conjunto célula/motores en la proximidad de los motores es prácticamente idéntica a la del avión de referencia, de modo que el ruido emitido no se vea prácticamente afectado.

#### 2.3.4.2 Normalización en relación con las condiciones de referencia

Conviene normalizar los datos analizados de ensayos estáticos para convertirlos en condiciones de campo libre en la atmósfera de referencia, que se especifican en el Anexo 16, Volumen I. Este ajuste sólo puede aplicarse si se conoce el espectro total, que es la suma de los espectros de todas las fuentes de ruido, calculado de la manera indicada en los párrafos 2.3.4.3 a 2.3.4.5. Los ajustes necesarios comprenden:

- a) *Absorción atmosférica.* Las correcciones para tener en cuenta la absorción acústica de la atmósfera en las condiciones del día de referencia se definen en el documento ARP 866A (revisado el 15 de marzo de 1975) de la SAE. Si en ese documento hay diferencias menores entre los valores de absorción dados por las ecuaciones, las tablas y los gráficos, conviene emplear las ecuaciones. La absorción atmosférica debe calcularse para la distancia real entre el centro efectivo de cada fuente de ruido y cada uno de los micrófonos, tal cual se indica en 2.3.4.5.
- b) *Reflexión del suelo.* Los documentos AIR 1672B-1983 de la SAE o Engineering Sciences Data Unit, ESDU Item 80038, Amendment A, proporcionan ejemplos de métodos para calcular los niveles de presión acústica en campo libre. La distribución espacial de las fuentes de ruido no tiene una influencia importante sobre los efectos de la reflexión del suelo y, por lo tanto, puede descartarse. Conviene también notar que es posible hacer mediciones de los niveles de presión acústica en campo lejano por medio de micrófonos colocados a ras de tierra, para evitar las importantes irregularidades espectrales debidas a la interferencia en frecuencias inferiores a 1 kHz.

#### 2.3.4.3 Separación de los ruidos de banda ancha y de tonos

2.3.4.3.1 La finalidad de los procedimientos descritos es determinar todos los tonos importantes del espectro; en primer lugar, para tener la certeza de que los tonos no se incluyan en la estimación ulterior del ruido de banda ancha y, en segundo lugar, para permitir la atribución de los tonos desplazados por efecto Doppler (en vuelo) a la banda de tercio de octava correcta, en momentos apropiados durante un sobrevuelo simulado del avión.

2.3.4.3.2 El ruido de banda ancha debería obtenerse extrayendo de los espectros medidos todos los tonos importantes. Con el fin de determinar los tonos discretos se puede utilizar el método propuesto en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, para corrección por tono (método que tiene en cuenta las pendientes entre niveles de bandas de tercio de octava adyacentes). Hay que evitar el considerar los tonos como "no sobresalientes" cuando el nivel de presión acústica de banda ancha circundante pueda ser más bajo una vez hecha la corrección para pasar de las condiciones estáticas a las condiciones de vuelo; también hay que evitar el clasificar como ruido de banda ancha un par o una serie de tonos estrechamente agrupados. Para resolver esas dificultades, es posible recurrir al análisis de banda estrecha con una anchura de banda inferior a 50 Hz.

2.3.4.3.3 También es posible recurrir al análisis de banda estrecha para verificar la validez de otros procedimientos de determinación de los tonos al establecer las características espectrales en puntos críticos del campo acústico, por ejemplo, en torno a la posición máxima del PNLT, o donde se observan tonos emitidos por los motores de turbina.

#### 2.3.4.4 Distinción entre las diferentes fuentes de ruido

2.3.4.4.1 El número de fuentes de ruido que hay que determinar depende, en cierto modo, del motor sometido a ensayo y de la naturaleza de los cambios aportados al motor o a la barquilla. El requisito mínimo, y a veces suficiente, es distinguir en el ruido de banda ancha los ruidos generados por la combinación del ruido exterior producido por el reactor y el que proviene de fuentes de ruido internas. Según la importancia de la aportación de otras fuentes, será necesario hacer un análisis más a fondo para poder determinar, por ejemplo, el ruido de banda ancha proveniente de la soplante, del compresor, de la cámara de combustión y de la turbina en sí. En cuanto al ruido de la soplante y del compresor, una mejora complementaria podría consistir en distinguir, tanto en el caso del ruido de banda ancha como en el de tonos, el ruido procedente de la tobera de entrada del motor y el proveniente de la de escape.

2.3.4.4.2 Para satisfacer el requisito mínimo, es posible distinguir, en el ruido de banda ancha, los que provienen del reactor al exterior, y los que se originan internamente evaluando el ruido del reactor por uno o varios de los métodos que se indican a continuación, ajustando luego el nivel del

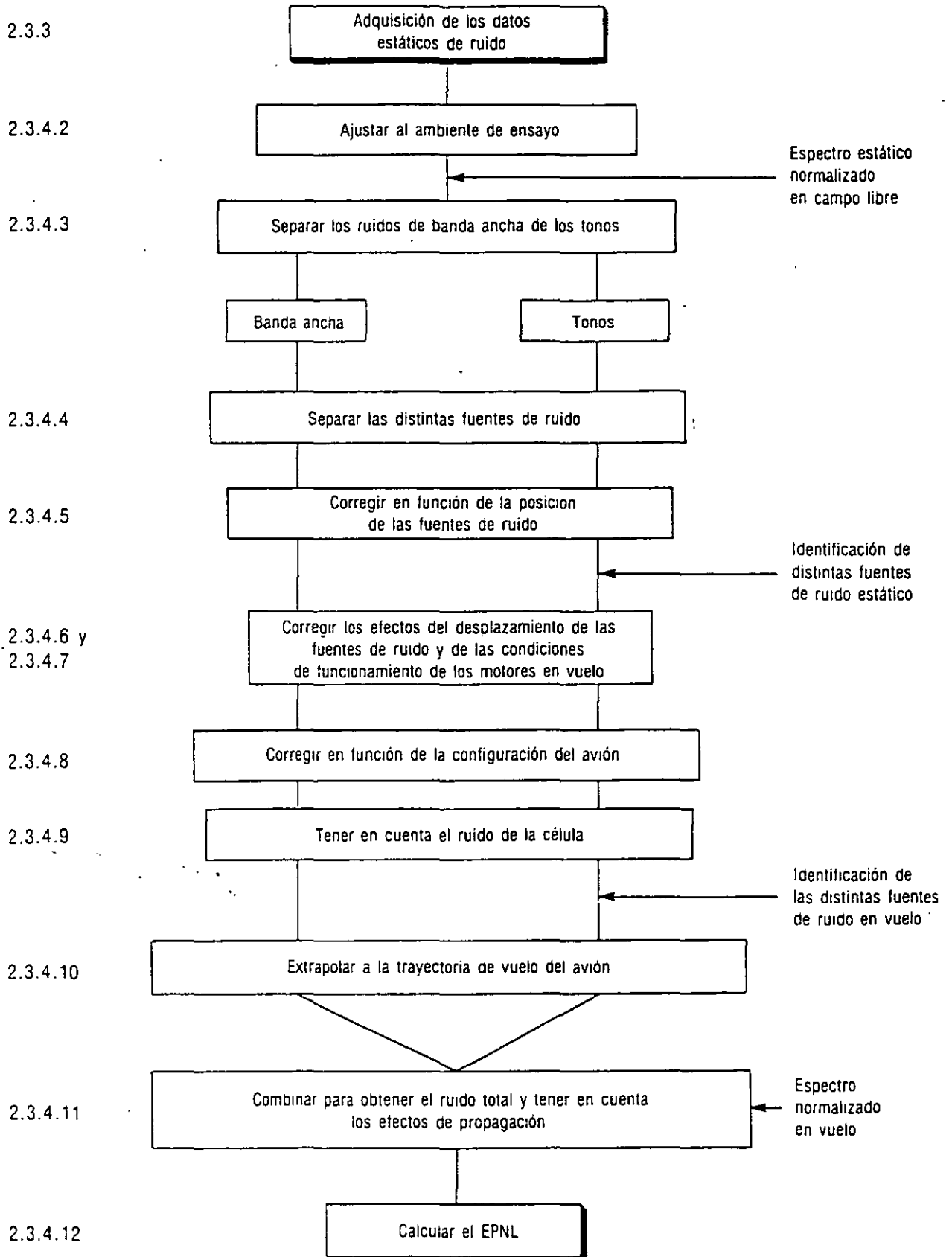


Figura 2-6. Método general de extrapolación de los datos de ensayo estático de ruido de los motores a las condiciones de vuelo del avión



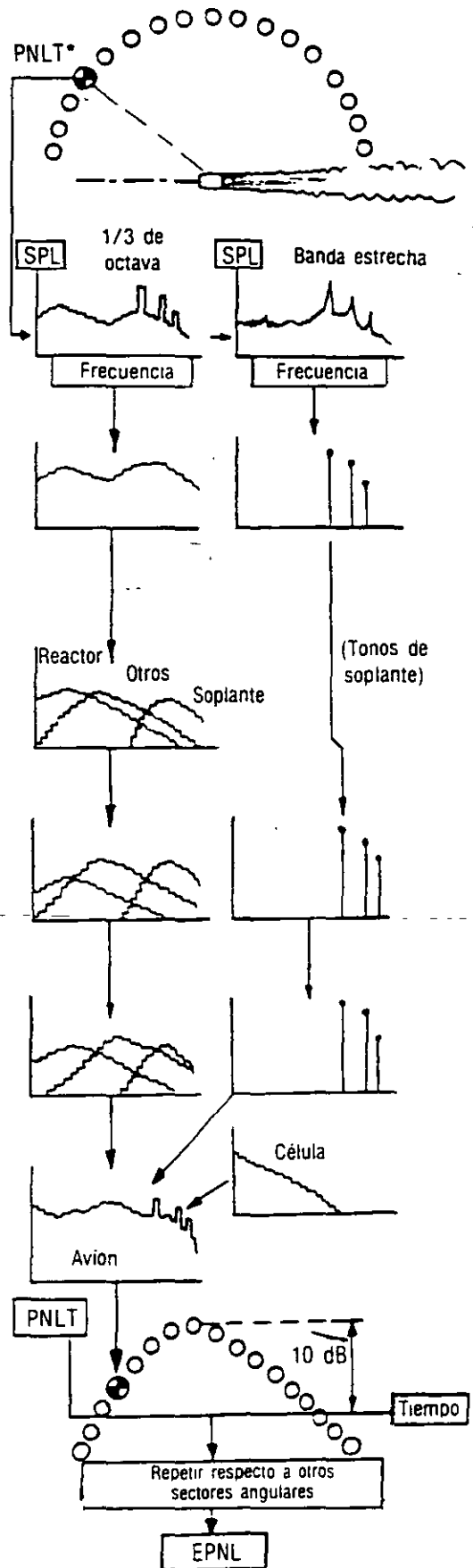
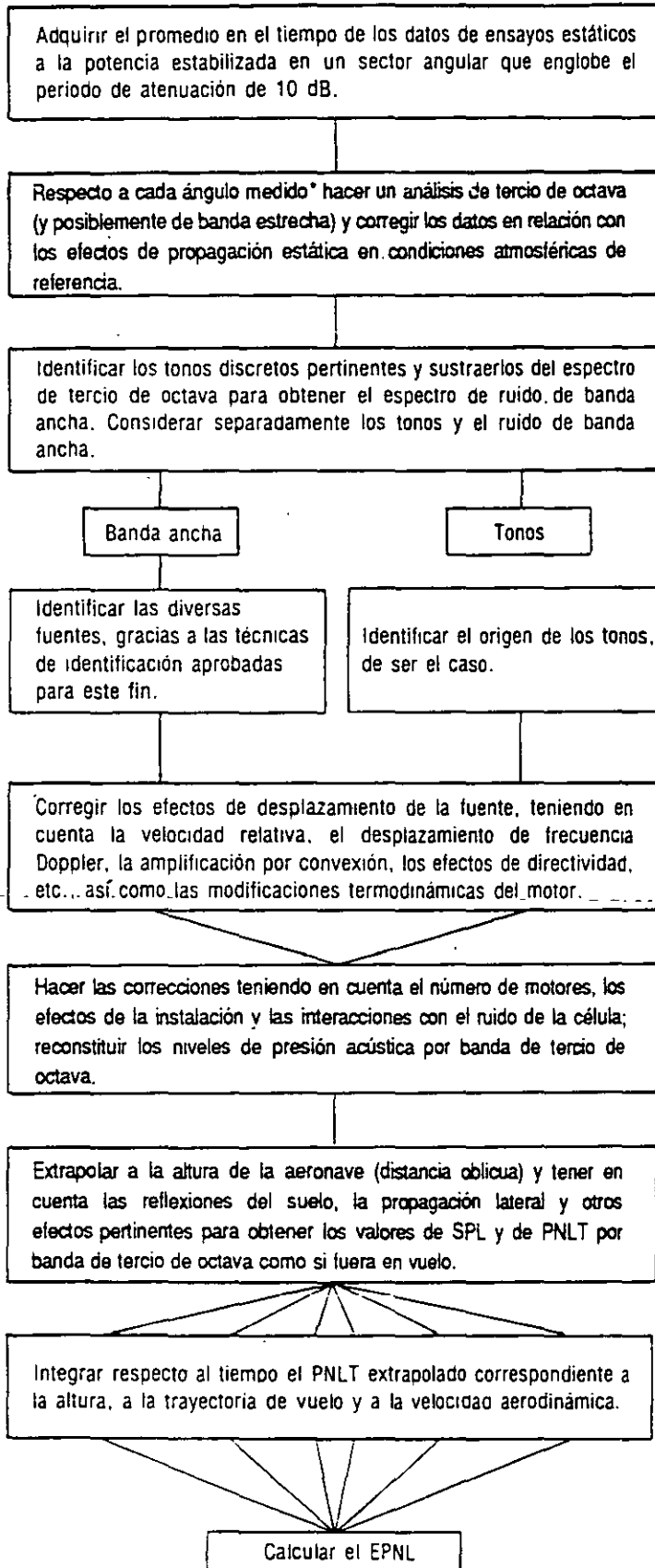


Figura 2-7. Ejemplo de método de extrapolación de los datos de ensayo estático de ruido de los motores a las condiciones de vuelo del avión

espectro previsto en cada dirección, de modo que corresponda a las mediciones de la parte de baja frecuencia del espectro de ruido de banda ancha, donde cabe esperar que domine el ruido producido por el reactor.

2.3.4.4.3 Para obtener las formas del espectro de ruido previsto del reactor se han utilizado tres métodos, a saber:

- a) Para motores de flujo simple con toberas circulares, se puede seguir el procedimiento detallado en el documento ARP 876C-1985 de la SAE. Sin embargo, es posible que las características geométricas del motor impidan aplicar este método. En el documento AIR 1905-1985 de la SAE se facilitan ejemplos de procedimientos para motores de flujo coaxial.
- b) Es posible utilizar procedimientos de análisis basados en la correlación de datos de motores de tamaño natural con las características de toberas de modelos. Los datos obtenidos con la ayuda de modelos se han utilizado para completar los datos obtenidos con motores de tamaño natural, sobre todo cuando se trata de reglajes de baja potencia, por la incertidumbre de definir el nivel de ruido del reactor a frecuencias elevadas, a las que el ruido proveniente de otras fuentes del motor puede contribuir en forma considerable al ruido de banda ancha.
- c) Existen técnicas especiales para la localización de las fuentes de ruido que permiten, al hacer ensayos con motores de tamaño natural, determinar la posición y niveles de las diversas fuentes de ruido de motores.

#### 2.3.4.5 Efectos de la posición de las fuentes de ruido

2.3.4.5.1 Con frecuencia, la medición estática del ruido de los motores se hace a distancias a las cuales no se puede realmente considerar que las fuentes de ruido procedan de un único centro acústico. Esto no crea necesariamente dificultades al hacer la extrapolación de los datos de ensayo estático a las condiciones de vuelo, con vistas a determinar los incrementos del EPNL, ya que éstos apenas dependen de la hipótesis formulada en cuanto a la distribución espacial de las fuentes de ruido.

2.3.4.5.2 No obstante, en algunos casos, por ejemplo, cuando se han hecho modificaciones en la tobera de escape y cuando las fuentes del ruido exterior combinado del reactor son predominantes, quizás sea apropiado determinar con más precisión las posiciones de las fuentes de ruido. Es posible considerar que la fuente de ruido de los reactores se distribuye a lo largo del plano de escape del motor, mientras que el ruido interno de banda ancha del motor radia de la tobera de admisión y de la de escape del motor.

2.3.4.5.3 Es necesario tener en cuenta tres efectos principales, como consecuencia de que la posición de la fuente de ruido difiera de la posición "nominal" que se ha supuesto ser la "fuente" de ruido del motor:

- a) *Divergencia esférica* — la distancia de la fuente al micrófono difiere de la distancia nominal; es necesario hacer una corrección según la ley de la inversa de los cuadrados.
- b) *Directividad* — el ángulo subtendido por la línea que une la fuente con el micrófono y la que une la fuente con el eje del motor difiere del ángulo nominal; debe hacerse una interpolación lineal para obtener los datos correspondientes al ángulo apropiado.
- c) *Atenuación atmosférica* — la diferencia entre la distancia real y la nominal de la fuente al micrófono modifica los márgenes establecidos para la atenuación atmosférica en 2.3.4.2.

2.3.4.5.4 Es posible determinar la posición de la fuente, ya sea a base de la medición directa de su emplazamiento (en tamaño natural o en modelo reducido), o a partir de una base de datos generalizada.

*Nota.— No se ha publicado norma alguna de distribución de las fuentes de ruido de reactores coaxiales. Es posible conseguir una distribución aproximada en relación con un reactor simple por medio de la ecuación siguiente (véanse las referencias 1 y 2):*

$$x/D = (0.057S + 0.021S^2)^{-1/2}$$

*fórmula en*

*la que:*

*S es el número de Strouhal  $fD/V_1$ ,*

*x es la distancia flujo abajo desde la salida de la tobera*

*D es el diámetro de la tobera basado en la superficie total de abertura de la salida de la tobera.*

*$V_1$  es la velocidad media del reactor para la expansión isentrópica completa desde la presión y temperatura medias a la salida de la tobera hasta la presión ambiental*

*f es la frecuencia central de la banda de un tercio de octava.*

#### 2.3.4.6 Condiciones de funcionamiento de los motores en vuelo

2.3.4.6.1 En un motor sometido a ensayos estáticos, ciertas condiciones termodinámicas difieren de las condiciones en vuelo y esto debe tenerse en cuenta. Las intensidades de las fuentes de ruido pueden variar en consecuencia. Así pues, es preciso que los valores de los parámetros principales de correlación, que sirvan para calcular los componentes de las fuentes de ruido, se basen en las condiciones en vuelo y que los datos estáticos se introduzcan a base de los valores apropiados de los parámetros de correlación. Los niveles de ruido de los motores turbo tienen que basarse en las velocidades en vuelo corregidas del rotor  $N_1/N_1\Theta_{0.2}$ , y los niveles de ruido de los reactores en las velocidades relativas de los reactores en vuelo.

2.3.4.6.2 La variación de los niveles de ruido en la fuente en función de los parámetros principales de correlación se pueden determinar a base de datos estáticos, que abarcan diferentes condiciones termodinámicas de funcionamiento.

2.3.4.7 Efectos del desplazamiento de la fuente de ruido

2.3.4.7.1 La influencia del movimiento en el ruido de los reactores difiere de la influencia de la velocidad en otras fuentes de ruido y por eso se consideran separadamente al extrapolar los datos de ensayo estático a las condiciones en vuelo.

a) Ruido externo de los reactores

Hay que tener en cuenta los efectos de la velocidad relativa de los reactores, que dependen de la frecuencia y de los efectos de ampliación por convección. En sentido lato, se pueden utilizar dos fuentes de información para elaborar un método aprobado que permita definir el efecto del vuelo sobre el ruido externo de los reactores.

- 1) En cuanto a los motores de flujo simple y geometría de escape circular, conviene consultar el documento ARP 876C-1985 de la SAE. No obstante, en algunos casos quizá sea necesario disponer de elementos complementarios para demostrar que el ruido de los reactores es el principal elemento constitutivo del ruido de los motores cuyas toberas son de diseño más complejo.
- 2) Los datos reales en vuelo conseguidos con reactores de geometría análoga pueden constituir una fuente de información complementaria. En general, dado que es difícil definir los efectos de las altas frecuencias en presencia de ruidos internos del motor, quizás sea necesario presentar otros datos para determinar las variaciones del EPNL en función de las modificaciones del espectro de ruido de los reactores a altas frecuencias.

b) Fuentes de ruido ajenas al ruido de los reactores

El ruido observado en tierra de un avión que sobrevuele la zona, engendrado por los elementos internos de los motores y por la célula, puede estar afectado no solamente por el efecto Doppler, sino también por variaciones de amplitud en la fuente y cambios de directividad.

- 1) Efecto Doppler — el desplazamiento de frecuencias debido a movimientos de la fuente (avión) en relación con un micrófono, está representado por la ecuación siguiente:

$$f_{\text{vuelo}} = f_{\text{estático}} / (1 - M \cos \lambda)$$

en la cual:  $f_{\text{vuelo}}$  = frecuencia en vuelo

$f_{\text{estático}}$  = frecuencia estática

$M$  = número de Mach del avión

$\lambda$  = ángulo formado por la trayectoria de vuelo, en el sentido de vuelo, y la recta que une el avión con el micrófono al momento de emisión del sonido

Conviene observar que cuando los niveles de presión acústica en una banda de tercio de octava están dominados por un tono turbomecánico, el efecto Doppler puede desplazar el tono y sus armónicos hacia una banda adyacente.

- 2) Modificación de la amplitud en la fuente y cambios de directividad — en 2.3.4.9 se indican las correcciones del nivel de presión acústica del ruido engendrado por la célula, para tener debidamente en cuenta las diferencias de velocidad entre el avión de referencia y la versión derivada.

En cuanto al ruido engendrado en el interior del motor, por ejemplo, el ruido de la soplante, no hay aún consenso en cuanto a los mecanismos que intervienen, ni tampoco un método único de corrección que tenga en cuenta todos los efectos de las modificaciones en la fuente y de la propagación del sonido.

Si se hacen correcciones, para poder determinar la modificación del ruido hay que aplicar la misma técnica a la configuración del avión de referencia en vuelo, y a la versión derivada. En este caso, la corrección de las modificaciones del nivel de presión acústica, debidas al movimiento de la fuente (avión) relativo al micrófono, puede representarse por la ecuación siguiente:

$$SPL_{\text{vuelo}} = SPL_{\text{estático}} - K \log (1 - M \cos \lambda)$$

en la cual:  $SPL_{\text{vuelo}}$  = nivel de presión acústica en vuelo

$SPL_{\text{estático}}$  = nivel de presión acústica estático

$M$  = número de Mach del avión

$\lambda$  = ángulo formado por la trayectoria de vuelo, en el sentido de vuelo, y la recta que une el avión con el micrófono al momento de emisión del sonido

y  $K$  es una constante.

Teóricamente,  $K$  es igual a 40 para una fuente puntual de ruido, pero es posible obtener un va.

más apropiado comparando los datos de ensayo estático y los datos en vuelo correspondientes al avión de referencia.

### 2.3.4.8 Efectos de la configuración del avión

2.3.4.8.1 Normalmente, el hecho de que varios motores contribuyan al ruido de un avión se tiene en cuenta añadiendo  $10 \log_{10} N$ , siendo  $N$  el número de motores, a cada componente de la fuente de ruido. No obstante, en los grandes aviones quizás sea necesario calcular el ruido procedente de motores muy espaciados, en particular cuando se trata de la aproximación, si esos aviones tienen a la vez motores montados bajo las alas y en el fuselaje. Es sabido que se produce un efecto de apantallamiento del ruido de las tomas de aire de los motores instalados encima del fuselaje.

2.3.4.8.2 Si se han hecho cambios en la instalación de los motores entre el avión de referencia y la versión derivada, es necesario tener en cuenta el efecto de esos cambios sobre los niveles de presión acústica, que deberían calcularse basándose en los mejores datos disponibles.

### 2.3.4.9 Ruido de la célula

2.3.4.9.1 Para tener en cuenta el efecto producido por el ruido de la célula, es posible utilizar mediciones del ruido de la célula del avión de referencia, solas o combinadas con un modelo analítico aprobado correspondiente a ese tipo de ruido, para elaborar una base de datos. El ruido engendrado por la célula, que puede considerarse como una fuente puntual a los efectos de la corrección, se normaliza en las mismas condiciones que los ruidos procedentes de otras fuentes (motores), teniendo en cuenta los efectos de la divergencia esférica, la absorción atmosférica y la velocidad aerodinámica, tal cual se indica en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, Secciones 7 y 9.

2.3.4.9.2 El ruido de la célula, en lo concerniente a una configuración dada, varía con la velocidad aerodinámica (véase Referencia 3) tal cual sigue:

$$\Delta \text{SPL}_{\text{célula}} = 50 \log (V_{\text{ref}}/V_{\text{enavio}})$$

en la cual:  $V_{\text{ref}}$  es la velocidad aerodinámica de referencia aprobada para el avión de referencia

$V_{\text{enavio}}$  es la velocidad aerodinámica del modelo o la velocidad medida

Esta ecuación es igualmente válida para las correcciones que hay que hacer al EPNL. En este caso, el coeficiente 50 se reemplaza por un coeficiente calculado empíricamente, ya que su valor puede depender, hasta cierto punto, de la configuración. Sin embargo, para valores distintos de 50, es necesario contar con la aprobación de las autoridades encargadas de la homologación en cuanto al ruido.

### 2.3.4.10 Consideraciones sobre la trayectoria de vuelo del avión

Cuando se calculan los niveles de ruido correspondientes a la distancia oblicua entre el avión en vuelo y el punto de medición del ruido, los efectos principales son la divergencia esférica (correcciones según la ley de la inversa de los cuadrados respecto a la distancia nominal en condiciones estáticas) y la atenuación atmosférica, tal cual se describe en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, Secciones 7 y 9. Aparte de esto, es necesario tener en cuenta la diferencia entre los ensayos estáticos y los ensayos en vuelo, en cuanto concierne a la posición del eje del motor relativa a los puntos de medición del ruido de referencia. Las correcciones deben aplicarse a todos los niveles de las fuentes de ruido componentes que haya sido posible identificar por separado.

### 2.3.4.11 Espectro total de ruido

2.3.4.11.1 Para construir el espectro total de niveles de ruido del avión, hay que sumar todos los componentes (tonos y ruido de banda ancha) de las fuentes de ruido del motor en vuelo, como ya se ha señalado, así como también el ruido de la célula y los posibles efectos de instalación, a base de la media cuadrática de las presiones.

2.3.4.11.2 Cuando se combinen los componentes (ruido de banda ancha y tonos), hay que tener cuidado en distribuir los tonos de frecuencias discretas en las bandas apropiadas.

2.3.4.11.3 Cuando se calculen los niveles de presión acústica en campo libre, hay que incluir los efectos de reflexiones del suelo para simular los niveles de presión acústica que mediría un micrófono colocado a una altura de 1.2 m (4 ft) por encima del terreno natural. Es posible basarse en las indicaciones que proporciona el documento AIR 1672B-1983 de la SAE o en los datos de la Engineering Science Data Unit (ESDU, data item 80038, Amendment A), para determinar las correcciones que hay que hacer al espectro en campo libre cuando la medición del ruido en vuelo se hace a 1.2 m. Otra posibilidad consiste en calcular la corrección por reflexiones del suelo a base de otros modelos aprobados, obtenidos por medios analíticos o empíricos. Conviene observar que la corrección del efecto Doppler para una fuente estática en la frecuencia  $f_{\text{estática}}$  se aplica a una fuente móvil (avión) a la frecuencia  $f_{\text{vuelo}}$  mediante la fórmula  $f_{\text{vuelo}} = f_{\text{estática}} / (1 - M \cos \lambda)$ , empleando la terminología de 2.3.4.7.1, b) 1). Este proceso se repite para cada ángulo de medición y para cada reglaje de potencia del motor.

2.3.4.11.4 En cuanto concierne a la atenuación lateral, para hacer el cálculo del ruido lateral es posible basarse en las indicaciones facilitadas en el documento AIR 1751-1981 de la SAE.

### 2.3.4.12 Cálculos del EPNL

En cuanto a los cálculos del EPNL, hay un tiempo asociado a cada espectro extrapolado a lo largo de la trayectoria de

vuelo. Respecto a cada uno de los reglajes de potencia del motor y a la distancia mínima, el EPNL se calcula por los métodos del Anexo 16, Volumen I, Apéndices 1 y 2, por extrapolación de datos de ruido en función del tiempo.

*Nota.— El tiempo está asociado a cada emplazamiento de medición respecto al punto de referencia del motor/avión y a la velocidad aerodinámica verdadera del avión a lo largo de la trayectoria de vuelo de referencia en la hipótesis de viento nulo.*

#### 2.3.4.13 Modificaciones de los niveles de ruido

2.3.4.13.1 Puede construirse un diagrama NPD a partir de los datos estáticos extrapolados, tanto respecto a la versión original (de referencia) como a las versiones modificadas del motor o de la barquilla sometidas a ensayo. La comparación de

las relaciones entre el ruido y la potencia del motor respecto a las dos configuraciones, a una misma distancia mínima apropiada, darán a entender si el cambio de configuración ocasiona cambios de nivel del ruido procedente del motor. Si se producen cambios del nivel de ruido en la fuente, es posible hacer un nuevo diagrama NPD del avión en vuelo aplicando al diagrama medido de la versión original una corrección correspondiente a la diferencia entre los diagramas NPD deducidos de los ensayos estáticos con la versión original y la modificada, teniendo en cuenta las limitaciones prescritas en 2.3.2 respecto a los niveles efectivos de ruido percibido (EPNL).

2.3.4.13.2 Los niveles de homologación en cuanto al ruido de la versión derivada pueden obtenerse incorporando a los diagramas NPD los valores pertinentes de potencia del motor y de distancia en las condiciones de referencia.

## Capítulo 3

### Procedimientos equivalentes aplicables a los aviones de más de 9 000 kg propulsados por hélice

*Nota.— Los procedimientos que siguen a continuación se han juzgado de rigurosidad equivalente a los previstos en el Anexo 16, Volumen 1, Parte II, Capítulo 5, para los aviones propulsados por hélice de una masa máxima certificada de despegue que exceda de 9 000 kg.*

#### 3.1 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO EN VUELO

3.1.1 En vez de los procedimientos normales de despegues y/o aterrizajes completos, se han utilizado procedimientos de interceptación de la trayectoria de vuelo, tales como los descritos en 2.1.1 del presente manual, para demostrar que se satisfacen los requisitos de homologación en cuanto al ruido.

3.1.2 Se han utilizado procedimientos generalizados de ensayo en vuelo, distintos de los despegues y aproximaciones normales de demostración del ruido, para conseguir dos objetivos de equivalencia:

- a) Adquirir datos de ruido respecto a una amplia gama de reglajes de potencia del motor, a una o más alturas: esta información permite elaborar características generales de ruido, necesarias para la homologación en cuanto al ruido de una "familia" de aviones similares. Los procedimientos utilizados son similares a los contenidos en 2.1.2.2, aparte del hecho de que en los diagramas NPD se incorporan parámetros de performance/ruido de los motores ( $\mu$ ),  $M_T$  (número de Mach del extremo de las palas de la hélice) y  $SHP/\delta_{amb}$  (potencia en el árbol) (véase la Figura 3-1) con la definición de  $\delta_{amb}$ , que figura en 2.1.2.2. Para garantizar que los ángulos de entrada de las hélices sean semejantes durante toda la elaboración de los datos sobre sensibilidad al ruido a medida que cambia la masa de la aeronave, la velocidad aerodinámica del avión utilizado en los ensayos en vuelo para obtener los datos de ruido lateral y de sobrevuelo será de  $V_2 + 19$  km/h ( $V_2 + 10$  kt) con márgenes de  $\pm 6$  km/h o  $\pm 3$  kt, apropiados a la masa del avión durante el ensayo. Para elaborar los datos NDP en el caso de la aproximación, las limitaciones de velocidad y ángulo de aproximación que impone el Anexo 16, Volumen 1,

3.6.3, 3.7.5, 5.6.3 y 5.7.5, no pueden satisfacerse en las gamas de potencia típica necesarias. Para la aproximación, la velocidad se mantendrá a  $1.3 V_2 + 19$  km/h ( $1.3 V_2 + 10$  kt) con un margen de  $\pm 6$  km/h ( $\pm 3$  kt), manteniendo la altura de sobrevuelo por encima del micrófono a  $120 \text{ m} \pm 30 \text{ m}$  ( $400 \text{ ft} \pm 100 \text{ ft}$ ). Pero el ángulo de aproximación con la potencia de ensayo será el que resulte de las condiciones del avión, o sea, su masa, configuración, velocidad y potencia.

- b) Se han utilizado modificaciones de los niveles de ruido determinadas comparando los datos de ensayos del ruido de sobrevuelo obtenidos con diferentes versiones de un mismo tipo de avión (por ejemplo, habiendo cambiado el tipo de hélice) para elaborar los niveles de homologación en cuanto al ruido de nuevas versiones derivadas, tal cual se indica en 2.1.2.3.

3.1.3 Para determinar el nivel de homologación en cuanto al ruido lateral, se ha aprobado un procedimiento de alternativa similar al que se describe en 2.1.3 utilizando dos estaciones de micrófonos emplazadas simétricamente a ambos lados de la trayectoria de despegue. Pero cuando se emplee este procedimiento, para determinar el ruido lateral deberán utilizarse datos equiparados de *ambos* micrófonos laterales para cada vuelo: deben omitirse de la determinación los casos en que sólo se cuente con datos de un solo micrófono para determinado vuelo. Los párrafos que siguen describen los procedimientos aplicables a los aviones pesados propulsados por hélice.

- a) Las curvas que representan el EPNL lateral de los aviones propulsados por hélice, en función de la altura del avión en emplazamientos opuestos de medición, pueden presentar una clara asimetría. Con frecuencia, la altura a la cual se mide el EPNL máximo no es la misma a uno u otro lado del avión y el nivel de ruido medido es asimismo distinto.
- b) Para determinar el promedio de EPNL lateral máximo, es decir el nivel de homologación en cuanto al ruido lateral, hay que hacer diversos vuelos a diferentes alturas con el fin de definir las características ruido/altura de cada lado del avión. Normalmente, esos vuelos se hacen a alturas comprendidas entre 60 m (200 ft) y 550 m

- (1 800 ft), siguiendo una derrota equidistante de las dos estaciones de micrófonos y perpendicular a la línea que las une. La intersección de la derrota con esta línea se define como punto de referencia.
- c) Como la experiencia ha demostrado que el nivel máximo de ruido lateral suele registrarse cerca del extremo inferior de esta escala, para una gama de alturas del avión lo más bajas posible debería obtenerse un mínimo de seis conjuntos válidos de datos, medidos simultáneamente desde ambos lados de la derrota de vuelo. En este caso, puede ser necesario efectuar despegues, pero deberían adoptarse precauciones para asegurar que la velocidad aerodinámica esté estabilizada a  $V_2 + 19$  km/h ( $V_2 + 10$  kt), como mínimo, durante el lapso de atenuación de 10 dB.
- d) El avión asciende para pasar el punto de referencia a la potencia, velocidades y configuración de despegue previstas en el Anexo 16, Volumen I, Parte II, 5.6.2.1 c) y d).
- e) El nivel de homologación en cuanto al ruido lateral corresponde a la cresta de la curva media del EPNL corregido a los valores de la absorción atmosférica del

día de referencia, en función de la altura del avión por encima del punto de referencia (véase la Figura 3-2). Esta curva es la media aritmética de las mediciones del ruido hechas a ambos lados de la derrota.

- f) Para asegurar que se respeten las condiciones previstas en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 1, 5.5.2 y Apéndice 2, 5.4.2, deben determinarse los límites de confianza del 90% según las indicaciones del Apéndice 1, 2.2, del presente manual.

### 3.1.4 Mediciones en puntos ajenos a los de referencia

3.1.4.1 En determinadas circunstancias, las mediciones se pueden hacer en puntos distintos de los de referencia previstos en el Anexo 16, Volumen I, Parte II, Capítulo 5. En este caso, y por las razones expuestas en 2.1.5.1 a), b) y c), el solicitante podrá pedir la aprobación de los datos que haya obtenido ajustando los resultados de las mediciones a las condiciones de referencia.

3.1.4.2 Las mediciones obtenidas en puntos más cercanos al avión que los puntos de referencia para la homologación son especialmente útiles para corregir los datos del ruido de la hélice, ya que en tales mediciones predominan los ruidos de

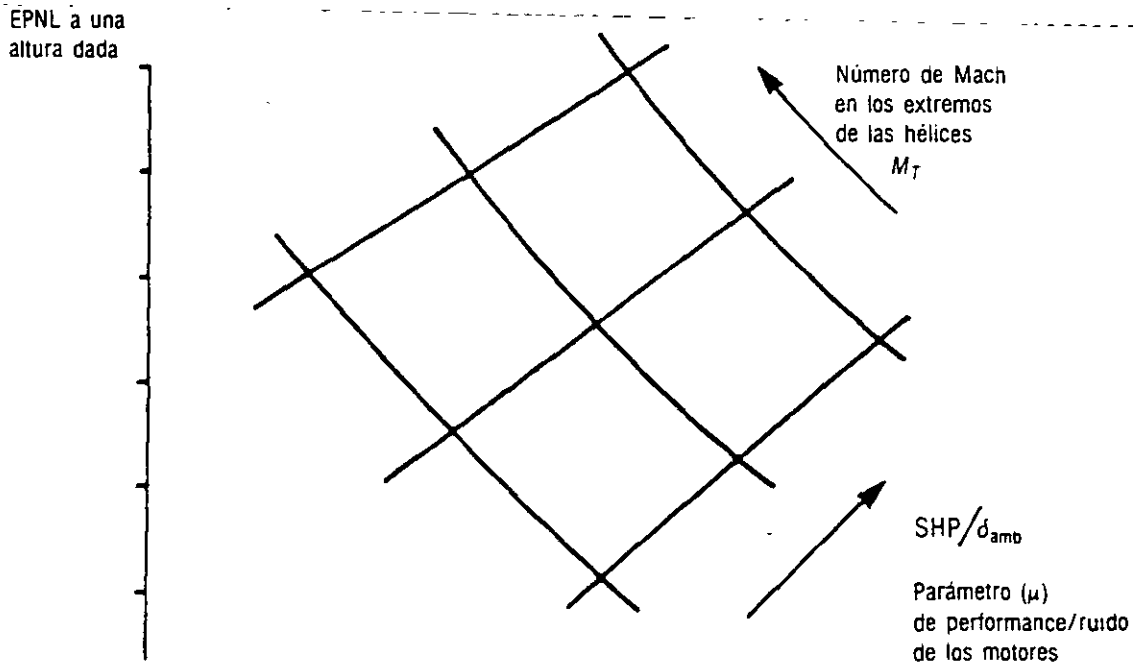


Figura 3-1. Diagrama NDP (ruido-potencia-distancia) para aviones pesados propulsados por hélice

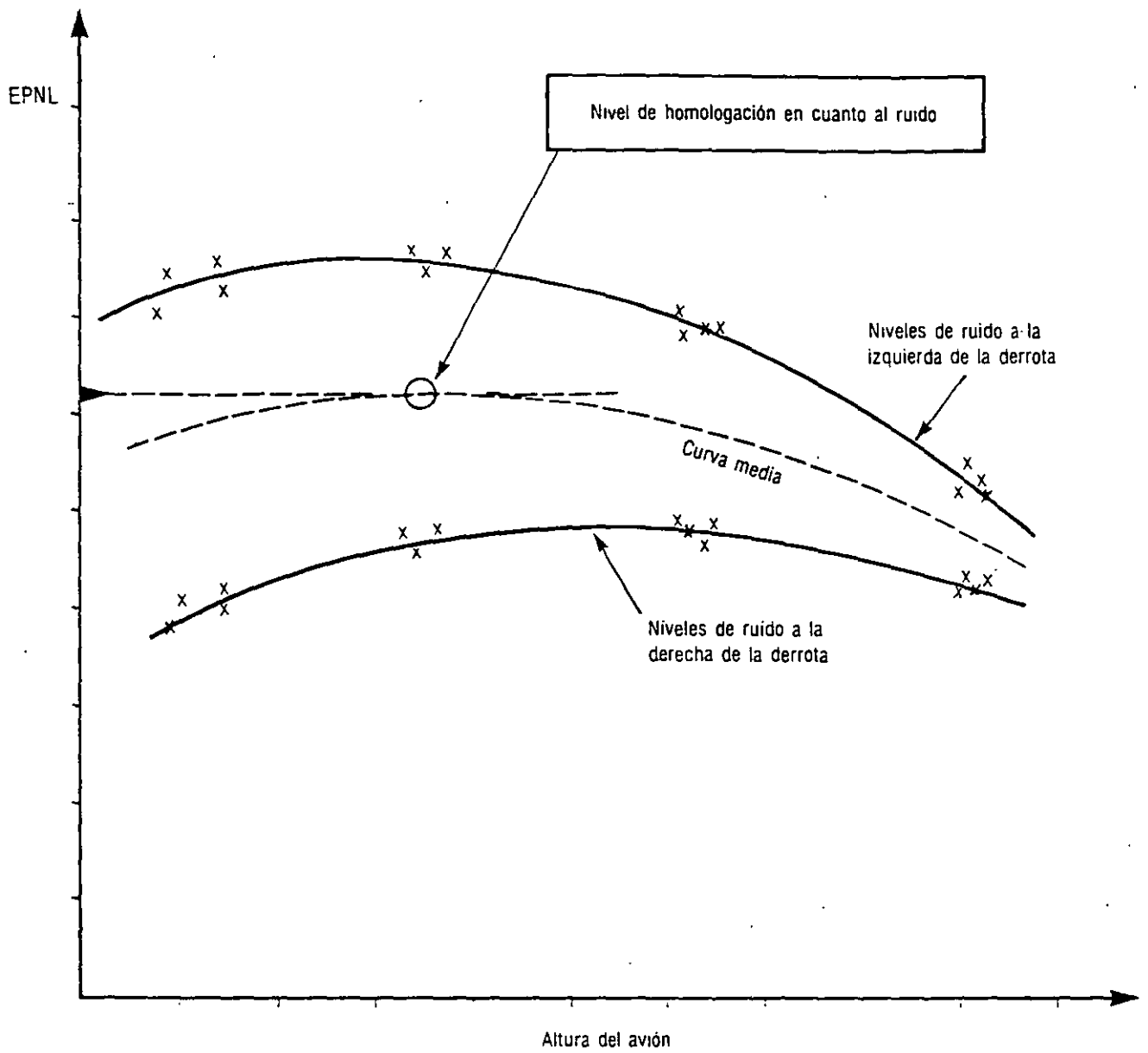


Figura 3-2. Diagrama típico del ruido lateral de un avión pesado propulsado por hélice



baja frecuencia. La fidelidad del registro disminuye rápidamente a las altas frecuencias que, a menudo, se pierden en el ruido de fondo por encima de 5 000 Hz. En el Apéndice 3 se describe otro procedimiento.

3.1.4.3 Los puntos de medición ajenos a los de referencia se pueden utilizar con tal de que los datos medidos se ajusten a las condiciones de referencia, como se indica en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 1 ó 2, Sección 9, y de que la amplitud de los ajustes no exceda de los límites fijados en la Parte II, 5.7.6 del Anexo.

## 3.2 PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS

3.2.1 Los procedimientos equivalentes analíticos se basan en la disponibilidad de datos de ruido y de performance respecto al tipo de avión considerado. Las relaciones generalizadas entre niveles de ruido, número de Mach en el extremo de la hélice y la potencia en el árbol, y los procedimientos de corrección para los cambios de velocidad y altura, de conformidad con los métodos previstos en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, se combinan con los datos de certificación de la performance del avión para poder determinar las variaciones de nivel de ruido resultantes de las modificaciones del diseño de tipo. Luego, las variaciones de niveles de ruido se añaden, o sustraen, a los niveles de homologación en cuanto al ruido demostrados en los ensayos en vuelo para el avión de referencia.

3.2.2 Se han aprobado procedimientos analíticos de homologación en el caso de modificaciones del diseño de tipo que supongan diferencias previsibles de niveles de ruido, especialmente:

- a) un aumento o disminución de la masa máxima de despegue y/o de aterrizaje respecto a la masa originalmente certificada;
- b) un aumento o disminución de la potencia de motores similares desde el punto de vista acústico y dotados de hélices del mismo tipo;
- c) las modificaciones, generalmente de menor importancia, de la configuración del avión, motores y barquillas, incluyendo modelos de versiones derivadas de aviones con modificaciones de la longitud del fuselaje y de la configuración de los flaps. No obstante, hay que tener cuidado de que las fuentes de ruido existentes no se modifiquen debido a esos cambios, por ejemplo, por la modificación del flujo de aire hacia las hélices; y
- d) modificaciones de menor importancia del diseño de la célula, que podrían afectar indirectamente a los niveles de ruido por su incidencia en la performance del avión (por ejemplo, aumento de resistencia al avance). Se han utilizado modificaciones de las características de

performance del avión, puestas en evidencia por análisis aerodinámico o por ensayos, para demostrar el influjo de esos cambios en la trayectoria del avión, y, por consiguiente en los niveles de ruido demostrados.

## 3.3 PROCEDIMIENTOS PARA ENSAYOS ESTÁTICOS EN TIERRA

### 3.3.1 Generalidades

Contrariamente a lo que sucede cuando se trata de turborreactores o de turbofán, no es posible utilizar ensayos estáticos que supongan la modificación de la hélice para determinar el efecto de tal modificación sobre el nivel de ruido, cuando se elabora una familia de aviones o de motores de hélice. En realidad, las condiciones de funcionamiento aeroacústicas de la hélice no son las mismas cuando se hacen ensayos estáticos y durante el vuelo. Ciertos componentes del nivel de ruido de la hélice, que son importantes en condiciones estáticas, pueden perder mucha de su importancia en vuelo. De todos modos, se pueden hacer ensayos estáticos limitados con los motores provistos de una hélice destinada a absorber la potencia, para determinar variaciones ligeras del ruido, de la forma que se indica a continuación.

### 3.3.2 Texto de orientación sobre las características del lugar de ensayo

Los sistemas de adquisición y análisis de datos, el emplazamiento de los micrófonos, la calibración acústica y los procedimientos de medición para hacer los ensayos estáticos, figuran en el documento AIR 1846-1984 de la SAE; esos textos son igualmente válidos para los grupos motopropulsores con hélice.

### 3.3.3 Ensayos estáticos de los generadores de gas

Estos ensayos pueden poner en evidencia las variaciones del ruido resultantes de la modificación del diseño de los generadores de gas o de la estructura interna del motor, en las gamas de frecuencias en las que esos factores contribuyen al EPNL del avión, o en las partes del espectro netamente dominadas por el generador de gas o por el equipo auxiliar, cuando la hélice y su comportamiento aerodinámico se mantienen invariables. Esas circunstancias incluyen, por ejemplo, modificaciones hechas al compresor, a la turbina o a la cámara de combustión. Para evaluar el efecto de esos cambios en los turborreactores y en los turbofán, se aplican procedimientos de ensayo, de medición, de reducción y de extrapolación de los datos idénticos a los expuestos en 2.3. El ruido proveniente de toda hélice o dispositivo para absorber la potencia del motor utilizados en los ensayos estáticos debe eliminarse por método analítico. Con el propósito de calcular el EPNL del avión, hay que tener en cuenta, en el proceso de cálculo, la influencia de las hélices, tal cual se ha medido en el avión de referencia.

## Capítulo 4

### Procedimientos equivalentes aplicables a los aviones de no más de 9 000 kg propulsados por hélice

*Nota.— Los procedimientos que siguen se han utilizado como procedimientos de rigurosidad equivalente a los del Anexo 16, Volumen I, Parte II, Capítulo 6, respecto a los aviones propulsados por hélice cuya masa máxima certificada de despegue no exceda de 9 000 kg.*

#### 4.1 CORRECCIONES DEL RUIDO EN LA FUENTE

*Nota.— Es posible obtener los datos necesarios para la corrección del ruido en la fuente de los aviones ligeros propulsados por hélice, haciendo ensayos en vuelo a diferentes velocidades de la hélice, en el caso de hélices de paso fijo, y a diferentes valores del par de la hélice o de la presión de admisión (MAP), cuando se trata de hélices de paso variable.*

4.1.1 En cuanto a las hélices de paso fijo, la técnica de corrección comprende un vuelo a 300 m (985 ft), de conformidad con lo previsto en el Anexo 16, Volumen I, Parte II, 6.5.2, a la velocidad de la hélice correspondiente a la potencia máxima continua ( $N_{MCP}$ ). Las mediciones del ruido de sobrevuelo se repiten a dos velocidades inferiores de la hélice, en general 200 rpm y 400 rpm por debajo del  $N_{MCP}$ . Si se presenta en un gráfico el nivel máximo de ruido de ponderación A ( $L_{A_{MAX}}$ ) en función del número de Mach en los extremos de las palas de la hélice ( $M_T$ ), se consigue una curva que permite calcular la corrección del ruido en la fuente.

4.1.2 En cuanto a las hélices de paso variable, la técnica de corrección comprende vuelos a 300 m (985 ft) a distintas velocidades de hélice, tres en general, con par de hélice o MAP fijos tal cual se indica en 4.1.1, a reserva de que en ese caso el  $N_{MCP}$  sería la velocidad máxima de la hélice correspondiente al valor máximo autorizado del par o de la MAP. El ensayo se repite respecto a dos valores más bajos del par o de la MAP para hacer un diagrama del nivel máximo de ruido de ponderación A en función de la velocidad de la hélice y del par o de la MAP. El diagrama de nivel máximo de ruido de ponderación A ( $L_{A_{MAX}}$ ), en función del número de Mach en los extremos de las palas de la hélice ( $M_T$ ) y del par o de la MAP sirve para calcular la corrección del ruido en la fuente

( $\Delta L_{A_{MAX}}$ ), que representa la diferencia entre las condiciones de referencia y las de ensayo a la potencia utilizada para la homologación en cuanto al ruido.

4.1.3 Hay que hacer una corrección de la temperatura igual a  $(T_R/T_T)^{1/2}$ , en la que  $T_T$  y  $T_R$  son respectivamente las temperaturas absolutas de ensayo y de referencia. En cuanto a los motores de aspiración normal, hay que hacer también una corrección de la altitud igual a  $(\sigma - 0.117)/0.883$  para obtener la  $P_T$  a varias altitudes a partir del valor de  $P_R$  al nivel del mar:  $\sigma$  representa la razón de densidades del aire.

#### 4.2 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO Y DE REFERENCIA PARA EL RUIDO DE DESPEGUE

*Para planificar un programa de ensayo para la homologación en cuanto al ruido con arreglo al Anexo 16, Volumen I, Capítulo 10 y Apéndice 6, conviene advertir las diferencias entre los procedimientos en vuelos diurnos de ensayo y el perfil normalizado de referencia para el ruido de despegue.*

4.2.1 El perfil de referencia para el ruido de despegue se utiliza para calcular la altitud y velocidad de la aeronave que pasa sobre el micrófono en un día normal. Los requisitos relativos a este perfil figuran en el Capítulo 10, 10.5.2. Allí se exige que se calcule el primer segmento, utilizando datos aprobados de aeronavegabilidad, suponiendo que se use la potencia de despegue desde el momento de soltar los frenos hasta 15 m (50 ft) por encima de la pista. Se supone que el segundo segmento comienza precisamente al final del primero, con el avión en configuración de ascenso (tren de aterrizaje replegado y deflexión de flaps) y volando a la velocidad certificada para el régimen óptimo de ascenso  $V_y$ .

4.2.2 En dos sitios figuran requisitos para los procedimientos de ensayo de aviones: Anexo 16, Volumen I, Capítulo 10, 10.6 y Apéndice 6, 2.3. Básicamente se refieren sólo a las tolerancias de ensayo y a la aprobación de los planes de ensayo por las autoridades encargadas de la certificación.

4.2.3 En la Figura 4-1 se ilustra la diferencia entre ambos. Nótese que no es necesario que la verdadera trayectoria de

ensayo en vuelo incluya un despegue completo desde que el avión se encuentre detenido. Se supone, más bien, que se utiliza una técnica de interceptación de la trayectoria de vuelo. Como ocurre con las normas de los aviones de turbohélice y

los helicópteros, los aviones deberían volar hasta interceptar la segunda fase (segmento) de la trayectoria de ascenso a la velocidad y ángulo de ascenso correctos cuando pasen el micrófono dentro del 20% de la altura de referencia.

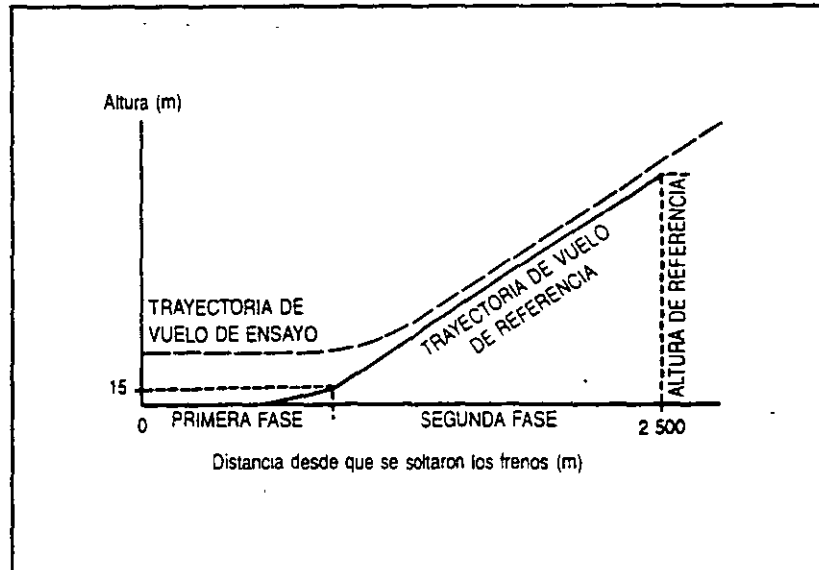


Figura 4-1. Perfiles típicos de ensayo y de referencia

## Capítulo 5

### Procedimientos equivalentes aplicables a los helicópteros — Procedimientos de ensayo en vuelo

*El objeto de un ensayo de demostración para la homologación en cuanto al ruido consiste en adquirir datos para establecer una definición precisa y fiable de las características de ruido del helicóptero (véase el Anexo 16, Volumen I, 8.7). Además, en ese Anexo se expone una serie de condiciones de ensayo y procedimientos para ajustar los datos medidos a las condiciones de referencia.*

#### 5.1 ORIENTACIONES SOBRE LA HOMOLOGACIÓN EN CUANTO AL RUIDO

5.1.1 La homologación de los helicópteros en cuanto al ruido se ha requerido en fecha relativamente reciente y quizás muchos solicitantes consideren que las normas y procedimientos actuales difieren de aquellos con los que están familiarizados. Los párrafos siguientes están destinados a aclarar los requisitos expuestos en el Anexo 16, Volumen I, Capítulo 8 y Apéndice 2. Actualmente se expone en el Anexo, una "vitrina de ensayos" a los cuales es necesario ajustarse antes de que los resultados de los ensayos sean aceptables para las autoridades de certificación. En el plan de homologación de los helicópteros en cuanto al ruido no existe tal "vitrina de ensayos sin corrección".

##### 5.1.2 *Velocidad de ensayo de los helicópteros*

5.1.2.1 Existen dos requisitos para las velocidades de ensayo de helicópteros. Primero, la velocidad aerodinámica durante el período de atenuación de 10 dB debería ser aproximada — es decir, dentro de un margen de 9 km/h (5 kt) — a la velocidad de referencia (véase el Anexo 16, Volumen I, 8.7.6), para reducir al mínimo los ajustes de velocidad para las tres condiciones de homologación, de despegue, sobrevuelo y aproximación.

5.1.2.2 El segundo requisito de velocidad se aplica al sobrevuelo. El procedimiento de sobrevuelo puede practicarse a favor o en contra de la dirección del viento en el momento del ensayo; sin embargo, existe una restricción sobre la diferencia entre velocidad aerodinámica y velocidad respecto al suelo para efectuar los ensayos en una sola dirección. Si esta diferencia excede de 7 km/h (4 kt), los vuelos deberían hacerse en igual cantidad a favor y en contra del sentido del viento. El objetivo es contrarrestar el efecto de la corrección de corta

duración obtenida con viento de cola, con la más prolongada con viento de frente. En condiciones de vuelo con viento estable, el efecto neto de volar contra el viento y con viento de cola sería nulo.

5.1.2.3 La medición de la velocidad respecto al suelo puede obtenerse cronometrando el helicóptero cuando pase sobre dos puntos separados por una distancia conocida con relación a la derrota del helicóptero durante las mediciones del ruido de sobrevuelo. Esos dos puntos deberían encabalar el conjunto de micrófonos para la medición del ruido.

##### 5.1.3 *Masa de ensayo de los helicópteros*

La masa del helicóptero durante la demostración para la homologación en cuanto al ruido (véase el Anexo 16, Volumen I, 8.7.9) debe estar comprendida entre el 90% y el 105% de la masa máxima de despegue para el ruido de despegue y de sobrevuelo y entre el 90% y el 105% de la masa máxima de aterrizaje para la demostración del ruido de aproximación. A los fines de la homologación en cuanto al ruido, el efecto del cambio de masa consiste en cambiar la trayectoria del vuelo diurno de ensayo para el despegue, y deberían hacerse ajustes a la trayectoria de vuelo de referencia para la dispersión esférica y la atenuación atmosférica, tal como se describen en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, Sección 8.

##### 5.1.4 *Aproximación de los helicópteros*

En el Anexo 16, Volumen I, Capítulo 8, 8.7.8, se limita la demostración del ruido de aproximación a  $\pm 0.5^\circ$  del ángulo de aproximación de referencia de  $6^\circ$ . Se requieren ajustes al ángulo de aproximación de referencia para tener en cuenta los efectos de la dispersión esférica y la atenuación atmosférica, tal como se describen en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, Sección 8.

##### 5.1.5 *Seguimiento de la trayectoria de vuelo de los helicópteros*

En el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, 2.3 se requiere que se determine la posición del helicóptero con respecto al punto de referencia en la trayectoria de vuelo y se sincronice debidamente con los datos de ruido entre los puntos de 10 dB

Se han empleado los siguientes métodos:

- sistema de seguimiento radar o por microondas;
- triangulación con teodolito; y
- fototelemetría.

Estas técnicas pueden utilizarse aisladamente o en combinación. A continuación se describen ejemplos prácticos de sistemas de seguimiento de aeronaves en que se han empleado una o más de estas técnicas. Este texto no pretende ser una lista exhaustiva y se incorporará información adicional cuando se adquiera más experiencia.

#### a) Sistema de seguimiento radar o por microondas

En la Figura 5-1 se muestra un ejemplo de sistema de seguimiento de la posición por radar. Funciona con el principio de radar de impulsos, con un interrogador radar (receptor/transmisor) instalado en la aeronave y un respondedor radar (referencia/estación) situado en cada estación de referencia. El tiempo transcurrido entre el impulso del receptor/transmisor y la recepción del impulso de regreso desde el respondedor de la estación de referencia se utiliza como base para determinar la distancia hasta cada estación de referencia.

Esta información sobre la distancia, junto con el emplazamiento conocido de las estaciones de referencia, puede usarse para obtener un punto de referencia sobre la posición de la aeronave en tres dimensiones. Se emplea un sistema de codificación de impulsos para reducir al mínimo los ecos falsos provocados por la interferencia del radar sobre las señales reflejadas.

El sistema desempeña las siguientes funciones básicas durante la homologación en cuanto al ruido:

- 1) mide continuamente la distancia entre el helicóptero y cuatro emplazamientos fijos en tierra;
- 2) correlaciona estas distancias con el código horario del IRIG-B e información sobre la altura, y envía estos datos a un registrador MIC de modulación por impulsos codificados;
- 3) convierte la información sobre distancia y altura de la aeronave en coordenadas de posición X, Y y Z en tiempo real; y
- 4) utiliza los datos X, Y y Z para activar una pantalla en el puesto de pilotaje, que proporciona al piloto claves sobre dirección y posición.

La precisión del cálculo de las coordenadas depende de la trayectoria de vuelo y de la geometría del respondedor. Los errores se minimizan cuando se intersecan las distancias y el método recomendado es mantener el ángulo de intersección próximo a los 90°. Las cuatro disposiciones de respondedor que se muestran en la

Figura 5-1 producen incertidumbres de posición de  $\pm 1.0$  a  $\pm 2.0$  m.

Cuando se utilizan sistemas de microondas, pueden presentarse algunas imprecisiones en las alturas inferiores de las aeronaves, pero el empleo de un radioaltímetro puede reducir los errores. Los datos de altura se registran y sincronizan con microondas.

#### Equipo de los helicópteros:

La computadora del equipo radiotelemétrico y la baliza del respondedor están conectadas a una antena hemisférica montada bajo el fuselaje, sobre el eje de la aeronave, lo más cerca posible del centro de gravedad del helicóptero.

#### Equipo terrestre:

Las cuatro balizas están situadas a cada lado de la trayectoria de la aeronave, para permitir la disposición óptima, es decir, que capten al helicóptero en ángulos de entre 30° y 150° (el ángulo ideal es de 90°).

Por ejemplo, dos balizas pueden emplazarse sobre el eje de los puntos de medición del ruido a  $\pm 500$  m del micrófono central; otras dos balizas pueden emplazarse bajo la trayectoria a  $\pm 600$  m del micrófono central.

#### b) Sistema de cineteodolito

Se pueden obtener datos de la posición del helicóptero con cineteodolitos clásicos, pero también es posible utilizar un sistema compuesto de dos teodolitos simplificados que incluya una fotocámara motorizada sobre una plataforma móvil, un sitio de información y una elevación. Estos parámetros se sincronizan con la hora codificada y el número de identificación de cada fotografía registrada.

Cada 0.1 segundo se envían datos sobre el emplazamiento y la elevación por UHF a una computadora central que calcula la posición del helicóptero (X, Y, Z) cotejándola con el tiempo para cada recorrido.

Las estaciones fotográficas están emplazadas en posiciones laterales, a unos 300 m de la trayectoria y a 200 m a cada lado de los tres puntos de medición del ruido.

La precisión de un sistema de este tipo puede ser de  $\pm 1.5$  m en (X, Y, Z) por encima del área de trabajo.

#### c) Triangulación por radar/teodolito

El sistema optoelectrónico que se muestra esquemáticamente en la Figura 5-2 utiliza un solo teodolito óptico para proporcionar azimut y elevación, mientras los datos

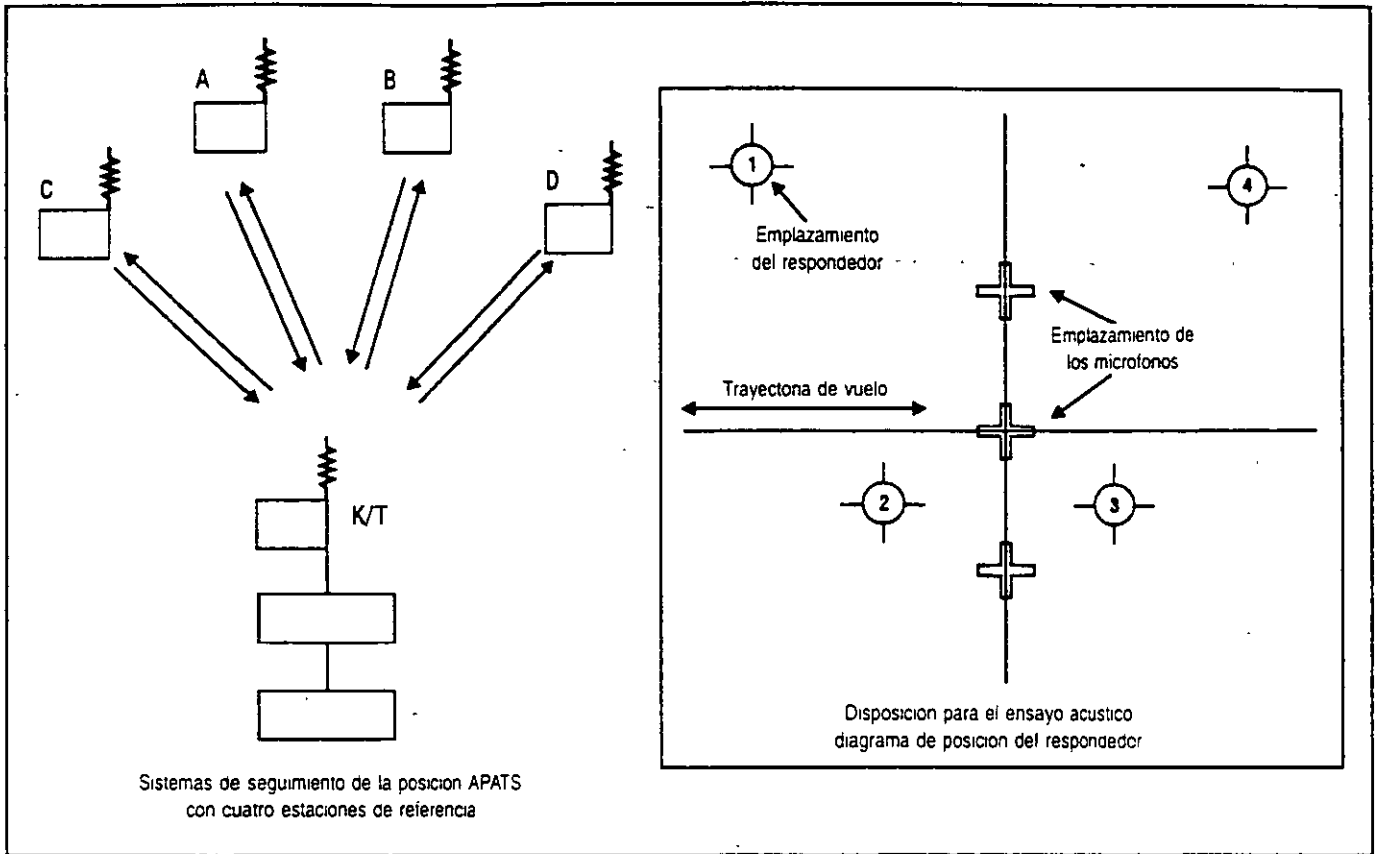


Figura 5-1. Sistema de seguimiento de la posición

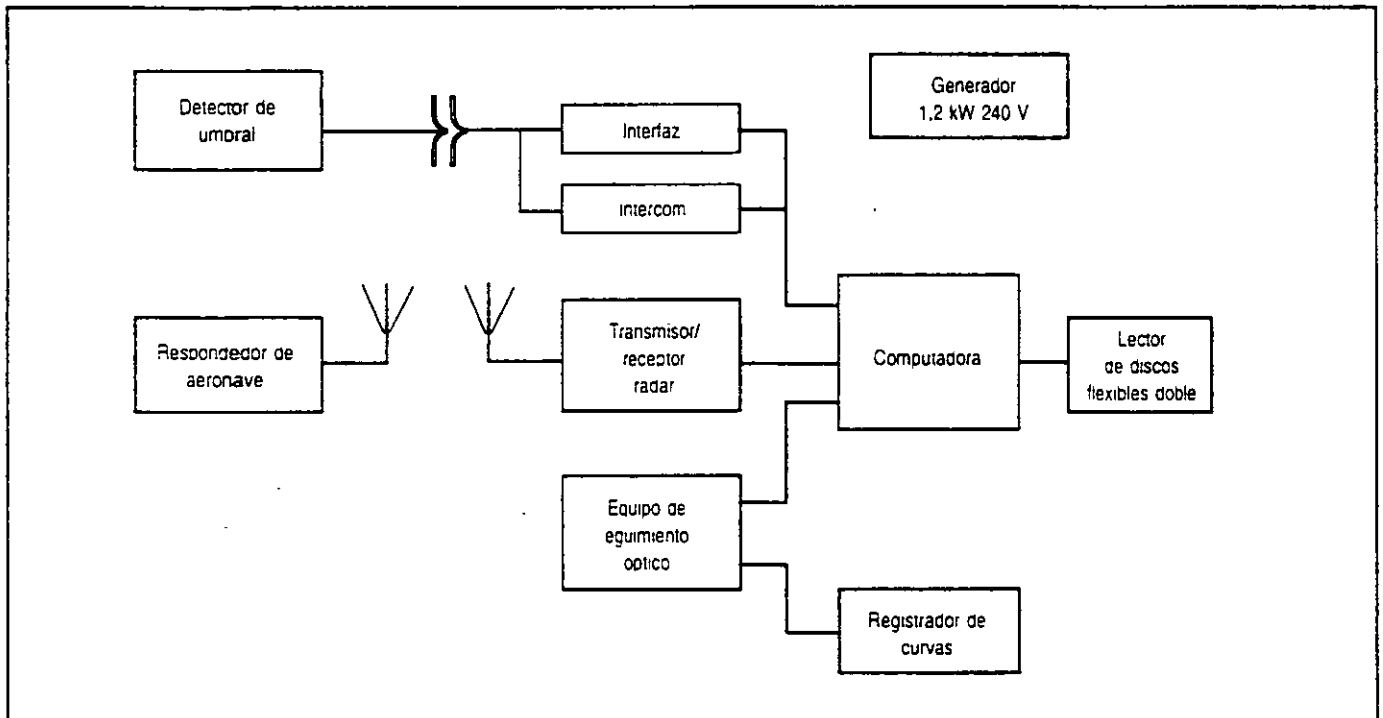


Figura 5-2. Sistema radar óptico de seguimiento de la posición

sobre la distancia se obtienen de un sistema de seguimiento radar que emplea un solo respondedor. Los datos de estas dos fuentes se transfieren a una calculadora de escritorio a una velocidad de 20 muestras por segundo, a partir de lo cual pueden derivarse puntos de referencia de posición tridimensionales. El sistema proporciona también las horas de arranque y detención de la cinta para los emplazamientos de medición, sincronizando todas las horas de grabación de la cinta. La precisión del sistema es de aproximadamente  $\pm 2.0$  m,  $\pm 1.0$  m y  $\pm 2.0$  m para la distancia horizontal (X), la transversal (Y) y la altura (Z), respectivamente. Las imprecisiones asociadas con la determinación del indicador visual de pendiente de planeo y de la velocidad respecto al suelo son de  $\pm 0.1^\circ$  y  $\pm 0.5$  kt.

#### d) Fototelemetría

La trayectoria de vuelo del helicóptero durante la demostración para la homologación en cuanto al ruido puede determinarse utilizando una combinación de cámaras en tierra y datos de altura provistos en función del tiempo desde la radio de a bordo o altímetros barométricos.

En este método se colocan tres cámaras a lo largo de la derrota prevista, de modo que una está situada cerca de la posición del micrófono central y las otras dos cerca de cada uno de los puntos de atenuación del 10 dB, típicamente a 500 m a cada lado del micrófono, según el procedimiento de vuelo que se emplee. Las cámaras están montadas verticalmente y calibradas de modo que el tamaño de la imagen obtenida cuando el helicóptero la sobrevuela puede usarse para determinar la altura de la aeronave. Es importante que la hora a que dispara cada cámara esté sincronizada con el sistema de adquisición de datos de a bordo, para que la altura de la aeronave cuando sobrevuela cada una de las cámaras pueda correlacionarse con las alturas obtenidas a partir de las fotografías.

La trayectoria de vuelo del helicóptero en función de la distancia puede obtenerse ajustando los datos de la aeronave a las alturas de las cámaras.

La dimensión de referencia de la aeronave debería ser lo más grande posible para maximizar el tamaño de la imagen fotográfica, pero hay que escogerla y usarla con precaución si se quieren evitar errores en la posición de la aeronave. Si no se tienen en cuenta el escorzo de la imagen debido al ahúsamiento del rotor principal (flexión de las palas), la báscula del disco o la actitud en cabeceo del fuselaje, se sobreestimarán los desplazamientos en altura, laterales y longitudinales.

Tendiendo un cable sobre cada una de las cámaras perpendicularmente a la derrota prevista, a una altura suficiente sobre la cámara para proporcionar una imagen fotográfica clara tanto del cable como del helicóptero, el

solicitante puede obtener el desplazamiento lateral del helicóptero cuando sobrevuela cada una de las cámaras. Esto puede hacerse aplicando marcas al cable que muestren las distancias angulares desde arriba a intervalos de  $5^\circ$  a cada lado de la vertical.

Este método puede utilizarse para confirmar que el helicóptero sigue una pendiente de planeo de  $6^\circ \pm 0.5^\circ$  dentro de  $10^\circ$  de la vertical del micrófono central, como se exige en el Anexo 16, Volumen I, Capítulo 8, 8.7.7 y 8.7.8.

Además, a partir de las horas sincronizadas de paso del helicóptero sobre las posiciones de las tres cámaras, puede determinarse la velocidad respecto al suelo para utilizarla posteriormente en el ajuste de la corrección de la duración.

La precisión general del sistema es de  $\pm 1.0\%$  de la altura y  $\pm 1.3\%$  de los desplazamientos longitudinal y lateral. Los ángulos medios de aproximación/ascenso y la velocidad media respecto al suelo pueden determinarse con un margen de  $\pm 0.25^\circ$  y  $\pm 0.7\%$ , respectivamente.

#### 5.1.6 Condiciones atmosféricas del ensayo

- Las limitaciones de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento figuran en el Anexo 16, Volumen Apéndice 2, 2.2. Los parámetros se miden a 10 m (33 ft). Para efectuar ajustes, se supone que los valores medidos de esos parámetros son representativos de la masa de aire entre el helicóptero y los micrófonos. No se requieren procedimientos de cálculo basados en la división de la atmósfera en capas, pero las autoridades de certificación podrían aceptar un método de análisis de este tipo.

## 5.2 ADQUISICIÓN DE DATOS DE VUELO A BORDO

### 5.2.1 Generalidades

#### 5.2.1.1 Para:

- 1) determinar la aceptabilidad de los ensayos en vuelo para la homologación en cuanto al ruido de los helicópteros;
- 2) obtener datos para ajustar los datos de ruido; y
- 3) sincronizar los datos de vuelo, de motor y de ruido.

es necesario obtener los valores de diversos parámetros de vuelo y de motor durante el período de medición del ruido. Entre los parámetros típicos se cuentan la velocidad aerodinámica, altura/altitud, velocidad del rotor, par fuerzas, hora, etc.

5.2.1.2 Se han empleado varios métodos para recoger esta información:

- 1) registro manual;
- 2) grabación en cinta magnética;
- 3) registro automático en fotografía fija;
- 4) grabación cinematográfica; y
- 5) grabación en vídeo.

5.2.1.3 Evidentemente, cuando es necesario recoger un gran número de parámetros en intervalos de tiempo relativamente breves, quizás no sea posible registrar manualmente los datos, y resulte más apropiado usar alguno de los sistemas automáticos enumerados en 2) a 5). La elección de un sistema determinado puede deberse a varios factores, como el espacio disponible, el costo, la disponibilidad de equipo, etc.

5.2.1.4 Para los sistemas que registran ópticamente los instrumentos del puesto de pilotaje (3 a 5), debe tenerse la precaución de evitar contrastes violentos de luminosidad, como los que podrían provocar la luz del sol y las sombras intensas, así como los reflejos en las superficies de vidrio de los instrumentos, que tomarían ilegibles los datos. Para evitar esto, puede ser necesario suministrar más iluminación para "llenar" las regiones en sombra intensa. A fin de evitar los reflejos en las superficies de los instrumentos se recomienda no usar equipos ni ropas de colores claros en el puesto de pilotaje. Debería exigirse a las tripulaciones de vuelo que usen ropas y guantes negros o de colores oscuros.

5.2.1.5 Además, para los sistemas que registran las lecturas de diales es importante que el dispositivo registrador esté lo más cerca posible directamente frente a los instrumentos, para evitar errores de paralaje.

### 5.2.2 Grabación en cinta magnética

Para la grabación continua de parámetros de performance de vuelo y de motor se utilizan grabadores de cinta de instrumentación multicanales diseñados para ámbitos a bordo. Los grabadores típicos son compactos de banda intermedia/ancha, pueden recibir cintas magnéticas de 1/2 y de

1 pulgada, y requieren una fuente de CC de 24 a 28 voltios. Un grabador de cinta de unos 27 kg de peso puede suministrar grabación directa y en MF.

### 5.2.3 Registro automático en fotografía fija

Pueden tomarse fotografías del tablero de instrumentos del puesto de pilotaje utilizando una cámara manual reflex de 35 mm con lente única de 85 mm y película de diapositivas de alta velocidad. Las indicaciones de los instrumentos pueden leerse proyectando las diapositivas sobre una pantalla.

### 5.2.4 Grabación cinematográfica

Se han utilizado cámaras de cine con una velocidad de exposición de un fotograma por segundo para obtener datos en el puesto de pilotaje. La cámara debe montarse cerciorándose de que todos los instrumentos que sea necesario fotografiar queden dentro del campo de visión. Se han usado casetes de película típicos que contienen unos 2 000 cuadros, con un contador que permite prever el cambio de película.

### 5.2.5 Grabación en vídeo

Los parámetros de performance de vuelo y de motor pueden registrarse con una cámara de vídeo, aunque debe tenerse la precaución, como con las cámaras cinematográficas, de asegurarse de que todos los instrumentos necesarios queden dentro del campo de visión. La información grabada se reproduce utilizando inmovilización de cuadros para obtener lecturas de cada instrumento.

### 5.2.6 Sincronización de la hora de los datos registrados

La necesidad de sincronizar los registros de ruido con los datos del puesto de pilotaje registrados a bordo es importante. Supone radiocomunicaciones entre el helicóptero y las posiciones en que se registra el ruido. Se han empleado varios métodos, tales como señalar la hora de sincronización en un reloj instalado sobre el tablero de instrumentos, que a su vez queda registrado por el sistema de adquisición de datos. Un sistema de ese tipo utiliza una cámara en tierra, la cual activa una transmisión de radio que al ser recibida por el helicóptero enciende dos LED (diodos emisores de luz) de gran intensidad instalados en un reloj analógico acoplado al tablero de instrumentos.



## Capítulo 6

### Métodos de evaluación

#### 6.1 INTRODUCCIÓN

Se han elaborado diversos métodos para resolver las dificultades que se presentan al hacer la medición y analizar los datos de ruido de las aeronaves. Algunos de esos procedimientos se aplican a todos los tipos de aeronaves, mientras que otros se aplican solamente a algunos. Este capítulo presenta esos métodos de evaluación y describe ciertos procedimientos específicos que se han aprobado para resolver los problemas siguientes:

- a) las irregularidades espectrales que nada tienen que ver con las fuentes de ruido de las aeronaves;
- b) los niveles de ruido ambiental (acústico y eléctrico);
- c) la elaboración y ampliación de las bases de datos;
- d) el uso de sistemas de navegación inercial para las mediciones de la trayectoria de vuelo de aviones;
- e) el análisis integrado de los datos de ruido;
- f) el cálculo del EPNL mediante el método integrado de ajuste.

#### 6.2 IRREGULARIDADES ESPECTRALES

Es necesario hacer correcciones por tono respecto a los tonos o a las irregularidades del espectro de ruido del avión. Se tienen que determinar las irregularidades que se producen en el espectro medido y que se deben a las interferencias producidas por reflexiones en la superficie del terreno o por perturbaciones durante la propagación del ruido entre el avión y el micrófono, para evitar que las correcciones por tono se apliquen a características espectrales, que nada tienen que ver con la fuente de ruido del avión. Tal cual se indica en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, 4.3.1, el análisis de banda estrecha es uno de los métodos recomendados para determinar esos tonos falsos. En el Apéndice 2 del presente manual se facilitan otros métodos aprobados para la homologación en cuanto al ruido que permiten determinar tales irregularidades. No obstante, cuando se trata de aviones de hélice o de helicópteros, generalmente no se eliminan los efectos de esas

irregularidades espectrales, ya que es difícil diferenciarlas de los tonos emitidos por los motores, las hélices o los rotores.

#### 6.3 NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL

Los niveles de ruido ambiental, que comprenden el ruido acústico de fondo y el electrónico del equipo de medición y análisis, pueden enmascarar los niveles de ruido de los aviones en algunas partes del espectro que intervienen en el cálculo del EPNL. Es posible eliminar los efectos del ruido ambiental utilizando un método aprobado, como el que se describe en el Apéndice 3.

#### 6.4 ELABORACIÓN Y AMPLIACIÓN DE LAS BASES DE DATOS

6.4.1 Los niveles de homologación en cuanto al ruido se pueden determinar a base de cierto número de mediciones del ruido (por lo menos seis) en cada uno de los puntos de referencia para la medición, repetidas en condiciones idénticas en cuanto concierne a los valores nominales de la potencia del motor, de la altura, velocidad y configuración del avión. Las mediciones del ruido se ajustan a las condiciones de referencia y el valor medio, así como el intervalo de confianza del 90%, se calculan de acuerdo con las indicaciones proporcionadas en el Anexo 16, Volumen I. Otra posibilidad consiste en volar a una gama de regímenes de motor (por lo menos seis), a la velocidad, configuración y altura de referencia, con el fin de determinar la relación entre el nivel de ruido y los parámetros de performance/ruido del motor, en toda la gama de esos parámetros ( $\mu$ ) correspondiente al avión prototipo y a los derivados, en cada uno de los puntos de referencia para la medición. Con tal de que el intervalo de confianza del 90%, calculado de la forma indicada en el Apéndice 1, 2.2, de este manual, no exceda de  $\pm 1.5$  EPNdB (o  $\pm 1.5$  dBA, según sea el caso), los niveles de homologación en cuanto al ruido pueden obtenerse a partir de la curva de niveles de ruido en función del parámetro ( $\mu$ ) de performance/ruido del motor, al valor de referencia  $\mu$  apropiado.

6.4.2 En ciertos casos puede aprobarse una extrapolación de los datos pero habrá que cerciorarse de que la aportación

relativa de las distintas fuentes de ruido al EPNL o al nivel de ruido de ponderación A, según corresponda, se mantenga prácticamente igual y de que sea posible hacer una simple extrapolación de las curvas ruido/potencia y ruido/distancia.

6.4.3 En cuanto a los aviones propulsados por hélice, cualquier modificación de la hélice y/o del grupo motopropulsor quizás requiera hacer ensayos en vuelo complementarios para establecer una nueva relación NPD.

## 6.5 CORRECCIONES EN FUNCIÓN DEL AMBIENTE DE ENSAYO

6.5.1 Con respecto a las condiciones atmosféricas especificadas en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, 2.2.2, es preciso medir los perfiles de temperatura y humedad relativa del aire ambiente durante los ensayos de homologación en cuanto al ruido, para verificar si las temperaturas, la humedad relativa y los correspondientes coeficientes de absorción acústica de la atmósfera no se apartan de los límites especificados, a lo largo de la trayectoria de ruido entre el avión y tierra. Generalmente, la medición de esos perfiles se efectúa en el transcurso de los ensayos en vuelo mediante globos o aviones provistos de instrumentos especiales, o recurriendo a otros métodos análogos, para asegurarse de que se cumplen las condiciones.

6.5.2 A discreción de las autoridades de certificación, la medición de los perfiles de temperatura y humedad relativa del aire ambiente puede hacerse con instrumentos instalados a bordo del avión de ensayo y se puede considerar suficiente para demostrar que se han respetado los criterios previstos en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, 2.2.2.

## 6.6 SISTEMAS DE NAVEGACIÓN INERCIAL PARA LA MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE VUELO DE AVIONES

6.6.1 Los criterios para la medición de la altura y la posición lateral de un avión con respecto a la derrota prevista se describen en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, 2.3. En este párrafo se indica que el método utilizado debería ser independiente de los instrumentos normales de a bordo. Desde que se elaboró ese requisito, se han instalado en algunos aviones otros sistemas de seguimiento [sistemas de navegación inercial (INS) y sistemas de microondas] que poseen un alto grado de precisión, y por consiguiente han sido aceptados por varias autoridades de certificación para que se utilicen durante la homologación en cuanto al ruido. Sin embargo, es importante detectar regularmente toda desviación intrínseca en el sistema, y calibrar el sistema. Con este fin, pueden emplearse cámaras en tierra para determinar la posición de un avión con respecto a ellas, tanto lateralmente como en términos de altura. La calibración debería llevarse a cabo con la suficiente frecuencia como para mantener la especificación de precisión del sistema.

6.6.2 La precisión de tales sistemas debe ser aceptable para las autoridades de certificación.

## 6.7 CÁLCULO DEL EPNL MEDIANTE EL MÉTODO INTEGRADO DE AJUSTE

6.7.1 En el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, 9.1, se prevé el empleo del método "simplificado" o del "integrado" para ajustar los datos del ruido medido a las condiciones del día de referencia. El procedimiento "integrado" puede aplicarse a los datos medidos en los puntos de medición del ruido de sobrevuelo, lateral y de aproximación. El método de ajuste "integrado" consiste en aplicar todos los ajustes de datos a cada conjunto medido de niveles de presión acústica obtenidos a intervalos de 0.5 segundos para identificar los niveles medios de presión acústica de referencia que se usan para calcular los EPNL compatibles con los valores que se obtendrían en las condiciones de referencia. Para que la consistencia acústica sea completa, el ajuste sólo es aplicable si se evalúa para pares idénticos de ángulos de emisión del ruido ( $\theta$ ) con relación a la trayectoria de vuelo, y ángulo de elevación del ruido ( $\Psi$ ) con relación al suelo, tanto para la trayectoria de vuelo medida (de ensayo) como para la corregida (de referencia). Aunque este requisito puede cumplirse satisfactoriamente en forma aproximada para las mediciones del ruido en sobrevuelo y durante la aproximación, puede demostrarse que no es posible conservar pares de ángulos idénticos cuando se requieren ajustes de la medición del ruido lateral. Por lo tanto, cuando se hacen ajustes de la medición del ruido lateral con el método "integrado", deberían mantenerse las condiciones geométricas de ángulos idénticos de emisión del ruido para las trayectorias de vuelo de ensayo y de referencia, a la vez que deberían minimizarse las correspondientes diferencias entre los ángulos de elevación de ensayo y de referencia. La ligera diferencia que se producirá entre los ángulos de elevación de ensayo y de referencia tendrá un efecto insignificante sobre el valor del EPNL corregido.

6.7.2 En esta sección se describe un método de ajuste integrado aplicable para utilizarlo cuando el avión vuela en condiciones constantes (de trayectoria de vuelo y potencia) durante el período de medición del ruido.

### 6.7.3 Posición de la aeronave de ensayo

6.7.3.1 El método "integrado" de ajuste de los datos medidos del nivel de ruido a las condiciones de referencia requiere datos acústicos y de performance del avión a cada intervalo de 0.5 segundos durante los vuelos de ensayo. Entre estos datos, figuran la posición del avión respecto a un sistema tridimensional de coordenadas (X, Y, Z), los niveles de presión sonora en la banda de tercio de octava SPL ( $i, k$ ) y la hora ( $t_k$ ) en el punto central de cada lapso promedio con relación a una hora de referencia. Además, para cada sobrevuelo se requieren parámetros de performance del avión, el emplazamiento de los micrófonos de medición y datos de temperatura y humedad.

6.7.3.2 La altura Z de la aeronave se mide por encima del plano X-Y de referencia, que incluye el micrófono de medición a 1.2 m sobre el terreno. Se supone que la trayectoria media de vuelo de ensayo es una línea recta (excepto cuando se utiliza reducción de potencia durante la medición en sobrevuelo) y se emplean datos de la posición del avión correlacionados con la hora para determinar la hora ( $t_{oh}$ ), la altura de paso sobre el punto de ensayo ( $h_{ro}$ ) y la distancia mínima de ensayo ( $d_{TM}$ ) desde la trayectoria de vuelo de ensayo hasta el emplazamiento del micrófono [ $K(X_{TM}, Y_{TM}, Z_{TM})$ ].

6.7.3.3 Utilizando los datos del ensayo directamente o mediante análisis geométrico de la relación entre la trayectoria media de vuelo en línea recta y la línea de distancia mínima desde  $K_T$  a  $R_T$  ( $X_{RT}, Y_{RT}, Z_{RT}$ ) como se indica en la Figura 6-1, la distancia mínima resulta:

$$d_{TM} = [(X_{RT} - X_{TM})^2 + (Y_{RT} - Y_{TM})^2 + (Z_{RT} - Z_{TM})^2]^{1/2} \quad (1)$$

Nota.— Para mayor claridad, se utiliza aquí el subíndice "T" para las condiciones de ensayo. En el Anexo 16, se emplean para las condiciones de ensayo símbolos que no son subíndices.

6.7.4 Tiempos de propagación del sonido y ángulos de emisión del sonido

6.7.4.1 El tiempo de propagación del sonido de ensayo ( $\Delta t_{pk}$ ) se identifica con la hora de registro del ensayo ( $t_k$ ), la hora de emisión del ruido ( $t_{ek}$ ), la posición del avión ( $M_k$ ) en el tiempo ( $t_{AK}$ ) y el tiempo medio ( $t_{Av}$ ) mediante las relaciones:

$$t_k = t_{AK} - 1/2 t_{A1} \quad (2)$$

$$t_{ek} = t_k - \Delta t_{pk} \quad (3)$$

$$\Delta t_{pk} = \overline{KQ_{ek}}/c_T \quad (4)$$

donde  $c_T = [(\delta^* R^*/Mo)(T_e + T_A)/2]^{1/2}$  es la velocidad del sonido a la temperatura absoluta media del aire entre la superficie ( $T_e$ ) y la altura del avión ( $T_A$ ).  $\delta^*$ ,  $R^*$  y  $Mo$  son, respectivamente, la relación de calores específicos del aire, la constante de gas y el peso molecular medio del aire.

6.7.4.2 Utilizando las relaciones geométricas de la Figura 6-2, la distancia mínima según la ecuación (1), la distancia de ensayo  $Q_{ek}R$ , y definiendo la diferencia temporal B como igual a  $t_{TM} - t_k$ , se obtiene la siguiente fórmula para los tiempos de propagación del sonido en la trayectoria de vuelo de ensayo:

$$\Delta t_{TPk} = [1/(c_T^2 - V_T^2)] \{BV_T^2 + [(c_T^2 - V_T^2)(d_{TM})^2 + (Bc_T V_T)^2]^{1/2}\} \quad (5)$$

donde  $V_T$  es la velocidad media del avión de ensayo a lo largo de la trayectoria de vuelo.

Del mismo modo, el ángulo de emisión del sonido de ensayo se define como:

$$\theta_{ek} = \arcsen(d_{TM}/d_{TPk}) \text{ o } \arcsen[(\Delta d_{TM}/(\Delta t_{TPk})(C_e)] \quad (6)$$

### 6.7.5 Trayectoria de vuelo de referencia de la aeronave

6.7.5.1 La geometría de la trayectoria de vuelo de referencia es esencialmente similar a la que se muestra en la Figura 6-1; sin embargo, existen las siguientes diferencias. La trayectoria de vuelo de referencia está directamente sobre el eje de la pista (es decir,  $Y_{DEV} = 0$ ). Para los sobrevuelos de despegue y de aproximación, la estación de medición está sobre el eje de la pista (o sea,  $Y_{Rr} = Y_{TM}$ ); para las mediciones del ruido lateral, ( $Y_{Rr} - Y_{TM}$ ) es igual al desplazamiento lateral de referencia de la estación de medición.

Nota 1.— El subíndice "r" se utiliza para denotar las condiciones de referencia.

Nota 2.— El emplazamiento de los micrófonos de referencia ( $K_r$ ) para las mediciones del ruido lateral suele estar en las mismas coordenadas que para los emplazamientos de ensayo ( $K_T$ ), o sea ( $X_{TM}, Y_{TM}, Z_{TM}$ ) = ( $X_{rM}, Y_{rM}, Z_{rM}$ ).

6.7.5.2 La trayectoria de vuelo de referencia puede especificarse geoméricamente con respecto al emplazamiento del micrófono de referencia ( $K_r$ ) utilizando la distancia lateral de la estación de medición, la altura sobre el punto de medición ( $h_{ro}$ ) y el ángulo de inclinación de la trayectoria de vuelo ( $\gamma_r$ ). Estos valores se equiparan a la distancia mínima ( $d_{rm}$ ) desde  $K_r$  mediante las fórmulas siguientes:

$$d_{rm} = [h_{ro}^2 \cos^2 \gamma_r + (Y_{Rr} - Y_{rM})^2]^{1/2} \quad (7a)$$

o bien

$$d_{rm} [(X_{Rr} - X_{rM})^2 + (Y_{Rr} - Y_{rM})^2 + (Z_{Rr} - Z_{rM})^2]^{1/2} \quad (7b)$$

6.7.5.3 El supuesto acústico básico con respecto a las condiciones de vuelo de ensayo y de referencia es que los ángulos tridimensionales de admisión acústica ( $\theta_{ek}$  y  $\theta_{erk}$ ) para cada hora de registro de ensayo ( $t_k$ ) y la hora de referencia correspondiente ( $t_{rk}$ ) son iguales. Utilizando la ecuación (6) y esta equivalencia, se ajustan los niveles de presión acústica de ensayo  $SPL_T(i, k)$ , para cada una de las bandas de frecuencia de orden  $i$  en función de la dispersión esférica y la absorción atmosférica sobre las longitudes de la trayectoria acústica mediante la ecuación:

$$SPL_{T(i, rk)} = SPL_T(i, k) - 20 \log(d_{TPk}/d_{TPk}) - [(a_{(0)})d_{TPk} - (a_i)d_{TPk}] \quad (8a)$$

o bien, cuando se emplean distancias mínimas de trayectoria de vuelo de ensayo y de referencia, mediante la ecuación:

$$SPL_{T(i, rk)} = SPL_T(i, k) - 20 \log(d_{rm}/d_{TM}) - [(a_{(0)})d_{rm} - (a_i)d_{TM}] \csc \theta_{ek} \quad (8b)$$

### 6.7.6 Cálculo del intervalo de tiempo

6.7.6.1 Además de los ajustes señalados de los datos de ensayo para tener en cuenta la dispersión esférica y la absorción atmosférica, es necesario hacer un ajuste para la

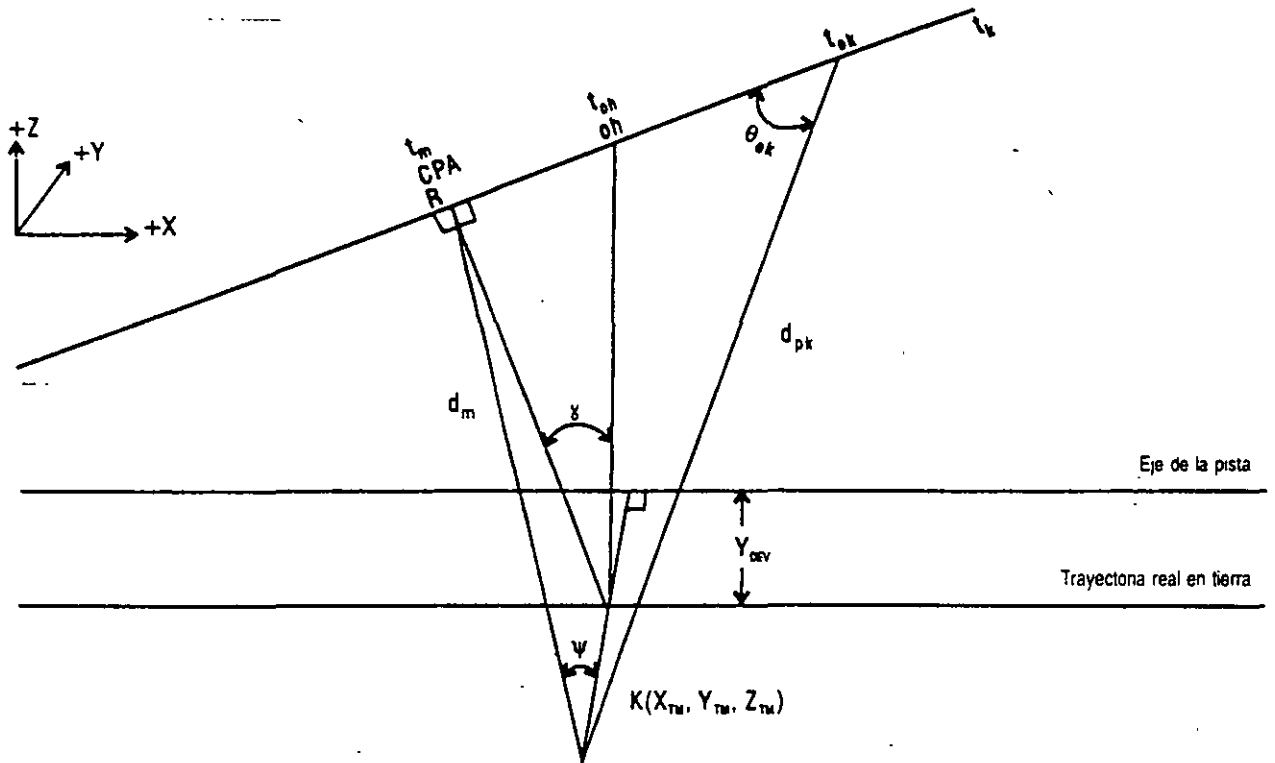


Figura 6-1. Geometría del procedimiento integrado

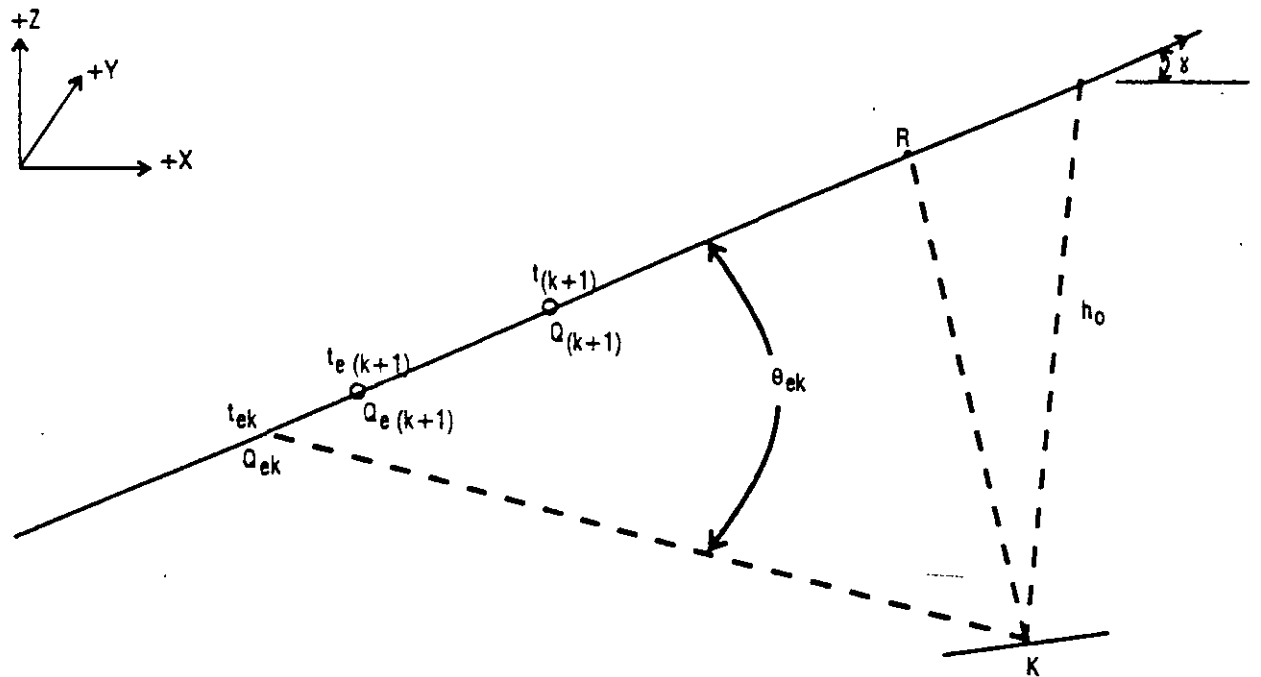


Figura 6-2. Períodos de tiempo relativos para el procedimiento integrado

variación del incremento temporal  $t_k$  utilizado en el cálculo de EPNL. Puesto que los incrementos temporales no son iguales a los incrementos temporales en la medición de ensayo de 500 ms cuando se ajustan mediante el método "integrado", se presentan horas sucesivas de referencia de la posición del avión ( $t_k$  y  $t_{n(k+1)}$ ) después de la hora de referencia ( $t_{ref}$ ) en el punto de emisión del sonido (Figura 6-2). El incremento temporal medio que se utilizará en el cálculo del EPNL es:

$$\delta t_k = [\Delta t_k + \Delta t_{n(k+1)}] / 2 \quad (9)$$

donde el intervalo temporal de referencia ( $\Delta t_k$ ) entre registros de datos es:

$$\Delta t_k = t_{n(k+1)} - t_k$$

y aplicando la relación entre horas de toma de muestras, horas de emisión del sonido y horas de propagación de sonido, el intervalo de referencia se convierte en:

$$\Delta t_k = [t_{n(k+1)} - t_{ref}] + [\Delta t_{p(k+1)} - \Delta T_{p(k)}] \quad (10)$$

6.7.6.2 Este intervalo temporal refleja el tiempo de recorrido del avión a las velocidades de ensayo y de referencia ( $V_T$  y  $V_r$ ) de un punto de emisión de sonido al siguiente y también el efecto de las diferencias entre las distancias mínimas de ensayo y de referencia ( $d_m$  y  $d_{Tm}$ ), así como las

velocidades del sonido ( $c_r$  y  $c_T$ ). Estos factores se expresan explícitamente modificando la ecuación (10) como sigue:

$$\Delta t_k = (d_m/d_{Tm}) \{ (V_T/V_r) [0.5 - (\Delta t_{p(k+1)} - \Delta t_{p(k)})] + (c_T/c_r) (\Delta t_{p(k+1)} - \Delta t_{p(k)}) \} \quad (11)$$

#### 6.7.7 Nivel efectivo de ruido percibido ajustado

Una vez ajustados los niveles de presión acústica utilizando la ecuación (8), se calculan las correcciones por tono de conformidad con el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, 4.3, y empleando la ponderación de valores  $n_{oy}$  y el procedimiento para calcular el nivel de ruido percibido (Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, 4.2) pueden obtenerse los PNLT de referencia para las horas  $t_1$  a  $t_m$ , que incluyen la primera y última horas de atenuación de 10 dB. Estos valores y el incremento temporal medio ajustado de la ecuación (9) se combinan para calcular el EPNL ajustado como sigue:

$$EPNL = 10 \log \left[ \left( \frac{1}{T_0} \right) \sum_{k=1}^n (10^{0.1 PNL T_k}) (\delta t_{rk}) \right]$$

donde el tiempo de referencia ( $T_0$ ) es de 10 segundos y la suma se inicia estipulando que  $\Delta t_{n(1)} = \Delta t_{n(2)}$ , de modo que  $\delta t_1 = \Delta t_1$ . La suma se concluye suponiendo que  $\Delta t_m = \Delta t_{n(m-1)}$ , lo cual da  $\delta t_m = \Delta t_m = \Delta t_{n(m-1)}$ .

## Capítulo 7

### Equipo de medición y análisis

*Nota.— En las especificaciones de los equipos utilizados para la homologación en cuanto al ruido que se describen en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, Sección 3, no se han previsto los equipos de grabación y análisis del ruido de tecnología más moderna, basados en técnicas digitales que ofrecen mayor flexibilidad y precisión que las anteriores. En esta sección se describe la especificación correspondiente a equipo digital de grabación y análisis que ha sido aprobado por autoridades de certificación.*

#### 7.1 GENERALIDADES

*Nota.— Estas mediciones proporcionan niveles de bandas de tercio de octava del ruido percibido en cada estación de medición del ruido, en función del tiempo, para calcular el nivel efectivo de ruido percibido, tal como se describe en el Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, Sección 4.*

7.1.1 El sistema de medición debería constar de equipo equivalente al que se indica a continuación.

- a) un sistema microfónico (véase 7.2);
- b) equipo de registro y de reproducción (cuando no se utilice el método de análisis directo) que permita almacenar datos sobre el ruido medido, para su análisis posterior (véase 7.3);
- c) equipo de análisis que suministre los datos de salida para calcular el EPNL (véase 7.4); y
- d) calibradores acústicos que garanticen la precisión continua de los sistemas citados (véase 7.5).

7.1.2 Los fabricantes o los usuarios del equipo empleado deberían demostrar que este equipo responde a las especificaciones de los documentos CEI 561 y 651, en las que se basan 7.2, 7.3 y 7.4, o que este equipo es de una actuación electroacústica equivalente y debería ser aprobado por las autoridades de certificación.

7.1.3 Debería demostrarse que los procedimientos de calibración y de verificación que han de utilizarse en cada serie de ensayos de homologación están de acuerdo con las

especificaciones correspondientes que figuran en 7.5, o con especificaciones equivalentes, y esos procedimientos deberían ser aprobados por las autoridades de certificación.

#### 7.2 SISTEMA MICROFÓNICO

7.2.1 El sistema microfónico debería constar de un micrófono, un preamplificador y una pantalla de protección contra el viento, respondiendo el conjunto a las especificaciones de 7.2.2, 7.2.3, 7.2.4, 7.2.5, 7.2.6, 7.2.7 y 7.2.8. Las autoridades de certificación pueden aprobar otros sistemas equivalentes basándose en una probada actuación acústica equivalente en general. Cuando se empleen dos o más sistemas microfónicos del mismo tipo, la demostración de que por lo menos uno de ellos cumple con la totalidad de los requisitos será suficiente para demostrar que el tipo los cumple.

*Nota.— Esto no excluye la necesidad de calibrar cada sistema, tal como se estipula en 7.5.*

7.2.2 El micrófono debería montarse de modo que el centro del elemento sensible se encuentre a 1.2 m (4 ft) por encima del nivel del suelo en la localidad y debería estar orientado para captar la incidencia tangencial, es decir, con el elemento sensible netamente situado en el plano determinado por la trayectoria nominal de vuelo del avión o del helicóptero y el lugar de medición, tal como se muestra en la Figura 7-1. La disposición en que se haya montado el micrófono debería eliminar en lo posible las perturbaciones que su soporte podría introducir en los sonidos que hayan de medirse.

7.2.3 Tras un período suficiente de "calentamiento", de duración equivalente, como mínimo, a la especificada por el fabricante del equipo, la salida del sistema correspondiente a una entrada acústica constante no debería variar en más de 0.3 dB para lapsos de una hora ni en más de 0.4 dB para lapsos de 5 horas.

7.2.4 Se especificará una dirección de incidencia como referencia, a la cual correspondan las características de respuesta de frecuencia que se indican en 7.2.5. La variación de sensibilidad del sistema microfónico, dentro de los ángulos de  $\pm 30^\circ$  medidos a partir de la dirección de referencia (véase la Figura 7-2) no deberían exceder de los valores siguientes.

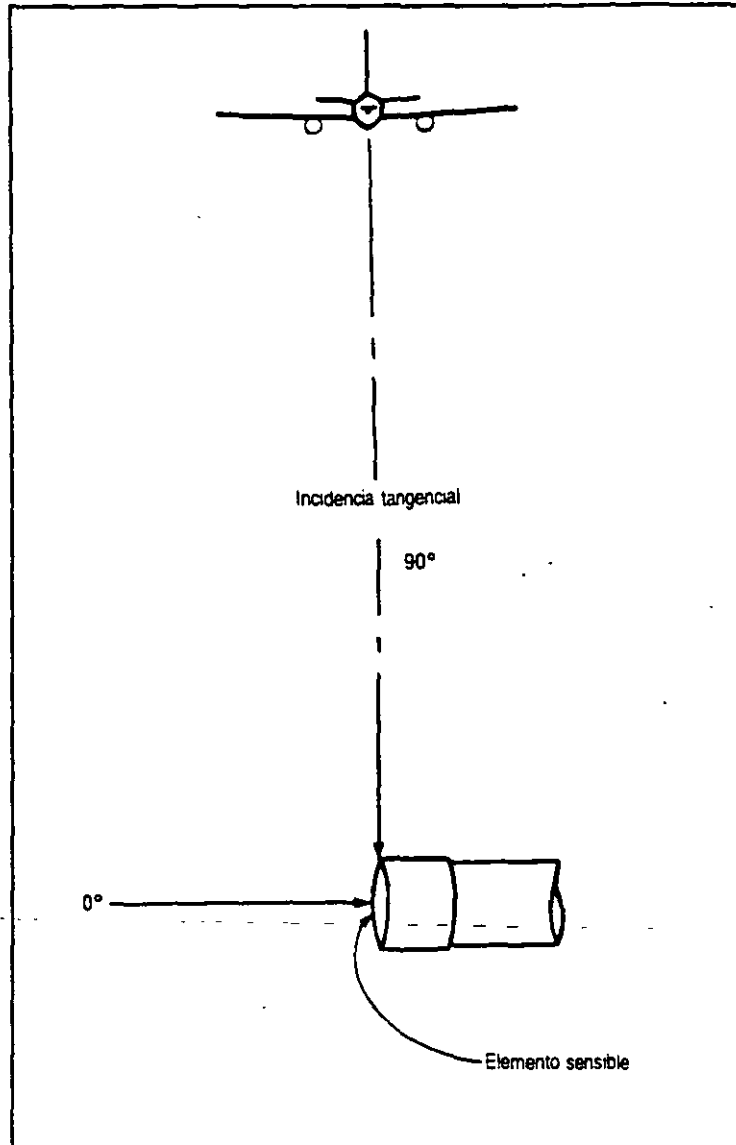


Figura 7-1. Direcciones de propagación del sonido para la incidencia tangencial

Debería añadirse a los datos medidos la corrección en campo libre para el ángulo de incidencia.

Frecuencia (Hz)	Variación de sensibilidad (dB)
de 45 a 1 120	1
de 1 120 a 2 240	1.5
de 2 240 a 4 500	2.5
de 4 500 a 7 100	4
de 7 100 a 11 200	5

*Nota.*— Si se utilizan configuraciones de micrófonos con incidencia de sonido, se aplicará una corrección adicional en campo libre a cada medio segundo de la recolección de datos.

7.2.5 La respuesta de frecuencia en campo libre del sistema microfónico en la dirección de incidencia de referencia debería quedar comprendida dentro de una envolvente que tenga los valores siguientes, como se indica en la Figura 7-3:

Gama de frecuencia (Hz)	Tolerancia (dB)
de 45 a 4 500	±1
de 4 500 a 5 600	±1.5
de 5 600 a 7 100	+1.5, -2
de 7 100 a 9 000	+1.5, -3
de 9 000 a 11 200	+2, -4

*Nota.*— Los requisitos de este párrafo pueden determinarse mediante una calibración de la respuesta de presión (que puede obtenerse por medio de un calibrador electrostático en combinación con las correcciones suministradas por el fabricante) o bien mediante una instalación anecoica en campo libre.

7.2.6 Las especificaciones relativas a la sensibilidad con respecto a ciertos factores del ambiente, tales como la temperatura, la humedad relativa y las vibraciones, deberían estar de acuerdo con las especificaciones de la Publicación 651 de la CEI.

7.2.7 Toda variación de la respuesta del sistema microfónico introducida por la pantalla para protección del viento debería incluirse como ajuste.

7.2.8 Cada sistema microfónico debería calibrarse del modo descrito en 7.5, y la corrección de la respuesta de frecuencia del sistema microfónico debería notificarse y aplicarse para determinar el nivel de ruido.

### 7.3 EQUIPO DE REGISTRO Y DE REPRODUCCIÓN

7.3.1 Debería utilizarse un equipo de registro (por ejemplo, un magnetófono), si fuera necesario, para almacenar los datos con miras a su análisis posterior. Debería demostrarse que el equipo de registro y de reproducción (inclusive la cinta) cumple con los requisitos de 7.3.2, 7.3.3, 7.3.4 y 7.3.5 a las velocidades de paso de la cinta que se utilizan para los ensayos.

7.3.2 Para los grabadores analógicos, o que tengan una salida analógica, el nivel normal de registro (es decir, a 10 dB por debajo del nivel de distorsión armónica del 3% para el registro directo, o con una diferencia de ±40% para el registro en FM), en cualquier banda de frecuencia seleccionada de tercio de octava comprendida entre 180 y 11 200 Hz, la respuesta de frecuencia corregida debería ser plana a ±0.25 dB, y en cualquier banda comprendida entre 45 y 180 Hz, la respuesta debería ser plana a ±0.75 dB.

*Nota.*— Para los grabadores digitales, el índice de muestreo debería ser, como mínimo, de 28 KHz y debería incluirse un filtro antialias.

7.3.3 Para las cintas analógicas, las fluctuaciones de amplitud de una señal sinusoidal de 1 KHz registrada en el nivel normal de grabación deberían estar comprendidas entre ±0.5 dB en todo un carrete cualquiera de cinta magnética del tipo utilizado. Para verificar esta estabilidad, se llevarán a cabo medidas mediante un dispositivo cuyas propiedades de determinación de la media sean iguales a las de la cadena de medición (véase 7.4).

*Nota.*— La cinta de grabación digital debería ser de calidad suficiente para registrar todos los datos.

7.3.4 La resolución de un magnetófono de cinta digital por encima de los 30 dB superiores de la gama dinámica especificada en 7.4.3 debería ser, como mínimo, de 0.1 dB.

7.3.5 La actuación del equipo debería ser tal que el ruido de fondo, en una banda cualquiera de tercio de octava, sea inferior por lo menos en 35 dB al nivel normal del registro (véase 7.3.2).

*Nota.*— En el caso de espectros que presenten una reducción brusca, puede resultar necesario incluir en el equipo redes apropiadas de preacentuación o de desacentuación.

7.3.6 Los atenuadores incluidos en la cadena de medición para permitir cambiar la gama de sensibilidad deberían actuar por escalones que presenten intervalos iguales en números enteros de decibels y el error entre dos reglajes cualesquiera necesarios para utilizar el equipo durante las mediciones de homologación en cuanto al ruido o para las calibraciones correspondientes, no debería exceder de 0.2 dB.

7.3.7 El equipo de registro y de reproducción debería calibrarse del modo que se describe en 7.5.

### 7.4 EQUIPO DE ANÁLISIS

7.4.1 Los datos de salida del equipo de análisis deberían consistir en niveles acústicos de banda de tercio de octava en función del tiempo, que se obtendrían procesando las mediciones del ruido (registrado) mediante:



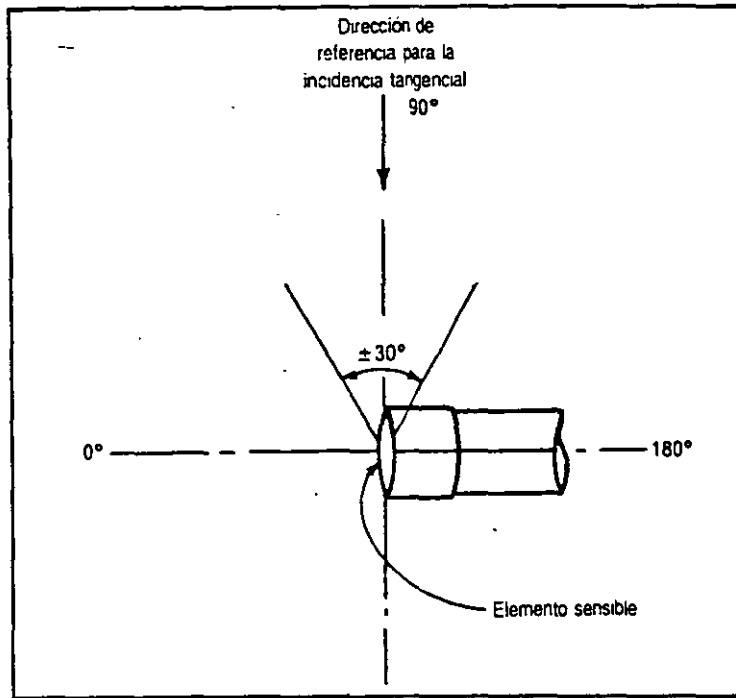


Figura 7-2. Dirección de referencia para la determinación del ángulo de incidencia para los micrófonos de incidencia tangencial

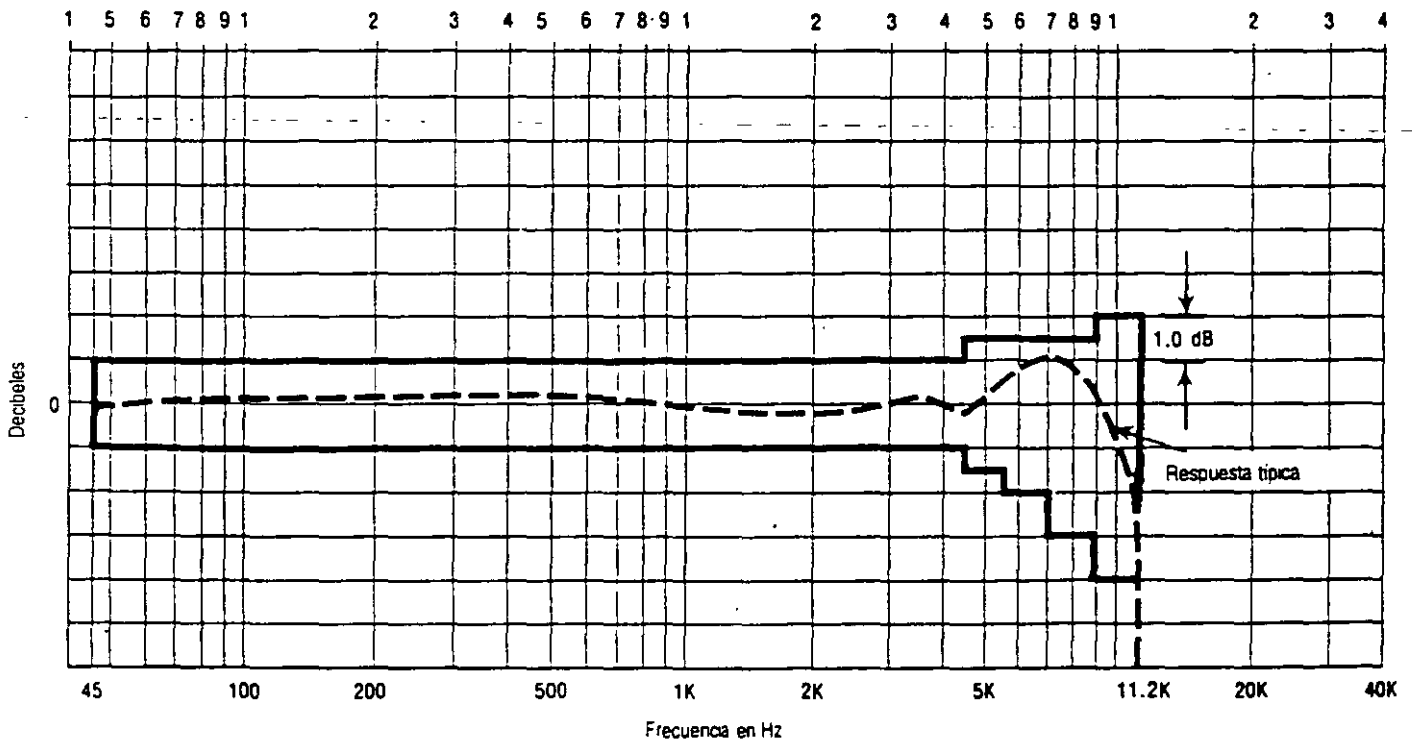


Figura 7-3. Respuesta del sistema microfónico en campo acústico libre

- a) un juego de 24 filtros de tercio de octava (o su equivalente), centrados geoméricamente en frecuencias de 50 Hz a 10 kHz,
- b) un analizador con características apropiadas de respuesta y de determinación de la media, en el cual (en principio) los datos de salida para una banda cualquiera de tercio de octava se elevan al cuadrado, se determina la media, se convierte en forma logarítmica y se registra en forma digital.

El equipo de análisis debería ajustarse a las especificaciones de 7.4.2, 7.4.3, 7.4.4, 7.4.5, 7.4.6, 7.4.7 y 7.4.8.

7.4.2 Los filtros de banda de tercio de octava deberían estar de acuerdo con las especificaciones de la Publicación 225 de la CEI. Por otro lado, la ondulación debería ser inferior a 0,5 dB. La corrección de anchura efectiva de banda que corresponde a la respuesta a la frecuencia del dispositivo de calibración acústica que se utilice (véase 7.5.5), debería determinarse para el filtro de banda de tercio de octava apropiado midiendo la respuesta del filtro a señales sinusoidales para un mínimo de 20 frecuencias equiespaciadas entre las dos frecuencias preferenciales adyacentes de tercio de octava, o utilizando procedimientos equivalentes aprobados por las autoridades de certificación.

7.4.3 Para los sistemas analógicos, el o los detectores deberían funcionar en una gama dinámica mínima de 60 dB y actuar como dispositivos que den una media cuadrática verdadera para familias de tonalidades sinusoidales con factores de cresta que alcancen hasta 3 en la gama dinámica de 0 a 30 dB por debajo de la lectura máxima, con una precisión de ±0,5 dB; la precisión debería ser de ±1 dB entre 30 y 40 dB por debajo de la lectura máxima y de ±2,5 dB para los restantes 10 dB de la gama.

La conformidad con este requisito debería determinarse mediante el método que se describe en el Apéndice A de la Publicación 651 de la CEI, aplicándose las señales cada vez directamente a la entrada del detector que corresponda.

7.4.4 La capacidad del integrador para obtener la media debería verificarse del modo siguiente: debería hacerse pasar ruido blanco por un filtro de banda de tercio de octava, centrado en la frecuencia de 200 Hz, que posea una anchura de banda estadística de 45 ±1 Hz, conectando cada vez la salida a la entrada del analizador. La desviación característica de los niveles medidos debería determinarse a partir de un gran número de muestras de ruido blanco filtrado, tomadas a intervalos de 5 s por lo menos. El valor de la desviación característica no debería ser superior a 0,48 dB y debería estar determinado con ±0,06 dB, para un nivel de confianza del 95%.

7.4.5 Para cada detector/integrador, la respuesta a una aplicación o interrupción brusca de una señal sinusoidal constante en la frecuencia central de banda de tercio de octava correspondiente, debería medirse por muestreo 0,5 s, 1 s, 1,5 s y 2 s después de la aplicación de la señal y 0,5 s y 1 s después

de su interrupción. La parte ascendente de la respuesta a 0,5 s debería ser -4 ±1 dB, a 1 s debería ser -1,75 ±0,75 dB, a 1,5 s debería ser -1 ±0,5 dB y a 2 s debería ser -0,6 ±0,5 dB con respecto al nivel de régimen estacionario. La parte descendente de la respuesta debería ser tal que la suma de lecturas en decibeles (por debajo del nivel inicial en régimen estacionario) y de la lectura correspondiente en la parte ascendente de la respuesta, sea de 6,5 ±1 dB, tanto para 0,5 s como para 1 s, y en los registros subsiguientes, la suma correspondiente a la aplicación y al amortiguamiento debe ser superior a 7,5 dB. Esto equivale a un proceso exponencial de cálculo del promedio (respuesta LENTA) con una constante de tiempo nominal de 1 s (es decir, tiempo para determinar la media de 2 s).

7.4.6 Los analizadores que aplican la integración verdadera no pueden cumplir directamente con 7.4.4 y 7.4.5 debido a que el tiempo total  $T_s$  para determinar la media es superior al intervalo  $T_s$  de muestreo (véase 7.4.8). El cumplimiento de estas disposiciones debería demostrarse en función de la salida del dispositivo de tratamiento de datos. Además, en los casos en que la lectura y la nueva puesta a punto del integrador del sistema total exijan un tiempo muerto durante la adquisición, el porcentaje de pérdida no debería ser superior al 1% del total de datos.

Cuando se utiliza un analizador con integración verdadera, esta respuesta puede obtenerse a intervalos de más de 2,5 s a partir del arranque, utilizando un proceso exponencial continuo de cálculo del promedio con la siguiente ecuación:

$$SPL(i, k) = 10 \log \{ (1-1/R) 10^{0,1L(i, k-1)} + (1/R) 10^{0,1L(i, k)} \}$$

donde  $SPL(i, k)$  es el nivel de presión acústica en el instante de orden  $k$  que se produce en el tercio de octava de orden  $i$  y donde  $R = 2,5$  para los registros de datos lineales de 0,5 s.

Como alternativa, puede determinarse una aproximación de respuesta LENTA aplicando coeficientes de ponderación a cuatro registros promedio sucesivos de datos lineales de 0,5 s y sumando estos niveles de ruido.

$$SPL(i, k) = 10 \log \{ 0,13 (10^{0,1L(i, k-3)}) + 0,21 (10^{0,1L(i, k-2)}) + 0,27 (10^{0,1L(i, k-1)}) + 0,39 (10^{0,1L(i, k)}) \}$$

Coefficientes de ponderación para simular una respuesta LENTA:

Registro actual	$L(i, k)$	0,5 s:	39%
Registro precedente	$L(i, k-1)$	0,5 s:	27%
Registro segundo	$L(i, k-2)$	0,5 s:	21%
Registro tercero	$L(i, k-3)$	0,5 s:	13%

Donde  $L(i, k)$ ,  $L(i, k-1)$ ,  $L(i, k-2)$  y  $L(i, k-3)$  son los valores de 0,5 s tal como fueron medidos por el analizador. Estos no son los valores ponderados de  $SPL(i, k)$ ,  $SPL(i, k-1)$ ,  $SPL(i, k-2)$ , que se definen en los Apéndices 1 y 2 del Anexo 16.

*Nota.*— Es necesario contar con datos de 2,5 s para iniciar el cálculo exponencial continuo, en tanto que se requieren 2 s

para la aproximación ponderada utilizando muestras de 0,5 s promediadas de datos lineales.

7.4.7 Para los analizadores digitales, deberían demostrarse los requisitos de 7.4.3, 7.4.4 y 7.4.5 insertando las señales de ensayo en la entrada del analizador y comparando la salida del analizador con dichos requisitos.

7.4.8 El intervalo  $T_s$  de muestreo entre lecturas sucesivas de los datos no debería exceder de 0,5 s y su valor preciso debería determinarse con un margen de  $\pm 1\%$ . El momento en que se caracterice una lectura debería ser 0,75 s anterior a la lectura real.

*Nota.— Es necesario establecer una definición de este instante para lograr una correlación entre el ruido registrado y la posición del avión en el momento en que se emitió ese ruido.*

7.4.9 Para lograr una precisión de conjunto adecuada, la resolución de la salida del digitalizador debería ser igual a 0,25 dB, o mejor que ese valor.

7.4.10 El equipo de análisis debería calibrarse según el método indicado en 7.5.

## 7.5 CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL SISTEMA

7.5.1 El conjunto del sistema de medición y de análisis que se utilice durante los ensayos de homologación en cuanto al ruido debería calibrarse y verificarse de manera satisfactoria para las autoridades de certificación, en momentos adecuados durante los ensayos y asimismo antes o después de los mismos, siguiendo los métodos descritos en 7.5.2, 7.5.3, 7.5.4, 7.5.5, 7.5.6 y 7.5.7.

7.5.2 Cuando el uso de un sistema microfónico del cual se conoce la respuesta de frecuencia (véase 7.2.5) permite calibrar la respuesta de frecuencia del sistema total mediante la técnica de insertar una señal de tensión, la respuesta de frecuencia del sistema eléctrico debería determinarse durante cada serie de ensayos, a un nivel que no exceda en más de 10 dB con respecto a la lectura máxima que se emplea durante los ensayos, utilizando ruido rosa pseudoaleatorio. La salida del generador de ruido debería haber sido verificada en un laboratorio aprobado de normalización, en los seis meses anteriores a la serie de ensayos; las variaciones admisibles en la salida relativa a cada banda de tercio de octava no debería exceder de 0,2 dB. Debería efectuarse un número suficiente de mediciones para garantizar que la calibración global del sistema sea conocida para cada ensayo.

Cuando un magnetófono forme parte de la cadena de medición, cada carrete de cinta magnética debería llevar con este fin, al comienzo y al final, 30 s de esta señal de calibración eléctrica. Por otro lado, los datos obtenidos a partir de señales registradas en cinta sólo deberían considerarse aceptables si la diferencia entre los niveles filtrados de banda de tercio de octava de 10 kHz para las dos señales no excede de 0,75 dB.

7.5.3 La respuesta de cada detector/integrador debería determinarse de acuerdo con 7.4.5.

7.5.4 Las actuaciones de los atenuadores incluidos por conmutación en el equipo utilizado durante las mediciones de homologación en cuanto al ruido y la calibración, deberían verificarse en cada serie de ensayos utilizando la parte más precisa de los dispositivos de lectura, con el fin de garantizar que el error máximo no exceda del poder de resolución.

7.5.5 La respuesta del conjunto del sistema electroacústico debería determinarse mediante un dispositivo de calibración acústica que dé un nivel de presión acústica conocido a una frecuencia también conocida. La salida del dispositivo de calibración acústica debería haberse verificado en un laboratorio de normalización en los seis meses anteriores a la serie de ensayos; las variaciones admisibles a la salida no deberían exceder de 0,2 dB. Para este fin se utiliza generalmente un pistófono que funcione al nivel nominal de 124 dB (referencia 20  $\mu$ Pa) y a 250 Hz. Debería efectuarse un número suficiente de mediciones durante el día de trabajo para garantizar que la respuesta del equipo sea conocida para cada ensayo.

Debería considerarse que el equipo es satisfactorio si la variación durante el período que precede y que sigue inmediatamente a cada serie de ensayos durante un día determinado, no excede de 0,5 dB.

La pérdida por inserción de la pantalla para protección del viento debería también verificarse en la gama útil de frecuencias en un laboratorio de normalización, en los seis meses anteriores a la serie de ensayos; las variaciones admisibles en la pérdida por inserción de la pantalla no deberían exceder de 0,4 dB.

La pérdida por inserción de la pantalla para protección del viento en la gama de frecuencia de 40 Hz a 12,5 kHz debería haberse determinado igualmente a satisfacción de las autoridades encargadas de la certificación.

*Nota.— La pérdida por inserción de una nueva pantalla puede obtenerse en los datos del fabricante.*

7.5.6 El ruido ambiente, que comprende a la vez el fondo sonoro y el ruido eléctrico del equipo de medición, debería registrarse en los puntos de medición en los momentos adecuados de cada día de ensayo, con la ampliación regulada al nivel utilizado para las mediciones del ruido de las aeronaves. Los datos relativos al ruido de las aeronaves sólo deberían aceptarse si los niveles de ruido ambiente, una vez analizados del mismo modo y traducidos en PNL (Anexo 16, Volumen I, Apéndice 2, 4.1.3) son inferiores por lo menos en 20 dB al PNL máximo de la aeronave. Los niveles de presión acústica de las aeronaves dentro de los puntos de atenuación de 10 dB deberían exceder de los niveles medios de ruido ambiente determinados más arriba en 3 dB como mínimo en cada banda de tercio de octava, o ser ajustados utilizando un método que cumpla con las especificaciones del Apéndice 3.

## Capítulo 8

# Control del soporte lógico del programa de computadora para la homologación en cuanto al ruido y documentación relativa a los procesos de extrapolación estática — en vuelo

### 8.1 GENERALIDADES

8.1.1 Deberían elaborarse procedimientos para el control del soporte lógico del programa de computadora, que deberían ser aprobados por las autoridades de certificación, y que cada solicitante debería mantener y a los cuales debería ajustarse utilizando "equivalencias estática — en vuelo (SFE)."

8.1.2 Los procedimientos deberían constar de cuatro elementos claves, que al ser aplicados por el solicitante de homologación en cuanto al ruido deberían permitir elaborar una documentación que describa correctamente y convalide el programa de computadora aplicable para la homologación en cuanto al ruido SFE y los datos resultantes. Durante toda la concepción de un determinado tipo de avión, la aplicación estricta de estos procedimientos permitirá descubrir los programas de computadora críticos, a fin de verificar que no se ha modificado sin fundamento el diseño inicial del soporte lógico.

8.1.3 A continuación se describen los cuatro elementos claves, a saber: el índice de configuración, procedimientos de control, la descripción del diseño y el proceso de verificación.

### 8.2 PLANES DE CONTROL DEL SOPORTE LÓGICO

#### 8.2.1 *Índice de configuración*

Debería establecerse un índice de configuración para cada sistema exclusivo de soporte lógico SFE. Incluirá todos los elementos aplicables al sistema de soporte lógico y proporcionará un rastreo histórico de los documentos y del soporte lógico bajo control. Cuando corresponda, el índice podrá mantenerse en una base general de datos.

#### 8.2.2 *Plan de control del soporte lógico*

8.2.2.1 Debería establecerse un procedimiento de gestión de las modificaciones del soporte lógico SFE que incluya la

identificación del diseño de base, el sistema de control de las modificaciones del soporte lógico, y un método para examinar y comprobar las modificaciones del soporte lógico y llevar cuenta del estado de las modificaciones.

8.2.2.2 Debería mantenerse el control de las modificaciones del soporte lógico estableciendo bases dentro del proceso de verificación (véase 8.2.4) y documentando las modificaciones del caso básico que resulten de cambios en la codificación del programa. Se establecerán procedimientos de examen y comprobación dentro del proceso de verificación, que admitan la validez de los cambios en la codificación del programa para evaluar la configuración "modificada" con relación a la configuración de base.

8.2.2.3 El índice de configuración debería actualizarse para que refleje históricamente los cambios que se introduzcan en el sistema del soporte lógico.

#### 8.2.3 *Descripción del diseño*

Debería suministrarse una descripción técnica de los métodos utilizados para dar cumplimiento a la homologación SFE, incluso un panorama descriptivo del diseño del sistema de soporte lógico para ajustarse a los requisitos técnicos. La descripción del diseño del sistema debería incluir la estructura del programa, el uso de subrutinas, el control de funcionamiento del programa y el flujo de datos.

#### 8.2.4 *Proceso de verificación*

El procedimiento de convalidación del sistema de soporte lógico SFE, o las modificaciones al mismo, deberían incluir un proceso para verificar que los cálculos descritos en la documentación son debidamente ejecutados por el soporte lógico. El proceso puede incluir cálculos manuales comparados con los resultados de la computadora, presentaciones gráficas escalonadas, comprobaciones del soporte lógico, subrutinas de diagnóstico que generan resultados de todas las variables pertinentes vinculadas con las modificaciones, u otros métodos para establecer la confianza en la integridad del soporte lógico. Los resultados del proceso deberían supervisarse y comprobarse en relación con las modificaciones en el cálculo del soporte lógico.

### 8.3 APLICABILIDAD

Aunque el plan de control del soporte lógico es aplicable a todos los soportes lógicos de programas de computadora específicos para SFE y a la documentación establecida mediante procedimientos y procesos específicos para cada

solicitante, quizá no sea necesario examinar y comprobar los soportes lógicos auxiliares (como p. ej., aunque no exclusivamente, las subrutinas relacionadas con los índices de absorción atmosférica, los cálculos de valores noy, las correcciones de tono) para cada modificación en el código fuente del programa principal.

## Referencias

1. Tester, B.J. and V.M. Szewczyk. *Jet Mixing Noise: Comparison of Measurement and Theory*. AIAA Paper 79-0570.
2. Laufer, J., R.E. Kaplan and W.T. Chu. *Noise Produced by Subsonic Jets*. 1974 Proceedings of the Second Inter-Agency Symposium on University Research in Transportation Noise, Volume I, pages 50-58.
3. Fink, M.R.. *Airframe Noise Prediction Method*. USA Dot Report FAA-RD-77-29, March 1977.
4. SAE ARP 866A-1975: *Standard Values of Atmospheric Absorption as a Function of Temperature and Humidity*.
5. SAE ARP 876C-1985: *Gas Turbine Jet Exhaust Noise Prediction*.
6. SAE AIR 1672B-1983: *Practical Methods to Obtain Free Field Sound Pressure Level from Acoustical Measurements over Ground Surfaces*.
7. SAE AIR 1846-1984: *Measurement of Noise from Gas Turbine Engines During Static Operation*.
8. SAE AIR 1905-1985: *Gas Turbine Co-axial Exhaust Flow Noise — Methods of Prediction Considered for Inclusion in SAE ARP 876*.
9. ESDU Item 80038. Amendment A: *The Correction of Measured Noise Spectra for the Effects of Ground Reflection*.

*Nota 1.— Los documentos ESDU se pueden solicitar a ESDU International Ltd., 251-259 Regent Street, Londres, W1R 7AD, Reino Unido.*

*Nota 2.— Los AIR y ARP de la SAE se pueden solicitar a la Society of Automotive Engines, Inc., 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096, Estados Unidos de América.*

# Apéndice 1

## Cálculo de los intervalos de confianza

### 1. INTRODUCCIÓN

El empleo de los diagramas NPD exige que los intervalos de confianza se calculen con ayuda de una fórmula más general que la que se utiliza para los agregados de puntos de datos. En este caso general, se tienen que calcular los intervalos de confianza a propósito de curvas de regresión elaboradas en relación con:

- a) datos de ensayos en vuelo;
- b) una combinación de datos de ensayos en vuelo y de datos de ensayos estáticos; y
- c) resultados analíticos.

Los datos b) y c) son especialmente importantes para la homologación en cuanto al ruido de una gama de modelos de aeronaves y la combinación de diferentes fuentes de variabilidad del muestreo se tiene que hacer con suma atención.

### 2. INTERVALO DE CONFIANZA RESPECTO A LA MEDIA DE LOS DATOS DE ENSAYO EN VUELO

#### 2.1 Intervalo de confianza respecto a la media de un agregado de mediciones

Si se obtienen  $n$  mediciones ( $y_1, y_2, \dots, y^n$ ) de los niveles efectivos de ruido percibido en condiciones aproximadamente idénticas y si es posible suponer que constituyen una muestra aleatoria de una población normal en la cual la media verdadera es  $\mu$  y la desviación normal verdadera es  $\sigma$ , pueden deducirse los datos estadísticos siguientes:

$$\bar{y} = \text{valor estimado de la media} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i)$$

$s$  = valor estimado de la desviación normal de la media =

$$\sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

A base de esos valores y de la distribución-t de Student, es posible calcular el intervalo de confianza respecto a la media  $\mu$  como sigue:

$$\text{intervalo de confianza} = \bar{y} \pm t_1 - \frac{\alpha}{2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

en la que  $t_1 - \frac{\alpha}{2}$  representa el percentil  $(1 - \frac{\alpha}{2})$  de la distribución-t de Student unilateral con  $n - 1$  grados de libertad (aquí  $n - 1$ ).

100 (1 -  $\alpha$ )% representa el nivel deseado de confianza del intervalo de confianza, es decir la probabilidad de que la media desconocida  $\mu$  se encuentre en el intervalo.

Cuando se trata de la homologación en cuanto al ruido, se desean intervalos de confianza del 90% y por consiguiente se utiliza  $t_{.95}$ . La Tabla 1-1 da  $t_{.95}$  en función de

#### 2.2 Intervalo de confianza en relación con la curva media obtenida por regresión

Si se obtienen  $n$  mediciones de los niveles efectivos de ruido percibido  $y_1, y_2, \dots, y_n$  respecto a los valores de los parámetros del motor  $x_1, x_2, \dots, x_n$  que varían de forma considerable, es necesario utilizar el método de los mínimos cuadrados para hallar un polinomio que corresponda a esos datos. Se supone que tiene aplicación el siguiente modelo de regresión polinómico para la media  $\mu$  del EPNL:

$$\mu = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_k x^k$$

y que el valor estimado de la curva media que pasa por los datos del EPNL es:

$$\bar{y} = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + \dots + b_k x^k$$

en la cual  $b_j$  permite calcular el correspondiente coeficiente de regresión  $\beta_j$  a partir de la muestra de datos por el método de los mínimos cuadrados, del modo que se resume a continuación.

Cada observación  $(x_i, y_i)$  satisface las ecuaciones

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 \dots \beta_k x_i^k + \varepsilon_i$$

$$= b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2 \dots b_k x_i^k + e_i$$

en las cuales  $\varepsilon_i$  y  $e_i$  representan respectivamente el error aleatorio y el error residual relacionados con el EPNL. Se supone que el error aleatorio,  $\varepsilon_i$ , es una muestra aleatoria de una población normal en la cual la media es cero y la desviación normal  $\sigma$ . El error residual,  $e_i$ , es la diferencia entre el valor medido y el valor estimado, utilizándose los coeficientes de regresión estimados y  $x_i$ , y su media cuadrática,  $s$ , es el valor estimado  $\sigma$  de la muestra.

Los cálculos se hacen para las  $n$  mediciones  $(x_i, y_i)$ .

Se forma cada vector elemental  $x_i$ , y su transpuesto  $x_i'$ :

$$x_i' = (1 \ x_i \ x_i^2 \ \dots \ x_i^k) \text{ vector de fila}$$

$$x_i = (1 \ x_i \ x_i^2 \ \dots \ x_i^k) \text{ vector de columna.}$$

Se forma una matriz  $X$  a base de todos los vectores elementales  $x_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ).

$X'$ , es la matriz transpuesta de  $X$ .

Se define la matriz  $A$  de modo que  $A = X' X$  y  $A^{-1}$  es la inversa de  $A$ .

También,  $y = (y_1 \ y_2 \ \dots \ y_n)$ .

y,  $b = (b_0 \ b_1 \ \dots \ b_k)$  y  $b$  se determina resolviendo las ecuaciones normales:

$$y = X b$$

$$X' y = X' X b = A b$$

de modo que  $b = A^{-1} X' y$

El intervalo de confianza del 90% para la media del EPNL estimado con el valor asociado del parámetro relacionado con el motor,  $x_0$ , es:

$$\bar{y}(x_0) \pm t_{.95, \nu} s \sqrt{v(x_0)} = \bar{y}(x_0) \pm t_{.95, \nu} s \ x_0 A^{-1} x_0'$$

en la que  $x_0 = (1 \ x_0 \ x_0^2 \ \dots \ x_0^k)$

$x_0'$  es el transpuesto de  $x_0$

e  $\bar{y}(x_0)$  se ha evaluado respecto a  $x_0$  utilizando la razón estimada de regresión.

$t_{.95, \nu}$  se obtiene con  $\nu = n - k - 1$  grados de libertad.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [y_i - \bar{y}(x_i)]^2}{n - k - 1}} \quad \text{es el valor estimado de } \sigma.$$

$\bar{y}(x_i)$  = EPNL, calculado utilizando la razón estimada de regresión y el valor medido  $x_i$ , del correspondiente parámetro del motor.

A los efectos de la homologación, no se recomienda utilizar los polinomios de grados superior a  $k = 2$ , a menos que esté claramente justificado ese modelo.

TABLA A1-1

Grados de libertad ( $\nu$ )	$t_{.95, (\nu)}$
1	6.314
2	2.920
3	2.353
4	2.132
5	2.015
6	1.943
7	1.895
8	1.860
9	1.833
10	1.812
12	1.782
14	1.761
16	1.746
18	1.734
20	1.725
24	1.711
30	1.697
60	1.671
$\infty$	1.645

Los valores de la distribución- $t$  de Student proporcionan la probabilidad del 95% de que el valor medio de la población,  $\mu$ , sea:

$$\mu \leq y \pm t_{.95, \nu} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

y, por consiguiente, una probabilidad del 0.90 (90%) de que:

$$\bar{y} - t_{.95, \nu} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{y} + t_{.95, \nu} \frac{s}{\sqrt{n}}$$



### 3. INTERVALO DE CONFIANZA PARA LOS DIAGRAMAS NPD ELABORADOS A BASE DE ENSAYOS ESTÁTICOS

Cuando para la homologación de familias de aeronaves se utilizan datos de ensayos estáticos, los diagramas NPD se forman combinando linealmente las regresiones de los ensayos en vuelo del modelo de base, las regresiones por extrapolación de los ensayos estáticos del modelo de base y las regresiones por extrapolación de los ensayos estáticos de los modelos derivados, de la forma siguiente:

$$EPNL_{DF} = EPNL_{BF} - EPNL_{BS} + EPNL_{DS}$$

o utilizando la anotación adoptada anteriormente

$$\bar{y}_{DF}(x_0) = \bar{y}_{BF}(x_0) - \bar{y}_{BS}(x_0) + \bar{y}_{DS}(x_0)$$

siendo:

- DF: índice para ensayos en vuelo del modelo derivado;
- BF: índice para ensayos en vuelo del modelo de base;
- BS: índice para ensayos estáticos del modelo de base; y
- DS: índice para ensayos estáticos del modelo derivado.

Los intervalos de confianza de las curvas NPD para ensayos en vuelo de los modelos derivados se obtienen combinando los tres conjuntos de datos, cada uno con su polinomio de regresión. El intervalo de confianza respecto a la media  $\mu_{DF}(x_0)$  del EPNL del modelo derivado, con el parámetro del motor  $x_0$ , es decir, para  $\mu_{DF}$  está dado por:

$$\bar{y}_{DF}(x_0) \pm t^* V_{DF}(x_0)$$

en la que  $V_{DF}(x_0) =$

$$\sqrt{[s_{BF} v_{BF}(x_0)]^2 + [s_{BS} v_{BS}(x_0)]^2 + [s_{DS} v_{DS}(x_0)]^2}$$

con  $s_{BF}$ ,  $s_{BS}$ ,  $s_{DS}$ ,  $v_{BF}(x_0)$ ,  $v_{BS}(x_0)$ , y  $v_{DS}(x_0)$  calculados tal cual se explica en 2.2 en relación con los conjuntos de datos identificados por los índices BF, BS y DS, y

$$t^* = \frac{[s_{BF} v_{BF}(x_0)]^2 t_{BF} + [s_{BS} v_{BS}(x_0)]^2 t_{BS} + [s_{DS} v_{DS}(x_0)]^2 t_{DS}}{[s_{BF} v_{BF}(x_0)]^2 + [s_{BS} v_{BS}(x_0)]^2 + [s_{DS} v_{DS}(x_0)]^2}$$

en la que  $t_{BF}$ ,  $t_{BS}$  y  $t_{DS}$  son los valores de  $t_{\alpha/2, \nu}$ , cada uno de los cuales ha sido evaluado con sus grados de libertad respectivos  $\nu_{BF}$ ,  $\nu_{BS}$  y  $\nu_{DS}$  a medida que se presentan en las regresiones correspondientes.

### 4. INTERVALO DE CONFIANZA RESPECTO A LOS DIAGRAMAS NPD ELABORADOS A BASE DE DATOS ANALÍTICOS

Es posible determinar por análisis el efecto de las variaciones de los componentes de la fuente de ruido sobre los

niveles de homologación. Esto se consigue determinando analíticamente el efecto del cambio del material en relación con el componente del ruido que genera. La variación resultante  $\Delta$  se aplica a la configuración de origen y se calculan nuevos niveles de ruido. Los cambios pueden producirse en la configuración de base o en las configuraciones derivadas posteriores. En este caso, los intervalos de confianza se calculan por el método apropiado ya indicado. Si  $\hat{\Delta}$  representa el cambio determinado analíticamente y si se supone que puede apartarse del valor verdadero desconocido  $\Delta$  por una cantidad aleatoria  $d$ , es decir, si

$$\hat{\Delta} = \Delta + d$$

en la que se supone que la distribución de  $d$  es normal con media nula y una variancia conocida  $\tau^2$ , el intervalo de confianza para  $\mu(x_0) + \Delta$  está dado por:

$$\bar{y}(x_0) + \hat{\Delta} \pm t^* V^*(x_0)$$

$$\text{en la cual } V^*(x_0) = \sqrt{V^2(x_0) + \tau^2}$$

$t^*$  tiene el mismo valor que en el párrafo precedente.

## 5. IDONEIDAD DEL MODELO

### 5.1 Elección del parámetro del motor

Es sumamente importante seleccionar el parámetro  $x$  del motor que sea más apropiado, que puede consistir en una combinación de varios parámetros más simples.

### 5.2 Elección del modelo de regresión

No se debe utilizar un modelo de regresión polinómico si se espera que es posible utilizar una relación más simple, por ejemplo,  $\mu = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3$  no debería utilizarse si se espera que la relación es de la forma  $\mu = \gamma_0 + \gamma_1 W$ , en la cual  $W = x^2$  ó  $W = x^3$ .

Conviene consultar las obras que tratan de la regresión múltiple y examinar los datos disponibles para ver si el modelo seleccionado es o no idóneo.

## 6. EJEMPLO ELABORADO DE LA DETERMINACIÓN DE LOS INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 90%, REUNIENDO TRES CONJUNTOS DE DATOS

6.1 En esta sección se presenta un ejemplo de la derivación de los intervalos de confianza del 90%, reuniendo tres conjuntos de datos.

Veamos la evaluación de los niveles de ruido de referencia para una aeronave reconvertida con motores más silenciosos. El cálculo del nivel de ruido de aproximación de referencia supone una corrección de ruido en la fuente, derivada de dos curvas de ajuste por mínimos cuadrados, que se aplica a un nivel medio de un conjunto de datos agrupados. Cada una de las tres bases de datos está constituida por datos exclusivos de esa base.

El conjunto de datos agrupados consta de seis niveles de EPNL para las condiciones de muro sólido. Estos niveles se han derivado de mediciones que se han corregido íntegramente para la condición de referencia de aproximación en muro sólido.

Las dos curvas que determinan los cambios acústicos son las curvas de regresión (en el ejemplo, las curvas de ajuste por mínimos cuadrados) para las respuestas de EPNL comparadas con las condiciones de empuje normalizado para el muro sólido y silenciadas. Estas se presentan en la Figura A1-1, junto con sus correspondientes ecuaciones.

Cada una de las dos curvas está construida a partir de todo el conjunto de puntos de datos obtenidos para cada condición durante una serie de ensayos adosados. Los ajustes por mínimos cuadrados llevan implícitas, pues, todas las incertidumbres que contiene cada conjunto de datos.

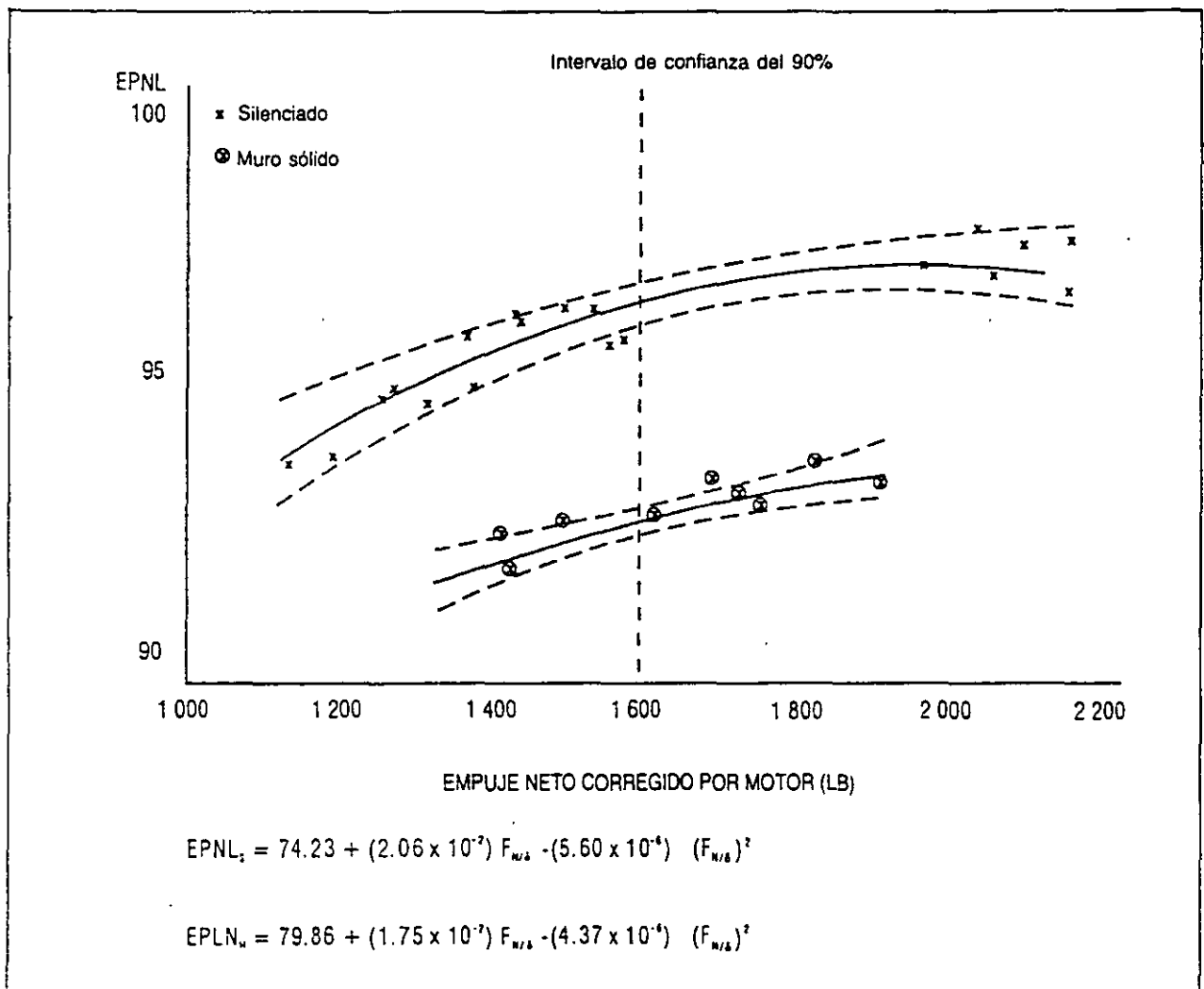


Figura A1-1. Correlación del ruido de aproximación en la fuente

Se considera que la cantidad de puntos de datos en cada uno de los tres conjuntos es lo bastante grande como para constituir una muestra estadística.

6.2 Intervalo de confianza respecto a un conjunto de datos agrupados

El intervalo de confianza para el conjunto de datos agrupados se define así:

Sea EPNL para los valores individuales de EPNL  
 n = cantidad de puntos de datos  
 t = distribución de Student para (n-1) grados de libertad luego el intervalo de confianza

$$CI = \pm t \frac{\tau}{\sqrt{n}}$$

donde  $\sigma$  (desviación normal) =

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (EPNL_i - \overline{EPNL})^2}{n-1}}$$

$$\text{donde } \overline{EPNL} = \frac{\sum_{i=1}^n EPNL_i}{n}$$

6.3 Intervalo de confianza respecto a una curva de regresión

Los intervalos de confianza para los dos conjuntos de datos que constituyen la corrección del ruido en la fuente se obtienen así:

Las ecuaciones para cada una de las dos curvas de regresión que determinan la corrección del ruido durante el vuelo tienen la forma general:

$$EPNL = A + A_1 X_0 + A_2 X_0^2$$

donde  $X_0$  = empuje normalizado ( $F_{N0}$ )

Los índices de regresión asociados con cada una de las dos ecuaciones se calculan (generalmente mediante soluciones de matriz de computadora) a partir de vectores  $X_0'$  y  $X_0$  definidos así para una cuadrática:

$$X_0' = [1 \ x_0 \ x_0^2]$$

$$X_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ x_0 \\ x_0^2 \end{bmatrix}$$

y la matriz varianza/covarianza (3 x 3) dada por  $(\sigma')^2 A^{-1}$  se define como:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (EPNL_i)^2}{(n-K-1)}}$$

donde  $(\Delta EPNL)_i$  = la diferencia entre el valor individual de EPNL en su valor asociado de  $F_{N0}$ ,  $x_i$ , y el valor de EPNL derivado del polinomio de ajuste por mínimos cuadrados para  $x_0 = x_i$

n = cantidad de puntos de datos

K = grado de ajuste polinomial (K=2 para una cuadrática)

y los coeficientes de la matricial  $A^{-1}$  resultantes de las ecuaciones normalizadas empleadas para obtener el ajuste por mínimos cuadrados.

El intervalo de confianza del 90% se define entonces así:

$$CI_{90} = \pm t \sigma' (X_0' A^{-1} X_0)^{1/2}$$

donde t = distribución de Student para la confianza del 90% correspondiente a (n-K-1) grados de libertad.

6.4 Intervalo de confianza para el conjunto de datos reunidos

El intervalo de confianza asociado con la reunión de los tres conjuntos de datos se define así:

$$\text{donde } Z_i = CI_i/t_i$$

(donde  $CI_i$  = intervalo de confianza para el conjunto de datos de orden i y  $t_i$  = término de Student para el conjunto de datos de orden i)

$$\text{intervalo de confianza } CI = \pm T \left( \sum_{i=1}^3 (Z_i)^2 \right)^{1/2}$$

$$y T = \frac{\sum_{i=1}^3 (Z_i)^2 t_i}{\sum_{i=1}^3 (Z_i)^2}$$

6.5 Ejemplo elaborado

Para el conjunto de datos reunidos, el intervalo de confianza del 90% y la cantidad de puntos de datos son los siguientes:

$$CI_c = 0.3904 \quad n_c = 6$$

Tabla A1-2. Ejemplo de cálculo del intervalo de confianza

	Ecuación	Dato	Muro sólido	Silenciado
Empuje de referencia	$F_{N/6}$		1 600	
Intervalo de confianza del 90%	CI	0.3904	0.4822	0.2871
Cantidad de puntos de datos	n	6	23	9
Orden de ajuste de la curva	K	2	0	2
Cantidad de grados de libertad	n-K-1	5	20	6
t de Student's (para un CI del 90%)	t	2.015	1.725	1.943
Z	CI/t	0.1938	0.2795	0.1478
Z <sup>2</sup>	(CI/t) <sup>2</sup>	0.0375	0.0781	0.0218
T	$\frac{\sum (Z^2 t)}{\sum (Z^2)}$		1.8388	
CI	$T \sqrt{\sum (Z^2)}$		0.6819	

Para un conjunto de datos reunidos tenemos N-1 grados de libertad. La correspondiente distribución de Student para una confianza del 90% es por lo tanto

$$t_0 = 2.015$$

Para las dos curvas de regresión presentadas en la Figura A1-1. la cantidad de puntos de datos,  $n_H$  y  $n_S$  y los intervalos de confianza del 90% al empuje de referencia apropiado de 1 600 lb.  $CI_H$  y  $CI_S$ , para los ensayos de muro sólido y con silenciador son los siguientes:

$$CI_H = 0.4822 \quad n_H = 23$$

$$CI_S = 0.2871 \quad n_S = 9$$

Ambos ajustes de curva son de segundo orden, y por lo tanto la cantidad de grados de libertad para cada conjunto de datos, y la correspondiente distribución de Student para una confianza del 90% son los siguientes:

Para  $n_H = 23$  tenemos 20 grados de libertad y  $t_H = 1.725$

Para  $n_S = 9$  tenemos 6 grados de libertad y  $t_S = 1.943$

Ahora bien, el intervalo de confianza para la reunión de los tres conjuntos de datos está dado por

$$\text{Intervalo de confianza} = \pm T' [(Z_C)^2 + (Z_H)^2 + (Z_S)^2]^{1/2}$$

donde  $Z_C = CI_C/t_C$

$$Z_H = CI_H/t_H$$

$$Z_S = CI_S/t_S$$

$$y T' = \frac{(Z_C)^2 t_C + (Z_H)^2 t_H + (Z_S)^2 t_S}{(Z_C)^2 + (Z_H)^2 + (Z_S)^2}$$

Tenemos  $\frac{CI_C}{t_C} = \frac{0.3904}{2.015} = 0.19375$

$$\frac{CI_H}{t_H} = \frac{0.4822}{1.725} = 0.27954$$

$$\frac{CI_S}{t_S} = \frac{0.2871}{1.943} = 0.14776$$

Por lo tanto, el intervalo de confianza del 90% para el conjunto de datos combinados está dado por:

$$\frac{[(0.19375)^2 \times 2.015] + [(0.27954)^2 \times 1.725] + [(0.14776)^2 \times 1.943]}{0.19375^2 + 0.27954^2 + 0.14776^2}$$

$$\times (0.19375^2 + 0.27954^2 + 0.14776^2)^{1/2}$$

lo cual equivale a **0.68**

En la Tabla A1-2 se indican las diversas etapas de cálculo del intervalo de confianza

## REFERENCIAS

- Cochran, W.G., "Approximate Significance Levels of the Behrens-Fisher Test", *Biometrics*, 20, 191-195, 1964.
- Kendall, M.G. and Stuart, A., *The Advanced Theory of Statistics*. Volumes 1 and 2. Hafner, New York, 1973.
- Rose, D.M., and Scholz, F.W., *Statistical Analysis of Cumulative Shipper-Receiver Data*, NUREG/CR-2819, Division of Facility Operations, Office of Nuclear Regulatory Research, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., 20555, NRC FIN B1076, 1983.
- Snedecor, G.W. and Cochran, W.G., *Statistical Methods*, 6th ed., The Iowa State University Press, Ames Iowa, 1968.
-

## Apéndice 2

### Identificación de las irregularidades espectrales

#### 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Las irregularidades espectrales que no proceden de fuentes de ruido de la aeronave pueden dar lugar a correcciones por tono cuando se aplican los procedimientos previstos en el Anexo 16, Volumen I, 4.3 de los Apéndices 1 y 2. Estas irregularidades espectrales pueden ser debidas a lo siguiente:

- a) a la interferencia entre la energía sonora reflejada por el suelo por debajo del micrófono colocado a 1.2 m de altura y la energía sonora procedente directamente de la aeronave. Los efectos de intensificación y supresión debidos a este tipo de interferencia son especialmente importantes a bajas frecuencias, particularmente entre 100 Hz y 200 Hz, y disminuyen a medida que la frecuencia aumenta. Las crestas localizadas que se observan en el espectro de tercio de octava de esas señales se llaman seudotonos. Por encima de 800 Hz, esa interferencia es generalmente insuficiente para tener que hacer una corrección por tono según los procedimientos del Anexo 16, Volumen I;
- b) a pequeñas perturbaciones de la propagación del ruido de la aeronave cuando se analiza con filtros de anchura de banda de tercio de octava; y
- c) a las correcciones y ajustes efectuados al procesar los datos, por ejemplo, para tener en cuenta el ruido de fondo y la atenuación atmosférica. En este último caso, los coeficientes de atenuación atmosférica ( $\alpha$ ) indicados en la Recomendación ARP 866A se tienen que aplicar a la frecuencia central de la banda de tercio de octava a 4 kHz, mientras que a 5 kHz se tienen que aplicar a la frecuencia inferior de la banda de tercio de octava. A veces, esta diferencia es suficiente para motivar la corrección por tono.

1.2 Se incluye un factor de corrección por tono al hacer el cálculo del EPNL para tener en cuenta la reacción subjetiva debida a la presencia de irregularidades espectrales pronunciadas. Los tonos generados por las fuentes de ruido de la aeronave son aquellos por los que conviene aplicar los factores de corrección. Pueden ignorarse los factores de corrección por tono resultantes de irregularidades espectrales, es decir, los tonos falsos producidos por alguna de las causas mencionadas.

Este Apéndice describe los métodos que se han aprobado para detectar y suprimir los efectos de esas irregularidades espectrales. Sin embargo, corresponde a las autoridades de certificación aprobar el empleo de cualquiera de esos métodos.

#### 2. MÉTODOS PARA IDENTIFICAR LOS TONOS FALSOS

##### 2.1 Seguimiento de las frecuencias

El seguimiento de las frecuencias del ruido de sobrevuelo es útil para descubrir las irregularidades espectrales. La frecuencia observada de las fuentes de ruido del avión decrece continuamente en el transcurso del sobrevuelo debido al desplazamiento Doppler de la frecuencia,  $f_{DOP}$  siendo:

$$f_{DOP} = \frac{f}{1 - M \cos \lambda}$$

en la que:  $f$  es la frecuencia del ruido en la fuente;  
 $M$  es el número de Mach del avión; y  
 $\lambda$  es el ángulo formado por la trayectoria de vuelo (en el sentido del vuelo) y la recta que, al momento de la emisión, une la fuente con el observador.

Los efectos de reflexión en el espectro, es decir los seudotonos, consisten en un aumento de frecuencia antes de que el avión pase por el punto más cercano al micrófono, ya sea en sobrevuelo, ya sea lateralmente, y en una disminución a partir de dicho punto. Las irregularidades espectrales atribuibles a las perturbaciones de propagación del ruido entre el avión y el micrófono tienden a ser aleatorias, cosa que las distingue del efecto Doppler. Estas características diferentes pueden servir para separar los tonos emitidos por la fuente, de los falsos.

##### 2.2 Análisis de banda estrecha

El análisis de banda estrecha con filtros cuya anchura de banda sea inferior a un tercio de octava, es útil para determinar los tonos falsos. Por ejemplo, si el análisis se hace de forma que los niveles de ruido espectrales en un caso se presentan en función de la intensidad de la imagen sobre una línea, el

análisis del conjunto del sobrevuelo permite distinguir claramente los tonos producidos por el avión, con el efecto Doppler, y los atribuibles a la reflexión descrita en 2.1.

### 2.3 *Altura del micrófono*

La comparación del espectro de mediciones de tercio de octava obtenidas con un micrófono emplazado a 1,2 m de altura y de los datos obtenidos con un micrófono cercano montado a ras de tierra en una superficie dura reflejante, configuración que se describe en 4.4 del Apéndice 6 del Anexo 16, Volumen I, o a una altura netamente superior a 1,2 m, por ejemplo 10 m permiten igualmente identificar los tonos falsos. Los cambios de altura del micrófono alteran las irregularidades espectrales debidas a interferencia, que serían distintas a las del micrófono situado a 1,2 m de altura y la comparación entre estos dos

conjuntos de datos simultáneos permite distinguir los tonos producidos por la fuente de los falsos.

### 2.4 *Inspección de la evolución en el tiempo de los datos de ruido*

Las irregularidades espectrales que dimanar de las correcciones o ajustes de los datos descritos en b) se producen en la gama de frecuencias comprendida entre 1 y 10 kHz, y las correcciones por tonos falsos varían normalmente de 0,2 a 0,6 dB. Si la evolución en el tiempo de los niveles de ruido percibido (PNL) y de los PNLT presenta diferencias constantes de nivel, esto indica con frecuencia la presencia de correcciones por tonos falsos. Los análisis complementarios de banda estrecha pueden ser útiles para demostrar que esas correcciones por tono no son atribuibles al ruido generado por el avión.

## Apéndice 3

### Procedimiento para suprimir los efectos del ruido ambiental de los datos del ruido de los aviones

#### 1. INTRODUCCIÓN

1.1 La información que sigue sirve de texto de orientación para las autoridades de certificación, en relación con el método que hay que utilizar para eliminar los efectos del ruido ambiente de los datos del ruido de los aviones.

1.2 Este método no es el único que se puede utilizar, y en algunos casos se pueden hacer modificaciones, pero la aprobación de su utilización, en la forma actual o modificada, queda a criterio de las autoridades encargadas de la homologación.

#### 2. MÉTODO DE CORRECCIÓN

2.1 Los niveles de presión acústica del avión en el intervalo de 10 dB de atenuación deberían exceder de los niveles medios de ruido ambiente, antes determinados, por lo menos en 3 dB en cada banda de tercio de octava, o deberían corregirse por el método que sigue u otro análogo.

a) Se establece una distinción entre el ruido predetectado y el ruido postdetectado, es decir:

1) se llama ruido predetectado todo ruido cuya energía se añade a la del ruido registrado, por ejemplo las señales de ruido de fondo exterior;

2) se llama ruido postdetectado todo ruido que no se añade al registrado pero que lo enmascara, como el que se produciría por la "ventana" de nivel inferior del analizador de señales.

b) En relación con la gama de frecuencias del ruido predetectado, se sustrae la energía del ruido de fondo de la del ruido analizado:

1) a la frecuencia de 630 Hz e inferiores, si el nivel de ruido analizado no se aparta en más de 3 dB del nivel

de ruido de fondo predetectado (banda enmascarada), el ruido corregido del avión se considera como igual al nivel de ruido de fondo predetectado. Si el nivel de ruido analizado es inferior al nivel de ruido de fondo, no es necesario hacer corrección alguna;

2) a frecuencias superiores a 630 Hz, si el nivel de ruido analizado no se aparta en más de 3 dB del nivel de ruido predetectado, este nivel también se considera "enmascarado" y se corrige tal cual se ha indicado en d), e) y f).

c) Las bandas restantes dentro de una gama de frecuencias del ruido de fondo postdetectado, no se corrigen, a menos que no difieran en más de 3 dB del ruido post-detectado, en cuyo caso se consideran "enmascaradas".

d) El espectro "medido" se normaliza a las condiciones del día de referencia (25°C, 70% humedad relativa) y a una distancia de 60 m de la fuente.

e) En cuanto a las bandas de alta frecuencia "enmascaradas" a 60 m, se hace una extrapolación lineal a partir de la banda de frecuencia "sin enmascarar" de 0 dB por tercio de octava, o una pendiente más pronunciada si se deriva de datos medidos.

f) El espectro normalizado luego se convierte de nuevo a las distancias "medidas" y a las condiciones atmosféricas.

*Nota.— Si las bandas "enmascaradas" de ruidos predetectados o postdetectados se hallan entre dos bandas "sin enmascarar", no es necesario hacer corrección alguna.*

2.2 El procedimiento que sigue se aplica a los resultados de las mediciones si más de siete bandas de tercio de octava consecutivas están enmascaradas durante un periodo de medición.



Las correcciones por extrapolación temporal se aplican a las frecuencias superiores a 630 Hz, teniendo en cuenta la distancia de propagación (divergencia esférica y atenuación atmosférica), relativa a la primera medición no enmascarada del nivel de presión acústica (aproximándose) a la última (alejándose) en la banda de un tercio de octava objeto de corrección.

Cabe suponer que las características de la fuente, en cada banda de frecuencias enmascaradas, son:

- a) direccionales, cuando los resultados de los ensayos presentados por el solicitante justifican esa suposición, o cuando no existen tales datos;
- b) omnidireccionales en los demás casos.

## **Apéndice 4**

### **Tablas y cifras de referencia utilizadas en el Manual Cálculo del nivel efectivo de ruido percibido**

Este apéndice contiene material útil para el cálculo manual del nivel efectivo de ruido percibido. Esos cálculos manuales suelen ser necesarios para verificar la exactitud de los programas de computadora utilizados para calcular los niveles de ruido para la homologación.

Tabla A4-1. Ruidosidad percibida (valores noy) en función del nivel de presión acústica

Frecuencias centrales de las bandas de tercio de octava (Hz)

SPL	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000		
4																			0,10							
5																			0,10	0,11	0,10					
6																			0,11	0,12	0,11	0,10				
7																			0,12	0,14	0,13	0,11				
8																			0,14	0,16	0,14	0,13				
9																		0,10	0,16	0,17	0,16	0,14				
10																			0,11	0,17	0,19	0,18	0,16	0,10		
11																			0,13	0,19	0,22	0,21	0,18	0,12		
12																		0,10	0,14	0,22	0,24	0,24	0,21	0,14		
13																		0,11	0,16	0,24	0,27	0,27	0,24	0,16		
14																		0,13	0,18	0,27	0,30	0,30	0,27	0,19		
15															0,10	0,14	0,21	0,30	0,33	0,33	0,30	0,22				
16										0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,16	0,24	0,33	0,35	0,35	0,33	0,26				
17										0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,13	0,18	0,27	0,35	0,38	0,38	0,35	0,30	0,10			
18									0,10	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,15	0,21	0,30	0,38	0,41	0,41	0,38	0,33	0,12			
19									0,11	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,17	0,24	0,33	0,41	0,45	0,45	0,41	0,36	0,14			
20										0,13	0,16	0,16	0,16	0,16	0,20	0,27	0,36	0,45	0,49	0,49	0,45	0,39	0,17			
21								0,10	0,14	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,23	0,30	0,39	0,49	0,53	0,53	0,49	0,42	0,21	0,10		
22								0,11	0,16	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,26	0,33	0,42	0,53	0,57	0,57	0,53	0,46	0,25	0,11		
23								0,13	0,18	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,30	0,36	0,46	0,57	0,62	0,62	0,57	0,50	0,30	0,13		
24							0,10	0,14	0,21	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,33	0,40	0,50	0,62	0,67	0,67	0,62	0,55	0,33	0,15		
25								0,11	0,16	0,24	0,30	0,30	0,30	0,30	0,35	0,43	0,55	0,67	0,73	0,73	0,67	0,60	0,36	0,17		
26								0,13	0,18	0,27	0,33	0,33	0,33	0,33	0,38	0,48	0,60	0,73	0,79	0,79	0,73	0,65	0,39	0,20		
27						0,10	0,14	0,21	0,30	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,41	0,52	0,65	0,79	0,85	0,85	0,79	0,71	0,42	0,23		
28						0,11	0,16	0,24	0,33	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,45	0,57	0,71	0,85	0,92	0,92	0,85	0,77	0,46	0,26		
29						0,13	0,18	0,27	0,35	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,49	0,63	0,77	0,92	1,00	1,00	0,92	0,84	0,50	0,30		
30				0,10	0,14	0,21	0,30	0,38	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,53	0,69	0,84	1,00	1,07	1,07	1,00	0,92	0,55	0,33			
31				0,11	0,16	0,24	0,33	0,41	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,57	0,76	0,93	1,07	1,15	1,15	1,07	1,00	0,60	0,37			
32				0,13	0,18	0,27	0,36	0,45	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,62	0,83	1,00	1,15	1,23	1,23	1,15	1,07	0,65	0,41			
33				0,14	0,21	0,30	0,39	0,49	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,67	0,91	1,07	1,23	1,32	1,32	1,23	1,15	0,71	0,45			
34			0,10	0,16	0,24	0,33	0,42	0,53	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,73	1,00	1,15	1,32	1,41	1,41	1,32	1,23	0,77	0,50			
35				0,11	0,18	0,27	0,36	0,46	0,57	0,67	0,67	0,67	0,67	0,79	1,07	1,23	1,41	1,51	1,51	1,41	1,32	0,84	0,35			
36				0,13	0,21	0,30	0,40	0,50	0,62	0,73	0,73	0,73	0,73	0,85	1,15	1,32	1,51	1,62	1,62	1,51	1,41	0,92	0,61			
37				0,15	0,24	0,33	0,43	0,55	0,67	0,79	0,79	0,79	0,79	0,92	1,23	1,41	1,62	1,74	1,74	1,62	1,51	1,00	0,67			
38				0,17	0,27	0,37	0,48	0,60	0,73	0,85	0,85	0,85	0,85	1,00	1,32	1,51	1,74	1,86	1,86	1,74	1,62	1,10	0,74			
39			0,10	0,20	0,30	0,41	0,52	0,65	0,79	0,92	0,92	0,92	0,92	1,07	1,41	1,62	1,86	1,99	1,99	1,86	1,74	1,21	0,82			
40				0,12	0,23	0,33	0,45	0,57	0,71	0,85	1,00	1,00	1,00	1,15	1,51	1,74	1,99	2,14	2,14	1,99	1,86	1,34	0,90			
41				0,14	0,26	0,37	0,50	0,63	0,77	0,92	1,07	1,07	1,07	1,23	1,62	1,86	2,14	2,29	2,29	2,14	1,99	1,48	1,00			
42				0,16	0,30	0,41	0,55	0,69	0,84	1,00	1,15	1,15	1,15	1,32	1,74	1,99	2,29	2,45	2,45	2,29	2,14	1,63	1,10			
43				0,19	0,33	0,45	0,61	0,76	0,92	1,07	1,23	1,23	1,23	1,41	1,86	2,14	2,45	2,63	2,63	2,45	2,29	1,79	1,21			
44		0,10	0,22	0,37	0,50	0,67	0,83	1,00	1,15	1,32	1,32	1,32	1,32	1,52	1,99	2,29	2,63	2,81	2,81	2,63	2,45	1,99	1,34			
45			0,12	0,26	0,42	0,55	0,74	0,91	1,08	1,24	1,41	1,41	1,41	1,62	2,14	2,45	2,81	3,02	3,02	2,81	2,63	2,14	1,48			
46			0,14	0,30	0,46	0,61	0,82	1,00	1,16	1,33	1,52	1,52	1,52	1,74	2,29	2,63	3,02	3,23	3,23	3,02	2,81	2,29	1,63			
47			0,16	0,34	0,52	0,67	0,90	1,08	1,25	1,42	1,62	1,62	1,62	1,87	2,45	2,81	3,23	3,46	3,46	3,23	3,02	2,45	1,79			
48			0,19	0,38	0,58	0,74	1,00	1,17	1,34	1,53	1,74	1,74	1,74	2,00	2,63	3,02	3,46	3,71	3,71	3,46	3,23	2,63	1,98			
49	0,10	0,22	0,43	0,65	0,82	1,08	1,26	1,45	1,64	1,87	1,87	1,87	1,87	2,14	2,81	3,23	3,71	3,97	3,97	3,71	3,46	2,81	2,18			
50	0,12	0,26	0,49	0,72	0,90	1,17	1,36	1,56	1,76	2,00	2,00	2,00	2,00	2,30	3,02	3,46	3,97	4,26	4,26	3,97	3,71	3,02	2,40			
51	0,14	0,30	0,55	0,80	1,00	1,26	1,47	1,68	1,89	2,14	2,14	2,14	2,14	2,46	3,23	3,71	4,26	4,56	4,56	4,26	3,97	3,23	2,63			
52	0,17	0,34	0,62	0,90	1,08	1,36	1,58	1,80	2,03	2,30	2,30	2,30	2,30	2,64	3,46	3,97	4,56	4,89	4,89	4,56	4,26	3,46	2,81			
53	0,21	0,39	0,70	1,00	1,18	1,47	1,71	1,94	2,17	2,46	2,46	2,46	2,46	2,83	3,71	4,26	4,89	5,24	5,24	4,89	4,56	3,71	3,02			
54	0,25	0,45	0,79	1,09	1,28	1,58	1,85	2,09	2,33	2,64	2,64	2,64	2,64	3,03	3,97	4,56	5,24	5,61	5,61	5,24	4,89	3,97	3,23			
55	0,30	0,51	0,89	1,15	1,35	1,71	2,00	2,25	2,50	2,83	2,83	2,83	2,83	3,25	4,26	4,89	5,61	6,01	6,01	5,61	5,24	4,26	3,46			
56	0,34	0,59	1,00	1,29	1,50	1,85	2,15	2,42	2,69	3,03	3,03	3,03	3,03	3,48	4,56	5,24	6,01	6,44	6,44	6,01	5,61	4,56	3,71			
57	0,39	0,67	1,09	1,40	1,63	2,00	2,33	2,61	2,88	3,25	3,25	3,25	3,25	3,73	4,89	5,61	6,44	6,90	6,90	6,44	6,01	4,89	3,97			
58	0,45	0,77	1,18	1,53	1,77	2,15	2,51	2,81	3,10	3,48	3,48	3,48	3,48	4,00	5,24	6,01	6,90	7,39	7,39	6,90	6,44	5,24	4,26			
59	0,51	0,87	1,29	1,66	1,92	2,33	2,71	3,03	3,32	3,73	3,73	3,73	3,73	4,29	5,61	6,44	7,39	7,92	7,92	7,39	6,90	5,61	4,56			

Frecuencias centrales de las bandas de tercio de octava (Hz)

SPL	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
60	0,59	1,00	1,40	1,81	2,08	2,51	2,93	3,26	3,57	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,59	6,01	6,90	7,92	8,49	8,49	7,92	7,39	6,01	4,89
61	0,67	1,10	1,53	1,97	2,26	2,71	3,16	3,51	3,83	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,92	6,44	7,39	8,49	9,09	9,09	8,49	7,92	6,44	5,24
62	0,77	1,21	1,66	2,15	2,45	2,93	3,41	3,78	4,11	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59	5,28	6,90	7,92	9,09	9,74	9,74	9,09	8,49	6,90	5,61
63	0,87	1,32	1,81	2,34	2,65	3,16	3,69	4,06	4,41	4,92	4,92	4,92	4,92	4,92	5,66	7,39	8,49	9,74	10,4	10,4	9,74	9,09	7,39	6,01
64	1,00	1,45	1,97	2,54	2,88	3,41	3,98	4,38	4,73	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28	6,06	7,92	9,09	10,4	11,2	11,2	10,4	9,74	7,92	6,44
65	1,11	1,60	2,15	2,77	3,12	3,69	4,30	4,71	5,08	5,66	5,66	5,66	5,66	5,66	6,50	8,49	9,74	11,2	12,0	12,0	11,2	10,4	8,49	6,90
66	1,22	1,75	2,34	3,01	3,39	3,99	4,64	5,07	5,45	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	6,96	9,09	10,4	12,0	12,8	12,8	12,0	11,2	9,09	7,39
67	1,35	1,92	2,54	3,28	3,68	4,30	5,01	5,46	5,85	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	7,46	9,74	11,2	12,8	13,8	13,8	12,8	12,0	9,74	7,92
68	1,49	2,11	2,77	3,57	3,99	4,64	5,41	5,88	6,27	6,96	6,96	6,96	6,96	6,96	8,00	10,4	12,0	13,8	14,7	14,7	13,8	12,8	10,4	8,49
69	1,65	2,32	3,01	3,86	4,33	5,01	5,84	6,33	6,73	7,46	7,46	7,46	7,46	7,46	8,57	11,2	12,8	14,7	15,8	15,8	14,7	13,8	11,2	9,09
70	1,82	2,55	3,28	4,22	4,69	5,41	6,31	6,81	7,23	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	9,19	12,0	13,8	15,8	16,9	16,9	15,8	14,7	12,0	9,74
71	2,02	2,79	3,57	4,60	5,09	5,84	6,81	7,33	7,75	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	9,85	12,8	14,7	16,9	18,1	18,1	16,9	15,8	12,8	10,4
72	2,23	3,07	3,88	5,01	5,52	6,31	7,36	7,90	8,32	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	10,6	13,8	15,8	18,1	19,4	19,4	18,1	16,9	13,8	11,2
73	2,46	3,37	4,23	5,45	5,99	6,81	7,94	8,50	8,93	9,85	9,85	9,85	9,85	9,85	11,3	14,7	16,9	19,4	20,8	20,8	19,4	18,1	14,7	12,0
74	2,72	3,70	4,60	5,94	6,50	7,36	8,57	9,15	9,59	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	12,1	15,8	18,1	20,8	22,3	22,3	20,8	19,4	15,8	12,8
75	3,01	4,06	5,01	6,46	7,05	7,94	9,19	9,85	10,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	13,0	16,9	19,4	22,3	23,9	23,9	22,3	20,8	16,9	13,8
76	3,32	4,46	5,45	7,03	7,65	8,57	9,85	10,6	11,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	13,9	18,1	20,8	23,9	25,6	25,6	23,9	22,3	18,1	14,7
77	3,67	4,89	5,94	7,66	8,29	9,19	10,6	11,3	11,8	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	14,9	19,4	22,3	25,6	27,4	27,4	25,6	23,9	19,4	15,8
78	4,06	5,37	6,46	8,33	9,00	9,85	11,3	12,1	12,7	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	16,0	20,8	23,9	27,4	29,4	29,4	27,4	25,6	20,8	16,9
79	4,49	5,90	7,03	9,07	9,76	10,6	12,1	13,0	13,6	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	17,1	22,3	25,6	29,4	31,5	31,5	29,4	27,4	22,3	18,1
80	4,96	6,48	7,66	9,85	10,6	11,3	13,0	13,9	14,6	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	18,4	23,9	27,4	31,5	33,7	33,7	31,5	29,4	23,9	19,4
81	5,48	7,11	8,33	10,6	11,3	12,1	13,9	14,9	15,7	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	19,7	25,6	29,4	33,7	36,1	36,1	33,7	31,5	25,6	20,8
82	6,06	7,81	9,07	11,3	12,1	13,0	14,9	16,0	16,9	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	21,1	27,4	31,5	36,1	38,7	38,7	36,1	33,7	27,4	22,3
83	6,70	8,57	9,87	12,1	13,0	13,9	16,0	17,1	18,1	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	22,6	29,4	33,7	38,7	41,5	41,5	38,7	36,1	29,4	23,9
84	7,41	9,41	10,7	13,0	13,9	14,9	17,1	18,4	19,4	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	24,3	31,5	36,1	41,5	44,4	44,4	41,5	38,7	31,5	25,6
85	8,19	10,3	11,7	13,9	14,9	16,0	18,4	19,7	20,8	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	26,0	33,7	38,7	44,4	47,6	47,6	44,4	41,5	33,7	27,4
86	9,05	11,3	12,7	14,9	16,0	17,1	19,7	21,1	22,4	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	27,9	36,1	41,5	47,6	51,0	51,0	47,6	44,4	36,1	29,4
87	10,0	12,1	13,9	16,0	17,1	18,4	21,1	22,6	24,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	29,9	38,7	44,4	51,0	54,7	54,7	51,0	47,6	38,7	31,5
88	11,1	13,0	14,9	17,1	18,4	19,7	22,6	24,3	25,8	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9	32,0	41,5	47,6	54,7	58,6	58,6	54,7	51,0	41,5	33,7
89	12,2	13,9	16,0	18,4	19,7	21,1	24,3	26,0	27,7	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	34,3	44,4	51,0	58,6	62,7	62,7	58,6	54,7	44,4	36,1
90	13,5	14,9	17,1	19,7	21,1	22,6	26,0	27,9	29,7	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	36,8	47,6	54,7	62,7	67,2	67,2	62,7	58,6	47,6	38,7
91	14,9	16,0	18,4	21,1	22,6	24,3	27,9	29,9	31,8	34,3	34,3	34,3	34,3	34,3	39,4	51,0	58,6	67,2	72,0	72,0	67,2	62,7	51,0	41,5
92	16,0	17,1	19,7	22,6	24,3	26,0	29,9	32,0	34,2	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	42,2	54,7	62,7	72,0	77,2	77,2	72,0	67,2	54,7	44,4
93	17,1	18,4	21,1	24,3	26,0	27,9	32,0	34,3	36,7	39,4	39,4	39,4	39,4	39,4	45,3	58,6	67,2	77,2	82,7	82,7	77,2	72,0	58,6	47,6
94	18,4	19,7	22,6	26,0	27,9	29,9	34,3	36,8	39,4	42,2	42,2	42,2	42,2	42,2	48,5	62,7	72,0	82,7	88,6	88,6	82,7	77,2	62,7	51,0
95	19,7	21,1	24,3	27,9	29,9	32,0	36,8	39,4	42,2	45,3	45,3	45,3	45,3	45,3	52,0	67,2	77,2	88,6	94,9	94,9	88,6	82,7	67,2	54,7
96	21,1	22,6	26,0	29,9	32,0	34,3	39,4	42,2	45,3	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5	55,7	72,0	82,7	94,9	102	102	94,9	88,6	72,0	58,6
97	22,6	24,3	27,9	32,0	34,3	36,8	42,2	45,3	48,5	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	59,7	77,2	88,6	102	109	109	102	94,9	77,2	62,7
98	24,3	26,0	29,9	34,3	36,8	39,4	45,3	48,5	52,0	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7	64,0	82,7	94,9	109	117	117	109	102	82,7	67,2
99	26,0	27,9	32,0	36,8	39,4	42,2	48,5	52,0	55,7	59,7	59,7	59,7	59,7	59,7	68,6	88,6	102	117	125	125	117	109	88,6	72,0
100	27,9	29,9	34,3	39,4	42,2	45,3	52,0	55,7	59,7	64,0	64,0	64,0	64,0	64,0	73,5	94,9	109	125	134	134	125	117	94,9	77,2
101	29,9	32,0	36,8	42,2	45,3	48,5	55,7	59,7	64,0	68,6	68,6	68,6	68,6	68,6	78,8	102	117	134	144	144	134	125	102	82,7
102	32,0	34,3	39,4	45,3	48,5	52,0	59,7	64,0	68,6	73,5	73,5	73,5	73,5	73,5	84,4	109	125	144	154	154	144	134	109	88,6
103	34,3	36,8	42,2	48,5	52,0	55,7	64,0	68,6	73,5	78,8	78,8	78,8	78,8	78,8	90,5	117	134	154	165	165	154	144	117	94,9
104	36,8	39,4	45,3	52,0	55,7	59,7	68,6	73,5	78,8	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	97,0	125	144	165	177	177	165	154	125	102
105	39,4	42,2	48,5	55,7	59,7	64,0	73,5	78,8	84,4	90,5	90,5	90,5	90,5	90,5	104	134	154	177	189	189	177	165	134	109
106	42,2	45,3	52,0	59,7	64,0	68,6	78,8	84,4	90,5	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	111	144	165	189	203	203	189	177	144	117
107	45,3	48,5	55,7	64,0	68,6	73,5	84,4	90,5	97,0	104	104	104	104	104	119	154	177	203	217	217	203	189	154	125
108	48,5	52,0	59,7	68,6	73,5	78,8	90,5	97,0	104	111	111	111	111	111	128	165	189	217	233	233	217	203	165	134
109	52,0	55,7	64,0	73,5	78,8	84,4	97,0	104	111	119	119	119	119	119	137	177	203	233	249	249	233	217	177	144
110	55,7	59,7	68,6	78,8	84,4	90,5	104	111	119	128	128	128	128	128	147	189	217	249	267	267	249	233	189	154
111	59,7	64,0	73,5	84,4	90,5	97,0	111	119	128	137	137	137	137	137	158	203	233	267	286	286	267	249	203	165
112	64,0	68,6	78,8	90,5	97,0	104	119	128	137	147	147	147	147	147	169	217	249	286	307	307	286	267	217	177
113	68,6	73,5	84,4	97,0	10																			



Tabla A4-2. Ejemplo de cálculo de corrección por tono para un turborreactor con soplante (turbofán)

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
Banda (i)	f Hz	SPL, dB	S, dB	ΔS1, dB	SPL', dB	S', dB	ξ, dB	SPL'', dB	F, dB	C, dB
			Operación 1	Operación 2	Operación 4	Operación 5	Operación 6	Operación 7	Operación 8	Operación 9
1	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	63	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	80	70	—	—	70	- 8	-2½	70	—	—
4	100	62	- 8	—	62	- 8	+3½	67½	—	—
5	125	⑦⑩	+⑧	16	71	+ 9	+6½	71	—	—
6	160	80	+10	2	80	+ 9	+2½	77½	2½	0.39
7	200	82	+②	8	82	+ 2	-1½	80½	1½	0.28
8	250	⑧⑩	+ 1	1	79	- 3	-1½	79	4	0.66
9	315	76	-⑦	8	76	- 3	+ ½	77½	—	—
10	400	⑧⑩	+④	11	78	+ 2	+1	78	2	0.33
11	500	80	0	4	80	+ 2	0	79	1	0.33
12	630	79	- 1	1	79	- 1	0	79	—	—
13	800	78	- 1	0	78	- 1	- ½	79	—	—
14	1 000	80	+ 2	3	80	+ 2	- ½	78½	1½	0.44
15	1 250	78	- 2	4	78	- 2	- ½	78	—	—
16	1 600	76	- 2	0	76	- 2	+ ¼	77½	—	—
17	2 000	79	+ 3	5	79	+ 3	+1	78	1	0.33
18	2 500	⑧⑩	+ 6	3	79	0	- ½	79	6	⑤
19	3 150	79	-⑥	12	79	0	-2½	78½	½	0.11
20	4 000	78	- 1	5	78	- 1	-6½	76	2	0.66
21	5 000	71	-⑦	6	71	- 7	-8	69½	1½	0.44
22	6 300	60	-11	4	60	-11	-8½	61½	—	—
23	8 000	54	- 6	5	54	- 6	-8	53	1	0.16
24	10 000	45	- 9	3	45	- 9	—	45	—	—
						- 9				

Operación 1	③(i) - ③(i-1)
Operación 2	④(i) - ④(i-1)
Operación 3	Véanse las instrucciones
Operación 4	Véanse las instrucciones
Operación 5	⑥(i) - ⑥(i-1)

Operación 6	⑦(i) + ⑦(i+1) + + ⑦(i+2)  - 3
Operación 7	⑨(i-1) + ⑧(i-1)
Operación 8	③(i) - ⑧(i)
Operación 9	Véase la Tabla A4-1

Nota.— Si se desea, pueden eliminarse las operaciones 5 y 6. En este caso, habría que eliminar en el ejemplo de la Tabla A4-2 las columnas ⑦ y ⑤ y las columnas ⑨, ⑩ y ⑪ se convierten en ⑦, ⑧ y ⑨, comprendiendo las nuevas operaciones 5, 6 y 7, respectivamente. Las operaciones 5, 6, 7, 8 y 9 en 4.3.1 son sustituidas entonces por:

- OPERACIÓN 5 | ⑥(i-1) + ⑥(i) + ⑥(i+1) | + 3
- OPERACIÓN 6 ③(i) ⑦(i) si > 0
- OPERACIÓN 7 Véase la Tabla A4-1

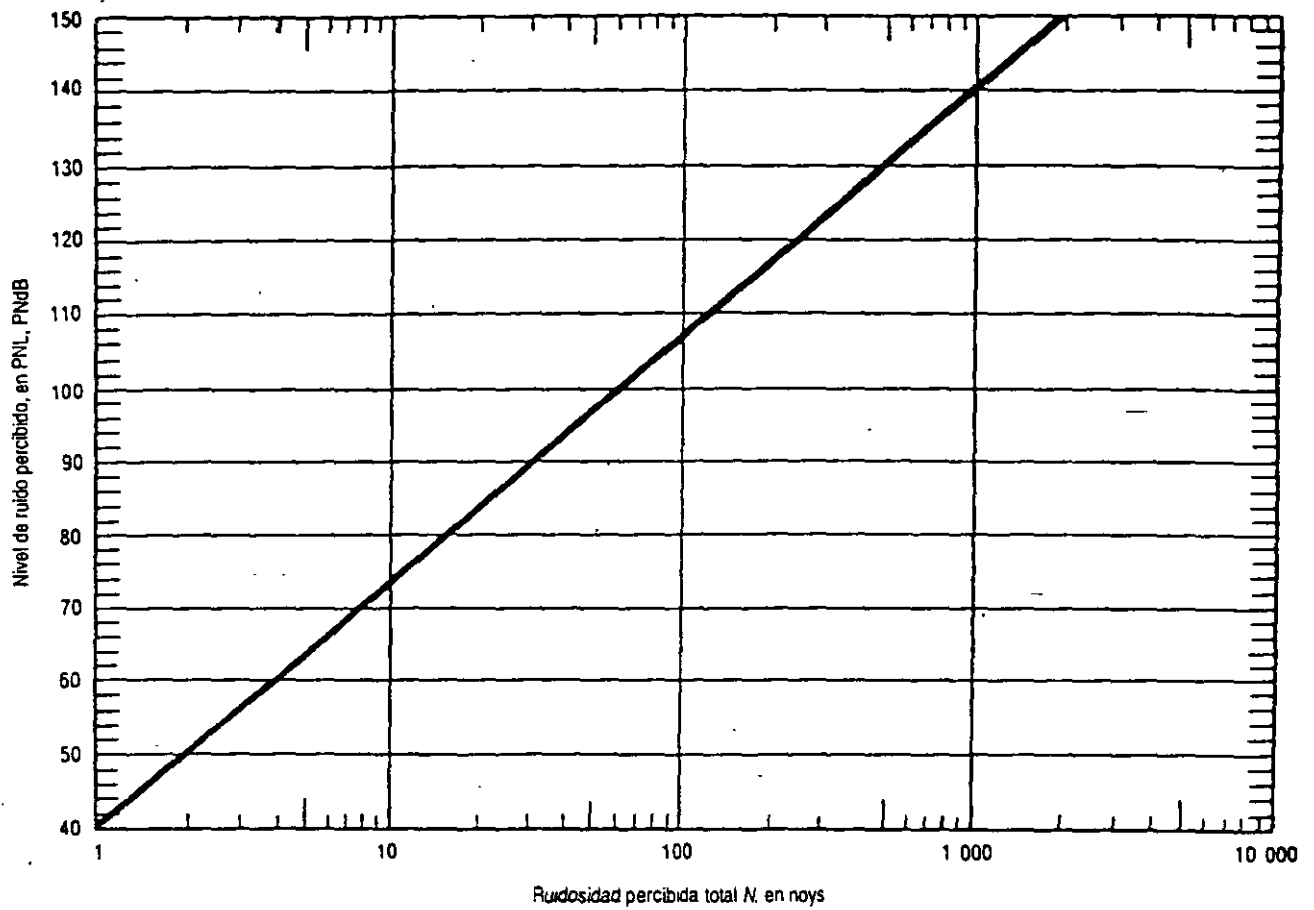
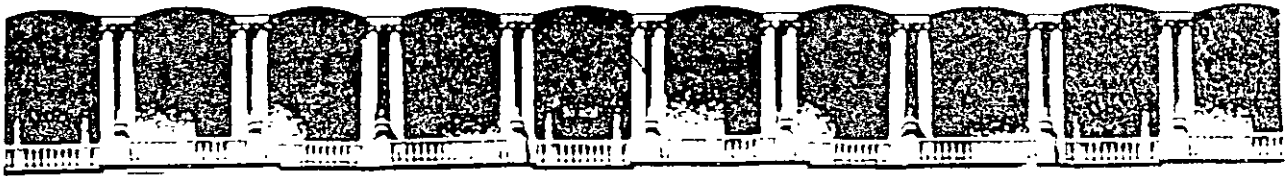


Figura A4-1. Nivel de ruido percibido en función de la ruidosidad total percibida

— FIN —



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES  
XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍA DE AEROPUERTOS

Del 31 de agosto al 30 de octubre.

Módulo II

PROYECTO DE AEROPUERTOS

*Tema: Manual de Servicios de Aeropuertos Parte 2  
"Estado de la Superficie de los Pavimentos".*

Palacio de Minería  
1998.



# Manual de servicios de aeropuertos

(Doc 9137-AN/898)

## Parte 2

### Estado de la superficie de los pavimentos

Tercera edición — 1994





## Preámbulo

Las disposiciones del Anexo-14, Volumen I, requieren que los Estados tomen las medidas necesarias para eliminar tan rápida y completamente como sea posible los llamados "contaminantes" del área de movimiento, a fin de que no se acumulen y para proporcionar buenas características de rozamiento y una baja resistencia de rodadura. Además, el Anexo pide que la superficie de los pavimentos se mantenga libre de piedras u otras materias sueltas denominadas "detritos" que puedan causar daños a la estructura o a los motores de los aviones, o perjudicar el funcionamiento de los sistemas de avión. Existe el requisito de evaluar las condiciones de los pavimentos siempre que no sea posible eliminar completamente los contaminantes y poner esta información a disposición de las dependencias apropiadas del aeropuerto. Existe también el requisito de medir periódicamente las características de rozamiento de la pista y de tomar las medidas oportunas siempre que dichas características estén por debajo de los niveles especificados por el Estado. La finalidad de este manual es la de ofrecer asesoramiento a los Estados con el fin de asegurar que se adopten las medidas adecuadas para resolver los problemas originados por contaminantes, detritos o inclemencias del tiempo en el área de movimiento.

Nunca se insistirá demasiado en que la meta de las autoridades de los aeropuertos debería ser la de mantener el área de movimiento libre de todos los contaminantes y detritos que pudieran afectar adversamente la performance de los aviones. A este respecto se ha tratado, mediante la investigación continua, de mejorar la economía y eficiencia de los métodos mecánicos y químicos para eliminar contaminantes del área de movimiento. Sin embargo, hay circunstancias que requieren una medición de los valores de rozamiento y que hacen necesario, por lo tanto, que se desarrollen métodos aceptables para obtener dichas mediciones.

Durante algún tiempo se ha discutido y se han hecho pruebas en cuanto a la posibilidad de lograr un grado útil de correlación entre los diversos dispositivos utilizados para

medir el rozamiento. En 1972, la OACI aprobó un programa para determinar la correlación del equipo utilizado para medir las características de rozamiento en las pistas.

Como resultado de ello se preparó un gráfico que muestra la correlación entre varios dispositivos de medición del rozamiento, al utilizarlos en superficies cubiertas de nieve o de hielo. Se comprobó que era inaceptable la correlación entre los dispositivos de medición del rozamiento al utilizarlos en superficies mojadas. Otros ensayos más recientes realizados en los Estados Unidos indicaban una correlación algo distinta entre dispositivos de medición del rozamiento en superficies pavimentadas cubiertas de hielo o de nieve compactada, lo cual se atribuyó a modificaciones de los parámetros de los neumáticos de ensayo. Abundantes ensayos con neumáticos nuevos en condiciones de autohumectación han servido para verificar estadísticamente que hay una correlación aceptable entre los diversos dispositivos de medición continua del rozamiento.

Este manual incluye, entre otras cosas, textos acerca de los factores básicos que afectan al rozamiento, la correlación entre los dispositivos de medición del rozamiento en superficies pavimentadas cubiertas de nieve o hielo, la descripción de los dispositivos, las prácticas relativas a la medición y a la notificación de los valores del rozamiento en superficies cubiertas de nieve, de hielo y de agua, la recopilación y difusión de información sobre el estado de la superficie de los pavimentos y la limpieza y eliminación de contaminantes y detritos del área de movimiento.

Se desea mantener al día el manual. Lo más probable es que las próximas ediciones se perfeccionen a base de la experiencia adquirida y de los comentarios y sugerencias que se reciban de los usuarios de este manual. Por lo tanto, se invita a los lectores del manual a presentar sus puntos de vista, comentarios y sugerencias, dirigiéndose al Secretario General de la OACI.

# Índice

	<i>Página</i>		<i>Página</i>
<b>Capítulo 1. Generalidades</b> .....	<b>1</b>	5.3 Correlación entre los dispositivos de medición del rozamiento .....	24
1.1 Introducción.....	1	5.4 Correlación con la eficacia de detención del avión .....	28
1.2 Importancia de las características de rozamiento de la superficie de las pistas y de la eficacia de frenado del avión .....	1	5.5 Análisis general de los dispositivos de medición del rozamiento.....	28
1.3 Necesidad de evaluar las condiciones de la superficie de las pistas .....	2	5.6 Medidor del valor $\mu$ .....	29
1.4 Resistencia al avance debida a contaminantes .....	3	5.7 Medidor del rozamiento en la pista.....	29
1.5 Explicación de términos y expresiones.....	4	5.8 Deslizómetro.....	31
<b>Capítulo 2. Evaluación de los factores básicos que afectan el rozamiento</b> .....	<b>9</b>	5.9 Medidor del rozamiento en la superficie.....	31
2.1 Espesor de la capa de agua y su influencia en el hidropilano dinámico.....	9	5.10 Medidor del asimiento .....	35
2.2 Sustancias perjudiciales sobre el pavimento.....	11	5.11 Decelerómetros.....	35
2.3 Textura de la superficie.....	12		
2.4 Desigualdades de la superficie .....	14	<b>Capítulo 6. Recopilación y difusión de información sobre el estado de la superficie de los pavimentos</b> .....	<b>39</b>
<b>Capítulo 3. Determinación y expresión de las características de rozamiento en superficies pavimentadas</b> .....	<b>15</b>	6.1 Generalidades .....	39
3.1 Generalidades .....	15	6.2 Información sobre el estado de superficies mojadas.....	39
3.2 Mediciones.....	16	6.3 Información sobre el estado de las superficies cubiertas de nieve, nieve fundente o hielo .....	41
3.3 Notificación .....	18	6.4 Formato de SNOWTAM .....	42
3.4 Interpretación de las características de rozamiento deficiente.....	18	<b>Capítulo 7. Remoción de la nieve y control del hielo</b> .....	<b>47</b>
<b>Capítulo 4. Medición de las características de rozamiento en superficies pavimentadas cubiertas de nieve compactada o de hielo</b> .....	<b>19</b>	7.1 Generalidades.....	47
4.1 Generalidades.....	19	7.2 Comité para la nieve .....	48
4.2 El problema de los cambios de las condiciones del aeropuerto .....	19	7.3 Procedimientos del plan para la nieve .....	48
4.3 Precisión requerida de la información relativa a las características de rozamiento ..	20	7.4 Métodos mecánicos .....	50
4.4 Mediciones.....	21	7.5 Equipos para la remoción de la nieve y el control del hielo .....	51
4.5 Notificación .....	21	7.6 Métodos térmicos .....	69
<b>Capítulo 5. Dispositivos de medición del rozamiento en la pista</b> .....	<b>23</b>	7.7 Métodos químicos .....	70
5.1 Posibilidad de normalización .....	23	7.8 Materiales para limpiar el hielo de áreas distintas a las de movimiento .....	73
5.2 Criterios aplicables a los nuevos dispositivos de medición del rozamiento .....	23	7.9 Limpieza de la <u>nieve</u> fundente.....	73
		<b>Capítulo 8. Eliminación de los residuos de caucho</b> .....	<b>74</b>
		8.1 Generalidades.....	74
		8.2 Remoción por medios químicos .....	74
		8.3 Remoción por medios mecánicos .....	75

	<i>Página</i>		<i>Página</i>
Capítulo 9. Eliminación de los residuos de aceite y de grasa.....	76	Apéndice 3. Ensayos de la fiabilidad, eficacia y uniformidad de los neumáticos utilizándose un dispositivo de medición continua del rozamiento con relación de resbalamiento a frenado fijo y sistema de autohumectación.....	92
9.1 Generalidades.....	76		
Capítulo 10. Eliminación de detritos.....	77	Apéndice 4. Instrucciones para determinar los aeropuertos que participan en el programa de mantenimiento del valor de rozamiento.....	95
10.1 Generalidades.....	77		
10.2 Equipo para la remoción de detritos.....	78	Apéndice 5. Métodos para medir o evaluar la eficacia de frenado cuando no se dispone de dispositivos de ensayo del rozamiento.....	101
10.3 Pruebas de barredoras.....	79		
Apéndice 1. Método para determinar el nivel mínimo de rozamiento.....	81	Apéndice 6. Tipos de quitanieves y accesorios....	104
Apéndice 2. Procedimientos para realizar inspecciones visuales del mantenimiento de las pistas en los aeropuertos que prestan servicio a operaciones de aviones de turborreacción en los que no se dispone de equipo de medición del rozamiento.....	86	Apéndice 7. Textos afines de lectura.....	108

# Capítulo 1

## Generalidades

*Nota.— Los términos contaminantes y detritos se utilizan en este manual con los siguientes significados. Contaminantes son las sustancias que se depositan sobre el pavimento de un aeropuerto (p. ej., nieve, nieve fundente, hielo, agua estancada, barro, polvo, arena, aceite y caucho) y que afectan desfavorablemente las características de rozamiento de la superficie del pavimento. Detritos son los fragmentos de materiales sueltos (p. ej., arena, piedras, papeles, madera, metal y fragmentos de pavimento) cuyo efecto es dañino para la estructura o los motores de los aviones o que pudieran perjudicar el funcionamiento de los sistemas de avión si golpean la estructura o son absorbidos por los motores. El daño causado por los detritos se conoce también como FOD (foreign object damage — daños por causa de objetos extraños).*

### 1.1 INTRODUCCIÓN

1.1.1 Existe una preocupación generalizada en cuanto a la efectividad del rozamiento que puede obtenerse entre los neumáticos de los aviones y la superficie de la pista en determinadas condiciones de utilización, como son las que existen cuando hay nieve, nieve fundente, hielo o agua sobre la pista y, particularmente, cuando las velocidades de despegue o aterrizaje de los aviones son grandes. Esta preocupación se ha agudizado con los nuevos aviones de reacción, pues la eficacia en detener estos aviones depende en mayor medida del rozamiento entre los neumáticos y la superficie de la pista, ya que las velocidades de despegue y aterrizaje son elevadas y en algunos casos la longitud de pista requerida para el aterrizaje o el despegue tiende a ser crítica en relación con la longitud de pista disponible. Además, si a estas condiciones de utilización se suma el viento de costado puede ser difícil controlar el mando de dirección del avión.

1.1.2 Como indicación de la gravedad de la situación pueden considerarse las medidas tomadas por las autoridades nacionales de aeronavegabilidad al recomendar que la distancia de aterrizaje requerida en una pista mojada sea mayor que la requerida en dicha pista seca. Otros problemas relacionados con el despegue de los aviones de reacción en pistas cubiertas de nieve fundente o agua son el deterioro de la performance debido a la resistencia al avance producida por contaminantes, así como daños a la célula y problemas de ingestión en los motores. En el *Manual técnico de aeronavegabilidad* (Doc 9051) puede obtenerse información respecto a

las medidas que hayan de adoptarse para despegar de pistas cubiertas de nieve fundente o agua.

1.1.3 Además, es esencial que los pilotos y el personal de operaciones dispongan de información adecuada sobre las características de rozamiento de la superficie de las pistas y sobre la eficacia de frenado del avión, a fin de que puedan ajustar los procedimientos operacionales y aplicar correcciones a la performance del avión. Cuando en la pista exista nieve o hielo, deberían evaluarse las condiciones de la pista, medirse el coeficiente de rozamiento y proporcionarse los resultados al piloto. Cuando exista agua y la pista se vuelva resbaladiza debe informarse al piloto sobre el riesgo posible.

1.1.4 Antes de entrar en una consideración detallada de la necesidad de evaluar las características de rozamiento de la superficie de la pista y de los métodos de realizarlo, o del efecto de resistencia al avance por la presencia de nieve, de nieve fundente, de hielo o de agua, cabe reiterar una vez más que las autoridades del aeropuerto deben establecer como meta retirar de la pista, tan rápida y completamente como sea posible, todos los contaminantes y eliminar cualquier otra condición de la superficie de la pista que tenga efecto adverso en la performance de los aviones.

### 1.2 IMPORTANCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ROZAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE LAS PISTAS Y DE LA EFICACIA DE FRENADO DEL AVIÓN

1.2.1 Los datos de incidentes y accidentes de aviones relacionados con salirse de la pista por el extremo o por un costado, indican que en muchos casos la causa principal, o por lo menos un factor concomitante, fueron las características de rozamiento de las pistas y la eficacia de frenado del avión. Al margen de este aspecto relativo a la seguridad, las características de rozamiento deficientes pueden afectar de manera importante a la regularidad y eficacia de las operaciones de aviones. Es esencial que la construcción de la superficie de pistas pavimentadas sea tal que proporcione buenas características de rozamiento cuando está mojada. Para lograr este objetivo es conveniente que el espesor de recubrimiento de superficies nuevas no sea inferior a 1 mm. Esto exige normalmente alguna forma especial de tratamiento de la superficie.

1.2.2 Se requieren características adecuadas de rozamiento en las pistas para tres objetivos obvios:

- a) decelerar el avión después del aterrizaje o de un despegue interrumpido;
- b) mantener el mando de dirección durante el recorrido en tierra antes del despegue o después del aterrizaje, sobre todo en caso de viento de costado, potencia asimétrica de los motores o averías de índole técnica; y
- c) permitir el rodamiento en el punto de toma de contacto.

1.2.3 Con respecto a la eficacia de frenado de los aviones o al mando de dirección, cabe destacar que, incluso en tierra el avión está expuesto a considerables fuerzas aerodinámicas y de otra índole que pueden influir en la eficacia de frenado o bien crear momentos angulares en torno al eje de guiñada. Estos pueden producirse debido a la potencia asimétrica de los motores (p. ej., por falla de un motor en el despegue), por aplicación asimétrica de los frenos de las ruedas o por el viento de costado. El resultado puede afectar críticamente la estabilidad de la dirección. En todos los casos, el rozamiento en la superficie de la pista desempeña un papel fundamental para contrarrestar esas fuerzas o momentos angulares. En el caso del mando de dirección, todos los aviones están sujetos a límites específicos respecto a los valores aceptables de la componente transversal del viento. Dichos límites disminuyen a medida que disminuye el rozamiento en la superficie de la pista.

1.2.4 Una disminución del rozamiento en la superficie de la pista no tiene la misma importancia en el aterrizaje que en el caso del despegue interrumpido, debido a diferentes criterios según las operaciones.

1.2.5 En el aterrizaje, el rozamiento en la superficie de la pista es especialmente importante en el punto de toma de contacto, para hacer girar a las ruedas hasta que alcancen la plena velocidad de rotación. Esto es sumamente importante para el funcionamiento óptimo de los sistemas de frenado antideslizante que se controlan por medios electrónicos y mecánicos (instalados en la mayoría de los aviones actuales) y para obtener el mejor dominio posible del mando de dirección. Además, los autoexpoliadores aerodinámicos que destruyen la sustentación residual y aumentan la resistencia aerodinámica al avance, así como los sistemas de frenado automático, sólo se activan cuando se ha alcanzado el debido rodamiento de las ruedas. Ocurre con relativa frecuencia en las operaciones que el rodamiento se retrasa como consecuencia de un insuficiente rozamiento con la superficie de la pista, lo que generalmente proviene de depósitos excesivos de caucho. En casos extremos puede ocurrir que alguna de las ruedas no gire en absoluto, creando de ese modo una situación de peligro que puede llevar al fallo de los neumáticos.

1.2.6 Generalmente, los requisitos vigentes de certificación de aviones con respecto a su performance y operaciones se basan en las características de rozamiento de una superficie de pista limpia y seca, es decir, cuando se logra la máxima

eficacia de frenado del avión en esa superficie. Cuando la pista está mojada se requiere a menudo aumentar la distancia de aterrizaje.

1.2.7 Para compensar la capacidad reducida de detención debido a condiciones adversas de la pista (tales como pista mojada o resbaladiza), se aplican correcciones a la performance, en forma de aumento de la longitud de pista requerida o reducción de la masa admisible de despegue o de aterrizaje. Para compensar la disminución del mando de dirección se aplica una disminución del valor admisible del componente transversal del viento.

1.2.8 A fin de contrarrestar posibles problemas causados por un rozamiento inadecuado en la superficie de la pista existen básicamente dos enfoques posibles:

- a) proporcionar datos fidedignos de performance de los aviones para el despegue y el aterrizaje en relación con las actuales características de rozamiento en la superficie de la pista y de eficacia de frenado del avión; y
- b) proporcionar características adecuadas de rozamiento en la superficie de la pista en todo momento y en toda clase de condiciones ambientales.

1.2.9 El primer enfoque, que sólo mejoraría la seguridad, pero no la eficiencia ni la regularidad de las operaciones, ha resultado difícil debido principalmente:

- a) al problema de determinar las características de rozamiento en la pista en términos válidos desde el punto de vista operacional; y
- b) al problema de la correlación entre los dispositivos de medición del rozamiento utilizados en tierra y la eficacia de frenado del avión. Esto se aplica particularmente al caso de pistas mojadas.

1.2.10 El segundo es un enfoque ideal que se aplica en concreto a las pistas mojadas, y consiste fundamentalmente en especificar los niveles mínimos de las características de rozamiento para fines de diseño y mantenimiento del pavimento. Es evidente que las pistas construidas según normas adecuadas y debidamente mantenidas proporcionan condiciones óptimas para las operaciones y satisfacen este objetivo. En consecuencia, los esfuerzos deberían concentrarse en la formulación y aplicación de normas adecuadas de diseño y mantenimiento de las pistas.

### 1.3 NECESIDAD DE EVALUAR LAS CONDICIONES DE LA SUPERFICIE DE LAS PISTAS

1.3.1 Es necesario evaluar las características de rozamiento en la superficie de las pistas en función de la velocidad en las siguientes circunstancias:

- a) pista seca, en la que solamente puede ser necesario efectuar mediciones poco frecuentes para evaluar la textura de la superficie, su desgaste y la necesidad de restaurarla;
- b) pista mojada, en la que solamente puede ser necesario efectuar mediciones periódicas de las características de rozamiento en la superficie para determinar si están por encima del nivel de planificación de mantenimiento y/o del nivel mínimo aceptable. En este contexto cabe destacar que una disminución importante del coeficiente de rozamiento con el consiguiente hidroplaneo ("aquaplaning") viscoso puede ser resultado de la presencia de contaminantes de caucho en pistas mojadas;
- c) pista con capas de agua de un espesor apreciable, en cuyo caso habrá que tener en cuenta la necesidad de determinar si existe la tendencia a que se produzca el fenómeno de hidroplaneo;
- d) pista resbaladiza en condiciones desacostumbradas, en la que deban hacerse mediciones suplementarias siempre que existan dichas condiciones;
- e) pista cubierta de nieve, nieve fundente o hielo, en la cual se requieren evaluaciones actualizadas y adecuadas de las condiciones de rozamiento en la superficie; y
- f) pista cubierta de nieve fundente o nieve mojada (e incluso de nieve seca) de gran extensión y espesor apreciable, en cuyo caso habrá que tener en cuenta la necesidad de determinar la resistencia al avance debida a los contaminantes.

*Nota.— Puede requerirse la evaluación de las condiciones de la superficie cuando los bancos de nieve cerca de una pista o de una calle de rodaje sean de tal altura que constituyan un peligro para los aviones a los que el aeropuerto está destinado a servir. También deben evaluarse las condiciones de las pistas al construir las o después de un recubrimiento de la superficie, a fin de determinar sus características de rozamiento cuando están mojadas.*

1.3.2 Las situaciones mencionadas pueden exigir de las autoridades del aeropuerto lo siguiente:

- a) en los casos de pista seca o mojada deberían tomarse medidas correctivas de mantenimiento siempre que las características de rozamiento en la superficie se encuentren por debajo del nivel de planificación de mantenimiento. Si las características de rozamiento en la superficie de la pista no llegan a un nivel mínimo aceptable deben adoptarse medidas correctivas de mantenimiento y además, debe suministrarse información sobre la posibilidad de que la pista se vuelva resbaladiza cuando esté mojada;
- b) en el caso de pistas cubiertas de nieve o hielo la solución puede variar según el tráfico del aeropuerto, la frecuencia

de condiciones de rozamiento insuficiente y la disponibilidad de equipo de limpieza y de dispositivos de medición. Por ejemplo:

- 1) en los aeropuertos de intenso tráfico o en aeropuertos en los que se presenten con frecuencia condiciones de rozamiento insuficiente, hay que utilizar equipo adecuado de limpieza de pistas y dispositivos de medición del rozamiento para comprobar los resultados;
- 2) en los aeropuertos de bastante tráfico en los que las condiciones de rozamiento insuficiente se presenten con poca frecuencia, pero en los que las operaciones deben continuar a pesar del tipo inadecuado de limpieza de pista, hay que medir el coeficiente de rozamiento en la pista, evaluar la posible resistencia al avance debida a los depósitos de nieve fundente, y determinar la posición y altura de los bancos de nieve importantes; y
- 3) en los aeropuertos en los que las operaciones pueden suspenderse en condiciones desfavorables de pista, pero en los que se requiere una advertencia del inicio de tales condiciones, hay que medir el coeficiente de rozamiento en la pista, evaluar la posible resistencia al avance debida a los contaminantes y determinar la posición y altura de los bancos de nieve importantes.

#### 1.4 RESISTENCIA AL AVANCE DEBIDA A CONTAMINANTES

1.4.1 Existe el requisito de notificar la presencia de nieve, nieve fundente, hielo o agua en una pista, así como de hacer una evaluación del espesor, y ubicación de la nieve, nieve fundente o agua. Los informes de evaluación del espesor de contaminantes en una pista se interpretarán de manera diferente por los explotadores de aviones, según se trate del despegue o del aterrizaje. Para los despegues, los explotadores tendrán que tener en cuenta el efecto de la resistencia al avance debido a los contaminantes y, dado el caso, del hidroplaneo en los requisitos relativos a la distancia de despegue y a la distancia de aceleración-parada, valiéndose de la información disponible. En el caso de los aterrizajes, el peligro principal deriva de la falta de rozamiento debida al fenómeno de hidroplaneo, a nieve compactada, o a hielo, mientras que la resistencia al avance debida a los contaminantes puede ayudar a la deceleración del avión.

1.4.2 Sin embargo, además de cualquier efecto adverso, por la resistencia al avance en el despegue debida a los contaminantes o por la pérdida de eficacia de frenado en el aterrizaje, la nieve fundente y el agua proyectadas por las ruedas del avión pueden extinguir los motores y causar daños de importancia a la célula y a los motores. Ello constituye una razón más para subrayar la necesidad fundamental de limpiar la pista en lugar de dedicar esfuerzos especiales, por ejemplo, a mejorar la precisión de las mediciones y a notificar las características de rozamiento en pistas contaminadas.



## 1.5 EXPLICACIÓN DE TÉRMINOS Y EXPRESIONES

1.5.1 Es imposible analizar los métodos para medir el rozamiento y el espesor de contaminantes sin haber considerado primeramente los fenómenos básicos que se producen tanto debajo como a los lados de los neumáticos en rotación. Para simplificar la explicación, esos fenómenos pueden presentarse en forma cualitativa.

### *Porcentaje de resbalamiento*

1.5.2 Con los antiguos modelos de frenos de aviones, que no estaban equipados con dispositivos antideslizantes, cuanto mayor era la presión que el piloto aplicaba a los frenos, tanto mayor era el par de frenado que podía obtenerse. Al aplicar la presión a los frenos, disminuía la velocidad de rotación de la rueda, y con tal que se aplicase un par suficiente, podía llegarse a bloquear la rueda. Suponiendo que la velocidad del avión fuera de 185 km/h (100 kt) y la velocidad del neumático en el punto de contacto con el suelo fuera de 148 km/h (80 kt), el neumático resbalaría sobre la superficie a una velocidad de 37 km/h (20 kt). Esto se denomina un resbalamiento del 20%. Del mismo modo, cuando el resbalamiento es del 100%, la rueda está bloqueada. La importancia de este término reside en el hecho de que, a medida que varía el porcentaje de resbalamiento, varía igualmente la magnitud de la fuerza de rozamiento producida por la rueda, como lo indica el diagrama de la Figura 1-1 para una pista mojada. Por lo tanto, el valor máximo de la fuerza de rozamiento se produce en un punto correspondiente a un resbalamiento comprendido entre el 10% y el 20%, principio que aprovechan los sistemas modernos para aumentar la eficacia de frenado. Se logra esta finalidad permitiendo que las ruedas resbalen en esta gama de porcentajes.

1.5.3 La importancia que tiene esta curva desde el punto de vista de la medición del coeficiente de rozamiento en la pista es que el valor en el punto máximo de la curva (llamado  $\mu_{max}$ ), trazada en función de la velocidad, representa una característica de la superficie de la pista, de los contaminantes, o del dispositivo de medición del rozamiento y, por lo tanto, es un valor estándar reproducible. Ese tipo de dispositivo puede utilizarse, en consecuencia, para medir el coeficiente de rozamiento en la pista. El valor medido en pistas cubiertas de nieve o de hielo puede suministrarse al piloto en una forma que le resulte significativa. El valor medido en una pista mojada puede utilizarse para evaluar las características de rozamiento en la pista cuando está mojada.

### *Rueda bloqueada*

1.5.4 El término "rueda bloqueada" tiene el significado exacto que implica y el coeficiente de rozamiento  $\mu_{desliz}$  producido en esta condición corresponde al 100% de resbalamiento indicado en la Figura 1-1. Cabe observar que este valor es inferior al  $\mu_{max}$  logrado con un deslizamiento

óptimo. Ensayos realizados han demostrado que en el caso de un neumático de avión el  $\mu_{desliz}$  varía entre un 40% y un 90% del valor del  $\mu_{max}$ , en función de las condiciones de la pista. A pesar de ello, se han empleado también vehículos que utilizan una rueda bloqueada para medir el coeficiente de rozamiento en la pista. En este caso, el valor medido representaría la posibilidad de rodamiento en el punto de toma de contacto.

### *Coefficiente de rozamiento lateral*

1.5.5 Cuando se aplica una guiñada a una rueda en rotación, tal como ocurre cuando un vehículo cambia de dirección, la fuerza en la rueda puede descomponerse en dos direcciones, una en el plano de la rueda y la otra a lo largo de su eje. El coeficiente de rozamiento lateral es la relación de la fuerza a lo largo del eje dividida por la carga vertical. Esta relación, representada en un gráfico en función del ángulo de guiñada para diferentes superficies, permite establecer una relación similar a la indicada en la Figura 1-2.

1.5.6 Como puede verse, a condición de que el ángulo de guiñada de la rueda sea superior a 20°, el coeficiente de rozamiento lateral no puede utilizarse para obtener un número que represente el coeficiente de rozamiento de la pista. Admitiendo algunas otras consideraciones, puede hacerse trabajar efectivamente la rueda con el valor  $\mu_{max}$ . La relación entre la fuerza lateral y el ángulo de guiñada variará en función de la presión, de la firmeza (construcción) y de la velocidad.

### *Rozamiento "normal" en pista mojada e hidroplaneo*

1.5.7 Cuando se considera una pista mojada o cubierta de agua, hay ciertos aspectos del problema global del frenado que, aunque son distintos, están relacionados entre sí. En primer lugar, el rozamiento "normal" en pista mojada es una condición por la que la presencia de agua en una pista hace que el coeficiente de rozamiento sea inferior al de la pista seca. Esto obedece a que no puede expulsarse completamente el agua que se encuentra entre el neumático y la pista, lo que da como resultado un contacto sólo parcial entre estas dos superficies. Existe, en consecuencia, una acusada reducción de la fuerza que se opone al movimiento del neumático relativo a la pista, a causa de que el resto del contacto se hace entre el neumático y el agua. Para obtener un elevado coeficiente de rozamiento en una pista mojada o cubierta de agua es, por lo tanto, necesario que se desplace o rompa la película acuosa que se interpone durante el tiempo en que cada elemento del neumático está en contacto con la pista. A medida que la velocidad aumenta, se reduce el tiempo de contacto y queda menos tiempo para que el proceso se complete; de esta forma, los coeficientes de rozamiento de las superficies mojadas tienden a disminuir a medida que aumenta la velocidad, es decir, que efectivamente la pista resulta más resbaladiza. En segundo lugar, uno de los factores que es objeto de mayor preocupación en estas condiciones es el fenómeno denominado hidroplaneo, por el que los neumáticos del avión están

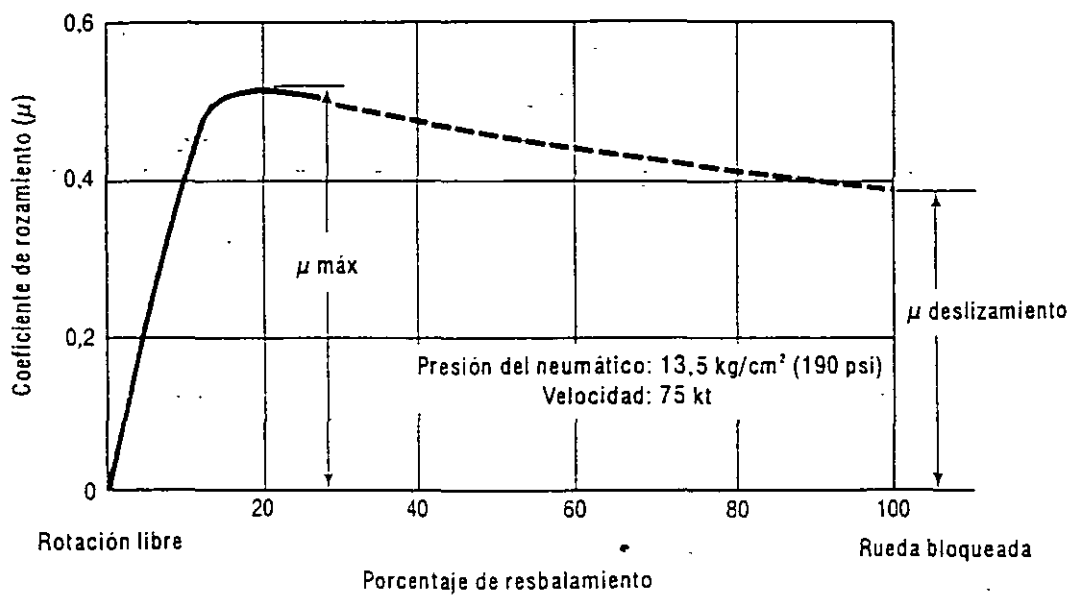


Figura 1-1. Relación entre el porcentaje de resbalamiento y el coeficiente de rozamiento en una pista mojada

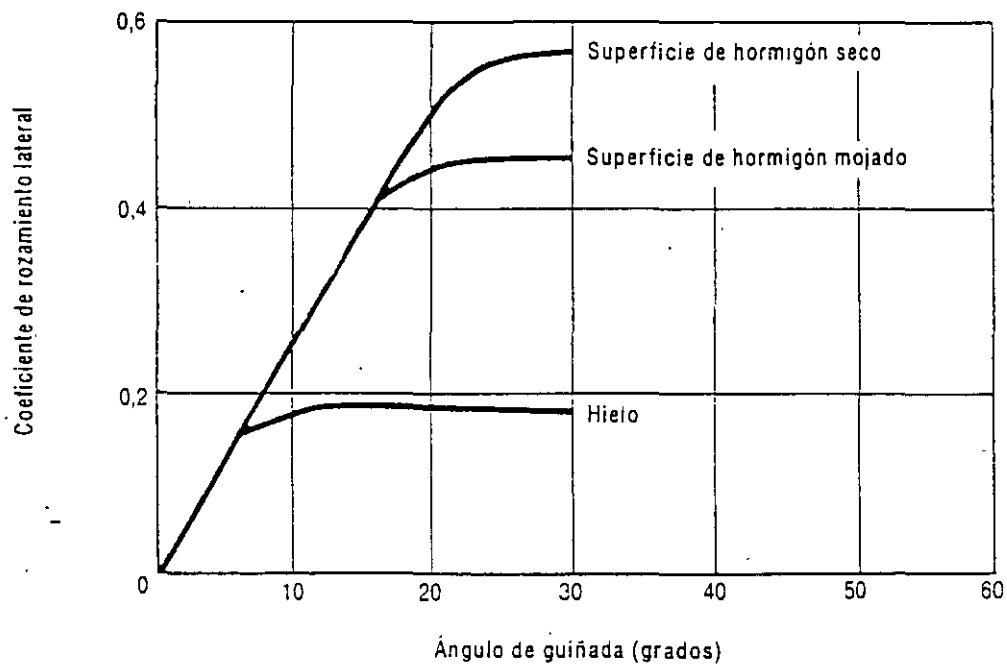


Figura 1-2. Variación ordinaria del coeficiente de rozamiento lateral en función del ángulo de guiñada

separados de la superficie de la pista por una delgada película acuosa. En estas condiciones el coeficiente de rozamiento se hace casi despreciable y resultan prácticamente ineficaces el frenado y el mando de dirección de las ruedas. A continuación, se ofrece una descripción de los tres tipos principales de hidroplaneo que se conocen. En 2.1 se proporciona más orientación en cuanto al espesor del agua y a su influencia en el hidroplaneo.

1.5.8 La reducción del rozamiento que ordinariamente ocurre cuando una superficie está mojada y la reducción del rozamiento cuando aumenta la velocidad de un avión, se explican por el efecto combinado de las presiones viscosa y dinámica del agua a que está sujeto el conjunto neumático/superficie. Esta presión causa una pérdida parcial del contacto "seco" en una magnitud que tiende a aumentar con la velocidad. Hay casos en que la pérdida es prácticamente total y el rozamiento disminuye hasta valores despreciables. Esto se conoce como hidroplaneo viscoso, dinámico o de desvulcanización. La forma en que estos fenómenos afectan distintas zonas de la interfaz neumático/superficie y en la medida en que varían en magnitud según la velocidad se ilustran en la Figura 1-3, que se basa en la noción de tres zonas sugeridas por Gough. En la zona 1, donde hay presión dinámica, y en la zona 2, donde hay presión viscosa, el rozamiento es prácticamente cero, mientras que se puede suponer que en la zona 3 hay rozamiento seco. Dado que la extensión de esta zona disminuirá gradualmente a medida que aumente la velocidad, el valor del coeficiente de rozamiento  $\mu$  se reducirá en la misma proporción a que se reduzca la extensión de la zona 3. Cabe suponer que la proporción entre las zonas será la misma si dos ruedas están girando a la misma proporción de su velocidad de hidroplaneo.

1.5.9 Cuando se trata del hidroplaneo viscoso, la pérdida de tracción puede producirse a velocidades relativamente bajas, debido al efecto de la viscosidad, que se opone a que el agua escape por debajo del área de contacto del neumático. Ello exige, sin embargo, que la superficie de la pista sea sumamente lisa y ello puede ocurrir en partes en las que hay una espesa capa de depósitos de caucho de los neumáticos por ser la zona de inicio del rodamiento durante la toma de contacto, o en partes que han quedado alisadas por efecto del tráfico. El hidroplaneo viscoso se relaciona con las pistas húmedas/mojadas y, una vez que se presenta, persiste hasta velocidades muy reducidas. Este hidroplaneo se experimenta durante la parte del frenado, ya sea en un despegue interrumpido o durante el recorrido de aterrizaje.

1.5.10 El hidroplaneo dinámico se produce cuando se excede una velocidad crítica que es función de la presión del neumático. La condición resulta del efecto inercial del agua por el cual la presión que ejerce hacia abajo el neumático (presión de inflado) no basta para expulsar el agua que se encuentra por debajo del área de contacto en este breve espacio de tiempo. Se puede producir el hidroplaneo dinámico en una pista que tenga una macrotextura inadecuada y a velocidades mayores de la velocidad crítica de hidroplaneo, siempre que la capa de hielo tenga suficiente espesor. El

fenómeno está relacionado con la condición de pista cubierta de líquido de un espesor mensurable y se presenta a una velocidad crítica, que es función directa de la presión de inflado. Cuanto más elevada sea la presión de inflado, tanto mayor será la velocidad a la que se producirá el hidroplaneo (dinámico). Sin embargo, se compensa este efecto por el hecho de que al aumentar la presión de los neumáticos disminuye generalmente el rozamiento en mojado que se puede lograr en la gama de velocidades anteriores a la de hidroplaneo. El hidroplaneo dinámico se produce a las velocidades más elevadas de los recorridos tanto de aterrizaje como de despegue. Se ha descubierto que basta con que el agua estancada sobre la pista tenga un espesor de 0.5 mm para que tenga lugar el hidroplaneo dinámico. Este espesor, relativamente pequeño puede producirse en un chaparrón fuerte de lluvia, o por los charcos que se forman debido a irregularidades de la superficie de la pista.

1.5.11 Queda mucho por investigar en lo que se refiere a la desvulcanización, aunque las teorías actuales indican que entre el área de contacto del neumático y la superficie de la pista se genera vapor sobrecalentado a una temperatura de aproximadamente 200°C, que hace fundir la parte afectada de la banda de rodadura del neumático. Según una hipótesis la goma fundida actúa como un sello hermético que impide escapar al vapor contenido a gran presión. En caso de incidentes en los que era sabido que se había producido el fenómeno de desvulcanización, se observaron posteriormente manchas blancas en la superficie de la pista, características de la enérgica acción detergente del "lavado al vapor". El hidroplaneo producido por desvulcanización puede producirse en cualquier situación y a cualquier velocidad cuando un neumático no esté rodando (bajo la acción del freno o no) por un período prolongado de tiempo. En consecuencia, el mejor remedio en este caso sería evitar el bloqueo de la rueda. En el Apéndice 1 se presentan otros textos sobre la teoría del fenómeno de hidroplaneo viscoso y dinámico.

#### *Coefficiente de rozamiento*

1.5.12 El coeficiente de rozamiento se define como la relación entre la fuerza tangencial necesaria para mantener un movimiento relativo uniforme entre las dos superficies en contacto (neumáticos del avión y superficie del pavimento) y la fuerza perpendicular que las mantiene en contacto (peso distribuido del avión sobre el área del neumático del avión). El coeficiente de rozamiento se denota frecuentemente mediante la letra griega  $\mu$ . Es un procedimiento sencillo para cuantificar el resbalamiento relativo de las superficies de pavimento.

#### *Eficacia del sistema de frenos*

1.5.13 Como se ha indicado, los sistemas modernos de frenos antideslizantes se han diseñado para que funcionen tan cerca como sea posible del valor máximo de rozamiento ( $\mu_{\text{máx}}$ ). Por lo general la eficacia del sistema de frenado es sólo un porcentaje de este valor máximo. Esta eficacia tiende a

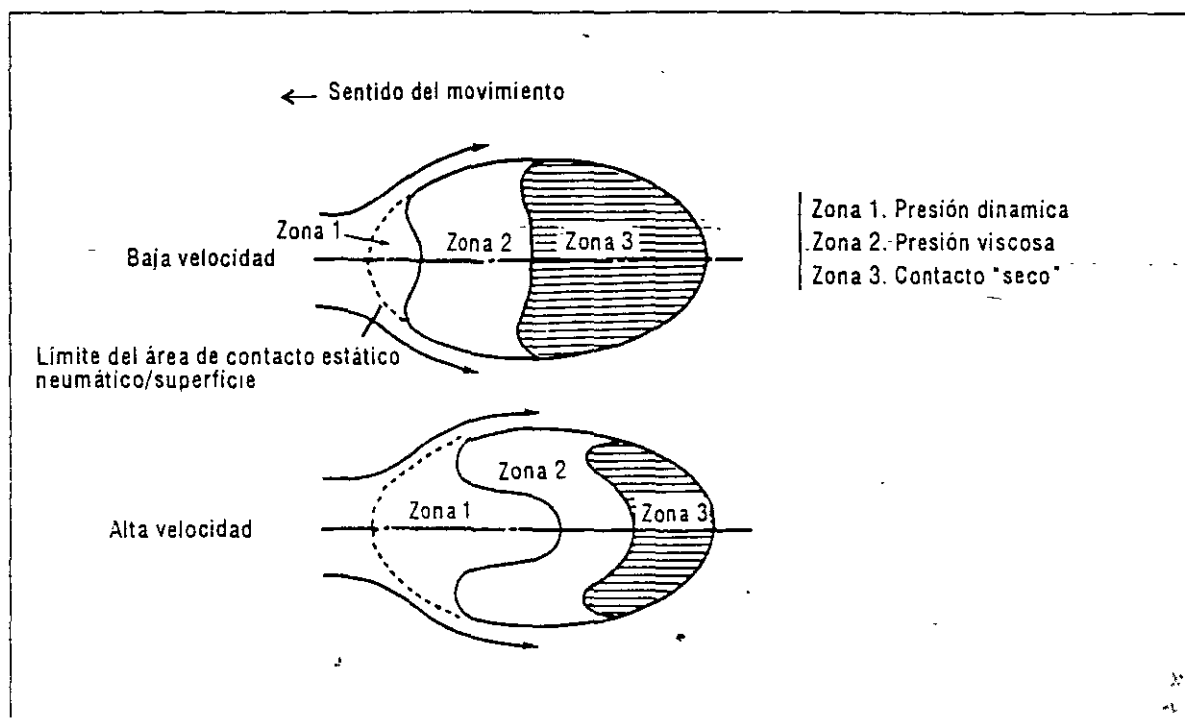


Figura 1-3. Zonas de interfaz neumático/superficie

aumentar con la velocidad. habiéndose obtenido, en un ensayo realizado sobre una superficie mojada utilizando un sistema de modelo anaguo, valores del 70% a 56 km/h (30 kt) y de hasta casi el 80% a 222 km/h (120 kt). Con sistemas modernos se han notificado valores todavía más elevados. Para los sistemas antideslizantes en uso en muchos aviones de transporte, el coeficiente de eficacia de frenado,  $\mu_{eff}$ , se ha determinado empíricamente como sigue:

$$\mu_{eff} = 0.2 \mu_{max} + 0.7 \mu_{max}^2, \text{ para } \mu_{max} \text{ inferior a } 0.7$$

y  $\mu_{eff} = 0.7 \mu_{max}$  para  $\mu_{max} = 0.7$  o superior

#### Resistencia de rodadura

1.5.14 La resistencia de rodadura es la resistencia al avance causada por la deformación elástica del neumático y por la superficie que lo soporta. Para un neumático ordinario de avión, de pliegues sesgados ("bias-ply"), es aproximadamente igual al producto de 0.02 por la carga vertical que soportó el neumático. Para que el neumático gire, el coeficiente de rozamiento de rodadura debe ser inferior al coeficiente de rozamiento entre el neumático y la pista.

#### Curvas de rozamiento en función de la velocidad

1.5.15 El agua es uno de los mejores lubricantes para el caucho y, tal como se dijo en 1.5.7, el desplazamiento del agua y la penetración de finas películas en el área de contacto del

neumático exige cierto tiempo. Existen varios parámetros de la superficie de la pista que aceptan la posibilidad de expulsar el agua del área de contacto del neumático. Si la pista tiene una buena macrotextura que deje escapar el agua por debajo del neumático, el coeficiente de rozamiento resultará menos afectado por la velocidad. A la inversa, una superficie de interior macrotextura experimentará una disminución mayor de rozamiento al aumentar la velocidad. Otro parámetro es la angulosidad de la textura (microtextura) que determina básicamente el nivel de rozamiento de una superficie, tal como se ilustra en la Figura 1-4

1.5.16 A medida que aumenta la velocidad, los coeficientes de rozamiento de las dos superficies de textura abierta A y D disminuyen levemente, en tanto que los coeficientes de rozamiento de las superficies B y C tienen una disminución más apreciable. Esto sugiere que la pendiente de la curva de rozamiento en función de la velocidad se ve afectada principalmente por la macrotextura. La magnitud del coeficiente de rozamiento se ve afectada predominantemente por la aspereza de las rugosidades, ya que A y B tienen una microtextura angulosa y C y D son lisas. En consecuencia, desde el punto de vista del rozamiento las superficies de las pistas deberían tener siempre una combinación de texturas angulosa y abierta. En consecuencia, una curva de rozamiento en función de la velocidad indica el efecto de la velocidad en el coeficiente de rozamiento en una superficie mojada, especialmente si se incluyen velocidades más elevadas, es decir, de aproximadamente 130 km/h (70 kt) o superiores.

### Textura de la superficie

1.5.17 La textura de la superficie entre el neumático y la pista depende de cierto número de factores tales como la velocidad, la textura de la superficie, el tipo de contaminantes en la pista, el espesor de los mismos, el compuesto de caucho del neumático, la estructura del neumático, el tipo de banda de rodadura, la temperatura de la banda de rodadura, el grado de desgaste del neumático, la presión de inflado, la eficacia del sistema de frenos, el par de frenado, el porcentaje de

resbalamiento de la rueda y la estación del año. Algunos de estos factores tienen efecto recíproco, y su efecto independiente sobre la magnitud del coeficiente de rozamiento varía en importancia. Sin embargo, el parámetro que determina en forma más significativa la magnitud del rozamiento que se puede lograr en superficie húmeda y la relación velocidad/rozamiento es el correspondiente a la micro/macrotextura de la superficie de la pista. En el Apéndice 2 se presentan otros datos sobre el influjo de las características de micro/macrotextura de la superficie en la eficacia del rozamiento de los neumáticos.

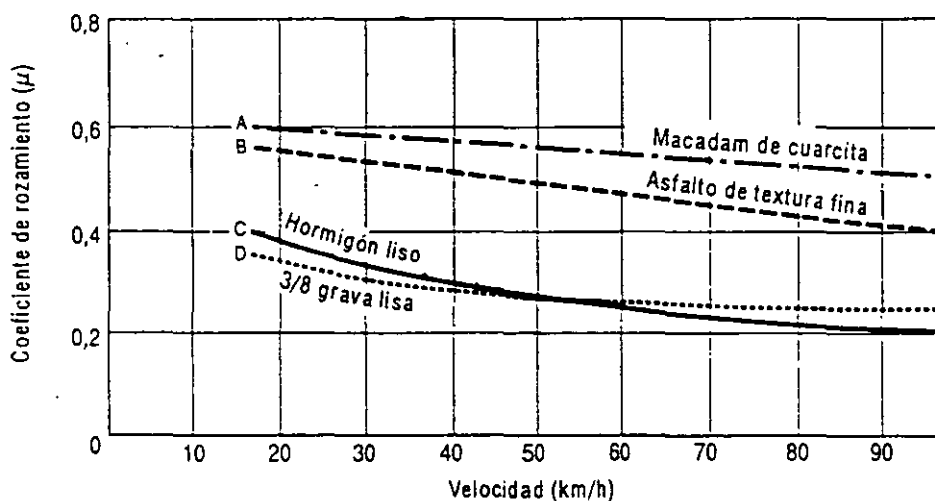


Figura 1-4. Relación entre el coeficiente de rozamiento de frenado logrado con frenos antideslizantes en superficies de diferentes texturas y en determinadas condiciones operacionales

## Capítulo 2

# Evaluación de los factores básicos que afectan el rozamiento

### 2.1 ESPESOR DE LA CAPA DE AGUA Y SU INFLUENCIA EN EL HIDROPLANEADO DINÁMICO

2.1.1 La velocidad crítica a la que ocurre el hidroplaneo (véanse 1.5.7 a 1.5.11) depende de cómo se define éste según se ilustra en la Figura 2-1. Si la velocidad a la que se produce el hidroplaneo se define como el punto en el cual llega a su máximo la curva de la resistencia al avance en función de la velocidad, no corresponderá con la velocidad a la cual la rueda cesa de girar. Al piloto le importa poco lo primero, pero sí le interesa conocer cuándo existe insuficiente rozamiento entre el neumático y el suelo para hacer que gire la rueda, es decir, para superar la resistencia de rodadura, dado que a partir de ese punto no puede aplicar un frenado efectivo. Es probable que a esta velocidad exista todavía cierto contacto con el suelo, aunque insuficiente para provocar la rotación de la rueda. Cuando ninguna parte del neumático se encuentre en contacto con la superficie, esta velocidad será probablemente más próxima a la del punto a partir del cual deja de aumentar la resistencia al avance de la rueda (es decir, en el máximo de la línea continua de la Figura 2-1).

2.1.2 El fenómeno de hidroplaneo dinámico se iniciará a una velocidad, expresada en kilómetros por hora (o en nudos), que corresponde aproximadamente a 624 veces (356 veces) el valor de la raíz cuadrada de la presión de inflado del neumático en kPa. No se conoce bien la naturaleza del fenómeno, pese a que se produjo inesperadamente el mismo durante ensayos del valor de rozamiento con un avión equipado con instrumentos especiales, midiéndose un valor del coeficiente de rozamiento de  $\mu = 0.05$  con los frenos aplicados. El registro de la velocidad de la rueda indicaba que no había suficiente resistencia de rodadura para hacer girar de nuevo la rueda cada vez que actuaba el tren automático.

2.1.3 Otro aspecto importante es que, una vez iniciado el fenómeno de hidroplaneo, la velocidad con relación al suelo debe reducirse a un valor muy inferior al de la velocidad de hidroplaneo antes de que las ruedas vuelvan a girar. Este fenómeno se indica claramente en ensayos realizados por la Universidad de Bristol con una rueda de 23 cm tal como aparece en la Figura 2-2.

2.1.4 Se observará que, con un neumático inflado a una presión de 206.8 kPa y con una carga de 90 kg, se inicia el

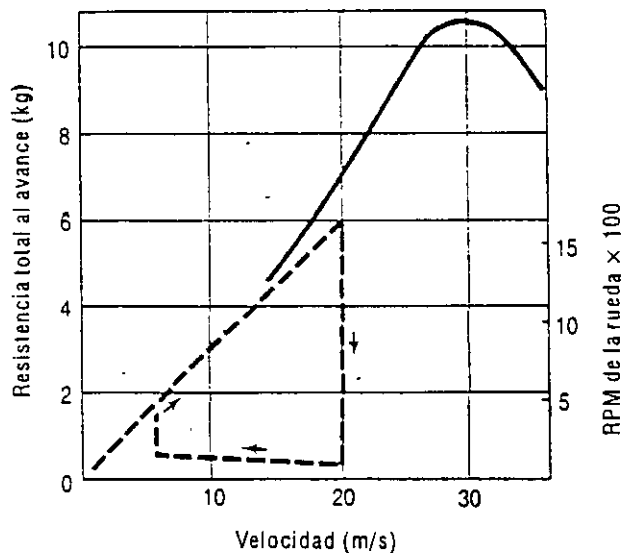


Figura 2-1. Variación de la resistencia total al avance de un neumático pequeño, en función de las revoluciones por minuto de la rueda y de la velocidad

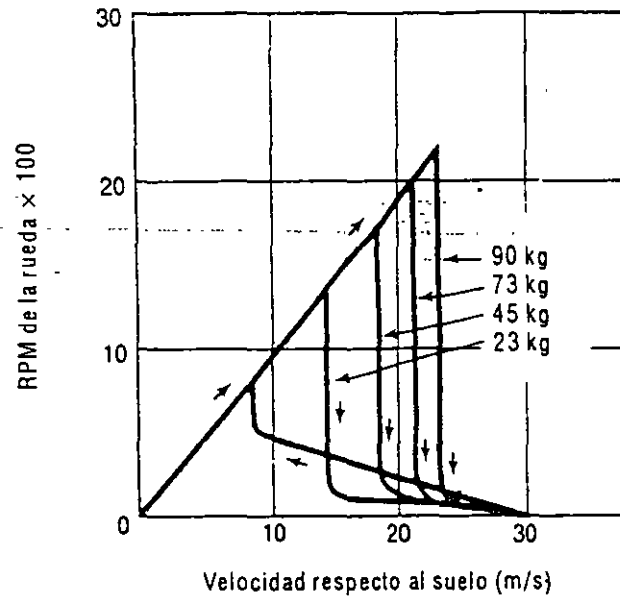


Figura 2-2. Variación de la rotación de la rueda en función de la velocidad respecto al suelo y la carga

hidroplaneo a unos 23 m/s pero el neumático no vuelve a tener contacto con el suelo hasta que la velocidad no se reduzca a 9 m/s. Cualquier cambio que se introduzca en la carga aplicada al neumático cambia igualmente la velocidad de hidroplaneo, suponiendo que ésta es la velocidad a la cual la rueda disminuye su velocidad de giro. El aspecto práctico demostrado por esta experiencia es que un neumático de avión no volverá a tener suficiente contacto con la superficie para obtener un frenado efectivo, en tanto no haya llegado a una velocidad bien inferior a la necesaria para iniciar el hidroplaneo.

2.1.5 Está claro que el hidroplaneo dinámico y viscoso sólo ocurrirá si existe sobre la pista una altura de agua suficiente para que el neumático no pueda desalojar el líquido de la huella de contacto del neumático con bastante rapidez para permitir el contacto con una superficie casi seca. El problema pasa a ser entonces una cuestión de drenaje y, principalmente, de micro/macrotextura de la pista, aunque el dibujo de la banda de rodadura tiene una pequeña influencia. Una banda de rodadura con ranuras apropiadas producirá canales de drenaje adicionales cuya eficacia disminuirá, no obstante, a medida que las ranuras se desgastan por debajo de límites admisibles. Actualmente se acepta, en general, que el riesgo de hidroplaneo puede minimizarse considerablemente si se utiliza una adecuada micro/macrotextura de superficie de pista. Este aspecto se trata en el *Manual de diseño de aeródromos*, (Doc 9157), Parte 3 — *Pavimentos*.

2.1.6 Con objeto de determinar cómo varía el espesor de agua necesario para sustentar el hidroplaneo según la textura de la superficie, el United Kingdom College of Aeronautics efectuó pruebas para determinar sus características de

hidroplaneo, en superficies de hormigón tratadas con cepillos (pero no con rastrillos de alambre) y de hormigón escarificado. Creando charcos en cada una de las superficies que corresponden a la vía prevista y utilizando un dispositivo medidor instalado en la pista, se ha podido determinar la altura del neumático, sobre la pista, durante el fenómeno de hidroplaneo. La Figura 2-3 se obtuvo llevando gráficamente la altura de la capa de agua por encima del marcador en función de la altura del neumático por encima de la pista.

2.1.7 Se ha observado que, una vez iniciado el fenómeno de hidroplaneo (que puede ocurrir en un charco de agua), el neumático no volverá a tomar contacto con la pista cuando la capa de agua tenga más de 0.6 mm si la superficie es de hormigón tratado con cepillo y la presión de inflado del neumático de 827 kPa. Cuanto mayor sea la presión de inflado tanto mayor tendrá que ser el espesor de la capa de agua necesario para sustentar el hidroplaneo. Igualmente, cuanto más áspera sea la textura de la superficie, tanto mayor será el espesor necesario de la capa de agua. Estos ensayos revelaron también que el fenómeno de hidroplaneo puede iniciarse en milisegundos, una vez que se ha encontrado el espesor crítico de la capa de agua. Se estima que el proporcionar a las superficies de pista una textura conveniente, un buen drenaje de la superficie y los medios de medir y notificar el espesor de toda agua que quede estancada, son requisitos indispensables para reducir al mínimo el peligro del hidroplaneo y mejorar en general las características de rozamiento en condiciones de pista mojada.

2.1.8 Considerando que la altura inicial de la capa de agua depende de la textura de la superficie, es vital traducir esta información en términos prácticos. Deberá aplicarse algún

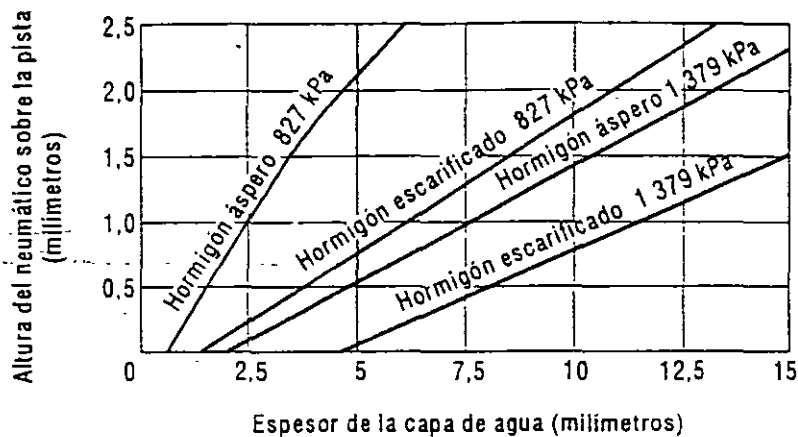


Figura 2-3. Altura del neumático por encima de la pista correspondiente a diferentes alturas de agua, texturas de superficie y presión de inflado del neumático a velocidades superiores a las del hidroplano

método o dispositivo para definir la textura, de cuyo un difícil problema, ya que el tamaño, forma y angulosidad de los áridos son elementos que tienen todos ellos importancia. Se someten actualmente a prueba varios métodos y técnicas de medición. El párrafo 2.3 contiene información sobre estos métodos y técnicas.

2.1.9 Al parecer pocos Estados, si es que hay alguno, suministran actualmente información acerca de la altura de la capa de agua en la pista, aunque en ciertos Estados que utilizan el sistema de pistas preferente, en condiciones de pista mojada, se practica el método de cambiar la pista de aterrizaje para utilizar la más larga o una que tenga menos viento de costado.

2.1.10 Se ha creído que la medición del espesor de la capa líquida podría remplazar la medición del rozamiento de la pista. Se emprendió un estudio a tal efecto con objeto de determinar la lista de requisitos que deben reunir los dispositivos para medir el espesor de la capa líquida. El estudio mostró que entre otros requisitos los dispositivos deberían ser precisos, de utilización fácil y rápida y poder medir el espesor de una capa de líquido de hasta 10 mm. Además, el tiempo de operación en pista debería ser mínimo y las lecturas no deberían estar afectadas por la concentración de sal en la superficie de la capa líquida. Ninguno de los dispositivos que vienen utilizando los Estados parece responder a estos requisitos, aunque se considera que por lo menos uno de ellos reúne los requisitos para efectuar trabajos de investigación. Si bien podría proyectarse un dispositivo que respondiese a todos los requisitos mencionados, parece que su realización no sería factible. El motivo principal es el siguiente: parece preferible emprender programas destinados a mejorar la textura de la superficie de las pistas y el drenaje de las mismas, en lugar de medir el espesor de la capa líquida. Los dispositivos sólo podrían tener alguna importancia en los casos raros de chaparrones muy fuertes. Aun suponiendo que se proyecte un dispositivo que responda a los requisitos

especificados, otra gran dificultad parece ser el número y emplazamientos de dispositivos requeridos para una pista. Se ha llegado, por ende, a la conclusión de que no resultaría práctico normalizar los dispositivos para medir el espesor de la capa de líquido y determinar así el coeficiente de rozamiento de la pista. A fin de obtener la profundidad de la textura media, deberían obtenerse muestras representativas de toda la superficie. El número de muestras requerido dependerá de las variaciones que se den en la textura de la superficie. Con ese fin, es conveniente que antes de medir la textura de la superficie, ésta sea objeto de una inspección ocular a fin de determinar cambios de importancia en la superficie del pavimento.

2.1.11 *Otras consideraciones.* El espesor de la capa líquida es, evidentemente, sólo una de las consideraciones. Es sumamente importante conocer la densidad y la viscosidad que existen para determinada profundidad. Para cada espesor mensurable de la capa de agua, es preciso considerar la densidad y viscosidad del líquido, la textura de la pista, el dibujo y el estado de desgaste de la banda de rodadura y los residuos acumulados en la pista, antes de que pueda determinarse cualquier aplicación de carácter operacional.

## 2.2 SUSTANCIAS PERJUDICIALES SOBRE EL PAVIMENTO

2.2.1 La presencia de sustancias en estado fluido (nieve fundente, nieve mojada o agua estancada) en las pistas puede tener un efecto sumamente adverso para la operación de las aeronaves. Las variaciones de la clase de sustancia y el efecto crítico de su espesor han creado dificultades para determinar satisfactoriamente el efecto de la resistencia al avance causada por tales depósitos. Las disposiciones operacionales que tratan el problema del despegue en pistas cubiertas de nieve fundente o de agua, figuran en el *Manual técnico de aeronavegabilidad*.



2.2.2 En la utilización de pistas cubiertas con depósitos líquidos de espesor mensurable existen, además de la presencia de niveles críticamente bajos de rozamiento y de efectos adversos de hidropilaje, los efectos retardadores denominados "resistencia al avance de los residuos de precipitación". Más concretamente, esa resistencia al avance puede dividirse para que comprenda: a) la resistencia al avance debida al desplazamiento del líquido; b) las características de deslizamiento de la rueda; c) la resistencia al avance debida al choque contra el avión de las salpicaduras que proyectan las ruedas. De ensayos reales efectuados con aviones, que incluyen pruebas de recorrido en tierra, se ha deducido que los niveles de la resistencia al avance debida a la precipitación, son registrados, en función directa de las siguientes variables y de su aplicación combinada, a saber: el cuadrado de la velocidad con respecto al suelo, la carga vertical, la presión de inflado de los neumáticos, la densidad del líquido, el espesor del líquido y el emplazamiento de la rueda.

2.2.3 Al rodar libremente sobre una pista cubierta de líquido el neumático en movimiento tiene contacto con el líquido estacionario acumulado sobre la pista y lo desplaza. Los cambios resultantes en la cantidad de movimiento del líquido crean presiones hidrodinámicas que influyen en las superficies del neumático y de la pista. La componente horizontal de la presión hidrodinámica resultante se denomina "resistencia al avance debida al desplazamiento del líquido" o fuerza retardadora del movimiento de avance. La componente vertical de esta reacción se denomina "sustentación debida al desplazamiento del líquido" o la fuerza de reacción que introduce la posibilidad de que se produzca el hidropilaje dinámico y de la tendencia a retardar la rotación de la rueda. Otras fuerzas del líquido que se oponen al movimiento de avance son "la resistencia al avance" y la "sustentación" debida a las salpicaduras, cuando parte del líquido que cubre la pista es proyectado en forma de salpicaduras que chocan con diversas partes del avión, como son los neumáticos, el tren de aterrizaje, los dispositivos hipersustentadores y los motores empleados a popa.

2.2.4 La resistencia al avance debida al desplazamiento del líquido reviste tremenda importancia para las características de aceleración de la aeronave en el despegue. Los efectos de la resistencia al avance debida al desplazamiento del líquido se experimentan también durante la deceleración: no obstante, las ventajas que presenta el retardo durante la deceleración resultan considerablemente afectadas por la disminución general del coeficiente de rozamiento y la posible ocurrencia de hidropilaje.

2.2.5 Como ya se ha indicado, el problema de la resistencia al avance debida a los residuos de precipitación depositados en la pista está relacionado con los casos de despegue, teniendo presente que el empuje del motor disminuye al aumentar la velocidad y que la resistencia al avance debida a la precipitación aumenta proporcionalmente al cuadrado de la velocidad, puede llegarse a un punto en que la resistencia al avance debida a la precipitación iguale al empuje. Si la velocidad del avión se encuentra entonces por

debajo de la velocidad de despegue, nunca llegará a levantar vuelo. Además de la velocidad, la resistencia al avance debida a la precipitación variará de acuerdo al espesor y densidad de la materia depositada. Considerando que ambos, especialmente el primero, pueden variar a lo largo de la pista, puede apreciarse la complejidad del problema. Por otra parte, el hecho de que la resistencia al avance debida a los residuos de precipitación ejercida sobre la aeronave se divide en dos componentes principales, a saber: la que produce las ruedas al desplazar los residuos depositados y la debida al choque contra la aeronave de las salpicaduras proyectadas por las ruedas, significa que la resistencia total al avance debida a la precipitación variará según los diferentes tipos de aeronaves.

2.2.6 Un método de medir el espesor de la capa líquida consiste en tomar un gran número de puntos, con una regla u otro instrumento de medición, y calcular el valor medio. Este método resultaría satisfactorio si el espesor fuera relativamente uniforme, pero en la práctica esto no sucede con frecuencia.

2.2.7 El piloto deberá conocer el espesor máximo de la sustancia líquida determinada en cuya presencia se le permite despegar, y necesitará contar con informes sobre el estado de la pista para cada tercio de pista, siendo el segundo tercio o el último tercio los que revisten mayor importancia.

## 2.3 TEXTURA DE LA SUPERFICIE

2.3.1 Se estima que la textura de la superficie es la causa principal de diferencias del coeficiente de rozamiento de frenado de una pista mojada. Las superficies de las pistas contienen tanto macrotexturas como microtexturas. Una macrotextura es la textura gruesa que corresponde a los áridos o una textura aplicada artificialmente como la constituida por ranuras o surcos. La macrotextura puede medirse mediante varios métodos y es la responsable principal del drenaje masivo de agua de la superficie. Por otra parte, la microtextura es la textura representada por las partículas individuales de áridos que pueden sentirse al tacto pero que no pueden medirse directamente. La microtextura resulta importante en las películas de agua muy delgadas que penetran en la superficie. Así pues, la macrotextura se utiliza fundamentalmente para aumentar el drenaje masivo del agua, lo que reduce la tendencia de los neumáticos de las aeronaves a experimentar hidropilaje dinámico, mientras que la microtextura tiene gran importancia en la reducción de la incidencia del fenómeno de hidropilaje viscoso asociado a las películas de agua muy delgadas. Dado que tanto la macrotextura como la microtextura inciden considerablemente en los coeficientes de rozamiento en condiciones de pista mojada puede afirmarse, *a priori*, que sólo pueden establecerse tendencias generales utilizando mediciones de la macrotextura únicamente. Los datos disponibles en la actualidad muestran una tendencia general a favorecer la utilización de macrotexturas grandes para aumentar los coeficientes de rozamiento en condiciones de pista mojada.

2.3.2 En el Anexo 14, Volumen I, se recomienda que la profundidad media de la macrotextura de superficie de una nueva superficie no sea inferior a 1 mm, para proporcionar buenas características de rozamiento cuando la pista está mojada. Si bien profundidades inferiores a 1 mm pueden proporcionar todavía un buen drenaje, al construir una nueva superficie debe elegirse una profundidad mayor que el valor mínimo, dado que el uso normal del pavimento producirá deterioro de la superficie. Si no se proporciona una cierta profundidad adicional de textura de superficie, por encima del valor mínimo, al construir una superficie de pavimento, entonces será necesario desarrollar labores de mantenimiento al poco tiempo.

2.3.3 Por lo tanto, es lógico aplicar una técnica que establezca el gradiente de la curva de la relación velocidad/rozamiento de una superficie, partiendo de mediciones de la macrotextura de dicha superficie. Para obtener la profundidad mínima de la textura, deberían tomarse muestras que sean representativas de toda la superficie. El número de muestras requerido dependerá de las variaciones en la textura de la superficie. Con este fin, es conveniente que antes de medir la textura de la superficie se efectúe una inspección ocular de ésta para determinar los cambios importantes en la superficie del pavimento.

2.3.4 Se reconoce, por lo general, que las técnicas más adecuadas de que se dispone para medir la profundidad de la macrotextura de superficie son el método de manchas de arena y el método de manchas de grasa. A continuación se proporciona la descripción de estos dos métodos, así como de otros que pueden utilizarse para medir la profundidad media de la textura de la superficie.

#### *Métodos de manchas de arena y de manchas de grasa*

2.3.5 Se esparce sobre la superficie un volumen conocido de grasa o de partículas de arena de tamaño conocido hasta que se colmen todas las cavidades. Si el volumen conocido se divide entonces por el área cubierta, puede encontrarse la profundidad media de las cavidades. Este tipo de medición puede indicar únicamente el efecto de la velocidad en la curva de la relación velocidad/rozamiento y ello se ha confirmado con experimentos prácticos (véase 1.5.15).

2.3.6 A continuación se ofrecen ejemplos de los métodos de medición por manchas de arena y por manchas de grasa.

#### **MÉTODO DE MANCHA DE GRASA**

##### **A. Equipo necesario**

1. Un cilindro metálico abierto en ambos extremos, con un volumen interno de unos 16 000 mm<sup>3</sup>. El volumen real no es crítico siempre que se conozca exactamente. Podrían considerarse como dimensiones apropiadas las siguientes: diámetro interno del tubo, 25.4 mm; longitud 32.3 mm.

2. Una espátula para enmasillar.
3. Un pistón ajustado con vástago impulsor para expeler la grasa del cilindro.
4. Una barredera de madera o aluminio recubierta de caucho, de unos 30 a 40 mm de ancho.
5. Cinta adhesiva-protectora.

##### **B. Procedimiento para la prueba**

1. Primero se rellena el cilindro de prueba con cualquier grasa de uso general, utilizando la espátula con el fin de evitar que quede aire atrapado, y a continuación se alisan los extremos con la misma espátula. Se pegan dos líneas paralelas de la cinta adhesiva sobre la superficie de la pista con una separación de unos 10 cm y se coloca una tercera línea de cinta en ángulo recto con las dos cintas paralelas en uno de los extremos de las mismas. Se hace salir la grasa del cilindro por medio del pistón y se extiende en el área de prueba, esparciéndola para que penetre en los huecos de la superficie hasta el nivel de las partes salientes de la misma y dándole una forma rectangular entre las líneas paralelas de cinta protectora. Debe tenerse cuidado de que no quede ninguna grasa sobre las cintas adhesivas o en la barredera.
2. Se mide el volumen del cilindro de prueba y las dimensiones de la mancha de grasa. Se obtiene el promedio de la superficie de los huecos mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de la textura de la superficie} = \frac{\text{Volumen de grasa (mm}^3\text{)}}{\text{Área cubierta (mm}^2\text{)}}$$

Después de terminar las pruebas, debe quitarse la grasa de la superficie de la pista.

#### **MÉTODO DE MANCHA DE ARENA**

##### **A. Equipo necesario**

1. Un cilindro metálico de 86 mm de profundidad interior y 19 mm de diámetro interno.
2. Un disco plano de madera de 64 mm de diámetro, con un disco de caucho endurecido de 1.5 mm de espesor adherido a uno de sus lados, mientras que la otra cara está provista de una agarradera.
3. Arena natural seca, con partículas de forma redondeada que pasen a través de un tamiz de 300 micrones pero que no atraviesen un tamiz de 150 micrones.

## B. Procedimiento para la prueba

1. Séquese la superficie que ha de medirse y bárrase con un cepillo suave para que quede limpia. Liénese el cilindro con arena, golpeando tres veces la base contra la superficie para que la arena quede compacta y alísese la misma para que quede al nivel del tope del cilindro. Viértase la arena haciendo un montón sobre la superficie que ha de probarse. Extiéndase la arena sobre la superficie moviendo el disco sobre su cara plana con un movimiento circular de modo que la arena se extienda en una trayectoria circular, de tal manera que las depresiones de la superficie queden rellenas con arena hasta el nivel de las partes salientes.
2. Mídase el diámetro de la mancha de arena con una aproximación de 5 mm. La profundidad de la textura es  $31\,000/D^2$ , siendo D el diámetro de la mancha expresado en milímetros.

2.3.7 Los siguientes métodos pueden utilizarse también para medir la macrotextura de la superficie:

- a) *Medición directa en el pavimento.* Se mide la longitud real de la línea que se extiende sobre esta superficie.
- b) *Método estereofotográfico.* Se fotografía la parte de esta área con una cámara estereográfica especialmente construida. De las curvas de nivel resultantes, se traza el perfil, cuya longitud se mide.
- c) *Método de la regla de copiar perfiles.* Se coloca sobre el pavimento una regla de copiar perfiles, instrumento compuesto de dos reglas solidarias de 0,30 m de largo, que sostienen una serie de finas barras verticales (agujas). Al aflojarse la presión de los soportes horizontales, desciende cada una de las agujas hasta tocar el pavimento, indicando la parte superior de las mismas el perfil de la superficie, cuya longitud puede entonces medirse.
- d) *Método de "molde".* Con un material que endurece (como el yeso o la plasticina) se hace un molde de la superficie. Después de haberlo cortado con la sierra, se mide en el molde el perfil obtenido.
- e) *Método de papel carbón.* Por medio de papel carbón, se imprime en un papel una copia de la superficie. Se mide seguidamente la longitud del perfil calculado sobre la base de la reproducción.
- f) *Medición por escorrentía del agua.* La determinación se basa en la cantidad de agua que fluye durante cierto tiempo del fondo de un cilindro chato colocado sobre el pavimento (pérdida de altura).

2.3.8 Con cualquiera de estos métodos se obtiene una indicación aproximada de la aspereza de la superficie. Cuando se utiliza la medición a partir de un volumen conocido, el área cubierta por la arena o la grasa esparcidas da la indicación. El cociente del volumen del material esparcido y el área que cubre da el valor medio de la profundidad de la textura. Se llama "relación del perfil" (profile-metalling) al cociente de

la longitud de una línea medida a lo largo del perfil de una sección diagonal trazada en el pavimento y la longitud de una línea de base. Se han hecho investigaciones para determinar si es posible que exista una correlación entre la "relación del perfil" y la reducción de la rugosidad, pero todavía no se ha llegado a una conclusión al respecto. Es ya un hecho que para las superficies ásperas esta relación será superior a 1.05.

2.3.9 También es importante que se ensayen en laboratorio los áridos minerales que han de utilizarse para los pavimentos, para determinar su grado de resistencia al pulimento antes de que se empleen en la construcción de pistas. Por otra parte, tendrían que analizarse para verificar su resistencia al aplastamiento y resquebramiento de las superficies por la acción del tránsito. La cuestión de la textura de la superficie de las pistas se estudia detenidamente en el *Manual de diseño de aeródromos*, Parte 3 — Pavimentos.

### *Medición de la microtextura de la superficie*

2.3.10 Según se mencionó anteriormente, no se dispone actualmente de mediciones directas para definir la aspereza de grano fino requerida de los áridos, en términos de ingeniería. No obstante, debería hacerse hincapié en la importancia de proporcionar una buena microtextura, dado que una microtextura inadecuada resultará en una reducción de las características de rozamiento de la superficie de la pista. Es probable que el deterioro de la microtextura provocado por los efectos del tránsito y los fenómenos meteorológicos ocurra en un tiempo comparativamente menor que el correspondiente a las macrotexturas de superficie.

## 2.4 DESIGUALDADES DE LA SUPERFICIE

Aunque los constructores de pistas se esfuercen por producir una pista bien regular con adecuadas pendientes laterales, la subsecuente consolidación de la estructura de la pista puede causar cambios del perfil y dar lugar a la formación de ciertas depresiones, en las que se embalsa el agua. Estas zonas son claramente visibles después de una lluvia, cuando se seca la parte drenada de la pista, dejando charcos a la vista. La situación exige remedio si los charcos tienen una profundidad superior al espesor mínimo crítico que da lugar al fenómeno de hidropilaje (aproximadamente 3 mm) dado que en una pista mojada el hidropilaje, una vez iniciado, puede mantenerse con un espesor de agua mucho menor. Por otra parte, si la temperatura desciende por debajo del punto de congelación, los charcos formarán parches de hielo que pueden dar lugar a considerables dificultades desde el punto de vista de la operación de aeronaves. Asimismo, el exceso de agua estancada en los charcos podría ser ingerido por los reactores y ocasionar una extinción del motor. Las medidas paliativas para estas situaciones requerirán, normalmente, la reconstrucción de la superficie para eliminar de forma eficaz el problema provocado por la formación de charcos.

## Capítulo 3

# Determinación y expresión de las características de rozamiento en superficies pavimentadas mojadas

### 3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Para las operaciones es necesario contar con información sobre aquellas pistas pavimentadas que pueden tornarse resbaladizas cuando están mojadas. A estos efectos hay que medir periódicamente las características de rozamiento de las superficies pavimentadas de las pistas para comprobar que dichas características no descienden por debajo de un nivel convenido. La indicación sobre las características de rozamiento de las pistas pavimentadas y mojadas puede obtenerse utilizando dispositivos de medición del rozamiento; no obstante, es necesario ganar más experiencia en este dominio para correlacionar los resultados obtenidos mediante dichos equipos con la eficacia de frenado de los aviones, debido a las numerosas variables que intervienen, tales como la temperatura de la pista, la presión de inflado de los neumáticos, la velocidad de ensayo, el modo de operación de los neumáticos (rueda bloqueada, resbalamiento frenado), la eficacia del sistema antideslizamiento, la velocidad durante la medición y el espesor de agua.

3.1.2 La medición del coeficiente de rozamiento proporciona el mejor medio para determinar las condiciones de rozamiento en la superficie. El valor del coeficiente de rozamiento en la superficie debería ser el valor máximo que aparece cuando se frena una rueda a un determinado porcentaje de deslizamiento pero sin dejar de rodar. Para medir el coeficiente de rozamiento pueden utilizarse varios métodos. Las consideraciones de orden operacional determinan generalmente el método más adecuado que debe utilizarse en determinado aeropuerto. Debido a que las operaciones exigen uniformidad en el método de evaluar las características de rozamiento de las pistas, las mediciones deberían hacerse preferiblemente mediante dispositivos que permitan la medición continua del rozamiento máximo (en la gama de 10% a 20% de resbalamiento) a lo largo de toda la pista.

3.1.3 La tecnología actual no permite establecer una correlación directa e inmediata entre las mediciones del rozamiento en la superficie de la pista, tomadas con un dispositivo de medición del rozamiento y la eficacia de frenado de los aviones en pistas mojadas. Se ha encontrado, no obstante, que las características de rozamiento en una pista mojada son relativamente constantes y sólo se deterioran lentamente en lapsos prolongados, según la frecuencia de utilización de la pista. Esta conclusión es de importancia, ya

que elimina la necesidad de efectuar mediciones continuas de las características de rozamiento en pistas mojadas. Los resultados de los ensayos han demostrado que no puede obtenerse una correlación directa, pero sí una relación indirecta entre las mediciones efectuadas con dispositivos de medición del rozamiento y la eficacia real de frenado de los aviones en condiciones similares de contaminantes en la superficie de la pista. La realización de muchos ensayos a diversas velocidades sobre pavimentos de diversos tipos de microtextura y de macrotextura en la superficie, demostró también que los dispositivos de medición del rozamiento proporcionan a la autoridad del aeropuerto la posibilidad de distinguir entre las superficies de pista que poseen buenas características de rozamiento y las deficientes. Por lo tanto, se ha llegado a la conclusión de que en lugar de notificar con un criterio operacional las características de rozamiento en una pista mojada, debe medirse periódicamente el coeficiente de rozamiento de las pistas para asegurarse de que sus características de rozamiento se mantienen a un nivel aceptable.

3.1.4 Las mediciones periódicas sirven para dos fines. En primer lugar, identifican las pistas que se encuentran a un nivel de eficacia inferior al normal y estos emplazamientos deberían comunicarse a los pilotos. En segundo lugar, suministran una información cualitativa a las autoridades del aeropuerto acerca del estado de la superficie de las pistas, permitiendo de este modo la elaboración de programas de mantenimiento más objetivos y la justificación de los presupuestos correspondientes.

3.1.5 Idealmente, la distinción entre las características de rozamiento buenas y deficientes en pistas mojadas debería relacionarse con los criterios de aeronavegabilidad para la certificación de los aviones. Sin embargo, no existe por ahora ningún acuerdo internacional sobre certificación de aviones en pistas mojadas. Con todo, algunos Estados poseen experiencia operacional en el uso de determinados dispositivos de medición del rozamiento, que les permite establecer programas para determinar las pistas cuyas características de rozamiento son deficientes cuando están mojadas. Esta experiencia puede aprovecharse para que otros Estados establezcan sus propios programas y, aunque teóricamente la relación de los valores de rozamiento con la performance del avión no sea muy precisa, dichos programas se consideran adecuados para distinguir entre características buenas y características deficientes de rozamiento en la superficie de la pista.

3.1.6 Los criterios aplicados por un Estado para evaluar las superficies de las pistas deberían difundirse en su publicación de información aeronáutica (AIP). Cuando se encuentre que una superficie de pista no cumple con las condiciones requeridas, debería expedirse un NOTAM hasta que se tomen las medidas correctivas necesarias.

3.1.7 Además, es conveniente medir las características de rozamiento en función de la velocidad en pistas nuevas o de nuevo recubrimiento para ver si se ha logrado o no el objetivo de diseño. Las mediciones deberían efectuarse a dos o más velocidades con un dispositivo de medición del rozamiento de características autohumectantes. Debería obtenerse el valor promedio para cada velocidad de ensayo de toda la pista, en condiciones de pista mojada pero limpia. Con esta finalidad, son preferibles los dispositivos de medición del rozamiento que proporcionan valores continuos de las características de rozamiento de la pista, en lugar de aquellos dispositivos que proporcionan solamente valores en determinados puntos; puesto que estos últimos pueden ser fuente de información errónea. Esta información se considera valiosa desde el punto de vista de las operaciones puesto que representa una indicación general de los valores de rozamiento en la superficie, en la parte central relativamente larga de la pista en la que no se acumulan depósitos de caucho.

## 3.2 MEDICIONES

3.2.1 Por varias razones es necesario medir las características de rozamiento de las pistas mojadas y pavimentadas; a saber:

- a) verificar las características de rozamiento de pistas pavimentadas nuevas o de nuevo recubrimiento cuando están mojadas;
- b) evaluar las características de resbalamiento de las pistas pavimentadas;
- c) determinar el efecto en el rozamiento cuando las características de drenaje son deficientes; y
- d) determinar el rozamiento de las pistas pavimentadas que se ponen resbaladizas en condiciones inusitadas.

3.2.2 Las características de las pistas deberían evaluarse cuando se construyen por primera vez, o después del recubrimiento de la superficie, para determinar las características de rozamiento en la superficie con la pista mojada. Aunque se admite que el rozamiento disminuye con el uso, el valor obtenido representará el rozamiento en la parte central, relativamente prolongada, de la pista en la que no se han acumulado depósitos de caucho procedentes de las operaciones de aviones, y por lo tanto, tiene validez operacional. Los ensayos de evaluación deberían hacerse sobre superficies limpias. Si no, puede limpiarse la superficie antes del ensayo, podría hacerse un ensayo sobre parte de la superficie limpia en la parte central de la pista, a fin de preparar un informe preliminar.

3.2.3 El valor del rozamiento debería obtenerse promediando los resultados de las mediciones efectuadas con el dispositivo de ensayo. Si las características de rozamiento difieren considerablemente a lo largo de partes importantes de la pista, debería obtenerse el valor del rozamiento para cada parte de la pista. Una parte de la pista del orden de los 100 m de longitud puede considerarse importante para la determinación del valor del rozamiento.

3.2.4 Periódicamente deberían hacerse ensayos del rozamiento en las condiciones actuales de la superficie, con el fin de determinar las pistas con rozamiento deficiente cuando están mojadas. Antes de clasificar una pista como resbaladiza cuando está mojada, los Estados deberían determinar cuál es el nivel de rozamiento mínimo que consideran aceptable y publicar ese valor en sus publicaciones de información aeronáutica (AIP). Cuando se compruebe que el rozamiento en una pista es inferior a ese valor notificado, la información debería publicarse mediante un NOTAM. Los Estados deberían también fijar un nivel para planificación de mantenimiento por debajo del cual deberían estudiarse las medidas correctivas de mantenimiento que fueran adecuadas para mejorar el rozamiento. Sin embargo, si las características de rozamiento de toda la pista o de una parte de ella están por debajo del nivel mínimo de rozamiento dichas medidas correctivas de mantenimiento habrán de aplicarse sin demora. Deberían efectuarse mediciones del rozamiento a intervalos que garanticen señalar las pistas que requieran mantenimiento o un tratamiento especial de la superficie antes de que su estado se agrave. El intervalo de tiempo entre las mediciones dependerá de factores tales como el tipo de aviones y la frecuencia del uso, las condiciones climáticas, el tipo de pavimento y las necesidades de reparación y mantenimiento.

3.2.5 Por razones de uniformidad y para poder establecer una comparación con otras pistas, los ensayos de rozamiento en pistas ya en servicio, en pistas nuevas o en pistas con nuevo recubrimiento deberían efectuarse con dispositivos de medición continua del rozamiento que estén provistos de neumáticos con banda de rodadura suave. Los dispositivos deberían ser aptos para servirse de características de autohumectación que permitan establecer mediciones de las características de rozamiento de la superficie con espesor de agua por lo menos de 1 mm.

3.2.6 Cuando se sospeche que las características de rozamiento de una pista pueden reducirse en razón de un drenaje deficiente, debido a lo escaso de las pendientes o a la existencia de depresiones, debería efectuarse otro ensayo, esta vez en circunstancias normales representativas de la lluvia en la localidad. Este ensayo difiere del anterior por el hecho de que, en general, el espesor de la capa de agua en las zonas de drenaje deficiente es mayor en el caso de la lluvia local. Por lo tanto, es más factible en este caso que en el caso del ensayo anterior con la característica de autohumectación que puedan determinarse las zonas en las que probablemente ocurrirían valores deficientes del rozamiento que podrían inducir hidropneumático. Si las circunstancias no permiten ensayos de rozamiento en condiciones normales representativas de lluvia, puede simularse esta situación.

3.2.7 Aunque se haya comprobado que el rozamiento es superior al nivel establecido por el Estado para definir una pista resbaladiza, quizá se sepa que en condiciones excepcionales la pista puede volverse resbaladiza. Se sabe que estas condiciones se producen en ciertos lugares cuando, tras un prolongado período de tiempo seco, la lluvia que empieza a caer en la pista produce una condición sumamente resbaladiza, que no es representativa de las características generales de rozamiento en condiciones de pista resbaladiza cuando está mojada. Esta situación tiene carácter transitorio y desaparece por sí misma, ya que al prolongarse la lluvia se lava la superficie de la pista. Se supone que el fenómeno se debe al emulsionamiento del polvo y de otras materias que se depositan en la pista, provenientes tal vez de los complejos industriales próximos. Un fenómeno similar se ha observado, sin embargo, en pistas situadas en regiones desérticas o de suelo arenoso, y también en climas tropicales húmedos, donde la causa se atribuye al crecimiento de un hongo microscópico. Cuando se sepa que estas condiciones existen, deberán realizarse mediciones del rozamiento tan pronto como se sospeche que la pista puede haberse tornado resbaladiza y deben continuarse hasta que se corrija la situación.

3.2.8 Cuando los resultados de cualesquiera de las mediciones mencionadas indiquen que sólo se encuentra resbaladizo determinado sector de la pista, es importante difundir esta información, al igual que tomar las medidas correctivas pertinentes.

3.2.9 Cuando se efectúen ensayos del rozamiento en pistas mojadas, es importante observar que, a diferencia de las condiciones que se presentan con nieve compactada o hielo, en las cuales se produce una variación muy limitada del coeficiente de rozamiento en función de la velocidad, en una pista mojada generalmente se produce un marcado descenso del rozamiento a medida que aumenta la velocidad. Sin embargo, al aumentar la velocidad disminuye el régimen de reducción del rozamiento. Entre los factores que afectan el coeficiente de rozamiento entre el neumático y la superficie de la pista, la textura tiene particular importancia. Si la pista tiene una buena macrotextura que permite que el agua escape por la banda de rodadura del neumático o por debajo del neumático, el valor del rozamiento se ve entonces, menos afectado por la velocidad. En cambio, en una superficie de escasa macrotextura el rozamiento disminuye mucho más rápidamente al aumentar la velocidad. Por lo tanto, al someter las pistas a ensayo para determinar sus características de rozamiento y si es o no necesario tomar medidas de mantenimiento para mejorarlas, debería utilizarse una velocidad distinta, suficiente para que se observen estas variaciones de rozamiento en función de la velocidad.

3.2.10 La medición precisa de las características de rozamiento de una pista mojada sólo puede obtenerse si los factores pertinentes se miden tan exactamente como sea posible. Detalles tales como la calibración del dispositivo de medición del rozamiento, su fiabilidad, el tipo, diseño, condición, presión, relación de resbalamiento de los neumáticos y la cantidad de agua sobre la superficie, etc., tienen un efecto

importante en el valor definitivo del rozamiento para una superficie en particular. De esto se deduce que debe ejercerse el control más estricto de las técnicas de medición.

3.2.11 Los Estados deberían especificar los tres niveles de rozamiento siguientes:

- a) un nivel de diseño por el que se establece el mínimo nivel de rozamiento para una superficie de pista de nueva construcción o de nueva pavimentación;
- b) un nivel de rozamiento para mantenimiento por debajo del cual deberían estudiarse las medidas correctivas de mantenimiento que habrían de aplicarse;
- c) un nivel mínimo de rozamiento por debajo del cual debe proporcionarse información indicando que la pista puede ser resbaladiza y deben adoptarse medidas correctivas.

La experiencia con diversos dispositivos de medición del rozamiento indica que en algunos Estados se han aplicado los siguientes criterios presentados en la Tabla 3-1 para especificar las características de rozamiento de superficies nuevas de pista o nuevamente pavimentadas y, para establecer niveles de planificación de mantenimiento y fijar niveles mínimos de rozamiento.

3.2.12 Se considera también muy conveniente ensayar las características de rozamiento de pistas pavimentadas a más de una velocidad, para poder obtener información adecuada de las características de rozamiento de las pistas cuando están mojadas. A este respecto, debe señalarse que cuando la pista está mojada es posible que no queden reflejados los efectos de una macrotextura y/o de una microtextura insatisfactorias si los ensayos se realizaran a una sola velocidad.

3.2.13 Como el valor del coeficiente de rozamiento depende tanto de la textura de la superficie, podría variar en función del origen del material empleado y del método de construcción. Asimismo, unas partes de la pista se utilizan más frecuentemente que otras o se depositan en ellas restos de caucho, todo lo cual modificará el valor básico del coeficiente de rozamiento. Puede deducirse, en consecuencia, que es preciso efectuar mediciones a todo lo largo de la pista. Para cubrir la anchura requerida, deberían efectuarse las mediciones a lo largo de dos vías paralelas: concretamente, a lo largo de una línea a cada lado del eje de la pista, aproximadamente a 3 m o a aquella distancia del eje que corresponde a la mayoría de las operaciones. En pistas utilizadas para aviones de fuselaje ancho y para aviones de fuselaje estrecho, las mediciones deben realizarse a lo largo de dos líneas a 5 m del eje de la pista.

3.2.14 Para reducir al mínimo las variaciones en las mediciones del rozamiento causadas por las técnicas utilizadas en la aplicación del acabado de la textura de las superficies, los recorridos deberían hacerse en ambos sentidos y tomarse un valor medio. Deberían investigarse las variaciones importantes entre las lecturas obtenidas en cada sentido. Además, si se hace una medición del rozamiento a lo largo de una senda situada a 5 m del borde de la pista, ello proporcionará un punto

Tabla 3-1. Niveles correspondientes a las condiciones de superficie de la pista

Equipo de ensayo	Nivel de diseño de nueva superficie de pista*	Nivel de planificación de mantenimiento de la superficie de la pista*	Nivel mínimo de rozamiento en la superficie de la pista*	Espesor calculado de descarga de agua (mm)	Velocidad durante el ensayo para estudio del rozamiento (km/h)	Presión del neumático para medición del rozamiento (kPa)
Medidor del valor Mu						
Método 1	0.72 0.66	0.52 0.38	0.42 0.26	1.0 1.0	65 95	70 70
Método 2	0.68 0.65	0.47 0.45	0.42 0.39	0.5 0.5	65 130	70 70
Deslizómetro	0.82 0.74	0.60 0.47	0.50 0.34	1.0 1.0	65 95	210 210
Dispositivo de ensayo del rozamiento en la superficie	0.82 0.74	0.60 0.47	0.50 0.34	1.0 1.0	65 95	210 210
Medidor del rozamiento en la pista	0.82 0.72	0.60 0.54	0.50 0.41	1.0 1.0	65 95	210 210

\* Los valores de estas columnas son el promedio representativo de la pista o de partes importantes de la misma.

de referencia respecto a la superficie no gastada y no contaminada, para fines de comparación con las sendas centrales sometidas al tráfico.

3.2.15 Para medir los valores del rozamiento en pistas mojadas puede utilizarse un dispositivo de medición continua (p. ej., medidor del valor Mu, dispositivo de ensayo del rozamiento en la pista, deslizómetro o dispositivo de ensayo del rozamiento en la superficie). Pueden también utilizarse otros dispositivos de medición del rozamiento a condición de que satisfagan los criterios indicados en 5.2 y de que se haya establecido la correlación, por lo menos, con uno de los dispositivos mencionados. En el Apéndice 5 se describe un método de evaluación del rozamiento cuando el aeropuerto no cuenta con dispositivos de medición del rozamiento.

### 3.3 NOTIFICACIÓN

Es necesario notificar la presencia de agua en la franja central de anchura igual a la mitad de la pista. También se necesita efectuar una evaluación del espesor de agua cuando sea posible. Para poder notificar con cierta precisión las condiciones de la pista deberían utilizarse los siguientes términos y descripciones correspondientes:

Húmeda — la superficie acusa un cambio de color debido a la humedad.

Mojada — la superficie está empapada pero no hay agua estancada.

Encharcada — hay charcos visibles de agua estancada.

Inundada — hay una extensa superficie visible de agua estancada.

### 3.4 INTERPRETACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ROZAMIENTO DEFICIENTE

3.4.1 Es necesario proporcionar información en el sentido de que, debido a características de rozamiento deficientes, una pista o parte de la misma puede tomarse resbaladiza si está mojada, pues en ese caso podría existir un deterioro importante tanto de la eficacia del frenado del avión como del mando de dirección.

3.4.2 Es aconsejable asegurarse de que la distancia de aterrizaje necesaria en condiciones de pavimento de la pista resbaladizo, especificada en el Manual de vuelo del avión, no exceda de la distancia de aterrizaje disponible para la pista. Al examinar la posibilidad de un despegue interrumpido deberían efectuarse investigaciones periódicas, a fin de asegurarse de que las características de rozamiento en la superficie son adecuadas para frenar en la parte de la pista que se utilizaría para una parada de emergencia. Tal vez no resulte posible detener el avión sin peligro a partir de la velocidad  $V_1$  (velocidad de decisión) y según la distancia disponible y otras condiciones limitadoras, quizá haya de reducirse la masa requerida de despegue del avión o haya de demorarse el despegue hasta que mejoren las condiciones de la pista.

## Capítulo 4

# Medición de las características de rozamiento en superficies pavimentadas cubiertas de nieve compactada o de hielo

### 4.1 GENERALIDADES

4.1.1 En las operaciones se necesita información fiable y uniforme sobre las características de rozamiento en pistas pavimentadas cubiertas de nieve y/o de hielo. Pueden obtenerse indicaciones precisas y fiables de las características de rozamiento en la superficie mediante la utilización de dispositivos de medición del rozamiento. No obstante, es necesario ganar más experiencia para asegurarse de la validez de la correlación de los resultados obtenidos mediante dichos dispositivos con la performance de los aviones, debido a las numerosas variables que intervienen tales como la masa del avión, su velocidad, el mecanismo de frenado y las características de los neumáticos y del tren de aterrizaje.

4.1.2 La medición del coeficiente de rozamiento en la superficie proporciona el mejor medio para determinar las condiciones de rozamiento de la misma. Este valor del rozamiento en la superficie debería ser el valor máximo en una rueda cuando resbala pero sigue rodando. Para medir las condiciones de rozamiento pueden utilizarse varios dispositivos. Debido a que en las operaciones se requiere uniformidad en el método de evaluar y notificar el rozamiento en la pista, la medición debería hacerse preferiblemente mediante dispositivos que proporcionen una medición continua del rozamiento máximo a lo largo de toda la pista. En el Capítulo 5 se presenta una descripción de los diversos dispositivos de medición del rozamiento en tierra que satisfacen estos requisitos. Se analiza la posibilidad de normalización junto con la correlación entre los diversos vehículos terrestres y entre los vehículos terrestres y la eficacia de frenado de los neumáticos del avión.

### 4.2 EL PROBLEMA DE LOS CAMBIOS DE LAS CONDICIONES DEL AEROPUERTO

4.2.1 La autoridad que tenga a su cargo la responsabilidad de decidir si las condiciones actuales de la superficie de la pista permiten las operaciones seguras de los aviones determinará cotidianamente si las condiciones invernales exigen medir el coeficiente de rozamiento en la pista. Si esta autoridad es la dependencia de los servicios de tránsito aéreo

y si el servicio meteorológico pronostica condiciones de hielo o de nieve, probablemente se requerirán como mínimo informes horarios y, ciertamente, cada vez que haya motivos para suponer que se ha producido un cambio importante en las condiciones de la superficie de la pista. Si el aeropuerto permanece abierto las 24 horas del día, será necesario actualizar continuamente la información sobre el estado de la superficie de la pista durante todo el período de condiciones meteorológicas adversas. Si el aeropuerto se cierra durante la noche, antes de abrirlo al tránsito de aviones habrán de realizarse mediciones del rozamiento para verificar el estado de la superficie de la pista.

4.2.2 Existen circunstancias especiales que exigen particular atención, tales como el caso en que la temperatura en la pista fluctúa alrededor del punto de congelación o cuando, por ejemplo, debido a condiciones meteorológicas cambiantes, tales como una corriente de aire caliente y húmedo que afecta a una pista sumamente fría. Se ha encontrado que, en circunstancias como estas, los valores de rozamiento pueden también presentar grandes diferencias, según los materiales de que esté recubierta la pista. Por lo tanto, deberían efectuarse mediciones del rozamiento en la pista que está realmente en servicio y no en una pista adyacente o en una calle de rodaje, que pueden estar construidas con material diferente.

4.2.3 Puede comprometerse, debido a la falta de uniformidad, la fiabilidad de los ensayos que se hagan con dispositivos de medición en condiciones distintas a las presentadas por la existencia de nieve compactada o hielo. Esto se aplicará particularmente cuando exista una fina capa de nieve fundente, de agua sobre hielo, o de nieve seca o mojada, no compactada, en la pista. En tales circunstancias las ruedas del dispositivo de medición del rozamiento o del avión, pueden penetrar la capa de contaminantes de la pista de forma distinta, lo que daría una diferencia notable en la indicación de la eficacia de frenado. Los resultados de los ensayos de rozamiento obtenidos mediante diversos dispositivos de medición del rozamiento podrían, en tales casos, presentar grandes variaciones debido a las diferencias en los distintos métodos de ensayo aplicados y, para cada método particular, debido a las distintas características del vehículo y a las distintas técnicas aplicadas en la realización del ensayo.



Deberá tenerse también mucho cuidado de informar a los pilotos acerca de las condiciones de rozamiento en la pista cuando se observe una película de agua sobre el hielo.

4.2.4 La utilidad de facilitar información sobre el rozamiento en la pista dependerá del grado de correlación que pueda lograrse con la eficacia real de detención del avión. La autoridad del aeropuerto necesita indudablemente esta información para tomar decisiones de índole operacional, pero en el caso de pistas cubiertas de hielo, la medición y notificación de los coeficientes de rozamiento deberían considerarse sólo como un procedimiento provisional, mientras que se concluyen las operaciones de limpieza y otras medidas destinadas a restablecer por completo las condiciones de utilización de la pista. Aunque el coeficiente de rozamiento de una superficie mojada decrece al aumentar la velocidad, los ensayos realizados sobre hielo o nieve compactada indican que los valores del coeficiente de rozamiento a las velocidades relativamente bajas de los dispositivos de medición del rozamiento no difieren apreciablemente de los valores correspondientes a las velocidades de los aviones. Sin embargo, la eficacia de frenado que observa el piloto puede que no corresponda al valor medido del coeficiente de rozamiento, si la pista está cubierta de parches de hielo a intervalos cortos, más o menos regulares, debido al tiempo de reacción del sistema de antideslizamiento del avión.

4.2.5 Al considerar las ventajas relativas que ofrece la medición del coeficiente de rozamiento de una pista cubierta de nieve compactada y/o de hielo, en comparación con las medidas efectivas para mantener la superficie limpia de contaminantes en todo momento, debe señalarse que la limpieza inmediata de la nieve y del hielo debería tener la máxima prioridad. Sin embargo, existen circunstancias que justifican la necesidad de medir el coeficiente de rozamiento y, por lo tanto, la preparación de métodos aceptables. Por ejemplo, se han producido incidentes que implicaban pérdida de la eficacia del frenado en pistas que aparentemente estaban limpias y secas. La merma del coeficiente de rozamiento se hubiera detectado con la medición, a pesar de que no era aparente. Se pueden producir incidentes de esta índole en un aeropuerto en el que el movimiento nocturno es raro o nulo, al reanudarse las operaciones de vuelo durante las primeras horas de la mañana, cuando se observa escarcha o cuando existen condiciones de engelamiento y la temperatura de la superficie de la pista desciende por debajo del punto de rocío (p. ej., por radiación). Debe señalarse que la temperatura notificada del aeropuerto podría ser superior a la de engelamiento, aunque la de la superficie de la pista fuera inferior a este valor y tal superficie proporcionaría valores extremadamente bajos de rozamiento, durante un período muy breve, como consecuencia de una formación repentina de hielo.

4.2.6 Cuando la pista está helada el valor del coeficiente de rozamiento está más propenso a cambios. En estas circunstancias, es fundamental realizar mediciones más frecuentes del coeficiente de rozamiento en la pista y es imprescindible la cooperación entre las dependencias de control de tránsito aéreo correspondientes las autoridades del aeropuerto y el personal

que maneja los dispositivos de medición del rozamiento, así como el establecimiento de procedimientos adecuados.

4.2.7 En un aeropuerto en el que regularmente se producen fuertes tempestades de nieve, es a veces necesario interrumpir las operaciones de limpieza de nieve durante un corto período, para permitir que continúen las operaciones de vuelo. En estas circunstancias, es poco probable que la pista haya quedado completamente limpia y se necesitarán mediciones para informar a los pilotos de los aviones de esta condición. Además, a pesar de las medidas que se hayan tomado para conservar limpia la pista, puede ocurrir que queden partes resbaladizas. Por consiguiente, conviene efectuar mediciones para detectar las zonas que requieren repetir el tratamiento y para transmitir información a los pilotos acerca de las características de rozamiento en la pista.

4.2.8 Es preferible utilizar un dispositivo de medición que proporcione información continua de los valores de rozamiento. Para operaciones cotidianas en pistas cubiertas de nieve compactada y/o, de hielo es indispensable que el vehículo empleado pueda suministrar la información necesaria con rapidez y en una forma que resulte práctica desde el punto de vista de las operaciones.

4.2.9 Se ha puesto en tela de juicio la utilidad práctica de medir el espesor de la capa de nieve seca, nieve mojada o nieve fundente depositada en la pista, dado que se trata de un proceso largo y que el tiempo que exige podría emplearse más útilmente en retirar los contaminantes del pavimento, especialmente teniendo en cuenta que la operación de eliminación de la nieve fundente es relativamente rápida y simple. Además, los procedimientos para medir el espesor de los contaminantes se basan generalmente en la hipótesis de que existe una capa uniforme en la pista lo cual es raro en la práctica. A pesar de las razones aducidas, siempre que se haya acumulado en la pista nieve seca, mojada o fundente, debería evaluarse el espesor medio en cada tercio de la pista.

### 4.3 PRECISIÓN REQUERIDA DE LA INFORMACIÓN RELATIVA A LAS CARACTERÍSTICAS DE ROZAMIENTO

4.3.1 En el caso de turborreactores modernos de transporte, la diferencia entre la distancia de parada en una pista seca y en una pista cubierta de hielo puede llegar, en casos extremos de eficacia de frenado deficiente, a un valor del orden de 900 m. No todos están de acuerdo en que sea posible prever con precisión las variaciones de la distancia de parada causadas por condiciones de bajo valor  $\mu$ . Es necesario que continúen las investigaciones para determinar la correlación que existe entre los valores medidos del coeficiente de rozamiento de los dispositivos de medición y la eficacia de frenado de los aviones.

4.3.2 Según se señaló en 5.3, se ha obtenido una correlación aceptable entre la eficacia de frenado de los aviones y los dispositivos de medición del rozamiento en pistas cubiertas de nieve compactada y/o de hielo. Las tripulaciones de los aviones, como fruto de su experiencia en las operaciones han llegado a obtener valores de correlación de algunos dispositivos de medición del rozamiento que pueden aplicarse hasta cierto punto en la práctica. Por tal razón, las tripulaciones de los aviones han solicitado desde hace mucho tiempo que las autoridades de los aeropuertos suministren información de las mediciones del rozamiento en la pista utilizando alguno de los dispositivos de medición del rozamiento reconocidos para tal fin. Se ha demostrado que cuanto más resbaladiza se encuentra la pista tanto más confianza, desde el punto de vista operacional, puede tenerse en las mediciones del rozamiento que actualmente se suministran, y esto contribuye a justificar el requisito operacional. En consecuencia, la medida práctica más útil que pueda tomarse en este momento es la de normalizar los resultados de las mediciones efectuadas en la pista en condiciones invernales y dejar que las tripulaciones de los aviones con la experiencia acumulada apliquen esta información a sus propios aviones y operaciones en el aeropuerto.

#### 4.4 MEDICIONES

4.4.1 Debería medirse el coeficiente de rozamiento si la pista está cubierta, total o parcialmente, de nieve o de hielo, y repetirse la medición cuando las condiciones cambien. Deberían efectuarse mediciones del rozamiento y evaluaciones de la eficacia de frenado en otras superficies del aeropuerto, además de las pistas, cuando se prevea que las características de rozamiento en tales superficies podrían ser deficientes.

4.4.2 Para medir los valores del rozamiento en pistas cubiertas de nieve compactada y/o de hielo, puede utilizarse un dispositivo de medición continua del rozamiento (p. ej., el medidor del valor  $\mu$ , el dispositivo de ensayo de rozamiento en la pista, el deslizador, el dispositivo de ensayo del rozamiento en la superficie o el dispositivo de ensayo del asimiento). Para determinadas condiciones de la superficie, p. ej., nieve compactada, hielo y copas muy delgadas de nieve seca, puede utilizarse un decelerómetro (p. ej., frenómetro-dinómetro o medidor Tapley). Pueden utilizarse otros dispositivos de medición, siempre que se conozca su correlación con uno por lo menos de los tipos mencionados anteriormente. No deberían utilizarse en nieve suelta o nieve fundente o en hielo cubierto por una película de agua, decelerómetros ya que pueden dar valores de rozamiento que induzcan a error. Otros dispositivos de medición del rozamiento pueden también dar valores que induzcan a error en ciertas combinaciones de contaminantes y cuando varía la temperatura del aire/pavimento. En el Apéndice 2 se describen algunos métodos de evaluación de la eficacia de frenado para el caso de que en el aeropuerto no haya dispositivos de medición del rozamiento.

#### 4.5 NOTIFICACIÓN

4.5.1 Existe el requisito de notificar la presencia de nieve, nieve fundente o hielo en pistas o calles de rodaje. Para estar en condiciones de notificar con cierto nivel de fiabilidad y de uniformidad los contaminantes meteorológicos, es necesario establecer un método uniforme para describirlos. Por lo tanto, se han incluido en el Anexo 14 las siguientes definiciones de nieve fundente y de nieve en tierra.

##### *Nieve (en tierra)*

- a) *Nieve seca.* Nieve que, si está suelta, se desprende al soplar o, si se compacta a mano, se disgrega inmediatamente al soltarla. Densidad relativa: hasta 0.35 exclusive.
- b) *Nieve mojada.* Nieve que, si se compacta a mano, se adhiere y muestra tendencia a formar bolas, o se hace realmente una bola de nieve. Densidad relativa: de 0.35 a 0.5 exclusive.
- c) *Nieve compactada.* Nieve que se ha comprimido hasta formar una masa sólida que no admite más compresión y que mantiene su cohesión o se rompe a pedazos si se levanta. Densidad relativa: 0.5 o más.

*Nieve fundente.* Nieve saturada de agua que, cuando se le da un golpe contra el suelo con la suela del zapato, se proyecta en forma de salpicaduras. Densidad relativa: de 0.5 a 0.8.

*Nota.*— Las mezclas de hielo, nieve y/o de agua estancada pueden, especialmente cuando hay precipitación de lluvia, de lluvia y nieve o de nieve, tener densidades relativas superiores a 0.8. Estas mezclas, por su gran contenido de agua o de hielo, tienen un aspecto transparente y no traslúcido, lo cual, cuando la mezcla tiene una densidad relativa bastante alta, las distingue fácilmente de la nieve fundente.

4.5.2 También existe el requisito de notificar las características de rozamiento en pistas cubiertas de nieve compactada y/o de hielo. Las condiciones de rozamiento en una pista deberían expresarse como "información sobre la eficacia de frenado" en términos del coeficiente de rozamiento  $\mu$  medio/calculado o de la eficacia de frenado estimada.

4.5.3 Determinados valores numéricos de  $\mu$  están forzosamente relacionados con el diseño y construcción de cada dispositivo de medición del rozamiento, así como con las condiciones de la superficie que es objeto de la medición y, en cierta medida, con la velocidad del dispositivo de medición.

4.5.4 La Tabla 4-1 y los términos descriptivos conexos que se dan a continuación se prepararon basándose solamente en los datos sobre el rozamiento recopilados en condiciones de nieve compactada y de hielo y, por lo tanto, no deberían aceptarse como valores absolutos  $\mu$  aplicables en todas las condiciones de contaminantes. Si la superficie está afectada por nieve y/o hielo y la eficacia de frenado se notifica como "buena", los pilotos deberían esperar condiciones no tan

Tabla 4-1. Coeficientes de rozamiento para pistas cubiertas de nieve compactada o hielo

Coeficiente medido	Eficacia de frenado estimada	Clave
0.40 y superior	Buena	5
de 0.39 a 0.36	Mediana a buena	4
de 0.35 a 0.30	Mediana	3
de 0.29 a 0.26	Mediana a deficiente	2
0.25 e inferior	Deficiente	1

buenas como las de una superficie del pavimento de la pista limpia y seca (en la que el rozamiento disponible puede muy bien ser superior al necesario en cualquier caso). La indicación "buena" tiene, pues, un valor relativo, y de ella se infiere que los aviones no deberían experimentar dificultades de mando de dirección ni de frenado durante el aterrizaje.

4.5.5 Se ha comprobado que resulta necesario proporcionar información sobre el rozamiento en la superficie para cada tercio de la pista. Estos tercios de la pista se denominan respectivamente tramos A, B y C. Para los fines de notificar la información a las dependencias del servicio de información aeronáutica, el tramo A se encuentra siempre del lado de la pista que tiene el número de designación más bajo. Al proporcionar a un piloto información antes del aterrizaje, los tramos citados se denominan, sin embargo, primera, segunda o tercera parte de la pista. Se entiende siempre por "primera parte" el primer tercio de la pista, en el que el avión aterrizará.

4.5.6 Las mediciones del rozamiento se realizan siguiendo dos líneas paralelas a la pista, es decir, a lo largo de una línea a cada lado del eje de la pista, separadas de éste unos 3 m o por aquella distancia del eje de pista a la que se realizan

la mayoría de las operaciones de los aviones. El objeto de los ensayos es determinar el valor medio del rozamiento ( $\mu$ ) para los tramos A, B y C. En los casos en que se utilice un dispositivo de medición continua del rozamiento, los valores medios de rozamiento  $\mu$  se obtienen a partir de los valores de rozamiento registrados para cada tramo. Si se utilizan dispositivos de medición del rozamiento en puntos determinados la distancia entre sucesivos puntos de ensayo no debería ser superior al 10% aproximadamente de la longitud utilizable de la pista. Si se decide que una sola línea de ensayo a uno de los dos lados del eje de la pista puede dar una indicación adecuada de toda la pista, se entiende que en cada tercio de la pista deberían efectuarse tres ensayos. Los resultados de los ensayos y los valores medios de rozamiento calculados se registran en un formulario similar al indicado en la Figura 5-5. Donde sea aplicable, también deberían proporcionarse, a solicitud, las cifras correspondientes al valor del coeficiente de rozamiento en la zona de parada.

4.5.7 Al notificar la presencia de nieve seca, nieve mojada o nieve fundente en una pista, debería efectuarse una evaluación del espesor medio en cada tercio de la pista, con una precisión de aproximadamente 2 cm para la nieve seca, 1 cm para la nieve mojada y 0.3 cm para la nieve fundente.

## Capítulo 5

# Dispositivos de medición del rozamiento en la pista

### 5.1 POSIBILIDAD DE NORMALIZACIÓN

Actualmente funcionan en aeropuertos de diversos Estados varios tipos de equipo de medición del rozamiento. Se incorporan a ellos diversos principios y difieren en cuanto a las características básicas de índole técnica y operacional. Según se explica en 5.3, los resultados de varios programas de investigación para obtener la correlación de los diversos equipos de medición del rozamiento han demostrado que puede lograrse una correlación aceptable entre los valores del rozamiento obtenidos a base de los mencionados dispositivos sobre superficies mojadas artificialmente. Sin embargo, no ha podido lograrse una correlación uniforme y fiable en superficies mojadas entre estos dispositivos y la eficacia de detención de los aviones. En superficies cubiertas de nieve y/o de hielo, la correlación entre los diversos dispositivos de medición del rozamiento, sin ser perfecta, es mucho mejor que la lograda en superficies mojadas. Solamente pueden utilizarse las mediciones obtenidas con dispositivos de medición del rozamiento en superficies artificialmente mojadas, a título de información de asesoramiento, para fines de mantenimiento y no debe confiarse en estos valores para predecir la eficacia de detención de los aviones.

### 5.2 CRITERIOS APLICABLES A LOS NUEVOS DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DEL ROZAMIENTO

La Octava Conferencia de navegación aérea (1974) recomendó que la OACI elaborara criterios relativos a las características básicas de índole técnica y operacional del equipo de medición de las características de rozamiento en la pista. En respuesta a esta recomendación se prepararon y remitieron a los Estados algunos criterios pertinentes. Se estimaba que los textos servirían de ayuda a los Estados que estuvieran en vías de planificar el desarrollo de nuevos dispositivos de medición del rozamiento. Sin embargo, se informó a los Estados que no había ninguna garantía de que el nuevo equipo de medición que se preparara, según los criterios propuestos, llevara a lograr una correlación más aceptable, en condiciones de pista mojada, entre los dispositivos de medición del rozamiento y la eficacia de frenado de los aviones. A continuación se resumen estos criterios que en 1991 fueron objeto de una revisión y actualización. Los criterios están destinados a normalizar los parámetros de diseño de los nuevos dispositivos de medición del rozamiento; su objetivo consiste en permitir bastante flexibilidad y el

desarrollo de futuros dispositivos sin oponerse a los adelantos técnicos en esta esfera.

#### *Especificaciones técnicas básicas de los dispositivos de medición del rozamiento.*

1. *Modo de medición.* Medición continua en movimiento, a lo largo de la parte del pavimento que haya de ensayarse.
2. *Posibilidad de que se mantenga la calibración.* El equipo debe diseñarse de forma que se mantengan los valores de calibración a pesar del uso en condiciones bruscas, de forma que pueda asegurarse que los resultados son fiables y uniformes.
3. *Modo de frenado.* Durante las operaciones de medición del rozamiento:
  - a) con un dispositivo de resbalamiento fijo, la rueda de medición del rozamiento debería estar continuamente frenada a una relación de resbalamiento constante en una gama del 10 al 20%; y
  - b) con un dispositivo de fuerza lateral, el ángulo incluido (una sola rueda) debería estar en la gama de 5° a 10°.
4. *Vibraciones excesivas.* El equipo debería diseñarse de forma que quede excluida cualquier posibilidad de vibraciones sostenidas en el plano vertical de la masa, con amortiguamiento y sin amortiguamiento, que ocurran en cualquier gama de velocidades de desplazamiento durante las operaciones de medición, particularmente respecto a la rueda de medición.
5. *Estabilidad.* El equipo debería tener claramente estabilidad direccional durante todas las fases de la operación, incluso durante los virajes a alta velocidad que a veces son necesarios para dejar la pista libre.
6. *Gama de valores del coeficiente de rozamiento.* La gama de registro del coeficiente de rozamiento debería ser de 0 a 1 por lo menos.
7. *Presentación de los resultados de las mediciones.* El equipo debería estar en condiciones de proporcionar un registro permanente de la traza gráfica continua de los valores del rozamiento para la pista y debería ser tal que la persona que lleva a cabo el estudio registre cualquier

observación, así como la fecha y hora del registro (véase la Figura 5-1).

8. *Error aceptable.* El equipo debería estar en condiciones de proporcionar promedios uniformes y repetitivos del rozamiento en toda la gama de valores del rozamiento con un nivel de confianza del  $95.5\% \pm 6 \mu$  (o dos desviaciones características).
9. *Parámetros medidos y registrados.*
  - a) En los dispositivos de resbalamiento fijo, el valor del rozamiento registrado debería ser proporcional a la relación de la fuerza longitudinal de rozamiento y a la carga vertical de las ruedas.
  - b) En el caso de un dispositivo de fuerza lateral, el valor registrado del rozamiento debería ser proporcional a la relación de la fuerza lateral a la carga en la rueda.
10. *Gama de velocidades.* Cuando se realizan las mediciones del rozamiento, la gama de velocidades de los dispositivos de medición debería estar comprendida entre 40 km/h y, por lo menos, hasta 130 km/h.
11. *Promedio de incrementos de  $\mu$ .* El equipo debería estar en condiciones de proporcionar automáticamente los promedios de  $\mu$  por lo menos en las siguientes condiciones:
  - a) los primeros 100 m de la pista;
  - b) cada incremento de 150 m; y
  - c) cada tercio de la pista.
12. *Escala horizontal.* Para reducir a un mínimo las variaciones importantes de escala entre los diversos dispositivos de medición del rozamiento, el fabricante puede proporcionar, como opción, una escala de 25 mm que sea equivalente a 100 m. Esto puede simplificar las comparaciones de datos cuando se utilicen dos o más dispositivos de medición del rozamiento en un aeropuerto.
13. *Presión y banda de rodadura normales de los neumáticos.* Para ensayos en superficies mojadas por la lluvia o artificialmente mojadas, la banda de rodadura debería ser lisa con una presión de 70 kPa en el caso de dispositivos de medición del rozamiento de tipo guiñada. En los dispositivos de medición del rozamiento por relación de frenado a resbalamiento deben utilizarse neumáticos de banda de rodadura lisa con una presión de 210 kPa. En superficies cubiertas de nieve suelta, mojada o seca, de nieve compactada o de hielo, deberían utilizarse neumáticos con configuración de banda de rodadura a una presión de 700 kPa para dispositivos de relación fija de frenadora o resbalamiento.
14. *Variaciones admisibles de los neumáticos.* Para reducir a un mínimo las variaciones de las dimensiones físicas de los neumáticos de medición del rozamiento, y las características físicas de los compuestos de la banda de

rodadura, los fabricantes de neumáticos deben atender a los requisitos enumerados en el Apéndice 3. El neumático es un componente muy importante de los dispositivos de medición del rozamiento y es esencial asegurar que siempre es confiable y que proporciona resultados uniformes fiables. En 5.3 se proporcionan los procedimientos de evaluación de la eficacia y de la fiabilidad del equipo y de los neumáticos para medición del rozamiento.

15. *Operaciones todo tiempo.* El dispositivo de medición del rozamiento debería diseñarse de forma que esté asegurado su funcionamiento normal a cualquier hora y en cualesquiera condiciones meteorológicas.
16. *Mantenimiento del equipo.* El mantenimiento técnico del dispositivo de medición del rozamiento debería ser tal que se asegure la realización de los trabajos sin riesgo durante las operaciones de medición y de transporte.
17. *Humectación artificial.* Los dispositivos de medición del rozamiento, previstos para medir las características de rozamiento de superficies de la pista cuando están mojadas, deberían contar con características de autohumectación que permitan realizar mediciones de las características de rozamiento en la superficie con un espesor controlado de agua, por lo menos de 1 mm.

### 5.3 CORRELACIÓN ENTRE LOS DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DEL ROZAMIENTO

5.3.1 La posibilidad de obtener un grado útil de correlación entre los dispositivos de medición del rozamiento ha sido objeto de muchos ensayos realizados durante muchos años en diversos Estados. En 1989, Estados Unidos desarrolló un programa para elaborar normas que aseguraran la eficiencia y fiabilidad de los neumáticos en superficies de pista artificialmente mojadas. Subsiguientemente, se llevaron a cabo ensayos de correlación con cuatro dispositivos de medición continua del rozamiento (véase la Figura 5-2).

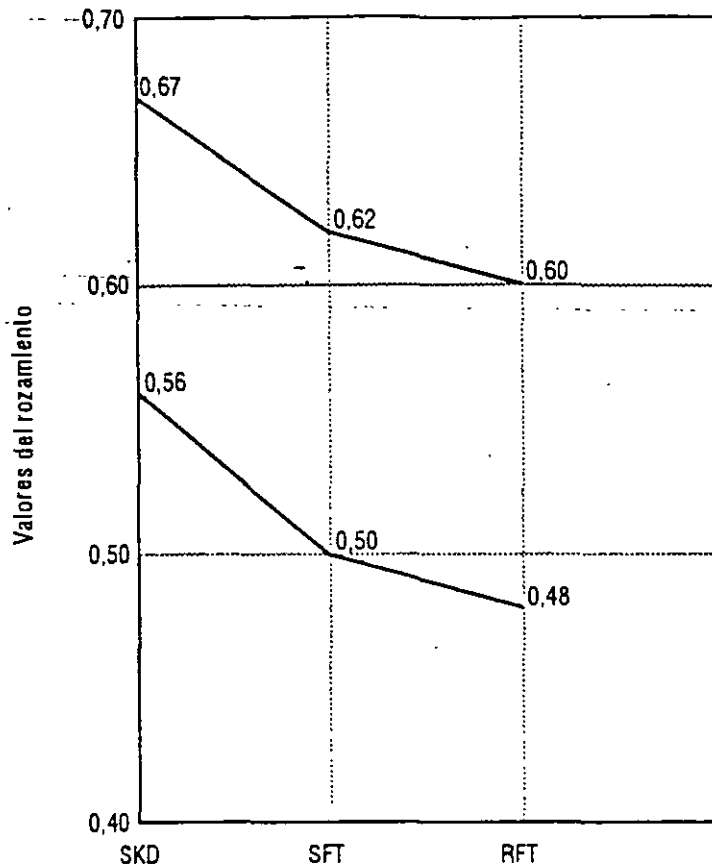
5.3.2 Se incluyeron en los ensayos cuatro dispositivos de medición del rozamiento. Tres dispositivos de resbalamiento fijo, el medidor del rozamiento en la pista, el medidor del rozamiento en la superficie, el deslizómetro, y un dispositivo de ensayo del rozamiento a base de fuerza lateral, el medidor del valor  $\mu$ . En la Tabla 3-1 se establece la correlación entre los diversos dispositivos utilizados en el programa.

5.3.3 En la Naval Air Station de Brunswick, Maine, se realizaron en los meses de invierno de 1985 a 1986 los ensayos correspondientes a un programa destinado a establecer la correlación entre la eficacia de los neumáticos y el equipo de rozamiento en superficies cubiertas de nieve compactada y/o de hielo como parte de un programa conjunto de la FAA/NASA para medición del rozamiento en las pistas. Además de un avión B-737 con instrumentos de la NASA y de aviones B-727 de la FAA, se incluyeron en el programa los

Tipo de equipo	Hora	Lugar	Programa Núm.			
Fecha de ensayo	Viento	Dirección				
Condiciones meteorológicas	Condiciones antes del ensayo					
Pista						
Descripción de la superficie						
Ensayos de textura de superficie		Grasa (mm)	Agua (segundos)			
Posición 1						
Posición 2						
Posición 3						
Ensayo de desgaste de neumáticos		Caucho perdido (gramos)				
Izquierdo						
Derecho						
Total						
Ensayos efectuados por	Vehículo de remolque (si corresponde)					
Método de humectación	Espesor del agua (mm)					
Longitud cubierta por la traza	Velocidad de ensayo					
Al empezar	Al terminar					
Distancia del recorrido desde el eje de la pista						
Resultados del rozamiento						
Velocidad km/h	32	65	95	130	145	160
1er tercio						
Tercio medio						
3er tercio						
Número de referencia en el gráfico del registrador y medio de identificación de los recorridos y velocidades individuales:						
Velocidad km/h	32	65	95	130	145	160
Sección de pista a 4,5 m del eje de la pista que da el coeficiente de rozamiento más bajo (excluyendo las señales pintadas)						

Nota: Debe unirse a este formulario el gráfico original del registrador o una reproducción del mismo.

Figura 5-1 Formulario para informe de ensayos de rozamiento



## Notas:

1. Velocidad de ensayo 65 km/h; espesor de agua 1 mm.
2. 0,50 del medidor del valor  $\mu$  es la base para la correlación. La gama de valores indicada es  $\pm 2$  desviaciones normales.

Figura 5-2. Gráfico de correlación de los dispositivos de medición del rozamiento en superficies cubiertas de nieve compactada o de hielo

siguientes tipos de dispositivos de ensayo en tierra: el medidor del valor  $\mu$ , el medidor del rozamiento en la pista, el deslizómetro BV-11, el medidor del valor Tapley, el frenómetro-dinómetro y el medidor del rozamiento en la superficie. No se obtuvo un suficiente número de datos del rozamiento de los vehículos en tierra para determinar una razonable correlación en condiciones de nieve fundente y de nieve suelta. En la Figura 5-3 se muestra solamente la correlación entre los dispositivos de medición del rozamiento en tierra para superficies cubiertas de nieve compactada y/o de hielo. La temperatura ambiente en estas condiciones invernales de las pistas variaba en la gama de  $-15^{\circ}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ . Es de desear que se efectúen otras mediciones del rozamiento a temperaturas inferiores que confirmen la correlación actual de los datos.

5.3.4 Los datos sugieren que para condiciones de pista cubierta de nieve compactada y/o de hielo, la temperatura de la superficie de la pista, la temperatura del aire y el tipo de acumulación y de contaminantes en la superficie influyen en las lecturas del rozamiento. A temperaturas por debajo del punto de congelación, el rozamiento en la pista depende de la

intensidad de la fuerza tangencial de la nieve compactada y del hielo que tienden a aumentar a medida que disminuye la temperatura. Por consiguiente, cuanto más baja sea la temperatura de la nieve o del hielo, mayor será el nivel de rozamiento en la pista. Cuando las temperaturas se acercan al punto de fusión, en el caso de nieve compactada y de hielo, se produce una película fina de agua que puede inducir a una disminución notable de los niveles de rozamiento en la pista por efectos de lubricación o de hidrodinámico viscoso. Aunque se recopilan las mediciones del rozamiento con dispositivos en vehículos de tierra que se mueven a velocidades entre 32 km/h y 95 km/h, los datos indican que el valor del rozamiento es aproximadamente constante en esta gama de velocidades (puede despreciarse el efecto de la velocidad).

5.3.5 Aunque en algunos dispositivos de medición continua del rozamiento se utilizan distintos neumáticos, o aunque algunos funcionan a una relación fija de resbalamiento a frenado o en el modo de ensayo de rodamiento con guiñada, los ensayos han demostrado que sus lecturas son fiables y que están correlacionadas entre sí, cuando se aplican sistemas de

humectación o una descarga controlada de agua por delante del neumático de medición del rozamiento, ya sea a velocidad constante o dentro de una gama determinada de velocidades. Sin embargo, cuando se utilizan los mismos dispositivos en superficies de pista mojada causada por la lluvia, puede ocurrir que la correlación sea menos fiable. Esto se atribuye a cambios diferenciales en el espesor de agua que tienen su origen en variaciones de la superficie del pavimento. Por este motivo es muy importante controlar el espesor de agua al clasificar los pavimentos para fines de mantenimiento. En las superficies cubiertas de nieve compactada y/o de hielo, hay menos variables de interacción que influyan en los valores del rozamiento, puesto que la eficacia de frenado en estas superficies no depende de la velocidad.

5.3.6 En la Figura 5-3 se presenta la correlación entre los diversos dispositivos de medición del rozamiento cuando las superficies del pavimento están cubiertas de nieve compactada y/o de hielo. En los ensayos deberían seguirse los siguientes procedimientos:

A. *Dispositivos de medición continua del rozamiento* (p. ej., medidor del valor  $\mu$ , medidor del rozamiento en la superficie, medidor del rozamiento en la pista, o deslizómetro)

Velocidades de ensayo: 65 km/h, excepto cuando haya hielo, en cuyo caso puede ser necesario utilizar velocidades inferiores.

B. *Decelerómetro* (p. ej., medidor Tapley, frenómetro-dinómetro)

1. Especificaciones del vehículo:

- a) masa: del orden de 1 a 2 toneladas;
- b) neumáticos: neumáticos de invierno sin clavos. Presión de los neumáticos al valor recomendado por el fabricante. El desgaste de los neumáticos no debería exceder del 75%;
- c) frenos: cuatro y adecuadamente ajustados para asegurar que el efecto sea equilibrado;
- d) el vehículo debería tener una mínima tendencia al cabeceo y mantener una estabilidad de dirección satisfactoria durante el frenado.

2) El decelerómetro debería instalarse en el vehículo de conformidad con las instrucciones del fabricante. Debería situarse y colocarse en el vehículo de forma que los

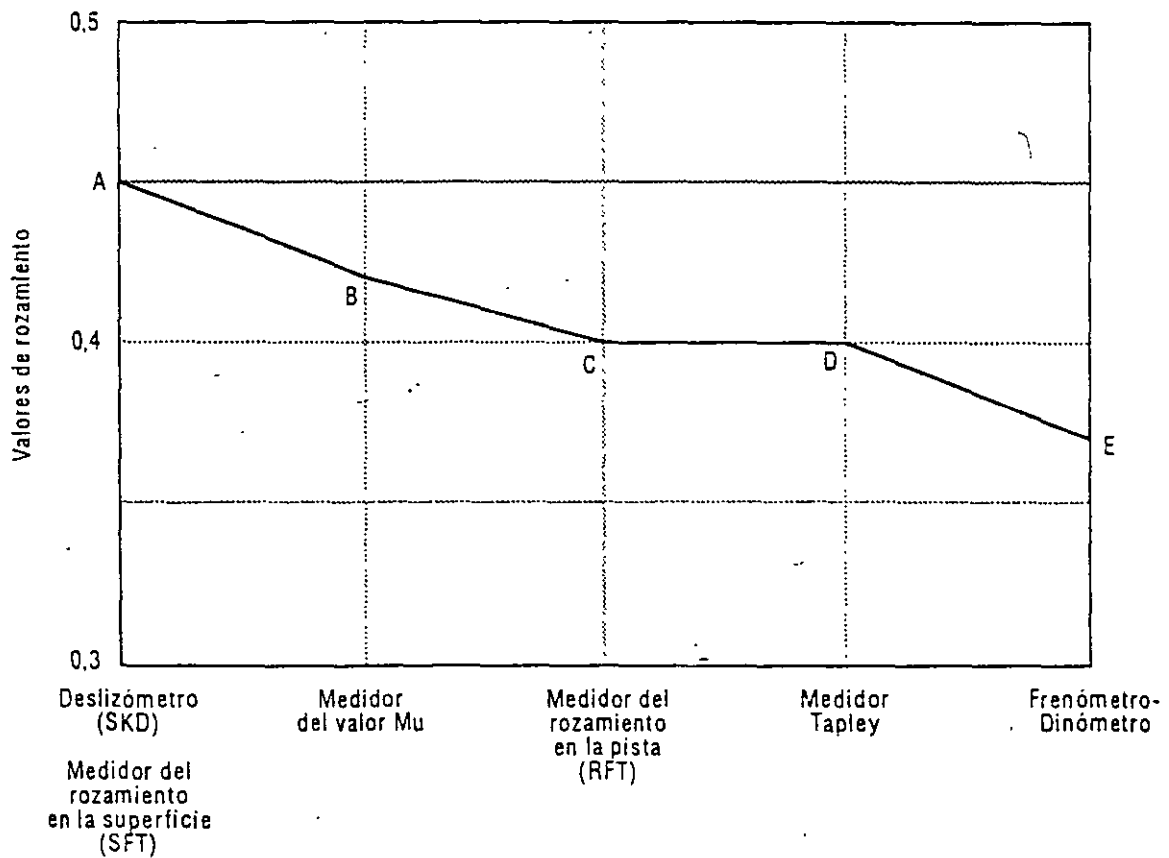


Figura 5-3. Gráfico de correlación de los dispositivos de medición del rozamiento en superficies secas artificialmente humectadas



valores no puedan perturbarse o que no pueda desplazarse por intervención del personal del aeropuerto o por los movimientos del vehículo. El decelerómetro debería mantenerse y calibrarse de conformidad con las recomendaciones del fabricante.

- 3) Velocidad al aplicarse los frenos: aproximadamente 40 km/h.
- 4) Procedimientos de análisis del rozamiento
  - a) los frenos deberían aplicarse con suficiente fuerza para que las cuatro ruedas del vehículo queden bloqueadas y luego deben inmediatamente liberarse. El tiempo en que las ruedas permanezcan bloqueadas no debería exceder de un segundo;
  - b) el decelerómetro que se utilice debería registrar o conservar el máximo retardo de la fuerza de frenado que ocurra durante el ensayo;
  - c) cuando se calculen los valores medios puede hacerse caso omiso de las cifras aleatorias que sean muy altas o muy bajas.

5.3.7 El principal inconveniente de los decelerómetros es que, como requieren que el vehículo de ensayo se acelere hasta llegar a determinadas velocidades, con lo cual se recorre una determinada distancia, los intervalos a que pueden tomarse las lecturas de ensayo son necesariamente mayores que con los dispositivos de medición continua del rozamiento. Por lo tanto, puede considerarse que se trata en realidad de dispositivos de medición del rozamiento en puntos esporádicos.

5.3.8 A continuación se muestra un ejemplo de la forma en que debe aplicarse el diagrama de la Figura 5-3:

Una lectura de 0.45 (punto A) con el deslizador BV-11, o con el medidor del rozamiento en la superficie es equivalente a una lectura de:

- 0.42 con un medidor del valor  $\mu$  (punto B)
- 0.40 con un medidor del rozamiento en la pista (punto C)
- 0.40 con un medidor Tapley (punto D)
- 0.37 con un frenómetro-dinómetro (punto E).

#### 5.4 CORRELACIÓN CON LA EFICACIA DE DETENCIÓN DEL AVIÓN

5.4.1 Para que los valores puedan interpretarse adecuadamente en las operaciones, es necesario determinar en primer lugar la correlación entre los datos de rozamiento obtenidos con los dispositivos de medición y la eficacia real de frenado de los diversos tipos de aviones. Una vez establecida esta relación, en la gama de valores de la velocidad para operaciones en tierra, respecto a un determinado avión, la tripulación de vuelo de tal avión tendría los medios para determinar la eficacia de detención en una determinada

operación de aterrizaje en la pista, considerando otros factores, tales como la velocidad en el punto de toma de contacto, el viento, la altitud de presión y la masa del avión, todos los cuales intervienen notablemente en la eficacia de detención. En la actualidad, se ha llegado en general a la convicción de que el éxito es mayor cuando la superficie está cubierta de nieve compactada y/o de hielo, puesto que es menor el número de parámetros que influyen en las características de rozamiento de los neumáticos, por contraposición a las condiciones de pista mojada que son más complejas y variables.

5.4.2 En 1984 Estados Unidos llevó a la práctica un programa de cinco años para estudiar la relación entre la eficacia de frenado de los neumáticos de los aviones y las mediciones del rozamiento con vehículos terrestres. Se evaluaron diversos tipos de condiciones de la superficie: seca, mojada con camiones, mojada por lluvia y cubierta de nieve, nieve fundente y hielo. Los dispositivos de medición del rozamiento terrestres que se utilizaron en el estudio fueron el vehículo de frenado en diagonal, el medidor del rozamiento en la pista, el medidor del valor  $\mu$ , el deslizador BV-11, el medidor del rozamiento en la superficie y dos decelerómetros (Tapley y frenómetro-dinómetro). Los resultados de esta investigación demostraron que las mediciones del rozamiento con los vehículos terrestres no estaban directamente correlacionadas con la eficacia de frenado de los neumáticos del avión en superficies mojadas. Sin embargo, se llevó a un acuerdo utilizando la teoría combinada de hidrodinámico viscoso y dinámico (véase el Apéndice 1).

#### 5.5 ANÁLISIS GENERAL DE LOS DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DEL ROZAMIENTO

5.5.1 Se utilizan hoy día en el mundo diversos dispositivos de medición del rozamiento. Dos decelerómetros, el medidor de Tapley y el frenómetro-dinómetro proporcionan una verificación en puntos determinados de las condiciones de rozamiento en las superficies de pistas cubiertas de nieve compactada y/o de hielo. Los otros cinco dispositivos (medidor del valor  $\mu$ , el medidor del asentamiento, el medidor del rozamiento en la pista, el deslizador y el medidor del rozamiento en la superficie) proporcionan una traza permanente y continua de valores del rozamiento sobre un gráfico en forma de cinta respecto a la longitud total de pista que ha sido examinada.

5.5.2 Aunque los modos de actuación de los diversos dispositivos de medición continua del rozamiento son diferentes, tienen algunos componentes que funcionan de forma similar. Cuando se analizan los valores del rozamiento para programar el mantenimiento de la pista, se emplea en todos los dispositivos la misma clase de neumáticos de rodadura lisa para medición del rozamiento, neumático de ensayo de tamaño 4 — 8 (16 x 4, 6 pliegues, RL2) (véase el Apéndice 3) con excepción del medidor del asentamiento en el que se utiliza un neumático de rodadura lisa de tamaño

5.5.2  $\times 4,5$  — 5. Los neumáticos de medición del rozamiento montados en el medidor del valor Mu, funcionan a una presión de neumático de 70 kPa mientras que los neumáticos montados en el medidor del asimiento tienen una presión de inflado de 140 kPa. En los restantes tres dispositivos se aplica una presión de inflado de 210 kPa. La escala de valores del rozamiento es la misma en todos los dispositivos y varía de 0,00 a 1. En todos los dispositivos se proporciona un promedio del valor del rozamiento en una longitud de 150 m de la pista en estudio. Según lo indicado en 4.5.5, es necesario proporcionar información sobre el promedio del valor del rozamiento en cada uno de los tramos que constituyen la tercera parte de la longitud de la pista. Excepto en el medidor del valor Mu y en el medidor del asimiento, los otros tres dispositivos de medición continua del rozamiento proporcionan, como opción, un neumático de medición del rozamiento de alta presión de inflado igual a 700 kPa, tamaño de 4 — 8, (16  $\times$  4, 6 pliegues, RL2) con una banda de rodadura especial con estrías en circunferencia. Este neumático se aplica para fines operacionales solamente sobre superficies de pavimento cubiertas de hielo y/o de nieve compactada. En el medidor del valor Mu, en el medidor del rozamiento en la pista y en el medidor del rozamiento en la superficie se tiene también la opción de un teclado para que el operador del equipo tenga la flexibilidad de registrar órdenes, mensajes y notas sobre las observaciones realizadas durante el examen del rozamiento. Todos estos dispositivos de medición continua del rozamiento cuentan con un sistema autohumectante que proporciona un espesor determinado de agua por delante del neumático de medición del rozamiento. Los estudios del rozamiento pueden llevarse a cabo a velocidades de hasta 130 km/h. En 5.6 a 5.11 se proporcionan más detalles de los dispositivos de medición del rozamiento mencionados en 5.5.1.

5.5.3 El éxito de las mediciones del rozamiento depende en gran parte del personal responsable del funcionamiento de los dispositivos. Para garantizar que los datos del rozamiento sean fiables es esencial instruir adecuada y profesionalmente al personal acerca del funcionamiento, mantenimiento y procedimientos para llevar a cabo las mediciones del rozamiento. También es necesario establecer un sistema de instrucción periódica para supervisar, actualizar y certificar que los operadores mantienen un elevado grado de pericia. De no ser así, el personal que deja de mantener su nivel de experiencia se aparta de los nuevos adelantos en técnicas de calibración, de mantenimiento y de operaciones. Debe verificarse periódicamente que todos los dispositivos de medición del rozamiento estén calibrados, para asegurar que se mantienen con el margen de tolerancia proporcionado por el fabricante. Deben calibrarse periódicamente los dispositivos de medición del rozamiento dotados de sistemas de autohumectación para asegurarse de que se mantiene, dentro de los límites de tolerancia proporcionados por los fabricantes, el régimen de flujo de agua y la cantidad de agua liberada para que el espesor requerido de agua sea siempre uniforme y para que se aplique equilibradamente por delante del neumático de medición del rozamiento en toda la gama de velocidades del vehículo.

## 5.6 MEDIDOR DEL VALOR MU

5.6.1 El medidor del valor Mu es un remolque de 245 kg diseñado para medir el rozamiento de fuerza lateral generado entre los neumáticos de medición del rozamiento que pasan por encima del pavimento de la pista con un ángulo de inclinación de 15°. El remolque está construido con un bastidor triangular en el que están montadas dos ruedas de medición del rozamiento y una rueda posterior. La rueda posterior proporciona estabilidad al remolque durante su funcionamiento. En la Figura 5-4 se representa la configuración general del remolque. Se genera una carga vertical de 78 kg mediante un lastre que absorbe el choque de cada rueda de medición del rozamiento. Las ruedas de medición del rozamiento funcionan a una relación efectiva de resbalamiento de 13,5%. Además de las dos ruedas de medición del rozamiento, el medidor del valor Mu tiene una rueda posterior con banda de rodadura especial, de tamaño 4 — 8 (16  $\times$  4, 6 pliegues, RL2). El neumático funciona a una presión de inflado de 70 kPa. El medidor del valor Mu por ser de tipo remolque necesita ser remolcado por un vehículo y si se requiere el sistema de autohumectación, debe proporcionarse un tanque de agua que lo suministre a las toberas instaladas en el vehículo de remolque.

5.6.2 El telesensor es un registrador fotoeléctrico de eje sellado, montado en la rueda posterior del remolque. El telesensor lee impulsos digitales en incrementos de mil por cada revolución de la rueda, y los transmite al acondicionador de señales para realizar los cálculos cada vez que el remolque recorre un metro. La célula de carga es un transductor electrónico montado entre los elementos fijo y móvil del bastidor triangular. La célula de carga lee diminutas modificaciones de la tensión en las ruedas de medición del rozamiento. El acondicionador de señales está montado en el bastidor y amplifica los datos  $\mu$  analógicos recibidos de la célula de carga y los datos digitales procedentes del telesensor. Las señales del telesensor de la rueda posterior proporcionan la medición de la distancia y, combinadas con incrementos de tiempo real, la medición de la velocidad. La computadora situada en el vehículo de remolque se denomina procesador y utiliza dos microprocesadoras que presentan en pantalla, calculan, almacenan y procesan los datos  $\mu$  recibidos de la célula de carga y del telesensor (véase la Figura 5-5). También se muestra en la figura el teclado con teclas de funciones para seleccionar los menús. El procesador proporciona un gráfico continuo de los valores del rozamiento en toda la longitud objeto de investigación. El operador puede seleccionar una de varias escalas antes de imprimir el gráfico. En el gráfico, 25 mm equivalen aproximadamente a 20 m, 40 m, 85 m, 170 m y 340 m. Pueden utilizarse escalas ampliadas para llevar a cabo una microinvestigación de las zonas en las que se sospecha que pueden presentarse problemas.

## 5.7 MEDIDOR DEL ROZAMIENTO EN LA PISTA

5.7.1 El medidor del rozamiento en la pista es un vehículo dotado de una quinta rueda que está conectada con el

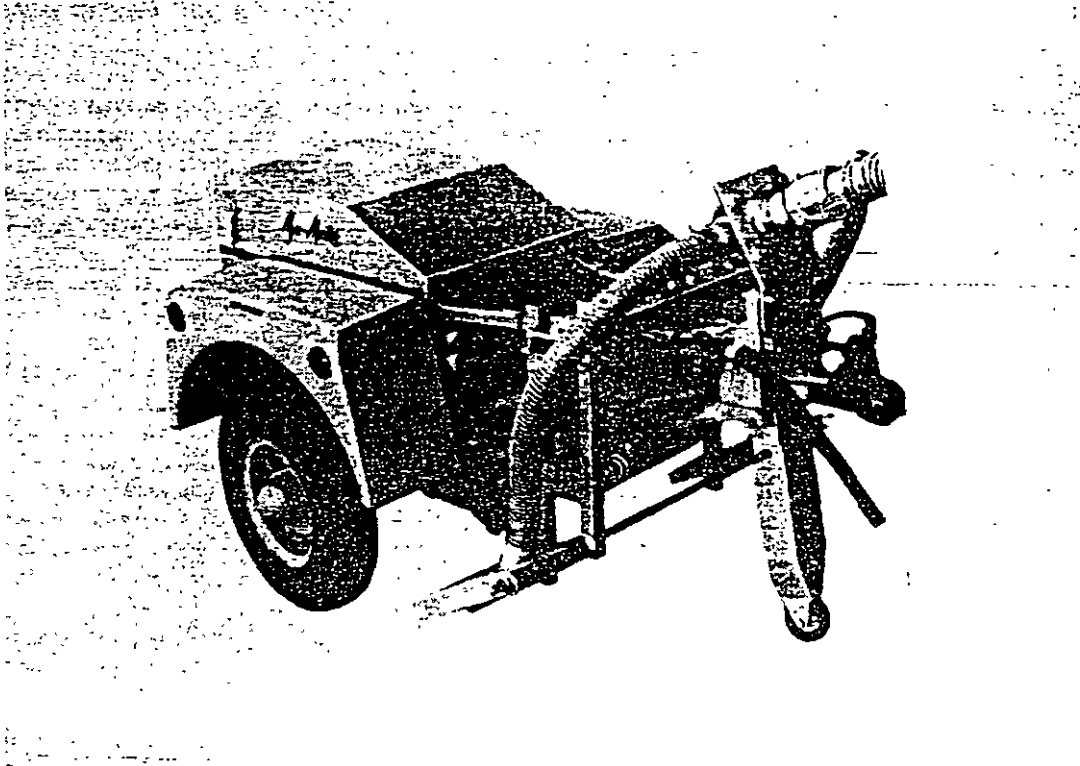


Figura 5-4. Remolque del medidor del valor Mu

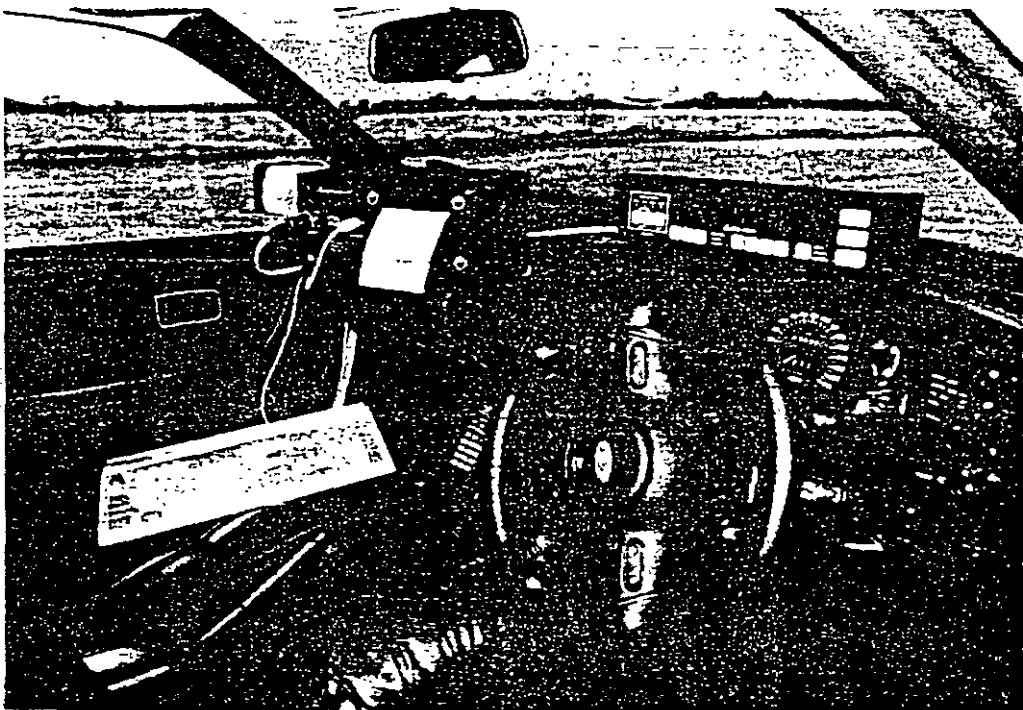


Figura 5-5. Procesador y teclado en el remolque del medidor del valor Mu

je posterior mediante un transmisor de engranaje de cadenas. En la Figura 5-6 se indica la configuración del vehículo. El vehículo tiene tracción en las ruedas delanteras y un motor potente. El diseño de la rueda de medición del rozamiento permite funcionar a una relación fija de resbalamiento del 13%. En modo de prueba se utiliza un transductor de fuerza de dos ejes que mide la fuerza de resistencia al avance y la carga vertical en la rueda de medición del rozamiento. Por este método se elimina la necesidad de filtrado de las desviaciones del vehículo y los efectos de desgaste de los neumáticos, proporcionando así mediciones instantáneas de la fricción dinámica. Se genera una carga vertical de 136 kg en la rueda de medición del rozamiento a base de pesos montados en un ensamblaje de dobles resortes para absorción de impactos. El medidor del rozamiento en la pista se entrega de fábrica junto con un sistema de autohumectación y con un tanque de agua.

5.7.2 En una computadora digital se calculan la velocidad y la distancia recorrida por el vehículo a partir de impulsos que proporciona un codificador óptico. Un transductor de fuerzas en dos ejes, calibrado para medir tensiones, actúa de sensor de las fuerzas de resistencia al avance y de las fuerzas de carga vertical en la rueda de ensayo y estos valores se amplifican para incorporarlos a la computadora. La computadora ejecuta un muestreo de estos valores aproximadamente cinco veces por cada metro de recorrido y calcula el coeficiente de rozamiento dinámico. El coeficiente de rozamiento junto con la velocidad del vehículo (y opcionalmente el régimen de circulación de agua) se almacenan en la memoria de la computadora. En la Figura 5-7 se muestra la unidad de presentación en pantalla fluorescente de vacío, en la que aparecen todos los menús de los programas y las entradas del teclado. El teclado contiene todas las selecciones de menú y todas las funciones que puedan incorporarse a la computadora digital.

5.7.3 Durante el recorrido de inspección del rozamiento, se procesan los datos y se envían a una impresora que proporciona un registro, en un gráfico de cinta continuo, de los valores  $\mu$  y de la velocidad. Al margen del gráfico se imprimen los valores promedio  $\mu$ . La transmisión continúa durante el recorrido a intervalos adecuados hasta presentar en pantalla la longitud total del recorrido de inspección. El operador puede seleccionar tres escalas de gráficos: 25 mm equivalen aproximadamente a 30 m, 90 m y 300 m.

## 5.8 DESLIZÓMETRO

5.8.1 El deslizómetro BV-11 es un remolque dotado de una rueda de medición del rozamiento diseñada para funcionar a una relación fija de resbalamiento entre el 15% y el 17%, según la configuración del neumático de ensayo. En la Figura 5-8 se muestra la configuración general del remolque de 360 kg. Consta de un bastidor soldado en los cuatro costados, sostenido por dos ruedas con resortes independientes. Las tres ruedas están conectadas entre sí mediante cadenas de rodillos y piñones para cadenas, con una relación de engranaje apropiada para hacer que la rueda central de

medición del rozamiento gire con un movimiento relativo a la superficie que corresponda a la relación deseada de resbalamiento. Se aplica una carga vertical de 105 kg a la rueda de medición del rozamiento, mediante un peso que pasa por un resorte y un amortiguador. El deslizómetro requiere para funcionar ser remolcado por un vehículo. Si se desea que esté equipado de sistema de autohumectación debe proporcionarse un tanque de agua con el vehículo, junto con un conducto para llevar el agua a la tobera, montado por delante de la rueda de ensayo en el deslizómetro BV-11.

5.8.2 El par de torsión aplicado a la rueda de medición del rozamiento se mide mediante un transductor especial de par de torsión. La velocidad del remolque se mide mediante un tacómetro, impulsado por una de las cadenas de rodillo. Un cable entre el remolque y el vehículo remolcador convierte señales analógicas que se envían a un registrador de gráfico de cinta, situado en el vehículo remolcador. En la Figura 5-9 se muestra la computadora MI-90 del deslizómetro. Los datos reunidos en una inspección del rozamiento son procesados por la computadora digital y se registran en un gráfico de cinta, en forma de traza continua de valores del rozamiento correspondientes a toda la longitud objeto de inspección. El operador dispone de cuatro escalas para medir las distancias en el registro de cinta: 25 mm de la longitud del papel equivalen aproximadamente a 112 m, 225 m, 450 m y 900 m.

## 5.9 MEDIDOR DEL ROZAMIENTO EN LA SUPERFICIE

5.9.1 El medidor del rozamiento en la superficie es un automóvil que utiliza una quinta rueda situada en el portaequipajes para medir el coeficiente de rozamiento. En la Figura 5-10 se muestra la configuración del medidor del rozamiento en la superficie. El automóvil es de tracción en las ruedas delanteras y un motor turbo puede seleccionarse como opción. El diseño de la rueda de medición del rozamiento permite que funcione a una relación fija de resbalamiento comprendida entre el 10% y el 12%, en función del tipo de neumático de medición del rozamiento que se utilice en la inspección. La rueda de medición está conectada con el eje posterior de las ruedas traseras de rodamiento libre, mediante un sistema de transmisión por cadena y puede retraerse hidráulicamente. Se genera una carga vertical de 140 kg mediante un peso que pasa por un resorte y un amortiguador mecánico instalados en la rueda de medición del rozamiento. Se entrega de fábrica el medidor del rozamiento en la superficie con un sistema de autohumectación y con un tanque de agua, montado en el asiento posterior del vehículo.

5.9.2 El par de torsión que actúa en la rueda de medición del rozamiento así como la distancia recorrida se transmiten a una computadora digital en la que estos datos se convierten en coeficientes de rozamiento. La corriente eléctrica que circula por los calibradores de tensión, dentro del sensor de par de torsión situado en la rueda de medición del rozamiento, está influenciada por cualquier cambio diminuto en la tensión de la transmisión por cadena. Por consiguiente, cualquier variación



Figura 5-6. Vehículo medidor del rozamiento en la pista (T 6810)



Figura 5-7. Unidad de presentación, en pantalla fluorescente de vacío, y teclado en el vehículo medidor del rozamiento en la pista

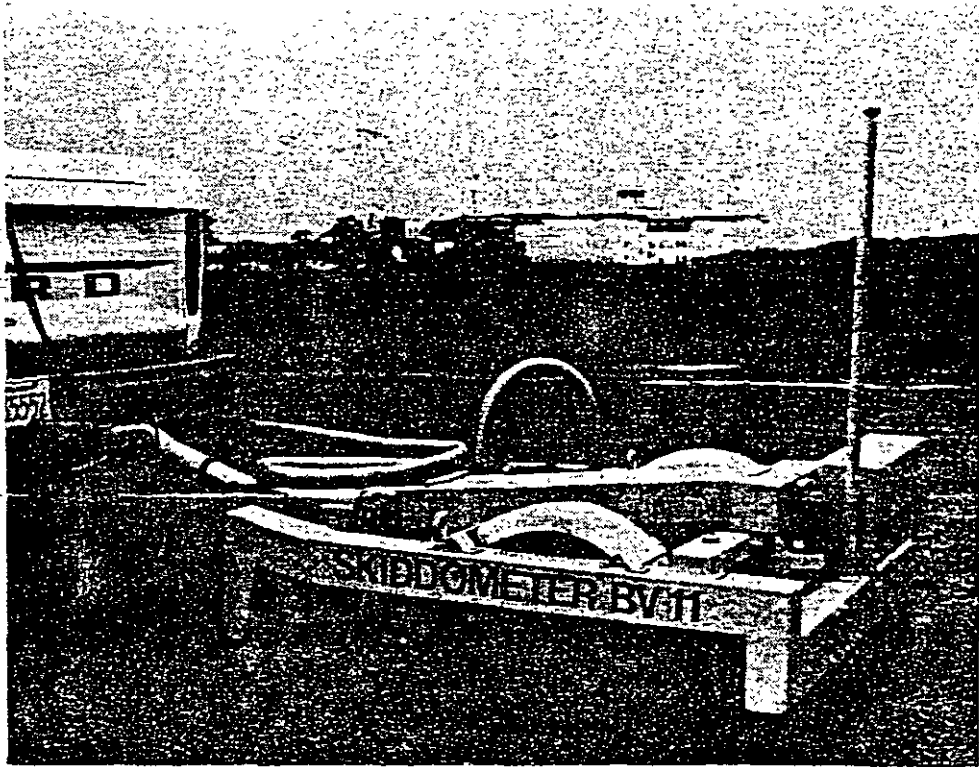


Figura 5-8. Remolque del deslizómetro BV-11

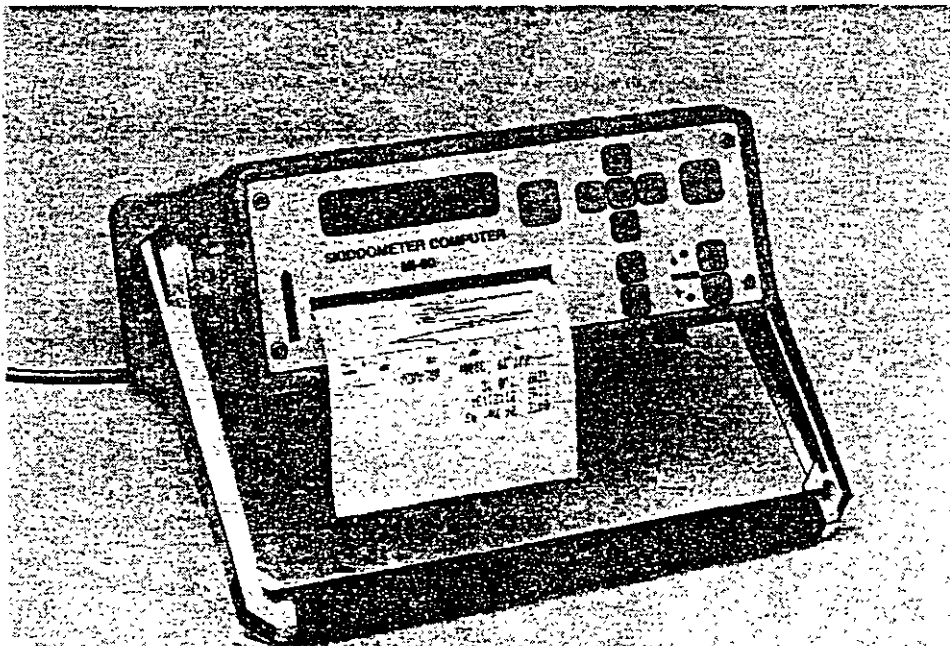


Figura 5-9. Computadora M1-90 en el remolque de deslizómetro BV-11



Figura 5-10. Automóvil medidor del rozamiento en la superficie



de las fuerzas de rozamiento es controlada por la computadora digital que mide estas variaciones de la corriente eléctrica y convierte las señales analógicas en coeficientes de rozamiento. Los valores de  $\mu$  se almacenan continuamente en la computadora digital y una vez terminada la inspección, se registran en un gráfico de cinta, en forma de traza continua de valores  $\mu$  correspondientes a toda la longitud objeto de inspección. Se registran también en el gráfico de cinta las velocidades durante todo el ensayo, así como los datos necesarios para identificar el ensayo. La escala para distancias de medición en el gráfico de cinta es tal que 25 mm de la longitud del papel equivalen a 100 m. El operador tiene la opción de un teclado.

### 5.10 MEDIDOR DEL ASIMIENTO

El medidor del asimiento es un remolque ligero de tres ruedas de un peso de 83 kg. Para funcionar puede ser remolcado por un vehículo o empujado a mano. El método de funcionamiento es a base de una rueda única con un neumático de banda de rodadura lisa que resbala a una relación del 14,5% de la velocidad hacia adelante, mediante una transmisión por cadena a partir de un eje principal de dos ruedas. Los sensores

se instalan en un eje único de la rueda de medición y proporcionan datos continuos que aparecen en pantalla en el panel de instrumentos del remolque. Los datos se transmiten también a una pequeña microcomputadora que para funcionamiento normal se transporta en la cabina del vehículo de remolque. En la microcomputadora se indican también los valores del rozamiento como lecturas puntuales, o como promedios entre sucesos, como promedios en un tercio de la pista o como promedios para toda la longitud de la pista. También puede presentarse en pantalla una traza que indica las lecturas del rozamiento comparadas con la distancia recorrida. Esta traza puede imprimirse para un registro permanente y puede también servir de datos de entrada a una computadora PC. En la Figura 5-11 se ilustra el medidor del asimiento.

### 5.11 DECELERÓMETROS

#### Generalidades

5.11.1 Los decelerómetros proporcionan la información más fiable cuando la superficie del pavimento está cubierta de

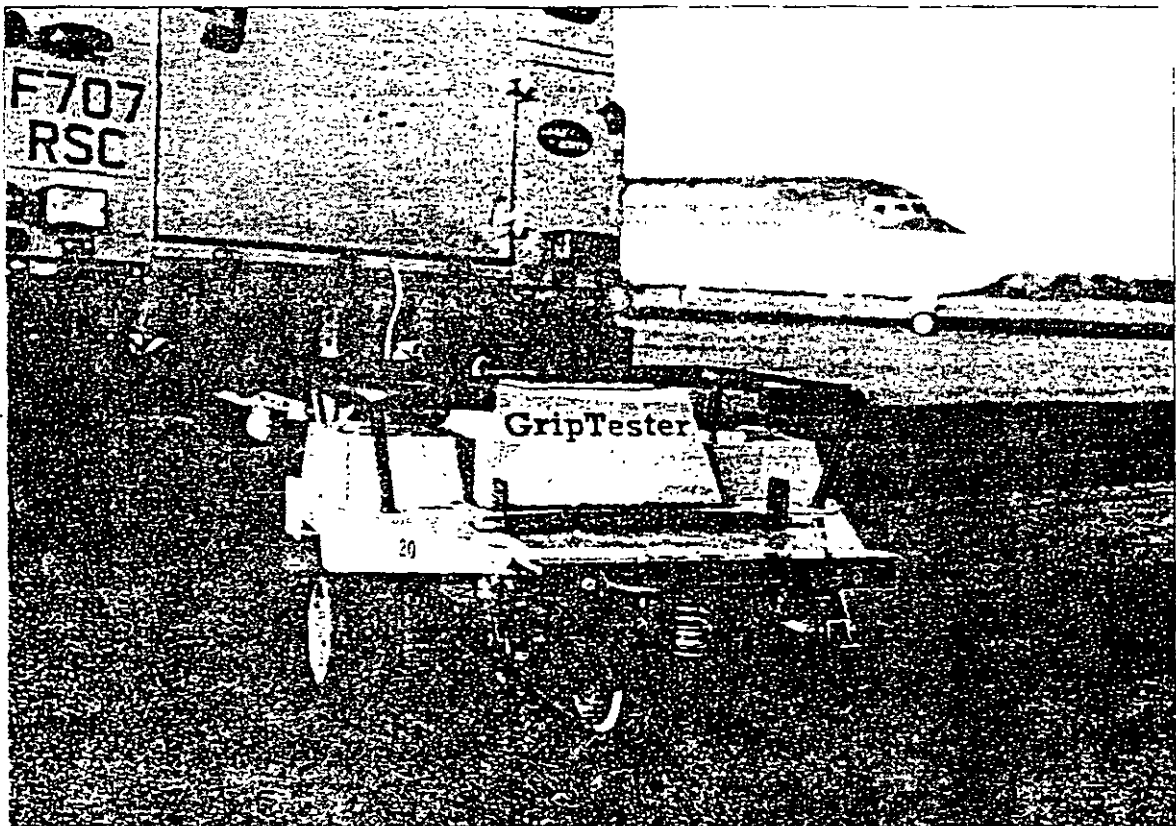


Figura 5-11. Medidor del asimiento



nieve compactada y/o de hielo. No deberían utilizarse los decelerómetros en superficies de pavimento mojadas y no deberían realizarse los ensayos cuando la superficie del pavimento esté cubierta de nieve suelta o de nieve seca, de un espesor superior a 51 mm, o cubiertas de nieve fundente de un espesor superior a 13 mm.

5.11.2 Puesto que los decelerómetros se instalan en el interior del vehículo, deben satisfacerse algunos requisitos en dicho vehículo para asegurar que se obtienen mediciones confiables y uniformes. Se consideran vehículos aceptables todos los automóviles sedán grandes, las furgonetas, los turismos de tamaño intermedio o grande, las camionetas y los camiones para pasajeros y carga, los vehículos que tienen tracción en la rueda delantera o tracción en las cuatro ruedas y los vehículos dotados del sistema antibloqueo de los frenos (ABS) en el eje posterior.

5.11.3 Los neumáticos del vehículo pueden influir considerablemente en las mediciones del rozamiento. Por consiguiente, deberían tener bandas de rodadura que no excedan de un 50% de desgaste y en todo momento debe mantenerse la presión de los neumáticos de conformidad con las especificaciones del fabricante.

5.11.4 Los frenos del vehículo deben estar siempre adecuadamente ajustados para garantizar una acción equilibrada. El vehículo debe tener la menor tendencia posible al cabeceo y tener suficiente estabilidad de dirección al aplicarse los frenos.

5.11.5 El decelerómetro debe colocarse en el vehículo de forma que no se desplace por cualquier movimiento del vehículo. El decelerómetro debe instalarse en el vehículo de conformidad con las instrucciones del fabricante. Análogamente, el decelerómetro debe ser objeto de mantenimiento y de calibración de conformidad con las recomendaciones del fabricante.

5.11.6 Es necesario tomar una serie de lecturas para obtener una evaluación razonable de la condición de la superficie de la pista. La longitud total de la pista se subdivide en tres partes iguales — la zona de toma de contacto, la parte central y las zonas de recorrido en tierra. En cada zona debe realizarse un mínimo de tres ensayos a la velocidad de 35 km/h. Para cada zona debe determinarse un número promedio de  $\mu$ . Los números promedio de  $\mu$  se registran siempre en el mismo sentido que el aterrizaje de los aviones.

5.11.7 Para realizar análisis del rozamiento deben aplicarse los siguientes procedimientos:

- Pueden aplicarse los frenos con suficiente intensidad para bloquear las cuatro ruedas y seguidamente deben inmediatamente liberarse. El tiempo durante el cual las ruedas han de estar bloqueadas no debe exceder de un segundo.
- El decelerómetro utilizado debe registrar o mantener la fuerza de frenado de retardación máxima que ocurra durante el ensayo.

- Puede hacerse caso omiso, al calcular los valores promedio, de todos los valores aleatorios que sean excesivamente elevados o excesivamente bajos.

5.11.8 El principal inconveniente de los decelerómetros es que requieren que el vehículo de ensayo se acelere hasta determinadas velocidades de ensayo, lo cual exige el recorrido de una determinada distancia, por lo que los intervalos a los que pueden realizarse las lecturas de ensayo son necesariamente superiores a los que se realizan mediante los dispositivos de medición continua del rozamiento. Por consiguiente, estos dispositivos pueden solamente considerarse como dispositivos de medición del rozamiento a base de lecturas puntuales.

#### *Frenómetro-dinómetro*

5.11.9 El frenómetro-dinómetro consiste en un péndulo sumamente equilibrado preparado para responder a cualquier variación de velocidad y de ángulo, que funciona mediante un tren de engranaje en cuadrante que hace girar una aguja alrededor de un disco (véase la Figura 5-12). El disco está calibrado en porcentajes de "g", que es la norma aceptada para medir la aceleración y la deceleración. Para amortiguar cualquier vibración, se llena el instrumento de un fluido que no es sensible a modificaciones de la temperatura. El medidor requiere ser transportado por un vehículo, y debe siempre utilizarse con un bastidor montado en el suelo. Este dispositivo debería solamente utilizarse en superficies de la pista cubiertas de hielo y/o de nieve compactada. No se recomienda utilizar este dispositivo en superficies mojadas del pavimento de la pista. Los procedimientos para llevar a cabo los ensayos de rozamiento son los indicados en 5.11.7.

#### *Medidor Tapley*

5.11.10 En el mercado se dispone de dos versiones del medidor Tapley. El Tapley original es un decelerómetro mecánico estándar y la versión más reciente es el medidor electrónico Tapley del rozamiento en el campo de aviación. Ambas versiones requieren ser transportadas por un vehículo y se recomienda su uso solamente en superficies cubiertas de nieve compactada y/o de hielo. No se recomiendan para funcionamiento en superficies mojadas del pavimento de la pista.

#### *Decelerómetro mecánico*

5.11.11 La versión mecánica es un decelerómetro pequeño que consiste en un péndulo con amortiguador de aceite dinámicamente calibrado e incluido en una caja sellada. En la Figura 5-13 se muestra un primer plano del medidor mecánico. El péndulo está enlazado magnéticamente con un mecanismo de engranaje de peso liviano unido a una escala circular en la que se indican los valores en porcentajes de "g". Mediante un retén liviano, se registra el grado máximo de desviación alcanzado en la escala después de completarse un ensayo. El mecanismo está alojado en una caja de aluminio y

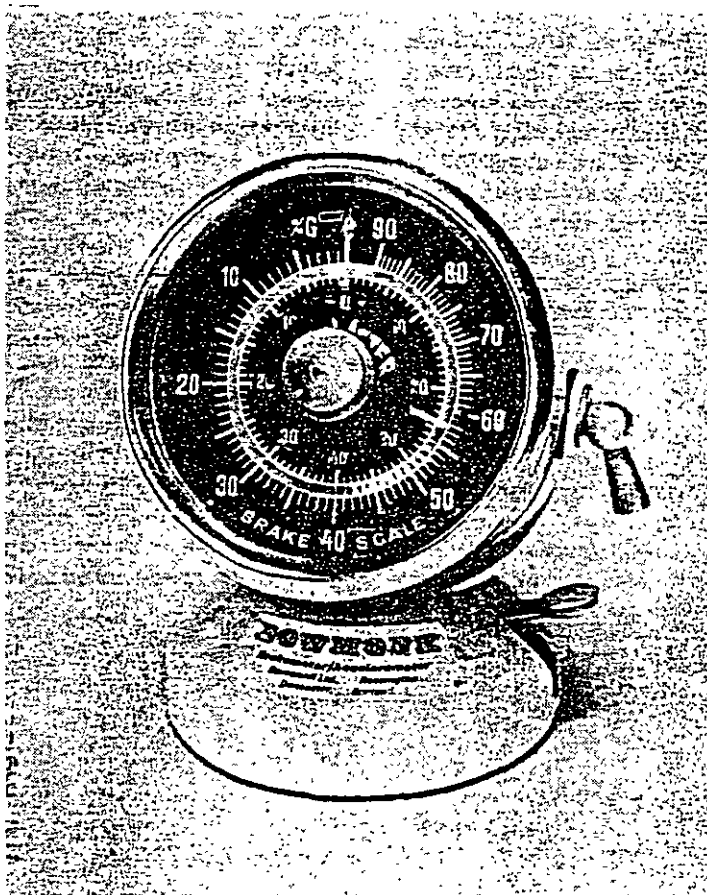


Figura 5-12. Frenómetro-dinómetro



Figura 5-13. Medidor mecánico estándar Tapley

la escala tiene una ventanilla cubierta de vidrio. Todo el conjunto está montado sobre una placa de hierro colado mediante un sistema de horquilla. Cada medidor está sometido a ensayos estáticos y se calibra dinámicamente antes de expedirse un certificado de calibración. Cuando el medidor se utiliza para inspecciones del rozamiento, se coloca en el suelo del vehículo. El operador debe leer directamente los datos y registrarlos y debe mentalmente calcular y registrar los datos correspondientes a cada tramo de un tercio de la pista. Los procedimientos para llevar a cabo los ensayos son los indicados en 5.11.7.

#### *Decelerómetro electrónico*

5.11.12 El medidor electrónico del rozamiento en el campo de aviación proporciona un registro de los datos obtenidos durante una inspección del rozamiento, comprendidos los promedios para cada tramo de un tercio de la pista.

En la Figura 5-14 se muestra la configuración del medidor. El medidor está activado por un péndulo, es semiautomático, y consiste en un decelerómetro registrador que funciona según los mismos principios que el decelerómetro mecánico original de Tapley. Al preparar la realización de una inspección del rozamiento, el operador coloca el medidor en el suelo del vehículo de ensayo. La zapata de actuación está instalada en el pedal del freno y el módulo de mando está unido a la ventana del vehículo mediante una zapata de succión en la parte delantera del lado del conductor o en otro emplazamiento conveniente que sea fácilmente visible por el operador. Los conductos de potencia se conectan con la batería del vehículo o con baterías independientes. El equipo está ahora preparado para efectuar los ensayos en la pista. El medidor electrónico se somete a pruebas en la fábrica comparándolo con el medidor Tapley estándar. Estos dispositivos deberían utilizarse únicamente en superficies de la pista cubiertas de hielo y/o de nieve compactada. Los procedimientos para llevar a cabo los ensayos son los indicados en 5.11.7.

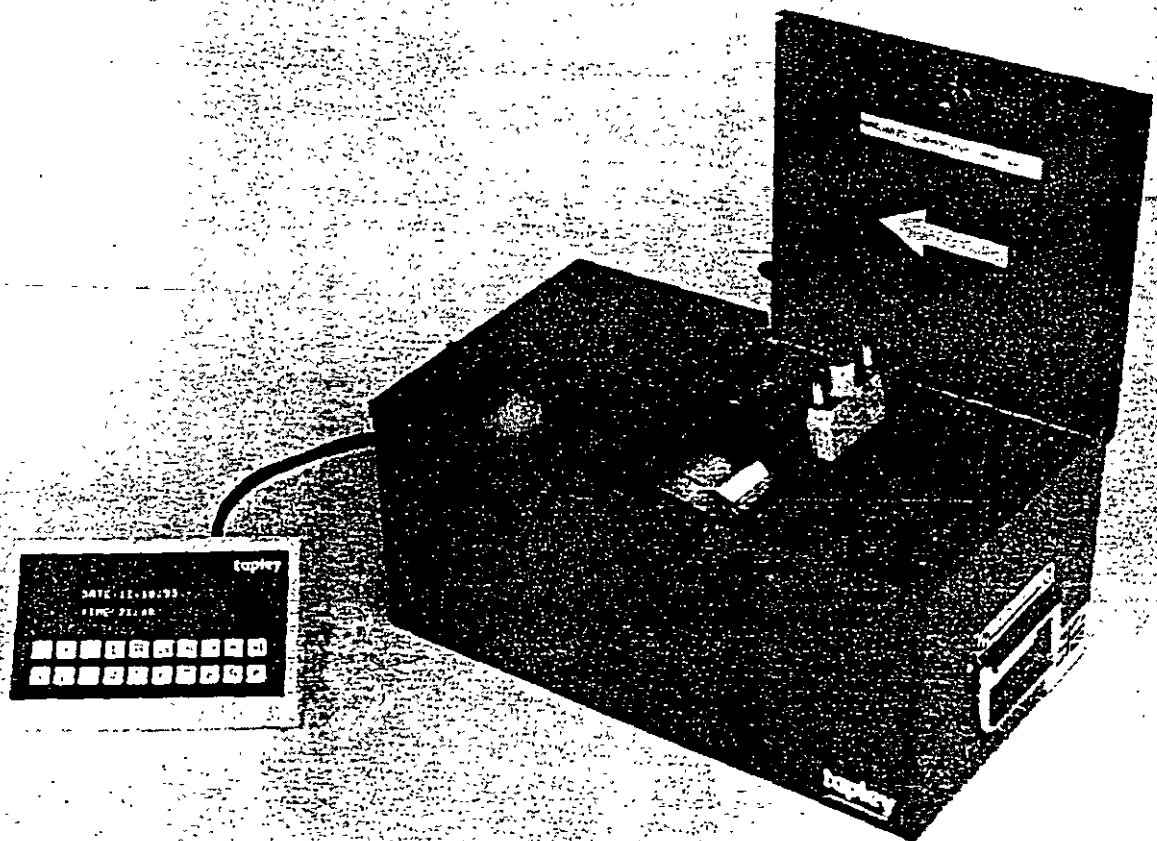


Figura 5-14. Medidor electrónico Tapley del rozamiento en el campo de aviación

## Capítulo 6

# Recopilación y difusión de información sobre el estado de la superficie de los pavimentos

### 6.1 GENERALIDADES

6.1.1 De conformidad con las disposiciones del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 2, 2.3, es necesario que la autoridad competente evalúe las condiciones de los pavimentos, siempre que no haya sido posible despejarlos totalmente de contaminantes y, también, que ponga esta información a la disposición de las dependencias correspondientes del aeropuerto. Además, según el Anexo 15, 5.1.1.1 r) debe publicarse un NOTAM para dar a conocer la presencia, eliminación, o cambios importantes de las condiciones peligrosas debidas a nieve, nieve fundente, hielo o agua en el área de movimiento. Esta información puede promulgarse mediante un SNOWTAM (Figura 6-1).

6.1.2 Los requisitos en cuanto a un sistema eficaz de recopilación y difusión de la información sobre el estado de la superficie de los pavimentos podrían exponerse como sigue (se supone que no en todos los casos se logrará limpiar y dejar seca la superficie pavimentada, ni conservarla en esas condiciones).

6.1.3 La información reunida deberá considerarse como parte de la descripción del estado de todos los aspectos de un aeropuerto, de sus ayudas y de las instalaciones operacionales que el piloto necesita conocer antes de efectuar el despegue o el aterrizaje. En muchos casos, una combinación adversa de la distancia de despegue o de aterrizaje disponibles, los componentes de cola o transversal del viento, la visibilidad y las características de rozamiento deficientes pueden hacer imposible el despegue o el aterrizaje.

6.1.4 Con objeto de permitir a los explotadores de aviones y a los pilotos evaluar y utilizar sin dificultad la información recibida, es necesario normalizar ésta, así como su presentación. Además, es preciso exponerla en forma positiva. Las notificaciones tienen que ser también tan completas como sea posible, lo cual a su vez genera una masa de datos y, en consecuencia, se necesita un código normalizado para simplificar los procedimientos de comunicaciones, especialmente cuando sobre una extensa zona reinan condiciones meteorológicas adversas. También es necesario actualizar rápidamente los datos.

6.1.5 La recopilación de datos debe hacerse de forma rápida, completa y precisa, y la exactitud exige medios e

instrumentos especiales para efectuar las mediciones de los distintos parámetros, a fin de evitar las evaluaciones subjetivas.

6.1.6 La transmisión de esta información debe ser rápida, regular y oportuna, es decir, el piloto debe recibirla a tiempo para utilizarla, y su contenido debe mantenerse actualizado. Este aspecto es especialmente importante dado que una gran parte de la información tiene necesariamente carácter transitorio.

6.1.7 En el *Manual para los servicios de información aeronáutica* (Doc 8126), Capítulos 4 y 5 y Apéndice A, figuran textos de orientación sobre la notificación: mediante NOTAM y publicaciones de información aeronáutica (AIP), de las medidas tomadas para mantener un aeropuerto en condiciones satisfactorias para las operaciones de vuelo, tal como lo requiere el Anexo 15 [5.1.1.1 g) y r), 5.3.3, 5.3.7, 7.1.1.2 a), 8.1.2.1, así como 2.0 5) y 6), 2.2 25) y 30) del Apéndice 1 y del Apéndice 2]. En el *Manual AIS*, Apéndice G, se da un ejemplo del tipo de notificación que han de publicar los Estados mediante NOTAM Clase II y AIP

6.1.8 Es esencial que se disponga lo necesario para que cada uno de los servicios del Estado relacionados con las operaciones de los aviones presente oportunamente la información necesaria a los servicios de información aeronáutica. Antes de que se incorporen modificaciones al sistema de navegación aérea, los servicios responsables de tales cambios deben tener debidamente en cuenta el plazo necesario para que los servicios de información aeronáutica preparen, produzcan y expidan los textos pertinentes que han de ser promulgados. Por consiguiente, es necesario que haya coordinación oportuna y estrecha entre los servicios interesados, comprendidos los servicios de información aeronáutica, para asegurarse de que estos reciben a tiempo la información.

### 6.2 INFORMACIÓN SOBRE EL ESTADO DE SUPERFICIES MOJADAS

6.2.1 Como se explicó anteriormente, deberían someterse periódicamente a prueba las condiciones de la pista para asegurarse de que sus características de rozamiento están por encima de un nivel aceptable. Además, deberían conocerse las



istas cuyas características de rozamiento estén por debajo del nivel mínimo aceptable y debería transmitirse dicha información a los pilotos. A estos efectos, los criterios aplicados por el Estado correspondiente para evaluar las características de rozamiento de la superficie de las pistas deberían incluirse en la publicación de información aeronáutica de dicho Estado. Entre estos datos debería incluirse el tipo de dispositivo de medición del rozamiento utilizado y el nivel mínimo aceptable que haya establecido el Estado.

6.2.2 Siempre que se compruebe que las características de rozamiento de la superficie de la pista no llegan al nivel mínimo aceptable que haya establecido el Estado, debería publicarse un NOTAM. Debería continuar publicándose el NOTAM mientras el Estado no haya adoptado las medidas correctivas al respecto. Los Estados deben disponer lo necesario para que entre los aeródromos haya un medio directo de intercambio de SNOWTAM.

6.2.3 Además de someter periódicamente a pruebas las condiciones de rozamiento de las pistas según lo esbozado en 6.2.1, cuando se sepa que una pista se hace resbaladiza en condiciones desacostumbradas, deberían efectuarse nuevas mediciones siempre que se presenten tales condiciones. Se desea que las dependencias adecuadas tengan a su disposición la información sobre las características de rozamiento de la superficie de la pista, siempre que estas nuevas mediciones indiquen que toda la pista o parte de ella se ha vuelto resbaladiza.

### 6.3 INFORMACIÓN SOBRE EL ESTADO DE LAS SUPERFICIES CUBIERTAS DE NIEVE, NIEVE FUNDENTE O HIELO

6.3.1 Para fines de planificación a largo y a mediano plazo, los explotadores de aviones han de estar en condiciones de determinar el grado de regularidad que puede lograrse en un aeropuerto durante la época invernal. Las autoridades aeroportuarias han de definir los parámetros que interesan a sus propios fines. Por lo tanto, las autoridades estatales y las de los aeropuertos deben hacer conocer de manera clara y precisa sus intenciones respecto a:

- la asignación de responsabilidad;
- métodos de limpieza (incluso las sustancias químicas, si se aplicaran);
- el equipo que ha de utilizarse;
- el orden de prioridad de las operaciones de limpieza;
- los métodos de medición;
- la tabla de coeficientes de rozamiento para las superficies cubiertas de nieve o hielo;

- los métodos para mejorar la eficacia de frenado;
- los criterios para mejorar las características de rozamiento de las pistas;
- los criterios para notificar la existencia de bancos de nieve;
- la disponibilidad de información y los procedimientos de difusión;
- las discrepancias locales respecto a las prácticas nacionales.

6.3.2 Algunos de estos datos son de carácter permanente, pero otros pueden cambiar de una estación a otra. Al preparar los planes, las autoridades aeroportuarias deben también consultar a los usuarios del aeropuerto (y a las dependencias de los servicios de tránsito aéreo, si no están bajo su autoridad) prestando particular atención a que los equipos destinados a la limpieza de nieve y a la medición del rozamiento tengan fácil acceso a las pistas.

#### Procedimientos de recopilación de datos

6.3.3 Hay una diversidad de métodos para que la información obtenida en la propia pista se encamine hacia los puntos de inserción en los diversos canales de comunicaciones y finalmente al piloto, pero ninguno de los métodos puede caracterizarse como particularmente eficiente. Sin embargo, son fácilmente identificables los elementos esenciales que han de formar parte de un sistema eficaz. Las autoridades del aeropuerto deberían asumir la responsabilidad de ejecutar las diversas mediciones necesarias y la de notificar las condiciones del pavimento a las entidades encargadas de su difusión, que en general son las dependencias de los servicios de tránsito aéreo y las de los servicios de información aeronáutica (AIS). Para lograrlo, será preciso establecer equipos de recopilación de datos (que en otras circunstancias pueden desempeñar otras tareas) que estén dotados de instrumentos de buena calidad y que estén debidamente instruidos para utilizarlos, y estos pueden recibir rápidamente la alerta y la orden de que se dirijan a sus puestos de trabajo para ejecutar la tarea sin demora y con precisión, y deben estar compenetrados con las necesidades de los servicios de tránsito aéreo y de los equipos de limpieza de nieve. La experiencia ha demostrado que la demora máxima en la difusión de la información se produce entre el momento en que se efectúan las observaciones y la hora de depósito de los NOTAM/SNOWTAM. Por lo tanto, las mediciones deberían efectuarse de manera que los datos de carácter más transitorio, por ejemplo el coeficiente de rozamiento en la pista, sea la información que se recopile en último término. Después de reunida la información, debe enviarse a un centro del aeropuerto en el que sea objeto de recopilación y reciba el visto bueno y en el que se transforme en la forma adecuada para ser transmitida con la mínima demora y difundida por los canales de comunicaciones que correspondan. Esto último significa invariablemente que la información habrá de presentarse por lo menos en dos formas: una para ser utilizada

por las dependencias de los servicios de tránsito aéreo y en la oficina local de exposición verbal previa al vuelo (AIS) y la otra para exposición verbal previa al vuelo (y actualización en ruta cuando sea posible) de los aviones entrantes.

6.3.4 La hora de difusión puede obedecer frecuentemente a la necesidad de que los vuelos entrantes dispongan de la información una hora antes de despegar del aeropuerto de salida. Por otro lado, teniendo en cuenta el progreso tecnológico, parece que en lo que atañe a la utilización por parte de las dependencias de los servicios de tránsito aéreo local, las autoridades del aeropuerto pueden cumplir su obligación de recopilar algunos elementos de información, estableciendo un sistema por el que se obtenga y transmita automáticamente de manera continua y directa, los datos al puesto de trabajo del controlador (es decir, un método similar al de los indicadores de la dirección y de la velocidad del viento). Asimismo, puede considerarse el uso de la radio e incluso de técnicas telemétricas, para transmitir la información desde la pista al centro que imparte las autorizaciones o al controlador. Evidentemente, debe preverse en la organización que estén adecuadamente cubiertas todas las horas de servicio del aeropuerto y que las mediciones se repitan a intervalos frecuentes, a menudo cada media hora, para que puedan detectarse variaciones importantes de los factores más críticos que pueden ocurrir en plazos de tiempo bastante breves. La información debe presentarse en una forma que permita su rápida interpretación, tanto en la oficina de exposición verbal como en el puesto de pilotaje, lo cual significa que se necesitará un sistema de decodificación rápido y sencillo, y una última presentación en lenguaje claro.

## 6.4 FORMATO DE SNOWTAM

6.4.1 Esta información puede promulgarse mediante el formato de SNOWTAM (Figura 6-1). Para facilitar la forma de llenar el formato de SNOWTAM, se publican notas explicativas en un texto conciso asociado con el formato de SNOWTAM (6.4.3). En las notas explicativas se incluyen, entre otros datos, los siguientes:

- a) período máximo de validez del SNOWTAM;
- b) información acerca de lo que constituye una modificación importante de las condiciones de la pista que exige la expedición de un nuevo SNOWTAM;
- c) la notificación de XX en la casilla G, medición del rozamiento en cada tercio de la pista y dispositivos de medición, si este valor no puede medirse o no tiene importancia para las operaciones;
- d) abreviaturas utilizadas para indicar el tipo del dispositivo de medición del rozamiento notificado en la casilla H; y
- e) notificación, en la casilla T, de la cobertura de contaminantes así como de las condiciones en la parte de la pista que no ha sido objeto de limpieza.

6.4.2 Orientación detallada sobre la forma de completar el formato de SNOWTAM, así como ejemplos del formato completado y de los correspondientes mensajes por teletipo, se presentan en 6.4.3 y 6.4.4.

6.4.3 Para completar el formato de SNOWTAM es necesario atender a la siguiente orientación:

### 1. Generalidades

- a) Cuando se notifican datos que se refieren a dos o tres pistas se transmiten de nuevo los datos indicados de C a P inclusive.
- b) Deben omitirse completamente las casillas junto con su indicador cuando no haya de incluirse información.
- c) Deben utilizarse unidades del sistema métrico decimal y no se notificará la unidad de medida.
- d) La validez máxima de los SNOWTAM es de 24 horas. Deben publicarse nuevos SNOWTAM siempre que ocurra un cambio de importancia en las condiciones. Se consideran de importancia los cambios siguientes, relativos al estado de las pistas:
  - 1) un cambio de alrededor de 0.05 en el coeficiente de rozamiento;
  - 2) cambios en el espesor de los depósitos de órdenes mayores que los siguientes: 20 mm para nieve seca; 10 mm para nieve mojada; 3 mm para nieve fundente;
  - 3) un cambio del 10%, o más, en la longitud o anchura disponible de una pista;
  - 4) todo cambio del tipo de depósitos o extensión de cobertura que requiera reclasificación en las casillas F o T del SNOWTAM;
  - 5) cuando existan bancos de nieve críticos en un lado de la pista, o en ambos lados, todo cambio de la altura o de la distancia a que se encuentren a partir del eje de la pista;
  - 6) todo cambio de la conspicuidad de la iluminación de pista provocado por un ocultamiento de las luces; y
  - 7) toda otra condición considerada de importancia a base de la experiencia o de las circunstancias locales.
- e) El encabezamiento abreviado "TTAAiiii CCCC MMYGGgg (BBB)" se incluye para facilitar el tratamiento automático de los mensajes SNOWTAM en los bancos de datos por computadora. La explicación de los símbolos es la siguiente:

TT = designador de datos SNOWTAM = SW;

AA = designador geográfico de los Estados (por ejemplo, LF = Francia, EG = Reino Unido — [véase *Indicadores de lugar* (Doc 7910), Parte 2 — Índice de las letras de nacionalidad para los indicadores de lugar];

iiii = número de serie del SNOWTAM expresado por un grupo de cuatro cifras;

CCCC = indicador de lugar de cuatro letras correspondiente al aeródromo al que se refiere el SNOWTAM [véase *Indicadores de lugar* (Doc 7910)];

MMYYGGgg = fecha/hora de la observación/medición, de manera que:

MM = mes (o sea, enero = 01, diciembre = 12)

YY = día del mes

GGgg = horas (GG) y minutos (gg) UTC;

(BBB) = grupo facultativo para designar una corrección de un SNOWTAM difundido previamente con el mismo número de serie = COR.

*Nota.*— Los paréntesis en (BBB) significan que se trata de un grupo facultativo.

*Ejemplo:* Encabezamiento abreviado del SNOWTAM Núm. 149 de Zurich, medición/observación del 7 de noviembre a las 0620 UTC:

SWLS0149 LSZH 11070620

2. *Casilla A*

Indicador de lugar del aeródromo (indicador de lugar de cuatro letras).

3. *Casilla B*

Grupo fecha/hora de ocho cifras — indica la hora de observación en la secuencia mes, día, hora y minutos en UTC (Tiempo Universal Coordinado); esta casilla debe llenarse siempre.

4. *Casilla C*

Número más bajo de designador de pista.

5. *Casilla D*

Longitud en metros de la pista limpia, si es inferior a la longitud publicada (véase la casilla T para notificar si parte de la pista no está limpia).

6. *Casilla E*

Anchura en metros de la pista, si es inferior a la anchura publicada, si está desplazada a la izquierda o a la derecha del eje, añádase "L" o "R" según se vea desde el umbral que tenga el número designador más bajo.

7. *Casilla F*

Depósitos sobre la longitud de la pista, según se explica en el formato de SNOWTAM. Pueden utilizarse combinaciones adecuadas de estos números para indicar condiciones variables sobre los distintos segmentos de la pista. Si hay más de un depósito en el mismo tramo de la pista, estos deberían notificarse en orden desde la parte superior hasta la parte inferior. Las acumulaciones causadas por el viento, los espesores de depósitos apreciablemente superiores a los valores medios u otras características importantes de los depósitos pueden notificarse en la casilla T en lenguaje claro.

*Nota.*— Al final de esta orientación figuran las definiciones de los diversos tipos de nieve (véase 4.5.1).

8. *Casilla G*

Espesor medio en milímetros de depósito correspondiente a cada tercio de la longitud total de la pista, o "XX" si no es mensurable o no es importante desde el punto de vista operacional. La evaluación debe efectuarse con una precisión de 20 mm para nieve seca, 10 mm para nieve mojada y 3 mm para nieve fundente.

9. *Casilla H*

Medición del rozamiento correspondiente a cada tercio de la pista y dispositivo de medición utilizado. Coeficiente medido o calculado (dos cifras) o, si no se dispone de éste, rozamiento en la superficie estimado (una cifra), en orden empezando por el umbral que tenga el número designador de pista más bajo. Insértese una clave 9 cuando el estado de la superficie o del dispositivo de medición del rozamiento disponible no permite efectuar una medición confiable del rozamiento en la superficie. Utilícense las siguientes abreviaturas para indicar el tipo de dispositivo de medición del rozamiento utilizado:

BRD	Frenómetro-dinómetro
MUM	Medidor del valor Mu
RFT	Medidor del rozamiento en la pista
SFH	Medidor del rozamiento en la superficie (neumáticos de alta presión)
SFL	Medidor del rozamiento en la superficie (neumáticos de baja presión)
SKH	Deslizómetro (neumáticos de alta presión)
SKL	Deslizómetro (neumáticos de baja presión)
TAP	Medidor Tapley

Si se utiliza otro equipo especifíquese en lenguaje claro.

10. *Casilla J*

Bancos de nieve críticos. Si los hay, insértese la altura en centímetros y la distancia con respecto al borde de la pista en metros, seguidas de izquierda ("L") o derecha ("R") o ambos lados ("LR"), tal como se ven desde el umbral que tiene el número de designación de pista más bajo.



**11. Casilla K**

Si las luces de pista están ocultas, insértese "Sf" seguido de "L", "R" o ambos "LR" tal como se ve desde el umbral que tenga el número de designación de pista más bajo.

**12. Casilla L**

Cuando se prevea realizar una nueva limpieza de la pista, anótese la longitud y anchura de la pista o "TOTAL" si la pista habrá de limpiarse en su totalidad.

**13. Casilla-M**

Anótese la hora UTC prevista para la terminación de la limpieza.

**14. Casilla N**

Puede utilizarse la clave correspondiente a la Casilla F para describir las condiciones de las calles de rodaje; anótese "NO" si no se dispone de las calles de rodaje que sirvan a la pista conexas.

**15. Casilla P**

Si es aplicable, anótese "Sf" seguido por la distancia lateral en metros.

**16. Casilla R**

Puede utilizarse la clave correspondiente a la Casilla F para describir las condiciones de la plataforma; anótese "NO" si la plataforma está inutilizable.

**17. Casilla S**

Anótese la hora UTC prevista de la próxima observación/medición.

**18. Casilla T**

Escribese en lenguaje claro toda información de importancia operacional pero notifíquese siempre la longitud de pista no despejada (Casilla P) y el grado de contaminación de la pista (Casilla F) para cada tercio de la pista (si procediera) de conformidad con la escala siguiente:

contaminación de la pista:

- 10% — si la contaminación es inferior al 10%
- 25% — si la contaminación es de 11 a 25%
- 50% — si la contaminación es de 26 a 50%
- 100% — si la contaminación es de 51 a 100%.

6.4.4 Los textos que siguen proporcionan más orientación sobre la forma de completar el formato de SNOWTAM.

**Comentarios generales**

1. Los códigos de la Casilla F pueden utilizarse para describir las condiciones en las calles de rodaje y plataformas.
2. Deben utilizarse unidades métricas y no es necesario notificar la unidad de medición. Si fuera necesario aclarar la unidad de medición utilizada indíquese en la casilla T.

**Comentarios específicos para cada casilla**

**Casilla A** — Entrar el indicador de lugar del aeródromo de cuatro letras.

**Casilla B** — Entrar la fecha de la evaluación efectuada, proporcionando el grupo de ocho dígitos de fecha-hora mediante el cual se indica el mes, día, hora y minuto de la observación en UTC. (p. ej., 02010850, con el significado de 1 de febrero a las 0850 UTC). Esta hora puede ser distinta para diversas pistas y debe entrarse el grupo de fecha-hora de 8 dígitos para cada pista.

**Casilla C** — Entrar el número de designación de pista más bajo. p. ej., 16 L cuando los números de designación de pista sean 16L/34R.

**Casilla D** — Entrar la longitud de la pista limpia de nieve en metros si este número es inferior al de la longitud publicada. p. ej., 3 300 (véase la casilla T).

**Casilla E** — Entrar la anchura de la pista limpia de nieve si es inferior a la anchura publicada, en metros. Si esta anchura no está centrada en el eje de la pista, según se observa desde el umbral que tenga el número inferior de designación de pista, entrar "L" después de la unidad de medición si la parte limpia está desplazada a la izquierda, o "R" si la parte limpia está desplazada a la derecha. p. ej., 40L.

**Casilla F** — Describir la condición de la superficie de la pista en cada tercio de la pista, notificando el número adecuado de clave indicado en el formulario que describa lo mejor posible la condición. El orden de notificación debería ser a partir del umbral que tiene el número de designación de pista inferior. p. ej., 4/5/4. Pueden emplearse combinaciones adecuadas de números para indicar condiciones variables en diversos tramos de la pista. Si existe más de un depósito en la misma parte de la pista, deben notificarse en orden, empezando por la parte superior hasta la parte inferior del depósito total. p. ej., 57/56/57. Las acumulaciones causadas por el viento, los espesores de depósitos apreciablemente superiores a los valores medios u otras características importantes de los depósitos, pueden notificarse en la casilla T en lenguaje claro. Si se notifica la condición de húmeda debe aclararse en la casilla T el motivo de esta notificación.

**Casilla G** — Notificar el espesor medio en milímetros de cualquier acumulación de nieve seca, nieve mojada o nieve fundente que se indique en la casilla F respecto a cualquier tercio de la pista y en el mismo orden en que se notifican respecto a la casilla F. La evaluación del espesor del depósito debe hacerse con una precisión aproximada de 20 mm para nieve seca, de 10 mm para nieve mojada y de 3 mm para nieve fundente. Si no puede medirse el espesor medio o no tiene importancia para las operaciones debe notificarse mediante el código "XX". p. ej., 20/10/XX.

**Casilla H** — Entrar la evaluación de las características de rozamiento en cada tercio de la pista en el mismo orden en que

se hizo en la casilla F y el tipo de dispositivo de medición aplicado si corresponde. Si se utiliza un dispositivo de medición del rozamiento, debe notificarse el coeficiente de rozamiento medido y no proporcionarse una evaluación descriptiva (p. ej., bueno, escaso, etc.). Cuando no se utiliza ningún dispositivo de medición del rozamiento, debe anotarse la evaluación descriptiva más apropiada según lo indicado en el formulario. Si el dispositivo de medición del rozamiento no permite medir el rozamiento de forma fiable y satisfactoria, lo cual puede ser el caso cuando la pista esté contaminada por nieve fundente o nieve suelta, debe notificarse mediante el código 9.

Utilícense las siguientes abreviaturas para indicar el tipo de dispositivo de medición del rozamiento utilizado.

BRD	Frenómetro-dinómetro
GRT	Medidor del asimiento
MUM	Medidor del valor Mu
RFT	Medidor del rozamiento en la pista
SFH	Medidor del rozamiento en la superficie (neumáticos de alta presión)
SFL	Medidor del rozamiento en la superficie (neumáticos de baja presión)
SKH	Deslizómetro (neumáticos de alta presión)
SKL	Deslizómetro (neumáticos de baja presión)
TAP	Medidor Tapley

Si se utiliza otro equipo, especifíquese en lenguaje claro.

**Casilla J** — Cuando estén presentes bancos de nieve críticos, según lo definido en la AIP del Estado, entrar la altura en centímetros y la distancia en metros desde el borde de la pista. Indíquese también si están a la izquierda ("L"), o a la derecha ("R"), tal como se ven desde el umbral que tiene el número de designación de pista más bajo o a ambos lados ("LR"), p. ej. 30/5L.

**Casilla K** — Si las luces de pista están ocultas, entrar "SÍ" seguido de "L", "R" o ambos, "LR", según corresponda, tal como se ve desde el umbral que tenga el número de designación de pista más bajo, p. ej., SÍ L.

**Casilla L** — Cuando se prevea realizar una nueva limpieza de la pista, además de lo notificado en las casillas D o E, anótese la longitud/anchura que se espera limpiar, p. ej., 2500/35. Si se espera limpiar la totalidad de la pista anotar "TOTAL".

**Casilla M** — Anótese la hora UTC prevista para terminar las medidas descritas en la casilla L, p. ej., 1300.

**Casilla N** — Si no hay calles de rodaje que sirvan a la pista conexas, anotar "NO".

**Casilla P** — Si hay bancos de nieve a lo largo de las calles de rodaje que prestan servicio a la pista y son de una altura

superior a 60 cm, anotar "SÍ", seguido de la distancia lateral en metros, p. ej., SÍ 10.

**Casilla R** — Anótese "NO" si la plataforma no está en condiciones de utilización.

**Casilla S** — Anotar el mes, día y hora previstos de la próxima observación/medición, en UTC, p. ej., 01021400.

**Casilla T** — Utilícese este campo para describir, en lenguaje claro, la cobertura de contaminantes y cualquier información importante para las operaciones, tal como medidas correctivas de esparcimiento de arena, de piedrecitas, o desengelmiento, p. ej., RWY 07 arenada. Si la longitud limpia de la pista es inferior a la longitud publicada, especificar las condiciones que reinan en la parte de la pista no despejada, p. ej., los últimos 300 m de RWY 16 cubiertos de 50 mm de nieve. Cuando la pista está contaminada debe notificarse para cada tercio de la pista, según corresponda, lo siguiente:

contaminación de la pista:

10% — si la contaminación es menor del 10% de la pista

25% — si la contaminación es de 11 a 25%

50% — si la contaminación es de 26 a 50% de la pista

100% — si la contaminación es más del 50% de la pista.

Si se ha notificado una condición de humedad debe indicarse si esto es una condición natural, p. ej., "pista 16 humedad natural". Por otro lado, si la humedad es debida a la aplicación de sustancias químicas para impedir la formación de hielo o retirarlo debería notificarse como: "humedad pista 16 debida a sustancias químicas".

#### Ejemplo de SNOWTAM

En los Ejemplos 1 (Figura 6-2) y 2, se indican respectivamente modelos de formato completado y el correspondiente mensaje por teletipo. Tómese nota de que los datos de las casillas C a P correspondientes a la RWY 14 y RWY 16 deben repetirse en otras hojas.

#### Ejemplo Núm. 2

GG EHAMZQZX EDDFZQZX EKCHZQZX  
070645 LSZHYNYX  
SWLS0149 LS2H 11070620  
SNOWTAM 0149

A) LSZH B) 11070620 C) 10 D) 2200 E) 40L F) 4/5/4 G) 20/10/20 H) 30/35/30 MUM J) 30/5 L K) SÍ L L) TOTAL M) 0900 P) SÍ 12 C) 14 D) 3000 F) 57/56/57 G) 05/05/05 H) 32/35/9 MUM C) 16 H) 35/35/30 MUM S) 11070920 T) PRIMEROS 300 M RWY 10 CUBIERTOS DE 50 MM NIEVE, RWY 14 ARENADA, CONTAMINACIÓN DE PISTA 100% EN TODAS LAS RWY.



## Capítulo 7

# Remoción de la nieve y control del hielo

### 7.1 GENERALIDADES

7.1.1 Es imposible decidir de antemano las medidas que deberían adoptarse para mejorar el coeficiente de rozamiento (valor  $\mu$ ) en el área de movimiento en la que el hielo, la nieve, la nieve fundente, el agua y otras sustancias depositadas perjudican las características de rozamiento, ya que, en algunos aeropuertos, las condiciones meteorológicas pueden conducir a una gran diversidad de situaciones que exigen medidas correctivas completamente distintas. Por lo tanto, en cada caso particular habrá que decidir la combinación de medidas adaptadas al equipo de que se disponga en dicho aeropuerto.

7.1.2 Determinadas condiciones meteorológicas pueden conducir a situaciones que presenten problemas difíciles al personal, bien sea por la falta de equipo que pudiera resolver la situación de la mejor manera (quizá esta clase de equipo ni siquiera haya sido fabricado), o bien porque una ligera mejora de un bajo coeficiente de rozamiento podría exigir una considerable inversión de trabajo, tiempo y dinero. En tales casos quizá los esfuerzos deban concentrarse en mantener el valor actual de dicho coeficiente. Tales condiciones meteorológicas desfavorables se presentan, p. ej., cuando:

- a) hay una lluvia engelante ininterrumpida;
- b) está en vías de formación una capa de hielo;
- c) se produce un descenso brusco de la temperatura de la capa superior del pavimento debido a irradiación de calor, lo que convierte en hielo la humedad depositada en la pista; o
- d) se producen cambios repentinos de la temperatura, cerca del punto de congelación, mientras llueve o nieva.

7.1.3 En la práctica, las variaciones de las condiciones meteorológicas en un determinado aeropuerto exigen una evaluación profesional de la combinación "tiempo atmosférico/medición/equipo" y la elección del equipo adecuado para tal evaluación. A esta situación se enfrenta cualquier obrero calificado que, entre las muchas herramientas de que dispone, ha de seleccionar la que mejor se adapte al trabajo que le ocupa.

7.1.4 Independientemente de la técnica que se aplique a quitar la nieve, la nieve fundente, el hielo y el agua estancada,

el objetivo debe ser el de restablecer con rapidez y eficacia el área de movimiento y las instalaciones del aeropuerto al máximo grado de utilización. Sólo puede garantizarse el movimiento eficiente y económico del transporte aéreo, si se proporciona una superficie que reúna ininterrumpidamente condiciones de seguridad. Este criterio parece ser aplicable a todos los aeropuertos, independientemente de sus dimensiones o de la frecuencia de operaciones que se realicen en los mismos.

7.1.5 La limpieza de depósitos de nieve, nieve fundente, hielo y agua estancada del área de movimiento debería basarse en consideraciones de seguridad de los vuelos y en horarios establecidos. Normalmente, esto dará lugar al siguiente orden de prioridades:

- a) pistas en uso;
- b) calles de rodaje que presten servicio a las pistas en uso;
- c) plataformas;
- d) apartaderos de espera;
- e) otras áreas.

7.1.6 Es un hecho admitido que las administraciones aeroportuarias de todo el mundo han creado sus propios equipos y métodos para limpiar las pistas y eliminar los contaminantes. Aunque los equipos y técnicas de aplicación sean diferentes, el objetivo perseguido es el mismo: que los pavimentos del aeropuerto queden limpios y secos con la mayor rapidez posible.

7.1.7 Muchos factores deben tenerse en cuenta al determinar el equipo necesario para retirar de la superficie de los pavimentos de los aeropuertos los contaminantes que se encuentran en ella. La topografía, el clima, el emplazamiento del aeropuerto, los tipos de aeronaves, la densidad de los movimientos, las características de las superficies utilizadas y las instalaciones de navegación, constituyen tan sólo algunos de los elementos que entran en juego.

7.1.8 Los aeropuertos situados en las regiones tropicales y subtropicales pueden enfrentarse a problemas relacionados con aguaceros frecuentes y fuertes que dejan agua estancada. Asimismo, en función de las condiciones locales y de las actividades de los vuelos, es frecuente encontrar depósitos de caucho, arena, polvo y lodo en numerosos aeropuertos de las zonas tropical y templada. En las zonas más nórdicas la

remoción de nieve, nieve fundente y hielo exigen el empleo continuo de mano de obra y de equipo durante varios meses del año, y una parte importante del presupuesto de explotación de la administración del aeropuerto.

7.1.9 La remoción de los diversos contaminantes puede lograrse por uno o más métodos, utilizando una o más máquinas del mismo tipo o la combinación de un tren o familia de máquinas, algunas de las cuales ejecutan una tarea doble. Por lo general, la limpieza de los elementos más críticos, tales como la nieve, la nieve fundente y el hielo, puede hacerse por medios mecánicos, químicos o térmicos, y puede realizarse en operaciones a gran velocidad sobre pistas "activas" o a velocidades más lentas en áreas de menos prioridad, en las que se hayan acumulado grandes cantidades de nieve.

7.1.10 Para que las actividades en el campo se realicen en condiciones de seguridad es conveniente contar con radiocomunicaciones en ambos sentidos.

7.1.11 En las secciones siguientes se analizan los diversos métodos mecánicos, químicos y térmicos, el equipo y los materiales empleados para quitar la nieve, la nieve fundente, el hielo, el agua estancada, el barro, el polvo, la arena, el aceite, los residuos de caucho y otros contaminantes; con lo cual se proporciona una guía a las autoridades de los aeropuertos, pero no las exime de su responsabilidad, de carácter directivo, en cuanto a las decisiones que hayan de tomar respecto al tipo, cantidad y calidad del equipo o de los materiales o métodos que hayan de seguirse en cada aeropuerto para mantener un nivel óptimo de limpieza en el área de movimiento.

## 7.2 COMITÉ PARA LA NIEVE

Para que las operaciones de limpieza sean eficaces, es necesario que exista estrecha cooperación entre los explotadores, las dependencias de los servicios de tránsito aéreo (ATS) y las autoridades del aeropuerto. Para que esta coordinación sea satisfactoria se ha demostrado que es necesario establecer un comité para la nieve, integrado por miembros de la administración del aeropuerto, de la oficina meteorológica, de las dependencias ATS y de los explotadores de las líneas aéreas. Este comité estará encargado de planificar las medidas necesarias que permitan la mejor utilización del aeropuerto. El representante de la oficina MET notifica a los miembros del comité para la nieve cuando haya pronósticos que indiquen que será necesario efectuar operaciones de limpieza de nieve.

## 7.3 PROCEDIMIENTOS DEL PLAN PARA LA NIEVE

7.3.1 Hay varios procedimientos que son esenciales para realizar eficazmente la tarea anual de eliminar de los pavimentos del aeropuerto los depósitos de nieve. Es axiomático

que todo el equipo debe estar en perfectas condiciones antes de que se produzca la primera tormenta, y que todas las reparaciones, revisiones o actividades de mantenimiento del material se hayan terminado mucho antes de la fecha más próxima en que puedan necesitarse.

7.3.2 Todo el equipo mecánico debe funcionar debidamente y debe contarse con un sistema seguro de abastecimiento de piezas de recambio. Los turnos de trabajo, incluso los del personal de reparaciones mecánicas, deben anunciarse en carteles y deben detallarse con claridad los procedimientos de "convocación del personal". En muchos aeropuertos se exhibe de un modo visible un plano del lugar en el local donde se reúne el personal de mantenimiento, detallando las áreas prioritarias previstas para cada caso de tormenta, a fin de evitar confusiones acerca de las áreas de trabajo designadas.

7.3.3 Para que la organización sea eficaz es esencial disponer de los últimos informes meteorológicos y advertencias de tormentas inminentes, y esta faceta de las operaciones debe organizarse en colaboración con el personal meteorológico antes de que llegue la temporada de tormentas.

7.3.4 El personal de las dependencias ATS y el Comité para la nieve, donde lo haya, influirán en las actividades del equipo empleado en el aeropuerto. Para que las maniobras de los aviones hagan perder el mínimo tiempo posible de trabajo en las zonas de actividades, deben establecerse buenas relaciones de trabajo entre los supervisores en el campo y el personal de la dependencia ATS. Es esencial que antes de la primera nevada estén instaladas las balizas de pista, las vallas para la nieve y las señales de obstáculos. Estas instalaciones deberían también marcarse en el plano del lugar para facilitar la referencia. Finalmente, la instrucción necesaria del personal habrá terminado con mucha anticipación a la fecha en que pueda requerirse su primera intervención. Estos son los arreglos más fundamentales que deben llevarse a la práctica con bastante anticipación al comienzo de cada temporada de remoción de nieve.

### *Altura admisible de los bancos de nieve*

7.3.5 La altura de un banco de nieve en un área adyacente a una pista, calle de rodaje o plataforma, debería reducirse lo más posible, a fin de proporcionar espacio libre para las alas y evitar el problema que causa a las operaciones la absorción de hielo por las turbinas de los motores. En la Figura 7-1 se indica el perfil deseado de altura máxima de la nieve que constituye el objetivo durante las operaciones iniciales de remoción de la nieve en dicha zona. Este es el perfil deseado que debería mantenerse después de que la nieve haya cesado de caer y haya tiempo, y las condiciones meteorológicas lo permitan, para que el equipo de remoción de nieve se dedique a tareas distintas a las de mayor prioridad. Cuando las condiciones lo permitan, la altura indicada en el perfil de la Figura 7-1 debería reducirse, a fin de facilitar las operaciones futuras de remoción de nieve y reducir la posibilidad de absorción de nieve por parte de los motores de

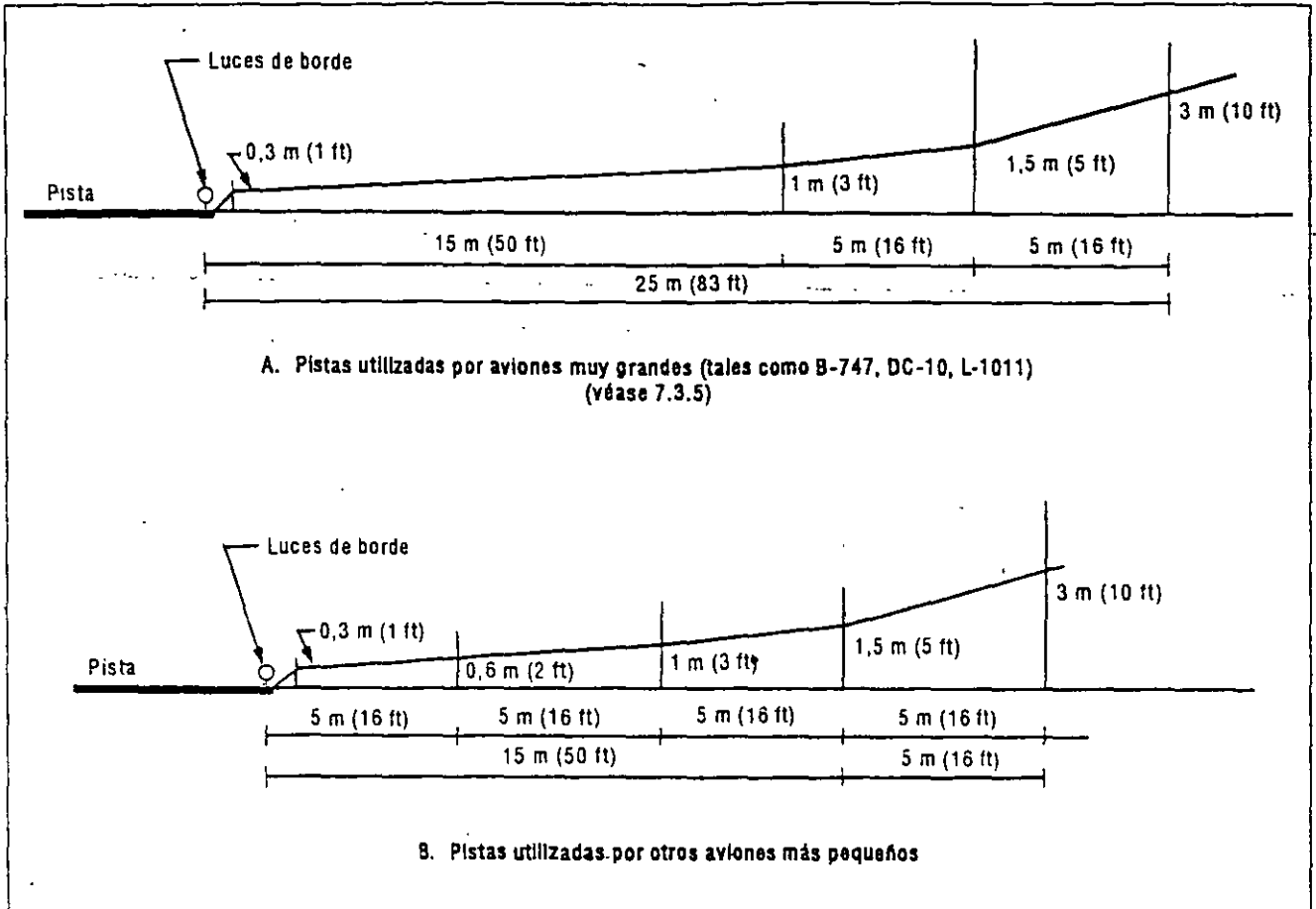


Figura 7-1. Altura máxima del perfil de nieve

reacción. En las zonas en las que puede trabajar bien el equipo de remoción de nieve, tales como los márgenes de las pistas, el objetivo debería ser el de retirar completamente la nieve hasta el nivel del terreno. En particular, en las pistas destinadas a ser utilizadas por aviones Boeing 747, debería realizarse, en la medida de lo posible, la limpieza de las pistas y de los márgenes de pista por lo menos hasta una anchura total de 60 m.

*Balizas de borde de pista  
 (árboles coníferos y balizas de plástico)*

7.3.6 En muchos aeropuertos se usan árboles coníferos durante la estación invernal para delimitar el área de movimiento y para señalar obstáculos que puedan ser dañados o causar daños a las aeronaves o al equipo. Se seleccionan para uso en el aeropuerto árboles coníferos de 1.20 m de altura, y de tronco delgado. Se podan las ramas cerca de la base del tronco para impedir que se acumule nieve en la base del árbol. Se ha elaborado y está siendo evaluado como sustituto de los árboles una nueva baliza permanente de plástico, de color naranja de gran intensidad, que consiste en una pirámide triangular de 38 cm montada en un árbol flexible que gira

libremente en torno a un banquito de nilón. Las balizas se instalan a principio de la estación invernal cerca de las luces de pista o de las luces de borde de calle de rodaje, con un margen suficiente hacia afuera de la pista para el paso de los aviones. También se están utilizando banderas de color naranja de gran intensidad de montaje flexible. Operarios del equipo terrestre consideran útiles estas balizas para localizar las luces cubiertas de nieve. La forma de instalar las balizas debe ser tal que éstas se rompan con facilidad o se desplacen sin causar daños si se interpusieran en el camino de los aviones.

*Acceso a la pista para la remoción de nieve*

7.3.7 La operación de eliminar la nieve con rapidez y eficacia presupone que la limpieza comience tan pronto como empiece a nevar. Normalmente, tendrán que seguirse procedimientos muy lentos si la capa de nieve acumulada tiene gran espesor. Por lo tanto, hay también necesidad urgente de establecer estrecha cooperación entre la dependencia ATS y el personal encargado de quitar la nieve.

7.3.8 Un procedimiento que se sigue normalmente es el de permitir cierto número de despegues y aterrizajes y luego

dejar que el equipo de remoción de nieve haga algunos barridos para limpiar la parte central de la pista. Siempre que el equipo no haya formado bancos de nieve que resulten críticos, podrá reanudarse el tránsito. Si continúa nevando, será preciso efectuar otras interrupciones del tránsito aéreo para poder repetir los barridos mientras dure la tormenta.

7.3.9 La aplicación eficaz de este procedimiento requiere instalaciones de radiocomunicación en todos los vehículos usados para las operaciones de barrido y remoción de nieve. También es muy importante que el personal encargado de eliminar la nieve esté familiarizado con el vocabulario del ATS y esté entrenado para seguir con prontitud las instrucciones del ATS.

## 7.4 MÉTODOS MECÁNICOS

### *Operación de remoción de la nieve*

7.4.1 La operación debería comenzar tan pronto como la nieve empiece a acumularse en la superficie. La maquinaria empleada en la primera operación de este procedimiento depende del equipo disponible, del tipo de nieve, si es mojada o seca, y de la dirección y velocidad del viento. Normalmente el personal de la dependencia ATS designará la pista que haya de limpiarse según el pronóstico meteorológico correspondiente a las condiciones que reinarán después de haber pasado la tormenta.

7.4.2 Cabe destacar que mientras dure el temporal de nieve nada se gana intentando limpiar las pistas, ya que el viento volverá a traer la nieve con la misma rapidez que se elimina. Las operaciones son muy peligrosas debido a la falta de visibilidad, y ni los explotadores ni el equipo se hallarán en condiciones óptimas cuando amaine el temporal y pueda iniciarse el trabajo eficaz. Las nevadas se consideran ligeras o fuertes según la velocidad de caída y el tipo de nieve.

### *Remoción de nieve en las instalaciones ILS, VASIS, dispositivos de parada de aviones, luces empotradas y otras instalaciones de aeródromo*

7.4.3 Se utilizan diversos tipos de equipo para despejar las áreas alrededor de las instalaciones de ayudas para la navegación situadas en una pista o adyacentes a la misma.

7.4.4 Para evitar daños a los dispositivos, las luces empotradas deben barrerse o limpiarse con un quitanieves de reja que tenga una pestaña de caucho fijada a la parte delantera de la vertedera entre la chapa de acero y la vertedera, de modo que aproximadamente unos 8 cm de caucho se extiendan por debajo. Las piezas metálicas colocadas en la parte inferior de los arados o sopladores de nieve deberían estar a una distancia mínima de 4 cm, por lo menos, de la superficie del pavimento. Debería prohibirse el empleo de vehículos con cadenas en las ruedas, máquinas de arrastre de la nieve por velocidad y vehículos con hoja raedera. Deberían utilizarse primero las

barredoras de pista y durante tanto tiempo como sea posible para la actividad de remoción de nieve. Los quitanieves y sopladores deberían complementar la operación de la barredora sólo cuando la acumulación de nieve haga imposible emplearla.

### *Remoción de nieve en áreas que no sean las pistas*

7.4.5 Si bien, de conformidad con el Anexo 14, Volumen I, 9.4.12, se da prioridad a la limpieza del área de movimiento, hay que dar cabida al tráfico de vehículos que van al aeropuerto o regresan del mismo. Por lo tanto, deben mantenerse abiertas las vías de acceso durante toda la tormenta. Otras áreas de prioridad secundaria tienen que limpiarse lo antes posible para restablecer las operaciones normales; no obstante, tal vez sea posible reducir hasta cierto punto el trabajo de mantenimiento en invierno declarando temporalmente cerradas las pistas poco usadas, las calles de rodaje o una parte de una plataforma. Las áreas secundarias se despejan empleando las máquinas quitanieves, lanzanieves y cargadoras convencionales. Los caminos se despejan apartando la nieve a un lado con el quitanieves o lanzanieves, o cargándola en camiones volquete y transportándola a un área de descarga. De modo semejante, se elimina la nieve depositada en las zonas de estacionamiento de vehículos, áreas de mantenimiento y rutas de emergencia del aeropuerto.

7.4.6 Las plataformas usadas para el estacionamiento de aviones, operaciones de carga o de mantenimiento, deben despejarse generalmente con el quitanieves en una sola dirección, debido a que están contiguas a edificios u a otras instalaciones. Frecuentemente, es necesario cargar y transportar la nieve hasta un vertedero desde dichos lugares restringidos. Se amontona la nieve formando cordones y se carga en camiones con lanzanieves o cargadoras. En muchos aeropuertos, puede recurrirse a contratos para quitar la nieve en zonas tales como las vías de acceso, áreas de mantenimiento etc., bajo la supervisión del personal del aeropuerto. Este procedimiento a base de "contratos" ha demostrado ser sumamente eficaz y económico para quitar la nieve en muchos aeropuertos internacionales; se utiliza maquinaria y efectivos humanos del ramo de la construcción que hasta la fecha habían permanecido inactivos durante la temporada de invierno.

### *Medidas mecánicas para evitar depósitos de nieve debidos a la ventisca*

7.4.7 Las vallas para nieve, las franjas o el apisonamiento, son métodos empleados para evitar que el viento arrastre la nieve y la deposite en las superficies limpias. Las vallas para nieve son generalmente celosías de listones de madera colocadas temporalmente en campo abierto perpendicularmente al viento reinante. En circunstancias normales se sitúan a una distancia de 23 a 30 m del área limpia, pero pueden colocarse hasta a 90 m, según lo aconsejen el terreno, la velocidad del viento y otros factores. El emplazamiento es muy importante para que estas vallas resulten eficaces y debe determinarse de acuerdo con la experiencia. Debe preverse que

hay que ir elevando la valla a medida que aumente el espesor de la nieve. Pueden improvisarse con coníferas, matorrales, tablillas de acero y otros materiales semejantes que presenten aberturas.

## 7.5 EQUIPOS PARA LA REMOCIÓN DE LA NIEVE Y EL CONTROL DEL HIELO

### Consideraciones de carácter general

7.5.1 El control oportuno y completo de la nieve y del hielo depende del equipo utilizado. En los párrafos que siguen se analiza la selección del equipo óptimo a esos efectos. En el proceso normal de selección de los equipos para la remoción de la nieve y el control del hielo (SRICE) en los aeropuertos, las autoridades del aeropuerto tienen que considerar muchos elementos. Los más importantes son los siguientes:

- aspectos económicos — obtención de los recursos financieros;
- extensión de las instalaciones — zona que ha de mantenerse y número de operaciones;
- repuestos e instalaciones de reparación — arreglos en materia de mantenimiento y servicio, y disponibilidad del servicio; y
- aspectos meteorológicos — precipitaciones de nieve, temperatura y formación de hielo.

### Condiciones meteorológicas

7.5.2 Dado que las necesidades en materia de equipo para el control de la nieve y del hielo están estrechamente vinculadas a la incidencia de las precipitaciones de nieve es necesario tener en cuenta los siguientes factores antes de determinar si es necesario contar en el aeropuerto con equipo de control de la nieve y del hielo.

- La frecuencia de las precipitaciones de nieve, el espesor medio de los depósitos de nieve en cada tormenta, la densidad de la nieve, el volumen y la naturaleza del tránsito aéreo a que el aeropuerto atiende, y la zona de pavimento que el SRICE debe limpiar de nieve y de hielo, son factores que se han de tener en cuenta al adquirir equipo para la remoción de nieve.
- Las estadísticas meteorológicas indican que las comunidades con una precipitación de nieve anual media de alrededor de 40 cm o menos reciben, por lo general, depósitos de menos de 5 cm por tormenta. Normalmente, no resultaría práctico desde el punto de vista económico adquirir grandes cantidades de equipo de remoción de nieve, de por sí onerosos, que sólo sea necesario utilizar relativamente en pocas oportunidades o durante un período muy breve del año. Los aeropuertos que reciben una precipitación de nieve media anual inferior a 40 cm y prestan servicios solamente a aviones con motores de émbolo o servicios aéreos regulares con dos vuelos o menos diarios, pueden encontrar que la solución más

económica es contratar, para la remoción de la nieve, los servicios de contratistas no directamente vinculados al aeropuerto, o de empresas de movimiento de tierras, con carácter prioritario durante los períodos de precipitación de nieve.

### Criterios relativos a los equipos de remoción de la nieve en los aeropuertos

7.5.3 Las necesidades en materia de SRICE en los aeropuertos pueden ser muy diferentes de las correspondientes a los servicios o departamentos de carreteras de la misma región. El terreno de los aeropuertos es por lo general llano; el pavimento puede ser muy ancho; dichos aeropuertos tienen dispositivos, generalmente de iluminación, empotrados en el pavimento; el terreno más allá de los bordes del pavimento debe limpiarse también (luces de pista); normalmente la capa de nieve no es muy profunda; pero frecuentemente la nieve y el hielo deben retirarse muy rápidamente, lo que constituye un factor fundamental en la selección de los equipos.

7.5.4 En respuesta a estas necesidades, los servicios SRICE de los aeropuertos tienden a ser más rápidos, más grandes y más complicados, desde el punto de vista mecánico, que los correspondientes SRICE utilizados en las carreteras. La gama de tipos de equipo puede también ser muy amplia y las comunicaciones y las técnicas en materia de integración y funcionamiento de los equipos son, por lo general, más complejas.

7.5.5 *Máquinas lanzanieves* — Estas máquinas se fabrican en diversos tamaños que van desde las pequeñas unidades montadas sobre camiones para la temporada de nieve, hasta las máquinas muy grandes, de diseño especial, con más de un motor. Las máquinas lanzanieves se fabrican según dos diseños básicos (véase la Figura 7-2):

- lanzanieves de dos etapas* — el tipo de tornillo sinfín único es el más ampliamente utilizado como vehículo de alta velocidad. Es versátil y puede utilizarse con nieve mojada o seca. La primera etapa del lanzanieves se encarga de limpiar el pavimento y acumular la nieve, que será tomada por la turbina de la segunda etapa y lanzada a distancia a gran velocidad.
- lanzanieves de una etapa* — este tipo resulta más eficaz en condiciones de nieve más seca y ligera. Su ventaja principal estriba en su relativa sencillez.

7.5.6 *Arados quitanieves* — Estos son parte integral del concepto de remoción de nieve en equipo. Se fabrican de varios tipos, de los cuales se presenta una breve descripción y usos correspondientes en la tabla de selección de quitanieves (Tabla 7-1) para determinar las ventajas de cada tipo. En la Figura 7-3 se da una idea somera de los tipos de cuchillas empleados. No obstante, vale la pena investigar la utilización de arados quitanieves de alta velocidad para las pistas, que pueden arrojar la nieve a distancia, en vez de simplemente desplazarla para que la recojan y la lancen las máquinas lanzanieves, lo cual, en ciertas circunstancias puede reducir los



costes de la operación de remoción de nieve. El problema fundamental se reduce a asegurarse de que la nieve se desplace físicamente por encima de las luces de borde de pista o de calle de rodaje, siempre que no se exceda el perfil de altura máxima de nieve. Aplicando procedimientos y equipos menos modernos, el método más ampliamente aceptado para lograr lo mencionado consistía en utilizar lanzanieves y arados quitanieves en equipo. Este concepto sigue siendo válido actualmente en muchos emplazamientos, pero en las condiciones siguientes puede considerarse la alternativa de emplear un arado quitanieves de tipo lanzador únicamente:

- bajo nivel anual de precipitación de nieve (40 a 50 cm);
- trazado del aeropuerto (los pavimentos tienden a permanecer limpios si las pistas están elevadas);
- altura de las luces de borde de pista (las luces más elevadas permanecen visibles por más tiempo);
- baja densidad de tránsito (se dispone de más tiempo para limpiar la pista);
- márgenes de pista pavimentados o estabilizados (se pueden utilizar los arados quitanieves más cerca de las luces);
- pericia del operador (frecuentemente puede ser necesario tomar decisiones importantes);
- vientos dominantes en invierno (los vientos predominantes de costado tienden a soplar la nieve hacia afuera de la pista).

En las condiciones anteriores, puede reducirse los costes eliminando una máquina lanzanieves del equipo de remoción de nieve (véase la Figura 7-4).

7.5.7 *Tipos de arados quitanieves* — Frecuentemente se utilizan los siguientes tipos de arados quitanieves (véase la Figura 7-3).

- a) *Con hoja de vertedera biselada en un sentido, a la derecha o a la izquierda.* Este tipo de arado quitanieves está diseñado para operaciones de eliminación de la nieve, de gran volumen y a alta velocidad en combinación con otras máquinas, y son del tipo convencional de uso en un sólo sentido, de cuchilla fija montada en diagonal, que funciona por medios hidráulicos y mandos convencionales.
- b) *Con motor reversible y borde cortante normal o no metálico.* Se utiliza para la evacuación de grandes volúmenes de nieve a alta velocidad en las pistas, en operaciones que exijan que la nieve se descargue a la derecha o a la izquierda según un ángulo de corte fijo. Este equipo no debe utilizarse sobre pavimentos con sistemas de luces empotradas.
- c) *Con cuchilla basculante y borde de acero.* Se utiliza en operaciones de remoción de nieve que exigen que la nieve se descargue a la derecha o a la izquierda según un ángulo de corte fijo. Este equipo no debe utilizarse en pavimentos con sistemas de luces empotradas.
- d) *Con aletas niveladoras, a la derecha o a la izquierda.* Se utilizan en trabajos pesados de remoción de nieve y permite que el arado quitanieves se ajuste a distintas alturas para modelar y rebajar cordones y bancos de nieve.

Tabla 7-1. Tabla para la selección de quitanieves

Tipo de quitanieves	Inclinación de la cuchilla	Tipo de desplazamiento a baja velocidad	Tipo de lanzador a gran velocidad	Anchura de la faja	Coste	Borde de caucho	Desgaste
En un sentido	No	Dirección única	A un solo lado	Ancha	Bajo	Sí	Aceptable
Reversible	Sí	Ambas direcciones	A ambos lados	Ancha	Mediano	Sí	Aceptable
Basculante	Sí	No	Excelente a ambos lados	Mediano	Mediano	No	Mínimo
Plataforma	Sí	Ambas direcciones	No	Ancha	Elevado	No	Aceptable
Aletas grandes/plegables	Sí	Ambas direcciones	A ambos lados	Muy ancha	Muy elevado	Sí	Aceptable
Cucharón cargador	Articulada	Ambas direcciones	No	Mediano	Mediano	No	Mínimo

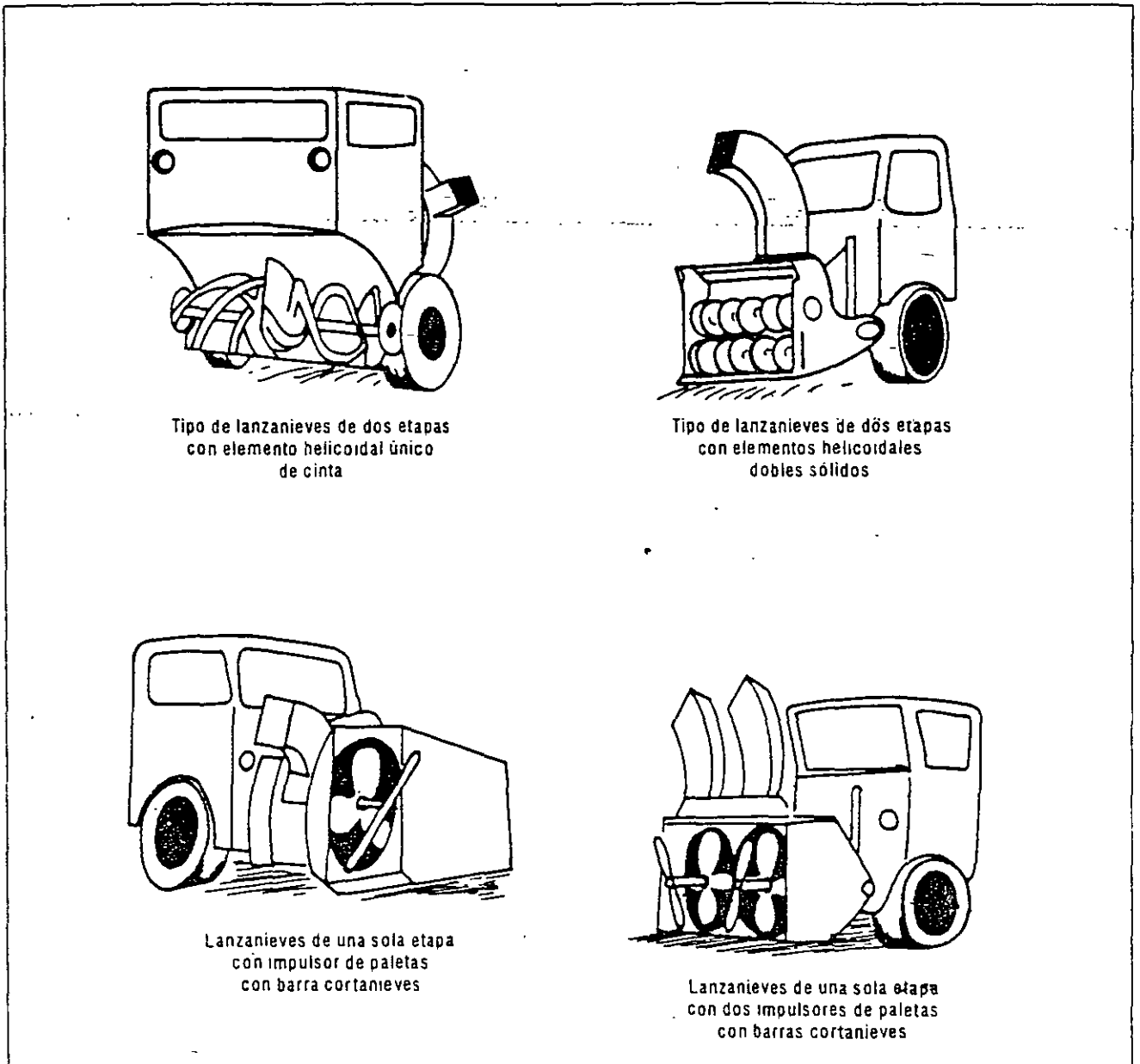


Figura 7-2. Tipos comunes de lanzanieves.

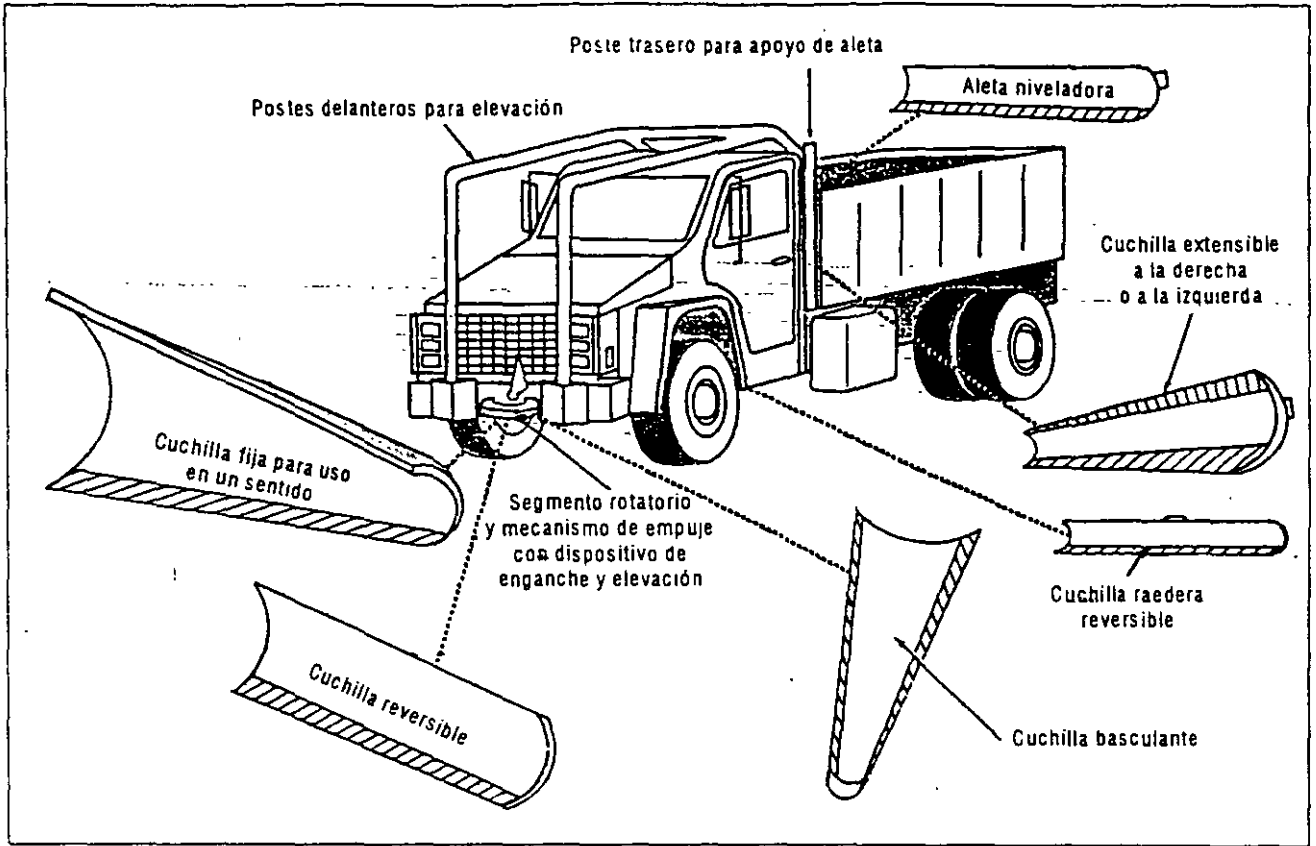


Figura 7-3. Tipos de cuchillas de vertedera

Quitanieves grande de tipo lanzador reversible  
 Quitanieves medio de tipo lanzador basculante  
 Quitanieves medio de tipo lanzador reversible

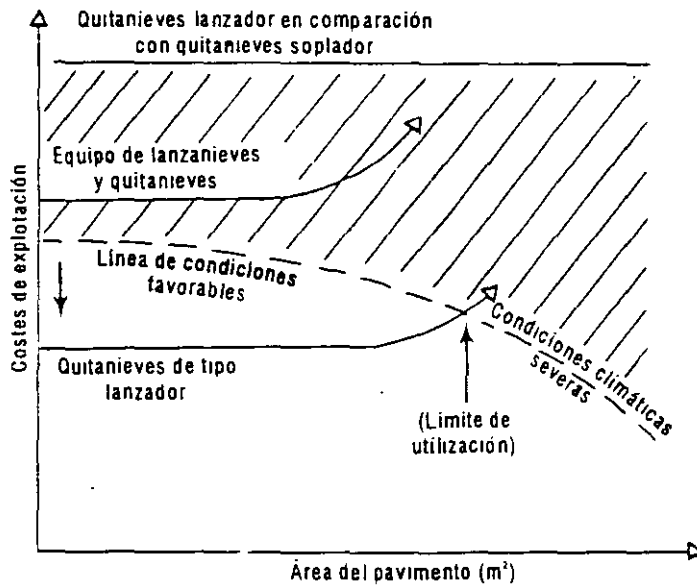


Figura 7-4. Quitanieves de tipo lanzador (solos o en combinación)

- e) *Con cuchilla extensible.* Se monta sobre el lado derecho o izquierdo del vehículo, en combinación con la cuchilla frontal, para aumentar la amplitud del corte.
- f) *Arado quitanieves grande de empuje, de faja ancha, reversible con aletas plegables.* Se utiliza en operaciones de faja ancha, a altas o bajas velocidades.
- g) *Cuchilla ruedera.* Permite el máximo grado de maniobra en zonas restringidas y en condiciones de hielo o nieve compactados.
- h) *Arado quitanieves para plataforma.* Permite realizar operaciones de faja ancha en zonas limitadas de las plataformas. Puede empujar la nieve y la nieve fundente para apartarla de los edificios terminales, puestos de estacionamiento de aeronaves y áreas de plataforma, no debe utilizarse en pavimentos con sistemas de luces empotradas.
- i) *Quitanieves con cucharón (de uso general).* Las cucharas para nieve se utilizan en operaciones de carga de nieve y deberían funcionar en forma similar a las palas o cucharas mecánicas normales. Se utilizan montadas en la parte delantera de los vehículos cargadores en lugar de las palas o cucharas estándar.
- j) *Quitanieves con cesta.* Este tipo de cesta se utiliza en operaciones de carga de nieve y funciona en forma similar a los cucharones estándar. Se montan en la parte delantera de los vehículos cargadores, en lugar de los cucharones estándar.

7.5.8 Las autoridades aeroportuarias que analizan la utilización de cargadores frontales como alternativa para las combinaciones de arado quitanieves y camión pueden realizar otras economías en materia de equipo. Particularmente en

zonas de plataforma reducidas, el vehículo cargador, muy controlable y articulado y cuyo operador goza de buena visibilidad, se desempeña mejor que cualquier otro equipo. El límite de velocidad para este tipo de vehículo se origina fundamentalmente por el hecho de que no tiene sistemas de suspensión y de que sus neumáticos son de baja velocidad. En general, este tipo de vehículo no debería operar constantemente a velocidades superiores a 8-16 km/h, prefiriéndose las velocidades inferiores, dado que las velocidades mayores producen oscilaciones o balanceos en el vehículo y recalentamiento interno de los neumáticos, así como una eventual separación de las bandas de rodadura. En la Figura 7-5 se ilustra el aumento de los costes relacionados con los requisitos en materia de tiempo y distancia de las operaciones. Cuando las zonas que han de limpiarse son extensas y el tiempo constituye un factor de importancia, debe considerarse seriamente utilizar una combinación convencional de arado quitanieves y de camión.

7.5.9 Las nuevas tecnologías han permitido la reciente introducción de vertederas de quitanieves que no son de acero. Utilizando las nuevas cuchillas quitanieves en policarbonato pueden reducirse las necesidades en materia de potencia y combustible para los vehículos de arrastre. También hay muchos indicios de que los costes en materia de combustible pueden reducirse considerablemente utilizando estos nuevos materiales en las cuchillas. Las cuchillas de policarbonato parecen ofrecer las mismas cualidades en materia de durabilidad que las de acero convencionales, pero con tres importantes mejoras:

- a) Masa más liviana — Se reduce la inercia del quitanieves, lo que disminuye la necesidad de potencia de empuje.
- b) Menor rozamiento — el coeficiente de rozamiento del policarbonato es inferior al del acero y, por consiguiente,

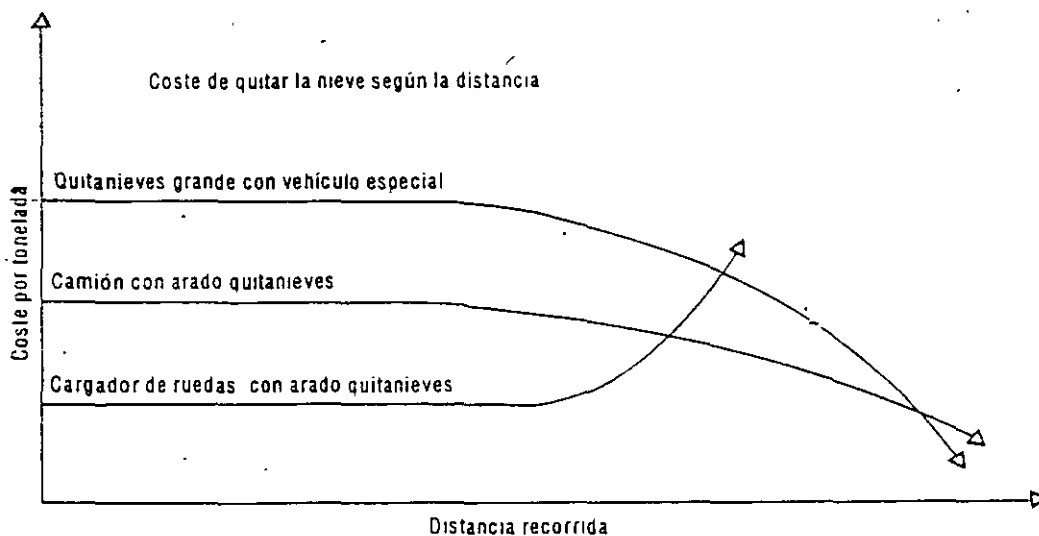


Figura 7.5. Coste de la limpieza con quitanieves en función de la distancia

se reduce el rozamiento entre la cuchilla y la nieve produciendo menos resistencia, lo que, a su vez, reduce la potencia de empuje necesaria.

- c) Material anticorrosivo — el material de las vertederas de policarbonato no se oxida ni se corroe, y la parte del montaje de la cuchilla fabricada de acero queda generalmente protegida por la vertedera de policarbonato.

7.5.10 *Vehículos esparcidores de arena.* Estos vehículos utilizados, entre otras cosas, para el control del hielo, se emplean para esparcir arena y urea y son necesarios en muchos aeropuertos del denominado "cinturón de nieve". Generalmente, puede utilizarse urea para fundir el hielo cuando la temperatura es superior a  $-9^{\circ}\text{C}$ ; por debajo de esta temperatura se utiliza arena caliente. El sistema es completo, dispone de un esparcidor tipo tolva con alimentación directa, un dispositivo de control de faja de dispersión y, normalmente, va montado en un camión quitanieves. Estos vehículos son, por lo general, camiones grandes de ocho o diez ruedas y pueden contar con características adicionales tales como bancos o plataformas calentadas, controles de velocidad automáticos, y dispositivos humectantes para la urea, a efectos de garantizar una adhesión positiva a la superficie (véase la Figura 7-6).

7.5.11 *Barrenieves.* Estos dispositivos son del tipo remolcado o empujado y cuentan con un soplador de aire direccional para limpiar y dirigir, a la derecha o a la izquierda, la nieve compactada. Normalmente son de gran utilidad en condiciones de nieve ligera, nieve fundente o en operaciones de limpieza alrededor de los sistemas de luces empotradas en el pavimento y, de ser necesario, pueden emplearse para limpiar residuos de arena.

7.5.12 *Barredoras de tipo empujado.* Estas barredoras pueden responder a cualquier diseño adecuado y van empujadas por un vehículo propulsor convencional o de cabina elevada. La barredora puede tener una, dos, o cuatro ruedas de orientación libre, uno o dos motores, y puede incorporar una sopladora de aire accionada por el mismo motor. Este tipo de barredora va montado delante del vehículo y permite que el operador observe directamente el área que se está barriendo, aunque en condiciones de viento fuerte puede verse seriamente afectada la visibilidad desde la cabina (véase la Figura 7-7).

7.5.13 *Barredoras de nieve de tipo remolcado.* Estas barredoras son remolcadas por un vehículo propulsor de cabina convencional. Estas máquinas son capaces de barrer una anchura de 3 m a velocidades de hasta 40 km/h y, si se

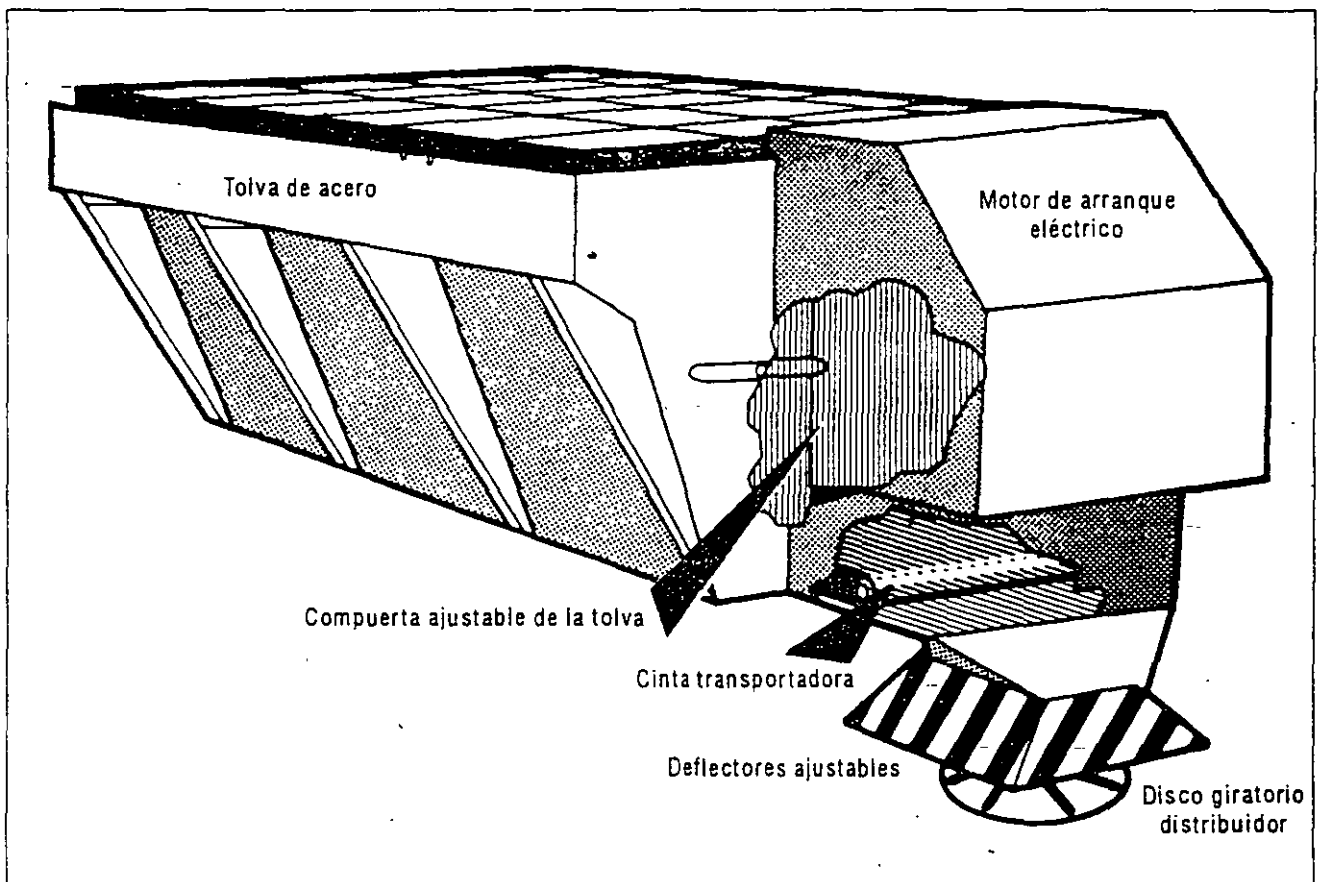
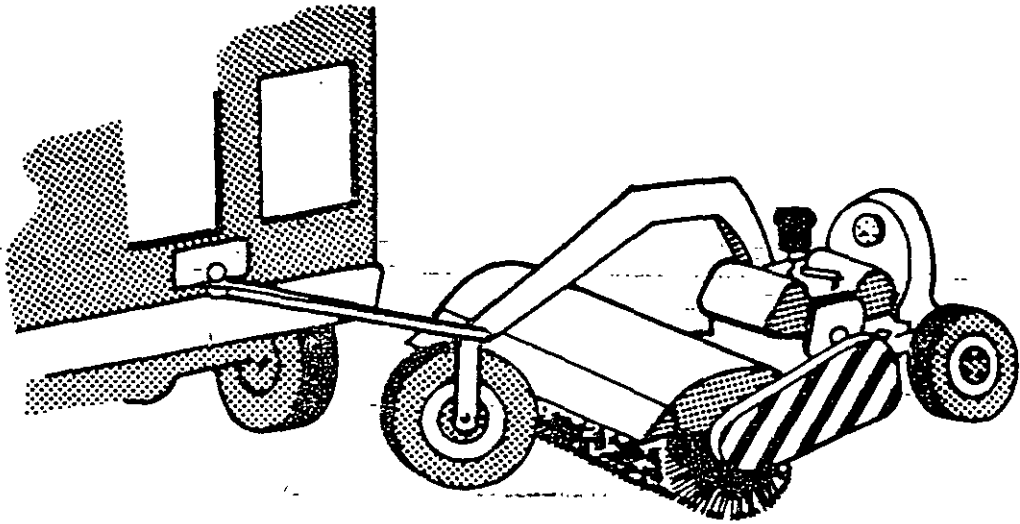
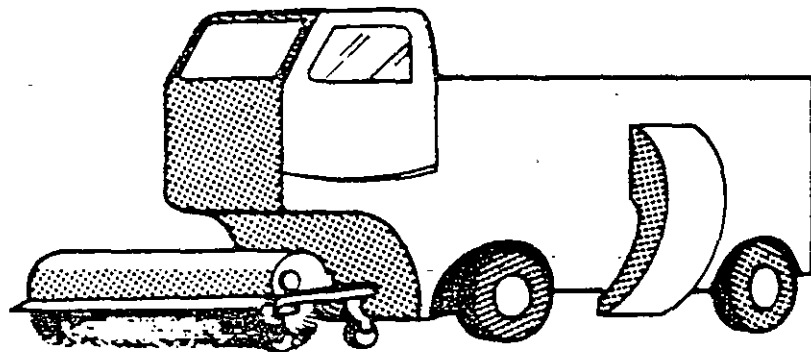


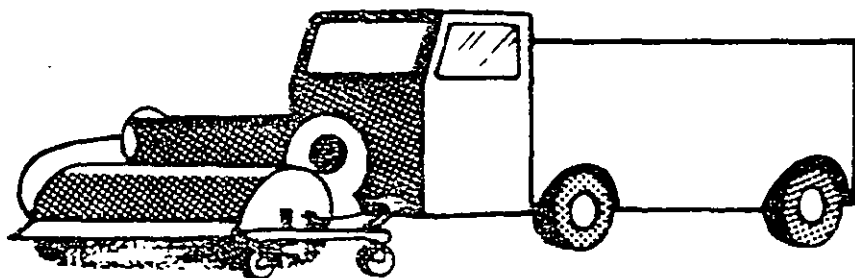
Figura 7-6. Esparcidor de arena



Tipo remolcado, de faja pequeña (3,6 m) para trabajos ligeros con soplador incorporado



Tipo empujado, de faja ancha (más de 3,6 m) para trabajos pesados, con motor y soplador trasero incorporados — cabina elevada



Tipo empujado, de faja ancha (más de 3,6 m) para trabajos pesados, con dos motores, soplador frontal — cabina ordinaria

Figura 7-7. Tipos comunes de barredoras

utilizan varias de ellas en formación de tipo flecha pueden barrer la pista de la forma más efectiva con gran rapidez (véase la Figura 7-7).

**7.5.14 Camión cisterna regador de anticongelantes.** Estos grandes vehículos, normalmente contruidos especialmente, pueden regar fajas de hasta 25 m de anchura. Los anticongelantes líquidos producen mejores resultados que la urea a temperaturas más bajas y no se van con el viento como lo hace ésta. Son también más fáciles de almacenar en tanques. Estos vehículos son de gran utilidad en los grandes aeropuertos en los cuales el hielo de las pistas constituye un problema constante en invierno. Funcionan según dos principios. El líquido puede comprimirse a presión y esparcirse mediante una barra de dispersión (según se indica en la Figura 7-8). El volumen de sustancias químicas dispersadas depende de la presión del líquido, del tamaño de las toberas de dispersión y de la velocidad del vehículo. Las máquinas modernas dispersan el líquido a partir de toberas giratorias hasta una anchura de 25 m, ya sea simétricamente por detrás del vehículo o con un desplazamiento (para arrojar el líquido por debajo de aeronaves estacionadas). El régimen de dispersión puede fijarse de antemano y no depende de la velocidad del vehículo (de hasta 32 km/h) ya que se compensa automáticamente (véase la Figura 7-8).

**7.5.15 Dispensador de sustancias químicas sólidas anticongelantes.** Se dispone de vehículos que dispersan urea mediante toberas giratorias a anchuras de 25 m — ya sea simétricamente por detrás del vehículo o con un desplazamiento (para arrojar la urea por debajo de los aviones). Para que las cantidades de urea se peguen a las superficies secas, se hacen pasar por un esparcidor anticongelante de agua, o de otro líquido, inmediatamente antes de ser esparcidos. Puede fijarse de antemano la velocidad de esparcimiento y la velocidad del vehículo se compensa automáticamente (véase la Figura 7-9).

**7.5.16 Cargador frontal.** Resulta muy útil para el trabajo en las plataformas, el apilamiento de nieve, la carga de arena, urea, etc., también puede quitar la nieve en las calles de rodaje y en las plataformas. El vehículo cargador se presenta con una amplia gama de dispositivos adjuntos y palas o cucharas (véase la Figura 7-10).

**7.5.17 Motoniveladoras.** Su utilización es algo más limitada, pero son muy buenas para romper el hielo y limpiar las pistas de grava. La motoniveladora desarrolla poca velocidad, pero puede utilizarse también para el mantenimiento de los aeropuertos durante el verano. Estas máquinas son útiles a menudo para el mantenimiento de los márgenes de pista y caminos de acceso (véase la Figura 7-11).

**7.5.18 Mantenimiento, almacenamiento y estructuras de los equipos para la remoción de la nieve en los aeropuertos.** El trabajo constante en la superficie de los aeropuertos para evitar acumulaciones peligrosas de nieve y de hielo exige que se disponga para su uso inmediato de equipos y materiales para la remoción de la nieve y del hielo y otros equipos conexos. Para poder lograr esta disponibilidad en toda época

del año, se considera esencial contar con facilidades e instalaciones para el mantenimiento y el almacenamiento de este equipo.

**7.5.19 Sensor del estado de la superficie de las pistas.** La distribución de materiales para el control del hielo sobre las pistas antes de que el hielo se forme sobre ellas, es la forma más segura y eficaz de controlar la formación del mismo. Los sensores que pueden anticipar y presentar información en tiempo real sobre las condiciones que prevalecen en las pistas, son fundamentales para el empleo eficaz de los métodos de control del hielo. El sistema de detección del estado de los pavimentos está integrado por tres elementos básicos funcionales. Las cabezas sensoras, la unidad de procesamiento de señales y una consola de presentación de datos. La información presentada por el sistema puede adaptarse a varios formatos según el usuario final, ya se trate de pilotos, personal de control de tránsito aéreo o personal de mantenimiento (véase la Figura 7-12).

**7.5.20** El sistema mide y presenta la información siguiente:

- a) la temperatura en la superficie de la pista (temperatura real del pavimento en el punto de detección);
- b) estado de pavimento seco (sin humedad perceptible);
- c) estado de pavimento mojado (humedad visible en la superficie);
- d) modo de predicción del hielo (alerta adelantada de formación incipiente de hielo), es decir, que el hielo se forma sobre la cabeza del detector del sensor antes de su formación en el pavimento; el tiempo de advertencia depende de la velocidad a que desciende la temperatura;
- e) formación de hielo en el pavimento (existen formaciones perceptibles de hielo en el pavimento);
- f) temperatura del aire ambiente, dirección y velocidad del viento cerca de la pista;
- g) precipitaciones actuales, de todas las clases;
- h) humedad relativa y temperatura del punto de rocío; y
- i) factor químico (indicación de la concentración relativa de sustancias químicas anticongelantes que permanecen todavía disueltas en la superficie del pavimento).

**7.5.21** El sistema funciona automáticamente 24 horas al día, permitiendo la detección de los cambios de estado de las pistas antes que otros métodos.

**7.5.22** Dependiendo del número de cabezas sensoras en la superficie del pavimento, el sistema puede detectar rápidas variaciones del estado de las pistas. Por consiguiente, la formación rápida de hielo se detectará electrónicamente sobre las pistas húmedas incluso cuando la temperatura del aire permanece por encima del punto de congelación. Cabe destacar que por medios convencionales el personal del aeropuerto no tendría conocimiento de dicha formación de hielo.

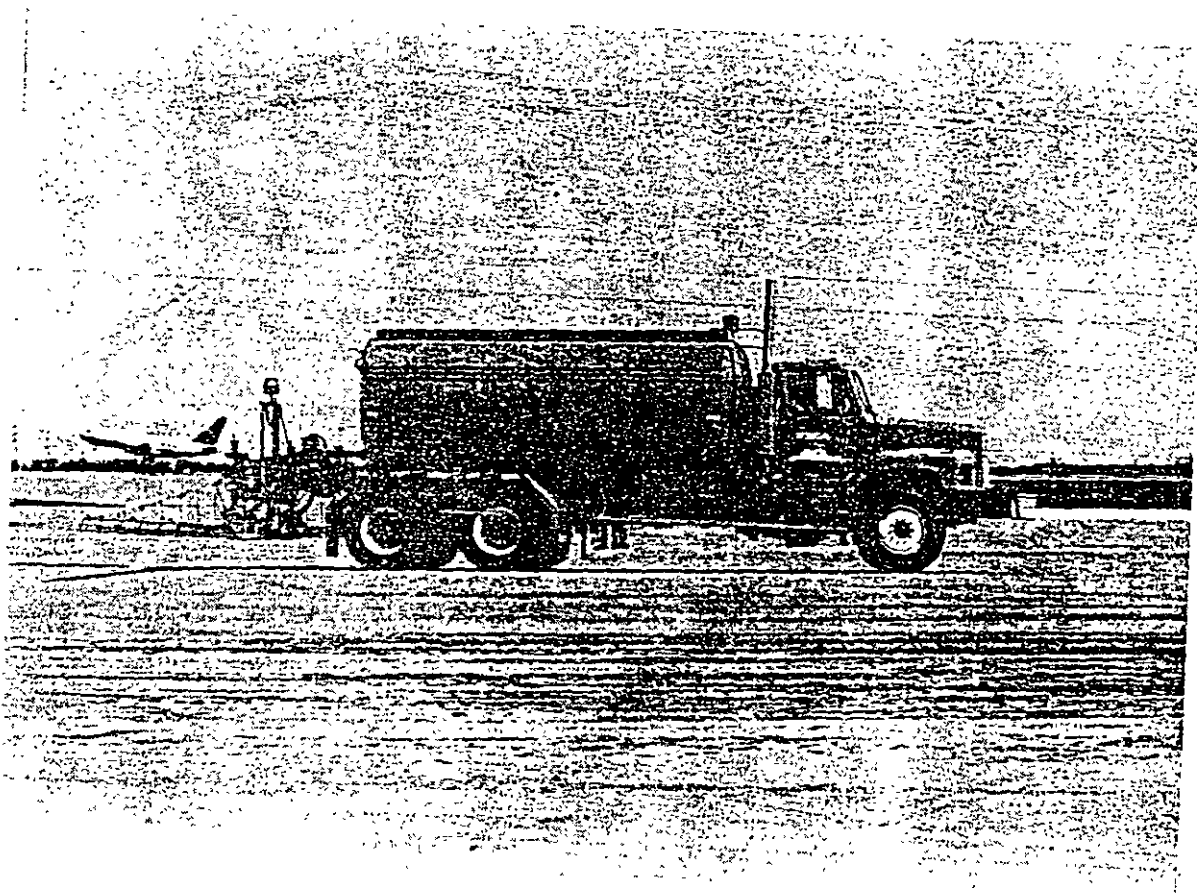


Figura 7-8. Camión esparcidor con tanque para líquido antihielo

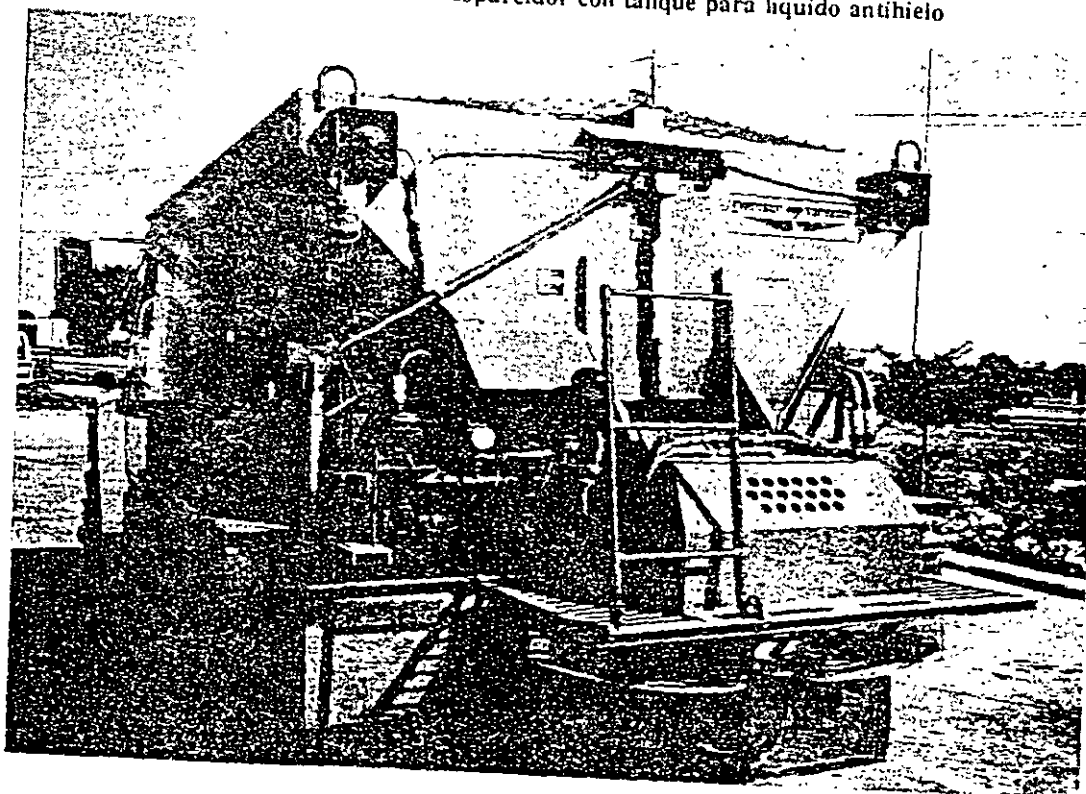


Figura 7-9. Camión dispensador de sustancias químicas sólidas antihielo



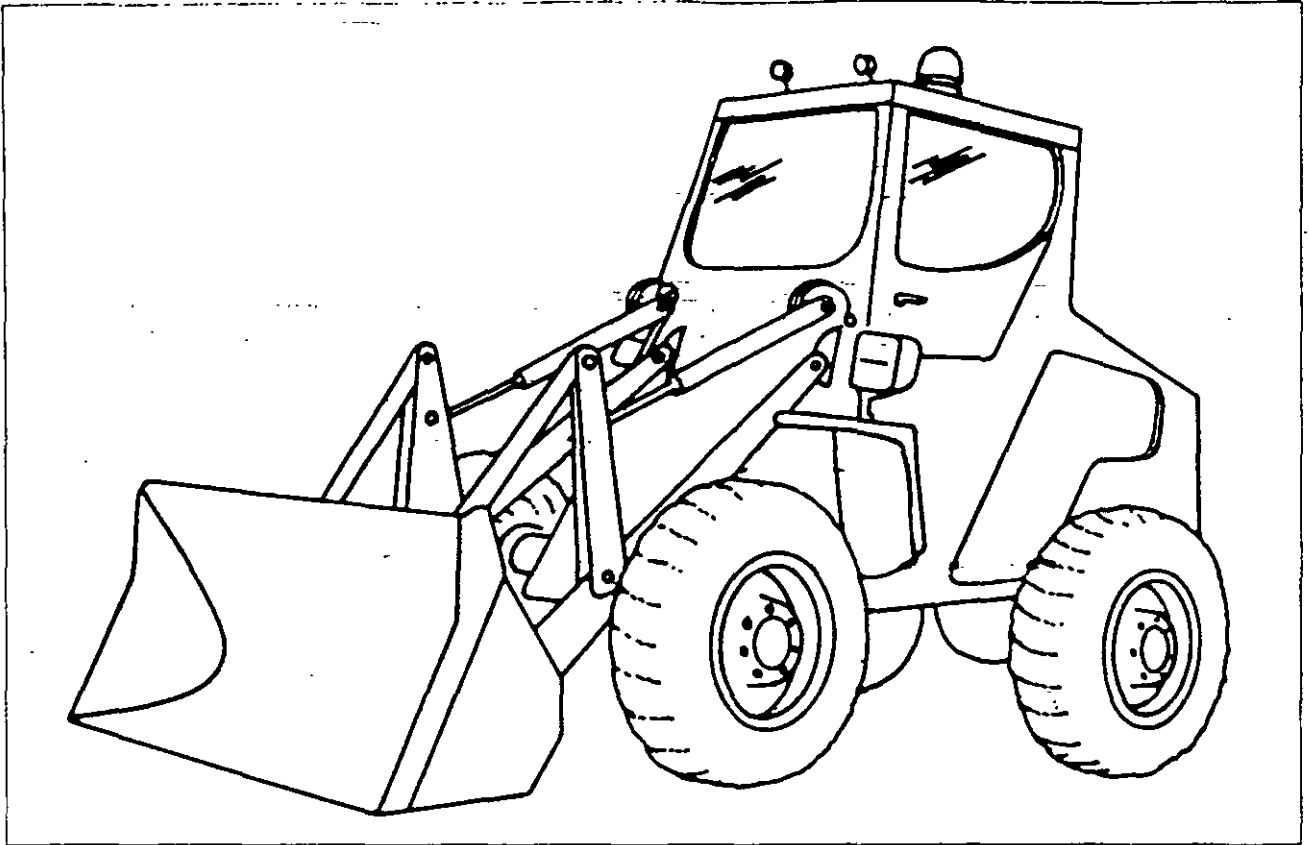


Figura 7-10. Cargador de cucharón frontal

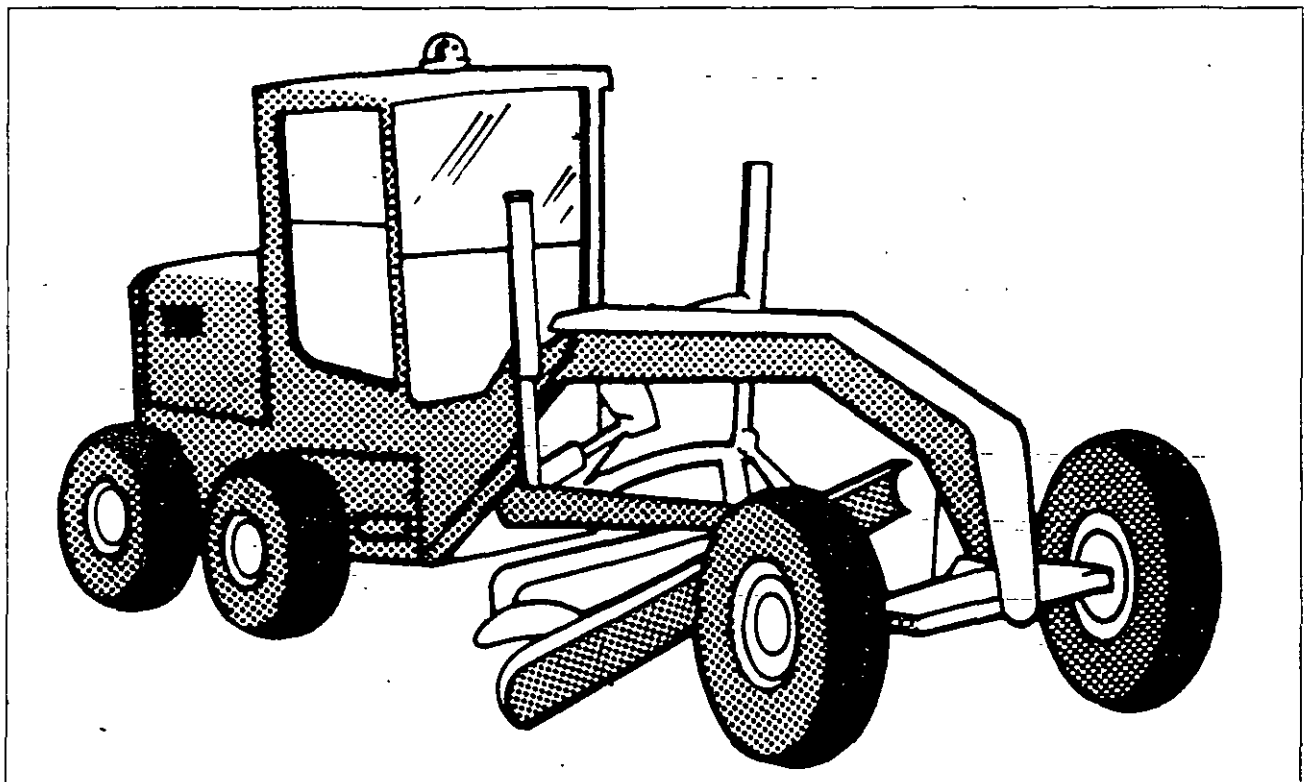


Figura 7-11. Motoniveladora

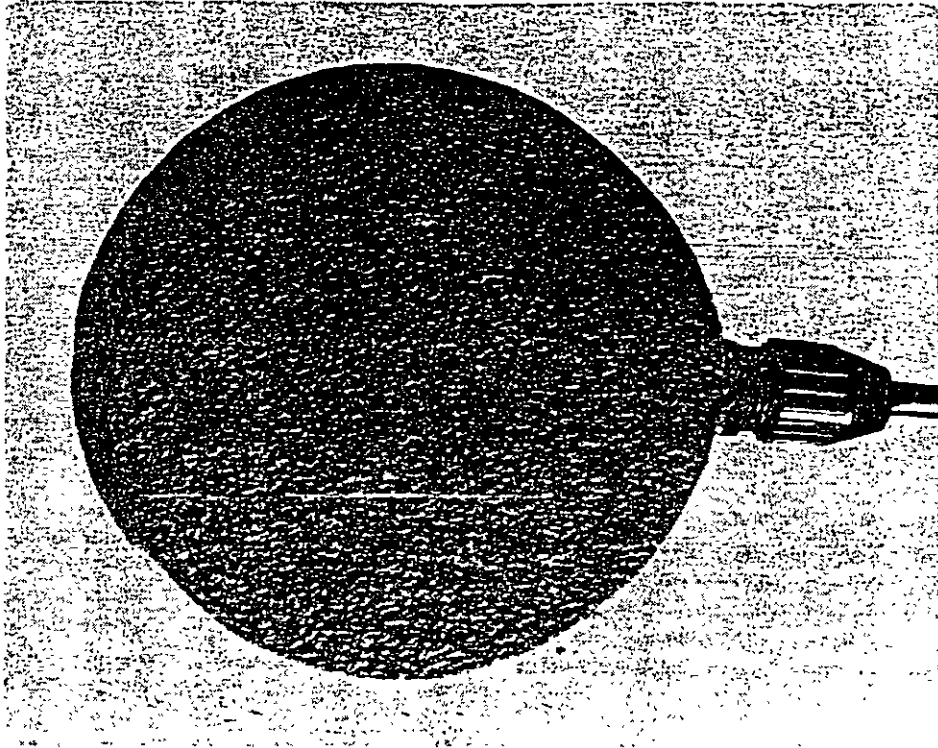


Figura 7-12. Sensor de condiciones en la superficie de la pista

7.5.23 El personal de mantenimiento puede emplear mejor su tiempo, previniendo los problemas de tracción debidos al hielo, en vez de efectuar continuas mediciones del estado de las pistas.

7.5.24 Un sistema continuo proporciona mayor información actualizada, dado que las mediciones más recientes del rozamiento dinámico indicadas en los informes de los pilotos pueden perder validez rápidamente cuando las condiciones climáticas varían considerablemente en poco tiempo. La tarea de notificar los datos SNOWTAM puede resultar menos compleja y más rápida durante la entrada manual de los datos en la pantalla vídeo del sistema. Los datos SNOWTAM anteriores permanecerán hasta que se les modifique, y solamente las funciones automáticas se actualizarán continuamente. Los datos presentados pueden incluir antecedentes, tendencias, gráficos u otros formatos de programa que el usuario seleccione, y todos estos datos o parte de ellos pueden enviarse a cualquier emplazamiento geográfico por los servicios telefónicos normales. En la pantalla de la consola también pueden presentarse otras situaciones o estados actuales del terreno, o datos de seguridad operacional incorporados manualmente o por radioenlace.

7.5.25 La experiencia ha demostrado que el sistema permite obtener las ventajas siguientes:

a) seguridad — el aviso anticipado de condiciones incipientes de engelamiento permite que se apliquen los materiales para el control del hielo antes de la formación de éste sobre la pista. La técnica de anticongelamiento, por oposición al descongelamiento, proporciona mejores

características de rozamiento en la pista, mejora su utilización y reduce el uso de abrasivos:

b) coste — la utilización de sustancias químicas y abrasivas solamente cuando los sensores indican que es necesario hacerlo, y la utilización de aplicaciones de anticongelantes más ligeros cuando se proporciona un aviso anticipado, darán como resultado una importante reducción del volumen de los materiales de control del hielo que han de emplearse.

7.5.26 La correcta selección del número de sensores por pista depende de muchos factores que se presentan en la Figura 7-13.

#### *Adquisición de los equipos para la remoción de la nieve*

7.5.27 ¿Qué metodología puede emplearse para garantizar que cada aeropuerto podrá satisfacer sus necesidades en materia de control del hielo y de la nieve? Teniendo en cuenta aspectos de orden económico, debería procederse en primer lugar a seleccionar el sistema SRICE primario (mínimo) que se considere necesario. Dado que la mayor parte de la nieve removida de las superficies de operaciones pasará, eventualmente, por las máquinas lanzanieves de sopladora, éstas deberían constituir la base de toda selección de equipo SRICE. Núcleo de un sistema SRICE es el lanzanieves; cada lanzanieves recibe, por lo general, el apoyo de dos máquinas quitanieves de vertedera. Los aeropuertos más grandes exigen también contar con esparcidores de materiales abrasivos, esparcidores de urea, camiones cisterna para irrigación de anticongelantes líquidos, barredoras y cargadoras frontales. La

selección de maquinaria puede considerarse la base del concepto de equipo integrado por lanzanieves y quitanieves (véase la Figura 7-14).

7.5.28 *Aeropuertos que prestan servicios a vuelos regulares.* El equipo de remoción de nieve mínimo recomendado para mantener las zonas de operaciones de los aeropuertos que prestan servicios a vuelos regulares durante períodos de precipitación de nieve, debería ser capaz de remover 2.5 cm de una pista principal y de una o dos calles de rodaje principales que conecten la pista con la plataforma. Además, deberá limpiarse un número suficiente de puestos de estacionamiento de avión que se prevea utilizarán la pista durante los períodos de precipitación de nieve. Asimismo, aproximadamente el 20% de la plataforma debería estar libre de contaminantes si el aeropuerto tiene un considerable volumen de actividades en la esfera de la aviación general.

7.5.29 El equipo mínimo recomendado debería comprender una o más máquinas lanzanieves de alta velocidad con capacidad suficiente, demostrada o garantizada por el fabricante, para remover nieve con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup> de las áreas señaladas anteriormente, y arrojarla a la distancia mínima de 30 m (medidas desde el soplador de la máquina al punto de máximo depósito), con arreglo a los criterios siguientes:

- 40 000 o más operaciones anuales de servicios aéreos regulares; deberían removerse 2.5 cm de nieve en 30 minutos;
- de 10 000 a 40 000 operaciones anuales de servicios aéreos regulares, deberían removerse 2.5 cm de nieve en una hora;
- de 6 000 a 10 000 operaciones anuales de servicios aéreos regulares, deberían removerse 2.5 cm de nieve en dos horas; y
- 6 000 o menos operaciones anuales de servicios aéreos regulares, deberían removerse 2.5 cm de nieve en dos horas.

7.5.30 Cada máquina lanzanieves de alta velocidad debería normalmente tener el apoyo de dos arados quitanieves. Los lanzanieves y los quitanieves deberían tener características de actuación similares.

7.5.31 Los aeropuertos deberían contar con un esparcidor tipo tolva, montado en camión, para esparcir material granular, tal como arena o urea en granos, o con un camión cisterna regador, para cada 70 000 m<sup>2</sup> de la pista principal. Además, estos aeropuertos deberían contar con una barredora de pista de alta velocidad, autopropulsada o remolcada por camión, para cada 70 000 m<sup>2</sup> de pista principal.

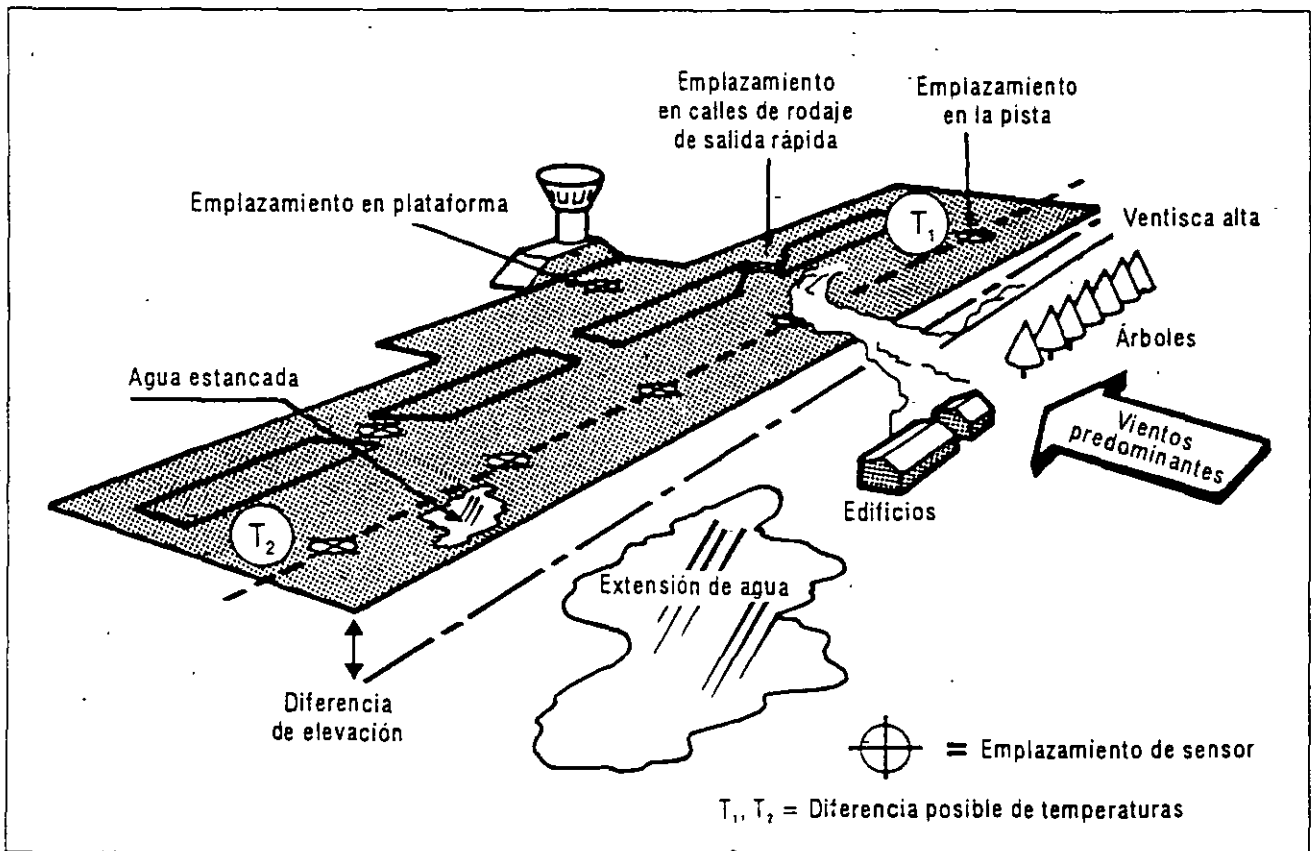


Figura 7-13. Factores que afectan al emplazamiento de los sensores

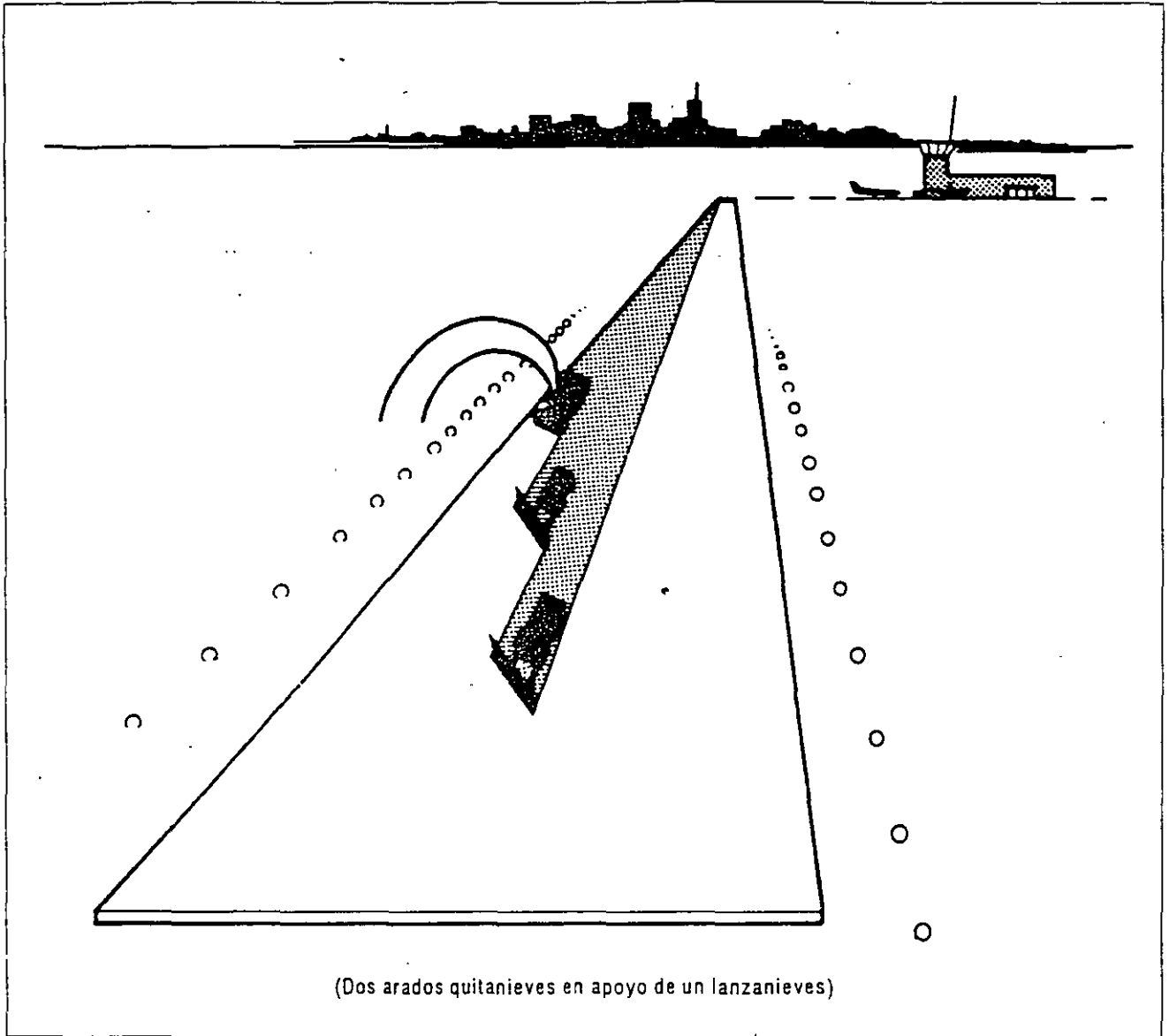


Figura 7-14. Aplicación del concepto de trabajo en equipo para la remoción de la nieve

7.5.32 Los aeropuertos deberían contar con un cargador frontal, con una cuchara o pala cuya capacidad mínima debería ser de 1.15 m<sup>3</sup>, para cargar arena o urea en las esparcidoras de tipo tolva montadas en camión y para trabajos varios de remoción de nieve en la plataforma, alrededor de las luces (pistas y calles de rodaje) etc. El cargador frontal debería estar equipado también con una pala para nieve de 6 a 7.5 m<sup>3</sup> de capacidad.

7.5.33 *Aeropuertos de la aviación general.* El equipo de remoción de nieve mínimo recomendado para mantener las zonas de operaciones de los aeropuertos de la aviación general

durante períodos de precipitación de nieve, debería ser capaz de remover 2.5 cm de nieve de una pista principal, o de la pista que proporcione cobertura máxima con respecto al viento, de una calle de rodaje principal que conecta la pista con la plataforma y del 20% de la plataforma.

7.5.34 El equipo de remoción de nieve mínimo recomendado para los aeropuertos de la aviación general que prestan servicios exclusivamente a aeronaves cuya masa bruta sea inferior a 5 700 kg, debería comprender una o más máquinas lanzanieves de alta velocidad con capacidad suficiente, demostrada o garantizada por el fabricante, para remover nieve

con una densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>, de las áreas indicadas anteriormente, y arrojarla a una distancia mínima de 15 m (medida desde el soplador del lanzanieve al punto de máximo depósito), con arreglo a los criterios siguientes:

- 40 000 o más operaciones anuales. Deberían removerse 2.5 cm de nieve en dos horas;
- de 6 000 a 40 000 operaciones anuales. Deberían removerse 2.5 cm de nieve en cuatro horas; y
- 6 000 o menos operaciones anuales. Deberían removerse 2.5 cm de nieve en cuatro horas, cuando sea conveniente.

7.5.35 Cada máquina lanzanieves de alta velocidad debería, por lo menos, tener el apoyo de un arado quitanieves con características de actuación similares.

7.5.36 *Aplicación de los criterios de selección.* La velocidad requerida de remoción de nieve en cada aeropuerto será variable y dependerá del tiempo de que se disponga para limpiar las zonas de operaciones de aviones y de la superficie del pavimento que haya de despejarse de contaminantes.

7.5.37 En realidad, la velocidad de remoción es proporcional al volumen de nieve que haya de removerse. Para cada aeropuerto, se fija el tiempo de remoción en función de la categoría operacional del aeropuerto. Asimismo, debe conocerse el área de la superficie del aeropuerto que ha de limpiarse y, por consiguiente, el volumen de nieve que ha de retirarse, tomando como parámetro básico que ha habido una precipitación de 2.5 cm de nieve.

7.5.38 En cada aeropuerto puede aplicarse la siguiente expresión general:

- el tiempo de remoción es fijo;
- la superficie de pavimento que ha de limpiarse es fija; y
- la velocidad de remoción es, por consiguiente, una función de la superficie de pavimento que ha de limpiarse.

$$dN/dt = K \text{ No. o sea, } N/\text{No} = K = \text{pendiente de la curva de velocidad}$$

siendo No = área de pavimento que ha de limpiarse (m<sup>2</sup>)

$$dN/dt = N = \text{velocidad de limpieza (toneladas/h)}$$

K = constante de proporcionalidad.

Esta es una relación lineal de primer orden y puede representarse gráficamente para cada categoría de aeropuerto. El caso general se representa en la Figura 7-15.

7.5.39 *Ejemplo de selección de lanzanieves.* En este ejemplo se considera la selección real de un sistema completo de remoción de nieve teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado.

- Se determina el área total de todas las superficies de operaciones esenciales del aeropuerto. Se supone que las operaciones de remoción se inician cuando se han depositado 2.5 cm de nieve sobre la pista.
- Se determina el tiempo de remoción de nieve a partir del total anual de operaciones de aeronaves. Por ejemplo, un movimiento anual de 40 000 o más operaciones de servicios aéreos regulares exige un tiempo de remoción de nieve de media hora.
- A los efectos del cálculo, se supone que la densidad de la nieve es 400 kg/m<sup>3</sup>.
- Se supone que la temperatura media es de -4°C, y que no hay viento. Los valores normalizados de temperatura y velocidad del viento no aparecen explícitamente en los cálculos. Si a la velocidad del viento corresponde cero, no habrá evidentemente condiciones de ventisca alta, de forma que no se introduciría ningún otro parámetro en los cálculos. La temperatura de -4°C tiende a garantizar que la densidad de la nieve permanecerá aproximadamente constante en un valor de 400 kg/m<sup>3</sup> y que la nieve no se transformará en nieve fundente o hielo.
- El factor de eficacia de los vehículos se considera que es del 70%. El factor de eficacia de los vehículos es esencialmente un parámetro global en el que se tienen en cuenta las diferencias entre la eficacia teórica de remoción de nieve y la eficacia real del equipo de personas en el campo. Las condiciones variables de ventisca alta, de densidad de nieve, de visibilidad escasa del operador, de resbalamiento de las ruedas, de problemas en el tiempo de ida y vuelta, de problemas de capacitación del equipo de personal, de pequeños problemas de índole mecánica y de la eficacia de los vehículos se tienen todas en cuenta en un solo factor de eficacia. Considerando la experiencia de los operadores y de los fabricantes de equipo, se estima razonable para este factor de eficacia el valor del 70%.
- Utilizando la información precedente, los cálculos para la selección de lanzanieves pueden ser los siguientes:
  - se multiplica el área de operaciones esenciales del aeropuerto por el espesor inicial de la nieve, para obtener el volumen de nieve;
  - se multiplica el valor obtenido por la densidad, para calcular la masa de nieve en kilogramos;
  - se divide este valor por el factor de eficacia del vehículo;
  - se divide este valor por el factor de tiempo (el tiempo disponible teniendo en cuenta el total anual de operaciones de servicios aéreos regulares);
  - se convierte el valor obtenido en toneladas por hora; y
  - se selecciona el número mínimo de lanzanieves correspondiente a la capacidad de remoción requerida.

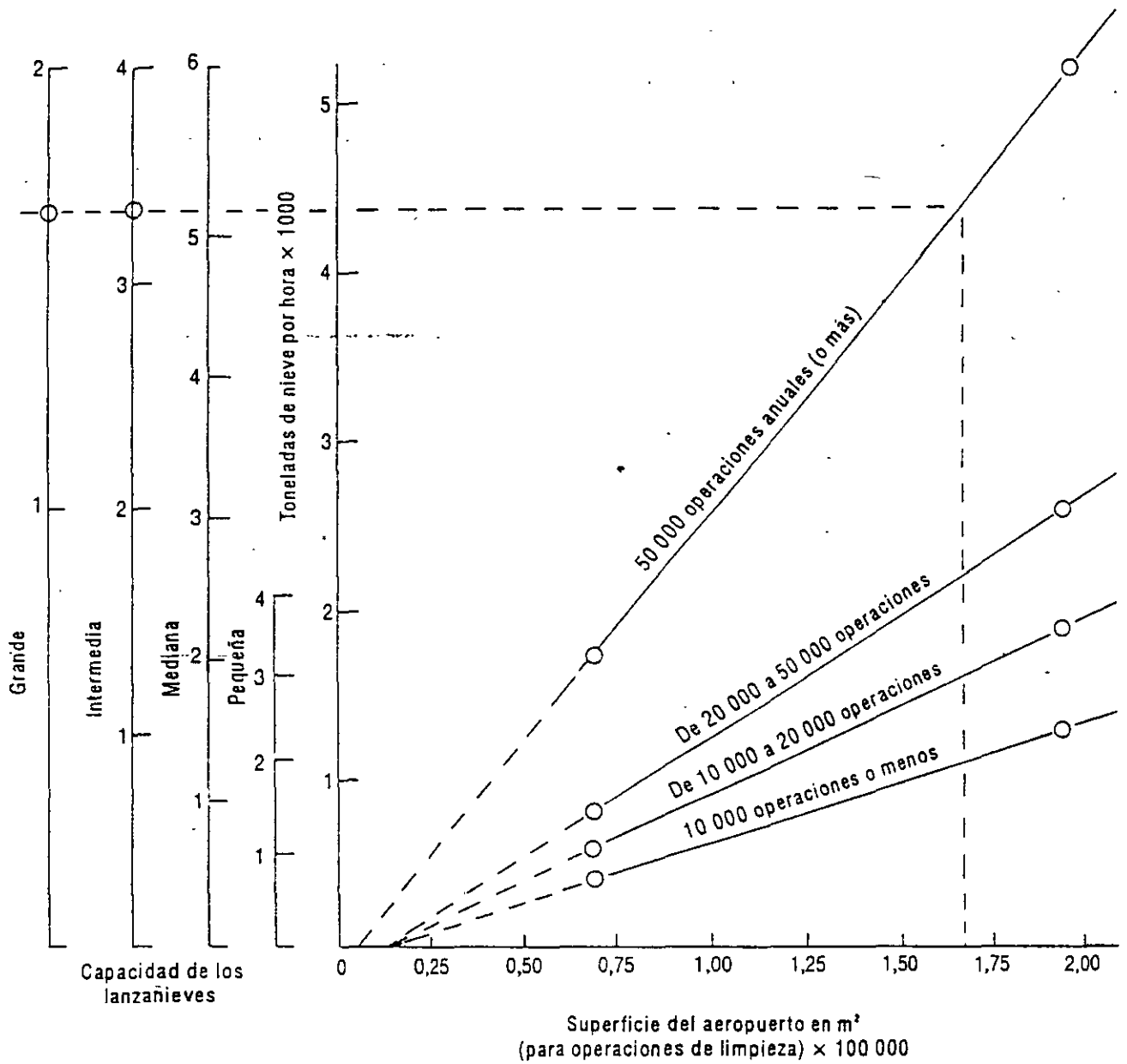


Figura 7-15. Gráfico para la selección de lanzanieves

7.5.40 A fines de ilustración se indica a continuación un ejemplo de cálculo en un aeropuerto grande:

#### Selección de lanzanieves

Etapa 1. Determinación del área de operaciones	m <sup>2</sup>
Pista principal = 2 800 × 45	126 000
Calle de rodaje (paralela y conexiones)	17 000
Curvas de enlace	2 000
Plataforma para los vehículos de salvamento y extinción de incendios y acceso a la misma	2 000
Plataforma (25% de un área de estacionamiento de 16 000 m <sup>2</sup> )	4 000
Zona de incendio de reactores (2 de 75 × 30 m)	4 500
Otras superficies	2 000
Área total que ha de limpiarse	157 000

Nota.— A fines de cálculo, el área total puede redondearse a 160 000 m<sup>2</sup>.

Etapa 2. Se incorporan a los cálculos los siguientes parámetros:

Área = 160 000 m<sup>2</sup>  
 Tiempo = 1/2 hora (corresponde a un total de 40 000 ó más operaciones anuales de servicios aéreos regulares en el aeropuerto).  
 Temperatura = -4°C  
 Velocidad del viento = 0 km/h  
 Densidad de la nieve = 400 kg/m<sup>3</sup>  
 Eficacia del lanzanieves = 0.7 (basada en la eficacia mecánica normal)  
 Espesor de la capa de nieve = 2.5 cm

Etapa 3. Cálculo de la velocidad de remoción de nieve en el aeropuerto

Volumen = 160 000 × 0.025 = 4 000 m<sup>3</sup>  
 Masa = 4 000 × 400 = 1 600 000 kg  
 Eficacia = 1 600 000/0.7 = 2 300 000 kg  
 Kilogramos por hora = 2 300 000/0.5 = 4 600 000 kg/h  
 Toneladas por hora = 4 600 000/1 000 = 4 600 t/h

7.5.41 *Lanzanieves de capacidad intermedia.* Esta máquina lanzanieves puede ser de cualquier diseño físico con una capacidad de remoción de nieve demostrada o garantizada por el fabricante, de 1 100 a 1 400 t/h para arrojarla a las distancias siguientes, medidas desde el soplador de la máquina al punto de máximo depósito en condiciones de viento cero:

- 30 m a un régimen de por lo menos 1 100 t/h;
- 23 m a un régimen de por lo menos 1 400 t/h.

7.5.42 *Lanzanieves de gran capacidad.* Los mismos criterios de diseño anteriores con las especificaciones siguientes:

- 30 m a un régimen de por lo menos 1 600 t/h;
- 23 m a un régimen de por lo menos 2 300 t/h.

7.5.43 Se han reducido considerablemente a propósito las capacidades de las máquinas lanzanieves indicadas anteriormente; normalmente, estas máquinas proporcionan regímenes de un 30% por encima de los valores mínimos indicados.

7.5.44 Como las necesidades en materia de remoción de nieve son de aproximadamente 4 500 t/h en el aeropuerto del ejemplo, puede verse que, normalmente, un lanzanieves grande y uno intermedio pueden generalmente satisfacer las necesidades del aeropuerto. Los mismos resultados pueden obtenerse de la Figura 7-15 sin cálculos, suponiendo conocida la superficie operacional esencial del aeropuerto que ha de limpiarse.

7.5.45 En general, el concepto actual de trabajar en equipo para la remoción de la nieve indica la conveniencia de utilizar los lanzanieves más grandes para satisfacer la capacidad de remoción necesaria; p. ej., si en un determinado aeropuerto, la capacidad necesaria de remoción de nieve es de 2 000 t/h, debería preferirse una máquina lanzanieves grande, en vez de tres pequeñas. Esto produce también el despliegue de equipo necesario, dado que cada lanzanieves tiene normalmente el apoyo de dos arados quitanieves.

7.5.46 *Selección de barredoras.* En 7.5.31 se indica que debería proporcionarse una barredora de alta velocidad para cada 70 000 m<sup>2</sup> de pista principal. En la Figura 7-16 se presenta una solución gráfica sencilla indicándose que un aeropuerto de este tipo exigiría dos barredoras.

7.5.47 *Selección de esparcidoras de arena.* Utilizando la solución gráfica de la Figura 7-16, se seleccionan dos esparcidoras de arena (véase 7.5.31).

7.5.48 *Teoría y selección de arados quitanieves.* Según se mencionó anteriormente, dos arados quitanieves deberían acompañar a cada lanzanieves, y el desplazamiento total de los quitanieves debería ser igual o superior al del lanzanieves a la velocidad normal.

7.5.49 Cuando se utiliza en un aeropuerto el concepto de remoción de nieve a alta velocidad trabajando en equipo con uno o más arados quitanieves, es importante ajustar las respectivas capacidades de los quitanieves y de los lanzanieves. Es fundamental que la velocidad de las operaciones o la capacidad del lanzanieves sean iguales o superiores a la capacidad del desplazamiento de los quitanieves que les acompañan, dado que en las operaciones rápidas de remoción de nieve debería hacerse el uso más eficaz posible de todo el equipo, en particular de los arados quitanieves.

7.5.50 La clasificación de los quitanieves por tamaños no tiene por objeto establecer rígidamente longitudes de cuchilla vertedera sino que está encaminada a servir de ayuda en el ajuste de los niveles de eficacia de los vehículos. Por ejemplo, los lanzanieves grandes deben tener el apoyo de quitanieves

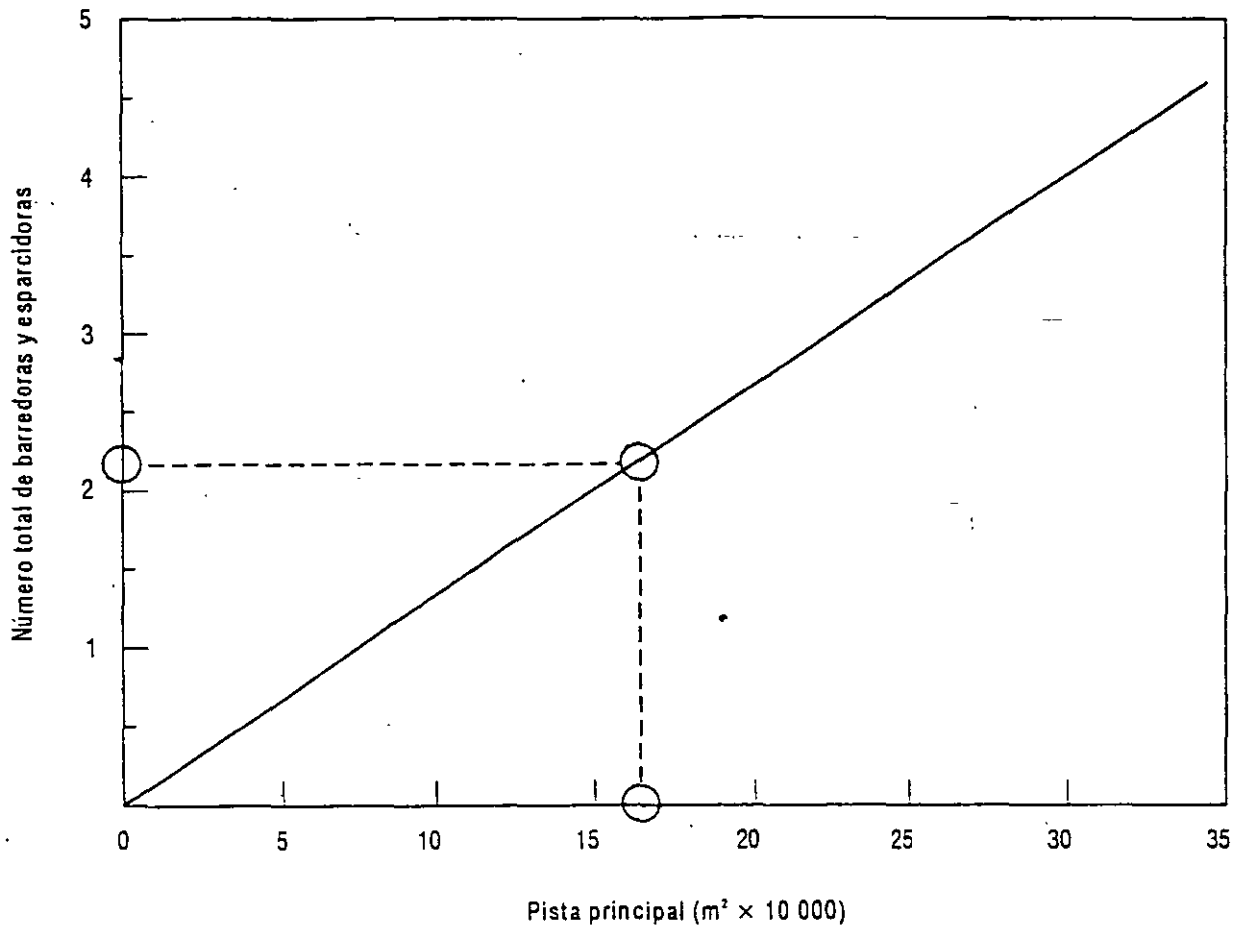


Figura 7-16. Selección de esparcidoras/barredoras

grandes. La clasificación de quitanieves por tamaños establece solamente una gama de longitudes de cuchillas de vertedera para cada tamaño.

7.5.51 El concepto de acoplar quitanieves y lanzanieves se describe en los párrafos siguientes, para asegurar que los quitanieves del equipo no tengan una capacidad inferior a la de los lanzanieves que les acompañan.

7.5.52 En el concepto de trabajo en equipo, se determina en parte la capacidad del lanzanieves en función del tiempo necesario para limpiar la pista y en función del volumen de nieve sobre la misma.

7.5.53 Por lo tanto, el ajuste de las capacidades de los quitanieves y lanzanieves requiere que:

$$N_{\text{quitanieves}} \geq N_{\text{lanzanieves}}, \text{ y}$$

$$N/N = C(L) = \text{capacidad de desplazamiento de los quitanieves}$$

Siendo:

$N$  = velocidad de desplazamiento del arado quitanieves en t/h (varía con la velocidad de la máquina)

$N$  = volumen de nieve original que ha de desplazarse (en toneladas)

$C(L)$  = constante de proporcionalidad para cada tamaño de quitanieves.

7.5.54 Utilizando las relaciones de velocidad de los quitanieves y las anchuras mínimas de arado de dichas máquinas, se han calculado las velocidades necesarias de desplazamiento de los quitanieves y se han representado gráficamente en la Figura 7-17. Utilizando como valores estándar de acumulación de nieve 2.5 cm y de densidad de 400 kg/m<sup>3</sup>, se representa en la Figura 7-17 la capacidad de desplazamiento correspondiente a todos los tamaños de arado en función de las velocidades.



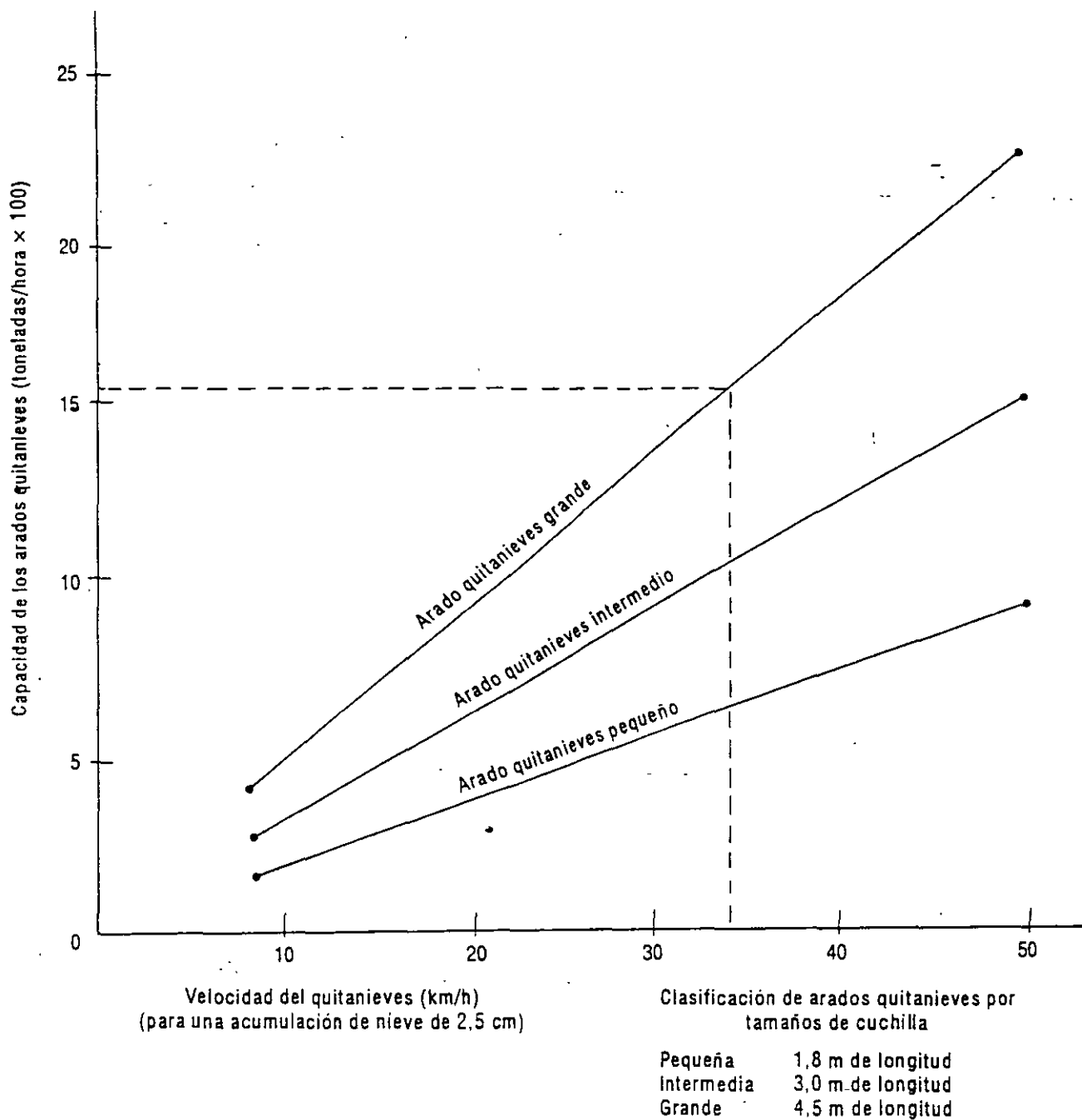


Figura 7-17. Guía para la selección de arados quitanieves

7.5.55 A partir del gráfico de capacidad en función de las velocidades (Figura 7-17), y utilizando un tamaño de arado que corresponda al lanzanieves, debería seleccionarse una velocidad de empuje de la nieve que iguale o supere ligeramente a la velocidad media de operación del lanzanieves que se utilice en el aeropuerto en cuestión. Para ello se aplicará el método siguiente:

- a) en la vertical del valor de la velocidad del quitanieves se busca la línea del gráfico correspondiente al tamaño de quitanieves seleccionado. Desde este punto se traza una horizontal hasta el eje de capacidades en el que se lee la capacidad en toneladas por hora del quitanieves a la velocidad seleccionada;
- b) este valor de toneladas por hora, debería ser igual o superior a la capacidad del lanzanieves previamente seleccionado. Si se utilizan dos o más quitanieves, de conformidad con el concepto de trabajo en equipo, puede reducirse el tamaño de cada quitanieves, siempre que la suma de las capacidades de los quitanieves continúe igual o superior a los valores correspondientes de los lanzanieves.

7.5.56 En el aeropuerto del ejemplo, se requieren dos lanzanieves, uno grande y otro intermedio (total 4 600 t/h). La técnica general de empuje de la nieve, utilizada en este aeropuerto exige solamente un quitanieves en apoyo de cada lanzanieves con un valor, normalmente satisfactorio, de 32 km/h para el empuje a alta velocidad.

7.5.57 Dado que se utiliza un lanzanieves grande, se han seleccionado quitanieves también grandes. Utilizando el valor de 32 km/h como velocidad de empuje, se determina la velocidad de desplazamiento del quitanieves (a partir de la Figura 7-17) que es de 1 600 t/h. Si la velocidad de empuje no fuera igual o superior ligeramente a la capacidad del lanzanieves, podría aumentarse el tamaño de la primera máquina. Puede ser que sean necesarios dos quitanieves, o que se aumente ligeramente la velocidad del quitanieves utilizado. En este caso, es procedente utilizar dos quitanieves por cada lanzanieves, de 2 800 t/h. Según se indicó anteriormente, la clasificación de quitanieves por tamaños no establece longitudes rígidas de cuchilla. Para determinar el aumento de capacidad con cuchillas más largas, será necesario agregar los valores correspondientes a la velocidad de otros tamaños de quitanieves que se aproximen al aumento en la longitud de la cuchilla. Por ejemplo, si se desea utilizar en un aeropuerto un quitanieves más grande, con una longitud de cuchilla de aproximadamente 6 m, y la velocidad de empuje es de 32 km/h, la capacidad de la cuchilla más grande puede determinarse de la forma siguiente:

De la Figura 7-17, se deduce que el quitanieves grande con una cuchilla de 4.5 m desplaza 1 600 t/h a una velocidad de 32 km/h. La capacidad de la cuchilla de 1.8 m de un quitanieves más pequeño a una velocidad de 32 km/h es aproximadamente 550 t/h. Sumando ambos valores se observa que un quitanieves con una cuchilla de 6 m puede desplazar 2 150 t/h a una velocidad de 32 km/h.

7.5.58 El resultado final correspondiente al aeropuerto del ejemplo es el siguiente:

- dos máquinas lanzanieves;
- dos máquinas barrenieves;
- dos esparcidoras de arena;
- tres arados quitanieves; y
- una cargadora frontal.

7.5.59 En el texto anterior se han esbozado las ideas fundamentales para la selección del equipo de remoción de nieve y para la adquisición del parque de vehículos correspondiente, en un aeropuerto característico.

7.5.60 En el Apéndice 3 se proporcionan los detalles de eficacia y los criterios de diseño para el equipo de remoción de nieve en los aeropuertos.

## 7.6 MÉTODOS TÉRMICOS

7.6.1 El control térmico para quitar la nieve no ha tenido hasta la fecha mucho éxito, debido a problemas mecánicos y al elevado coste de su funcionamiento. Sin embargo, el futuro de algunos de los métodos térmicos parece alentador y puede preverse que se apliquen cada vez más estos métodos a las operaciones de los aeropuertos, a medida que el equipo necesario vaya superando las etapas de desarrollo y de prototipo y a medida que disminuyan los costes.

### *Calefacción en los pavimentos*

7.6.2 La calefacción en las superficies del pavimento mediante una red eléctrica instalada en la capa superficial de un pavimento asfáltico o en las capas superiores de la losa en las pistas de hormigón, parece ser el método más prometedor para eliminar acumulaciones de nieve impidiendo que se formen. Los elementos eléctricos se activan al empezar la tormenta, o poco tiempo después, con objeto de mantener la temperatura de la superficie por encima del nivel de congelación. Ya se ha encontrado una solución a los aspectos mecánicos del sistema, pero el elevado coste de la energía eléctrica ha impedido, por el momento, que se adopte a gran escala el método de calentamiento de la superficie del pavimento con elementos eléctricos. Entretanto, continúan las investigaciones de medios para alimentar económicamente este sistema a partir de fuentes tales como la energía nuclear. Las instalaciones que emplean la circulación de líquidos tienen muchos problemas inherentes, y el alto precio exigido por el mantenimiento de las mismas ha coartado hasta la fecha la explotación económica de instalaciones de gran envergadura.

### *Equipo térmico para fundir la nieve*

7.6.3 Hasta la fecha, el empleo del calor para fundir la nieve no ha resultado ventajoso en comparación con los métodos tradicionales de limpieza. Las instalaciones de agua caliente, tanto el modelo móvil como la instalación fija, se han enfrentado frecuentemente a dificultades de orden mecánico, y

el régimen de funcionamiento (calculado en unas 45 t/h por quemador), es relativamente bajo. El coste del combustible es elevado y no es de prever que disminuyan los gastos de instalación mientras no se acepte el sistema a una escala mucho mayor, lo que permitiría reducir los costes de las operaciones. El problema del desagüe de la nieve fundida es otro factor que afecta la aceptación del sistema, especialmente en el caso de las unidades móviles que descargan el agua en los sistemas de drenaje de las calles o del campo, donde puede volver a congelarse antes de llegar a las alcantarillas.

#### *Chorro de aire de reactores y lanzallamas*

7.6.4 En los aeropuertos militares de algunos Estados, se ha aplicado un nuevo método que consiste en el empleo del chorro de gases de los reactores y de lanzallamas para eliminar la nieve. No obstante, este método de fundir la nieve acumulada es extremadamente lento, tiene un consumo sumamente elevado de combustible y pérdidas de calor, y puede dañar el pavimento si no se pone cuidado en la aplicación del calor.

## 7.7 MÉTODOS QUÍMICOS

7.7.1 Se dispone de sustancias químicas, sólidas y líquidas para ser aplicadas al área de movimiento con el fin de remover la nieve y el hielo. Sin embargo, debe procederse con suma cautela puesto que muchas de las sustancias químicas son extremadamente corrosivas para los metales o tienen otros efectos perjudiciales sobre los materiales utilizados en la fabricación de aviones. Puede efectuarse un análisis muy minucioso de todas las sustancias químicas para asegurarse de que no tienen un efecto nocivo en los componentes de los aviones. No está autorizado el uso de cloruros de calcio o de sodio en el área de movimiento.

7.7.2 De ser posible, deben utilizarse las sustancias químicas para impedir la formación de hielo y no para removerlo. Sin embargo, si se utilizan sustancias químicas líquidas como agentes de descongelación (p. ej., aplicando sustancias químicas líquidas a las superficies cubiertas de nieve o de hielo), debe saberse que una sustancia viscosa encima del hielo reduce la eficacia de frenado hasta un nivel peligroso por un período de hasta una hora. Sin embargo, las sustancias químicas sólidas esparcidas sobre superficies de hielo, penetran en el hielo y, aunque requieren un plazo de tiempo muy superior, rompen finalmente la unión del hielo a la superficie de forma que los contaminantes pueden eliminarse al barrerlos. El agua derretida por encima de la nieve puede dar lugar a condiciones de hidropilaje viscoso. Debe recordarse que el agua o las sustancias químicas líquidas por encima del hielo constituyen una de las superficies más resbaladizas que puedan existir a cualquier velocidad, comprendidas las relacionadas con el rodaje.

7.7.3 Debe controlarse y supervisarse cuidadosamente la aplicación de sustancias químicas tanto líquidas como sólidas, para que influyan lo menos posible en el medio ambiente local

y, por consiguiente, para provocar lo menos posible a los grupos defensores del medio ambiente. Son inadmisibles las sustancias tóxicas, las sustancias inaceptables en los sistemas públicos de alcantarillado, las sustancias que constituyan un grave riesgo de incendios o las que por sí mismas disminuyan notablemente la eficacia de frenado.

#### *Urea [ $CO(NH_2)_2$ ] (Diamida sintética del ácido carbónico — producto comercial)*

7.7.4 Este producto ha ganado mucha aceptación por su eficacia tanto anticongelante como descongelante. Ha permitido reducir eficazmente el uso general de arena en los aeropuertos y lo ha sustituido totalmente en los aeropuertos de climas moderados. Hasta la fecha, no se ha puesto de manifiesto que tenga efectos perjudiciales en los componentes de los aviones o en las estructuras aeroportuarias pero preocupan a los ecologistas sus consecuencias en las corrientes de agua.

7.7.5 Normalmente se considera a la urea como un fertilizante de uso agrícola. Contiene un ingrediente activo, el nitrógeno, que constituye aproximadamente el 45% de su masa total. La forma más conveniente es la granular o globular; las partículas son esféricas y de tamaño relativamente uniforme, comprendido entre los tamaños Núms. 8 y 20 del tamiz Tyler. A veces se recubren los granos con una minúscula cantidad de arcilla para evitar que se aglomeren y se peguen.

7.7.6 Se usa este producto como descongelante para fundir las formaciones de hielo o como anticongelante para impedir o retardar la formación de hielo. Surte efecto hasta temperaturas ambiente de  $-9.5^{\circ}C$ . Si bien la urea posee características descongelantes, se considera esencialmente como anticongelante. Es sumamente eficaz cuando el pavimento está mojado y cuando se prevé que la temperatura descenderá por debajo del punto de congelación o, si se ha previsto lluvia, cuando el pavimento se encuentra a una temperatura inferior al punto de congelación. La acción de la urea, al rebajar el punto de congelación del agua, da tiempo para limpiar el agua con barredoras, para impedir la formación de hielo en el pavimento. Cuando se emplea como descongelante, debería limpiarse primeramente la superficie por los medios convencionales, para retirar el máximo de nieve o de hielo que sea posible. Para facilitar la limpieza del hielo con la utilización de la urea, la temperatura ambiente no debería exceder de  $-3^{\circ}C$ . Si después de la aplicación de la urea se presentan condiciones de temperatura extremadamente baja, la superficie puede adquirir una consistencia pastosa; se hace entonces necesario limpiarla inmediatamente. Cuando se utiliza como anticongelante, debería bastar una dispersión de  $20\text{ g/m}^2$ . La aplicación debería cubrir una anchura de 22.5 m solamente, dispuesta simétricamente a un lado y al otro del eje de la pista. Esta proporción equivale a 135 kg aproximadamente por cada 300 m lineales.

7.7.7 Para facilitar la limpieza del hielo, la temperatura debería ser superior a  $-3^{\circ}C$  y la proporción de urea varía según la temperatura de la superficie y el espesor de la capa de hielo. La eficacia de la urea depende de su porcentaje de

dilución. La urea tiene un efecto residual que se prolonga durante varios días.

7.7.8 La densidad de la urea es de  $0.72 \text{ kg/dm}^3$ , es decir, aproximadamente la mitad de la de la arena. El viento puede desplazarla y actualmente se aplica habitualmente el método de mojar previamente el pavimento o mojar los granitos de urea con agua o con un líquido descongelador (agua o esparcidor) antes de aplicarla con un vehículo especial. (véase 7.5.15).

7.7.9 Cuando es necesario enarenar la superficie, se ha comprobado que una aplicación de urea poco antes de proceder a la operación de enarenado, aumenta la adhesión y

produce un coeficiente de rozamiento superior, lo cual facilita la limpieza subsiguiente del hielo. El hecho de que se disponga de urea para facilitar la eliminación del hielo en la superficie del pavimento no implica, en modo alguno, que se apliquen con menos rigor las normas más estrictas en materia de técnicas de remoción de nieve. La experiencia en cuanto al uso de la urea ha de determinar las condiciones en las que su aplicación resulte más eficaz.

7.7.10 Los fabricantes empaquetan la urea en sacos impermeables de diversos tamaños o la proporcionan a granel para almacenarla en grandes tolvas superiores (véase la Figura 7-18) o en áreas de almacenamiento a granel con paredes de madera. Aunque por sí misma la urea no es

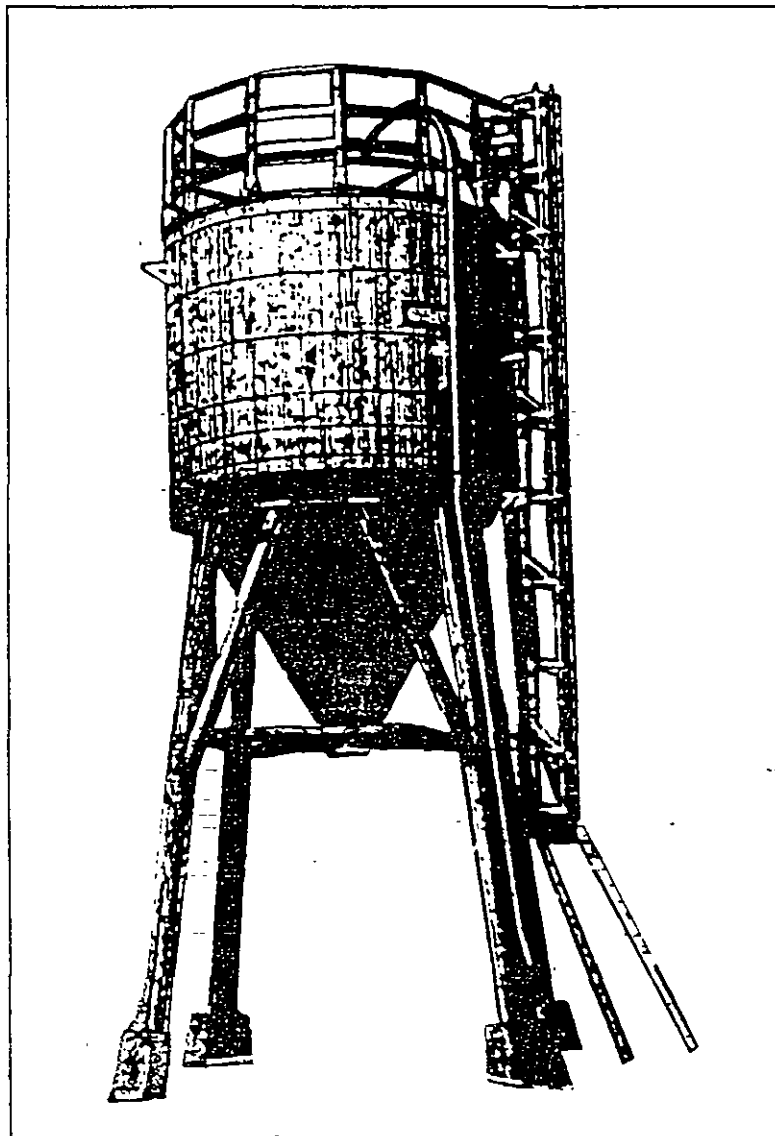


Figura 7-18. Depósito de urea

corrosiva, es hidrosfópica y la humedad que atrae puede corroer las superficies metálicas del área de almacenamiento, los accesorios para iluminación, etc.

7.7.11 Cuando la temperatura de la superficie del pavimento es superior a 0°C, no tiene evidentemente objeto aplicar la urea. Será, por consiguiente, necesario obtener la temperatura del pavimento. Ello puede hacerse colocando un termómetro en el pavimento durante algunos minutos. El termómetro debería estar cubierto o protegido para que no lo afecte la temperatura del aire ambiente o el calor del sol. El termómetro debe tener un ángulo de inclinación que permita que el bulbo de mercurio esté en contacto con el pavimento. Las lecturas de la temperatura del pavimento deberían tomarse regularmente y registrarse en un gráfico para obtener con rapidez esta información. La temperatura debería tomarse sobre pavimentos de hormigón que hayan sido limpiados previamente (véanse 7.5.18 a 7.5.21).

#### *Otros productos químicos líquidos, anticongelantes y descongelantes*

7.7.12 Actualmente se están elaborando y ensayando una serie de sustancias químicas líquidas que pueden ser económicas y eficaces para conseguir la acción anticongelante y descongelante fuera de la gama de temperaturas en la que la urea resulta eficaz. La mayor parte de estas sustancias no son perjudiciales para los componentes de aviones ni para las estructuras del aeropuerto y son capaces de fundir el hielo. Al aplicarlas a la superficie desnuda del pavimento en la fase de antihielo, algunas sustancias químicas líquidas pueden provocar una pérdida de tracción que es función de la viscosidad de las sustancias químicas y de su temperatura. También pueden provocar una pérdida inicial de la tracción si se utilizan en la fase de descongelamiento, combinadas con una película de agua fundente que se forma en la superficie del hielo. Constituyen una preocupación para los ecologistas si se aplican en grandes cantidades.

7.7.13 Las sustancias abrasivas (arena u otros agregados) pueden esparcirse por encima del hielo para aumentar la tracción y controlar el resbalamiento. En algunos lugares, la arena puede ser de un coste inferior al de las sustancias químicas descongelantes y tiene además la ventaja de ser eficaz a temperaturas muy bajas. Por ejemplo, la urea pierde mucho de su eficacia fundidora a temperaturas por debajo de -6°C. Además, la arena, aunque requiera una limpieza ulterior no deja restos que puedan contaminar el abastecimiento de agua. Debe seleccionarse cuidadosamente la sustancia abrasiva y debe aplicarse adecuadamente. Debe saberse que cantidades, incluso muy pequeñas, de arena muy fina pueden causar algún grado de erosión en los álabes de los motores de turbina; por lo tanto, la aplicación de arena sólo debe utilizarse después de consultar a los explotadores de aeronaves. Los materiales de grano demasiado fino (generalmente que pasen por un tamiz de 0.297 mm) no proporcionan suficiente eficacia de frenado y serán fácilmente desplazados por el viento y por el chorro de los motores de los aviones. La arena de grano demasiado

grueso (que no pase por un tamiz de 4.75 mm) causará daños internos a los motores de reacción o picará las hélices al ser arrojada por lavado o por chorro.

7.7.14 Sería ideal que el grano de arena, o de agregados, utilizado fuera de una gradación esté comprendida entre los tamaños de tamiz anteriormente mencionados. Debería tener superficies angulares, ser de una dureza suficiente para resistir la fuerza de aplaste de las cargas de los aviones pero no ser tan duros como para dañar los motores y las hélices. Se proponen las siguientes especificaciones.

Los agregados minerales utilizados estarán formados por partículas angulares de material lavado y seco, libre de piedrecitas, de arcilla, de detritos, de materia orgánica, de sales de cloruro y de otros materiales corrosivos, cuya estructura física no se vea afectada por el agua o por los elementos. El valor pH de los materiales en una solución de agua debería ser aproximadamente neutral. Los materiales deberían satisfacer las siguientes condiciones de gradación:

Tamaño del tamiz (mm)	Porcentaje que pasa por el tamiz (en unidades de masa)
4.75	100
2.36	97-100
1.18	30-60
0.30	0-10
0.18	0-2

7.7.15 El uso de arenas disponibles en la localidad disminuye considerablemente los costes y por lo tanto, deben prepararse las especificaciones relativas a la adquisición de estos materiales, después de que se haya experimentado con los de origen local y se haya obtenido experiencia con ellos. Las condiciones de gradación en las especificaciones propuestas pueden adaptarse, de algún modo, a los materiales de la localidad que la experiencia haya demostrado que son satisfactorios.

7.7.16 La eficacia del esparcimiento de arena puede aumentar, y al mismo tiempo reducirse el peligro de absorción de los motores, si la arena se incrusta en la superficie del hielo. El momento en el que la arena puede esparcirse con más eficacia es cuando está caliente y seca puesto que el calor que retienen ayuda a incrustar la arena en el hielo. Un método para incrustar la arena, aunque difícil de aplicar, consiste en calentarla después de que se ha esparcido, mediante quemadores de hierba u otras fuentes de llama abierta. Otro método consiste en aplicar sustancias químicas líquidas antihielo/descongelantes diluidas al 1:1, a un régimen de 10 L/900 m<sup>2</sup> para suavizar la superficie de hielo antes de esparcir la arena.

7.7.17 El régimen de aplicación de la arena es en general aproximadamente de 0.5 kg por m<sup>2</sup>. Pueden ser necesarios regímenes de aplicación más elevados, especialmente si se dispone de equipo que no proporciona una cobertura uniforme. Frecuentemente se requieren regímenes más elevados de aplicación media, con equipo más antiguo para asegurar que

Las partes de la configuración de distribución reciben una cobertura de arena adecuada. Se recomienda utilizar un área de prueba para determinar el régimen óptimo de aplicación de arena que lleve a una textura deseada de la superficie.

7.7.18 Los montones pequeños de arena que se acumulan cuando el vehículo esparcidor se detiene momentáneamente son peligrosos para las operaciones de los aviones y deberían retirarse antes de dar la autorización para que los aviones utilicen la superficie tratada. La arena debe retirarse tan pronto como se funde el hielo y se evapora el agua, para reducir al mínimo la absorción de los motores y su desplazamiento por el chorro de los motores.

7.7.19 Es preciso tener cuidado al almacenar la arena u otros agregados puesto que la humedad puede llevar a la formación de grandes piezas de hielo no fácilmente manejables que podrían causar daños serios a los motores.

### 7.8 MATERIALES PARA LIMPIAR EL HIELO DE ÁREAS DISTINTAS A LAS DE MOVIMIENTO

*Cloruro de sodio (sal de roca)*

7.8.1 Este producto puede utilizarse para fundir el hielo de las vías de circulación y de las aceras, dispersándolo moderadamente a mano o con un vehículo esparcidor. Surte efecto hasta temperaturas de unos  $-12^{\circ}\text{C}$  pero es sumamente

corrosivo para los metales y ataca al hormigón de cemento portland y a la vegetación. No debería utilizarse en el área de movimiento ni en las cercanías de la misma.

*Cloruro de calcio*

7.8.2 Esta sustancia puede utilizarse para fundir la nieve y el hielo. Sus efectos son muy similares a los de la sal, salvo que surte efecto hasta unos  $-18^{\circ}\text{C}$  y es más corrosiva aún que el cloruro de sodio. Se esparce en la misma forma que este material. Las dos sales pueden mezclarse con un material abrasivo para aumentar la eficacia antideslizante en las superficies heladas y rebajar el punto de fusión de la nieve o del hielo. Se aplican al cloruro de calcio las mismas limitaciones que desaconsejan su utilización en las cercanías del área de movimiento. Se pueden aplicar a las superficies máquinas barredoras con cepillos de alambre de acero, para ayudar a dispersar el agua resultante de la fusión de la nieve o del hielo.

### 7.9 LIMPIEZA DE LA NIEVE FUNDENTE

Para que resulte eficaz la operación de limpieza de la nieve fundente, es esencial establecer una estrecha colaboración entre los explotadores, las dependencias ATS y las autoridades aeroportuarias. Para la limpieza de la nieve fundente deberían adoptarse procedimientos similares a los indicados en la sección anterior con respecto a las operaciones de limpieza de nieve.

## Capítulo 8

# Eliminación de residuos de caucho

### 8.1 GENERALIDADES

8.1.1 Los residuos de caucho, depositados en la zona de toma de contacto por los neumáticos de los aviones que aterrizan, obliteran las señales de pista y, cuando están mojados, forman un área sumamente resbaladiza en la superficie. La tecnología actual aplica los siguientes métodos para su eliminación:

- a) disolventes químicos;
- b) chorro de agua a alta presión;
- c) disolventes químicos y chorro de agua a alta presión; y
- d) aire comprimido caliente.

8.1.2 Al evaluar la eficacia de un sistema de eliminación de residuos de caucho, debe entenderse claramente cuál es su objetivo. Dicho objetivo consiste en restaurar en la superficie de la pista un coeficiente de rozamiento en condiciones húmedas, que facilite las operaciones seguras de todos los aviones. El cambio de color de la superficie, por ejemplo, de blanco a gris en el hormigón de cemento portland, puede inducir a graves errores, porque incluso una pequeña cantidad de residuos de caucho en los poros del pavimento puede producir bajos valores del coeficiente de rozamiento, aunque la superficie se vea limpia. Por consiguiente, es esencial medir el grado de mejora del rozamiento por medio de un dispositivo fiable de medición del rozamiento.

8.1.3 Generalmente, el chorro de agua a alta presión es bastante eficaz en áreas ligeramente contaminadas, pero su eficacia disminuye según aumenta el espesor de los contaminantes. Este tipo de limpieza puede requerirse dos veces al año, dependiendo del tipo y del volumen de tránsito. Una práctica moderna consiste en disolver los residuos de caucho con disolventes químicos, acción a la que sigue un lavado a fondo con agua a alta presión.

8.1.4 A fin de determinar la cantidad de caucho que es necesario eliminar del pavimento para proporcionar una superficie en condiciones aceptables, se recomienda emplear un área de ensayo para determinar previamente la presión del agua y la velocidad de recorrido requerida a fin de producir una superficie aceptable. Se ha observado que la productividad del chorro de agua a alta presión en condiciones normales de trabajo es de 278 m<sup>2</sup> por hora y por equipo. El llenado de un

tanque de agua normal lleva dos horas aproximadamente en cada turno de ocho horas. Por consiguiente, una zona de toma de contacto de 900 × 24 m necesitaría aproximadamente 100 horas de trabajo por equipo.

8.1.5 Puede utilizarse la técnica de aire comprimido caliente, tanto en pistas de pavimento de hormigón de cemento portland como en las de hormigón asfáltico. Esta técnica se vale de gases a temperatura elevada para quemar los residuos de caucho que dejan los neumáticos de los aviones. Se ha sostenido que, toda vez que no tiene lugar ninguna acción mecánica sobre la superficie de la pista, no hay mayor riesgo de que el material de pavimentación se desprenda y dé lugar a una absorción de cuerpos extraños por los motores.

### 8.2 REMOCIÓN POR MEDIOS QUÍMICOS

8.2.1 Los disolventes químicos se han utilizado con éxito para quitar depósitos de caucho de las pistas de cemento portland y de hormigón asfáltico. Algunos de estos productos químicos tienen una base de ácido cresílico (derivado de la creosota) y una mezcla de benceno, con un detergente sintético como agente humectante para la remoción del caucho depositado en las pistas de hormigón. Para las pistas de asfalto se utilizan productos químicos alcalinos.

8.2.2 La naturaleza volátil y tóxica de los compuestos utilizados para la limpieza obliga a emplear un CUIDADO EXTREMO durante la aplicación y después de la misma. Si se permite que el producto químico permanezca depositado sobre la pista durante un tiempo demasiado largo, pueden producirse daños en la pintura y posiblemente también en la superficie del pavimento. Cuando se lava la superficie del pavimento con una descarga de agua para quitar los productos químicos, éstos deben quedar tan diluidos que no puedan dañar la vegetación circundante o el sistema de drenaje, ni contaminar los arroyos cercanos o afectar a la fauna.

8.2.3 Dado que el proceso de aplicación consiste en regar la solución química sobre el área contaminada y esperar un lapso de una hora antes de limpiar con agua y barrer, es posible que para tratar una zona de toma de contacto de 900 × 24 m. pueda necesitarse un turno de ocho horas. Según se mencionó anteriormente, un método moderno para la remoción de los residuos de caucho de la superficie del

pavimento consiste en aplicar disolventes químicos y después hacer una limpieza a fondo con agua a alta presión.

### 8.3 REMOCIÓN POR MEDIOS MECÁNICOS

8.3.1 *Limpieza con chorro de agua a alta presión.* El equipo varía desde una simple boquilla (o pistola) de manejo manual, con una bomba y un tanque de agua, hasta un complicado semirremolque autopropulsado, con bomba, tanque de agua de 22 700 L de capacidad y chorro oscilante de agua a alta presión (véase la Figura 8-1). En general, se aplican presiones entre 350 y 700 kg/cm<sup>2</sup>.

8.3.2 *Limpieza con aire comprimido caliente.* La máquina alimenta una mezcla de aire y de gas a una cámara de combustión donde tiene lugar ésta. El chorro de escape resultante sale despedido a unos 400 m/s de los orificios, a una temperatura aproximada de 1 200°C, directamente sobre la superficie. Estos gases ablandan y desprenden los residuos de caucho. Como resultado de la utilización de esta máquina se deposita, en la superficie de hormigón, una pequeña cantidad de carbono, que puede quitarse con una sencilla barredora montada en un tractor o camión, del tipo disponible en la mayoría de los aeropuertos; en el caso de las superficies de hormigón asfáltico el efecto correspondiente es una superficie ligeramente remozada del asfalto que, al parecer, resulta conveniente.

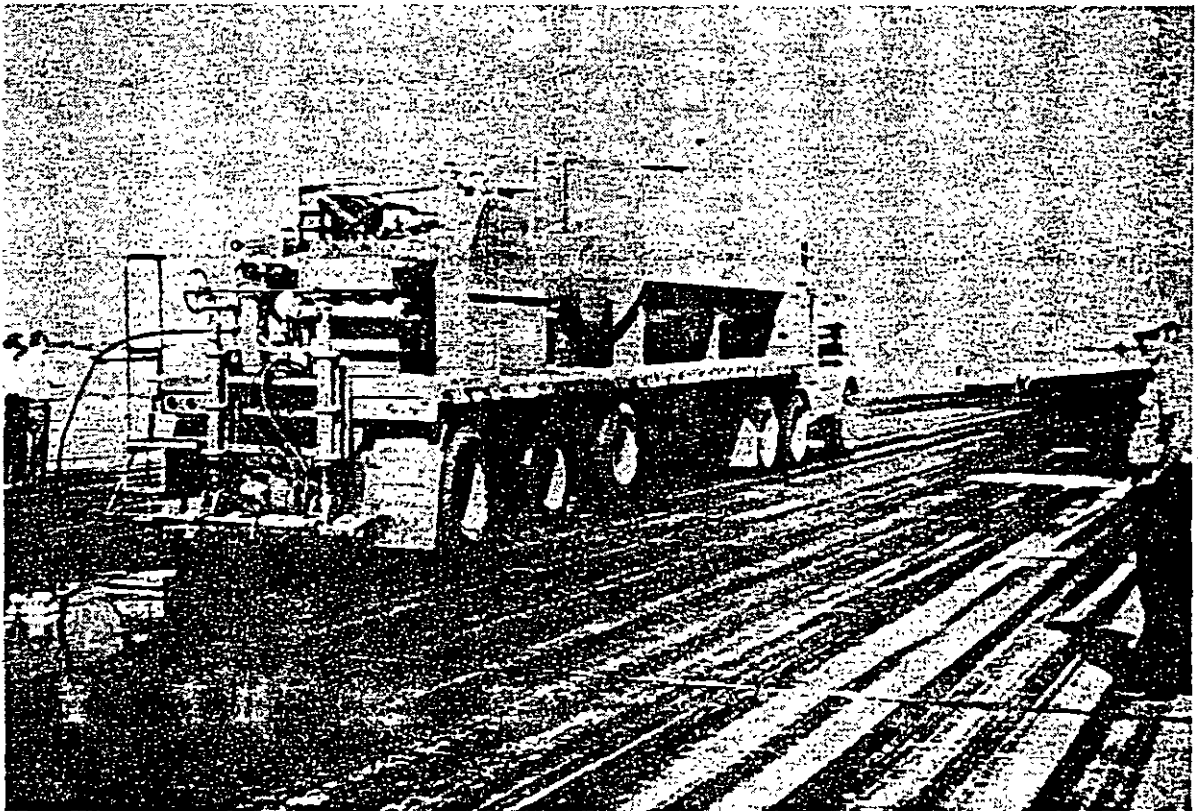


Figura 8-1. Vehículo de chorro de agua oscilante a alta presión



## Capítulo 9

# Eliminación de los residuos de aceite y de grasa

### 9.1 GENERALIDADES

9.1.1 Los depósitos de estas materias pueden absorberse con trapos, serrín, arena, etc., y fregarse luego con un detergente utilizando una barredora mecánica de cepillo cilíndrico giratorio. Las áreas de asfalto impregnadas con aceite probablemente requerirán que se eliminen las partes deterioradas del pavimento para poder reparar o revestir satisfactoriamente la superficie.

9.1.2 Las áreas impregnadas de aceite, o manchadas del mismo, sobre la superficie de hormigón, se lavan para quitar las materias incrustadas empleando un compuesto detergente de metasilicato de sodio y jabón resinoso, aplicado con agua y barrido con una barredora mecánica. Los residuos de sustancias perjudiciales sueltos se barren con agua. Para los pavimentos de hormigón asfáltico se emplea una materia absorbente o secante, por ejemplo, serrín o arena en combinación con un desengrasador alcalino en polvo.

# Capítulo 10

## Eliminación de detritos

### 10.1 GENERALIDADES

10.1.1 En las disposiciones vigentes del Anexo 14, Volumen I, se requiere que las superficies de las plataformas, calles de rodaje y pistas se mantengan despejadas de detritos u otros objetos que puedan ocasionar daños a los aviones o a los motores o hacer imposible el funcionamiento de los sistemas del avión. Los motores de turbina son sumamente susceptibles a los daños como consecuencia de la absorción de objetos extraños. Son también vulnerables otros componentes de los aviones, y los explotadores siguen notificando incidentes de hélices fracturadas por piedras u otras materias sueltas lanzadas o despedidas por los torbellinos de las hélices, los chorros de los reactores o incluso las propias ruedas.

10.1.2 Aunque el daño a los aviones se asocia a la absorción de los motores, también constituyen un aspecto importante del problema general los considerables daños a los neumáticos. Los cortes o reventones resultantes del contacto con objetos afilados, juntas no tratadas o bordes del pavimento en mal estado, son los elementos causantes de la duración reducida de los neumáticos, y a causa de ello los neumáticos de los aviones han de desecharse prematuramente. Preocupa particularmente el caso de reventones de neumáticos durante el despegue, dado que los neumáticos vecinos están en riesgo inminente de falla, a causa de su sobrecarga, con lo que se influye críticamente en la posibilidad de interrupción del despegue.

10.1.3 Los detritos constituyen un posible riesgo para la seguridad de las operaciones y a causa de ello, en el pasado, ha habido casos en que los aviones han tenido que interrumpir despegues o ejecutar aterrizajes de emergencia. Aparte del aspecto de seguridad, la sustitución imprevista de piezas averiadas impone a los explotadores gastos importantes.

10.1.4 Con la introducción de los nuevos tipos de aeronaves, con sus motores instalados más cerca del suelo, se ha agravado el problema. Por lo tanto, la limpieza de toda la superficie del aeropuerto debería ser objeto de constante preocupación y atención por parte de las autoridades del aeropuerto.

10.1.5 Basándose en la experiencia adquirida en las operaciones, no deberían perderse de vista algunos de los aspectos siguientes en la elaboración de un programa adecuado que tenga por objeto conseguir y mantener el grado necesario de limpieza de las áreas en cuestión.

10.1.6 La experiencia adquirida con los aviones de motores de turbina pone de relieve que una de las medidas más eficaces para reducir al mínimo el problema que plantean los citados residuos perjudiciales, es la inspección y barrido frecuentes de las áreas de maniobra, e incluso la utilización de equipo de barrido con dispositivos magnéticos. En los casos en que los aviones operan en una extensa red de rutas, resulta a veces difícil señalar con precisión el lugar donde ha ocurrido el daño, pero hay menos probabilidad de que se sospeche o de que se haga responsable de ello a los aeropuertos en que se sabe que se practica regularmente la inspección y el barrido.

10.1.7 Las inspecciones regulares efectuadas por un funcionario del aeropuerto, acompañado de un representante designado de los explotadores, constituye ya un procedimiento aceptado en muchos aeropuertos, y esto puede constituir la base de los informes regulares de inspección de aeropuerto que atestigüen la eficacia del programa de limpieza. Los arreglos para tales inspecciones conjuntas (que deberían permitir el acceso a todas las áreas de operaciones, incluso pistas y calles de rodaje, así como al área inmediata a la plataforma), y la preparación de un formulario de notificación apropiado, pueden llevarse a cabo en consulta con un representante de los explotadores. En un Estado se ha utilizado este medio para establecer un programa de prioridades y de frecuencia de barrido, que comprende un análisis de los detritos para determinar su origen. De este modo, pueden determinarse las áreas en que sea más probable que existan e incrementar las operaciones de barrido de las mismas. Cuando pueda determinarse el origen de los detritos, también pueden tomarse medidas correctoras con respecto a los causantes. En relación con este programa, se utiliza también un plano del área pavimentada, en el que ésta se subdivide en cuadrículas de dimensiones adecuadas, 20 m x 20 m, para facilitar con precisión la ubicación de los detritos encontrados.

10.1.8 Una posible causa de la existencia de detritos, especialmente en las plataformas, la constituyen, evidentemente, las actividades de los propios explotadores como consecuencia del manejo y mantenimiento de sus aviones. El personal de las empresas de transporte aéreo recibe instrucciones y se les recuerda periódicamente la necesidad de limpiar las plataformas, pero las autoridades de los aeropuertos pueden también ayudar a este respecto asegurándose de que se facilitan en cantidad suficiente, y se utilizan, recipientes adecuados, con tapas para basuras y otros desperdicios. Deberían también estar provistos de tales recipientes todos los vehículos que se utilicen con carácter ordinario en el área de maniobras, quienquiera que sea su propietario.

10.1.9 Otros usuarios de las plataformas, tales como los proveedores de víveres de los aviones, suministradores de combustibles, agentes expedidores y de manejo de la carga, no se hallan sometidos a la supervisión directa de los explotadores. Las autoridades del aeropuerto deberían verificar que los que intervienen en el suministro de tales servicios también toman medidas para instruir debidamente a su personal respecto a la eliminación de basuras y de otros desechos. La utilización generalizada de sacos y hojas de polietileno por parte de los servicios de provisiones y de mantenimiento de los aviones, y para protección temporal de mercancías o componentes contra la intemperie, aumentan considerablemente la posibilidad de absorción por los motores de este tipo de materiales. Como consecuencia directa de ello han ocurrido averías. La arena utilizada para limpiar en las plataformas los derrames de combustible y aceite es también otra posible causa de daños a los motores de turbina y a las hélices, y debería retirarse actualmente e inmediatamente después de ser utilizada.

10.1.10 Las áreas de carga, debido a la propia naturaleza de las operaciones en ellas efectuadas, son especialmente susceptibles a que se depositen en ellas clavos, papel y madera, que puedan haberse desprendido de jaulas de embalaje o de otros envases durante la manipulación de mercancías. Otro equipo que se ha encontrado en las áreas de carga son unillas desprendidas de las redes de sujeción de mercancías, tensores sueltos y grandes hojas de polietileno. Según el grado en que los agentes expedidores actúen en estas áreas, las autoridades del aeropuerto deberían exigirles que asuman la parte de la responsabilidad que les corresponde para mantenerlas en buenas condiciones. En los casos en que se lleven a cabo frecuentemente actividades de noche, es necesario disponer de buena iluminación para que estas áreas puedan mantenerse limpias.

10.1.11 En las calles de rodaje, áreas de desviación y apartaderos de espera, y en las propias pistas, la presencia de piedras y otros detritos, como consecuencia de la erosión de áreas adyacentes, puede constituir un problema, y en el *Manual de diseño de aeródromos*, Parte 2, se presenta orientación sobre medidas preventivas, incluso sobre el acabado con una capa cohesiva de los márgenes laterales de pistas y de calles de rodaje. La necesidad de este acabado ha adquirido más importancia como consecuencia de la puesta en servicio de aviones de reacción grandes, con mucha distancia de voladizo de los motores. Hasta que se traten adecuadamente con una capa cohesiva los márgenes laterales de pistas y de calles de rodaje, es preciso tener cuidado para asegurarse de que la vegetación y el césped no constituyen un problema de absorción para los motores en voladizo. Además, las áreas inmediatamente adyacentes a las superficies pavimentadas y a las tratadas con una capa cohesiva, deberían también ser objeto de inspección y atención regular para asegurarse de que no existen materias sueltas que puedan posteriormente desplazarse a otras áreas críticas.

10.1.12 Otra posibilidad es el deterioro de la propia superficie de rodadura, que da por resultado la presencia de arena suelta, fragmentos de hormigón y de asfalto, y si las

juntas de hormigón no se han llenado adecuadamente, constituyen puntos excelentes para atrapar detritos. Deberían llenarse tales juntas para poder efectuarse un barrido eficaz. También hay indicios de que el keroseno que se derrama en las calles de rodaje y pistas de asfalto, por los respiraderos de los depósitos de combustible de los aviones en movimiento, puede dar lugar al deterioro de la superficie y a problemas de absorción de los motores. Estas áreas deberían inspeccionarse frecuentemente y repararse pronto, siempre que sea necesario, para evitar daños mayores al pavimento.

10.1.13 La arena y los materiales arenosos que se emplean en las superficies heladas de las pistas para mejorar la eficacia del frenado forman un tipo de desechos, que debería eliminarse tan pronto como sea posible después de que dejen de ser necesarios. Igualmente, la nieve fundente que contiene arena, materiales arenosos y pedazos de hielo es un tipo de materia que debería eliminarse del pavimento lo antes posible.

10.1.14 Cuando se estén llevando a cabo trabajos de construcción en los aeródromos, las autoridades deberían, de ser posible, prohibir que los vehículos de los contratistas utilicen las áreas de maniobras, o por lo menos reducir al mínimo su utilización, haciendo que circulen por vías de paso señaladas, especialmente cuando dichos vehículos se dediquen al transporte de materiales que con frecuencia se derraman, tales como desechos de construcción, grava y material de relleno. La tierra y piedras que se adhieren a las ruedas de tales vehículos también pueden desprenderse y crear subsiguientemente un peligro para los aviones que utilicen las mismas áreas. Cuando se lleve a cabo la construcción de edificios en las cercanías de las áreas de maniobras, es importante que se prevea alguna forma de protección, para impedir que los vientos fuertes o los chorros de los reactores lancen arena y piedras de pequeñas dimensiones hacia el área de maniobras. Después de completarse las obras, el contratista debe quitar todos los escombros de las áreas circundantes y no dejar montones de basura, cascotes, etc., en la superficie del aeródromo.

## 10.2 EQUIPO PARA LA REMOCIÓN DE DETRITOS

10.2.1 Las autoridades de los aeropuertos de las distintas partes del mundo han desarrollado diferentes métodos para proporcionar pavimentos limpios en los aeropuertos. Generalmente, la eliminación de detritos se efectúa utilizando unidades mecánicas que operan sobre los pavimentos que deben limpiarse, tales como escobas rotativas mecánicas y aspiradoras o barredoras de aire comprimido.

10.2.2 *Remolque con escoba magnética.* Este elemento es un vehículo de dos ruedas que se remolca en las pistas para recoger por medios magnéticos los objetos metálicos sueltos que se encuentran en la superficie. Una serie de imanes permanentes está montada en una barra en la que se han fijado segmentos de cepillos. Se hace descender la barra a la posición

que permite a los cepillos barrer el suelo y los imanes atraen los objetos metálicos, retirándolos de la superficie del pavimento. Parecería, sin embargo, que las barredoras mecánicas son más eficaces para retirar estos objetos de la superficie.

10.2.3 Las barredoras mecánicas deberían tener características tales que con cada pasada de la unidad, a la velocidad requerida, se recoja el máximo posible de detritos. Por ejemplo, se ha logrado recoger en una sola pasada, a velocidades de más de 16 km/h, el 98% de la arena fina dispersa sobre las superficies de la pista. Para los materiales metálicos pequeños, de origen ferroso, los remolques magnéticos pueden alcanzar una eficiencia de un 100% en una pasada a la velocidad requerida. Es conveniente que las unidades mecánicas de recogida de detritos que deben trabajar sobre las secciones "activas" del área de movimiento, tengan la capacidad de operar a alta velocidad, a fin de causar el mínimo de interferencia en las operaciones de los aviones. Algunas unidades barredoras modernas montadas en camiones pueden barrer a velocidades hasta de 40 km/h. Sin embargo, una característica general de las unidades mecánicas es que su eficiencia de recogida decrece de manera significativa al aumentar su velocidad.

### 10.3 PRUEBAS DE BARREDORAS

10.3.1 Las barredoras deberían pasar regularmente una prueba de rendimiento. A continuación se presenta una descripción de las prácticas de un Estado en relación con esta prueba:

- a) Se elige un área plana de hormigón asfáltico liso y se marca una sección de 6 m x 2 m sobre la superficie.
- b) Se prepara una mezcla de 0.45 kg compuesta de partes iguales de cada uno de los materiales (secos) especificados como gravilla media/fina, arena gruesa y arena media/fina.

- 1) *Gravilla media/fina* — el grueso de este material es tal que el 100% del mismo deberá pasar por un tamiz de 9.5 mm, y no más del 2% debe pasar por un tamiz de 2.4 mm.
  - 2) *Arena gruesa* — el grueso de este material es tal que el 100% del mismo deberá pasar por un tamiz de 2.4 mm y ninguna partícula pasará por un tamiz de 0.6 mm.
  - 3) *Arena media/fina* — el grueso de este material es tal que el 100% del mismo deberá pasar por un tamiz de 0.6 mm y ninguna partícula pasará por un tamiz de 0.3 mm.
- c) Se obtienen ocho piedras de forma esférica de 50 mm de diámetro y los siguientes objetos: un clavo de 6 cm, una bola de acero de 12 mm de diámetro, un cuadrado de 50 mm de aluminio de un espesor de 1.2 mm, y una tuerca de 12 mm.
  - d) Se esparce la mezcla de gravilla media/fina, arena gruesa y arena media/fina de modo uniforme sobre el área de prueba. A lo largo de una diagonal del área de prueba se colocan las ocho piedras espaciadas uniformemente y a lo largo de la otra diagonal se colocan el clavo, la bola de acero, el cuadrado de aluminio y el tornillo, colocados también de modo equidistante.
  - e) La barredora deberá funcionar normalmente y al pasar sobre el área preparada para la prueba, a una velocidad de 16 km/h, deberá recoger y retener el 98% de la arena y la gravilla y el 100% de las piedras y los objetos diversos.

10.3.2 En el caso de que la barredora falle la prueba de rendimiento, deben tomarse medidas para restaurar dicha barredora a un nivel aceptable de actuación operacional. La frecuencia de las pruebas de las barredoras dependerá mayormente de la utilización de la unidad. Comúnmente dichas pruebas se efectúan una vez por semana.

# Apéndice 1

## Método para determinar el nivel mínimo de rozamiento

1. Tradicionalmente, la expresión "nivel mínimo de rozamiento" (MFL) se relaciona con el criterio de asegurar la operación segura de los aviones en pistas mojadas. En el método descrito en esta parte se intenta resolver de forma razonable el problema de determinar el MFL estableciéndose la equivalencia entre el "MFL" en pista mojada y la eficacia de aterrizaje del avión en condiciones mojadas definida por la Administración Federal de Aviación (FAA) en una longitud mojada del campo de aterrizaje.

2. La longitud del campo de aterrizaje para condiciones secas, en el caso de un avión, se determina durante los ensayos de frenado para la certificación que se llevan a cabo en superficies secas de la pista según lo indicado en la Figura A1-1. Para operaciones en pistas mojadas, la longitud del campo de aterrizaje aumenta en un 15%. De esta forma, puede observarse que los tres tramos de la distancia de aterrizaje para condiciones secas de la certificación de aviones — distancia en el aire, distancia de transición y distancia de frenado — se multiplican por los dos factores  $1.667 \times 1.15 = 1.92$  para obtener la longitud del campo de aterrizaje del avión en condiciones mojadas. En realidad, el reglamento federal de

aviación (FAR) permite que el coeficiente de rozamiento para frenado en pista mojada correspondiente al avión disminuya aproximadamente en la mitad del coeficiente de rozamiento para frenado en pista seca, es decir, una relación de 1.92 de la distancia de parada al frenar, pasando de condiciones mojadas a condiciones secas.

3. En la Figura A1-2 se indica la variación de la relación de distancias de detención al frenar, de pista mojada a pista seca, con un coeficiente promedio para el rozamiento al frenar en pista mojada, respecto a aviones de transporte de reacción ordinarios de fuselaje estrecho y dos motores y a aviones de transporte de reacción de fuselaje ancho y tres motores. Las curvas de la Figura A1-2 indican que la aplicación de la mitad del MU-EFF en pista seca lleva a una relación de la distancia de detención al frenar, de pista mojada a pista seca (SDR) igual a 1.68 para aviones de transporte de reacción de dos motores e igual a 1.77 para aviones de transporte de reacción de tres motores. Debe señalarse que estas relaciones SDR son inferiores al valor de 1.92, debido al influjo de la resistencia aerodinámica, al avance del avión y al influjo de la resistencia de rodadura de los neumáticos, así como al frenado de las

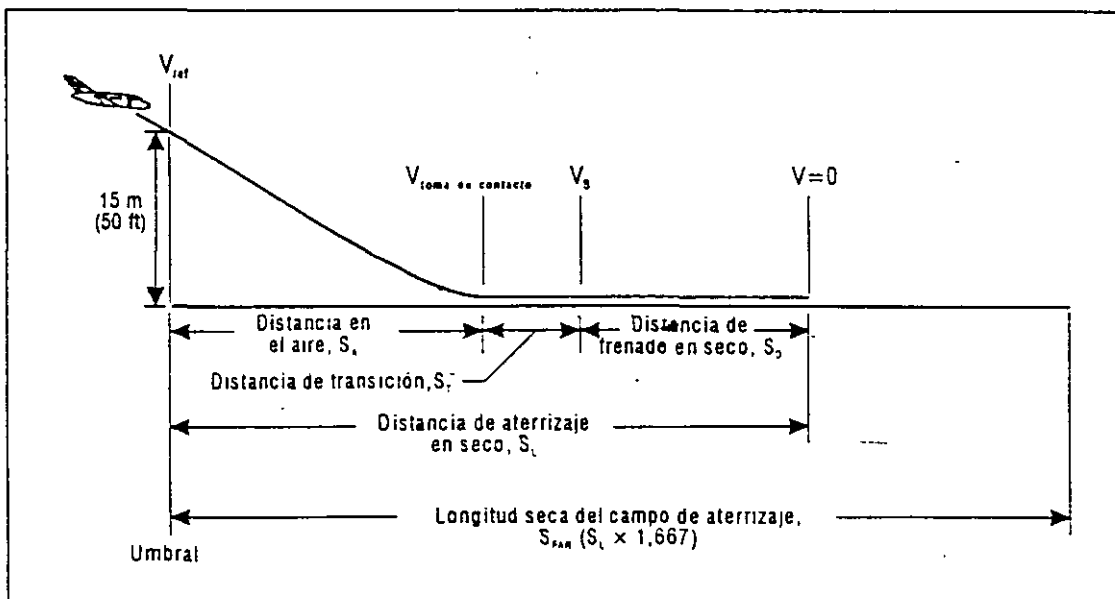
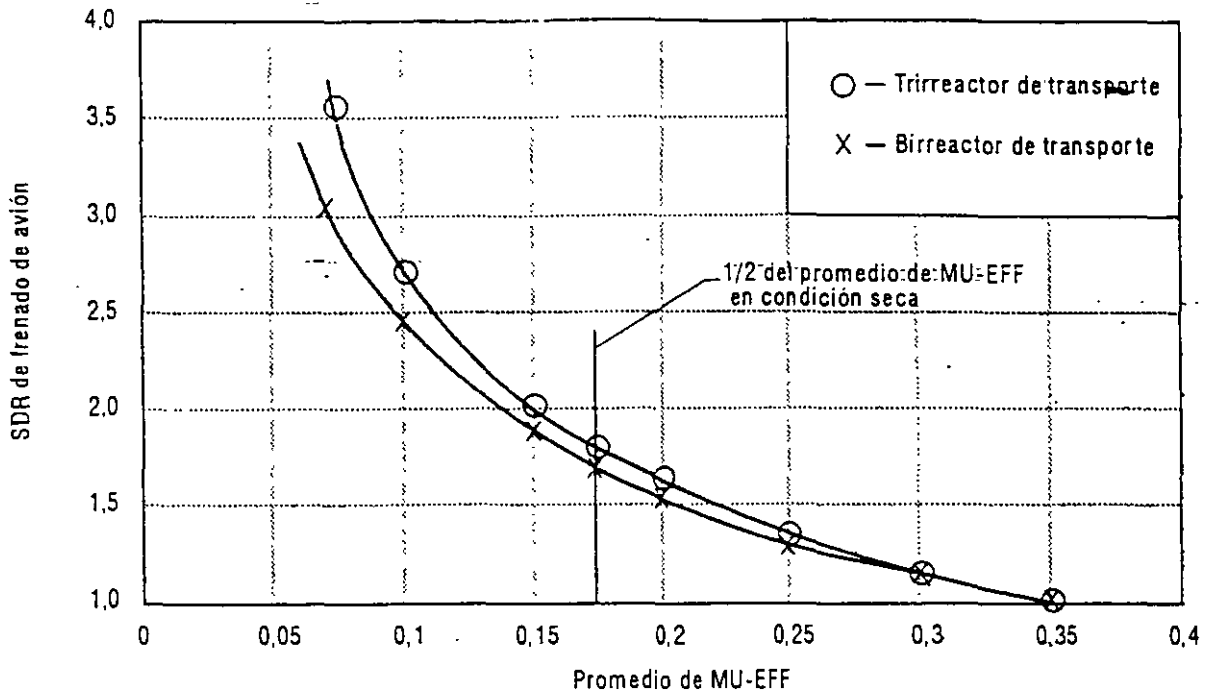


Figura A1-1. Terminología para aterrizaje del avión



Ecuación de correlación SDR de avión Antvik/promedio de MU-EFF:

$$SDR = A/MU-EFF + B/MU-EFF^2 + C/MU-EFF^3 + D/MU-EFF^4 + E/MU-EFF^5$$

$$\begin{aligned} A &= +0.447126 \\ B &= -4.29469E-2 \\ C &= +4.05005E-3 \\ D &= -2.34017E-4 \\ E &= +5.61025E-5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= +0.411922 \\ B &= -2.6458E-2 \\ C &= +2.05336E-3 \\ D &= -1.01815E-4 \\ E &= +2.22342E-5 \end{aligned}$$

Figura A1-2. Relación de distancia de detención del avión al frenar de condición mojada/seca en función del promedio de MU-EFF (no se aplica el empuje inverso del motor durante el aterrizaje)

ruedas, respecto a cada uno de los valores de eficacia de detención del avión. Los valores mínimos del rozamiento en pistas mojadas asignados actualmente al equipo de medición del rozamiento en la pista se seleccionaron basándose principalmente en la experiencia y en algunos ensayos del rozamiento en las pistas. Cuando se seleccionaron estos valores del rozamiento, no existía ningún método para determinar si estas cifras llevarían a valores superiores o inferiores de las relaciones SDR de frenado de los aviones, de condiciones mojadas a secas, respecto a los obtenidos aplicando la mitad del promedio de MU-EFF al frenar en pistas secas.

4. En este método propuesto se utiliza la teoría de hidrodinámico combinado viscoso/dinámico de la NASA para transformar las cifras MFL del medidor del rozamiento en la pista en valores equivalentes MU-EFF de frenado del avión, de forma que pueda calcularse un MU-EFF promedio de frenado en pistas mojadas. Este valor MU-EFF calculado, basado en el

MFL del medidor del rozamiento en la pista, se incorpora a la Figura A1-2 para determinar si el valor MFL del medidor del rozamiento es o no un valor prudente, en función de la eficacia de detención del avión.

5. *Procedimiento de cálculo.* La teoría de hidrodinámico combinado viscoso/dinámico de la NASA corresponde a las referencias 1 y 2 al final de este apéndice y sugiere que los valores de las curvas de rozamiento/velocidad obtenidas en pavimentos mojados con neumáticos de diversos tamaños, con diversos compuestos de caucho en la banda de rodadura y con diversas presiones de inflado, pueden normalizarse utilizando relaciones no dimensionales para el rozamiento (MU/MU-ULT) y para la velocidad (V/VC). Aplicando este enfoque, se han obtenido las siguientes ecuaciones para estimar el coeficiente efectivo de frenado del avión (MU-EFF) obtenido en pistas mojadas, inundadas, o cubiertas de nieve fundente, a partir de ensayos con un medidor del rozamiento en la pista.

6. Ecuaciones de correlación en pistas mojadas

Valor  $(MU-MAX)_A$  previsto para neumáticos del avión:

$$(MU-MAX)_A = (MU_T) (MU-ULT)_A / (MU-ULT)_T \quad (1)$$

Valor  $(MU-EFF)_A$  previsto de frenado del avión:

$$(MU-EFF)_A = 0.2(MU-MAX)_A + 0.7143(MU-MAX)_A^2 \quad (2)$$

Valor  $(V)_A$  previsto de la velocidad del avión:

$$(V)_A = (V)_T (VC)_A / (VC)_T \quad (3)$$

Valor  $(VC)$  de la velocidad característica de hidroplaneo:

$$(VC)_A \text{ del avión} = 6.35\sqrt{p} \text{ km/h;} \\ p = \text{presión del neumático en kPa} \quad (4)$$

El valor  $(VC)_T$  del medidor debe determinarse a partir de ensayos experimentales en pavimentos inundados (Tabla A1-1)

Valor  $(MU-ULT)$  del coeficiente de rozamiento característico:

$$(MU-ULT)_A \text{ del avión} = 0.93 - 0.0011 p_A \quad (5)$$

Medidor:

El valor de  $(MU-ULT)_T$  debe determinarse a partir de ensayos experimentales a baja velocidad (1.6-3.2 km/h) en pavimentos secos (Tabla A1-1)

$(MU)_T$  obtenido a partir de datos en pista mojada del medidor del rozamiento

Velocidad de ensayo del medidor del rozamiento  $(V)_T$  para obtener  $(MU)_T$

Presión de inflado del neumático del avión  $P_A$ , kPa

Subíndices: A = avión; T = medidor del rozamiento en la pista

7. Ejemplo de cálculo. El nivel mínimo de rozamiento (MFL) para un medidor del rozamiento en la pista es de 0.5 a una velocidad de 65 km/h y de 0.41 a una velocidad de 95 km/h (véase la referencia 3 al final de este apéndice). En el siguiente procedimiento por etapas se transforman estos valores del rozamiento y de la velocidad en valores  $MU-EFF$  equivalentes y en valores de la velocidad para aviones de transporte de reacción de dos motores según lo indicado en la Figura A1-2. Se obtendrá el promedio de los valores  $MU-EFF$  en una gama de velocidades de frenado del avión de 0-278 km/h (0-150 kt), para obtener un valor correspondiente a este avión que pueda utilizarse en la Figura A1-2 para deducir su SDR de frenado, que seguidamente podría compararse con el SDR obtenido a base de aplicar la mitad del  $MU-EFF$  del avión en pista seca. Por consiguiente, se hace posible determinar si los valores MFL del medidor del rozamiento a velocidades de ensayo de 65 km/h y de 95 km/h son o no prudentes respecto a aviones de reacción de transporte de dos motores que aterrizan en pistas mojadas.

Etapa 1. Utilícese la ecuación (1) y la Tabla A1-1 para calcular los valores  $(MU-MAX)_A$  para este avión, a las dos velocidades de ensayo del medidor del rozamiento de 65 km/h y de 95 km/h.

$$\text{Para 65 km/h: } (MU-MAX)_A = 0.5(0.76)/1.0 = 0.38$$

$$\text{Para 95 km/h: } (MU-MAX)_A = 0.41(0.76)/1.0 = 0.312$$

Nota.— Los valores  $(MU-MAX)_A$  anteriores indican los máximos coeficientes disponibles en pista mojada para neumáticos de avión sin frenar, correspondientes a este nivel mínimo de rozamiento en pistas mojadas.

Etapa 2. Utilícese la ecuación (2) para calcular los valores  $MU-EFF$  correspondientes a este avión, a las dos velocidades de ensayo del medidor del rozamiento.

Para 65 km/h:

$$(MU-EFF)_A = 0.2(0.38) + 0.7143(0.38)^2 = 0.179$$

Para 95 km/h:

$$(MU-EFF)_A = 0.2(0.312) + 0.7143(0.312)^2 = 0.132$$

Etapa 3. Utilícese la ecuación (3) y la Tabla A1-1 para calcular las velocidades equivalentes del avión, correspondientes a las velocidades de ensayo del medidor del rozamiento de 64 km/h y de 96 km/h.

$$\text{Para 65 km/h: } (V)_A = 65(207.5)/91.2 = 147.9 \text{ km/h}$$

$$\text{Para 95 km/h: } (V)_A = 95(207.5)/91.2 = 216.15 \text{ km/h}$$

Etapa 4. Utilícese la ecuación de regresión lineal  $(MU-EFF)_A = m(V)_A + b$  y los valores  $(MU-EFF)_A$  y  $(V)_A$  obtenidos en las etapas 2 y 3 para construir y resolver las ecuaciones simultáneas.

$$0.179 = 147.9 m + b$$

$$0.132 = 216.15 m + b$$

$$m = (0.179 - 0.132)/(147.9 - 216.15)$$

$$m = 0.00068$$

$$b = 0.179 - 147.9(-0.00068)$$

$$b = 0.280$$

$$(MU-EFF)_A = 0.280 - 0.00068(V)_A \quad (6)$$

El valor  $MU-EFF$  promedio elaborado durante un aterrizaje con frenos a partir de una velocidad de aplicación del freno de  $V_B$  ocurre a la velocidad  $V_B\sqrt{2}$  ó de 196 km/h (106 kt) para  $V_B = 278$  km/h (150 kt). Utilícese la ecuación (6) para obtener el valor  $MU-EFF$  promedio estimado correspondiente a la velocidad  $(V)_A = 196$  km/h (106 kt).

$$(MU-EFF)_A = 0.280 - 0.00068 = 0.1468$$

$$MU-EFF \text{ promedio en condiciones mojadas} = 0.1468$$

**Etapas 5.** Con estos valores se va a la Figura A1-2 y se encuentra la relación prevista de distancias de detención, de condiciones mojadas a condiciones secas de la pista, en la curva correspondiente a aviones de transporte de reacción de dos motores, para un valor MU-EFF promedio en condiciones mojadas = 0.1468, o se utiliza la ecuación de correlación Antvik de la Figura A1-2.

$$\begin{aligned} \text{SDR} = & 0.447126/0.1468 - 4.29469E - 2/0.1468^2 \\ & + 4.05005E - 3/0.1468^3 - 2.34017E - 4/0.1468^4 \\ & + 5.61025E - 6/0.1468^5 \end{aligned}$$

$$\text{SDR} = 1.91$$

Este valor SDR (1.91) se compara con el SDR del avión, de pista mojada a pista seca (1.68) (a partir de la Figura A1-2) y esto demuestra que los valores MFL del medidor del rozamiento en pista mojada son valores razonables en el caso del medidor Law del rozamiento en la pista.

**Observaciones finales.** Se efectúan cálculos análogos para velocidades de aplicación de los frenos de 278 km/h (150 kt), 259 km/h (140 kt), 241 km/h (130 kt) y 222 km/h (120 kt) tanto para aviones de transporte de reacción de dos motores, como de tres motores, aplicándose el método MFL. Los resultados se muestran en la Tabla A1-2. Estos cálculos sugieren que la velocidad de aplicación de los frenos de 278 km/h (150 kt) representan mejor el despegue interrumpido a una velocidad cercana a  $V_L$ , mientras que las velocidades de

aplicación de los frenos inferiores representan mejor las condiciones ordinarias de aterrizaje de los aviones. Puede observarse a partir de la Tabla A1-2 que las velocidades inferiores de aplicación de los frenos muestran una concordancia mejor entre el SDR estimado (método MFL) y el SDR real de frenado del avión, relación de pista mojada a pista seca, que en el caso correspondiente a la velocidad de aplicación de los frenos de 278 km/h (150 kt).

## REFERENCIAS

1. Horne, Walter, B. "Status of Runway Slipperiness Research". Transportation Research Record 624, Second International Skid Conference, Columbus, Ohio, 1977, pp.95-121.
2. Horne, W.B. and Buhlmann, F. "A Method for Rating the Skid Resistance and Micro/Macrotexture Characteristics of Wet Pavements". Frictional Interaction of Tire and Pavement, ASTM STP 793, 1983, pp.181-218
3. Anon. "Measurement, Construction, and Maintenance of Skid Resistant Airport Pavement Surfaces". FAA Advisory Circular 150/5320-12B.
4. Horne, W.B. "Correlation Between Aircraft/Ground Vehicle Runway Friction Measurements" Prepared for Air Line Pilot's Association, Int'l.

**Tabla A1-1. Condiciones del medidor de rozamiento/neumático de frenado de avión**

Dispositivo de medición del rozamiento/avión	Presión del neumático de ensayo (kPa)	Coefficiente característico de rozamiento (MU-ULT)	Velocidad característica de hidroplano VC (km/h)
Medidor del rozamiento en la pista	207	1.0	91.2
Medidor del rozamiento en la superficie	207	1.1	91.2
Deslizómetro	207	1.15	91.2
Medidor del valor Mu	69	1.1	80.5
Avión de transporte de reacción de 2 motores	1 069	0.76	207.5
Avión de transporte de reacción de 3 motores	1 207	0.738	220.5



Tabla A1-2. Influjo de la velocidad de aplicación de los frenos en la relación de distancias reales y estimadas de detención de condición mojada a seca al frenar el avión y utilizando el método MFL

Velocidad de aplicación de los frenos [km/h(kt)]	*MU-EFF de avión estimado con RFT	*SDR de avión (mojado/seco) estimado con RFT	**SDR de avión (mojado/seco) calculado	Tipo de avión
278 (150)	0.1467	1.91	1.63	Birreactor de transporte
259 (140)	0.1552	1.84	1.73	
241 (130)	0.1637	1.77	1.76	
222 (120)	0.1722	1.71	1.78	
(150)	0.1469	2.04	1.76	Trirreactor de transporte
(140)	0.1547	1.96	1.80	
(130)	0.1624	1.89	1.83	
(120)	0.1702	1.82	1.86	

\* Método MFL

\*\* Utilizando promedio de MU-EFF en mojado = 1/2 de promedio de MU-EFF en seco.

## Apéndice 2

### Procedimientos para realizar inspecciones visuales del mantenimiento de las pistas en los aeropuertos que prestan servicio a operaciones de aviones de turborreacción en los que no se dispone de equipo de medición del rozamiento

#### PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DEL ROZAMIENTO

1. Cuando en el aeropuerto no se dispone de equipo de medición del rozamiento, el explotador debe realizar inspecciones visuales periódicas de las condiciones de mantenimiento para asegurarse de que las condiciones de la superficie del pavimento son aceptables para las operaciones de los aviones. El explotador debe procurar que todos los vehículos que se utilicen en las inspecciones visuales estén dotados de equipo adecuado de comunicaciones en las frecuencias adecuadas. De esta forma se garantiza que el personal de operaciones del aeropuerto en instalaciones y servicios, con control y sin control de tránsito, pueda estar a la escucha en las frecuencias terrestres apropiadas de asesoramiento, de control y del aeropuerto. En las inspecciones visuales de mantenimiento deben seguirse los siguientes procedimientos.

2. *Periodicidad de las inspecciones visuales de las pistas.* En todos los aeropuertos que prestan servicios a operaciones de aviones de turborreacción deben realizarse periódicamente inspecciones visuales de las pistas para asegurar que el rozamiento de la superficie del pavimento de pistas mojadas no disminuye a valores por debajo de los niveles mínimos recomendados. En la Tabla A2-1 que puede utilizarse como guía para programar las inspecciones visuales de las pistas, se proporciona la periodicidad propuesta de realización de análisis del rozamiento, basándose en el número de operaciones diarias de los aviones de turborreacción en cada extremo de las pistas.

3. *Inspección anual de las condiciones de la superficie de los pavimentos.* Durante la realización de inspecciones visuales de la pista, debe registrarse la condición de la superficie de los pavimentos para tomar nota de la amplitud y de la cantidad de cauchos acumulado en la superficie, del tipo y de la condición de la textura del pavimento, de la existencia de problemas de drenaje, de la condición del tratamiento de la superficie y de cualquier indicio de defectos estructurales del pavimento. En la Tabla A2-2 se ilustra un procedimiento para estimar visualmente los depósitos de caucho acumulados en la zona de toma de contacto. El inspector debería tocar con la mano la superficie del pavimento en diversos lugares de la

zona de toma de contacto para estimar mejor el porcentaje de depósitos de caucho que cubren la textura del pavimento. Los valores Mu proporcionados en la Tabla A2-2 representan los obtenidos a base de dispositivos de medición continua del rozamiento que funcionan en el modo de relación de frenado fijo a resbalamiento. En la Tabla A2-3 se ilustra el método de codificar la condición de estrías en los pavimentos y en la Tabla A2-4 se ilustra el método de codificar el tipo de la superficie del pavimento. Se proporcionan estos códigos como método abreviado para preparar notas relativas a la condición de la superficie del pavimento.

4. *Periodicidad de las mediciones de la textura del pavimento.* Las mediciones de la profundidad de la textura del pavimento deben realizarse por lo menos tres veces al año cuando hay más de 31 llegadas diarias de aviones de turborreacción por cada extremo de la pista. Deben efectuarse por lo menos tres mediciones en cada una de las zonas de toma de contacto, de la parte central y de la parte de recorrido en tierra de la pista. Debe registrarse para cada zona el promedio de profundidad de la textura. Estas mediciones deben constituir una parte de la inspección ordinaria del aeropuerto respecto a la condición de la superficie de las pistas se hayan o no se hayan efectuado mediciones del rozamiento. Las mediciones pueden utilizarse para evaluar el deterioro de la textura de la superficie del pavimento ocasionado por acumulación de contaminantes y por el influjo que el frenado de los aviones tiene en el desgaste y en el pulimento de la superficie. En pavimentos estrados, deben efectuarse mediciones de la profundidad de la textura en zonas no estriadas tales como en las cercanías de juntas transversales o en el embotado de las luces.

5. *Medición de la textura de la superficie del pavimento.* El procedimiento que sigue es eficaz para medir la profundidad de la macrotextura de los pavimentos, pero no servirá para medir las características de la microtextura de la superficie de los pavimentos. La profundidad de textura a lo largo de la pista debe tener un promedio mínimo de 0.625 mm si se desean características buenas antideslizantes. Para obtener un promedio de la profundidad de la textura, deben tomarse muestras representativas en toda la longitud de la superficie de la pista. El número de muestras requeridas dependerá de las

variaciones de textura de la superficie. Las descripciones del equipo, el método de medición y los cálculos implicados son los siguientes:

**Equipo.** A la izquierda de la Figura A2-1 se muestra el tubo utilizado para medir el volumen de grasa que es de 15 cm<sup>3</sup>. A la derecha se muestra el desatascador bien ajustado que se utiliza para expulsar la grasa del tubo. En el centro se muestra la barredera de caucho utilizada para tratar la grasa en los vacíos de la superficie de la pista. La hoja de caucho en la barredera está unida con cemento a una pieza de aluminio para facilidad de uso. Puede utilizarse cualquier clase de grasa de uso general. Para ayudar a seleccionar la longitud del tubo de medición, se proporciona en la Figura A2-2 la relación entre el diámetro interior del tubo y la longitud del tubo para un volumen interior del tubo de 15 cm<sup>3</sup>. La desatascadora puede construirse con corcho o con otro material resiliente para lograr un buen ajuste en el tubo de medición.

**Medición.** El tubo para medir el volumen conocido de grasa está lleno hasta el tope mediante un instrumento sencillo tal como una espátula para enmasillar pero debe procurarse que no se quede aire atrapado y se escuadren los extremos según se indica en la Figura A2-3. En la

Figura A2-4 se ilustra una vista general del procedimiento de medición de la textura. Se colocan las líneas de cinta de enmascaramiento en la superficie del pavimento a distancias entre sí, aproximadamente de 10 cm. Se expulsa seguidamente la grasa del tubo de medición con el desatascador y se deposita entre las líneas anteriormente colocadas de la cinta de enmascaramiento. Se inserta la grasa en los vacíos de la superficie de la pista con la barredera de caucho procurando que no quede grasa en la cinta de enmascaramiento ni en la barredera. Se mide seguidamente la distancia a lo largo de las líneas de la cinta de enmascaramiento y se calcula la superficie que esté cubierta de grasa.

**Cálculo.** Una vez calculada el área, se utilizan las ecuaciones siguientes para calcular el promedio de profundidad de textura de la superficie del pavimento.

$$\text{Profundidad de textura (cm)} = \frac{\text{Volumen de grasa (cm}^3\text{)}}{\text{Área cubierta por grasa (cm}^2\text{)}}$$

$$\text{Promedio de profundidad de textura} = \frac{\text{Suma de los ensayos}}{\text{Número total de ensayos}}$$

Tabla A2-1. Periodicidad de inspecciones visuales de la pista

Llegadas diarias de aviones de turborreacción a cada extremo de la pista	Peso anual de aviones para extremo de pista (millones de kg)	Periodicidad mínima de análisis de rozamiento
menos de 15	menos de 447	una vez al año
de 16 a 30	de 448 a 838	una vez cada 6 meses
de 31 a 90	de 839 a 2 404	una vez cada 3 meses
de 91 a 150	de 2 405 a 3 969	una vez al mes
de 151 a 210	de 3 970 a 5 535	una vez cada 2 semanas
más de 210	más de 5 535	una vez por semana

*Nota.— Después de calcular las dos primeras columnas según los procedimientos del Apéndice 5, el explotador del aeropuerto debe seleccionar la columna con el valor más elevado y seguidamente obtener el valor apropiado en la última columna.*

Tabla A2-2. Método de inspección visual para estimar los depósitos de caucho acumulados en la pista

Clasificación de la acumulación de depósitos de caucho	Porcentaje estimado de caucho que cubre la textura del pavimento en la zona de toma de contacto de la pista	Descripción del caucho que cubre la textura del pavimento en la zona de toma de contacto de la pista según observación del evaluador	Gama estimada de valores de Mu promediados en tramos de 150 m en la zona de toma de contacto	Nivel sugerido de medidas que ha de adoptar la autoridad del aeropuerto
Muy ligera	Menos del 5%	Rastros intermitentes de neumáticos: 95% de la textura de la superficie expuesta.	0.65 y más	Ninguna
Ligera	De 6% a 20%	Rastros de neumáticos empiezan a solaparse: de 80% a 94% de la textura de la superficie expuesta.	De 0.55 a 0.64	Ninguna
Ligera a media	De 21% a 40%	6 m centrales de la zona de tránsito cubiertos: de 60% a 79% de la textura de la superficie expuesta.	De 0.50 a 0.54	Vigilar de cerca el deterioro
Media	De 41% a 60%	12 m centrales de la zona de tránsito cubiertos: de 40% a 59% de la textura de la superficie expuesta.	De 0.40 a 0.49	Programar retiro de caucho en un plazo de 120 días
Media a densa	De 61% a 80%	15 pies centrales de la zona de tránsito cubiertos: de 30% a 69% de caucho vulcanizado y agarrado a la superficie del pavimento: de 20% a 39% de la textura de la superficie expuesta.	De 0.30 a 0.39	Programar retiro de caucho en un plazo de 90 días
Densa	De 81% a 95%	De 70% a 95% de caucho vulcanizado y agarrados a la superficie del pavimento: será difícil de retirar: el caucho tiene una apariencia brillante radiante: de 5% a 19% de la textura de la superficie expuesta.	De 0.20 a 0.29	Programar retiro de caucho en un plazo de 60 días
Muy densa	De 96% a 100%	Caucho completamente vulcanizado y agarrado a la superficie, será muy difícil de retirar. El caucho tiene estrías y apariencia brillante o radiante: de 0% a 4% de la textura de la superficie expuesta.	Menos de 0.19	Programar retiro de caucho en un plazo de 30 días o tan pronto como sea posible

*NOTA -- En cuanto a la acumulación de caucho, el explotador del aeropuerto debe tener en cuenta otros factores; el tipo y edad del pavimento, las condiciones climáticas anuales, el período del año, el número de aeronaves de ancho fuselaje que aterrizan en las pistas y la longitud de las pistas. Por consiguiente, el nivel recomendado de medidas dependerá de las condiciones del aeropuerto. La gama de valores de Mu indicada en la tabla corresponde a dispositivos de medición continua del rozamiento que funcionan en el modo de resbalamiento a frenado fijo. La gama de valores de Mu es aproximada y el explotador del aeropuerto ha de aplicarlos solamente cuando no se disponga de otros dispositivos. Si se dispone de dispositivos de medición el explotador del aeropuerto debe realizar mediciones del rozamiento en las pistas para establecer el nivel real al clasificar la acumulación de caucho.*

Tabla A2-3. Codificación alfanumérica de la condición de las estrías

Tratamiento de la superficie del pavimento	Código alfa	Codificación numérica y descripción
Tipo de estrías	H	0 — Ninguno 1 — Estrías en sierra 2 — Estrías plásticas
Condición de las estrías	G	0 — Profundidad uniforme en todo el pavimento 1 — 10% de estrías no eficaces 2 — 20% de estrías no eficaces 3 — 30% de estrías no eficaces 4 — 40% de estrías no eficaces 5 — 50% de estrías no eficaces* 6 — 60% de estrías no eficaces 7 — 70% de estrías no eficaces 8 — 80% de estrías no eficaces 9 — 90% de estrías no eficaces

\* Cuando se excede de este nivel el explotador del aeropuerto debe tomar medidas correctivas para mejorar la eficacia del estriado

Tabla A2-4. Codificación alfanumérica del tipo de superficie del pavimento

Tipo de superficie del pavimento	Código alfa	Codificación numérica y descripción
Pavimento de hormigón de asfalto	A	0 — Revestimiento sellado enfangado 1 — Nuevo, árido cubierto de asfalto, color negro 2 — Microtextura, 75% de agregado fino, color de agregado 3 — Textura mixta, 50-50 fina, agregado burdo, color de agregado 4 — Macrotextura, 75-100% agregado burdo 5 — Superficie gastada, resalta agregado burdo y/o abrasión 6 — Estrías de superficie de perfil abierto, estrías de rozamiento porosas 7 — Sello de virutas 8 — Sello de virutas de caucho 9 — Otros
Pavimento de hormigón portland	C	0 — Cinta acabada 1 — Microtextura, predominantemente agregado fino 2 — Macrotextura, predominantemente agregado burdo 3 — Superficie gastada, sobresalen agregados burdos y/o abrasión 4 — Aspillera arrastrada 5 — Barrido o cepillado 6 — Hilos acombados 7 — Hilos estañados 8 — Estrías flotantes 9 — Otros

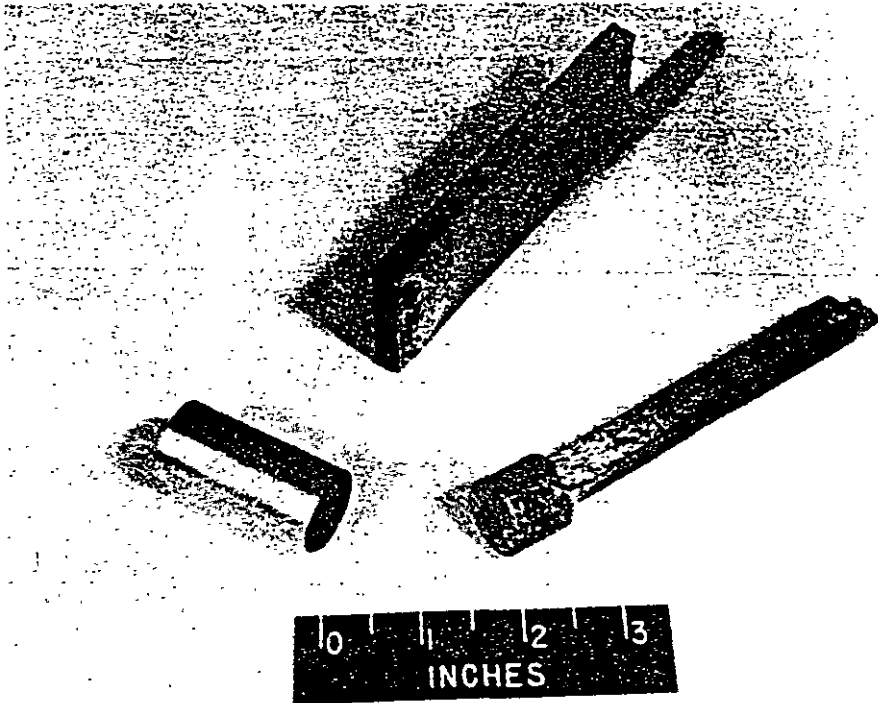


Figura A2-1. Tubo para medir el volumen de grasa, con desatascador y barredera de caucho

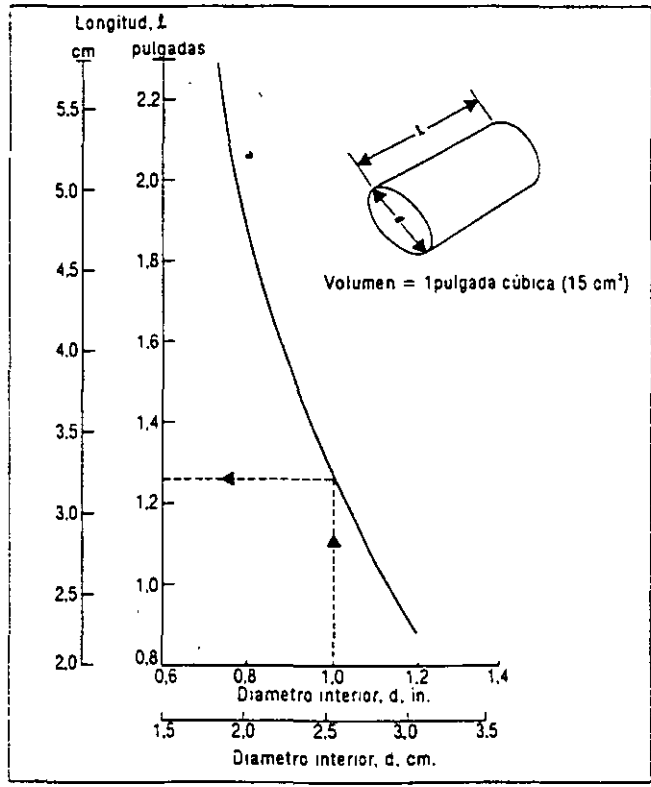


Figura A2-2. Dimensiones del tubo de medición para un volumen de 15 cm³ o una pulgada cúbica

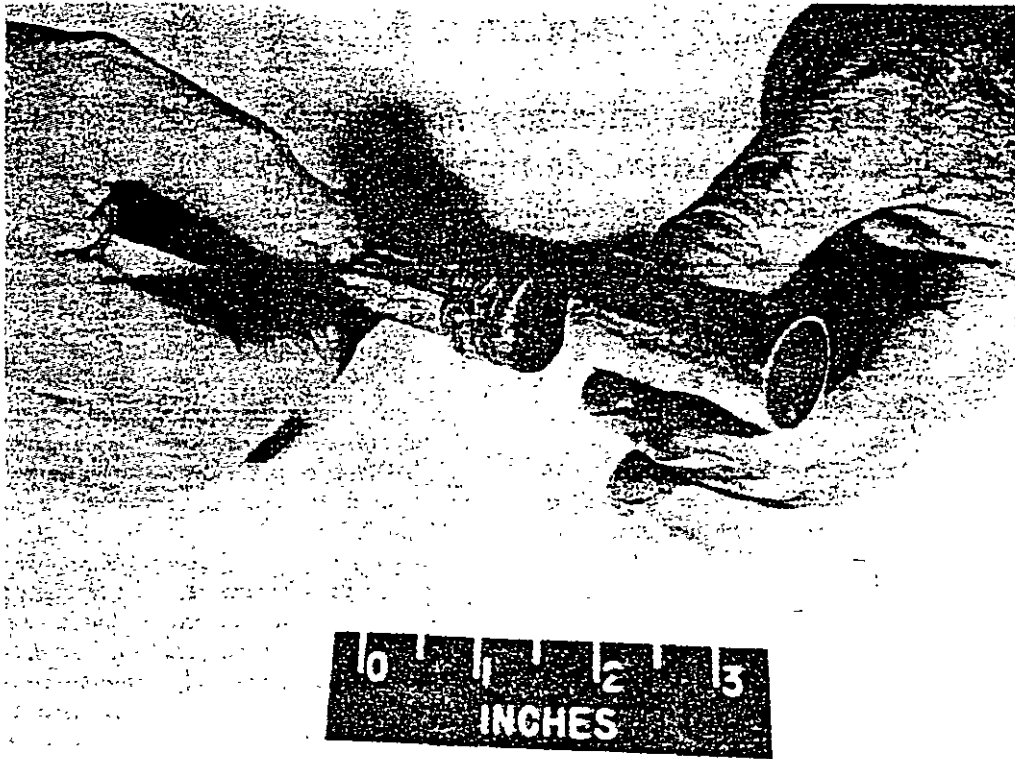


Figura A2-3. Tubo de medición lleno de grasa

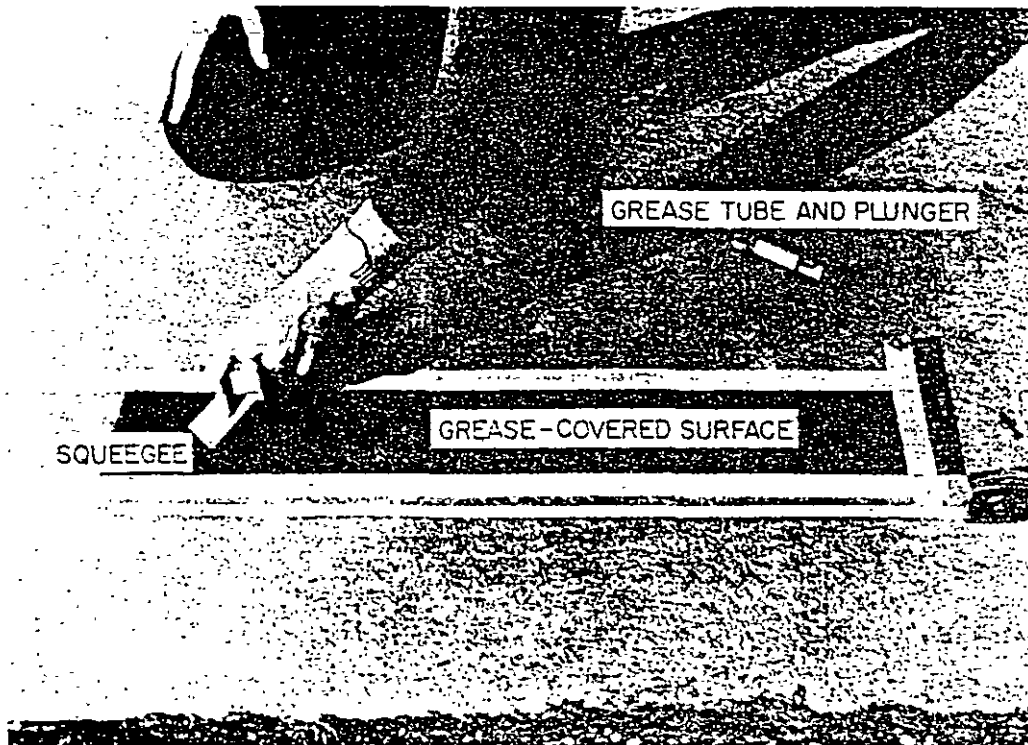


Figura A2-4. Aparato utilizado en la técnica de aplicación de grasa para medir la textura de la superficie de la pista

## Apéndice 3

### Ensayo de la fiabilidad, eficacia y uniformidad de los neumáticos utilizándose un dispositivo de medición continua del rozamiento con relación de resbalamiento a frenado fija y sistema de autohumectación

#### ALCANCE

1. En este apéndice se describen los procedimientos de ensayo para conocer la fiabilidad, eficacia y uniformidad de los neumáticos fabricados al cambiar de un lote a otro.

#### CERTIFICACIÓN

2. El fabricante de neumáticos certificará que se han completado los ensayos de cada lote de neumáticos fabricados.

3. El fabricante puede subcontratar a una empresa de ensayo certificada que lleve a cabo los ensayos y los certifique de conformidad con estos procedimientos.

4. Se realizarán las pruebas utilizándose un medidor del valor  $M_u$  adecuadamente calibrado.

#### MUESTREO DE NEUMÁTICOS

5. Para reducir a un mínimo las posibles diferencias excesivas entre lotes de neumáticos, se realizarán ensayos

cada vez que se fabrique un nuevo lote de neumáticos. El número de neumáticos seleccionados aleatoriamente para los ensayos puede determinarse de conformidad con la magnitud de los lotes de neumáticos, según lo indicado en la Tabla A3-1.

6. La magnitud del lote se determina según el número de neumáticos del lote fabricados por la empresa. Una vez establecida la magnitud del lote, puede deducirse de la Tabla A3-1 la magnitud de muestreo de neumáticos. Para asegurar que se seleccionan adecuadamente los neumáticos de ensayo, el fabricante debe subdividir el lote en un número equivalente de sublotes según el número de neumáticos requeridos por la Tabla A3-1. El fabricante debe seguidamente seleccionar de forma aleatoria un neumático de cada sublot para los ensayos. Esto asegurará que los neumáticos sometidos a ensayo representan el lote completo. Se pondrá una etiqueta adecuada en cada neumático seleccionado, de conformidad con el número secuencial del lote y se marcarán según el orden de selección.

7. El fabricante debería conservar y almacenar adecuadamente el lote anterior y el número requerido de neumáticos aleatoriamente seleccionados.

**Tabla A3-1. Magnitudes de muestreo aleatorio de neumáticos de un lote para determinar su aceptación/rechazo**

Magnitud del lote de neumáticos	Magnitud de la muestra aleatoria de neumáticos para ensayo		Aceptación si el número de neumáticos en falla es inferior o igual a:		Rechazo si el número de neumáticos en falla es igual o superior a:	
	Neumáticos	Pares	Neumáticos	Pares	Neumáticos	Pares
De 51 a 150	10	5	2	1	4	2
De 151 a 500	16	8	4	2	6	3
De 501 a 1 200	26	13	6	3	8	4



8. Además de los neumáticos actualmente seleccionados para ensayos comparativos con los neumáticos del lote anterior, el fabricante debería también conservar y almacenar adecuadamente del lote actual el número requerido de neumáticos aleatoriamente seleccionados para futuros ensayos comparativos con el próximo lote de neumáticos fabricados. De esta forma, se duplicará siempre la magnitud del muestreo aleatorio requerido para los ensayos según la Tabla A3-1.

9. *Ejemplo.* Si la magnitud del lote es de 200 neumáticos, el fabricante debería seleccionar aleatoriamente, según la Tabla A3-1, 16 neumáticos para ensayo del lote actual. Deben someterse a ensayos 8 neumáticos del lote actual para comparación con 8 neumáticos del lote anterior; los restantes 8 neumáticos del lote actual deben almacenarse para evaluar su eficacia en el futuro cuando se fabrique el siguiente lote de neumáticos. Con este procedimiento de ensayo el explorador del aeropuerto estará convencido de que entre un lote y otro se mantiene la eficacia, fiabilidad y uniformidad de los neumáticos de medición del rozamiento fabricados por la empresa.

### SUPERFICIES DE ENSAYO

10. Serán necesarias cuatro superficies de ensayo:

Superficie de ensayo A: Valores de Mu de 0 a 16.

Superficie de ensayo B: Valores de Mu de 28 a 44.

Superficie de ensayo C: Valores de Mu de 56 a 72.

Superficie de ensayo D: Valores de Mu de 84 y superiores.

*Nota.*— Estos valores de Mu se han basado en un ensayo a una velocidad de 5 km/h con un dispositivo de medición continua del rozamiento de relación de resbalamiento a frenado fija.

11. La persona responsable de realizar los ensayos intentará seleccionar la superficie de ensayo con valores promedio de Mu que se acerquen lo más posible el valor central de las gamas respectivas.

12. Para reducir a un mínimo la posibilidad de diferencias en el pavimento entre los ensayos, el valor promedio de Mu correspondiente a cada una de las superficies de ensayo no se saldrá de las gamas respectivas ni variará en más de  $\pm 3$  del valor promedio de Mu obtenido para cada una de estas superficies en los ensayos anteriores.

13. Para reducir a un mínimo el influjo de la temperatura ambiente en los valores del rozamiento se realizarán los ensayos cuando la temperatura esté en un margen de  $\pm 6^\circ\text{C}$  respecto a la temperatura básica seleccionada para los ensayos.

### ENSAYOS

14. El fabricante o la empresa de ensayo certificada debería seleccionar aleatoriamente un neumático del lote actual de muestreo y un neumático del lote anterior de muestreo para ensayos comparativos entre lotes.

15. Debe realizarse un mínimo de seis ensayos a cada una de las dos velocidades de 65 kph y de 95 kph, en cada una de las superficies de ensayo descritas en el párrafo 10 y utilizándose los neumáticos seleccionados según lo indicado en el párrafo 14.

16. Deben someterse a ensayo las muestras restantes de neumáticos aleatoriamente seleccionadas de cada lote, una vez sobre cada una de las superficies de ensayo descritas en el párrafo 10, a las dos velocidades de 65 kph y de 95 kph.

17. Se realizarán los ensayos en superficies de ensayo originalmente secas, utilizándose un dispositivo apto de medición continua del rozamiento con relación de resbalamiento a frenado fija y con sistema de autohumectación. La profundidad del agua debería ser de 1 mm, aplicada por delante del neumático de medición del rozamiento.

18. La longitud mínima de cada una de las superficies de ensayo debería ser de 150 m para dar cabida a el programa de promediación del valor de Mu electrónico disponible en el dispositivo de medición continua del rozamiento con relación de resbalamiento a frenado fija.

### ANÁLISIS DE LOS DATOS DE LOS ENSAYOS

19. Una vez completados los ensayos, debe realizarse un análisis estadístico para obtener la línea de regresión que establezca la fiabilidad, eficacia y uniformidad del lote actual de neumáticos comparándolos con el lote anterior de neumáticos. En los párrafos 24 a 27 se proporcionan los detalles de los parámetros necesarios para realizar el análisis estadístico.

20. El promedio del valor Mu, en todos los ensayos realizados a cada velocidad, debería estar a menos de un error estándar del valor estimado o  $\pm 3$  de la línea de regresión, para cada muestra aleatoria de neumáticos del lote anterior comparándolos con la muestra aleatoria de neumáticos del lote actual.

21. Deben someterse a ensayos las muestras restantes de neumáticos aleatoriamente seleccionados en cada lote, respecto a cada una de las superficies de ensayo indicadas en el párrafo 10, y a cada velocidad de ensayo. El promedio del valor Mu debería estar a menos de un error estándar del valor estimado o  $\pm 3$  de la línea de regresión estadísticamente calculada para cada una de las muestras aleatorias de neumáticos restantes, en cada superficie de ensayo y a las dos velocidades de ensayo.

## REPETICIÓN DE LOS ENSAYOS

22. Si alguno de los neumáticos no satisface uno cualquiera de los tres conjuntos de parámetros estadísticos proporcionados en los párrafos 24 a 27, este neumático será inaceptable. Si el número de tales neumáticos es igual o superior al proporcionado en la columna de rechazo de la Tabla A3-1, se rechazará todo el lote. No se realizará ningún otro ensayo hasta que el fabricante de los neumáticos haya completado una verificación a fondo de los requisitos que específicamente hayan de satisfacer los neumáticos. Cuando el fabricante esté satisfecho de que el nuevo lote fabricado satisface los requisitos especificados, se volverán a programar los ensayos de calificación.

23. Si alguno de los neumáticos deja de satisfacer los requisitos proporcionados en los párrafos 20 o 21 se someterá de nuevo a ensayo tal neumático. Se realizarán estos ensayos adicionales para asegurarse de que no ocurre ninguna disconformidad injustificada, o en la realización de los ensayos o en los procedimientos aplicables, en la calibración del equipo o en la eficacia de los análisis estadísticos.

## PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

24. Deben satisfacerse en análisis estadístico los tres conjuntos de parámetros indicados en los párrafos que siguen.

25. *El conjunto de interceptación.* Los parámetros de este conjunto se subdividen en tres elementos:

*Interceptación a  $X = 0$ .* El parámetro de variancia admisible en esta interceptación es  $\pm 3$  para un error estándar de estimación.

*Pendiente de la línea de regresión.* Se establece una línea perfecta de correlación cuando la pendiente de la línea de regresión es igual a 1.000. La variancia admisible respecto a esta línea es de  $\pm 0.080$ , o una gama de pendiente de 0.920 a 1.080.

*Interceptación a  $X = 100$ .* El parámetro para la variancia admisible en esta interceptación es  $\pm 5$  para un error estándar de estimación.

26. *El conjunto de coeficientes.* Los parámetros para este conjunto se subdividen en dos elementos:

*El coeficiente de correlación.* El valor mínimo aceptable para el coeficiente de correlación es de 0.980.

*El coeficiente de determinación.* El valor mínimo aceptable para el coeficiente de determinación es de 0.960. Se calculó el coeficiente de determinación elevando al cuadrado el coeficiente de correlación.

27. *El conjunto de error estándar de estimación.* Consta de un solo elemento, el error estándar de estimación. El parámetro para este conjunto es  $\pm 3$  para un error estándar de estimación.

## PRECISIÓN Y ERRORES SISTEMÁTICOS

28. El análisis de los datos obtenidos con un dispositivo de medición continua del rozamiento con relación de resbalamiento a frenado fija, bajo control de explotadores experimentados, indica que los ensayos duplicados muestran condiciones de repetibilidad, o de concordancia dentro de  $\pm 3$  respecto al valor promedio de  $\mu$ . Los datos del rozamiento de los neumáticos obtenidos por el mismo explotador y en condiciones idénticas de ensayos no deben considerarse sospechosos a menos que difieran en más del 5% de un solo sospechosos a menos que difieran en más del 5%.

## Apéndice 4

### Instrucciones para determinar los aeropuertos que participan en el programa de mantenimiento del valor del rozamiento

#### Tabla A4-1 (Cuadro A)

1. Determine el número de llegadas anuales de aviones para cada tipo de avión de turbo-reacción en un aeropuerto. Entre estos datos en la columna [B].
2. Determine el peso bruto anual de llegadas de aviones. Entre estos datos en la columna [C].
3. Determine el total anual de llegadas de aviones [D].
4. Determine el total de peso bruto anual de llegadas de aviones [E].

#### Tabla A4-2 (Cuadro B)

5. Vaya al Cuadro B y siga las instrucciones. Determine los valores [H] y [K] para cada extremo de la pista en todas las pistas en las que se realizan operaciones de aviones de turbo-reacción.

#### Tabla A4-3 (Cuadro C)

6. Obtenga los valores [H] y [K] determinados según el Cuadro B y compare con los valores [H] y [K] proporcionados

en el Cuadro C. Esto determina el valor mínimo del rozamiento [M] y la periodicidad mínima de retiro de caucho [N] para cada extremo de la pista en todas las pistas que prestan servicio a operaciones de aviones de turbo-reacción.

#### Tabla A4-4 (Cuadro D)

7. Entre en el Cuadro D los valores de [G], [H], [K], [M] y [N].

8. Cada aeropuerto tiene la responsabilidad de realizar una vez al año los cálculos anteriores. De un año a otro las líneas aéreas modifican el emplazamiento de los aeropuertos, el tipo de aviones y el número de sus operaciones diarias en determinado aeropuerto. Si se realizan los cálculos una vez al año la administración del aeropuerto podrá mantener actualizada la actividad de los aviones en su aeropuerto. Esto tiene especialmente aplicación cuando aumentan las operaciones de aviones de ancho fuselaje, lo que lleva a una acumulación más rápida de caucho y al desgaste de los pavimentos.

9. En las Tablas A4-1 a A4-4 se proporcionan formularios de cálculo para los explotadores de aeropuerto.

Tabla A4-1. Estimación del peso anual de llegadas de aviones de turborreacción comerciales en un aeropuerto — Cuadro A

Aeropuerto:			
Identificador:			
Emplazamiento Núm.:			
Tipo de avión	Peso máximo de llegadas de aviones [A]	Número de llegadas de aviones al aeropuerto [B]	Peso bruto anual de llegadas de aviones [A] x [B] = [C]
+ A-300-B2	127 462		
+ A-300-B4	132 996		
+ A-300-600	138 000		
+ A-310-200	122 000		
+ A-310-300	123 000		
+ A-320-100	63 000		
+ A-320-200	64 500		
B-707-120B	86 184		
B-707-[320/420]	93 895		
B-707-[720/720B]	79 380		
B-707-320B	97 524		
B-707-320C	112 039		
B-727-[100/100C]	64 638		
B-727-200	73 030		
B-737-100	44 906		
B-737-200	46 721		
B-737-[200C/200QC]	48 535		
B-737-300	52 527		
B-737-400	56 246		
B-737-500	49 896		
+ B-747-[100/B/SF/SR]	255 830		
+ B-747-[200/B/C/F/P]	285 768		
+ B-747-[300/400]	285 768		
+ B-747-[200B/300]	290 304		

Tipo de avión	Peso máximo de llegadas de aviones [A]	Número de llegadas de aviones al aeropuerto [B]	Peso bruto anual de llegadas de aviones [A] × [B] = [C]
+ B-747-300SR	255 830		
+ B-747-SP	285 768		
B-757-200PF	95 256		
B-767-200	123 379		
B-767-200ER	129 276		
B-767-300	136 080		
B-767-300ER	145 152		
BAC-111-[200/400]	31 298		
BAC-111-500	39 010		
BAC CONCORDE	111 132		
BAe146-100	32 568		
BAe146-200	34 927		
BAe146-300	40 824		
DC-8-[20/30/40]	93 895		
DC-8-55	98 431		
DC-8-[55F/61/62/71/72]	108 864		
DC-8-72AF	113 400		
DC-8-[63F/73CF/73AF]	124 740		
DC-8-[61F/71CF/63/73]	117 029		
DC-9-[10/15/15F]	37 059		
DC-9-21	43 228		
DC-9-[32/33F]	44 906		
DC-9-41	46 267		
DC-9-51	49 896		
DC-9-81	58 061		
DC-9-82	58 968		
DC-9-83	63 277		
DC-9-[87/88]	58 968		
+ DC-10-[10/10CF/15]	164 884		
+ DC-10-40	182 801		

Tipo de avión	Peso máximo de llegadas de aviones [A]	Número de llegadas de aviones al aeropuerto [B]	Peso bruto anual de llegadas de aviones [A] x [B] = [C]
+ DC-10-[30CF/KC-10A]	197 770		
+ DC-10-[30/40CF]	186 430		
F-28-[1 000/2 000]	26 762		
F-28-[3 000/5 000]	29 030		
F-28-[4 000/6 000]	30 164		
+ L-1011-1	162 389		
+ L-1011-[100/200/500EW]	166 925		
CONVAIR 880	70 308		
CONVAIR 990	91 627		
SE-210	47 583		
+ MD-11	195 048		
+ MD-11 COMBI	207 749		
+ MD-11F	213 872		
IL62	114 308		
VC10-1100	97 978		
VC10-1150	107 503		

+ = Aviones de fuselaje ancho

Total anual de llegadas de aviones de fuselaje normal

\_\_\_\_\_ %

Total anual de llegadas de aviones de fuselaje ancho

\_\_\_\_\_ %

Total anual de llegadas de aviones

\_\_\_\_\_

[D] = [B]

Total anual de peso a la llegada (aviones de fuselaje normal)

\_\_\_\_\_ %

Total anual de peso a la llegada (aviones de fuselaje ancho)

\_\_\_\_\_ %

Total anual de peso a la llegada (ambos tipos de avión)

\_\_\_\_\_

[E] = [C]

Tabla A4-2. Formulario para procedimiento de cálculo — Cuadro B

**Llegadas diarias de aviones a todas las pistas:**

Llegadas anuales de aviones a todas las pistas	+ 365 días al año	=	Llegadas diarias de aviones a todas las pistas
<hr style="width: 80%; margin: auto;"/>			<hr style="width: 80%; margin: auto;"/>
[D]			[F]

**Promedio de peso anual de aviones en las llegadas anuales de aviones a todas las pistas:**

Peso anual de llegadas de aviones	+ Llegadas anuales de aviones	=	Promedio de peso anual de aviones dividido por las llegadas anuales de aviones a todas las pistas
<hr style="width: 80%; margin: auto;"/>			<hr style="width: 80%; margin: auto;"/>
[E]	[D]		[J]

**PISTA: \_\_\_\_\_**

**Llegadas diarias de aviones:**

Llegadas diarias de aviones a todas las pista	× Porcentaje de llegadas de aviones a la pista ( )	=	Llegadas diarias de aviones a la pista ( )
<hr style="width: 80%; margin: auto;"/>			<hr style="width: 80%; margin: auto;"/>
[F]	[G]		[H]

**Llegadas anuales de aviones a la pista \_\_\_\_\_ :**

Porcentaje de llegadas de aviones a la pista ( )	× Llegadas anuales de aviones a todas las pistas	=	Llegadas anuales de aviones a la pista ( )
<hr style="width: 80%; margin: auto;"/>			<hr style="width: 80%; margin: auto;"/>
[G]	[D]		[I]

**Peso anual de aviones a la pista \_\_\_\_\_ :**

Llegadas anuales de aviones a la pista ( )	× Peso promedio anual de aviones por llegadas de aviones a todas las pistas	=	Peso anual de aviones para la pista ( )
<hr style="width: 80%; margin: auto;"/>			<hr style="width: 80%; margin: auto;"/>
[I]	[J]		[K]





## Apéndice 5

### Métodos para medir o evaluar la eficacia de frenado cuando no se dispone de dispositivos de ensayo del rozamiento

#### MEDICIÓN DE LA EFICACIA DE FRENADO CON UN CAMIÓN O AUTOMÓVIL QUE FRENA HASTA LA COMPLETA DETENCIÓN

1. Una forma de medir el coeficiente de rozamiento de una pista, cuando no se disponga en el aeropuerto de equipo especial para ensayos, consiste en medir la distancia y/o el tiempo necesario para detener un camión, lanzado a una velocidad determinada, con los frenos aplicados a fondo.

2. La distancia y el tiempo necesarios para que el camión se detenga completamente proporcionarán dos valores del coeficiente de rozamiento,  $\mu$  distancia y  $\mu$  tiempo, de conformidad con la fórmula siguiente:

$$\mu \text{ distancia} = \frac{V^2}{2gS}$$

$$\mu \text{ tiempo} = \frac{V}{tg}$$

siendo  $V$  = la velocidad en el momento de aplicar los frenos, en m/s

$S$  = distancia de parada, en m

$t$  = tiempo de parada, en s

$g$  = aceleración de la gravedad, en  $m/s^2$

3. Normalmente, el coeficiente de rozamiento basado en el tiempo es un poco bajo a causa de la tendencia a poner el cronómetro en marcha un instante antes de que los frenos produzcan su efecto. Por otra parte, el coeficiente de rozamiento basado en la distancia de parada es normalmente un poco alto, ya que los frenos ejercen cierta acción sobre las ruedas antes de que éstas comiencen a patinar.

4. El valor de  $\mu$  obtenido es el valor con deslizamiento. No obstante, hay que notificar el  $\mu_{m\grave{a}x}$  y, a fin de obtener un valor aproximado de  $\mu_{m\grave{a}x}$ , los resultados logrados con este método se multiplicarán por 1.3 para dar un  $\mu_{desliz}$  superior a 0.3 y por 1.2 para dar valores interiores del  $\mu_{desliz}$ . Especialmente, cuando el rozamiento es bajo, la indicación

entre el valor  $\mu_{desliz}$  y el  $\mu_{m\grave{a}x}$  varía de acuerdo a las condiciones específicas, aunque se considera que los factores citados anteriormente dan resultados aceptables. La velocidad para aplicar los frenos y las pruebas de frenado para este método pueden ser las mismas que las indicadas en el método descrito en 4.4.2 para medir la eficacia de frenado al frenar un camión con un decelerómetro instalado. En la Figura A5-1 se reproduce un ejemplar del formulario utilizado para registrar y analizar los resultados de los ensayos.

#### OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS (EN RELACIÓN CON LAS PISTAS CUBIERTAS DE NIEVE O HIELO)

5. Las observaciones meteorológicas, además del conocimiento previo del estado de la pista, permitirán en muchos casos una evaluación bastante aproximada de la eficacia de frenado. Los siguientes datos están basados en la experiencia obtenida en Noruega y Suecia.

6. En las pistas cubiertas de nieve o hielo que no han sido tratadas (con arena, por ejemplo), el coeficiente de rozamiento oscila entre valores tan reducidos como 0.05 y 0.30. Es muy difícil determinar con exactitud cómo y por qué varía el estado de la pista. No obstante, si la eficacia de frenado es bastante buena, continuará siéndolo si desciende la temperatura, pero si ésta aumenta hasta llegar a un valor igual o superior al punto de congelación, la eficacia de los frenos disminuirá rápidamente. La eficacia de los frenos depende mucho de la temperatura, especialmente en las proximidades del punto de congelación. Algunas veces se presentan valores muy bajos de rozamiento cuando circula aire húmedo sobre una pista helada, aunque la temperatura sea bastante inferior a la del punto de congelación.

7. A continuación se dan algunos de los diversos estados de la pista que influyen en la eficacia de frenado:

a) Coeficiente de rozamiento comprendido entre 0.10 y 0.30:

1) nieve fundente o lluvia en pistas cubiertas de nieve o hielo;

2) cambio de escarcha a temperaturas superiores a 0°C;



- 3) cambio de temperaturas moderadas a escarcha (no en todos los casos);
- 4) el tipo de hielo que se forma después de largos períodos de frío;
- 5) una fina capa de hielo formada:
  - i) porque el suelo helado ha estado expuesto a la humedad o a la lluvia a temperaturas iguales o superiores a 0°C;
  - ii) a causa de la radiación, es decir, cuando el cielo está despejado, la temperatura de la superficie de la pista desciende por debajo del punto de congelación y por debajo del punto de rocío (lo cual favorece la repentina formación de cristales de hielo y ocurre aún cuando la temperatura observada del aire se encuentra algunos grados por encima del punto de congelación).

- b) Coeficiente de rozamiento comprendido entre 0.25 y 0.35:
  - 1) nieve a temperaturas inmediatamente por debajo del punto de congelación;
  - 2) pistas cubiertas de nieve con temperaturas inferiores a la del punto de congelación y expuestas al sol.
- c) Coeficiente de rozamiento comprendido entre 0.35 y 0.45:

pistas cubiertas de nieve que no hayan estado expuestas a temperaturas superiores a unos -2°C a -4°C.

*Nota.— Se pretende que la clasificación sirva únicamente de guía y se incluye exclusivamente para dar una indicación del orden de magnitud de la eficacia de frenado que puede esperarse en diversas condiciones. Siempre que sea posible, es aconsejable evaluar la eficacia de frenado efectuando mediciones.*

## Apéndice 6

### Tipos de quitanieves y accesorios

1. Los costes del combustible y del equipo especializado para la remoción de nieve y el control de hielo pueden representar una inversión financiera considerable para muchos aeropuertos y, por consiguiente, debería investigarse toda idea que pueda ofrecer una reducción de dichos costes. En este apéndice se examinan algunos nuevos tipos de quitanieves para aeropuertos, que pueden representar posibles economías en materia de coste de combustibles y equipo.

2. Las vertederas y sus correspondientes revestimientos, en materiales polímeros y compuestos, parecen reducir el rozamiento superficial entre la nieve, la nieve fundente y la vertedera. La reducción de dicho rozamiento superficial puede, a su vez, reducir la potencia necesaria para impulsar el vehículo quitanieves, lo cual, una vez más, reduce el consumo de combustible de la máquina. Algunos fabricantes pretenden haber logrado, con dichos materiales, considerables economías en materia de combustible. Las vertederas de quitanieves que arrojan un gran volumen de nieve a cierta altura y lejos del vehículo, en vez de simplemente empujarla o desplazarla, pueden reducir las necesidades de equipo. En algunos emplazamientos, dependiendo normalmente de las condiciones reinantes, es decir, leves precipitaciones de nieve, vientos ligeros, tipo de nieve, emplazamiento de la pista, sistemas de iluminación y configuración de los márgenes, los quitanieves que arrojan la nieve a cierta altura y a distancia pueden no requerir el apoyo de un soplanieves para mover cantidades importantes de nieve por encima de las luces de borde de pavimento. La eliminación de un soplanieves puede representar considerables ahorros en materia de combustible y equipo, pero es necesario examinar cuidadosamente la selección de lanzanieves de este tipo para tareas dobles como las indicadas, reconociéndose que la eficacia requerida puede depender mucho de las condiciones reinantes en el lugar en materia de nieve. A continuación se indican algunos tipos y tamaños de cuchillas para quitanieves:

- a) *Quitanieves pequeño.* Este tipo de arado quitanieves puede ser de cualquier diseño pero la vertedera debería tener una longitud comprendida entre, aproximadamente, 1,8 m y el tamaño intermedio. En este grupo se incluyen las traíllas montadas debajo de camiones, con longitudes de vertedera comprendidas entre 3 m y el tamaño intermedio.
- b) *Quitanieves intermedio.* Este tipo de arado quitanieves puede ser de cualquier diseño pero debería tener una longitud de vertedera comprendida entre, aproximadamente, 3 m y 4,5 m. En este grupo se incluyen las traíllas

montadas debajo de camiones con longitudes de vertedera comprendidas entre 3 m y 4,5 m.

- c) *Quitanieves grande.* Este tipo de arado quitanieves puede ser de cualquier diseño pero debería tener una longitud de vertedera de 4,5 m o más. En este grupo se incluyen los quitanieves de tipo topadora para la plataforma y grandes quitanieves para fines especiales.
- d) Los vehículos sobre los cuales se montan los diversos tipos y tamaños de arados, pueden clasificarse como sigue:
  - 1) *Portaarados de tipo camión estándar.* Son camiones convencionales que satisfacen los requisitos relativos a los vehículos portadores de vertedera quitanieves de los aeropuertos.
  - 2) *Portaarados grandes para fines especiales.* Son vehículos construidos especialmente para trabajos de remoción de nieve en los aeropuertos que impliquen grandes volúmenes y fajas anchas a despejar.
  - 3) *Cargadoras de ruedas (cargadoras delanteras).* Son vehículos con equipo de fabricación estándar para operaciones de remoción de la nieve especializadas y a baja velocidad, tales como remoción de la nieve en las plataformas, operaciones de carga de nieve, amontonamiento y remoción de la nieve alrededor de las luces de pista y otras zonas restringidas.
  - 4) *Tractores industriales (tipos grandes de 4 x 4 solamente).* Son vehículos de fabricación estándar y accionamiento hidrostático que se utilizan para operaciones especializadas de remoción de nieve similares a las realizadas por las cargadoras de rueda, pero que exigen mayor velocidad y no implican operaciones de carga de nieve.

3. *Tipos de arados quitanieves.* Los tipos de arados convencionales que se enumeran a continuación, integran la familia de los arados quitanieves de aeropuerto. La unidad quitanieves puede ser de cualquier diseño que se ajuste a las orientaciones en materia de equipo que aquí se especifican y deberían tener una capacidad para remoción de nieve/nieve fundente dentro de la necesaria anchura de faja, con deslizamiento o derramamiento mínimos a la velocidad de trabajo recomendada por los fabricantes. La eficacia del quitanieves debería corresponder a su uso previsto; es decir, cuando se

tiliza junto con un soplanieves grande, un gran arado quitanieves reversible debería funcionar satisfactoriamente a todas las velocidades, densidades de nieve y espesores de la misma determinadas por el concepto de trabajo en equipo.

a) *Arado quitanieves con hoja de vertedera biselada en un sentido, a la derecha o a la izquierda.* Diseñado para llevar a cabo operaciones en pistas de gran volumen y de alta velocidad y zonas conexas, en combinación con otras máquinas, este arado quitanieves es de tipo convencional (para descargar nieve a un solo lado) con una vertedera biselada, accionada por medios hidráulicos con mandos convencionales manejados por el conductor desde la cabina. La cuchilla, dependiendo del tamaño del arado, puede tener una altura en el extremo de toma de aproximadamente 0,60 m a 0,76 m, y de 1,27 m a 2,03 m en el extremo de descarga. La cuchilla debería estar equipada con bordes de corte reemplazables, metálicos o no metálicos, según se especifique. La unidad debería comprender un dispositivo de seguridad para soltar la cuchilla (disparo) y un mecanismo manual o mecánico para ajustar su inclinación cuando se realicen operaciones de fines generales en zonas tales como plataformas y pistas. Cuando los bordes de corte sean de carburo de tungsteno, este quitanieves no debería utilizarse en superficies de pavimento con sistemas de luces empotradas. En estas zonas, se recomienda utilizar bordes de corte de caucho o poliuretano. Los quitanieves de este diseño no poseen la diversidad de funciones de los de tipo reversible y no se recomiendan para el uso general en los aeropuertos.

b) *Arado quitanieves con motor reversible, convencional.* Este arado quitanieves de gran tamaño se utiliza para operaciones de remoción de grandes volúmenes de nieve en las pistas, a altas velocidades, que requieran la capacidad de descargar nieve hacia la derecha o hacia la izquierda según ángulos de corte preseleccionados a partir de la posición frontal de topadora. Este quitanieves debería contar con un sistema de cuchilla desmontable, estar equipado con bordes de corte reemplazables y funcionar por medios hidráulicos con mandos convencionales emplazados en la cabina del operador. El diseño de la vertedera debería ser tal que los bordes de corte de carburo de tungsteno y de caucho/poliuretano puedan intercambiarse. El mecanismo hidráulico reversible debería permitir que la cuchilla tome cuatro posiciones, como mínimo, a cada lado de la posición de explanadora, con un ángulo máximo de hoja de 35° a 40°. La unidad debería estar equipada con un sistema automático de bloqueo y desbloqueo de la cuchilla y con un cuadro oscilante o flotante para todo el mecanismo y, cuando se especifique, dispositivos de disparo de seguridad. Asimismo, el quitanieves debería estar equipado con zapatas o ruedas orientables de apoyo cuando se especifiquen bordes de corte no metálicos. También pueden especificarse inclinaciones ajustables de la hoja cuando se utilice este quitanieves para operaciones de remoción de fines generales.

La longitud de la vertedera puede variar desde aproximadamente 1,8 m a 6 m en el borde del corte, con una altura aproximada de 0,88 m a 1,20 m. Cuando el quitanieves se utilice en zonas pavimentadas con sistemas de luces empotradas, se recomienda utilizar un borde de corte de caucho o de poliuretano, en vez del borde de carburo de tungsteno. Para aumentar la capacidad de arrojar nieve a distancia pueden especificarse extremos de entrada/salida con inclinación o curvatura más pronunciadas.

c) *Arado quitanieves basculante con borde de acero reversible.* Este quitanieves está diseñado para operaciones de remoción de grandes volúmenes de nieve a altas velocidades que exijan la capacidad de descargar nieve hacia la derecha o hacia la izquierda según un ángulo de corte fijo. No se recomienda la utilización de este equipo en zonas pavimentadas con sistemas de luces empotradas y no cuenta con la posibilidad de intercambiar cuchillas de caucho o poliuretano. El quitanieves tiene una vertedera con inclinación pronunciada en toda su longitud y, haciendo girar 180° la hoja según un eje horizontal, está en condiciones de quitar y descargar grandes volúmenes de nieve hacia la derecha o hacia la izquierda, según se desee. Debería contarse con un sistema de funcionamiento hidráulico regulado desde la cabina por medio de mandos convencionales para levantar, bajar y hacer girar la cuchilla. Ésta debería tener el mismo ángulo fijo cuando se haga girar a la derecha o a la izquierda y tener bordes de corte sustituibles de carburo de tungsteno. Asimismo, debería poderse bloquear y almacenar la cuchilla en posición vertical y proporcionarse también un enganche de montura adecuado entre ésta y el vehículo. La longitud de la vertedera puede variar entre aproximadamente 3 m y 4 m en el borde de corte y, dependiendo del tamaño, la altura de la misma puede ser de aproximadamente 1,50 m a 1,80 m en el extremo de descarga. Los arados quitanieves basculantes no vienen equipados con mecanismos automáticos de disparo de la cuchilla.

d) *Arado quitanieves con aletas niveladoras, a la derecha o a la izquierda.* La aleta niveladora se utiliza para operaciones pesadas de remoción de nieve y su mecanismo debería permitir el ajuste de la cuchilla a distintas alturas para las operaciones de nivelado o rebaje de cordones y bancos de nieve. La unidad debería ser capaz de quitar nieve a altas velocidades cuando se utilice junto con un arado quitanieves adecuado montado en la parte delantera del vehículo. No debe utilizarse este equipo en zonas pavimentadas con sistemas de luces empotradas. Debería contarse con un mecanismo hidráulico de mandos convencionales en la cabina para levantar, bajar y colocar la cuchilla en posición, tanto para la operación de remoción de nieve como para su almacenamiento, y disponerse, para este último, de un margen adecuado con respecto a la cabina contra la parte lateral del camión. La cuchilla desmontable debería medir aproximadamente 0,62 m de altura en el frente y aproximadamente 0,88 m de altura en la parte posterior, y debería estar equipada con bordes de corte de carburo de tungsteno reemplazables, dispositivo de

disparo de seguridad, abrazaderas laterales amortiguadoras y sistema de ajuste manual de la inclinación de la cuchilla. Las aletas deberían montarse a cada lado del vehículo mediante barras o postes y dispositivos de tipo grúa.

- e) *Arado quitanieves con cuchilla extensible.* El quitanieves de cuchilla extensible funciona sobre el costado derecho o izquierdo del vehículo en combinación con la cuchilla del arado quitanieves montada en la parte frontal, a efectos de aumentar la anchura de corte. Cuando esta cuchilla se utilice en zonas pavimentadas con sistemas de luces empotradas, debería especificarse un borde de corte de caucho o de poliuretano, en vez del tipo normal de carburo de tungsteno. La unidad debería funcionar por medios hidráulicos con mandos convencionales en la cabina del conductor del vehículo. La cuchilla desmontable debería tener aproximadamente 0.76 m de altura en la parte delantera y aproximadamente 1.52 m de altura en la parte posterior, y estar equipada con bordes de corte reemplazables, abrazaderas amortiguadoras laterales y un mecanismo de ajuste manual de la inclinación. La anchura efectiva de corte debería ser de aproximadamente 1.8 m y, cuando no se utilice, debería poderse plegar contra el costado del vehículo (manteniendo, obviamente, un cierto margen entre la cuchilla y la cabina) utilizando el propio mecanismo hidráulico. Pueden especificarse mandos independientes (situados en la cabina) para los extremos interior y exterior de la cuchilla, cuando así se requieran, en vez de un mando único. También debería proporcionarse un dispositivo de disparo de seguridad con posibilidad de disparo amortiguado a todas las velocidades de funcionamiento y el funcionamiento de dicho mecanismo de disparo debería poder ajustarse fácilmente. El frente de la cuchilla de extensión debería adosarse a un poste corto montado sobre el marco de empuje. También debería proporcionarse la posibilidad de elevar por lo menos 30 cm la parte delantera de la cuchilla, por medios hidráulicos. El montaje posterior debería consistir en un poste corto adosado al costado del chasis del vehículo, adecuadamente afianzado y reforzado para poder adosar al mismo el mecanismo de ajuste de la inclinación de la cuchilla de extensión, y todas las abrazaderas deberían contar con un dispositivo amortiguador de seguridad. El diseño y la instalación del montaje posterior deberían ajustarse a los requisitos en esa materia estipulados por el fabricante del vehículo. En la instalación debería incluirse una cadena de seguridad para cuando el vehículo se traslade y, asimismo, una forma de mantener la cuchilla en una posición plegada segura.
- f) *Arado quitanieves grande de empuje, de faja ancha, reversible con aletas plegables.* Este arado quitanieves está diseñado para ser utilizado en operaciones de faja ancha (tanto a altas como a bajas velocidades). La unidad debería funcionar por medios hidráulicos con mandos convencionales. Todos los mandos deberían estar situados en la cabina para ser manejados por el conductor. La sección central de la cuchilla principal montada en la parte delantera del vehículo puede tener una longitud de aproximadamente 3 m a 6 m, dependiendo del diseño, con dos secciones de aletas plegables movidas por medios hidráulicos, una a la derecha y otra a la izquierda, cuyas longitudes respectivas pueden variar de 1 m a 3 m. La anchura máxima de la cuchilla con las aletas laterales extendidas llega aproximadamente a 9 m. Dependiendo del diseño, la sección central y/o las aletas deberían estar equipadas con ruedas de orientación libre para tareas pesadas. El mecanismo de inversión y las secciones de las aletas deberían diseñarse a efectos de minimizar el daño que pueda sufrir el arado si golpea contra proyecciones del pavimento a altas velocidades. El borde de corte debería ser de poliuretano, de caucho (para las zonas pavimentadas con sistemas de luces empotradas) o de carburo de tungsteno. Los arados quitanieves grandes de este tipo pueden exigir que se monten en vehículos especiales de potencia y peso bruto GVW relativamente altos. Cuando la cuchilla de empuje se instala regulada al ángulo máximo y se pliegan las aletas, la unidad debería poder pasar a través de por lo menos una puerta de la instalación de mantenimiento del aeropuerto.
- g) *Trailla inferior.* Este arado quitanieves va suspendido debajo del vehículo, está diseñada para obtener la máxima capacidad de maniobra en zonas restringidas sin sistemas de luces empotradas en el pavimento, y para romper y empujar hielo y nieve compactados. La unidad debería funcionar por medios hidráulicos o neumáticos con mandos convencionales en la cabina. Dependiendo del tamaño del arado quitanieves, la longitud de la cuchilla debería tener un máximo de, aproximadamente, 3.6 m con un radio de curvatura de la vertedera de 30 cm a 50 cm y un borde de corte desmontable de acero al carburo de tungsteno. La vertedera debería ser de acero duro con un espesor de cuchilla mínimo de 1.2 cm. El arado quitanieves debería ser de mando reversible permitiendo cambiar el ángulo de la hoja hacia la izquierda o hacia la derecha a partir de la posición de topadora. El sistema debería estar equipado con un dispositivo ajustable de presión sobre el suelo. Asimismo, debería proporcionarse un sistema de disparo de suspensión por amortiguadores, para evitar posibles daños causados por cargas introducidas repentinamente, y también con un sistema para plegar o elevar la cuchilla para su transporte dejando un mínimo de 15 cm de margen con respecto al suelo. El dispositivo para suspender la cuchilla debajo del vehículo debería construirse a efectos de proporcionar la mayor superficie posible de distribución de carga para la vertedera. Los discos de giro sobre los que se fija la hoja deberían ser del tipo soldado con cuatro trancas de posición, por lo menos, de funcionamiento manual o automático.
- h) *Arado quitanieves para plataformas.* La cuchilla para plataforma debería diseñarse para ser montada en un remolcador de aviones, en un cargador autopropulsado, en un tractor industrial o en otros vehículos similares diferentes del vehículo quitanieves normal. Esta unidad se utiliza en operaciones de faja ancha y a baja velocidad, en zonas de la plataforma en las que se dispone de poco

espacio para maniobrar. El arado quitanieves debería ser adecuado para empujar nieve y nieve fundente de los alrededores del edificio terminal, puertas y zonas de la plataforma, y no debería utilizarse en zonas pavimentadas con sistemas de luces empotradas. La unidad debería tener una vertedera de hasta 6 m de longitud, con una curvatura profunda, una altura de 1.42 m y, con carácter opcional, podría contar con placas laterales completas. El borde de corte de acero al carburo de tungsteno, reemplazable, debería fijarse en la posición de topadora. El enganche de la cuchilla debería ser del tipo de deslizamiento vertical o cualquier otra configuración similar que permita la desconexión rápida, y el quitanieves debería estar equipado con dos zapatas o dos ruedas de orientación libre de apoyo por lo menos. También pueden proporcionarse, cuando sea conveniente, patas de estacionamiento y, en algunos modelos, las zapatas del arado quitanieves pueden desempeñar esta función.

- i) *Quitanieves con cucharón (de uso general)*. Las palas o cucharas deberían utilizarse en vehículos cargadores normales, o tipos similares, y montarse mediante un enganche de desconexión rápida, sin que sea necesario modificar la configuración. Los cucharones para nieve se

utilizan en operaciones de carga de nieve, remoción de cordones de nieve y amontonamiento de nieve para almacenamiento y transporte. Deberían estar contruidos en acero con arreglo a las técnicas normales de construcción de quitanieves. La capacidad del cucharón debería estar comprendida entre 1 m<sup>3</sup> y 4 m<sup>3</sup>. El cucharón debería poder inclinarse hacia adelante a un ángulo mínimo de 20°, inclinarse en sentido transversal y funcionar también a nivel. La inclinación del cucharón puede proporcionarse mediante el mecanismo articulado del propio vehículo.

- j) *Quitanieves con cesta*. Se utilizan en vehículos de tipo cargador con dispositivos de enganche de desconexión rápida. Este cucharón de tipo cesta se utiliza en operaciones de carga de nieve y funciona en forma similar a cucharones estándar. La cesta debería tener una anchura de entre 2.7 m y 5.1 m. Las características de maniobrabilidad deberían corresponder a las del cucharón para nieve. Deberían estar contruidos en acero flexible y montarse en un marco de acero para lograr el peso mínimo sin pérdida de fuerza. El marco de la cesta debería construirse en forma tal que se evite la deformación de la misma con cargas máximas de nieve y en operaciones normales.

## Apéndice 7

### Textos afines de lectura

1. Pueden obtenerse ejemplares de las siguientes publicaciones del National Technical Information Service, Springfield Virginia 22151:

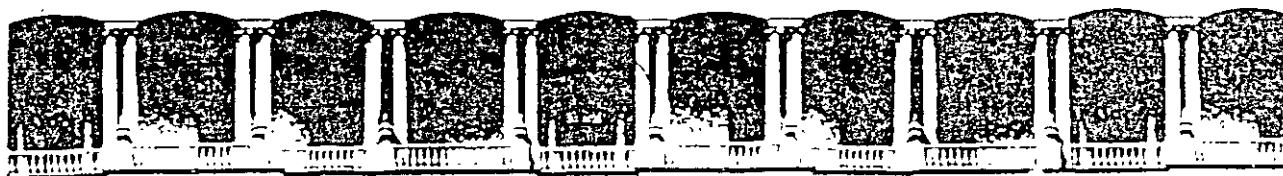
- Pavement Grooving and Traction Studies, Report No. NASA SP-507, 1969.
- A Comparison of Aircraft and Ground Vehicle Stopping Performance on Dry, Wet, Flooded, Slush, and Ice-covered Runways, Report No. NASA TN D-6098, noviembre de 1970.
- Runway Friction Data for 10 Civil Airports as Measured with a Mu Meter and Diagonal Braked Vehicle, Report No. FAA-RD-72-61, julio de 1972.
- Effects of Pavement Texture on Wet-Runway Braking Performance, Report No. NASA TN D-4323, enero de 1969.
- Porous Friction Surface Courses, Report No. FAA-RD-73-197, febrero de 1975.
- Laboratory Method for Evaluating Effect of Runway Grooving on Aircraft Tires, Report No. EAA-RD-74-12, marzo de 1974.
- Investigation of the Effects of Runway Grooves on Wheel Spin-up and Tire Degradation, Report No. FAA-RD-71-2, abril de 1971.
- Environmental Effects on Airport Pavement Groove Patterns, Report No. FAA-RD-69-37, junio de 1969.
- The Braking Performance of an Aircraft Tire on Grooved Portland Cement Concrete Surfaces, Report No. FAA-RD-80-78, enero de 1981.
- Braking of an Aircraft Tire on Grooved and Porous Asphaltic Concrete, Report No. DOT-FAA-RD-82-77, enero de 1983.
- Analytical and Experimental Study of Grooved Pavement Runoff, Report No. DOT-FAA-PM-83/84, agosto de 1983.
- Surveys of Grooves in Nineteen Bituminous Runways, Report No. FAA-RD-79-28, febrero de 1979.
- Modified Reflex-Percussive Grooves for Runways, Report No. DOT-FAA-PM-82-8, marzo de 1984.
- The Correlation and Performance Reliability of Several Types of Friction Measuring Devices.
- Reliability and Performance of Friction Measuring Tires and Friction Equipment Correlation, Report No. DOT/FAA/AS-90-1, marzo de 1990.

2. El documento "Evaluation of Two Transport Aircraft and Several Ground Test Vehicle Friction Measurements obtained for Various Runway Surface Types and Conditions, NASA Technical Paper 2917", de febrero de 1990, puede obtenerse de la NASA, Code NTT-4, Washington, D.C. 20546-0001.

3. Pueden obtenerse ejemplares del "American Society for Testing and Materials Specifications" de ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, Pennsylvania 19103.

— FIN —





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES  
XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍA DE AEROPUERTOS**

Del 31 de agosto al 30 de octubre.

Módulo IV

**MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE AEROPUERTOS**

*Tema: Manual sobre la Performance de Navegación requerida (RNP)*

Palacio de Minería  
1998.

**MANUAL**  
**SOBRE LA PERFORMANCE**  
**DE NAVEGACIÓN REQUERIDA (RNP)**

PRIMERA EDICIÓN — 1994



*Aprobado por el Secretario General  
y publicado bajo su responsabilidad*

**ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL**

**Manual**  
**sobre la performance**  
**de navegación requerida (RNP)**

Doc 9613 - AN/937

PRIMERA EDICIÓN — 1994





# ÍNDICE

	<i>Página</i>		<i>Página</i>
<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	1	5.3 Diseño del sistema, construcción e instalación .....	13
1.1 Generalidades.....	1	5.4 Aprobación de la aeronavegabilidad del equipo RNAV/FMS .....	13
1.2 Objetivo del manual .....	1	5.5 Aprobación del equipo RNAV/FMS para las operaciones.....	14
1.3 Explicación de términos y expresiones.....	2	5.6 Documentos de referencia .....	14
<b>Capítulo 2. Concepto y aplicaciones de la performance de navegación requerida</b> .....	3	<b>Capítulo 6. Operaciones con performance de navegación requerida</b> .....	15
2.1 Generalidades.....	3	6.1 Suministro de servicios de navegación .....	15
2.2 Operaciones RNAV en el ámbito del concepto RNP .....	3	6.2 Requisitos en materia de instrucción.....	17
2.3 Utilización del espacio aéreo .....	4	6.3 Procedimientos especiales de radiotelefonía para operaciones RNP .....	18
2.4 Performance de las aeronaves.....	4		
2.5 Disposiciones respecto a servicios RNP.....	5		
<b>Capítulo 3. Disposiciones generales en materia e performance de navegación requerida</b> .....	6	APÉNDICE A. Explicación de términos y expresiones.....	19
3.1 Generalidades.....	6		
3.2 Probabilidad de confinamiento .....	6	APÉNDICE B. Razones en apoyo de la selección de los valores RNP .....	21
3.3 Tipos de RNP .....	6		
<b>Capítulo 4. Requisitos en cuanto al espacio aéreo</b> .....	8	APÉNDICE C. Estimación de la precisión de performance para la navegación .....	24
4.1 Espacio aéreo al que se aplica la RNP.....	8		
4.2 Características del espacio aéreo.....	8	APÉNDICE D. Referencias a ejemplos de reglas específicas relativas a las operaciones RNAV .....	32
4.3 Requisitos en cuanto al espacio aéreo .....	9		
<b>Capítulo 5. Requisitos en cuanto a las aeronaves</b> .....	11		
5.1 Generalidades.....	11		
5.2 Requisitos funcionales.....	11		

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

1.1.1 El Comité especial sobre sistemas de navegación aérea del futuro (FANS) señaló que en el transcurso de los años el método más comúnmente utilizado para indicar la capacidad requerida de navegación consistía en prescribir que se transportara a bordo determinada clase de equipo. Esto llevaba a la exigencia de utilizar lo más posible equipo moderno de a bordo. Por otro lado, con la disponibilidad de satélites, este método impondría la introducción de un laborioso proceso de selección por parte de la Organización de Aviación Civil Internacional. Para superar estos problemas, el Comité elaboró el concepto de capacidad requerida de performance de navegación (RNPC). El Comité FANS definió la RNPC como "parámetro que describe las desviaciones laterales con respecto a una derrota asignada o seleccionada, así como la precisión para determinar la posición a lo largo de la derrota a base de un nivel apropiado de confinamiento". Aunque con esta definición se evita que la OACI tenga que seleccionar desde un principio uno u otro de los sistemas que compiten, no se ponen obstáculos a que la OACI se ocupe de técnicas de navegación de uso internacional. El Consejo de OACI aprobó el concepto de la RNPC y asignó al Grupo de expertos sobre el examen del concepto general de la separación (RGCSP) la tarea de estudiarlo más a fondo. En 1990 el Grupo RGCSP señaló que los conceptos de capacidad y de performance eran claramente distintos y que la planificación del espacio aéreo dependía de la performance medida y no de los diseños en cuanto a capacidad, por lo que se pasó del concepto de RNPC al concepto de performance de navegación requerida (RNP).

1.1.2 Más tarde el RGCSP al estudiar más a fondo el concepto de RNP amplió su significado en el sentido de explicar la precisión de la performance para la navegación que sería necesaria en las operaciones dentro de un determinado espacio aéreo. Se desea que para un determinado tipo de RNP se defina la performance de navegación del conjunto de usuarios en dicho espacio aéreo y que ésta corresponda a la capacidad de navegación en el espacio aéreo. Según lo prevé el Comité FANS, los tipos de RNP habrán de caracterizarse mediante un solo valor de precisión.

1.1.3 La precisión en el uso del sistema se basa en la presencia de una combinación de errores del sensor de navegación, del receptor de a bordo, de la presentación en pantalla y del error técnico de vuelo. Esta combinación se denomina también "precisión de performance de la navegación".

1.1.4 Para los diversos tipos de RNP se especifica la precisión de performance de la navegación en relación con todas las combinaciones de usuario y de sistema de navegación dentro de una región determinada del espacio aéreo. Los planificadores del espacio aéreo pueden aplicar los tipos de RNP para determinar la utilización posible del espacio aéreo y como dato de entrada para determinar la anchura de las rutas y los requisitos de separación del tránsito, aunque la RNP no baste por sí sola para establecer una norma de separación.

1.1.5 En los tipos de RNP se especifica la precisión mínima de performance de navegación requerida en una determinada región del espacio aéreo. Es evidente que estaría excluida del espacio aéreo con requisitos más estrictos la aeronave que volara con un tipo menos preciso de RNP, o habría de buscarse otra solución asignando a dicha aeronave mínimos mayores de separación. Si una aeronave está adecuadamente equipada con un nivel de performance de navegación más preciso que el especificado, podrá volar en el espacio aéreo de interés (p.ej., una aeronave certificada como RNP 1 podrá volar en el espacio aéreo RNP 4). Sin embargo, pueden darse casos en los que, por ejemplo, el nivel de precisión de performance de navegación de una aeronave puede bastar para satisfacer el requisito de un espacio aéreo RNP más riguroso, basándose en la infraestructura de ayudas para la navegación (navaid), pero puede que no satisfaga los requisitos de un espacio aéreo RNP menos riguroso por falta de ayudas adecuadas en relación con el equipo de navegación de que está dotada, p.ej. una aeronave certificada como RNP 1, por razón de su equipo radiotelemétrico (DME) doble, puede que no esté dotada de ayudas apropiadas para larga distancia que le permitan volar en el espacio aéreo RNP 12.6.

### 1.2 OBJETIVO DEL MANUAL

El objetivo básico de este texto de orientación consiste en explicar el concepto y las disposiciones relativas a la RNP, señalar la forma en que la RNP influye en los proveedores y usuarios del sistema, y proporcionar a los grupos de planificación regional un fundamento para la elaboración de documentos, procedimientos y programas conducentes a incorporar la RNP en el espacio aéreo. Este manual reemplaza al *Manual de operaciones de navegación de área (RNAV)* (Doc 9573 de la OACI) y en él se incluyen todos los textos pertinentes de dicho documento.

### 1.3 EXPLICACIÓN DE TÉRMINOS Y EXPRESIONES

1.3.1 La redacción y la explicación de la RNP se basa en la comprensión de algunos términos y expresiones particulares. El significado de estos términos y expresiones es el siguiente:

- a) *Navegación de área (RNAV)*. Método de navegación que permite las operaciones de aeronaves en cualquier trayectoria de vuelo deseada.
- b) *Precisión de performance de la navegación*. La precisión total de la navegación que se basa en la presencia

de una combinación de errores, del sensor de navegación, del receptor de a bordo, de la presentación en pantalla y del error técnico de vuelo. Se denomina también precisión en el uso del sistema.

- c) *Performance de navegación requerida (RNP)*. Indicación de la precisión de performance de navegación necesaria para las operaciones de vuelo en una región determinada del espacio aéreo.

1.3.2 En el Apéndice A se incluye la explicación de éste y otros términos y expresiones asociados con la navegación de a bordo.

## Capítulo 2

# CONCEPTO Y APLICACIONES DE LA PERFORMANCE DE NAVEGACIÓN REQUERIDA

### 2.1 GENERALIDADES

2.1.1 El crecimiento continuo de la aviación impone demandas crecientes en materia de capacidad del espacio aéreo y hace resaltar la necesidad de que se utilice de manera óptima el espacio aéreo disponible. Estos factores, unidos a la necesidad de lograr una mayor eficiencia operacional, consistente en la utilización de rutas directas y en la precisión de mantenimiento de la derrota, y unidos también a la mayor precisión que ofrecen los actuales sistemas de navegación, han dado como resultado el concepto de la RNP.

2.1.2 El concepto RNP se aplica a la performance de navegación dentro de un determinado espacio aéreo y, por consiguiente, afecta tanto al espacio aéreo como a las aeronaves. Con el concepto RNP se desea caracterizar una parte del espacio aéreo, mediante una declaración de la precisión de performance de navegación (tipo RNP) que ha de cumplirse dentro de esa parte del espacio aéreo. El tipo de RNP se basa en un valor de la precisión de performance de navegación que se espera satisfaga la flota de aeronaves que vuela dentro de esa parte del espacio aéreo, por lo menos el 95% del tiempo.

2.1.3 Al elaborar el concepto RNP se ha reconocido que los actuales sistemas de navegación de las aeronaves son capaces de alcanzar un nivel predecible de precisión de performance de la navegación y que puede lograrse una utilización más eficiente del espacio aéreo disponible recurriendo a esta capacidad de navegación.

### 2.2 OPERACIONES RNAV EN EL ÁMBITO DEL CONCEPTO RNP

2.2.1 Se prevé que la mayoría de las aeronaves que realicen operaciones en el entorno futuro RNP transportarán a bordo algún tipo de equipo RNAV. En algunas regiones o Estados puede exigirse el transporte a bordo de equipo RNAV. Por consiguiente, en este texto de orientación se hace frecuentemente referencia al uso de equipo RNAV.

2.2.2 El equipo RNAV funciona estableciendo automáticamente la posición de la aeronave a partir de los datos proporcionados por una o varias instalaciones. Se calculan las distancias a lo largo de la derrota y en dirección

perpendicular a la derrota para proporcionar el tiempo previsto de vuelo hasta un determinado punto de recorrido, así como para proporcionar indicación continua de la guía de dirección que pueda utilizarse, por ejemplo, en un indicador de situación horizontal (HSI). En algunos Estados, los requisitos en cuanto a precisión son tales que el equipo RNAV debe estar acoplado, o ser capaz de acoplarse, con el piloto automático. Asimismo puede obtenerse una amplia gama de datos de navegación asociados.

2.2.3 En las operaciones RNAV en el ámbito del concepto RNP es posible volar en cualquier región del espacio aéreo, dentro de las tolerancias de precisión prescritas, sin necesidad de volar directamente por encima de las instalaciones de navegación de base terrestre: las técnicas RNAV aplicadas en diversas partes del mundo ya han demostrado que se obtienen varias ventajas respecto a otras formas de navegación más tradicionales y que se proporcionan algunos beneficios entre los cuales pueden citarse los siguientes:

- a) el establecimiento de rutas más directas con lo que pueden reducirse las distancias de vuelo;
- b) el establecimiento de rutas dobles o paralelas para dar cabida a una mayor afluencia del tránsito en ruta;
- c) el establecimiento de rutas de desviación para aeronaves que sobrevuelan áreas terminales de alta densidad de tránsito;
- d) el establecimiento de rutas de alternativa o contingentes ya sea de acuerdo a determinados planes o para casos especiales;
- e) establecimiento de circuitos óptimos de espera; y
- f) la disminución del número de instalaciones terrestres de navegación.

También existe la posibilidad de utilizar la RNP para establecer rutas de llegada y de salida, así como rutas de aproximación óptimas, siendo todos estos beneficios de provecho para los Estados, y para los proveedores y usuarios de los servicios de tránsito aéreo (ATS).



## 2.3 UTILIZACIÓN DEL ESPACIO AÉREO

### Delimitación del espacio aéreo RNP

2.3.1 Puede especificarse la RNP respecto a una ruta, una serie de rutas, un área, un volumen del espacio aéreo o cualquier parte del espacio aéreo de determinadas dimensiones, según lo seleccione el planificador del espacio aéreo o la autoridad correspondiente. Entre las posibles aplicaciones de la RNP se incluyen:\*

- a) espacio aéreo definido, tal como el espacio aéreo de especificaciones mínimas de performance de navegación (MNPS) del Atlántico septentrional;
- b) una ruta ATS fija tal como la que va de Sydney, Australia, a Auckland, Nueva Zelanda;
- c) operaciones por derrotas aleatorias tales como las existentes entre Hawai y Japón; y
- d) un volumen del espacio aéreo, tal como un bloque de altitudes a lo largo de una ruta especificada.

2.3.2 Debe seleccionarse el tipo de RNP por el que se satisfagan determinados requisitos, tales como la demanda de tránsito prevista en una parte determinada del espacio aéreo. Esta performance de navegación requerida determinará el nivel necesario de equipo que haya de transportarse a bordo y el nivel necesario de la infraestructura del espacio aéreo.

### Aplicación de la RNP en un espacio aéreo

2.3.3 Sería ideal que en una determinada parte del espacio aéreo hubiera solamente un tipo de RNP. Sin embargo, en una parte determinada del espacio aéreo puede haber una mezcla de tipos de RNP. Un ejemplo sería la aplicación de un tipo de RNP más estricto (DME-DME) a determinada ruta en un espacio aéreo con una combinación de radiofaro omnidireccional de muy alta frecuencia (VHF)/(VOR) y de DME, o la aplicación de un tipo menos riguroso de RNP a una determinada parte del espacio aéreo.

2.3.4 La RNP puede aplicarse desde el despegue hasta el aterrizaje, requiriéndose diversos tipos de RNP para diversas fases del vuelo. Por ejemplo, puede ser que el tipo de RNP para el despegue y el aterrizaje sea muy riguroso mientras que para la fase en ruta sea menos exigente.

2.3.5 En los Capítulos 3 y 4 se proporciona un análisis de los tipos de RNP y de su aplicación al espacio aéreo.

### Relación entre la RNP y los mínimos de separación

2.3.6 La RNP es un requisito de navegación y constituye solamente uno de los factores que han de utilizarse para determinar los mínimos de separación requeridos. La RNP por

sí sola no puede, y no debe, implicar ni expresar ninguna norma de separación ni ninguna distancia mínima de separación. Antes de que cualquier Estado adopte una decisión respecto a establecer distancias de separación en ruta y distancias mínimas de separación de aeronaves, tal Estado debe también tener en cuenta la infraestructura del espacio aéreo, en la que están incluidos los aspectos de vigilancia y de comunicaciones. Además, el Estado debe tener en cuenta otros parámetros tales como la capacidad de intervención, la capacidad física, la estructura del espacio aéreo y el índice de ocupación o de frecuencia de cruces (exposición).\*\* El Grupo de expertos RGCSF está elaborando métodos generales para determinar las distancias mínimas de separación.

2.3.7 La RNP es un parámetro fundamental para determinar normas seguras de separación. En la Figura 2-1 se representan gráficamente las categorías amplias de parámetros fundamentales que han de considerarse cuando se proyecta incorporar modificaciones de las normas de separación. En la Figura 2-1 se muestra en términos generales que el riesgo de colisión es una función de la performance de navegación, del riesgo a que se exponen las aeronaves, y de la posibilidad de intervención del sistema del espacio aéreo para impedir que haya una colisión o mantener un nivel aceptable de performance de navegación. Un aumento del tránsito en un determinado espacio aéreo puede llevar a que los planificadores del espacio aéreo prevean una modificación en la utilización de dicho espacio aéreo (p.ej., mínimos de separación, configuración de las rutas) al mismo tiempo que se mantiene un nivel aceptable de riesgos. En el análisis de riesgo de colisión, este nivel aceptable de riesgo se denomina nivel perseguido de seguridad (TLS). Pueden utilizarse otras unidades de medida para diversos tipos de análisis. Una vez determinados los criterios de separación y el TLS, puede establecerse el nivel mínimo de performance para los parámetros de navegación del sistema del espacio aéreo, así como para los parámetros de intervención.

## 2.4 PERFORMANCE DE LAS AERONAVES

2.4.1 El concepto RNP se basa en la precisión prevista de performance de la navegación del conjunto de aeronaves que utilizan el espacio aéreo. Este concepto impone a su vez exigencias en cada una de las aeronaves, en los fabricantes de aeronaves y en los explotadores de aeronaves, respecto a lograr una performance de navegación requerida para una parte del espacio aéreo, con un determinado tipo de RNP

\* No se trata de presentar una lista completa de ejemplos sino sencillamente una muestra limitada de procedimientos de aplicación de la RNP.

\*\* Véase la Circular OACI 120 — Metodología de la determinación de los mínimos de separación que se aplican al espaciado entre derrotas paralelas en las estructuras de rutas ATS.

respecto a cada vuelo. El concepto RNP puede también exigir diversas capacidades funcionales de las aeronaves en diversos tipos de espacios aéreos RNP. Por ejemplo, en un espacio aéreo RNP con requisitos muy exigentes de precisión, puede que existan requisitos funcionales para la capacidad de desplazamiento paralelo, mientras que en un espacio aéreo RNP menos riguroso, puede solamente exigirse la capacidad de navegación entre puntos fijos.

2.4.2 En el Capítulo 5 se presentan los requisitos RNP en cuanto a las aeronaves.

### 2.5 DISPOSICIONES RESPECTO A SERVICIOS RNP

2.5.1 Puesto que se define la RNP mediante una declaración de la precisión de performance de navegación, existe la obligación por parte del Estado y por parte de los explotadores de aeronaves de proporcionar el equipo necesario

para que se logre la precisión correspondiente a la performance de navegación requerida.

2.5.2 El Estado debe asegurarse de que se proporcionan en una determinada parte del espacio aéreo los servicios necesarios (es decir, de comunicaciones, de navegación y de vigilancia [CNS] para mantener una separación segura respecto a un conjunto determinado de normas de separación. Los explotadores de aeronaves (y el Estado de matrícula) deben a su vez asegurar que las aeronaves previstas para efectuar operaciones en un espacio aéreo con una RNP especificada, están dotadas de equipo con el que pueda lograrse la performance de navegación requerida. Debe señalarse que el cumplimiento de los requisitos RNP puede lograrse de muy diversas maneras y que no se imponen restricciones ni al Estado ni a los explotadores de aeronaves en cuanto al modo en que pueda realizarse la RNP, siempre que demuestren que los requisitos pueden satisfacerse.

2.5.3 En el Capítulo 6 se hace una exposición de las operaciones RNP.

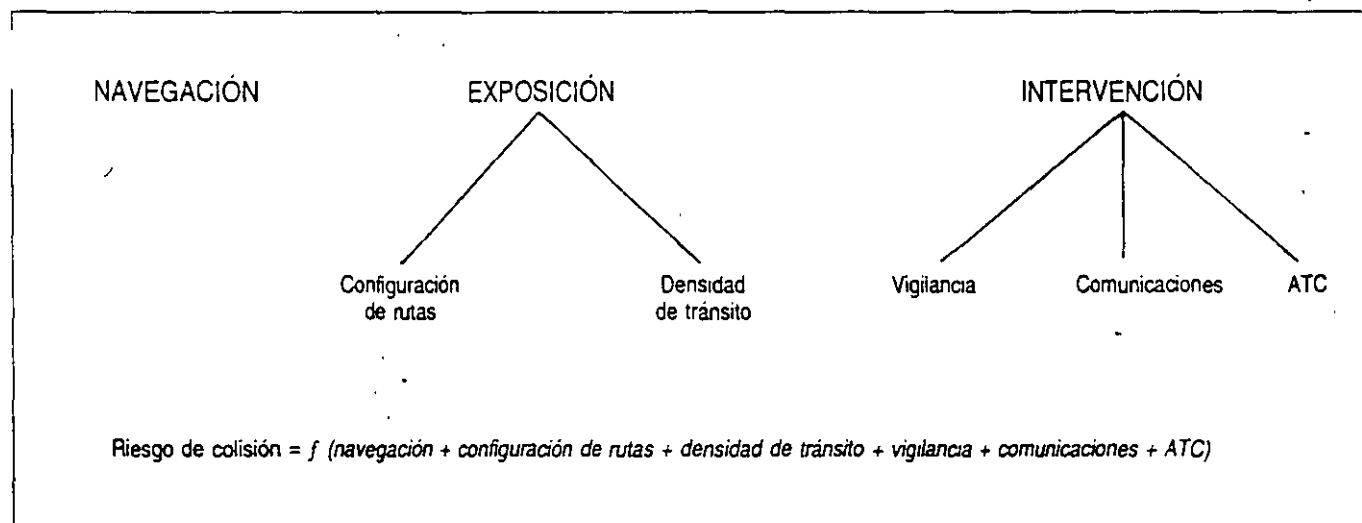


Figura 2-1. Características del espacio aéreo que influyen en las normas de separación

## Capítulo 3

# DISPOSICIONES GENERALES EN MATERIA DE PERFORMANCE DE NAVEGACIÓN REQUERIDA

### 3.1 GENERALIDADES

La puesta en práctica de la RNP permite mejorar la capacidad y eficiencia del sistema ATS al mismo tiempo que se mantiene o se mejora la seguridad establecida del sistema. Se elaboraron los diversos tipos de RNP para proporcionar niveles conocidos de precisión de navegación y para dar apoyo a los planes de desarrollo de diseños del espacio aéreo, procedimientos de control de tránsito aéreo y procedimientos operacionales. Los Estados deben determinar y hacer conocer los procedimientos por los que puede satisfacerse la performance dentro del espacio aéreo designado.

### 3.2 PROBABILIDAD DE CONFINAMIENTO

3.2.1 Se establecen los tipos de RNP para operaciones en ruta de conformidad con la precisión de performance de la navegación en el plano horizontal, es decir, la determinación de la posición en sentido lateral y en sentido longitudinal. Para facilitar el uso de la RNP en la planificación del espacio aéreo, se expresa esta precisión como un solo parámetro — el valor de confinamiento. El valor de confinamiento es la distancia desde la posición prevista dentro de la cual se encontrarían los vuelos, por los menos durante el 95% del tiempo total de vuelo. No es posible expresar cuantitativamente la distancia máxima a la que el tráfico puede probablemente desviarse más allá de este espacio aéreo definido.

3.2.2 El 95% de las desviaciones está confinado dentro de una configuración aproximadamente elíptica. Sin embargo, para simplificar la aplicación de la RNP a la planificación del espacio aéreo, puede considerarse que las desviaciones están confinadas dentro de un círculo con centro en la posición deseada de la aeronave. Por ejemplo, si la precisión de un tipo de RNP es de 1.85 km (1 NM) se supone que el 95% del tiempo total de vuelo la aeronave se mantendría en una posición a una distancia máxima de 1.85 km (1 NM), respecto a la posición autorizada por el control de tránsito aéreo (ATC).

3.2.3 Actualmente no se toma en consideración el tiempo, ni la navegación en sentido vertical, para fines de establecer los tipos de RNP correspondientes a las operaciones en ruta. La navegación en ruta, en el plano vertical, se basará en la altimetría barométrica durante un futuro previsible. Si

estos aspectos se modifican, puede ser necesario que para establecer los criterios de clasificación, haya de tenerse en cuenta la performance en el plano vertical.

### 3.3 TIPOS DE RNP

#### Generalidades

3.3.1 Para simplificar los tipos de RNP y para que los planificadores del espacio aéreo, los fabricantes de aeronaves, y los explotadores comprendan claramente la precisión requerida, se especifica el tipo de RNP mediante el valor de precisión asociado con el espacio aéreo RNP. Como ejemplo, el RNP 1 tiene una precisión de performance de navegación de 1.85 km (1.0 NM), es decir, dentro del espacio aéreo designado, la performance de navegación del conjunto de aeronaves es de 1.85 km (1.0 NM) en base a un confinamiento del 95%.

#### Tipos de RNP

3.3.2 En la Tabla 3-1 se especifican cuatro tipos de RNP que son necesarios para aplicaciones generales de operaciones en ruta. Estos RNP son 1, 4, 12.6 y 20 que representan precisiones de más o menos 1.85 km (1.0 NM), de 7.4 km (4.0 NM), de 23.3 km (12.6 NM) y de 37 km (20 NM). En el Apéndice B se explican los motivos para la selección de estos valores de RNP.

3.3.3 Se prevé que el tipo RNP 1 apoye las operaciones más eficaces en ruta ATS proporcionando la más precisa información de posición y que mediante el uso de la navegación RNAV, permita la máxima flexibilidad en el encaminamiento, en los cambios de encaminamiento, y en la respuesta en tiempo real a las necesidades del sistema. Esta clasificación proporciona también el apoyo más eficaz a las operaciones, procedimientos y gestión del espacio aéreo para la transición hacia el aeródromo, y desde el aeródromo hacia la ruta ATS requerida.

3.3.4 El tipo RNP 4 sirve de apoyo al diseño de rutas ATS y del espacio aéreo basándose en la distancia limitada entre las ayudas NavAids. Este tipo de RNP está normalmente asociado con el espacio aéreo continental.

Tabla 3-1. Tipos de RNP — aplicación general

	Tipo de RNP			
	1	4	12.6	20
<i>Precisión</i>				
95% respecto a la posición en el espacio aéreo designado	±1.85 km (±1.0 NM)	±7.4 km (±4.0 NM)	±23.3 km (±12.6 NM)	±37 km (±20.0 NM)

3.3.5 El tipo RNP 12.6 presta apoyo a un encaminamiento de limitada optimización en zonas en las que existe un nivel escaso de instalaciones para la navegación.

3.3.6 Mediante el RNP 20 se describe la capacidad mínima que se considera aceptable en apoyo de operaciones en ruta ATS. Se prevé que todas las aeronaves satisfagan en todo momento este nivel mínimo de performance, en cualquier espacio aéreo controlado. No se implantarán espacios aéreos, operaciones o procedimientos que se basen en capacidades inferiores a las que proporciona el tipo RNP 20, excepto en circunstancias especiales.

3.3.7 Serían necesarios otros tipos de RNP más exigentes para operaciones en las cercanías de la mayoría de los aeródromos, es decir durante la transición entre el aeródromo y la ruta ATS. Se está evaluando en la OACI la posibilidad de ampliar el concepto RNP a operaciones de terminal.

3.3.8 En algunos Estados puede ser necesario poner en práctica la RNP 5, durante un período provisional, como tipo derivado de RNP 4, para que con el equipo actual de navegación puedan continuar las operaciones sin modificación de las actuales estructuras de rutas.

3.3.9 Debe tenerse en cuenta el hecho de que en algunos Estados, en los que la precisión de la navegación que actualmente logra la flota principal de aeronaves excede de los

requisitos correspondientes a RNP 4 y en los que se usan sistemas independientes de vigilancia radar para el movimiento de las aeronaves, continuará utilizándose un corredor con una anchura de ±5 km (±2.7 NM).

**Calendario para la puesta en práctica de la RNP**

3.3.10 El medio primario para lograr la RNP consiste en utilizar el equipo RNAV que ya existe en muchas partes. Muchos Estados y regiones están obteniendo considerable experiencia en aspectos tales de las operaciones RNAV como las aprobaciones de la aeronavegabilidad y de las operaciones, la planificación del espacio aéreo, los requisitos de separación entre aeronaves y entre rutas, las técnicas de los usuarios, la capacitación, la publicidad y el intercambio de información. Además, se han seleccionado los tipos de RNP 4, RNP 12.6 y RNP 20 atendiendo a la precisión de la navegación que actualmente se logra en diversas regiones y, por consiguiente, estos tipos pueden fácilmente implantarse. Sin embargo, la explotación a fondo del tipo RNP 1 exigirá que un elevado porcentaje del conjunto de aeronaves esté equipado para satisfacer tal nivel de performance. Por consiguiente, será necesario que algunos explotadores inviertan en nuevo equipo para aprovecharse plenamente de los beneficios que ofrecen las operaciones con RNP 1. Por estos motivos, se considera que es necesaria y viable una puesta en práctica gradual de la RNP.

## Capítulo 4

# REQUISITOS EN CUANTO AL ESPACIO AÉREO

### 4.1 ESPACIO AÉREO AL QUE SE APLICA LA RNP

La RNP podría aplicarse a todas las fases del vuelo. Los cuatro tipos de RNP especificados en 3.3.2 a 3.3.9 se elaboraron con fines de aplicación general. Se prevé que serán necesarios valores más rigurosos de RNP para operaciones en las cercanías de la mayoría de los aeródromos. La OACI está en el proceso de evaluar la posibilidad de definir tipos de RNP que sean aplicables a operaciones de terminal, incluidas las fases del vuelo de aproximación, aterrizaje y salida.

### 4.2 CARACTERÍSTICAS DEL ESPACIO AÉREO

#### Rutas RNP

4.2.1 La RNP puede aplicarse a las rutas ATS, incluidas las rutas fijas y las rutas contingentes.

#### *Rutas RNP fijas*

4.2.2 Las rutas RNP fijas son rutas ATS permanentes y publicadas que pueden planificarse para vuelos de aeronaves que han recibido la aprobación para un determinado tipo de RNP. No se excluye la posibilidad de que haya restricciones en cuanto a las horas de disponibilidad y a los niveles de vuelo.

4.2.3 Las rutas RNP fijas deberían empezar y terminar en puntos de notificación promulgados, no necesariamente definidos mediante instalaciones terrestres. Deberían establecerse puntos de recorrido a lo largo de rutas RNP fijas según lo estipulado por los Estados.

#### *Rutas RNP contingentes*

4.2.4 Las rutas RNP contingentes son rutas ATS publicadas que pueden planificarse para vuelos y que pueden ponerse a disposición de las aeronaves que hayan recibido la aprobación para un determinado tipo de RNP durante períodos limitados de tiempo (horas, días, estaciones). También pueden establecerse dichas rutas para satisfacer requisitos poco habituales, de carácter temporal, que puedan producirse con poco tiempo de aviso.

4.2.5 La orientación proporcionada en 4.2.3, en relación con los puntos de recorrido para las rutas RNP fijas, puede también aplicarse a las rutas RNP contingentes.

#### Áreas RNP

4.2.6 La RNP puede aplicarse a un área o a un volumen del espacio aéreo o a cualquier parte del espacio aéreo de dimensiones definidas. Dentro de un área RNP definida las autoridades pueden optar por exigir la aprobación de un determinado tipo de RNP para las rutas ATS.

4.2.7 Además, las derrotas (es decir derrotas aleatorias) no publicadas, siempre que sean aprobadas por el Estado, o por la autoridad ATC pertinente, pueden planificarse dentro de áreas RNP designadas y publicadas. Dichas derrotas pueden permitirse en los siguientes casos:

- a) en regiones de información de vuelo o regiones superiores de información de vuelo especificadas o en aquellas áreas que se definen lateralmente mediante coordenadas geográficas; y
- b) durante períodos especificados; y, o
- c) dentro de bandas de niveles de vuelo especificadas.

#### Sistema de coordenadas RNP

4.2.8 A medida que evolucionan los sistemas de navegación pasando de la referencia a estación a la referencia a tierra, asume importancia el punto de referencia geodésico utilizado para determinar la posición real.

4.2.9 Se utilizan los puntos de referencia geodésicos para establecer con precisión la posición y la elevación de los accidentes geográficos sobre la superficie de la tierra. Estos puntos de referencia se establecen a diversos niveles de administración (internacional, nacional y local), y constituyen la base jurídica en todos los aspectos de determinación de la posición y de navegación. Actualmente, se utilizan en todo el mundo muchos sistemas de referencia geodésica lo que lleva a diversas definiciones de la latitud y de la longitud del mismo punto terrestre, según el sistema que se esté utilizando. En algunas áreas del mundo se observan diferencias de varios centenares de metros y las repercusiones en las aeronaves que vuelan en condiciones RNP son tales que no siempre pueden

tolerarse errores de tal magnitud, especialmente en las áreas principales. Además, pueden surgir también otros problemas en operaciones en ruta, por ejemplo, cuando se efectúa la transferencia de aeronaves entre centros de control de área de países limítrofes, en los que se utilizan diversos puntos de referencia geodésica. Análogamente, en el soporte lógico de los sistemas de gestión de vuelo de las aeronaves (FMS) podría aplicarse un punto de referencia geodésico distinto al utilizado para localizar las ayudas de la navegación de base terrestre (por ejemplo el DME), o las ayudas para la navegación por referencia a tierra tales como el Sistema mundial de navegación por satélite (GNSS). Los ensayos en vuelo han atribuido errores importantes al uso de diversos puntos de referencia geodésicos en ambientes simulados RNP de elevada precisión.

4.2.10 La OACI ha seleccionado el sistema geodésico mundial (WGS)-84, como sistema común de referencia geodésica mundial ya que existe la necesidad de:

- a) convertir las coordenadas de posición clave del aeropuerto y de las ayudas para la navegación de base terrestre a un sistema de referencia geodésica común;
- b) asegurarse de que se efectúa un levantamiento topográfico de todos estos lugares respecto a una norma común que proporcione una precisión óptima, tal como la obtenida mediante los procedimientos de levantamiento topográfico GNSS; y
- c) asegurarse de que en todo el soporte lógico FMS se aplica un sistema común de referencia geodésica.

4.2.11 Recae en los Estados la responsabilidad definitiva respecto a la precisión de los datos de posición para usos aeronáuticos; sin embargo, será necesario un esfuerzo común para poner en práctica el WGS-84 en todo el mundo antes de que pueda adoptarse para la navegación aérea cualquiera de los sistemas de navegación por referencia a tierra.

### 4.3 REQUISITOS EN CUANTO AL ESPACIO AÉREO

#### Precisión de performance de la navegación

##### *Performance normal*

4.3.1 Según lo previsto, la RNP proporcionará las características de un espacio aéreo determinado con una indicación de la precisión de performance de navegación (tipo de RNP) que ha de alcanzarse en el espacio aéreo durante las operaciones normales de vuelo.

4.3.2 Si es necesario que intervenga el ATC para evitar que una aeronave se desvíe de la ruta autorizada, p.ej. debido a fallos de los sistemas de aeronave, a condiciones fuera de

tolerancia de las Navaid o a errores crasos debería suministrarse ayuda suficiente a fin de permitir que la aeronave vuelva al eje de la ruta y, o, continúe hasta el punto de recorrido siguiente.

#### Procedimientos ATS en el espacio aéreo RNP

##### *Procedimientos normales*

4.3.3 En general los procedimientos ATS en el espacio aéreo RNP serán los mismos que los procedimientos ATS actualmente previstos para utilizar mejor la capacidad RNAV.

##### *Procedimientos especiales*

4.3.4 Puede ser que en el espacio aéreo RNP existan distintos requisitos funcionales para distintos tipos de RNP. En 5.2 se presentan tales requisitos funcionales. Por ejemplo, un requisito funcional de un espacio aéreo de tipo RNP puede ser la capacidad de volar desviándose del eje de ruta previsto una determinada distancia; esto se conoce como desviación paralela. Esta función puede ser un instrumento muy útil para el ATC tanto en situaciones estratégicas como tácticas. En una situación táctica puede aplicarse un desplazamiento en lugar de un encaminamiento vectorial radar para algunos casos, por ejemplo para facilitar un ascenso o descenso ininterrumpido. En una situación estratégica, puede aplicarse un desplazamiento sistemático como medio para aumentar la capacidad del espacio aéreo sin perjuicio de la seguridad. Puede ser que en los acuerdos regionales o en los acuerdos entre dependencias ATS hayan de incluirse detalles tales como la distancia de desplazamiento, el valor de performance de viraje, etc. En el 6.1.7 a 6.1.9 pueden consultarse otros detalles sobre las funciones de desplazamiento paralelo.

##### *Procedimientos para el tránsito entre diversos tipos de espacio aéreo RNP*

4.3.5 Puesto que existe una serie de tipos de RNP y de aplicaciones posibles, debe prestarse particular atención al desarrollo de procedimientos de tránsito entre diversos tipos de espacio aéreo RNP. Esta atención no debe limitarse al método de realizar esta operación de tránsito. Todo esto exige una planificación detallada en la que se incluyan entre otros los siguientes elementos:

- a) determinar los puntos concretos a los que se dirija el tránsito al pasar de un espacio aéreo de tipo RNP con una precisión más rigurosa a un espacio aéreo de tipo RNP con una precisión menos rigurosa;
- b) poner a prueba el plan mediante simulaciones, una vez formulados los planes para el tránsito;
- c) conceder la autorización solamente a las aeronaves que hayan obtenido la aprobación para operaciones en el espacio aéreo de determinado tipo RNP; y

d) establecer la coordinación de todos los interesados para llegar en último término a un acuerdo regional en el que se incluyan los detalles de las responsabilidades requeridas.

***Procedimientos de contingencia de las tripulaciones de vuelo dentro del espacio aéreo RNP***

4.3.6 La tripulación de vuelo debe notificar al ATC las contingencias (fallo de equipo, condiciones meteorológicas) que influyan en su capacidad de mantener la precisión de navegación, y debe manifestar sus intenciones, participar en la coordinación de un plan de acción y obtener una autorización revisada del ATC.

4.3.7 Si la tripulación de vuelo, antes de que la aeronave se desvíe de la trayectoria de vuelo asignada, no puede notificar el hecho al ATC ni obtener la autorización del ATC,

debería seguir los procedimientos establecidos de contingencia correspondientes a la región de operaciones y obtener tan pronto como sea posible la autorización del ATC.

***Procedimientos de contingencia ATC***

4.3.8 El ATC, debería ser consciente de la imposibilidad de que determinada aeronave mantenga la precisión de performance de navegación correspondiente al espacio aéreo RNP que se esté utilizando.

4.3.9 Los controladores de tránsito aéreo deben tomar medidas apropiadas para proporcionar una mayor separación, así como para establecer la coordinación con otras dependencias ATC según corresponda, cuando reciban información de que el vuelo no puede mantener la precisión requerida de performance de navegación.

## Capítulo 5

# REQUISITOS EN CUANTO A LAS AERONAVES

### 5.1 GENERALIDADES

5.1.1 Se dispone actualmente de muy diversos tipos de equipo de navegación que satisfarán los requisitos de uno o más tipos de RNP. Este equipo abarca una amplia gama de posibilidades y de complejidad. Los sistemas de navegación VOR/DME y los sistemas sencillos de computadoras RNAV que pueden solamente aceptar datos de entrada del VOR/DME son el equipo menos complejo. Pueden también considerarse para la aprobación de su utilización tipos de equipo RNAV algo menos complejos que utilizan datos de entrada del sistema de navegación inercial (INS), OMEGA, o LORAN-C, a condición de que se apliquen procedimientos operacionales especiales o puntos adicionales de referencia para la navegación a fin de asegurarse de que se mantiene la precisión requerida de navegación. Se considera que el equipo más moderno y complejo es el que contiene sistemas RNAV y FMS modernos de los que están dotadas un número creciente de aeronaves.

1.2 El FMS es un sistema integrado que consta de sensor, receptor y computadora de a bordo, con base de datos tanto para la navegación como para la performance de la aeronave que proporcionan guía óptima de performance a una pantalla de presentación y a un sistema automático de mando de vuelo, aunque el término FMS se utiliza frecuentemente para describir cualquiera de los sistemas que proporcionan alguna clase de asesoramiento o la capacidad de mando directo para la navegación, (en sentido lateral y/o vertical), gestión de combustible, planificación de rutas, etc. Pueden describirse también estos sistemas como sistemas de gestión de performance, sistemas de gestión de mando de vuelo y sistemas de gestión de la navegación. En este texto de orientación el término FMS se usa en sentido genérico y no se pretende que implique ningún tipo concreto de sistemas. Es esencial tomar nota de que la responsabilidad de los explotadores consiste en determinar el alcance de la base de datos utilizada en un FMS, pero que el nivel de precisión y la amplitud de las fuentes de las que dependen las bases de datos son responsabilidad de los Estados. Los proveedores de bases de datos tienen la responsabilidad de garantizar que éstas reproducen con precisión las fuentes proporcionadas por los Estados.

5.1.3 Existen también computadoras de navegación que pueden incorporarse como nuevo equipo a las aeronaves actuales. Estas pueden funcionar en combinación con los sistemas ILS, OMEGA, LORAN-C o simplemente el VOR/ME junto a datos de a bordo (rumbo, velocidad aerodinámica

verdadera, etc). Incluso con estos últimos datos de entrada únicamente, el sistema puede funcionar con precisión mientras la aeronave permanezca dentro de la cobertura adecuada del DME: algunas lagunas de cobertura del DME y algunas lagunas de precisión son aceptables dentro de límites predeterminados puesto que el sistema es capaz de funcionar en "modo de memoria" durante períodos limitados.

5.1.4 El equipo de navegación de a bordo comprende:

- a) sistemas que utilizan ayudas externas para la navegación tales como VOR/DME, DME/DME, GNSS, OMEGA/ muy baja frecuencia (VLF), LORAN-C; y
- b) sistemas autónomos, por ejemplo INS, o los sistemas de referencia inercial.

5.1.5 La aprobación de la aeronavegabilidad y de las operaciones respecto a este equipo incumbirá a la administración de aviación nacional interesada. También puede ser necesario que los Estados enmienden los reglamentos para que se indique en ellos la utilización de equipo aprobado RNAV y FMS respecto a operaciones en el espacio aéreo RNP.

### 5.2 REQUISITOS FUNCIONALES

#### Generalidades

5.2.1 El equipo de navegación debería tener capacidad para que las aeronaves vuelen conformándose a las restricciones de los servicios de tránsito aéreo y con la precisión requerida en un tipo promulgado RNP de espacio aéreo. Se prevé que la mayoría de las aeronaves que efectúen operaciones en el entorno RNP del futuro transporten algún tipo de equipo RNAV. El transporte a bordo de equipo RNAV puede constituir un requisito en algunas regiones o Estados. Por consiguiente, en este texto de orientación se hace frecuentemente referencia al uso de equipo RNAV.

#### Funciones del sistema

5.2.2 Con el fin de ofrecer a la tripulación de vuelo el control de las funciones de guía lateral requeridas, el equipo RNAV debe tener la capacidad de desempeñar por lo menos las siguientes funciones:



- a) presentar en pantalla la posición actual en:
- 1) latitud/longitud; o
  - 2) distancia/marcación hasta el punto de recorrido seleccionado;
- b) seleccionar o introducir el plan de vuelo requerido utilizando la pantalla de control (CDU);
- c) revisar y modificar los datos de navegación de una parte cualquiera del plan de vuelo durante cualquier etapa del vuelo y almacenar datos suficientes para llevar a cabo el plan de vuelo activo;
- d) revisar, establecer, modificar o verificar el plan de vuelo durante el vuelo, sin que se vean afectados los datos de salida de guía;
- e) ejecutar un plan de vuelo, modificado solamente después de que la tripulación de vuelo haya intervenido activamente;
- f) establecer y verificar un plan de vuelo de alternativa, si lo hubiera, sin que se vea afectado el plan de vuelo activo;
- g) establecer un plan de vuelo, ya sea mediante identificador, o seleccionando distintos puntos de recorrido a partir de la base de datos y ante la creación de puntos de recorrido definidos por parámetros de latitud/longitud, marcación/distancia o por otros parámetros;
- h) establecer planes de vuelo que enlazan rutas o tramos de ruta;
- i) permitir que pueda verificarse o ajustarse la posición presentada en pantalla;
- j) disponer el orden automático de paso por puntos de recorrido previéndose los virajes. Debe también disponerse este orden de paso por medios manuales para que pueda realizarse el sobrevuelo y el regreso a los puntos de recorrido;
- k) presentar en la pantalla CDU el error en sentido perpendicular a la derrota;
- l) proporcionar en la pantalla CDU el tiempo hasta puntos de recorrido;
- m) ejecutar una autorización directa hasta cualquier punto de recorrido;
- n) volar por derrotas paralelas a la distancia de desplazamiento seleccionada; indicándose claramente el modo de desplazamiento;
- o) efectuar la eliminación de las radio actualizaciones previas;
- p) llevar a cabo los procedimientos de espera RNAV (si están definidos); y
- q) poner a disposición de la tripulación las estimaciones en cuanto a incertidumbre de posición, ya sea a título de factor de calidad o por referencia a diferencias del sensor respecto a la posición calculada;
- r) conformarse al sistema de referencia geodésica WGS-84 (a partir de 1998); y
- s) indicar fallos del equipo de navegación.

### Funciones deseadas

5.2.3 Puede que sea necesario elaborar para el espacio aéreo de elevada densidad de tránsito determinadas funciones RNAV y proporcionar la capacidad operacional necesaria para satisfacer el aumento de la demanda. Al mismo tiempo que se atiende a las necesidades regionales, deben elaborarse estas funciones en estrecha colaboración con los fabricantes, los usuarios y los proveedores de los servicios ATC, y considerando el estado actual y previsto de la tecnología moderna. En tales acuerdos de colaboración debe procurarse gradualmente la armonización en todo el mundo del uso operacional del equipo RNAV. Entre las funciones RNAV que se espera tengan aplicación a la RNP están incluidas las siguientes:

- a) generar datos de salida para señales de mando dirigidas al piloto automático/director de vuelo;
- b) presentar en pantalla y notificar datos de posición en 3D y en 4D;
- c) indicar el ángulo de la derrota;
- d) presentar en pantalla datos de referencia de puntos de recorrido en 3D y en 4D;
- e) proporcionar por lo menos 10 puntos de recorrido activos en ruta;
- f) proporcionar por lo menos 20 puntos de recorrido activos de terminal/aproximación;
- g) indicar la aproximación a puntos de recorrido mediante luces de alerta y visualización;
- h) proporcionar medios automáticos de selección de las ayudas para la navegación (navaids), verificación de la integridad, y de anular o de cambiar la selección al verificar la credibilidad de los datos;
- i) cumplir con los requisitos en cuanto a la performance de virajes; y
- j) indicar la pérdida de la precisión o integridad requeridas de navegación y un anuncio adecuado de fallos respecto a los sistemas, incluidos los sensores pertinentes

## Performance de los sistemas

### Requisitos de precisión de la navegación

5.2.4 Puede ser que los Estados den la aprobación al equipo RNAV y FMS con los correspondientes sensores para la navegación en un espacio aéreo RNP designado. En algunos Estados se están tomando medidas para enmendar la legislación nacional a fin de permitir el uso de equipo RNAV y FMS adecuadamente instalado, aprobado y mantenido para estos fines.

### Confianza de la navegación

5.2.5 El diseño del sistema debería ser tal que puedan rechazarse los datos de entrada incorrectos antes de que se introduzcan errores en el cálculo de la posición; esto debería lograrse mediante la utilización de información redundante que aumente la fiabilidad de los datos de salida de guía con un mínimo de intervención de la tripulación. Además, el nivel de rechazo de la instalación debe corresponder a las exigencias del espacio aéreo, y los fabricantes deberían introducir tantos medios como sea posible para verificar la coherencia de la información, a fin de proteger los filtros y los datos de salida de guía.

### Performance en cuanto a virajes

5.2.6 Cuando la demanda de tránsito exija proporcionar una red densa de rutas RNP 1 (por ejemplo, rutas paralelas estrechamente espaciadas), los proveedores ATS pueden exigir una performance de viraje controlada para asegurarse de que las aeronaves permanecen dentro de las tolerancias permisibles de las rutas RNP 1 durante maniobras de virajes de 30° a 90°.

5.2.7 Cuando en una ruta ATS que haya sido notificada exclusivamente para operaciones RNP 1 se incluye el requisito de virajes controlados, esto debería indicarse mediante un sufijo alfabético añadido al designador de ruta ATS, de conformidad con el Anexo 11, Apéndice 1, 2.4. Debería indicarse que los radios de viraje controlado especificados en el Anexo 11 se basan en las recomendaciones de los fabricantes de la aeronave, obtenidas mediante estudios en los que se tienen en cuenta las capacidades, la máxima velocidad en tierra y el ángulo máximo de inclinación lateral a diversos niveles de vuelo y para diversos tipos de aeronaves.

## 5.3 DISEÑO DEL SISTEMA, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

5.3.1 Cada una de las aeronaves debería transportar equipo de navegación que le permita proseguir de conformidad con su plan operacional de vuelo y con los requisitos de los servicios de tránsito aéreo.

5.3.2 El diseño y fabricación del equipo de navegación debería conformarse a las normas de diseño adecuadas, incluidas las variantes nacionales.

5.3.3 El equipo de navegación debería instalarse de conformidad con las instrucciones y limitaciones proporcionadas por el fabricante del equipo.

5.3.4 Estas instrucciones y limitaciones deben incluir, sin limitarse a estos datos, el emplazamiento de los mandos y de las visualizaciones del sistema, indicaciones de avisos y de alertas, fuentes de energía, protección frente a fallos, condiciones ambientales, interferencia electromagnética, protección frente a presión estática, carga y descarga de presión estática y sistemas antihielo.

## 5.4 APROBACIÓN DE LA AERONAVEGABILIDAD DEL EQUIPO RNAV/FMS

5.4.1 Puesto que las instalaciones RNAV y FMS de las aeronaves están sujetas a la aprobación de la aeronavegabilidad por parte de la administración nacional de aviación interesada, no resulta práctico reseñar detalladamente los procedimientos adoptados por los diversos Estados. En términos generales la información presentada en apoyo de una solicitud de aprobación tendrá que ser suficientemente completa como para que pueda hacerse una evaluación de si el equipo o el sistema son aceptables con miras a su utilización prevista. Además, deberán aportarse pruebas de que se han realizado ensayos demostrando la precisión de performance de navegación correspondiente al tipo de RNP. Por otra parte, cuando el sistema haya de utilizarse en áreas designadas en las que se requiera la aprobación de la aeronavegabilidad, en la información deberían indicarse de manera adecuada los aspectos pertinentes a la aeronavegabilidad que repercutan en la capacidad de la aeronave para satisfacer los requisitos operacionales de los vuelos en el espacio aéreo designado.

5.4.2 Tendrá que concederse la certificación del equipo RNAV apropiado, respecto a todas las fases del vuelo. En los correspondientes textos nacionales o regionales puede consultarse información específica respecto a los diversos sensores que proporcionan los datos de entrada del equipo RNAV. En la certificación inicial del equipo RNAV se requiere una evaluación técnica para verificar criterios tales como la precisión, las indicaciones de fallo y las características ambientales que correspondan al tipo pertinente de RNP. Si el mismo equipo RNAV se instala subsiguientemente en otras aeronaves esto puede exigir una nueva evaluación técnica, dependiendo del grado de integración del sistema en los otros sistemas de aeronaves. Será necesaria una nueva evaluación técnica para aprobar cualquier modificación de tipo RNP.

5.4.3 Aunque la precisión de performance de la navegación constituye la base para definir un tipo de RNP, los otros parámetros de performance de navegación tales como la

disponibilidad, cobertura, fiabilidad, régimen de puntos de referencia, dimensionalidad de puntos de referencia, capacidad, tiempo hasta la recuperación e integridad, determinan la utilización y las limitaciones de cada uno de los sistemas de navegación, tanto terrestres como de a bordo y caracterizan los medios por los cuales los usuarios obtienen información de navegación en un espacio aéreo de tipo RNP, según lo descrito en el Apéndice C. Los organismos técnicos competentes establecerán cuantitativamente los valores numéricos, de estos parámetros.

## 5.5 APROBACIÓN DEL EQUIPO RNAV/FMS PARA LAS OPERACIONES

5.5.1 El Estado del explotador será la autoridad responsable de la aprobación de operaciones de vuelo en los diversos espacios aéreos de tipo RNP. La autoridad que conceda la aprobación se asegurará de que la aeronave tiene el equipo instalado y que funciona de una forma que corresponda a la aprobación de tipo RNP que se solicita. En el manual destinado a los usuarios del equipo también deberían incluirse todas las limitaciones en materia de aeronavegabilidad inherentes a la utilización del mismo. Deberían considerarse al menos los siguientes aspectos:

- a) las limitaciones de la precisión relacionadas con el emplazamiento geográfico, la disponibilidad de instalaciones de radionavegación, o los modos de reversión (p.ej., sintonización manual u operaciones de navegación a estima DR);
- b) el estado requerido del sistema para cumplir con los requisitos operacionales publicados (tipo de RNP);
- c) las limitaciones asociadas con el uso de rutas ATS definidas por VOR/DME, cuando el equipo RNAV o FMS no esté aprobado como medio primario de navegación;
- d) otras limitaciones, incluidas las relacionadas con diversas fases del vuelo, despegue, operaciones de terminal y aproximación;
- e) procedimientos esenciales de vigilancia; y
- f) las limitaciones y los procedimientos asociados a operaciones en condiciones anormales (p.ej., interrupción y reanudación del suministro de energía eléctrica, avisos del sistema, datos de performance con un motor inactivo), y lista maestra de equipo mínimo (MMEL).

5.5.2 La autoridad que concede la aprobación debe comprobar satisfactoriamente que los programas operacionales son adecuados. Deberían evaluarse los programas de instrucción y los manuales de operaciones.

5.5.3 La autoridad que concede la aprobación debe tener un elevado nivel de confianza de que el explotador puede mantener los niveles adecuados de RNP. Por lo menos deben satisfacerse los siguientes requisitos:

- a) debe concederse la aprobación a cada uno de los explotadores, así como a cada grupo y equipo de los tipos de aeronave (fabricante/modelo) utilizados por el explotador;
- b) debe demostrarse que cada grupo de los tipos de aeronave utilizados por el explotador es capaz de mantener la precisión de performance para la navegación que corresponde a la aprobación de tipo RNP solicitada;
- c) cada una de las aeronaves que transporte equipo RNAV/ sistemas gestión de vuelo debe recibir la aprobación de la aeronavegabilidad, de conformidad con 5.4, antes de que se considere la aprobación de sus operaciones. Las autoridades que conceden la aprobación para las operaciones deben evaluar los documentos de aeronavegabilidad de los grupos y equipo de los tipos de aeronave (fabricante/modelo). Se prevé que en la mayoría de los casos los documentos de aeronavegabilidad basten para que las autoridades tengan confianza en que se satisfarán los niveles requeridos de performance para la navegación. En algunos casos puede ser necesario que el explotador demuestre mediante ensayos en vuelo la capacidad para RNP del tipo de aeronave. Será necesario que las autoridades encargadas de la certificación elaboren los procedimientos que hayan de seguirse para otorgar la aprobación de las operaciones; y
- d) si la experiencia en servicio demuestra que no se satisfacen los requisitos de performance de navegación de un tipo particular de aeronave utilizado por el explotador, debe exigirse de éste que adopte las medidas necesarias para que la performance de navegación mejore hasta los niveles requeridos. Si no mejora la performance, debe retirarse de dicho explotador la aprobación para las operaciones de este tipo de aeronave. Si se observa que existen errores crasos de performance de navegación, debe retirarse inmediatamente la aprobación.

## 5.6 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

En el Apéndice D figura una lista de referencias, con ejemplos de reglamentos concretos correspondientes a operaciones RNAV, comprendidos los requisitos y los procedimientos que se siguen para aprobar el equipo.

## Capítulo 6

# OPERACIONES CON PERFORMANCE DE NAVEGACIÓN REQUERIDA

### 6.1 SUMINISTRO DE SERVICIOS DE NAVEGACIÓN

#### Obligaciones del Estado de servicio

##### *Generalidades*

6.1.1 El concepto de RNP está relacionado con la precisión de performance para la navegación que debe mantener una aeronave que realiza operaciones dentro de una región particular o a lo largo de determinada ruta. Puesto que los niveles requeridos de performance de navegación difieren de una región a otra, en función de la densidad de tránsito y de la complejidad del sistema de derrotas por el que se vuela, los Estados tienen la obligación de definir un tipo de RNP en el espacio aéreo para asegurar que las aeronaves navegan con el grado de precisión requerido para control del tránsito aéreo. Los Estados de servicio deben asegurarse de que se suministran suficientes navavids de que con ellas puede lograrse el tipo o tipos seleccionados de RNP y deben proporcionar la información pertinente a los explotadores. Por consiguiente, los proveedores de servicios de tránsito aéreo deben también tener en cuenta los parámetros indicados en el Apéndice C (es decir, disponibilidad, cobertura, fiabilidad, régimen de puntos de referencia, dimensionalidad de los puntos de referencia, capacidad, ambigüedad, tiempo hasta recuperación e integridad respecto a las ayudas de la navegación que proporcionen. En el Apéndice C se proporciona también la descripción de una diversidad de sistemas de navegación.

6.1.2 Los niveles de modernización del CNS son muy variados en todo el mundo. A su vez las mínimas de separación ATC que se apliquen para mantener una separación segura entre las aeronaves que realizan operaciones en una zona determinada dependen de la capacidad CNS en el espacio aéreo. Al establecer un espacio aéreo o ruta RNP, será necesario determinar los mínimos de separación o el mínimo de espacio aéreo protegido que correspondan. El Grupo de expertos RGCSF está elaborando métodos para la correlación del CNS, la densidad de tránsito y otros parámetros, con el fin de formular los mínimos de separación aplicables al espacio aéreo.

6.1.3 Deben determinarse y promulgarse en los documentos correspondientes nacionales y regionales, las

dimensiones en sentido lateral y en sentido vertical del espacio aéreo en el que se pongan en práctica los tipos de RNP. Cuando se defina un tipo de RNP para una ruta, deben definirse las dimensiones laterales respecto al eje de la ruta.

#### *ATC para espacio aéreo RNP*

##### *Generalidades*

6.1.4 Para definir el control ATC en el espacio aéreo RNP es necesario distinguir entre los siguientes elementos:

- a) rutas fijas y contingentes RNP;
- b) áreas RNP, incluidas derrotas aleatorias.

#### *ATC para rutas RNP fijas y contingentes*

6.1.5 Desde el punto de vista del ATC se considera que pueden seguir utilizándose las técnicas y equipos ATC actuales en las rutas ATS fijas y contingentes RNP. Es posible que se introduzcan derrotas paralelas muy poco espaciadas, o rutas muy cerca del espacio aéreo actualmente reservado para otros fines. En tales casos, tal vez sea necesario algún tipo de alerta para casos de desviaciones de la derrota o de conflictos.

#### *ATC para áreas RNP, incluidas las derrotas aleatorias*

6.1.6 En el caso de aplicar derrotas aleatorias en áreas RNP, será cada vez más necesario modificar el sistema ATC, dado que:

- a) en áreas con poca densidad de tránsito la amplitud de las modificaciones puede ser pequeña, pero habrá de tenerse en cuenta el procesamiento del plan de vuelo, la detección y la resolución de los conflictos;
- b) en áreas con mayor densidad de tránsito, los sistemas de computadora del ATC tendrán que aceptar y procesar los datos del plan de vuelo relativos a la navegación por rutas aleatorias (véase 4.2.7). Los controladores de tránsito aéreo habrán de tener la posibilidad de enmendar y actualizar fácilmente en el sistema de computadoras la

información pertinente sobre el plan de vuelo. Puede ser necesario disponer de la capacidad de predicción y de presentación en pantalla de posibles conflictos durante la etapa de planificación; y

- c) el control radar puede también exigir una función de alerta y de resolución de conflictos, incluida la presentación en pantalla seleccionable de la predicción de la derrota. Será necesario que el ATC cuente con un método para indicar la latitud y la longitud de los puntos importantes de cruce a lo largo de la derrota prevista. Esto puede presentarse en pantalla de forma sencilla en función de la posición respecto a una cuadrícula, o mediante la lectura automática de la latitud y de la longitud, o mediante un código de nombres.

#### *Uso de desplazamientos paralelos por parte del ATC*

6.1.7 Como instrumento táctico para solucionar problemas de separación, el ATC puede exigir que las aeronaves vuelen desplazándose una distancia especificada (desplazamiento paralelo) respecto al eje de ruta previsto. Se utilizaría este método en lugar de la guía vectorial radar.

6.1.8 Cuando se desee aprovechar la capacidad operacional de desplazamiento táctico en paralelo de aeronaves dotadas de RNAV, los controladores deben cerciorarse de que la aeronave dispone de la capacidad de desplazamiento como parte de su sistema RNAV. Los controladores deben aplicar también el mismo nivel de cautela que utilizarían en el caso de la guía vectorial radar. Aunque la ejecución de la maniobra y la navegación subsiguiente de la aeronave incumben al piloto, se requerirá también para dichas operaciones la vigilancia continua del ATC.

6.1.9 Al elegir los valores de desplazamiento es importante que estos sean compatibles con las mínimas de separación aprobadas. El valor elegido debería también dar un margen suficiente para que el controlador pueda intervenir en caso de desviaciones respecto a las derrotas autorizadas y dependerá también de la disponibilidad de que los sistemas tengan funciones tales como la alerta a corto plazo en caso de conflicto o la verificación automática del seguimiento de la derrota.

#### *Requisitos del plan de vuelo*

##### *Designador de ruta*

6.1.10 Las rutas RNP deberían tener un designador de ruta adecuado, de conformidad con las disposiciones del Anexo II. Además, debería incluirse después del número de ruta el tipo concreto de RNP que tenga aplicación a determinados tramos de ruta, rutas o regiones, p.ej., la designación de la ruta ATS A576 entre Auckland, Sydney, Curtin Bali y Singapur podría requerir la mención de una diversidad de tipos de RNP, tales como A576 (1), A576 (4), A576 (12.6), o A576 (20).

6.1.11 En un espacio aéreo tal como el del Atlántico septentrional, o en una zona designada para operaciones a lo largo de derrotas aleatorias, en las que probablemente tendría aplicación para todas las rutas el mismo tipo de RNP, pudiera ser preferible indicar el tipo correspondiente de RNP mediante una nota apropiada en una carta de navegación.

6.1.12 Con este procedimiento los pilotos y el personal del ATS podrían fácilmente identificar el tipo de RNP que corresponde a determinados tramos de ruta, rutas o regiones y se proporcionaría un grado suficiente de flexibilidad para que pudieran fácilmente enmendarse los tipos de RNP o introducirse nuevos tipos de RNP que pudieran seleccionarse en el futuro.

#### *Capacidad indicada de navegación*

6.1.13 Es fundamental que el ATS reciba información en el sentido de que un vuelo, que esté previsto para operaciones a lo largo de rutas RNP o a través de áreas RNP, dispone de la capacidad requerida de navegación. Los procedimientos y formatos apropiados figuran en los *Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Reglamento del aire y servicios de tránsito aéreo* (PANS-RAC, Doc 4444 de la OACI), Apéndice 2, Casilla 10.

#### *Incorporación de la RNP a una parte del espacio aéreo*

6.1.14 Para que los Estados y regiones puedan introducir la RNP progresivamente deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- a) disponibilidad de medios técnicos de cumplimiento, p.ej., equipamiento de las aeronaves e infraestructura terrestre;
- b) antelación necesaria para instalar los elementos de los sistemas de a bordo;
- c) disponibilidad de los niveles apropiados de comunicaciones y de vigilancia;
- d) antelación adecuada para la elaboración y puesta en práctica de los planes regionales de transición;
- e) situación actual respecto a estudios, investigación y desarrollo de niveles más exigentes de RNP;
- f) existencia de normas y procedimientos;
- g) requisitos en cuanto a demandas de espacio aéreo;
- h) disponibilidad de procedimientos para la aprobación de la aeronavegabilidad y de las operaciones;
- i) medios técnicos que permitan reducir de forma continua la separación en las fronteras nacionales y en los límites regionales;

- j) conveniencia de instalaciones de simulación en tiempo real o en tiempo rápido en apoyo de normas de separación reducida;
- k) requisitos de diseño del espacio aéreo/sectorización;
- l) antelación adecuada para educación/instrucción;
- m) antelación adecuada respecto a requisitos de publicación;
- n) consideraciones en cuanto a costo y beneficios; y
- o) enmienda de la legislación estatal.

### Obligaciones del Estado del explotador

6.1.15 El texto que figura a continuación puede servir de ejemplo para que lo utilicen los Estados y los explotadores a fin de asegurarse de que las aeronaves debidamente equipadas, mantenidas y explotadas, dispongan de una performance operacional para la navegación igual o superior a la precisión requerida.

6.1.16 Incumbe al explotador la selección del equipo de navegación utilizado. La disposición esencial estriba en que el equipo satisfaga el nivel de precisión de performance para la navegación establecido para cada tipo específico de RNP. Deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- a) los explotadores deben solicitar la aprobación de su Estado (es decir, del Estado del explotador). El explotador debe demostrar (habida cuenta de los factores que se aplican exclusivamente al área propuesta de operaciones) que pueden realizarse operaciones seguras dentro del área de operaciones y de que se dispone y están en funcionamiento las instalaciones y servicios necesarios para realizar las operaciones durante el período en que se requiera utilizarlas;
- b) antes de que se conceda la aprobación, el explotador debe proporcionar la garantía de que el tipo de equipo utilizado ha demostrado ser fiable y eficaz. En 5.4 figura la información correspondiente al aspecto de aeronavegabilidad;
- c) aunque puede suponerse que todo el equipo aprobado debe ser capaz de realizar operaciones de conformidad con los requisitos de precisión RNP especificados, los procedimientos operacionales desempeñan una función importante en el logro de la performance deseada. También es importante tener en cuenta el entorno operacional. En el proceso de aprobación podría incluirse el análisis de lo siguiente:

- 1) procedimientos (normales y extraordinarios) tomando en consideración las características del equipo y los requisitos específicos a efectos de verificación, actualización y comprobación de la información sobre la posición calculada y los mandos de dirección;
  - 2) la cobertura adecuada de las navads terrestres (si las hubiera), y la capacidad de navegación a estima que permita subsanar las lagunas de cobertura;
  - 3) los arreglos en materia de actualización de la base de datos de navegación (si los hubiera);
  - 4) arreglos en materia de instrucción de la tripulación de vuelo;
  - 5) los procedimientos de mantenimiento después de que se reciban informes de discrepancias en cuanto a la navegación;
  - 6) los manuales de vuelo, de operaciones y de instrucción;
- d) los Estados deberían establecer un procedimiento administrativo apropiado a fin de:
- 1) evitar una sobrecarga de sus servicios de aprobación;
  - 2) minimizar los gastos de los explotadores.

6.1.17 Podría aprovecharse la experiencia de otros Estados, mediante el uso de procedimientos de aprobación, cuya validez se extienda más allá de las fronteras, así como de un manual de operaciones normalizado.

## 6.2 REQUISITOS EN MATERIA DE INSTRUCCIÓN

### Generalidades

6.2.1 Incumbirá a las autoridades estatales competentes asegurar que se toman medidas adecuadas en materia de instrucción de la tripulación de vuelo y de los controladores de tránsito aéreo para las operaciones RNP.

6.2.2 La experiencia ha demostrado que actividades tales como los seminarios de ejecución RNAV han ayudado a facilitar la introducción de mínimos de separación RNAV en determinadas regiones al proporcionar información a los pilotos, a los explotadores y al personal de control de tránsito aéreo acerca de los diversos requisitos. Por consiguiente, debería programarse la celebración de seminarios RNP para facilitar la introducción de operaciones RNP en un Estado o en una región.

### Instrucción de la tripulación de vuelo

6.2.3 Los requisitos de los explotadores, en materia de instrucción relativa al equipo y a los procedimientos operacionales, deberían incluirse adecuadamente en los correspondientes manuales de operaciones y de instrucción de que se disponga.

6.2.4 Por lo menos, los Estados deberían incluir la instrucción relativa al equipo y los procedimientos operacionales en los cursos de instrucción de los pilotos, tales como los que se siguen para la habilitación por instrumentos, la habilitación en un tipo de aeronave y la instrucción repetitiva. Mediante la instrucción debe asegurarse que las tripulaciones de vuelo:

- a) tienen conocimientos generales sobre la aplicación de la RNP;
- b) tienen un conocimiento profundo del equipo;
- c) son conscientes de sus limitaciones;
- d) han sido instruidos en los procedimientos y salvaguardas operacionales necesarios para alcanzar una eficiencia óptima y mantener la precisión necesaria para la navegación;
- e) están actualmente en práctica activa y han recibido instrucción reciente sobre el equipo;
- f) comprenden que es necesario notificar al ATC las dudas que surjan sobre la precisión de su navegación; y
- g) están familiarizados con los procedimientos de contingencia.

### Instrucción ATC

6.2.5 Desde el punto de vista del ATC, el control del tránsito a lo largo de las rutas RNP fijas y contingentes no sufrirá importantes modificaciones.

6.2.6 La introducción de áreas RNP, incluidas las derrotas aleatorias, puede conllevar cambios de las operaciones del ATC, lo que hará esencial que se proporcione instrucción adicional teniéndose en cuenta elementos tales como los siguientes:

- a) la posibilidad de rutas con diversos tipos de RNP en el mismo sector;
- b) la transición entre áreas con diversos tipos de RNP;
- c) los procedimientos radiotelefónicos (RTF) (véase 6.3);
- d) procedimientos revisados de coordinación militar/civil y civil/civil;
- e) predicción y resolución de conflictos a lo largo de derrotas no publicadas; y
- f) procedimientos revisados de contingencia.

6.2.7 A medida que se generalizan las aplicaciones más modernas de la navegación (p.ej., la capacidad de desplazamiento paralelo, las salidas normalizadas por instrumentos RNAV (SID), y las llegadas normalizadas por instrumentos (STAR), así como los procedimientos de espera y de aproximación), su integración en los procedimientos ATC exigirá que los controladores reciban instrucción sobre la forma de aceptar y explotar estas capacidades avanzadas.

### 6.3 PROCEDIMIENTOS ESPECIALES DE RADIOTELEFONÍA PARA OPERACIONES RNP

La aplicación en ruta de la RNP no debería exigir un juego completo de nuevas fraseologías RTF. Puede atenderse adecuadamente a muchas de las circunstancias mediante el uso de la fraseología actual promulgada en los PANS-RAC (Doc 4444 de la OACI), si ésta se adapta adecuadamente.

## Apéndice A

### EXPLICACIÓN DE TÉRMINOS Y EXPRESIONES

**Ambigüedad.** Existe ambigüedad en el sistema cuando el sistema de navegación identifica dos o más posiciones posibles del vehículo con el mismo conjunto de mediciones, sin indicación de la que representa correctamente la realidad. Debe identificarse la posibilidad de ambigüedades en el sistema y debe proporcionarse a los usuarios la forma de identificarlas y de resolverlas. (FRP)

**Anticipación de maniobras.** Tiempo y distancia a un punto de recorrido para iniciar los cambios de trayectoria que llevan a un nuevo rumbo. (RTCA/DO-208)

**Capacidad.** Número de usuarios a los que el sistema puede dar cabida simultáneamente. (FRP)

**Cobertura.** La cobertura proporcionada por un sistema de radionavegación es el área de la superficie o el volumen del espacio en los que las señales son adecuadas para que los usuarios puedan determinar la posición con un nivel especificado de precisión. Influyen en la cobertura la geometría del sistema, los niveles de potencia de la señal, la sensibilidad del receptor, las condiciones de ruido atmosférico y otros factores que influyen en la disponibilidad de señales. (RTCA/DO-208)

**Dimensionalidad del punto de referencia.** Característica que determina si el sistema de navegación proporciona una referencia lineal, es decir, una línea de posición en una sola dimensión, o una referencia de posición en dos o tres dimensiones. Se incluye también la posibilidad de que mediante el sistema se obtenga una cuarta dimensión (es decir, el tiempo) a partir de las señales de navegación. (FRP)

**Disponibilidad.** Es una indicación de la capacidad del sistema para proporcionar servicios útiles dentro de la zona especificada de cobertura y se define como el plazo de tiempo durante el cual ha de utilizarse el sistema para fines de navegación, y durante el cual se presenta información confiable de navegación a la tripulación, al piloto automático o a cualquier otro sistema que controle el vuelo de la aeronave. (Derivada de la RTCA/DO-208)

**Equipo RNAV.** Combinación del equipo de navegación utilizado para proporcionar guía RNAV. (RGCSF)

**Error a lo largo de la trayectoria (ATRK).** Error de posición a lo largo de la derrota de vuelo proveniente de varios componentes del error total. (Derivada de la RTCA/DO-208)

**Error perpendicular a la derrota.** Desviación del avión a la izquierda o a la derecha en sentido perpendicular a la derrota deseada. (Derivada del RTCA/DO-208)

**Error técnico de vuelo (FTE).** La precisión con la que se controla la aeronave, la cual puede medirse comparando la posición indicada de la aeronave con el mando indicado o con la posición deseada. No se incluyen los errores crasos. (RTCA/DO-208)

**Fiabilidad.** Una función de la frecuencia con que se presentan fallos en el sistema. La probabilidad de que el sistema desempeñe su función, dentro de los límites definidos de performance, durante un período especificado y en condiciones determinadas de funcionamiento. Formalmente, la fiabilidad se expresa como la diferencia entre 1 y la probabilidad de fallo del sistema. (FRP)

**FRP.** Plan Federal de Radionavegación (Estados Unidos).

**GNSS.** Sistema mundial de navegación por satélite.

**GPS.** Sistema mundial de determinación de la posición.

**Guía para la navegación.** Cálculo de los mandos de dirección para mantener la derrota deseada desde la posición actual de la aeronave hasta una nueva posición. (RTCA/DO-208)

**Información para la navegación.** Parámetros de la aeronave tales como la posición, el vector velocidad y otros datos afines, tales como el ángulo de la derrota, la velocidad respecto al suelo y el ángulo de deriva que se utilizan como guía para la navegación. (Derivado de RTCA/DO-208)

**Integridad.** Capacidad de un sistema de proporcionar a los usuarios avisos oportunos en caso de que el sistema no deba utilizarse para la navegación. (RTCA/DO-208)

**Navegación.** Medios por los que se proporciona guía a una aeronave para que vuele desde una posición conocida hasta otra posición conocida. (RTCA/DO-208)

**Navegación de área (RNAV).** Método de navegación que permite las operaciones de aeronaves en cualquier trayectoria de vuelo deseada.

**Navegación por referencia a estación.** Determinación de la posición por referencia a una determinada fuente. (RTCA/DO-208)



**Navegación por referencia a tierra (ERN).** Navegación que depende de una fuente externa de navegación o de un sistema de referencia inercial (IRS) pero que no depende de un solo emplazamiento fijo. La ERN puede utilizar diferencias de tiempo o de fase a partir de sistemas de radionavegación hiperbólica o de fuentes de satélites con puntos de referencia geodésica para determinar la posición (convertida normalmente a latitud y longitud) sobre la superficie de la tierra. Los sistemas OMEGA, LORAN-C y GPS son distintas formas de navegación ERN. (RTCA/DO-208)

**Performance de navegación requerida (RNP).** Indicación de la precisión de performance de la navegación necesaria para las operaciones de vuelo en una región determinada del espacio aéreo.

**Precisión.** El grado de conformidad entre la posición estimada o medida y/o, la velocidad de una plataforma en un momento determinado y su posición o velocidad verdaderas. Habitualmente se presenta la precisión de performance de la radionavegación como medida estadística de errores sistemáticos y se especifica como:

- a) *Previsible.* La precisión de una posición en relación con las coordenadas geográficas o geodésicas de la tierra.
- b) *Reaplicable.* La precisión con la que un usuario puede volver a una posición cuyas coordenadas han sido medidas en un tiempo anterior con el mismo sistema de navegación.
- c) *Relativa.* La precisión con la que un usuario puede determinar una posición respecto a otra posición, sin considerar los errores en sus posiciones verdaderas. (RTCA/DO-208. *Minimum Operational Performance Standards for Airborne Supplemental Navigation Equipment Using GPS*).

**Precisión de performance de la navegación.** La precisión total de la navegación que se base en la presencia de una combinación de errores del sensor de navegación, del receptor de a bordo, de la presentación en pantalla y del error técnico de vuelo. También se denomina precisión en el uso del sistema.

**Precisión en el uso del sistema.** La precisión total de la navegación que se base en la presencia de una combinación de errores del sensor de navegación, del receptor de a bordo, de la presentación en pantalla y del error técnico de vuelo. También se denomina precisión de performance de la navegación. (Derivado de RTCA/DO-208)

**Régimen de puntos de referencia.** Número de puntos de referencia independientes de que dispone el sistema por unidad de tiempo para calcular la posición (FRP).

**Sensor.** Elemento capaz de proporcionar la información de que se sirven el RNAV o el FMS.

**Sistema complementario de navegación aérea.** Sistema de navegación aprobado que puede utilizarse conjuntamente con un sistema que por sí solo sea suficiente para la navegación. (RTCA/DO-208)

**Sistema de gestión de vuelo (FMS).** Sistema integrado, que consta de un sensor de a bordo, de un receptor y de una computadora con bases de datos sobre performance de navegación y de la aeronave, capaz de proporcionar valores de performance y guía RNAV a un sistema de presentación y de mando automático de vuelo. (RTCA/DO-208)

**Tiempo hasta alarma.** El máximo tiempo transcurrido que sea admisible entre el principio de un fallo del sistema (es decir, límite de alarma) y el momento en que se anuncia una alarma en cuanto a integridad.

**Tiempo para recuperar la navegación.** El tiempo requerido para restaurar los servicios de navegación después de la interrupción de la señal.

**Trayectoria paralela desplazada.** Una derrota deseada que sea paralela a la derrota "original" y desplazada de ésta a una distancia especificada en millas marinas. (RTCA/DO-208).

**Valor de confinamiento (distancia de confinamiento).** Distancia desde la posición prevista dentro de la cual se encontrarían los vuelos, por lo menos durante el 95% del tiempo total de vuelo.

## Apéndice B

### RAZONES EN APOYO DE LA SELECCIÓN DE LOS VALORES RNP

1. El Grupo de expertos RGCSP reconoció que el requisito de RNP para una navegación precisa (es decir, RNP 1) se hacía eco de las capacidades de vuelo de las aeronaves con sistemas modernos de navegación, tales como los que se sirven de actualizaciones procedentes de múltiples respondedores DME y seleccionan dinámicamente los respondedores cuyas posiciones geométricas en relación con la aeronave producen la solución más precisa.

2. El RGCSP aceptó también la caracterización de la RNP básica (es decir, RNP 4) atendiendo a la precisión de mantenimiento de la derrota en sentido lateral, prevista para las aeronaves que navegan mediante VOR. Aunque se espera que el valor de confinamiento de 7.4 km (4 NM) con el 95% de probabilidad se aplique en la mayoría de los casos en los que la performance continental básica sea apropiada, el grupo de expertos reconocía también que para algunas regiones podría ser preferible liberalizar el requisito permitiendo un valor de confinamiento de 9 km (5 NM) con probabilidad del 75% para algunas partes del espacio aéreo.

3. Al seleccionar otros valores RNP, el RGCSP confiaba en un enfoque por el que se analizara la probabilidad de que las aeronaves que volaban a lo largo de rutas adyacentes paralelas tendrían posiciones que se superponían lateralmente. Esta probabilidad se expresó en función de cuatro variables:

- a) S, la separación entre las rutas;
- b)  $\lambda_1$ , que era  $x$  (la desviación característica de los errores laterales ordinarios) o equivalentemente, el 1/3 aproximadamente de la distancia de confinamiento con probabilidad del 95%;

c)  $\alpha$ , que era aproximadamente el régimen al que ocurrían grandes errores;

d)  $\lambda_2$ , que era aproximadamente igual a  $x$  (la desviación característica de la distribución de los errores laterales de gran magnitud).

4. Para las probabilidades de superposición calculadas en el análisis se utilizaron valores fijos de  $\alpha$  y de  $\lambda_2$  que se había demostrado prevalecían en el espacio aéreo del Atlántico septentrional (la única parte del espacio aéreo oceánico en la que se disponía de datos fiables); pero las probabilidades calculadas no tenían por sí mismas, un valor central en las conclusiones del RGCSP.

5. En el análisis se fijaron también diversos valores de la separación entre rutas S y, respecto a cada uno de ellos, se trazó la probabilidad de superposición lateral como función de la distancia de confinamiento con probabilidad del 95% (véanse las Figuras B-1 y B-2); en la Tabla B-1 se presenta un resumen de estas figuras. Cada una de las curvas trazadas era aproximadamente plana — es decir, con un aumento muy lento de pendiente — para valores pequeños de la distancia de confinamiento con probabilidad del 95%. Sin embargo, cuando la distancia de confinamiento con probabilidad del 95% llegaba a valores aproximados entre S/6 y S/5, cada una de las curvas exhibía un "codo" brusco (es decir, cambio de pendiente) en el cual empezaba a aumentar rápidamente la probabilidad de superposición. Esto sugería que el RGCSP debería basar su selección del RNP en el régimen al que aumentaba la probabilidad de superposición respecto a la distancia de confinamiento con el 95% de probabilidad. En particular, el valor de RNP correspondiente a una determinada separación de rutas S debería ser el número entero más elevado de millas marinas respecto

**Tabla B-1. Valores de RNP candidatos**

<i>Separación de rutas</i>		<i>Valores RNP prudentes</i>		<i>Valores RNP liberales</i>	
<i>Km</i>	<i>NM</i>	$\alpha = 0.0003$	$\alpha = 0.0008$	$\alpha = 0.0003$	$\alpha = 0.0008$
37	20	3	3	3	4
74	40	6	7	7	8
110	60	9	10	11	12
148	80	13	14	15	17
185	100	16	17	19	21
222	120	19	20	23	25

*Nota.*— Es inmediatamente obvio de esta tabla que los valores candidatos de tipo prudente son aproximadamente 1/6 de las separaciones correspondientes entre rutas, mientras que los valores candidatos de tipo liberal son aproximadamente 1/5 de las separaciones correspondientes.

al cual este régimen permanecía siendo inferior a algún pequeño porcentaje, tal como 1% o 10%. Una regla de cálculo aproximado consistiría en que los valores más elevados de confinamiento con probabilidad del 95% que llevaran a aumentos de menos del 1% serían aproximadamente  $S/6$ , mientras que los que produjeran aumentos de menos del 10% serían aproximadamente de  $S/5$ . Aunque las probabilidades de que las curvas fueran casi planas variaba en forma casi lineal respecto a  $\alpha$ , el "codo" indicaba muy poca sensibilidad respecto a  $\alpha$  o a  $\lambda_2$ .

6. Al seleccionar un valor del RNP inmediatamente por debajo del "codo" de la curva correspondiente a esta selección de separación de rutas, el planificador del espacio aéreo aseguraría que se lograba aproximadamente el valor

ínfimo de probabilidad de superposición lateral para esta parte del espacio aéreo. Por otro lado, los explotadores que satisficieran la RNP podrían tener la confianza de que mientras no se modificara la estructura de rutas, no se les exigiría que mejoraran su performance normal de navegación, puesto que nuevas reducciones de la distancia de confinamiento con probabilidad del 95% influirían apenas en la disminución de la probabilidad de superposición lateral. El RGCSF aceptó esta aplicación de la ley de disminución de los retornos marginales al seleccionar los valores de RNP para el espacio aéreo oceánico.

7. Reconociendo que el principio descrito podría aplicarse para producir diversos valores de RNP, y que en algunas regiones quizás fueran necesarios otros valores, el

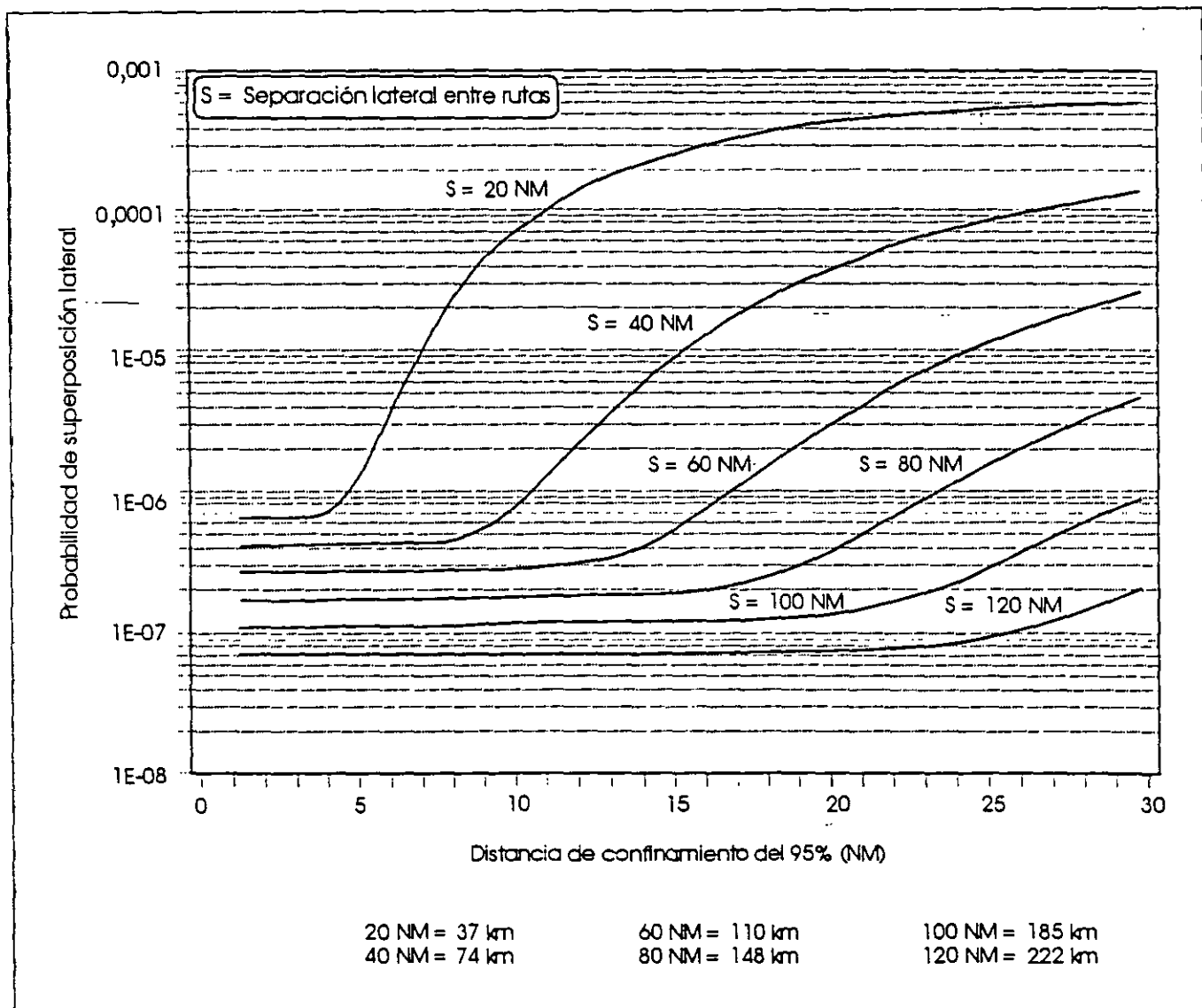


Figura B-1. Probabilidad de superposición lateral para  $\alpha = 0,0008$ ,  $\lambda_2 = 5$

RGCSP prefirió por motivos de simplicidad, seguir el ejemplo del Comité FANS y definir únicamente dos valores de RNP oceánicos. Puesto que el valor actual de 23.3 km (12.6 NM) MNPS NAT se conformaba con bastante precisión al valor que se obtendría aplicando el análisis descrito anteriormente para los sistemas de rutas a base de utilizar la separación lateral de 110 km (60 NM), y dado que el grupo de expertos no deseaba imponer a los explotadores los costos de una nueva certificación a fin de reducir marginalmente la probabilidad de superposición lateral, adoptó el valor actual de 23.3 km (12.6 NM) como valor RNP aplicable al espacio oceánico de gran densidad de tránsito. Además, el análisis indicaba que los valores de RNP comprendidos en la gama de 35-46 km (19-25 NM) eran apropiados para sistemas de rutas en los que se aplicara una separación lateral de 222 km (120 NM), que era la máxima

separación aplicada a cualquier sistema de rutas. El RGCSP, actuando por tanto de forma prudente, seleccionó el valor de 37 km (20 NM) como valor de RNP apropiado para zonas oceánicas con escaso volumen de tránsito. Al hacer esta selección, el grupo de expertos señaló también los resultados de recopilaciones de datos sobre la precisión de navegación de los sistemas de navegación inercial, por los cuales se demostraba que el 95% del tiempo, la deriva INS era ligeramente inferior a 3.7 km (2 NM) por hora. Reconociéndose que relativamente en pocos tramos oceánicos se requerían más de diez horas de vuelo (y en los que se requerían, los sistemas de navegación que ordinariamente se utilizaban eran más precisos que el INS) el grupo de expertos esperaba que podría lograrse un RNP de 20 para la mayoría de las aeronaves que en dicha fecha volaban por rutas oceánicas.

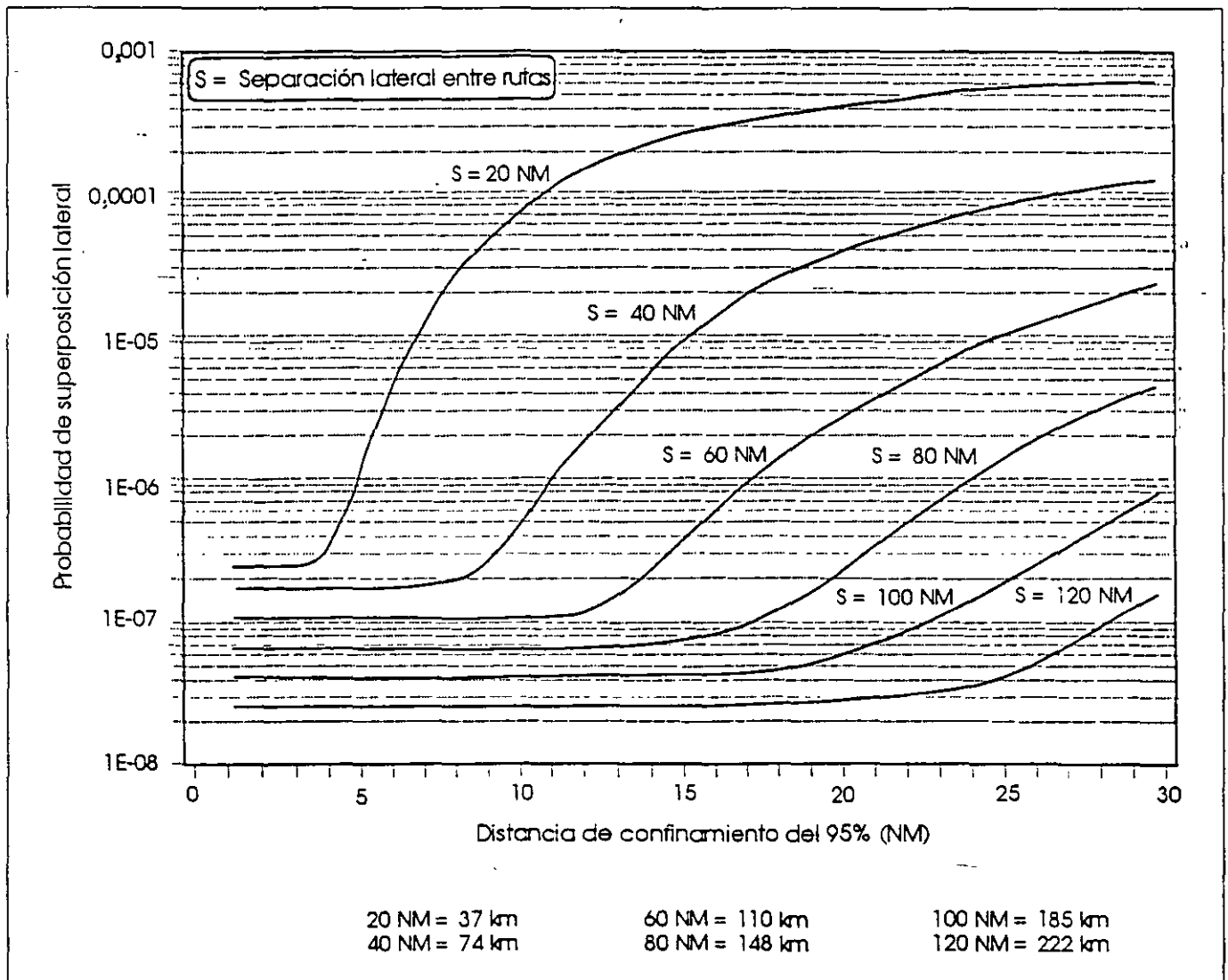


Figura B-2. Probabilidad de superposición lateral para  $\alpha = 0,0003$ ,  $\lambda_2 = 45$

## Apéndice C

# ESTIMACIÓN DE LA PRECISIÓN DE PERFORMANCE PARA LA NAVEGACIÓN

### 1. INTRODUCCIÓN

En este apéndice:

- a) se examinan las hipótesis en cuanto a balance de error RNP;
- b) se presenta información sobre cada uno de los sistemas de navegación;
- c) se presenta una idea general de las características de los errores de navegación;
- d) se proporcionan ejemplos de balance de error en relación con el error técnico de vuelo (FTE);
- e) se define la metodología utilizada para el cálculo de balance de error; y
- f) se proporciona una interpretación estadística de los componentes del error.

### 2. HIPÓTESIS SOBRE BALANCE DE ERROR RNP

2.1 En el balance de error:

- a) debe tomarse en consideración la fabricación e instalación del equipo;
- b) debe atenderse a que los usuarios determinen si la performance prevista de seguimiento de la aeronave está en armonía con sus requisitos operacionales; y
- c) debe prestarse ayuda al diseño de los procedimientos en el espacio aéreo.

2.2 El balance de error debe ser sencillo porque habitualmente la base de datos disponible no permite efectuar más que procedimientos estadísticos elementales.

2.3 Esta misma carencia de una base de datos es el motivo por el que en toda la industria naváica se acepta casi universalmente el procedimiento de cálculo de la raíz de la suma de los cuadrados, o media cuadrática (RSS), para estimar la performance del sistema. En 6 a continuación se justifica el uso de las técnicas RSS.

2.4 Normalmente se definen los errores RNAV en función del error lateral en sentido perpendicular a la derrota y del error a lo largo de la derrota, para trayectorias de vuelo deseadas en dos dimensiones (2-D) (véase la Figura C-1). Las mediciones de la posición, con los datos de salida del sistema RNAV, así como los datos incorporados a los canales de guía lateral y vertical, en los sistemas de mando de vuelo de la aeronave (AFCS) se especifican como errores particulares.

2.5 La precisión de uso del sistema o la precisión de performance de navegación son una combinación de:

- a) el error sistemático de navegación;
- b) el error de cálculo del RNAV;
- c) el error de presentación en pantalla del sistema;
- d) el error de selección de rumbo (CSE); y
- e) el FTE.

2.6 La combinación de los errores del sistema de navegación y del error de cálculo del RNAV se denomina error de precisión del sistema o error de determinación de posición.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE NAVEGACIÓN

3.1 En los párrafos que siguen se describen brevemente los actuales sistemas de navegación que pueden utilizarse para satisfacer los requisitos RNP. Una descripción más detallada de los sistemas figura en los textos pertinentes de asesoramiento y en las publicaciones de los fabricantes. Se caracterizan todos los sistemas de navegación presentados en función de los parámetros de performance del equipo que determinan la utilización y las limitaciones de cada uno de los sistemas de navegación y se caracterizan los procedimientos por los cuales el usuario obtiene la información para la navegación. Los parámetros de performance del equipo son la precisión, disponibilidad, cobertura, fiabilidad, régimen de puntos de referencia, dimensionalidad de los puntos de referencia, capacidad, ambigüedad, tiempo para recuperar la navegación e integridad.

**Sistemas de navegación**

2. Numerosas aeronaves de reacción de transporte público y de negocios/de ejecutivos disponen de un FMS cuya instalación forma parte integrante del sistema de aviónica. El núcleo del FMS es una computadora que para la navegación lateral cuenta con una amplia base de datos, lo que permite preprogramar muchas rutas e introducirlas en el sistema mediante un cargador de datos. Cuando está en funcionamiento, el sistema actualiza constantemente la precisión de la posición mediante referencia a ayudas de navegación tradicionales y, gracias a la base de datos perfeccionada, se logrará la selección automática de las ayudas más apropiadas.

3.3 El equipo RNAV puede aceptar diversos datos de entrada de navegación; en consecuencia, es conveniente examinar las características generales del equipo de a bordo RNAV dentro de los siguientes apartados:

- a) VOR/DME;
- b) OMEGA/VLF;
- c) LORAN-C;
- d) INS;
- e) DME/DME; y
- f) GNSS.

3.4 En el presente manual se supone que todos los sistemas indicados o bien están acoplados al piloto automático o bien pueden acoplarse directamente al mismo. Esta capacidad puede convertirse en un requisito previo del futuro equipo RNAV.

**VOR/DME**

3.5 Dentro de la categoría de sistemas RNAV basados en VOR/DME existe una notable variedad en cuanto a capacidad. Posiblemente, el menos complejo entre estos equipos sea el sistema que utiliza estaciones VOR/DME en movimiento. De hecho, este tipo de RNAV desplaza electrónicamente una instalación VOR/DME seleccionada (a una distancia y marcación calculadas y establecidas por el explotador) hasta la posición del siguiente punto de recorrido y entonces se proporciona a la aeronave guía de dirección VOR aparente hasta dicho punto de recorrido. El equipo todavía está sujeto a la cobertura operacional designada y a las limitaciones de recepción de la instalación seleccionada, así como a todos los otros errores inherentes al sistema. Para que se apruebe dicho equipo RNAV, debe tener la capacidad de aceptar un mínimo de tres puntos de recorrido actuales y su utilización estaría necesariamente limitada a rutas situadas dentro de una cobertura VOR/DME adecuada.

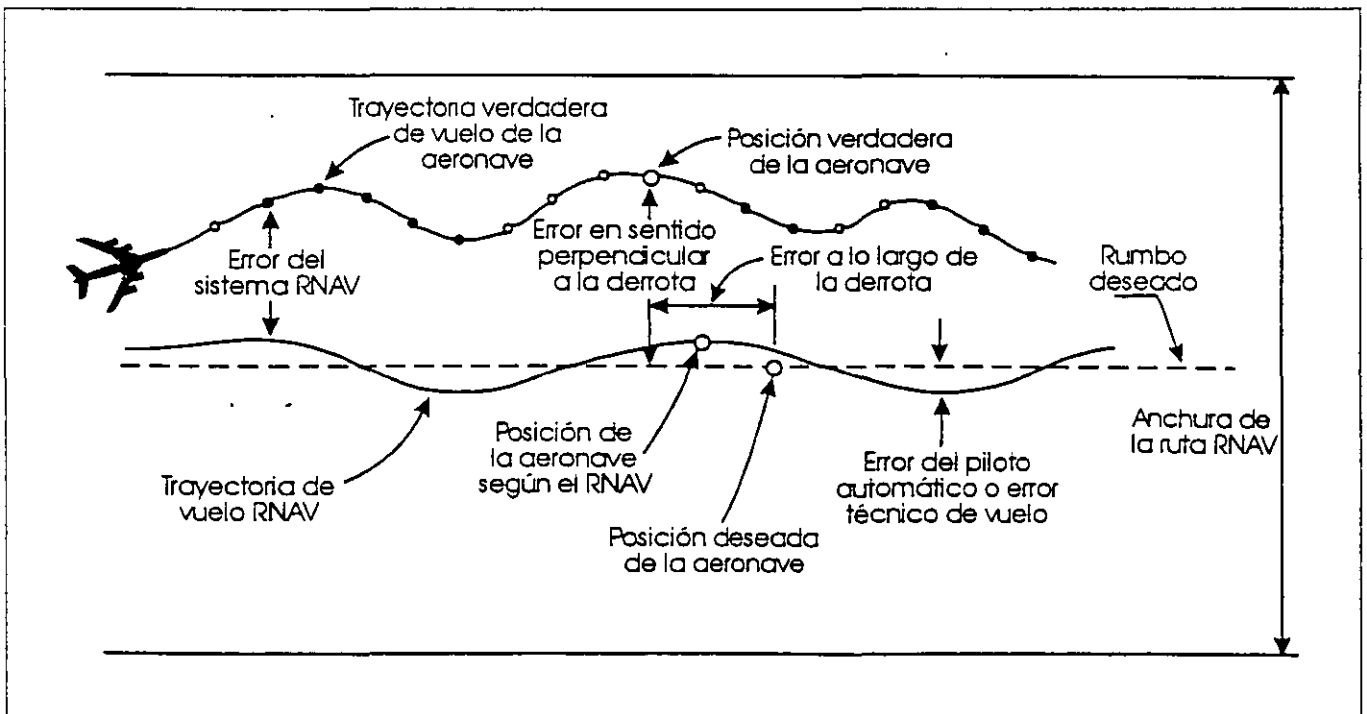


Figura C-1. Error sistemático RNAV

### OMEGA/VLF

3.6 OMEGA es un sistema mundial de navegación. Su precisión depende de la geometría y de la calidad de la recepción de las estaciones OMEGA o VLF. El sistema también está sujeto a las anomalías de la propagación; y la performance de las distintas aeronaves puede variar en cierta medida con el diseño y la ubicación de la antena, con el ruido ambiental dimanante de otros sistemas instalados en la aeronave, etc. La precisión puede mejorarse mediante el uso de modos diferenciales o relativos de procesamiento de las señales.

3.7 Los sistemas de a bordo pueden emplear solamente el sistema OMEGA, o pueden emplear una combinación de las señales OMEGA y VLF para proporcionar la guía de posición y de seguimiento. El sistema OMEGA puede ser un sistema autónomo que proporcione al piloto los datos correspondientes, pero en la mayoría de las aeronaves modernas los sistemas son dobles e integrados con otros sistemas de a bordo.

3.8 Habida cuenta de las anomalías de propagación y de la precisión desigual de navegación que se obtiene debido a dichas anomalías, la posición de la aeronave que se logra con el sistema OMEGA debe sujetarse de vez en cuando a comprobación mediante ayudas tradicionales, a fin de asegurar la precisión del sistema.

### LORAN-C

3.9 El sistema de radionavegación LORAN-C utiliza señales horarias sincronizadas que proceden de estaciones terrestres transmisoras situadas a cientos de kilómetros de distancia entre sí. Las estaciones están formadas por cadenas de tres a cinco estaciones que transmiten con el mismo intervalo de repetición de grupo. Dentro de cada cadena, una estación está designada como estación maestra y las restantes como estaciones secundarias; la estación maestra tiene características únicas de transmisión por impulsos y en fase para distinguirla de las estaciones secundarias.

3.10 La posición de la aeronave se obtiene midiendo la diferencia registrada en el tiempo de llegada de los impulsos LORAN-C procedentes de tres o más estaciones terrestres. Al igual que en el caso del sistema OMEGA, el equipo LORAN-C puede ser un sistema autónomo, pero los sistemas modernos normalmente forman parte de una computadora de navegación a fin de suministrar información sobre la distancia o sobre la posición, así como otras informaciones conexas.

3.11 La onda de superficie LORAN-C se utiliza para la navegación y la cobertura de la señal es adecuada normalmente hasta aproximadamente 1 700 km (900 NM). No obstante, el área de cobertura útil puede verse afectada por la conductividad terrestre y por las interferencias atmosféricas o de otra índole en la recepción de la señal.

3.12 El sistema LORAN-C tiene varias desventajas, a saber:

- a) las señales están sujetas a interferencia local procedente de fuentes tales como transmisores de baja frecuencia y emisiones de las líneas de transporte de energía eléctrica;
- b) la falla de un transmisor puede dejar sin cobertura a una gran zona; y
- c) la aprobación del sistema LORAN-C para operaciones RNAV se limitará al área geográfica que cuente con una buena recepción de la señal de la onda de superficie.

### INS

3.13 El INS es un equipo totalmente autónomo que funciona captando las aceleraciones de la aeronave mediante una plataforma giroestabilizada. Entre las funciones de datos de salida del sistema cabe incluir las siguientes: información precisa sobre la posición actual, datos de navegación, mandos de dirección e información sobre los ángulos de cabeceo, balanceo y rumbo. La mayoría de las aeronaves equipadas con INS tienen un sistema doble o triple. La práctica operacional normal consiste en introducir en los sistemas la posición conocida de la aeronave, con un elevado grado de precisión, antes de salir del puesto de estacionamiento. Estableciendo previamente una serie de puntos de recorrido, el sistema conducirá a la aeronave a lo largo de una derrota predeterminada. Habitualmente, los puntos de recorrido se introducen en el sistema antes de la salida pero pueden insertarse nuevos puntos de recorrido en cualquier momento.

3.14 La principal desventaja de los INS reside en que su precisión se deteriora con el tiempo transcurrido desde la última actualización y hay que considerar que se producirá un deterioro lineal de 2.8 a 3.7 km (1.5 a 2 NM) por hora, aunque en la práctica se logra a menudo mucha mayor precisión. Si bien cabe esperar que el INS guiará a la aeronave sin salirse de las tolerancias normales del sistema de rutas definidas por VOR durante aproximadamente más de 1 850 km (1 000 NM) después de una alineación correcta antes de la salida, es evidente que en una aeronave equipada con un INS básico doble sin actualización automática, el sistema no sería lo suficientemente preciso como para ser utilizado en dicho espacio aéreo tras varias horas de vuelo, a menos que se adoptaran medidas especiales que permitieran al piloto verificar la precisión del sistema mediante diversos métodos de actualización o de comprobación.

3.15 Un notable número de aeronaves dispone de tres INS y es corriente que éstos funcionen en modo triple combinado que proporciona una cifra promedio de los datos de posición suministrados por los tres sistemas independientes. Normalmente este proceso ofrece una mejor estimación de la

posición porque si uno de los tres sistemas difiere de manera significativa de los otros dos, sus datos pueden excluirse del medio.

3.16 Algunas aeronaves están dotadas del sistema OMEGA además del INS doble y, en consecuencia, pueden proporcionar a la tripulación un método de comprobación constante cuando la precisión del INS pueda haberse deteriorado más allá de los límites de precisión del sistema OMEGA (véase 3.6 a 3.8).

3.17 Numerosos INS disponen de avanzadas instalaciones automáticas de actualización que utilizan datos de entrada dobles DME o VOR. Los más complejos de entre estos equipos utilizan dispositivos de autosintonización que permitirán verificar y proporcionar actualizaciones constantes a partir de múltiples DME situados dentro del alcance de la aeronave (véase también 3.18).

### DME/DME

3.18 El método más preciso de que se dispone actualmente, para actualizar el equipo RNAV y el equipo del sistema de gestión de vuelo dentro del espacio aéreo continental, consiste en hacer referencia a múltiples DME, necesiándose un mínimo de dos instalaciones adecuadamente situadas para proporcionar un punto de referencia de posición. La calidad de la información sobre la posición dependerá de la simetría relativa del DME y de su distancia con respecto a la aeronave y, por lo tanto, el sistema dispondrá de una rutina de reserva que permita la utilización de otras combinaciones de ayudas.

### GNSS

3.19 Actualmente el GNSS está evolucionando. El GNSS proporciona medios independientes de navegación, por los que el usuario determina su posición a bordo a partir de la información recibida de transmisiones de radiodifusión de una serie de satélites, con lo que se obtendrá una cobertura mundial de elevada fiabilidad, precisión e integridad. Aunque el concepto de RNP permite el uso simultáneo de más de un sistema de navegación por satélite, desde el punto de vista de equipo de aeronave, es esencial mantener la máxima interfuncionalidad pues ésta simplificaría notablemente el equipo de aviónica y reduciría por consiguiente su costo. También sería beneficioso que un sistema pudiera servir de complemento de otro y/o, desempeñar la función de reserva.

3.20 Deben formularse criterios que permitan una vigilancia adecuada de la integridad y servicios de aviso de buen funcionamiento respecto a los sistemas de navegación por satélite. Se han indicado dos enfoques distintos para enfrentarse al problema de la integridad, es decir, la vigilancia autónoma de la integridad en el receptor (RAIM) y el suministro de un canal de integridad GNSS (GIC). Varios Estados

y organismos internacionales están investigando ambos sistemas. A reserva de la elaboración satisfactoria de la vigilancia de la integridad se espera con confianza que el GNSS satisfará los requisitos de la aviación civil en materia de navegación.

## 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS ERRORES DE NAVEGACIÓN

### Errores sistemáticos de navegación

4.1 Se definen los errores sistemáticos de navegación como los de salida del receptor de navegación y por consiguiente se incluyen los errores de la señal en el espacio y los errores del equipo de a bordo. Las características únicas de la señal de un sistema de navegación pueden tener muchos componentes de error, incluido el error de propagación, los errores en la señal transmitida dimanantes del emplazamiento geográfico, de la alineación magnética de la estación terrestre y los errores del receptor tales como el ruido electrodinámico del receptor. Deben tenerse en cuenta la distribución y el índice de cambios así como la magnitud de los errores. La distribución de los errores puede constar de componentes de error sistemático y de error aleatorio. En general se compensa fácilmente el componente de error sistemático si sus características son constantes y conocidas. Por ejemplo, pueden verificarse en vuelo los radiales VOR y puede disminuirse el error sistemático o eliminarse mediante la corrección del radial que se utilice en las cartas aeronáuticas. También pueden compensarse las variaciones estacionales y diurnas del LORAN-C y del OMEGA mediante la aplicación de algoritmos de corrección en la lógica del equipo de aeronave y publicando periódicamente correcciones para el uso del equipo a bordo. Pueden incorporarse las correcciones ionosféricas a las soluciones del GNSS.

4.2 La distribución del componente de error aleatorio, o de variaciones imprevisibles, constituye el elemento crítico que ha de considerarse en el diseño de los sistemas de navegación. El índice de cambios del error dentro de la distribución es también un factor importante, especialmente cuando el sistema se utiliza para la aproximación y el aterrizaje. Los errores que varían a muy elevada frecuencia pueden integrarse fácilmente o filtrarse en el equipo de la aeronave. Sin embargo, los errores que ocurren a un ritmo más lento, pueden ser molestos y llevar a indicaciones desconcertantes para el piloto. Un ejemplo de uno de estos tipos de errores sería el de la señal VOR "scalped" (ondeada) que produce variaciones en el indicador, de la presentación en pantalla de los mandos (CDI). Si el piloto intenta seguir de cerca el CDI, la aeronave iniciará frecuentemente "virajes en S". La maniobra producirá una carga de trabajo innecesaria en el piloto y disminuirá la confianza del mismo en el sistema de navegación. Esta indicación puede agravarse aún más si los sistemas de navegación muestran características diferentes de error durante diversas fases del vuelo o cuando la aeronave esté maniobrando.



4.3 En resumen deben considerarse la magnitud, naturaleza y distribución de los errores en función del tiempo, del terreno, del equipo de aviónica, del tipo de aeronave, de las maniobras de la aeronave y de otros factores. La evaluación de los errores es un proceso complejo y será equivocado comparar los sistemas basándose en un solo número de error.

#### Error de cálculo del RNAV

4.4 Los componentes del conjunto de error de sistema de navegación/error del equipo de a bordo, de conformidad con las prácticas ordinarias, pueden incluir errores en los resultados del receptor y errores que aporta el convertidor. En aquellos casos en los que el equipo RNAV acepta entradas directas del receptor RNAV, no se cometen los errores parciales que normalmente se incluyen en el convertidor; por consiguiente, puede reducirse el valor correspondiente al error del equipo de a bordo. Puede estimarse que el error de cálculo RNAV es la resolución de los datos de salida del equipo RNAV.

#### Error del sistema de presentación en pantalla

4.5 En el error del sistema de presentación en pantalla pueden incluirse los componentes de error procedentes de cualquier entrada de datos, salida de datos o del equipo de conversión de la señal que se utiliza en la pantalla de presentación para indicar la posición de la aeronave o los mandos de guía (p.ej., desviación del rumbo o mando de rumbo) y mediante cualquiera de los dispositivos empleados para determinar el rumbo. Para los sistemas que integran las cartas aeronáuticas como parte de la presentación en pantalla, en el error del sistema se incluyen necesariamente los errores de cartografía en cuanto realmente llevan a errores en el control de la posición de la aeronave respecto a la trayectoria deseada sobre el suelo. Para ser consecuentes, deben incluirse como componentes de este error, en sistemas de presentación simbólica que no incorporen cartas de navegación, los errores en la determinación de puntos de recorrido directamente atribuibles a errores de la carta de navegación que se utilice como referencia para determinar la posición de los puntos de recorrido. Prácticamente es imposible controlar este tipo de errores y, en general, se utilizan en la medida de lo posible la localización muy precisa y publicada de puntos de recorrido, al reglar tales sistemas, a fin de que se eviten tales errores y de que se reduzca la carga de trabajo.

#### Error de selección de rumbo

4.6 El error de selección de rumbo es la diferencia entre el reglaje del rumbo deseado o el rumbo que se sigue en la realidad.

## 5. BALANCES DE ERROR PARA EL FTE

### Generalidades

5.1 El FTE se relaciona con la precisión en el control de la aeronave, que se mide comparando la posición indicada de la aeronave con el mando indicado o la posición deseada. No se incluyen errores crasos de procedimiento que son los errores graves cometidos por juicio humano, o falta de atención, los cuales llevan a que el piloto se desvíe notablemente de la derrota deseada.

5.2 Es muy difícil caracterizar plenamente el FTE. Las variables del diseño del equipo y del medio ambiente influyen directa y cuantitativamente en el FTE puesto que repercuten en el procesamiento de los datos de entrada básicos para la presentación en pantalla. En este error se incluye la determinación de los factores de escala de presentación y otras variables de configuración que influyen en la información de guía que aparezca en pantalla. Como ejemplos de variables del medio ambiente que influyen en el FTE pueden citarse la compensación de la dinámica de mando de la aeronave y las turbulencias del aire. Deben tenerse en cuenta estos factores para deducir los valores empíricos que determinan la magnitud del FTE en relación con la precisión de uso del sistema.

5.3 Pueden acoplarse las señales de guía de la aeronave mediante una de estas tres formas: modos manuales (desviaciones en bruto del CDI), director de vuelo o piloto automático. A cada una de estas formas corresponde un balance de error para el FTE.

### FTE en modo manual

5.4 El FTE asociado con modos manuales variará ampliamente en función de factores tales como las condiciones del viento y la experiencia, la carga de trabajo, la fatiga y la motivación del piloto. Los valores del error FTE con 95% de probabilidad para el modo manual, que actualmente se aplican a las diversas fases del vuelo y que se basan en ensayos VOR/DME de la Administración federal de aviación (FAA) de los Estados Unidos realizados en 1978, son los siguientes:

En el espacio aéreo oceánico	3.7 km	2.0 NM
En ruta	1.85 km	1.0 NM
En operaciones de terminal	1.85 km	1.0 NM
En la aproximación	0.93 km	0.5 NM

5.5 Sin embargo, la experiencia ha demostrado que el FTE está relacionado con la sensibilidad del sistema de navegación y con la del rumbo. Los datos recopilados hasta la fecha mediante ensayos en vuelo y simulaciones de vuelo para tramos rectos RNAV, con el sistema de aterrizaje por microondas (MLS) en diversas condiciones de viento y para diversos tipos de aeronave, indican que un valor de 0.216 NM (400 m) puede ser apropiado para la fase de aproximación con

una probabilidad del 95%. Los datos de la trayectoria de aproximación en curva dan un valor superior del FTE. La diferencia entre los valores con el VOR/DME y los valores con el RNAV MLS indican que el valor de la probabilidad actual del 95% para el error en el modo manual puede ser demasiado prudente.

**FTE en modo acoplado**

5.6 El sistema RNAV puede estar acoplado al AFCS o al director de vuelo. Cuando el RNAV está acoplado al AFCS, la precisión de seguimiento es función de la ganancia del piloto automático y de la anchura de banda del bucle de guía AFCS. La ganancia y la anchura de banda del piloto automático dependen a su vez de la fase del vuelo. Cuando el RNAV está acoplado al director de vuelo, debe también tenerse en cuenta la fuente adicional de error de la sensibilidad de la aguja del director de vuelo.

5.7 Existen muy pocos datos publicados sobre el FTE en el modo de AFCS acoplado. El Experimental Centre Report Núm. 216 de EUROCONTROL, de junio de 1988, titulado *Navigation Accuracy of Aircraft Equipped with Advanced Navigation Systems* determinó que la precisión de uso del sistema acoplado al AFCS en ruta es aproximadamente de 1 200 m (0.66 NM) (probabilidad del 95%). Esto sugeriría que el FTE en el modo de AFCS acoplado podría ser un error elevado como 400 m (0.22 NM) basándose en un error de vuelo de 1 000 m (0.5 NM) para el RNAV-DME-DME en lo cual se incluyen las imprecisiones procedentes de la geometría de la estación DME, y una mezcla de ponderaciones 50:50 de la precisión de los sensores análogo y digital del DME (685 m (0.37 NM) (2-sigma)).

5.8 Puede obtenerse un segundo valor del FTE en el modo de AFCS acoplado a partir de las especificaciones de los fabricantes. Un examen limitado de las especificaciones de los fabricantes indica un valor para el equipo de 463 m (0.25 NM) (probabilidad de 95%) en cuanto a los requisitos de precisión a lo largo de la derrota.

5.9 Puede obtenerse un valor del FTE en el modo de AFCS acoplado respecto a aproximaciones mediante ensayos en vuelo del RNAV y el MLS y simulaciones para tramos en línea recta. En estos casos se demuestra que el FTE en el modo de AFCS acoplado podría tener un valor tan reducido como de 0.030 km (0.016 NM) en las aproximaciones.

5.10 Existen pocos datos respecto al FTE en los modos acoplados al piloto automático o al director de vuelo mediante ensayos en vuelo y simulaciones en vuelo para tramos en línea recta con el RNAV y el MLS. Estos datos indican que para la fase de aproximación podría ser apropiado con un 95% de probabilidad un valor del FTE de 0.061 km (0.033 NM). Se determinó este valor en condiciones variables del viento y para diversos tipos de aeronaves.

**FTE del RNAV**

5.11 En el momento presente no puede caracterizarse por completo el FTE del RNAV correspondiente a los tres modos de operación de las aeronaves, puesto que deben obtenerse amplios datos con una diversidad de sensores y en una diversidad de condiciones, antes de que pueda llegarse a una representación estadística completa del FTE. En esta parte se tiene el objetivo de utilizar los resultados preliminares para establecer como hipótesis un balance de error sistemático basándose en diversas fuentes de datos, reconociéndose plenamente que la base de datos es incompleta. Con esta hipótesis del FTE deben satisfacerse los requisitos de los usuarios del sistema y de los planificadores del sistema.

5.12 En la Tabla C-1 se presentan los valores supuestos del FTE. Las cifras del FTE en el modo manual de la Tabla C-1 son las que actualmente se utilizan en los documentos de la FAA, RTCA y de la OACI.

5.13 Parece ser que el valor de 463 m (0.25 NM) del FTE en el modo acoplado a la AFCS está apoyado por los datos de EUROCONTROL y por las especificaciones de los fabricantes. Suponiéndose que el FTE para la aproximación se obtenga con una precisión por lo menos doble que la del FTE

**Tabla C-1. Valores supuestos del FTE (probabilidad del 95%)**

Fase del vuelo	Modo acoplado					
	Modo manual		Director de vuelo		Piloto automático	
	km	NM	km	NM	km	NM
Océánica	3.7	2.0	0.93	0.50	0.463	0.25
En ruta	1.85	1.0	0.93	0.50	0.463	0.25
Terminal	1.85	1.0	0.93	0.50	0.463	0.25
De aproximación	0.93	0.5	0.463	0.25	0.231	0.125

en ruta, se deduce un FTE de 231 m (0.125 NM) para la aproximación. Este valor puede compararse con el de 30 m (0.016 NM) para el RNAV con el MLS.

5.14 Se obtiene el FTE en el modo acoplado al director de vuelo, a partir del FTE en modo manual y del FTE en modo acoplado al AFCS, así como a partir de los datos del RNAV y el MLS. Basándose en los ensayos con el RNAV y el MLS, se supone que la precisión del FTE con el director de vuelo es por lo menos seis veces superior a la del vuelo por medios manuales, pero que el error es doble del correspondiente al piloto automático. Puesto que los valores del FTE en el modo acoplado a la AFCS son razonables, en cuanto a los datos disponibles, se plantea la hipótesis de que el FTE con el director de vuelo será un error por lo menos doble del correspondiente al vuelo en modo acoplado al AFCS. Este FTE resultante del director de vuelo de 463 m (0.25 NM) en la fase de aproximación puede compararse directamente con el valor de 61 m (0.033 NM) mediante el RNAV y el MLS. La diferencia de 7.5 es comparable con la diferencia de 7.8 para el valor supuesto de 30 m (0.016 NM) respecto al FTE en el modo acoplado al AFCS y respecto a la RNAV y el MLS. Esta diferencia aproximada de orden de magnitud entre los valores del FTE supuestos y los valores del FTE medidos indica que los valores supuestos pueden ser excesivamente prudentes.

## 6. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE DE ERROR

### El procedimiento de la media cuadrática

Puede estimarse la performance del sistema calculando el error medio cuadrático (MSE) siempre que se identifiquen explícitamente ambos componentes del error. El momento segundo  $E[\Delta x^2]$  estadístico, estimado por el MSE está dado por

$$E[\Delta x^2] = \sigma_{\Delta x}^2 + Bias_{\Delta x}^2 \quad (1)$$

Suponiéndose un modelo lineal, es decir para una sola misión de vuelo, los componentes del error (variables aleatorias) producen valores aditivos (es decir no acoplados). El error del sistema  $\Delta S$  es:

$$\Delta S = \Delta A_B + \Delta G_B + \Delta P_B + \Delta A_N + \Delta G_N + \Delta P_N \quad (2)$$

siendo  $\Delta A_B$ ,  $\Delta G_B$  y  $\Delta P_B$  los errores sistemáticos de a bordo, de tierra y de propagación respectivamente, y  $\Delta A_N$ ,  $\Delta G_N$  y  $\Delta P_N$  los componentes correspondientes de ruido o de desviación característica. Suponiéndose que los componentes del error tienen

un valor medio igual a cero y que no están correlacionados (p.ej.,  $E[\Delta A_B \Delta G_B] = 0$ ,  $E[\Delta A_N \Delta G_N] = 0$ ,  $E[\Delta P_B \Delta G_B] = 0$ ) se obtiene

$$E[\Delta S^2] = E[\Delta A_B^2] + E[\Delta G_B^2] + E[\Delta P_B^2] + E[\Delta G_N^2] + E[\Delta P_N^2] \quad (3)$$

si se inserta la ecuación (2) en la ecuación (1). Los sumandos de (3) se calculan utilizando la fórmula  $E[\Delta X^2] = \sigma_{\Delta x}^2$  puesto que la media del conjunto y la media en el tiempo son iguales a cero. La ecuación (3) se convierte en

$$E[\Delta S^2] = \sigma_{BA}^2 + \sigma_{BG}^2 + \sigma_{BP}^2 + \sigma_{NA}^2 + \sigma_{NG}^2 + \sigma_{NP}^2 \quad (4)$$

La raíz cuadrada de (4) es por consiguiente el error RSS

$$\sigma_s = RSS = \sqrt{E[\Delta S^2]} = \sqrt{\sigma_{BA}^2 + \sigma_{BG}^2 + \sigma_{BP}^2 + \sigma_{NA}^2 + \sigma_{NG}^2 + \sigma_{NP}^2} \quad (5)$$

Por consiguiente, el balance de error del sistema (o el balance RNAV) está comprendido por estimaciones en las que las entradas son las desviaciones características  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{BG}$ ,  $\sigma_{NA}$  y  $\sigma_{NP}$ . Su resultado combinado es  $\sigma_s$ , es decir el error previsto del sistema aplicando la ecuación (5).

Se estiman las varianzas de la población de datos mediante la varianza de muestreo sin errores sistemáticos

$$S_N^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \Delta X_i^2 \quad (6)$$

en la que  $N$  es el número de muestras de la estimación y  $\Delta X_i$  es el valor medido del componente e i-ésimo del error.

## 7. INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS COMPONENTES DEL ERROR

### Significado estadístico de los ensayos en banco de pruebas y de los ensayos de inspección en vuelo

7.1 La performance respecto al error de seguimiento (véase Figura C-1) o la performance total del sistema de navegación, es una combinación del FTE y de la precisión del sistema en la determinación de la posición. Se especifica la performance en cuanto a la precisión de los sistemas de

En NAV en términos del 95% de probabilidad. Esto se hace en un solo recorrido a lo largo de una trayectoria predefinida (p.ej., entre dos puntos de recorrido), el 95% de las mediciones de posición en la ventana apropiada debe estar dentro de la banda admisible de valores especificados del error en sentido perpendicular a la derrota. Cada medición define un intervalo de confianza y los límites de confianza correspondientes se comparan con la norma de precisión. En realidad, es un intervalo de confianza puesto que la trayectoria de vuelo deseada es un parámetro constante conocido que está siendo estimado por NAV. El intervalo de confianza calculado del 95% es una variable aleatoria que cubre la trayectoria deseada de vuelo, en término medio 95 veces de cada 100.

7.2 Se definen los balances de error en función de límites de confianza del 95% en lugar de definirse en función de límites  $2\sigma$  puesto que ambas especificaciones son esencialmente equivalentes pero solamente para procesos aleatorios gaussianos. La magnitud importante es la probabilidad de que ocurra determinado suceso y no el valor de  $2\sigma$ . La probabilidad de que se excedan los límites especificados es la única medición que tiene sentido para que puedan determinarse en las operaciones las anchuras de la ruta a lo largo de la aerovía, las ventanas de decisión, la traza de la zona de toma de contacto y las superficies de franqueamiento de obstáculos.

7.3 Aunque puede proporcionarse cada uno de los componentes de error en función de una varianza de muestreo. Sin embargo, el cálculo del intervalo de confianza del 95% exige tener conocimiento de la función subyacente de distribución de probabilidades que en general no es conocida. En la práctica, se subsana esta carencia de conocimientos estimándose los intervalos de confianza a base de los límites percentiles de 2.5

y de 97.5 determinados mediante los datos medidos. Seguidamente se determina el error total del sistema mediante el RSS del valor del 95% de cada componente de error. Se comparan después los límites de confianza de las muestras de los errores medidos combinados con la norma de precisión apropiada.

7.4 Basándose en la definición precedente, debe ponerse de relieve que la expresión "error sistemático con el 95% de probabilidad" significa que, respecto al conjunto de NAV AIDS, el 95% de las mediciones de error sistemático del equipo están comprendidas entre los límites percentiles de 2.5 y de 97.5. Los valores especificados del error sistemático son los límites percentiles superior e inferior.

7.5 En la bibliografía se han adoptado casi universalmente los componentes de error combinado a base del RSS. Se supone implícitamente que los componentes del error satisfacen un modelo lineal y que son variables no correlacionadas con media de cero y aleatorias. En la suposición de modelo lineal está también implicado que no existe ningún acoplamiento entre el error de determinación de la posición del sistema de navegación y el error FTE.

7.6 La validez de la suposición de que los componentes del error no están correlacionados depende de diversos factores. Obviamente los componentes del error no están correlacionados en el conjunto de todas las rutas de vuelo. En el caso de vuelos repetidos por la misma ruta, puede establecerse la correlación de los errores que dependen del emplazamiento, mientras que los errores sistemáticos del equipo dependen de la índole del mecanismo de deriva. Se supone que los errores sistemáticos son constantes en el tiempo de duración de una sola misión.

## Apéndice D

### REFERENCIAS A EJEMPLOS DE REGLAS ESPECÍFICAS RELATIVAS A LAS OPERACIONES RNAV

#### Australia

1. CAA, Doc ON 10, *Operational Notes on Area Navigation Systems*
2. CAA, publicación número 50, *Airborne Radio Equipment Classification*
3. CAA, *Flying Operational Standards and Instructions*

#### Canadá

1. *Guidance material on the application of Area Navigation (RNAV) in Canadian domestic airspace* — TP 9064E
2. *ATC RNAV Control procedures 012 — Manual of Operations* — TP-703

#### Europa

1. Legislaciones nacionales de aviación civil
2. Circulares de información aeronáutica
3. Avisos de aeronavegabilidad
4. EUROCAE ED-39, *Minimum Operational Performance Requirements (MOPR) for Airborne RNAV Systems based on two DME as sensors*
5. EUROCAE ED-40, *Minimum Performance Specification (MPS) for Airborne RNAV Computing Equipment based on two DME as sensors*
6. EUROCAE ED-27, *MOPR for Airborne Area Navigation System based on VOR and DME as sensors*
7. EUROCAE ED-28, *MPS for Airborne RNAV Computing Equipment based on VOR and DME as sensors*
8. EUROCAE ED-12A/RTCA DO-178A, *Software Consideration in Airborne Systems and Equipment Certification*
9. EUROCAE ED-14B/RTCA DO-160B, *Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment*

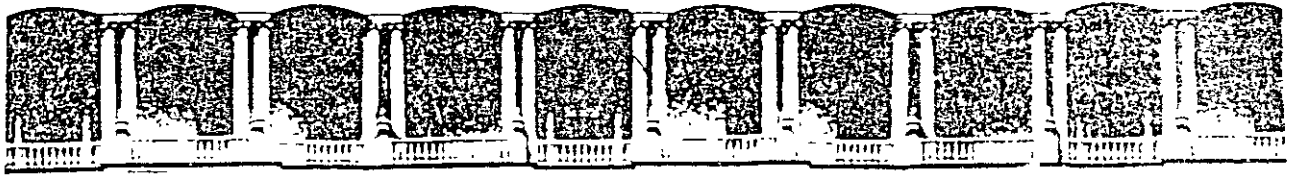
10. EUROCAE ED-58 (Proyecto), *MOPR for Airborne RNAV Equipment using Multi-sensor Inputs*
11. CAP360, *Guidance to UK AOC Holders*
12. NAT Doc 001, T13.5N/5, *Guidance and Information Material concerning Air Navigation in the NAT Region*
13. EUR Doc 001, RNAV/4, *Strategy for the Implementation of RNAV in the European Region (4a edición)*
14. SAE ARP 1570 (Proposed), *Flight Management Computer System*
15. EUROCONTROL *Standard on Area Navigation, Operational and Functional Requirements*

#### Estados Unidos

1. AC 20-101C, *Airworthiness Approval of OMEGA/VLF Navigation Systems for the United States NAS and Alaska* (9/12/88)
2. AC 20-115A, *Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA) DO-178A* (8/12/86)
3. AC 20-121A, *Airworthiness Approval of Airborne LORAN-C Navigation Systems for Use in the U.S. National Airspace System (NAS)* (8/24/88)
4. AC 20-129, *Airworthiness Approval of Vertical Navigation (VNAV) Systems for Use in the U.S. NAS and Alaska* (9/12/88)
5. AC 25-4, *Inertial Navigation Systems (INS)* (2/18/66)
6. AC 90-45A, *Approval of Area Navigation Systems for use in the U.S. National Airspace System* (2/21/75)
7. AC 90-76-B, *Flight Operations in Oceanic Airspace* (1/29/90)
8. AC 90-79, *Recommended Practices and Procedures for the use of Electronic Long Range Navigation Equipment* (7/14/80)
9. AC 90-82B, *Direct Routes in the Conterminous U.S.* (7/15/90)

10. AC 91-49, *General Aviation Procedures for Flight in North Atlantic Minimum Navigation Performance Specifications Airspace* (8/23/77)
11. AC 120-31A, *Operational and Airworthiness Approval of Airborne OMEGA Radio Navigation Systems as a Means of Updating Self-contained Navigation Systems* (4/21/77)
12. AC 120-33, *Operational Approval of Airborne Long Range Navigation Systems for Flight Within the North Atlantic Minimum Navigation Performance Specifications Airspace* (6/24/77)
13. AC 120-37, *Operational and Airworthiness Approval of Airborne OMEGA Radio Navigational Systems as a Sole Means of Long Range Navigation Outside the United States* (10/10/78)
14. AC 121-13, *Self-contained Navigation Systems (Long Range)* (10/14/69)
15. Federal Aviation Administration Order 8400.10, "Air Transportation Operations Inspector Handbook: Volume 4 — Aircraft Equipment and Operational Authorizations; Chapter 1 — Air Navigation"
16. Federal Aviation Administration Handbook, 8260.3B, *U.S. Standard for Terminal Instrument Procedures (TERPS)*; Chapter 15 — Area Navigation (RNAV)
17. AC 20-130, *Airworthiness Approval of Multi-sensor Navigation Systems for use within the U.S. NAS and Alaska* (9/12/88)
18. RTCA/DO-180 A, *Minimum Operational Performance Standards for Airborne Area Navigation Equipment Using a Single Collocated VOR/DME Sensor Input* (5/24/90)
19. RTCA-DO-187, *Minimum Operational Performance Standards for Airborne Area Navigation Equipment Using Multi-Sensor Inputs*, (11/13/84)
20. RTCA-DO-190, *Minimum Operational Performance Standards for Airborne Area Navigation Equipment Using OMEGA/VLF Inputs* (5/16/86)
21. RTCA-DO-194, *Minimum Operational Performance Standards for Airborne Area Navigation Equipment Using LORAN-C Inputs* (11/17/86)
22. ARINC Characteristics 702-1, *Flight Management Computer System*
23. TSO C115, *Airborne Navigation Equipment using Multi-sensor Inputs*

— FIN —



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES  
XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍA DE AEROPUERTOS  
Del 31 de agosto al 30 de octubre.

Módulo II

PROYECTO DE AEROPUERTOS

*Tema: Manual de Aeropuertos STOL*

Palacio de Minería  
1998.

# MANUAL DE AEROPUERTOS STOL

SEGUNDA EDICIÓN — 1991



*Aprobado por el Secretario General  
y publicado bajo su responsabilidad*

ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL





*Nota de envío*

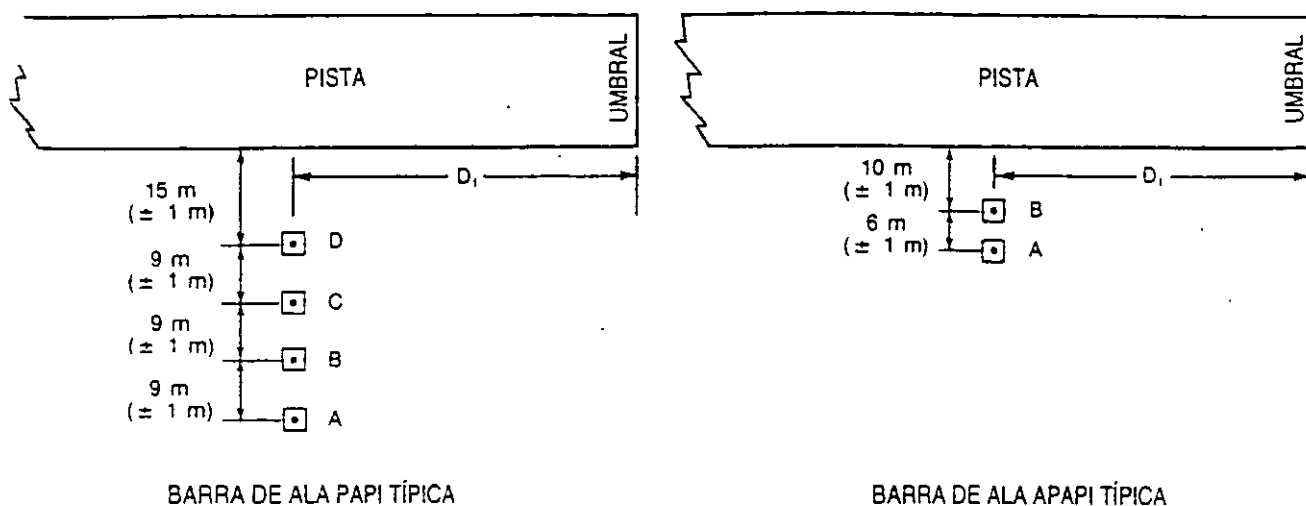
Doc 9150-AN/899  
Corrigendo  
10/6/94

## MANUAL DE AEROPUERTOS STOL

(Segunda edición — 1991)

### CORRIGENDO

1. Sustitúyanse las páginas 25, 26, 27 y 28 actuales por las correspondientes adjuntas.
2. Regístrese la entrada de este corrigendo en la página (ii).

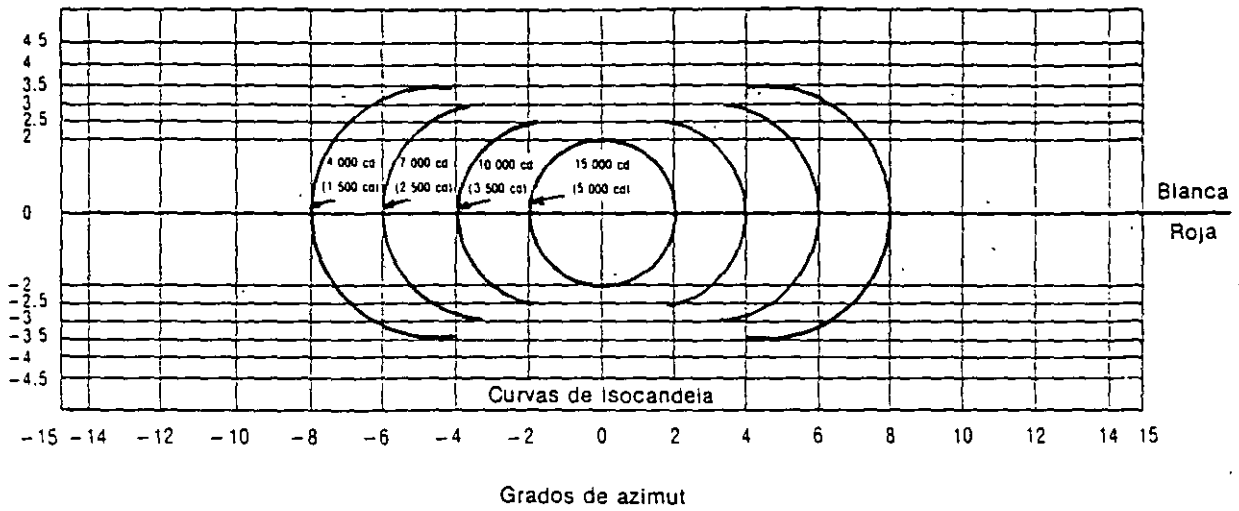


TOLERANCIAS DE INSTALACIÓN

- a) La distancia  $D$ , se calculará para asegurar que la altura más baja a la cual el piloto verá una indicación de trayectoria de aproximación correcta proporciona un margen vertical entre las ruedas y el umbral de por lo menos 3 m o la altura de la distancia vertical entre los ojos del piloto y las ruedas en actitud de aproximación para los aviones más críticos tomándose el valor que sea el mayor.
- b) La distancia  $D$ , debería ser igual a la que media entre el umbral y el origen real de la trayectoria de planeo no visual.
- c) La distancia  $D$ , debería ajustarse para compensar las diferencias de elevación entre la barra de ala y el eje de la pista y el umbral.
- d) Pueden hacerse pequeños ajustes de altura de hasta 5 cm entre los elementos. Puede aceptarse un gradiente lateral no superior al 1,25%, a condición de que se aplique uniformemente entre los elementos.
- e) Se puede utilizar una separación de 6 m ( $\pm 1$  m) entre los elementos del PAPI. El elemento interior debería estar situado a 10 m ( $\pm 1$  m) del borde de la pista.
- f) La separación lateral entre los elementos del APAPI puede incrementarse a 9 m ( $\pm 1$  m) si se requiere un mayor alcance o si se prevé la conversión posterior a un PAPI. En este último caso, el elemento interior debería estar colocado a 15 m ( $\pm 1$  m) del borde de la pista.

Figura 5-6. Emplazamiento del PAPI y del APAPI

Grados de elevación



*Nota 1.— Estas curvas se refieren a las intensidades mínimas de la luz roja.*

*Nota 2.— El valor de la intensidad en el sector blanco del haz no será inferior a 2 veces la intensidad correspondiente del sector rojo y puede llegar a ser hasta 6,5 veces dicha intensidad.*

*Nota 3.— Los valores de intensidad que se indican entre paréntesis se refieren al APAPI.*

Figura 5-7. Distribución de la intensidad luminosa del PAPI y del APAPI

a uno y otro lado del eje de la pista deberían estar dispuestas líneas perpendiculares al eje.

5.6.10.2 Para mitigar los problemas de eliminación de la nieve durante el mantenimiento invernal, los elementos luminosos deberían estar situados a no más de 3 m del borde de pista y ser elevados. Los elementos, cuando fuesen elevados, no deberían tener una altura superior a 35 cm por encima del nivel del terreno a 1.5 m del borde de pista, ni superior a 75 cm por encima del nivel del terreno a 3 m del borde de pista. Debería mantenerse una separación mínima de 15 cm entre los elementos luminosos elevados y cualquier parte colgante de una aeronave considerada crítica cuando sus ruedas principales están en el borde de la pista.

5.6.10.3 Las luces de borde de pista deberían ser fijas y de color blanco variable, excepto que:

- a) cuando el umbral esté desplazado, las luces entre el comienzo de la pista y el umbral desplazado deberían ser de color rojo en la dirección de la aproximación; y
- b) las luces de la sección del tercio de la pista anterior al extremo de pista deberían ser de color amarillo.

5.6.10.4 Las luces de borde de pista deberían verse desde todos los ángulos de azimut que se necesiten para orientar al piloto que aterrice o despegue en una u otra dirección. En esos ángulos de azimut, las luces de borde de pista deberían verse desde los ángulos de elevación sobre la horizontal apropiados para la pendiente de aproximación correspondiente a la pista del aeropuerto STOL.

### 5.6.11 Luces de umbral de pista

5.6.11.1 El umbral de una pista de aeropuerto STOL debería indicarse mediante seis elementos luminosos, tres a cada lado del eje. Las luces deberían estar emplazadas en una fila perpendicular al eje de pista, y a no más de 1.5 m del extremo de la pista. Las luces situadas en la parte más externa de los dos grupos deberían estar emplazadas a 1.5 m hacia afuera de la prolongación de la línea del borde de pista, espaciándose las luces restantes a 4.5 m a partir de la luz situada en el punto más externo.

5.6.11.2 Las luces de borde de pista deberían ser luces fijas unidireccionales, viéndose de color verde en la dirección de aproximación. Los elementos luminosos deberían tener ángulos de elevación sobre el horizonte apropiados para la pendiente de aproximación correspondiente a la pista del aeropuerto STOL.

5.6.11.3 Cuando un umbral de pista coincida con el comienzo de una zona de parada correspondiente a la pista inversa, el umbral debería estar iluminado de conformidad con 5.6.12.

### 5.6.12 Luces de umbral de pista desplazado

Cuando el umbral de pista del aeropuerto STOL sea un umbral desplazado, debería indicarse mediante dos barras de ala situadas simétricamente a cada lado del borde de pista a lo largo del umbral desplazado. Cada barra de ala de luces de umbral de pista desplazado debería constar de 3 luces de color verde espaciadas a una distancia de 4.5 m, estando la luz situada en el punto más interior en alineada con las luces de borde de pista.

### 5.6.13 Luces de extremo de pista

5.6.13.1 El extremo de una pista de aeropuerto STOL debería señalarse con seis elementos luminosos, tres de cada lado del eje. Las luces de extremo de pista deberían estar situadas simétricamente respecto al eje de la pista en línea perpendicular al mismo y a no más de 1.5 m del extremo de pista. Las luces situadas en el punto más externo de los dos grupos deberían estar situadas a 1.5 m al exterior de la prolongación de la línea del borde de pista, estando las luces restantes espaciadas a 4.5 m a partir de la luz situada en el punto más externo.

5.6.13.2 Las luces de extremo de pista deberían ser luces fijas unidireccionales, viéndose de color rojo en la dirección de despegue.

### 5.6.14 Luces combinadas de umbral y de extremo de pista

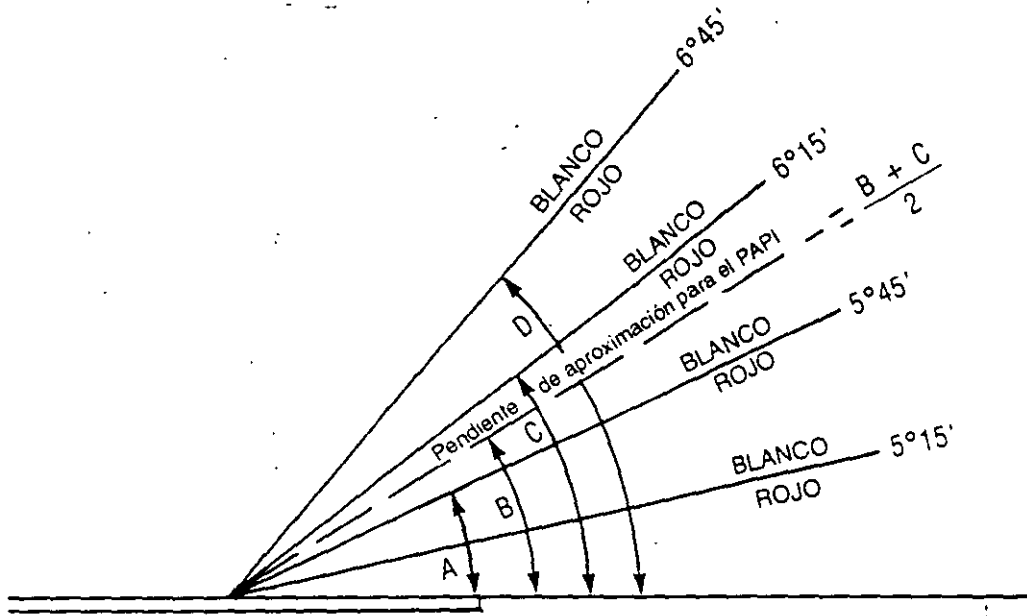
5.6.14.1 Cuando el umbral de pista coincida con el extremo recíproco de pista, se podrán utilizar luces combinadas de umbral y de extremo de pista.

5.6.14.2 Las luces combinadas de umbral y de extremo de pista deberían ser luces fijas bidireccionales que se vean visibles de color verde en la dirección de aproximación y de color rojo en la dirección de despegue. Las luces combinadas deberían estar distribuidas en el umbral/extremo de pista como se describe en 5.6.11.1.

5.6.14.3 Los elementos luminosos deberían tener ángulos de elevación sobre el horizonte apropiados a la pendiente de aproximación correspondiente a la pista del aeropuerto STOL.

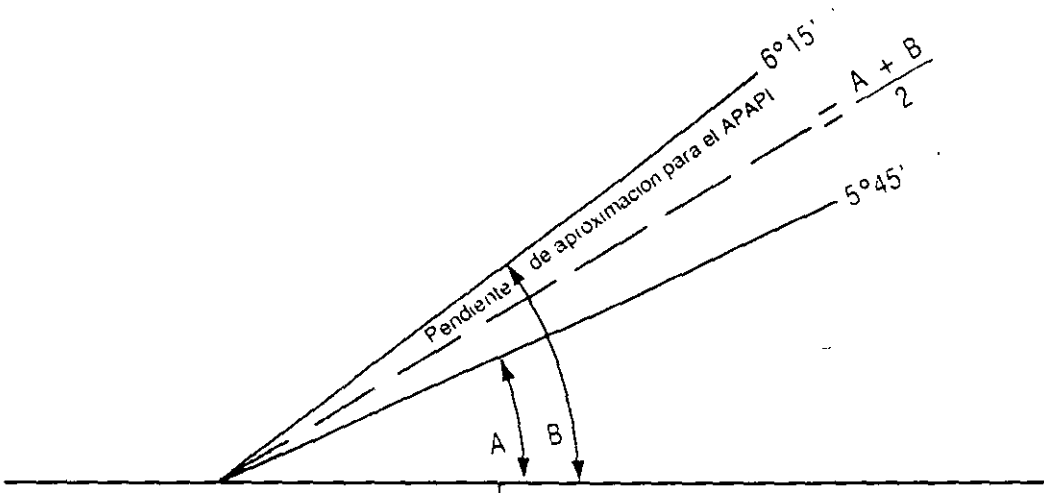
### 5.6.15 Luces de zona de parada

5.6.15.1 Cuando exista una zona de parada para proporcionar la distancia de aceleración-parada exigida para las operaciones de un aeropuerto STOL, la zona de parada debería estar dotada de luces de borde y de extremo. Las luces de borde de zona de parada deberían estar colocadas a lo largo de la zona de parada en dos filas coincidentes con las de las luces



La altura de los ojos del piloto por encima de la antena del receptor de trayectoria de planeo ILS varía según el tipo de avión y la actitud del aproximación. La armonización de la señal del PAPI y de la trayectoria de planeo ILS en un punto más próximo al umbral, puede lograrse aumentando el sector "en rumbo" de 20° a 30°. Los ángulos de reglaje de una trayectoria de planeo de 6° serían de 5°10', y 5°40', 6°20' y 6°50'.

PAPI DE 6°



APAPI DE 6°

Figura 5-8. Haces luminosos y reglaje del ángulo de elevación del PAPI y del APAPI

# Manual de aeropuertos STOL

(Doc 9150-AN/899)

Segunda edición — 1991





## Preámbulo

Este manual proporciona orientación para la planificación y el establecimiento de aeropuertos STOL, aeropuertos de características singulares destinados a prestar servicios a aviones que poseen capacidades excepcionales de performance en pistas cortas. Si bien la OACI no ha definido con precisión los términos "aeropuerto STOL" y "aeronave STOL", se considera que la capacidad que poseen ciertos aviones para funcionar con seguridad en áreas limitadas por el espacio, por el terreno o por ambas cosas, ofrece ventajas en el plano económico y social, siempre y cuando se pueda disponer de aeropuertos utilizables a estos efectos.

El aeropuerto STOL es un aeropuerto cuyas características físicas, ayudas visuales y no visuales y la totalidad de su infraestructura han sido creadas para el servicio del transporte aéreo seguro y efectivo del público desde y hacia zonas urbanas densamente pobladas, así como hacia y desde zonas rurales en terreno difícil.

Dado que no existen normas ni métodos recomendados para los aeropuertos STOL en ninguno de los Anexos de la OACI, este manual trata de todos los aspectos operacionales de las aeronaves en los aeropuertos STOL con excepción de las ayudas no visuales para la navegación aérea. Tampoco se mencionan las operaciones relativas al edificio terminal ni de la parte pública del aeropuerto.

El texto de este manual se basa en la adaptación de métodos de los aeropuertos convencionales y en la experiencia de Estados que han explotado aeropuertos STOL o sistemas

STOL completos. Cabe advertir, sin embargo, que las especificaciones para aeropuertos STOL que aquí se incluyen no son aplicables a los altipuestos, que por definición se hallan situados en regiones montañosas, aunque algunas de las aeronaves STOL que se utilizan actualmente han sido proyectadas para operar en altipuestos. Un altipuerto puede definirse como un pequeño aeropuerto en una zona montañosa con una pista de gradiente pronunciado, utilizada para aterrizar pendiente arriba y despegar pendiente abajo, con lo cual sólo se emplea un área única de aproximación/salida. Por otra parte, la pendiente longitudinal de una pista STOL es más plana que aún la prescrita para una pista destinada a aeronaves de tipo convencional y cuenta, generalmente, con áreas de aproximación/salida a ambos extremos de la pista.

Los aviones-actuales-para pista corta se pueden clasificar según una gama estrecha de categorías en cuanto a tamaño y performance. La orientación de este manual se rige por esas circunstancias. El futuro del desarrollo de las aeronaves civiles STOL es incierto pero en caso de que se progrese en esta materia y se llegue a aviones de mayor tamaño, será necesario revisar algunas partes del presente texto.

Existe el propósito de que este manual se mantenga actualizado. Las futuras ediciones se perfeccionarán según la experiencia que se adquiera y los comentarios y sugerencias que se reciban de los utilizadores. Por lo tanto, se invita al lector a comunicar sus opiniones, comentarios y sugerencias sobre la presente edición y dirigirlos al Secretario General de la OACI.



# Índice

	<i>Página</i>		<i>Página</i>
Capítulo 1. Generalidades .....	1	3.5.3 Resistencia de las plataformas .....	8
1.1 Introducción .....	1	3.5.4 Pendientes de las plataformas .....	8
1.2 Aplicación .....	1	Capítulo 4. Superficies limitadoras de obstáculos .....	10
1.3 Selección del emplazamiento .....	1	4.1 Generalidades .....	10
Capítulo 2. Datos relativos a los aeropuertos STOL .....	3	4.2 Superficies de despegue y de aproxima- ción .....	10
2.1 Generalidades .....	3	4.2.1 Generalidades .....	10
Capítulo 3. Características físicas .....	4	4.2.2 Límites de las superficies de despegue de aproximación .....	12
3.1 Generalidades .....	4	4.2.3 Superficies/pendientes de despegue y de aproximación .....	12
3.2 Pistas .....	4	4.2.4 Dimensiones de las superficies de despegue y de aproximación .....	12
3.2.1 Número y orientación de las pistas .....	4	4.3 Superficies de transición .....	12
3.2.2 Longitud de la pista .....	4	4.3.1 Generalidades .....	12
3.2.3 Zonas de parada y zonas libres de obstáculos .....	6	4.3.2 Características de una superficie de transición .....	12
3.2.4 Anchura de la pista .....	6	4.4 Superficies horizontales interiores .....	13
3.2.5 Pendientes longitudinales y transversales .....	6	4.4.1 Generalidades .....	13
3.2.6 Resistencia de las pistas .....	6	4.4.2 Características de una superficie horizontal interior .....	13
3.2.7 Superficie de las pistas .....	6	Capítulo 5. Ayudas visuales para la navegación .....	14
3.3 Franjas de pista .....	6	5.1 Generalidades .....	14
3.3.1 Generalidades .....	6	5.2 Señales — Generalidades .....	14
3.3.2 Anchura y longitud de las franjas de pista .....	7	5.3 Señales de pista .....	14
3.3.3 Zonas niveladas .....	7	5.3.1 Señales designadoras de aero- puerto STOL .....	14
3.3.4 Pendientes longitudinales y trans- versales de las franjas de pista .....	7	5.3.2 Señales de umbral .....	14
3.3.5 Objetos en las franjas de pista .....	7	5.3.3 Señales designadoras de pista .....	14
3.4 Calles de rodaje .....	7	5.3.4 Señal de eje de pista .....	17
3.4.1 Generalidades .....	7	5.3.5 Señal de faja lateral de pista .....	17
3.5 Plataformas .....	7	5.3.6 Señal de zona de toma de contacto .....	17
3.5.1 Generalidades .....	7	5.3.7 Señal de salida de pista .....	17
3.5.2 Extensión de las plataformas .....	8	5.4 Señales de calle de rodaje .....	17
		5.5 Indicador de dirección del viento .....	17

	<i>Página</i>		<i>Página</i>		
5.6	Luces del aeropuerto STOL .....	17	Capítulo 6. Ayudas visuales indicadoras de obstáculos .....	31	
5.6.1	Generalidades .....	17	6.1	Objetos que hay que señalar e iluminar .....	31
5.6.2	Luces que pueden ser peligrosas o causar confusión .....	21	6.2	Señalamiento e iluminación de objetos .....	31
5.6.3	Dispositivos luminosos y estructuras de soporte .....	21	Capítulo 7. Ayudas visuales indicadoras de zonas de uso restringido .....	32	
5.6.4	Intensidad de las luces y su control .....	21	7.1	Señalamiento de pistas y calles de rodaje cerradas .....	32
5.6.5	Faro de aeropuerto STOL .....	21	7.2	Señalamiento de áreas fuera de servicio .....	32
5.6.6	Sistema de iluminación de aproximación .....	21	7.3	Iluminación de áreas de movimientos fuera de servicio .....	32
5.6.7	Sistema visual indicador de pendiente de aproximación .....	22	7.4	Área previa al umbral .....	32
5.6.8	Luces de guía de pista .....	24	7.5	Señalamiento de superficies no resistentes .....	32
5.6.9	Luces de identificación de umbral de pista .....	24	Capítulo 8. Equipo e instalaciones <sup>34</sup>		
5.6.10	Luces de borde de pista .....	24	8.1	Fuente secundaria de energía eléctrica .....	34
5.6.11	Luces de umbral de pista .....	27	8.2	Dispositivo monitor .....	34
5.6.12	Luces de umbral de pista desplazado .....	27	8.3	Vallas .....	34
5.6.13	Luces de extremo de pista .....	27	8.4	Emplazamiento y construcción de equipo e instalaciones en las zonas de operaciones .....	34
5.6.14	Luces combinadas de umbral y de extremo de pista .....	27	8.5	Operaciones de los vehículos del aeropuerto STOL .....	35
5.6.15	Luces de zona de parada .....	27	Capítulo 9. Servicios de emergencia y otros servicios .....	36	
5.6.16	Luces de zona de toma de contacto en la pista .....	29	9.1	Planificación en previsión de situaciones de emergencia en el aeropuerto STOL .....	36
5.6.17	Iluminación de las calles de rodaje y de plataforma .....	29	9.2	Salvamento y extinción de incendios .....	36
5.6.18	Control de la iluminación por las aeronaves .....	29	9.3	Traslado de aeronaves inutilizadas .....	36
5.7	Letreros .....	29	9.4	Mantenimiento .....	36
5.7.1	Generalidades .....	29	9.5	Reducción de peligros debidos a las aves .....	37
5.7.2	Letreros con instrucciones obligatorias .....	30	9.6	Servicio de dirección en la plataforma .....	37
5.7.3	Letreros de información .....	30	Apéndice A. Definiciones .....	39	
5.8	Balizas .....	30	Apéndice B. Tipos de aviones .....	41	
5.8.1	Generalidades .....	30	Bibliografía .....	44	
5.8.2	Balizas de borde de pistas sin pavimentar .....	30			
5.8.3	Balizas de borde para pistas cubiertas de nieve .....	30			
5.8.4	Balizas de borde de calle de rodaje sin pavimentar .....	30			

# Capítulo 1

## Generalidades

### 1.1 INTRODUCCIÓN

1.1.1 Este manual proporciona orientación general sobre la selección del emplazamiento del aeropuerto STOL, las características físicas, las superficies limitadoras de obstáculos y las ayudas visuales que deben proporcionarse a los aeropuertos STOL, así como ciertas instalaciones y servicios técnicos que se proporcionan normalmente a un aeródromo.

1.1.2 Un aeropuerto STOL constituye una alternativa viable en los casos en que la longitud de las pistas, su emplazamiento y los obstáculos en la trayectoria de salida y aproximación constituirían un impedimento para el establecimiento de un aeropuerto convencional. Al igual que con un aeropuerto convencional, las características físicas de un aeropuerto STOL dependerán del tamaño y de las capacidades de performance del avión diseñado para utilizar aeropuertos STOL. El de operación prevista en el aeropuerto STOL dependerá de las necesidades de la comunidad, de los recursos disponibles y de su emplazamiento. A reserva de las necesidades operacionales del aeropuerto STOL, éste puede proyectarse para la utilización en toda condición meteorológica, o únicamente en condiciones meteorológicas visuales, para uso diurno y nocturno o para uso diurno únicamente.

1.1.3 A los efectos de este manual se supone que la longitud máxima del campo de referencia del avión diseñado para aeropuertos STOL es de 800 m. En cuanto al tamaño, se supone que el avión STOL tiene una envergadura máxima de 26 m y que la medida máxima de su tren de aterrizaje principal es de 9 m. Además, en vista de que no parece haber una intención concreta de producir aeronaves civiles STOL de mayor tamaño, cabe suponer que el avión que se acaba de caracterizar constituya probablemente una opción STOL viable. Por lo tanto, la orientación de este manual se funda en las hipótesis que constituyen el conjunto práctico de criterios basados en los datos disponibles y no tiene en cuenta características adicionales que podrían considerarse apropiadas para aeronaves con mayores exigencias.

1.1.4 Con objeto de garantizar un servicio regular en el aeropuerto STOL, puede ser necesario que haya operaciones sujetas a las reglas de vuelo por instrumentos. Habida cuenta de la longitud de pista y de los pronunciados ángulos de aproximación, los mínimos de operación para el aeropuerto STOL probablemente no han de ser inferiores a los mínimos

de operación de los aeródromos de Categoría I. Al considerarse todos los factores pertinentes es posible que sea necesario que los mínimos de operación para el aeropuerto STOL sean considerablemente superiores al límite más bajo de las operaciones de aterrizaje con aproximación de Categoría I. No obstante, a fin de que haya flexibilidad operacional, cuando exista el propósito de que el aeropuerto STOL esté capacitado para aproximaciones de precisión, el mismo debería diseñarse sobre la base de una pista de aproximaciones de precisión de Categoría I.

1.1.5 La orientación que se proporciona en este manual no pretende limitar ni reglamentar la operación de aeronaves.

### 1.2 APLICACIÓN

1.2.1 El texto de orientación que se proporciona en este manual está destinado al uso de planificadores de aeropuertos STOL y de las autoridades aeroportuarias apropiadas encargadas del examen y de la certificación de la viabilidad de las operaciones STOL en los aeródromos existentes u otros emplazamientos así como para la planificación, el proyecto y la aprobación de los aeropuertos STOL. La interpretación del texto exige que se ejerza discreción al adoptar decisiones, especialmente por parte de las autoridades aeroportuarias.

1.2.2 Si bien las especificaciones del Anexo 14, Volumen I, *Diseño y operaciones de aeródromos* no se aplican a los aeropuertos STOL, buena parte de los textos de orientación que figuran en este manual se ajustan a las normas y métodos recomendados internacionales que figuran en dicho Anexo. Quienes lo utilicen considerarán necesario, por lo tanto, remitirse al Anexo conjuntamente con este manual. También resultarán útiles para fines de orientación el *Manual de proyecto de aeródromos* (Doc 9157), el *Manual de planificación de aeropuertos* (Doc 9184) y el *Manual de servicios de aeropuertos* (Doc 9137).

### 1.3 SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

1.3.1 Antes de dedicar los recursos necesarios para establecer un aeropuerto STOL o un sistema de aeropuertos STOL en una zona urbana, las ventajas reconocidas desde el

punto de vista social, ambiental, económico y operacional deben ser mayores que con los sistemas de transporte existentes. Dichas ventajas se apoyan en la posibilidad de reducir considerablemente el tiempo de viaje mediante un servicio directo entre un centro urbano y otro. Además se desprenden otras ventajas del hecho que hay menos congestión en las zonas de las terminales más importantes, que se necesita menos espacio para el terreno y que es menor el impacto ambiental debido a la capacidad de despegue y aproximación de las aeronaves STOL.

1.3.2 Para maximizar estas ventajas el aeropuerto STOL debería estar situado lo más cerca posible del mercado al que pretende servir. Idealmente, el lugar debería estar cerca de los puntos de destino de los pasajeros y proporcionar un servicio aéreo complementado por un transporte de superficie cómodo.

1.3.3 Si bien la utilidad de un aeropuerto STOL que presta servicio a una comunidad está determinada en mayor parte por su ubicación en zonas densamente pobladas y por la consiguiente conveniencia de dicha ubicación para los negocios y residentes a los que sirve, los aeropuertos STOL son también útiles en las zonas alejadas en las que las características del terreno no permiten un tránsito aéreo convencional.

1.3.4 La pista corta del aeropuerto STOL, la necesidad de menor espacio aéreo en la zona terminal que la que necesita el transporte aéreo convencional y el aspecto práctico de las superficies limitadoras de obstáculos pronunciadas permiten una mayor flexibilidad en la determinación del emplazamiento.

1.3.5 En muchos casos la ubicación ideal para un aeropuerto STOL es en un terreno cuyo valor económico, recreacional o estético supera a las ventajas derivadas de un sistema STOL. Además, la actitud de quienes residen en las proximidades puede representar una fuerte oposición de la comunidad a las operaciones aéreas, por lo cual una ubicación que de otra manera sería apropiada no resulta viable desde el punto de vista político. En este sentido, la sensibilidad al ruido es la causa principal de resistencia, de modo que la selección del emplazamiento de un aeropuerto STOL puede depender, en parte, del relativo poco ruido del avión STOL. En todo caso, la selección del emplazamiento requiere a menudo una solución de compromiso que se componga de diversos elementos de comodidad, necesidad de espacio y utilidad económica. Por otro lado, muchas veces el emplazamiento del aeropuerto STOL no causa necesariamente una intrusión en

zonas que manifiestan sensibilidad. Por ejemplo, se han utilizado emplazamientos urbanos cómodos y apropiados sin perjuicio para las actividades de la comunidad en aeropuertos metropolitanos abandonados, en terrenos de estacionamiento al borde de ríos, en terrenos rellenados o en muelles abandonados. Además de estos ejemplos, se puede mencionar que los terrenos asignados a los corredores de transporte de superficie pueden resultar apropiados para un uso sin perturbación.

1.3.6 También es práctico establecer el aeropuerto STOL en un aeropuerto existente, sobre todo cuando el servicio STOL constituye un servicio conexo subordinado. Aun cuando podrían incorporarse pistas STOL a las pistas actuales es preferible que se dedique una pista separada para las operaciones STOL. En este último caso, el equipo de navegación tridimensional y ayudas para la aproximación apropiadas permitirían a los usuarios del aeropuerto STOL un acceso discreto a los aeropuertos de gran actividad sin interferir gravemente en el tránsito convencional.

1.3.7 Una vez que se haya seleccionado provisionalmente el emplazamiento del aeropuerto STOL, las autoridades planificadoras tendrán que considerar los detalles de construcción y aplicación de las especificaciones pertinentes. Dicha consideración podría incluir una serie de vuelos de demostración. Los vuelos podrían servir para varias finalidades. Se probaría si los planes para evitar el ruido son adecuados; la comunidad quedaría asegurada de que las operaciones STOL son seguras y convenientes; se podrían probar los efectos de la turbulencia del aire causada por las estructuras cercanas y podrían establecerse estructuras de rutas y normas de separación ATC.

1.3.8 Al mismo tiempo, se examinaría el emplazamiento en lo que respecta al suministro de un transporte terrestre conveniente, sin el cual algunas de las ventajas quedarían contrarrestadas. Otra importante consideración en lo que atañe a la selección del emplazamiento es el carácter y la condición del suelo y del subsuelo sobre el que se apoyarán las superficies preparadas y, de modo especial, si los desagües son adecuados. En el *Manual de planificación de aeropuertos*, Parte I, se proporciona orientación detallada sobre la evaluación y selección de emplazamientos de aeropuertos.

1.3.9 Por último, habiendo establecido el emplazamiento del aeropuerto STOL, los planificadores pasarán al proyecto utilizando las descripciones que se proporcionan en este manual para definir las características físicas, las superficies limitadoras de obstáculos y las ayudas visuales. Dicha orientación aparece en los capítulos que siguen.

## Capítulo 2

# Datos relativos a los aeropuertos STOL

### 2.1 GENERALIDADES

2.1.1 En el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 2 figuran los detalles de los datos a determinarse respecto a los aeródromos y que se notificarán al servicio de información aeronáutica apropiado. Dichos requisitos se aplicarán al aeropuerto STOL en la medida que corresponda.

2.1.2 Cuando un aeropuerto STOL se establezca como parte de un aeropuerto convencional, los datos relativos al

aeropuerto STOL deben determinarse y notificarse como parte de los datos de aeródromo del aeropuerto convencional.

2.1.3 Cuando el uso del aeropuerto STOL esté limitado a un tipo especial de avión, el servicio de información aeronáutica apropiado debe ser informado.

2.1.4 Las especificaciones sobre el modo en que deben notificarse los datos de aeropuerto STOL están prescritas en los Anexos 4 y 15.

# Capítulo 3

## Características físicas

### 3.1 GENERALIDADES

3.1.1 La planificación de un aeropuerto STOL comprende la formulación de características físicas adecuadas para proporcionar los elementos operacionales necesarios para la utilización del avión STOL o de aviones similares. Además, el proyectista debe considerar la capacidad o el porcentaje de utilización previsto. El porcentaje máximo de utilización depende tanto de factores tales como la demanda, las condiciones atmosféricas y la capacidad del control de tránsito aéreo como de las características del aeropuerto STOL. Si bien las descritas en este capítulo tienen únicamente por finalidad tratar de las longitudes de pista y separaciones seguras y eficaces, es probable que, habida cuenta de tales factores externos, un aeropuerto STOL cuyas características físicas sean conformes a lo que se indica en este capítulo pueda utilizarse para todas las frecuencias de servicio previstas.

3.1.2 Las características físicas descritas en este capítulo se han adaptado de las especificaciones establecidas en el Anexo 14, Volumen I, en lo pertinente.

### 3.2 PISTAS

#### 3.2.1 Número y orientación de las pistas

3.2.1.1 Basándose en el grado de utilización requerido, el tipo de operaciones del aeropuerto STOL debe determinarse antes de tomar la decisión relativa al número y a la orientación de las pistas. Debe tenerse en cuenta especialmente si el aeropuerto se utilizará en toda condición meteorológica o únicamente en condiciones meteorológicas visuales y si está destinado al uso diurno y nocturno o únicamente al diurno.

3.2.1.2 Probablemente, debido a limitaciones de espacio y de recursos, la configuración de la mayoría de los aeropuertos STOL entrañará una pista única utilizable a partir de uno u otro extremo y la calle de rodaje correspondiente (véase la Figura 3-1).

3.2.1.3 La escasez de terrenos urbanos para aeropuertos puede constituir un inconveniente para la orientación ideal de las pistas en la dirección de los vientos dominantes. No

obstante, el diseño del aeropuerto STOL debe tener como meta la máxima utilización, por lo cual la orientación de la pista debe garantizar que el factor de utilización conforme a la distribución de vientos no sea inferior al 95% para aviones STOL. Así pues, al determinar la componente transversal admisible del viento para establecer un factor de utilización, debe tenerse en cuenta la limitación relativa al viento de costado del avión diseñado para este tipo de aeropuerto. En el Anexo 14, Volumen I, Adjunto A, Sección I se da orientación sobre los factores a tener en cuenta en el estudio de la distribución de vientos.

3.2.1.4 La decisión relativa a la orientación de las pistas también debe tener en cuenta las zonas sobre las cuales habrá tránsito en aproximación, aproximación frustrada y despegue, de modo que los obstáculos en dichas zonas u otros factores no restrinjan indebidamente las operaciones.

#### 3.2.2 Longitud de la pista

3.2.2.1 La longitud de una pista de aeropuerto STOL debe basarse en los datos relativos a despegues y aterrizajes obtenidos del manual de vuelo del avión diseñado para aeropuertos STOL y considerarse junto con los siguientes factores:

- a) si cuenta con aproximaciones amplias o limitadas;
- b) la pendiente longitudinal de la pista propuesta;
- c) la elevación del emplazamiento;
- d) la temperatura y humedad locales; y
- e) el tipo de superficie de la pista.

3.2.2.2 La longitud de una pista no tiene necesariamente que servir para operaciones a la masa máxima del avión a utilizar. En cambio, la masa del avión seleccionado debe ser la necesaria para llevar a cabo la tarea asignada, pudiendo determinarse diferentes masas de despegue y aterrizaje para cada emplazamiento en el que preste servicios el avión destinado a este tipo de aeropuertos.

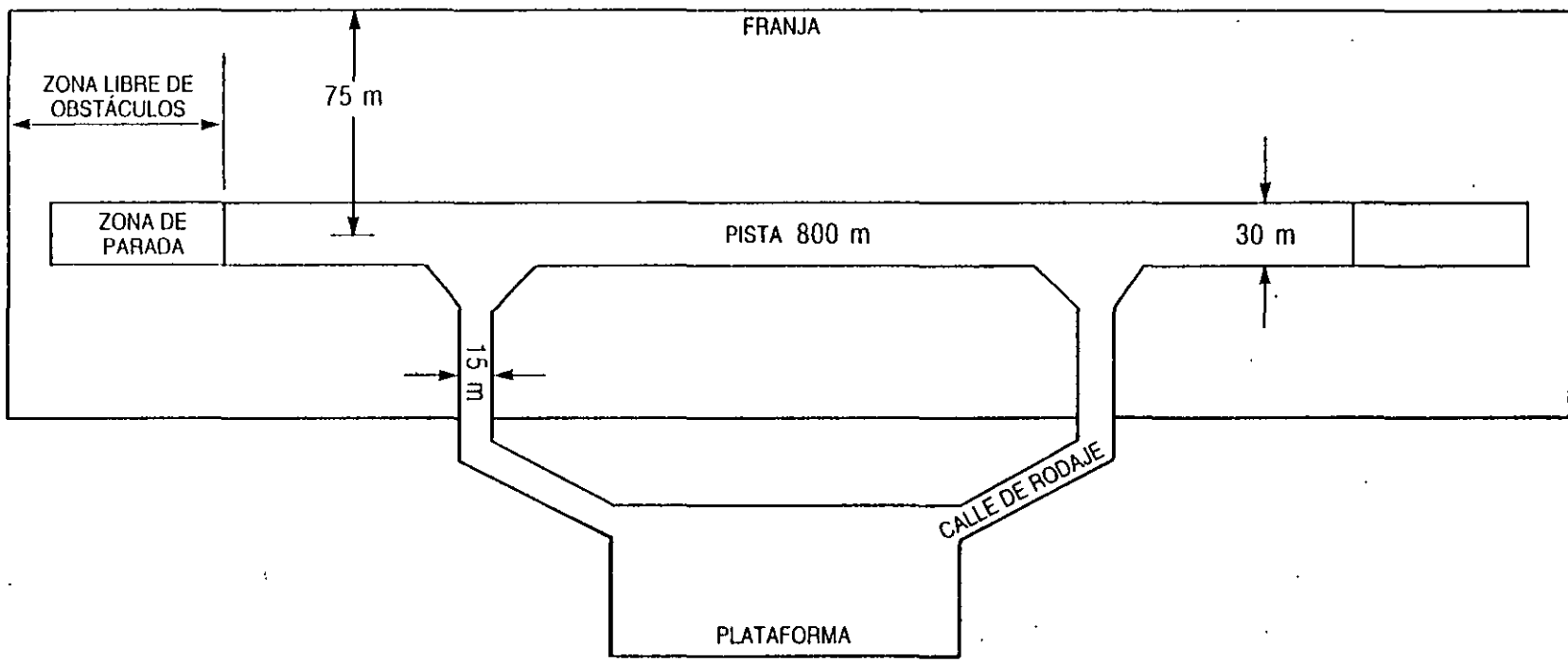


Figura 3-1. Configuración característica de un aeropuerto STOL

### 3.2.3 Zonas de parada y zonas libres de obstáculos

Para una zona de parada o una zona libre de obstáculos prevista puede considerarse satisfactoria una longitud real de pista inferior a la que se sugiere en 3.2.2.1. En tal caso, toda combinación de pista, zona de parada y zona libre de obstáculos debe satisfacer los requisitos de despegue y aterrizaje del avión STOL, teniendo en consideración los mismos factores que en 3.2.2.1. La orientación sobre la utilización de zonas de parada y zonas libres de obstáculos que figuran en el Anexo 14, Volumen 1, Adjunto A, Sección 2, se aplica a los aeropuertos STOL.

### 3.2.4 Anchura de la pista

Se considera generalmente apropiada una anchura de pista de 23 m para los aviones STOL descritos en el Capítulo 1, para vuelos en condiciones meteorológicas visuales. No obstante, la anchura de una pista de aproximación de precisión para un avión de ese tipo no debería ser inferior a 30 m.

### 3.2.5 Pendientes longitudinales y transversales

3.2.5.1 Toda pendiente longitudinal excesiva en una pista tendrá un efecto negativo tanto en el aterrizaje como en el rodaje de despegue del avión. Por dicho motivo, siempre que sea posible, la pendiente longitudinal de una pista de aeropuerto STOL debería mantenerse a 1.0% o menos, y no exceder nunca de 2.0%. La pendiente longitudinal de una pista puede obtenerse dividiendo la diferencia entre la elevación más alta y la elevación más baja a lo largo del eje por la longitud de la pista.

3.2.5.2 En los casos en que la pendiente longitudinal de una pista de aeropuerto STOL exceda de 2.0%, podrá ser necesario informar a los explotadores que las operaciones se limitan a aterrizajes cuesta arriba y despegues cuesta abajo.

3.2.5.3 Las pendientes longitudinales de pistas deben ser conformes a las especificaciones pertinentes del Anexo 14 para el número de clave 1.

3.2.5.4 Para facilitar la rápida evacuación del agua, la superficie de la pista debería ser convexa o en pendiente descendente en la dirección del viento que acompañe a la lluvia con mayor frecuencia. Una pendiente transversal no debería exceder de 2%. Para una superficie convexa la pendiente a cada lado del eje debería ser simétrica.

3.2.5.5 Las pendientes transversales deberían ser esencialmente las mismas a todo lo largo de la longitud de pista salvo en la intersección con una calle de rodaje en que debería proporcionarse una transición pareja manteniendo al mismo tiempo un drenaje adecuado.

3.2.5.6 En el *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 3 se proporciona orientación sobre las pendientes transversales.

### 3.2.6 Resistencia de las pistas

3.2.6.1 Las pistas deberían tener una resistencia del pavimento capaz de soportar el tránsito continuo de aviones STOL a lo largo del recorrido de despegue declarado o de la distancia de aterrizaje declarada, y en toda su anchura.

3.2.6.2 Un aterrizaje normal puede imponer poca o ninguna carga de impacto en la superficie de aterrizaje. No obstante, los factores de carga derivados de una emergencia, o de un aterrizaje mal controlado, deben ser tenidos en cuenta.

### 3.2.7 Superficie de las pistas

3.2.7.1 La superficie de una pista de aeropuerto STOL debe construirse sin irregularidades que afecten la performance del avión durante el despegue o el aterrizaje. Las irregularidades de la superficie que puedan causar vibraciones u otras dificultades en el mando de un avión deben evitarse. En el *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 3, se proporciona orientación sobre la superficie de las pistas.

3.2.7.2 La textura de la superficie de una pista de aeropuerto STOL exige una atención especial debido a los requisitos del aterrizaje en una pista corta. Debería utilizarse una superficie de textura rugosa que sea favorable al frenado. Cuando se prevea que puede haber hidroplaneo con frecuencia debería contemplarse la posibilidad de que la superficie de las pistas sea estriada. Se ha demostrado que una superficie estriada es eficaz para proporcionar el efecto de frenado en las pistas mojadas. En el *Manual de servicios de aeropuertos*, Parte 2, se proporciona orientación sobre los métodos utilizados para medir la textura de las superficies, mientras que en el *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 3, figura la orientación sobre las pistas estriadas.

## 3.3 FRANJAS DE PISTA

### 3.3.1 Generalidades

3.3.1.1 La pista debería estar comprendida dentro de una franja. La franja de pista tiene por finalidad satisfacer a las siguientes consideraciones operacionales:

- a) que haya una zona nivelada para los aviones que se salgan accidentalmente de la pista;
- b) que haya una zona libre de obstáculos para los aviones que se desvíen de la pista después del despegue;



que haya una zona libre de obstáculos para los aviones que estén llevando a cabo una aproximación frustrada iniciada a partir de una altitud muy baja;

- d) que exista una zona para la instalación de ayudas esenciales visuales y no visuales; y
- e) que haya una zona para drenaje y para salida por el costado de la pista.

### 3.3.2 Anchura y longitud de las franjas de pista

3.3.2.1 Es adecuada una anchura de franja de pista de aeropuerto STOL de por lo menos 45 m a cada lado del eje para operaciones diurnas en condiciones meteorológicas visuales. No obstante para operaciones nocturnas o en condiciones meteorológicas por instrumentos, se recomienda una anchura de 75 m a cada lado del eje.

3.3.2.2 Se recomienda que la franja de pista de un aeropuerto STOL se extienda 60 m más allá del extremo de la pista o de la zona de parada a fin de satisfacer las consideraciones mencionadas en 3.3.1.1.

### 3.3.3 Zonas niveladas

A fin de satisfacer la disposición de a) en 3.3.1.1, la porción de una franja de pista fuera de la misma y dentro de una distancia de 40 m desde el eje de la franja debería estar nivelada. La superficie de la parte de la franja lindante con la pista o el borde de la zona de parada debería estar al mismo nivel que la superficie de la pista o de la zona de parada. A fin de proteger los aviones que aterrizan, la franja de la pista debería estar preparada contra la erosión producida por el chorro de los motores a por lo menos 30 m antes del umbral de pista. Las zanjas de drenaje que se necesiten deberán estar ubicadas al extremo de las zonas niveladas. Para reducir aun más las posibilidades de daño a un avión que rueda más allá de la porción nivelada de la franja de pista, la zanja de drenaje debería estar adaptada al contorno.

### 3.3.4 Pendientes longitudinales y transversales de las franjas de pista

Las pendientes longitudinales y transversales de las franjas de pista deberían ajustarse a lo especificado en el Anexo 14, Volumen I, para las franjas correspondientes a pistas con número de clave 1.

### 3.3.5 Objetos en las franjas de pista

Por razones de seguridad, no debería instalarse ningún objeto en una franja de pista, a menos que sea esencial como ayuda para la navegación aérea. El equipo para navegación

aérea que deba situarse en una franja de pista debe estar balizado y tener una masa y altura mínimas, y estar diseñado de manera frangible a fin de que el peligro que constituya para las aeronaves sea mínimo. En los Capítulos 3, 5 y 8 del Anexo 14, Volumen I, se establecen los requisitos en materia de frangibilidad.

## 3.4 CALLES DE RODAJE

### 3.4.1 Generalidades

3.4.1.1 Como se menciona en 3.2.1.2 la configuración probable de un aeropuerto STOL consiste en una pista única dotada de una sola calle de rodaje. La pista debería tener calles de rodaje de entrada y salida suficientes para acelerar el movimiento de los aviones hacia y desde la pista. En el *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 2 se proporciona orientación sobre la disposición de las calles de rodaje. Cuando el extremo de la pista no cuente con una calle de rodaje, podrá ser necesario ampliar el pavimento en el extremo de la pista para que los aviones puedan virar en redondo.

3.4.1.2 El trazado de una calle de rodaje debería ser tal que cuando el puesto de pilotaje del avión STOL se encuentre encima de las señales de eje de la calle de rodaje, la distancia libre entre la rueda exterior del tren principal del avión y el borde de la calle de rodaje no sea inferior a 3 m.

3.4.1.3 Como se mencionó previamente, muchas de las directrices de este manual se ajustan a las especificaciones del Anexo 14, Volumen I. En la medida en que las especificaciones para las calles de rodaje de aeródromos se han establecido sobre la base de la envergadura y la anchura entre las ruedas exteriores del tren de aterrizaje principal del avión que utilizará el aeródromo, las mismas especificaciones se aplican a las calles de rodaje de aeropuertos STOL. Al diseñar las calles de rodaje de un aeropuerto STOL, las especificaciones deberían ajustarse a las normas y métodos recomendados que figuran en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 3.

3.4.1.4 En general no será necesario asignar en los aeropuertos STOL espacio para apartaderos de espera pero, cuando el volumen del tránsito lo justifique, deberían preverse tales apartaderos. Si los hubiera, deberían ajustarse a las especificaciones del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 3, Sección 3.10.

## 3.5 PLATAFORMAS

### 3.5.1 Generalidades

Será necesario proveer plataformas para el embarque y desembarque de pasajeros y carga, así como para las operaciones de servicio de las aeronaves sin obstaculizar el tránsito

del aeropuerto STOL. La distancia desde el borde de la plataforma al borde de la franja de pista debería ser suficiente para que un avión estacionado en la plataforma no penetre en la superficie de transición.

### 3.5.2 Extensión de las plataformas

3.5.2.1 La capacidad necesaria del aeropuerto STOL para atender el tránsito proyectado o previsto constituirá el factor determinante principal al establecer la extensión de la plataforma. La amplitud de la plataforma de un aeropuerto STOL debería ser suficiente como para contener un número adecuado de puertas de acceso o de espacios de estacionamiento para atender al volumen del tránsito del aeropuerto STOL a su nivel máximo.

3.5.2.2 Como el número de puertas de acceso o de espacios de estacionamiento necesarios dependerá, en parte, del tiempo de ocupación de la puerta de acceso o de la duración de inmovilización en el suelo, se debería consultar a los explotadores de aeronaves STOL en lo que atañe a los horarios y otros asuntos que afecten al tiempo que un avión necesita para ocupar la plataforma.

3.5.2.3 La extensión de una plataforma se regirá igualmente por el tamaño del avión STOL y del método de estacionamiento seleccionado para su uso en la plataforma. Si bien el

estacionamiento con la proa hacia adentro exige menos espacio, es probable que por razones de economía y comodidad se prefiera el estacionamiento de maniobra autónoma, con la proa en ángulo hacia adentro o hacia afuera. La Figura 3-2 ilustra una plataforma de aeropuerto STOL característica.

### 3.5.3 Resistencia de las plataformas

La plataforma debe tener suficiente resistencia del pavimento para soportar la masa del avión que utilizará el aeropuerto, teniendo presente que algunas partes de la plataforma estarán sujetas a esfuerzos mayores provocados por aviones en movimiento lento o en posición estacionaria.

### 3.5.4 Pendientes de las plataformas

3.5.4.1 Las pendientes de una plataforma deberían ser suficientes para impedir la acumulación de agua pero no deberían exceder de 1% en cualquier dirección.

3.5.4.2 Debido a la posibilidad de derrames de combustible y del consiguiente peligro de incendio, una plataforma no debería tener pendiente orientada hacia el edificio terminal.

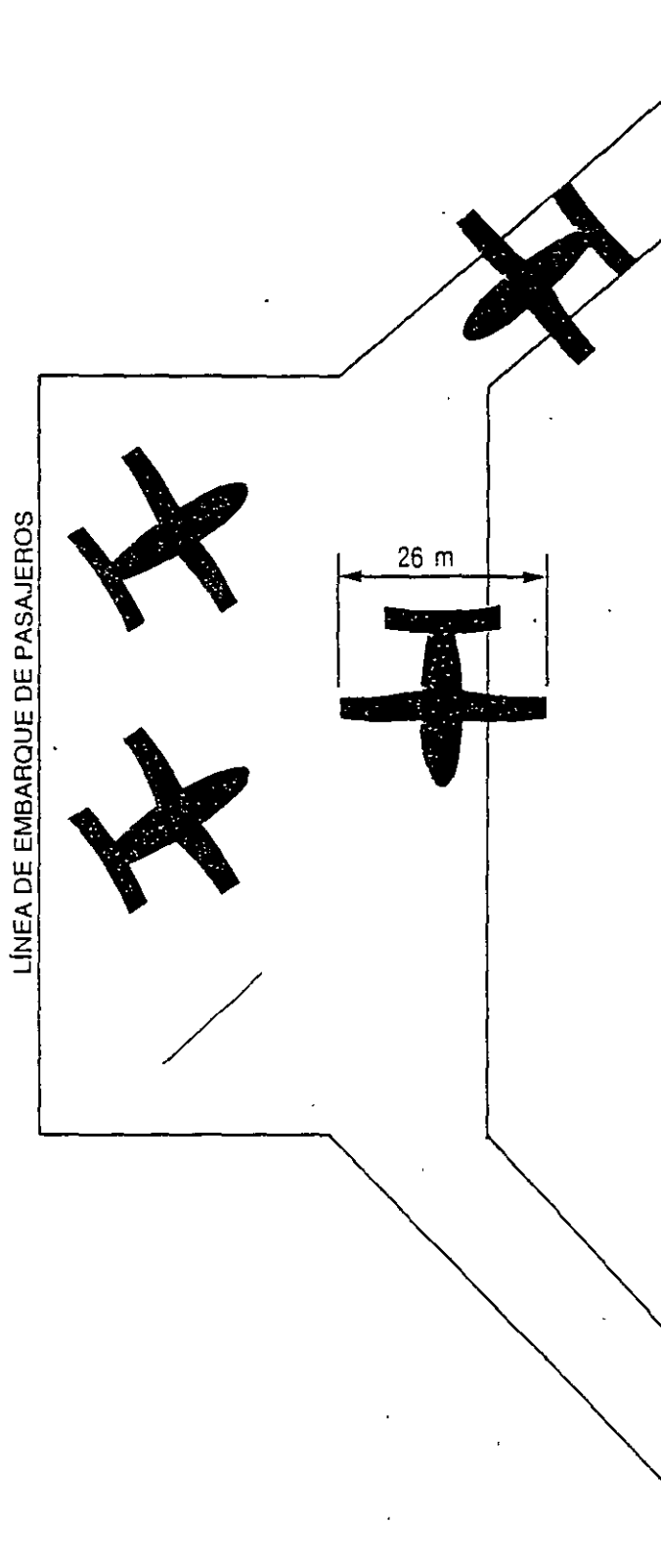


Figura 3-2. Plataforma característica de un aeropuerto STOL

## Capítulo 4

# Superficies limitadoras de obstáculos

### 4.1 GENERALIDADES

4.1.1 A fin de definir el espacio aéreo sobre y alrededor de un aeropuerto STOL que debe mantenerse libre de obstáculos se establece una serie de superficies limitadoras de obstáculos que marcan los límites hasta donde pueden proyectarse los objetos en el espacio aéreo.

4.1.2 En la planificación y proyecto de un aeropuerto STOL, las superficies limitadoras de obstáculos demandan una consideración particular. De hecho, la existencia de objetos situados en la proximidad o cuya construcción está proyectada cerca del emplazamiento de un aeropuerto STOL apropiado en lo que atañe a otras condiciones puede representar el factor decisivo en cuanto a si el aeropuerto STOL constituye un proyecto viable. El funcionamiento del aeropuerto STOL puede quedar afectado de manera importante por elementos situados más allá de los límites del aeropuerto STOL, como por ejemplo, edificios, puentes y torres. Los objetos que atraviesan las superficies limitadoras de obstáculos descritos en este capítulo pueden, por lo tanto, imponer limitaciones en cuanto a la masa de despegue, exigir mínimos meteorológicos más elevados o ambas cosas. Pueden también hacer necesario el desplazamiento del umbral.

4.1.3 Una vez decidido el establecimiento del aeropuerto STOL, los sectores del espacio aéreo local que comprenden las superficies limitadoras de obstáculos deberían considerarse como parte integrante del aeropuerto STOL y, por lo tanto, ser inviolables. Por consiguiente, podrá ser necesario la sanción de una legislación que los declare zonas reservadas a fin de mantener los espacios aéreos libres de obstáculos para despegues, aproximaciones, aproximaciones frustradas y procedimientos de vuelo en circuito. Aparte de los aspectos jurídicos, las autoridades del aeropuerto STOL deberían participar en las consultas a la comunidad y deberían mantener estrecho contacto con los planificadores locales de urbanización para asegurarse de que las necesidades del aeropuerto STOL estén previstas y debidamente atendidas en los planes.

4.1.4 Los requisitos en materia de superficies limitadoras de obstáculos para los aeropuertos STOL se establecen normalmente según la hipótesis de que los despegues y aterrizajes se realizarán en ambas direcciones. Por lo tanto, las funciones de las superficies pueden ser integrales y los requisitos de una superficie anularse por los requisitos más estrictos de la otra.

4.1.5 Las superficies limitadoras de obstáculos a definir en un aeropuerto STOL dependerán del terreno y del tipo de operaciones previstas en dicho aeropuerto. Como un mínimo absoluto, para operaciones diurnas en condiciones meteorológicas visuales, las superficies que exigen protección son la de despegue y aproximación y la de transición. Para la utilización nocturna y cuando se establezca un procedimiento de vuelo en circuito como parte de una aproximación por instrumentos, también habrá que ofrecer protección a una superficie horizontal interna.

4.1.6 Los obstáculos que atraviesan las superficies limitadoras descritas en este capítulo pueden, en algunas circunstancias, provocar un aumento en la altitud/altura de franqueamiento de obstáculos para un procedimiento de aproximación por instrumentos o cualquier procedimiento conexo de vuelo en circuito visual. Los criterios para evaluar los obstáculos figuran en los *Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Operación de aeronaves (PANS-OPS) (Doc 8168), Volumen II — Construcción de procedimientos de vuelo visual y por instrumentos.*

### 4.2 SUPERFICIES DE DESPEGUE Y DE APROXIMACIÓN (Véase la Figura 4-1)

#### 4.2.1 Generalidades

4.2.1.1 Descripción — Superficie de despegue. Plano inclinado u otra superficie especificada que se extiende más allá del extremo de pista.

4.2.1.2 Descripción — Superficie de aproximación. Plano inclinado o combinación de planos anteriores al umbral.

4.2.1.3 Las superficies de despegue y de aproximación deberían establecerse para cada dirección de pista del aeropuerto STOL. A menos que las operaciones en una pista estén limitadas al despegue y aterrizaje en una dirección únicamente, la superficie de aproximación y la superficie de despegue estarán normalmente combinadas.

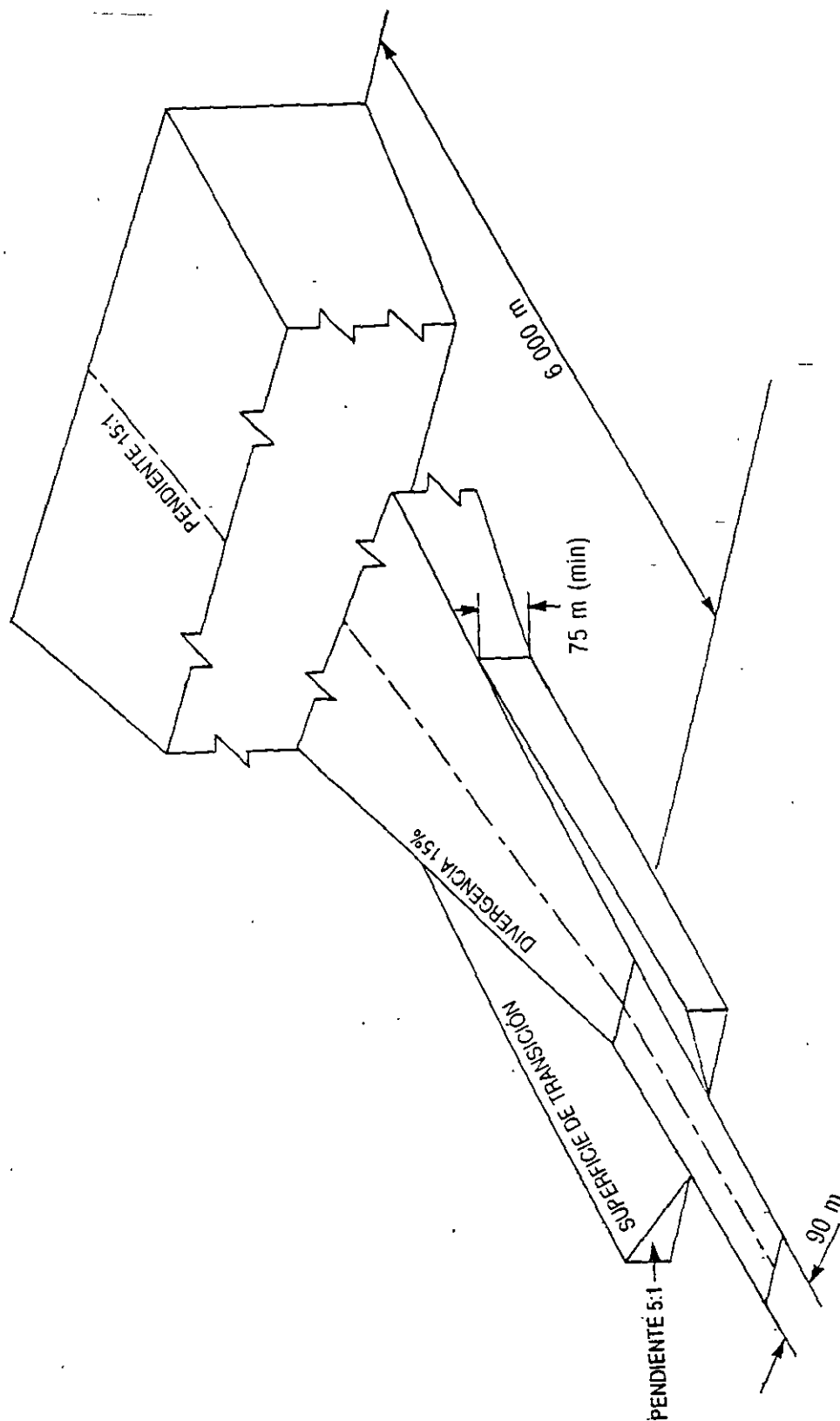


Figura 4-1. Superficie compuesta de aproximación/salida

#### 4.2.2 Límites de las superficies de despegue y de aproximación

4.2.2.1 La superficie de despegue y de aproximación debería comprender:

- a) un borde interior de longitud especificada, horizontal y perpendicular al eje de la pista y situado al extremo de la franja de pista;
- b) dos lados que parten de los extremos del borde interior y divergen uniformemente en un ángulo determinado hasta una anchura final que será el producto de la divergencia y de la longitud de las áreas, continuando después en esa anchura por el resto de la longitud de la zona de despegue y de aproximación; y
- c) un borde exterior paralelo al borde interior.

4.2.2.2 Estos parámetros del área se basan en una trayectoria rectilínea en aproximación final y de ascenso en el despegue. Las trayectorias desplazadas, curvas o segmentadas exigirán modificación de los límites del área.

#### 4.2.3 Superficies/pendientes de despegue y de aproximación

4.2.3.1 Las superficies de despegue y aproximación deberían comprender:

- a) un plano inclinado que establece las limitaciones de altura de los objetos; y
- b) el plano inclinado de la pendiente especificada en 4.2.4.1 limitado por el borde interior en la elevación del umbral, dos lados que divergen y el borde exterior.

4.2.3.2 En ciertos casos, debido a las pendientes, algunas partes del borde interior pueden estar por debajo de la elevación de la franja de pista. En tales casos, no es necesario nivelar la franja para ajustarse al borde interior de la superficie de aproximación ni es necesario que los objetos o el terreno que están por encima de la superficie de aproximación más allá del extremo de la franja pero debajo del nivel de la misma se eliminen, a menos que constituyan un peligro para los aviones.

4.2.3.3 La pendiente máxima para una superficie de despegue debería determinarse mediante los datos de performance del manual de vuelo del avión STOL.

4.2.3.4 La pendiente máxima para una superficie de aproximación debería depender del ángulo de aproximación que el avión STOL puede mantener en una configuración de aterrizaje.

#### 4.2.4 Dimensiones de las superficies de despegue y de aproximación

4.2.4.1 Los criterios que se sugieren para las pistas de despegue y de aproximación son los siguientes:

Longitud del borde interior: 90 m

Divergencia: 15%

Longitud: 6 000 m

Pendiente: Se determina según la performance del avión STOL (en general, 6% o 1:15).

Estos criterios se basan en el vuelo de un avión STOL característico durante el ascenso del segundo segmento con un motor inactivo, hasta una altitud segura en ruta o hasta cumplirse el plazo de la potencia para el despegue (nivel del mar, atmósfera tipo).

4.2.4.2 Los criterios precedentes se han establecido a título indicativo y se basan en circunstancias características pero, dado que diversos aviones podrán lograr diferentes ángulos de aproximación y salida, las superficies limitadoras de obstáculos podrán adaptarse de manera que el emplazamiento sea adecuado en previsión de los obstáculos situados en las proximidades y la capacidad de los aviones STOL. Por ejemplo, no es siempre necesario tratar de alcanzar un ángulo de aproximación de 6°. Un emplazamiento podrá aceptar un ángulo más llano pero proporcionar todavía la longitud necesaria de pista utilizable y, por otro lado, es posible que se necesite un ángulo de aproximación de más de 6° para que la longitud de pista sea adecuada.

### 4.3 SUPERFICIES DE TRANSICIÓN

#### 4.3.1 Generalidades

Para asegurarse de que haya transiciones seguras para las operaciones a baja altitud durante las fases de aproximación y aproximación frustrada, debería establecerse una superficie de transición para cada dirección de pista.

#### 4.3.2 Características de una superficie de transición

4.3.2.1 Los límites de una superficie de transición deberían comprender:

- a) un borde inferior que comience en la intersección del lado de la superficie de aproximación con la superficie horizontal interior (si la hubiera) y que se extienda hacia abajo del lado de la superficie de aproximación hasta el borde interior de la superficie de aproximación que hay a lo largo de la longitud de la franja paralela al eje de pista; y

in borde superior situado en el plano de la superficie horizontal interior o 75 m por encima de la elevación del aeropuerto STOL si no se ha establecido ninguna superficie externa.

4.3.2.2 La elevación de un punto en el borde inferior debería ser:

- a) a lo largo del lado de la superficie de aproximación — igual a la elevación de la superficie de aproximación en dicho punto; y
- b) a lo largo de la franja — igual a la elevación del punto más cercano en el eje de la pista.

4.3.2.3 Se ha constatado que es adecuada una pendiente de superficie de transición de 20% (1:5) determinada en un plano vertical perpendicular al eje de la pista.

4.3.2.4 La pendiente de una superficie de transición puede aumentarse hasta un máximo de 50% (1:2) cuando:

- a) los obstáculos que se consideran críticos y que penetran una pendiente de 20% están adecuadamente señalados e iluminados;
- b) los límites de aterrizaje y despegue están establecidos suficientemente altos como para garantizar que a la altura de decisión o al comienzo de un despegue todo objeto que atraviese una pendiente de 20% sea claramente visible;
- c) se permiten únicamente aproximaciones de precisión en IMC;
- d) la pendiente más pronunciada se extiende únicamente hasta el obstáculo principal siendo de 20% la pendiente que sigue hasta la superficie horizontal interior; y
- e) la utilización del aeropuerto STOL está limitada a operaciones VMC cuando las ayudas visuales y no visuales necesarias no puedan utilizarse.

## 4.4 SUPERFICIES HORIZONTALES INTERIORES

### 4.4.1 Generalidades

Cuando sea necesario prever procedimientos de aproximación en circuito debería establecerse una superficie horizontal interior. Cuando una superficie horizontal interior se superponga a una superficie de despegue y de aproximación, la superficie horizontal interior será la que tenga el carácter más restrictivo o la superficie principal.

### 4.4.2 Características de una superficie horizontal interior

4.4.2.1 La longitud del radio o la distancia de los límites externos de una superficie horizontal interior a partir del punto de referencia del aeropuerto STOL debería ser, como mínimo, de 3 000 m. La forma de la superficie horizontal interior no tiene por qué ser necesariamente circular.

4.4.2.2 Una superficie horizontal interior debería ser un plano común a una altura constante de 75 m por encima de la elevación del punto de referencia del aeropuerto STOL o de la elevación de la estructura permanente más alta dentro del área de la superficie horizontal interior, eligiéndose la más alta pero sin exceder 120 m.

4.4.2.3 Cuando la altura de la superficie horizontal interior sea inferior a 9 m por encima de la superficie del terreno, debería establecerse una superficie imaginaria situada a 9 m.

4.4.2.4 Cuando la altura de la superficie horizontal interior exceda de 120 m sobre un costado de la pista podrá establecerse una superficie horizontal interior semicircular que permita un procedimiento de aproximación en circuito sobre el otro lado de la pista. Cuando esto no sea posible, no debería establecerse el vuelo en circuito como parte de un procedimiento de aproximación, con lo cual quedaría eliminada la necesidad de una superficie horizontal interior.

# Capítulo 5

## Ayudas visuales para la navegación

### 5.1 GENERALIDADES

5.1.1 Las ayudas visuales que se proporcionen en el aeropuerto STOL deben cumplir dos funciones:

- a) proporcionar al piloto los elementos de guía necesarios para llevar a cabo de manera segura las operaciones en el aeropuerto STOL; y
- b) permitirle, mediante las luces y la señalización, que pueda identificar rápidamente la pista designada para las operaciones STOL por oposición a las operaciones CTOL.

5.1.2 En los aeropuertos convencionales es posible que se construyan pistas especiales destinadas exclusivamente a las aeronaves STOL a fin de aumentar la capacidad de tránsito aéreo del aeropuerto y reducir los tiempos entre calzos de las aeronaves STOL. Habrá necesidad de diferenciar dichas pistas especiales de las destinadas a su utilización por aviones que necesiten distancias de aterrizaje más largas. Los aeropuertos STOL situados en las ciudades necesitarán también un señalamiento e iluminación especiales para que puedan ser fácilmente identificables en medio de las luces y demás características de las ciudades.

5.1.3 Los procedimientos de control de tránsito aéreo y los métodos de operación de las aeronaves STOL pueden influir igualmente en el diseño de las ayudas visuales. Cuando una pista esté destinada a su empleo de manera convencional, así como para aviones STOL, las señales y las luces deben ajustarse al Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.

### 5.2 SEÑALES — GENERALIDADES

5.2.1 Las señales descritas en este capítulo son apropiadas para operaciones STOL tanto en condiciones meteorológicas visuales como por instrumentos. Las señales deberían ser muy visibles y proporcionar el máximo contraste posible bajo diferentes condiciones.

5.2.2 Las señales de pista serán blancas: las señales de calle de rodaje y de los puestos de estacionamiento de aeronave deberían ser amarillas y de una textura que permita reducir el riesgo de un frenado desparejo.

### 5.3 SEÑALES DE PISTA

#### 5.3.1 Señales designadoras de aeropuerto STOL

A fin de asegurarse que los pilotos puedan diferenciarla de una pista convencional, cuando sea necesario la pista del aeropuerto STOL debería identificarse mediante las letras STOL a cada extremo de la pista. En la Figura 5-1 se proporciona orientación sobre la forma y dimensiones de las letras.

#### 5.3.2 Señales de umbral

5.3.2.1 Debería disponerse una señal de umbral de pista como sigue:

- a) cuando la pista tenga una señal de designación de aeropuerto STOL — una banda blanca gruesa de 1.5 m de anchura que comienza al extremo de la pista y se extiende a todo lo ancho de la misma; o
- b) cuando la pista no contenga una señal de designación de aeropuerto STOL — una serie de fajas blancas de 15 m de longitud, 1.8 m de anchura, con una separación entre ellas de 1.8 m situadas al extremo de la pista.

5.3.2.2 Cuando el umbral de la pista de un aeropuerto STOL esté desplazado, el comienzo de la pista del aeropuerto STOL debería indicarse mediante una faja transversal de por lo menos 1.8 m de anchura. La porción de la pista anterior al umbral desplazado debería estar señalada con flechas y todas las demás señales deberían estar cubiertas.

5.3.2.3 Las flechas orientadas hacia el umbral desplazado deberían estar espaciadas a intervalos de 30 m con la punta de la flecha precediendo inmediatamente el umbral desplazado a 30 m de la faja transversal. En la Figura 5-2 se proporciona orientación sobre la forma y las dimensiones de las flechas.

#### 5.3.3 Señales designadoras de pista

En el umbral de pista debería disponerse una señal indicadora de pista. La cual debería consistir en un número de dos cifras que sea el entero más próximo a la décima parte del azimut magnético del eje de la pista, medido en el sentido de





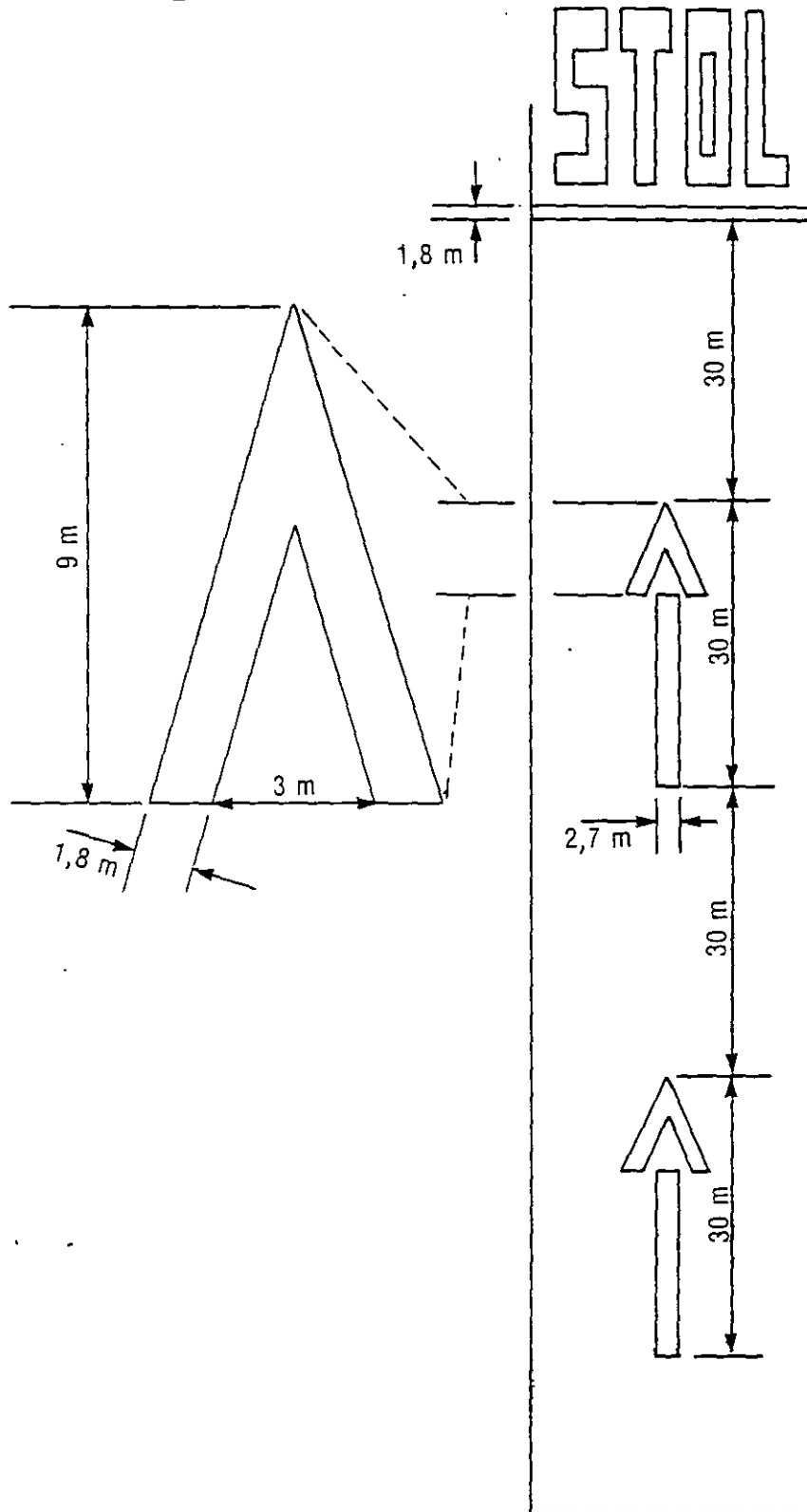


Figura 5-2. Señalamiento de umbral desplazado

as agujas del reloj a partir del norte magnético, visto en la dirección de la aproximación. No obstante, cuando un aeropuerto STOL esté situado en una zona de poca fiabilidad de brújula, la señal indicadora de pista debería ostentar el azimut verdadero en lugar del azimut magnético. En la Figura 5-3 figuran las formas y proporciones de la señal indicadora de pista.

#### 5.3.4 Señal de eje de pista

Una señal de eje de pista de aeropuerto STOL debería consistir en una señal de trazos uniformemente espaciados que comienzan a 23 m de la señal indicadora de pista, como se ilustra en la Figura 5-4. La longitud de los trazos debería ser de 15 m y el espacio entre los mismos también de 15 m. La anchura de los trazos debería ser de por lo menos 45 cm.

#### 5.3.5 Señal de faja lateral de pista

Se considera indispensable que una pista de aeropuerto STOL esté dotada de una señal de faja lateral que debería consistir en una faja de 90 cm de anchura situada a cada lado a lo largo del borde de la pista como se indica en la Figura 5-1.

#### 5.3.6 Señal de zona de toma de contacto

La señal de zona de toma de contacto de un aeropuerto STOL debería consistir en pares de señales rectangulares de por lo menos 22.5 m de longitud y 1.8 m de anchura, como se indica en la Figura 5-4, dispuestas simétricamente con respecto al eje de la pista y a una distancia del umbral que coincida con el origen de la trayectoria de planeo y el emplazamiento del indicador de pendiente de aproximación, si lo hubiera.

#### 5.3.7 Señal de salida de pista

Cuando se proporcione una señal de salida de pista, debería consistir en una línea amarilla continua de 15 cm de anchura paralela a la señal del eje de pista y a 1.8 m de la misma, con una extensión de 30 m en una curva de radio especificado que se une con la línea del eje de pista como se indica en la Figura 5-4. Los radios de giro para las curvas de la señal de salida de pista deberían ser como sigue:

- a) salidas a los extremos de pista — 45 m;
- b) salidas de 45° — 90 m;
- c) salidas de 90° — 30 m; y
- d) salidas de 135° — 30 m.

Las señales de salida de pista deberían garantizar la separación mínima de la rueda con respecto al borde de calle de rodaje que se menciona en el Capítulo 3, 3.4.1.2 de este manual.

### 5.4 SEÑALES DE CALLE DE RODAJE

Las señales de calle de rodaje que se especifican en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, se consideran apropiadas para los aeropuertos STOL.

### 5.5 INDICADOR DE DIRECCIÓN DEL VIENTO

Las especificaciones para los indicadores de dirección del viento que figuran en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, se consideran apropiadas para los aeropuertos STOL.

### 5.6 LUCES DEL AEROPUERTO STOL

#### 5.6.1 Generalidades

5.6.1.1 Las luces del aeropuerto STOL deberían proporcionar una guía visual efectiva y segura durante el despegue, la aproximación, el aterrizaje y las maniobras en tierra en condiciones de visibilidad mínima, así como de noche. La mejor manera de satisfacer este requisito es proporcionar un sistema simple de componentes, cuyo espaciamiento e intensidad estén bien equilibrados y sean coherentes, de manera que el piloto reconozca las características propias del sistema de un aeropuerto STOL normal. El sistema de iluminación detallado en este manual ha sido proyectado para permitir operaciones que satisfagan los mínimos de aproximación de precisión de Categoría I. El ángulo de aproximación para los cuales el sistema ha sido optimizado es de 6°.

5.6.1.2 Las especificaciones para las características fotométricas y los ángulos de los diversos elementos de la iluminación del aeropuerto STOL variarán según factores tales como los alrededores del aeropuerto STOL, la luz ambiente, el tipo de avión STOL y el ángulo de la trayectoria de aproximación. Las características típicas recomendadas figuran en la Tabla 5-1.

5.6.1.3 Un aeropuerto STOL destinado a su utilización de noche en condiciones meteorológicas visuales debería estar equipado como mínimo con las siguientes instalaciones de iluminación:

- a) luces de borde de pista de alta intensidad;
- b) luces de umbral de pista y de extremo de pista de alta intensidad;
- c) luces de borde de calle de rodaje de intensidad media;
- d) sistema visual indicador de pendiente de aproximación;

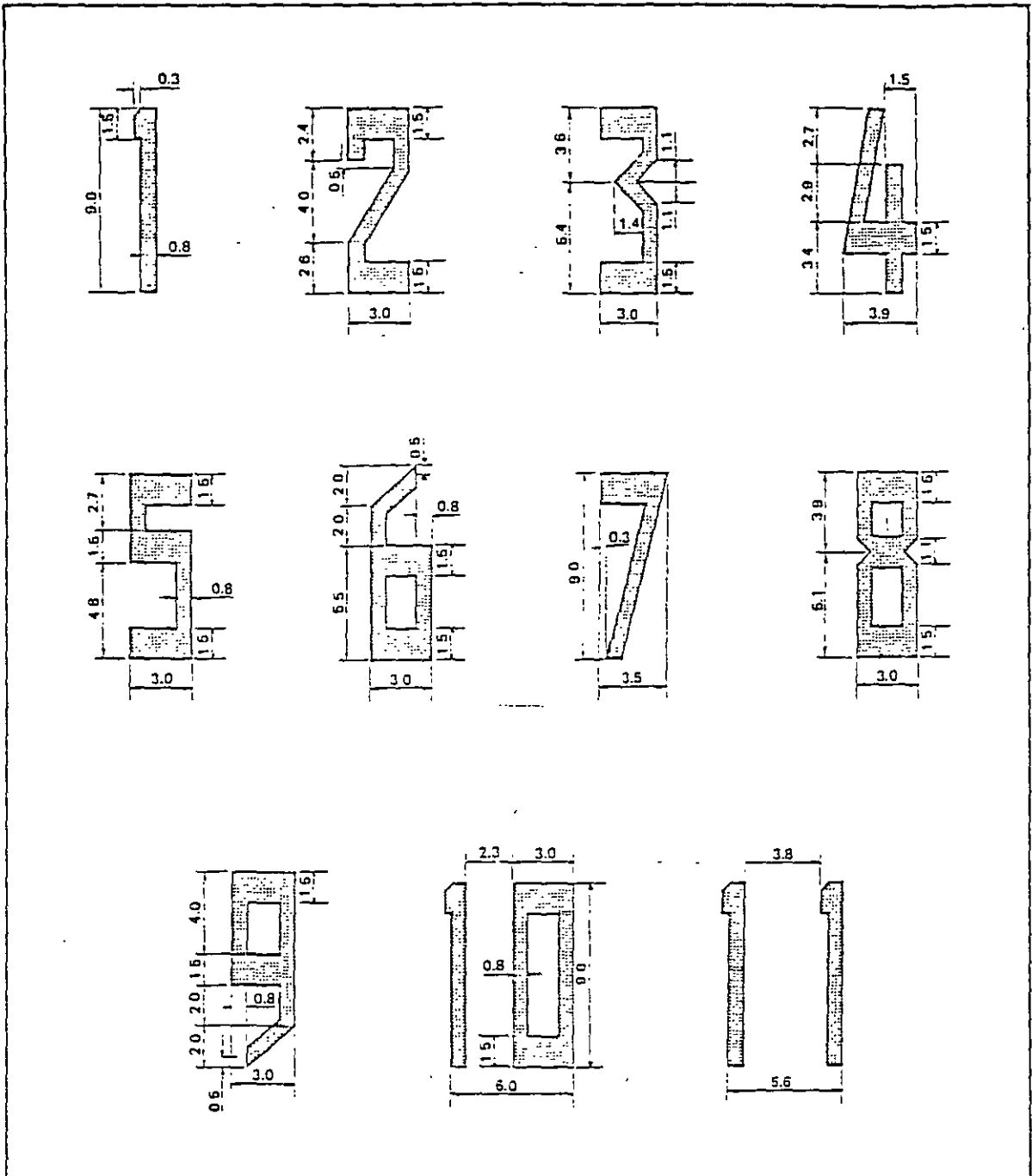


Figura 5-3. Forma y proporciones de los números de designación de pista (en metros)

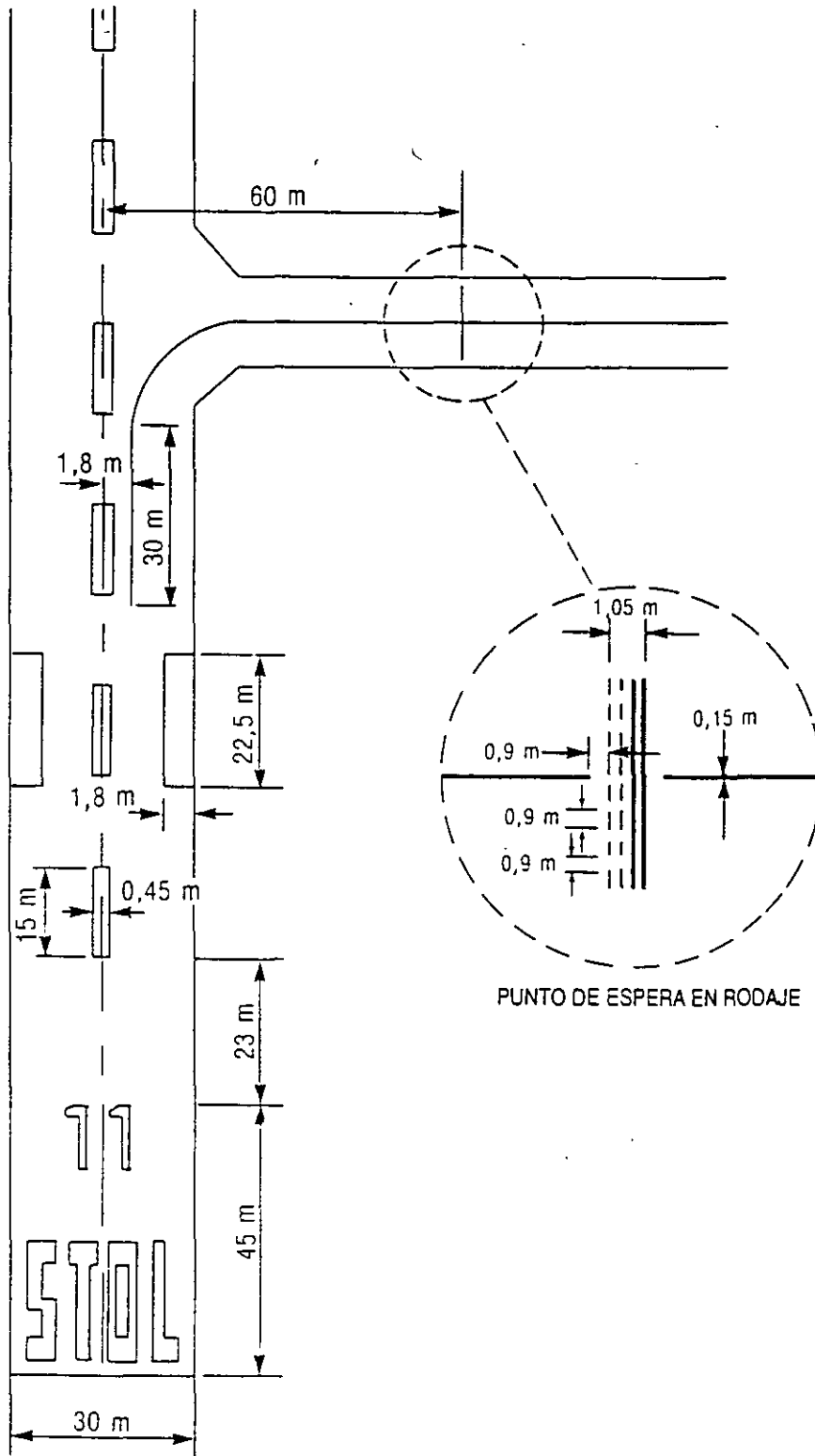


Figura 5-4. Señalamiento de pistas y calles de rodaje

Tabla 5-1. Características de los elementos luminosos de los aeropuertos STOL.

Elemento luminoso	Tipo	Color	Intensidad media mínima $cd \times 1000$	Medidas mínimas del haz (en grados)		Reglaje angular del haz principal (en grados)		Observaciones
				Horizontal	Vertical	Elevación	Ángulo respecto al eje	
Luces de aproximación de gran intensidad	Unidireccional	Blanco	20	21	12	12		
Luces de identificación de pista	Unidireccional	Blanco	11	25	25	7.5	20 divergencia	60 a 120 CPS
Borde de pista	Según corresponda	Blanco	10	5	4	4.5	4.5 convergencia	
Umbral de pista	Bidireccional	Verde — aproximación; rojo — pista	10	5	4	4.5	4.5 convergencia	Factor 0,130 para rojo; 0,150 para verde
Borde de calle de rodaje: Recto	Bidireccional	Azul	2	3	2	4.5		Factor 0,022 para azul
Curvo	Omnidireccional	Azul	2	360	6	3	3 convergencia	
Toma de zona de contacto	Proyector	Blanco	19	60	6			El haz luminoso deberá proyectarse sobre la zona de toma de contacto

- e) indicador luminoso de dirección del viento; y
- f) iluminación de plataforma.

5.6.1.4 Además de los requisitos anteriores, si un aeropuerto STOL está destinado a su utilización en condiciones meteorológicas por instrumentos, pueden ser necesarias desde el punto de vista operacional las siguientes instalaciones:

- a) luces de aproximación de gran intensidad;
- b) luces de identificación de pista;
- c) luces de zona de toma de contacto; y
- d) faro de aeródromo para aeropuerto STOL.

### 5.6.2 Luces que pueden ser peligrosas o causar confusión

Cualquier luz que se encuentre cerca de un aeropuerto STOL y que pudiera poner en peligro la seguridad de las aeronaves debería eliminarse o modificarse de modo que se suprima la causa de ese peligro. Toda luz no aeronáutica que, por su intensidad, color o forma pueda causar confusión debería extinguirse o modificarse de forma que se suprima esa confusión. Las luces de superficie de un aeropuerto STOL situado cerca de aguas navegables deberían instalarse de manera que no se las pueda confundir con luces relacionadas con las actividades marinas.

### 5.6.3 Dispositivos luminosos y estructuras de soporte

Las luces de aproximación elevadas deberían estar instaladas en estructuras de soporte frangibles y de poco peso. La altura de las luces elevadas de pista, de umbral y de calle de rodaje debería ser suficientemente baja para respetar la distancia de guarda de los componentes de las aeronaves y las luces deberían estar instaladas de modo frangible. El *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 4, proporciona orientación sobre la frangibilidad de los dispositivos luminosos y de las estructuras de soporte.

### 5.6.4 Intensidad de las luces y su control

5.6.4.1 Para que sea posible ajustar la intensidad de las luces según las condiciones imperantes, la intensidad debería ser controlable mediante controles separados de intensidad a fin de garantizar que los siguientes sistemas puedan funcionar a intensidades apropiadas:

sistema de iluminación de aproximación (si hubiera);

- b) luces de borde de pista;

- c) luces de umbral de pista;

- d) luces de extremo de pista; y

- e) luces de zona de toma de contacto (si hubiera)

5.6.4.2 Un sistema de luces de gran intensidad debería disponer de un control de intensidad de 5 reglajes para controlar el porcentaje de iluminación como sigue:

- reglaje 5: 100%
- reglaje 4: 25%
- reglaje 3: 5%
- reglaje 2: 1%
- reglaje 1: 0,2%

### 5.6.5 Faro de aeropuerto STOL

5.6.5.1 Debería proporcionarse un faro de aeropuerto STOL salvo cuando se considere innecesario habida cuenta de las necesidades del tránsito aéreo que utilice el aeropuerto STOL, de la perceptibilidad del aeropuerto con respecto a sus alrededores y de las características de otras ayudas visuales útiles para localizar el aeropuerto STOL. En caso de haberlo, el faro de aeropuerto STOL debería estar situado en el aeropuerto o en su proximidad.

5.6.5.2 La elevación del ángulo superior y la intensidad media del faro de aeropuerto STOL variará según los alrededores del aeropuerto pero cuando se utilice la luz del faro debería verse normalmente a todos los ángulos de azimut y desde una elevación de no más de 1°. Una intensidad de 50 000 candelas puede ser apropiada.

5.6.5.3 El faro de aeropuerto STOL debería dar destellos blancos alternados a una frecuencia de por lo menos 20 destellos por minuto y debería representar la letra S del código Morse internacional a fin de denotar que se trata de un aeropuerto "STOL".

### 5.6.6 Sistema de iluminación de aproximación

5.6.6.1 La decisión de proporcionar un sistema de iluminación de aproximación dependerá del lugar de los alrededores del aeropuerto STOL y del ángulo de la pendiente de aproximación. A una altura de decisión de 200 ft (60 m) en una aproximación de 6°, por ejemplo, el avión estaría a aproximadamente 580 m de la toma de contacto y a unos 475 m del umbral. Si el límite de visibilidad para la aproximación fuese del orden de 800 m, el piloto tendría que tener a la vista los alrededores de la pista. Se proporcionaría guía mediante luces de umbral y de borde pista (posiblemente complementadas por luces de identificación de pista) y un indicador visual de pendiente de aproximación. Se percibiría poco del sistema de iluminación de aproximación. No obstante, a ángulos de aproximación inferiores, cuando haya conformaciones de luces extrañas que puedan dar lugar a confusión o cuando se utilicen

trayectorias de aproximación curva desplazada o segmentada puede ser aconsejable disponer de iluminación de aproximación.

5.6.6.2 Cuando se suministre un sistema de iluminación de aproximación debería estar diseñado de manera de proporcionar guía diurna y nocturna en las condiciones más adversas y en la luz ambiente bajo la cual el aeropuerto STOL está previsto que pueda ser utilizable.

5.6.6.3 Un sistema de iluminación de aproximación de aeropuerto STOL debería consistir en una fila de luces situadas en la prolongación del eje de pista que se extienda, en lo posible, sobre una distancia de 300 m desde el umbral de pista, con una fila de luces que formen una barra transversal de 30 m de longitud a una distancia de 150 m del umbral (véase la Figura 5-5).

5.6.6.4 Las luces que formen la barra deberían estar en una línea recta horizontal, perpendicular a la prolongación del eje de pista y bisecada por ella. Las luces que forman la barra deberían estar espaciadas de manera de producir un efecto lineal salvo que podrá dejarse un espacio vacío de 6 m, como máximo, a cada lado de la línea central.

5.6.6.5 Las luces que forman la línea central deberían estar situadas a intervalos longitudinales de 15 m. La luz situada más próxima a la pista debería estar instalada a 15 m del umbral.

5.6.6.6 El sistema de iluminación de aproximación debería situarse en un plano horizontal que pase por el umbral, de manera que:

- a) ninguna luz quede oculta para las aeronaves que realicen la aproximación; y
- b) ningún objeto sobresalga del plano de las luces de aproximación dentro de los 60 m de la línea central. Cuando esto no pueda evitarse, como en el caso de una ayuda única para la navegación, el objeto debería tratarse como un obstáculo y señalarse e iluminarse en consecuencia.

5.6.6.7 Las luces de un sistema de iluminación de aproximación deberían ser blancas y fijas. Cada una de las luces de la línea central debería consistir en:

- a) una sola luz; o bien
- b) una barreta de por lo menos 3 m de longitud.

5.6.6.8 Cuando la identificación del sistema de iluminación de aproximación del aeropuerto STOL es difícil debido a las luces circundantes o cuando la trayectoria de aproximación final es desplazada o segmentada podría resultar útil reforzar el sistema o sustituirlo por luces de destellos en secuencia indicadoras de la dirección de pista.

5.6.6.9 Cuando estén permitidos los procedimientos de vuelo en circuito o de los de circuito visuales, las luces de aproximación deberían verse desde todos los ángulos de azimut necesarios para llevar a cabo dichos procedimientos.

5.6.6.10 Las tolerancias de instalación para los sistemas de iluminación de aproximación figuran en el Anexo 14, Volumen I, Adjunto A, Sección 11. Las mismas tendrán que ser ajustadas de manera apropiada teniendo en cuenta la menor separación de las luces que se utiliza para los aeropuertos STOL.

### 5.6.7 Sistema visual indicador de pendiente de aproximación

5.6.7.1 En operaciones con pistas cortas es fundamental que el piloto siga una trayectoria de aproximación precisa que lo conduzca a un punto de toma de contacto apropiado para el aterrizaje. Por consiguiente, la pendiente de planeo de precisión por instrumentos de una pista de aeropuerto STOL debería reforzarse con un sistema visual indicador de pendiente de aproximación (PAPI o APAPI). Cuando la pista esté preparada para una aproximación de precisión, el emplazamiento y el ángulo de elevación de los elementos luminosos deberían ser tales que la pendiente de aproximación visual se ajuste lo más estrechamente posible a la trayectoria de planeo de la aproximación de precisión.

5.6.7.2 Un sistema PAPI de aeropuerto STOL debería consistir en una barra de ala de cuatro elementos luminosos múltiples de transición o por pares espaciados de manera igual. El sistema debe estar situado del lado izquierdo de la pista, a menos que no resulte práctico hacerlo así (véase la Figura 5-6).

5.6.7.3 Un sistema APAPI de aeropuerto STOL debería consistir en una barra de ala de 2 elementos de lámparas múltiples de transición o por pares, situada de lado izquierdo de la pista, a menos que no sea práctico hacerlo así (véase la Figura 5-6).

5.6.7.4 Cuando las luces de aproximación y las señales y luces de pista proporcionen guía de rodaje insuficiente, puede ser útil que haya una segunda barra de ala del otro lado de la pista.

5.6.7.5 La barra de ala de un PAPI debería estar dispuesta de modo tal que el piloto que realiza la aproximación:

- a) cuando vuele en una pendiente de aproximación o cerca de ella, vea de color rojo los dos elementos más próximos a la pista y de color blanco los dos elementos más alejados de la pista;
- b) cuando vuele por encima de la pendiente de aproximación, vea de color rojo el elemento que está más cerca de la pista y de color blanco los tres elementos más alejados de la



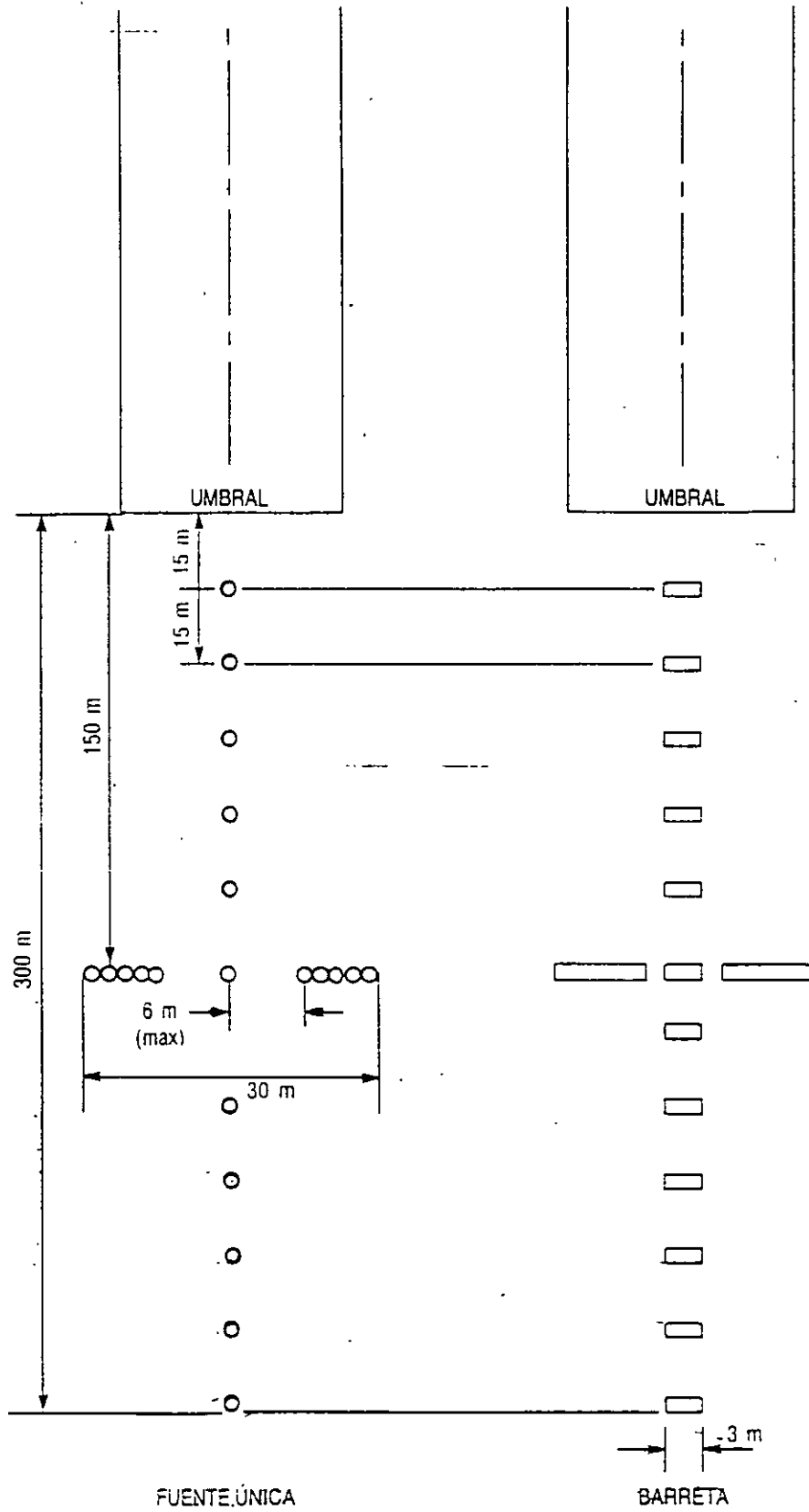


Figura 5-5. Sistema de iluminación de aproximación de aeropuerto STOL

misma y, cuando esté más por encima de la pendiente de aproximación, vea de color blanco todas las luces; y

- c) cuando vuele por debajo de la pendiente de aproximación, vea de color rojo los tres elementos más cercanos a la pista y de color blanco el elemento más alejado de la pista; y, cuando esté más por debajo de la pendiente de aproximación, vea de color rojo todas las luces.

5.6.7.6 La barra de ala de un APAPI debería estar dispuesta de modo tal que el piloto que realiza la aproximación:

- a) cuando esté en la pendiente de aproximación o cerca de ella, vea de color rojo el elemento más cercano a la pista y de color blanco el más alejado;
- b) cuando esté por encima de la pendiente de aproximación, vea de color blanco ambos elementos; y
- c) cuando esté por debajo de la pendiente de aproximación, vea de color rojo ambos elementos.

5.6.7.7 El sistema debería ser apropiado tanto para operaciones diurnas como nocturnas.

5.6.7.8 La transición de colores, de rojo a blanco, en el plano vertical, debería ser tal que para un observador situado a una distancia no inferior a 300 m, ocurra dentro de un ángulo vertical no superior a 3°. Cuando la intensidad sea máxima, la coordenada Y de la luz roja no excederá de 0.320. La distribución de la intensidad de la luz de los elementos luminosos debería ser la indicada en la Figura 5-7. Cada elemento luminoso debería poder ajustarse en elevación, de manera que el límite inferior de la parte blanca del haz pueda fijarse a cualquier ángulo deseado entre 4°30' y 7°30' sobre la horizontal.

5.6.7.9 Las sustancias extrañas como, por ejemplo, la nieve, el hielo, la condensación o el polvo que pudieran depositarse en las superficies reflectoras u ópticas no deberían afectar al contraste entre las señales rojas y blancas ni la elevación del sector de transición.

5.6.7.10 El alcance de los elementos luminosos aparece en la Figura 5-8. Los ángulos diferenciales de 30' se consideran adecuados para las pendientes de aproximación de 4° a 6°. Las pendientes de aproximación superiores a 6° deberían definirse por diferenciales de un grado para facilitar la captura y la capacidad de vuelo en aproximación pronunciada.

5.6.7.11 El *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 4, proporciona orientación adicional sobre las características de los elementos luminosos.

5.6.7.12 Los reglajes del ángulo de elevación de los elementos luminosos de una barra de ala PAPI deberían ser tales que, durante una aproximación, el piloto de una aeronave que esté observando una señal de una luz blanca y tres rojas,

franqueará con un margen seguro todos los obstáculos situados en el área de aproximación. Los reglajes del ángulo de elevación de los elementos luminosos de una barra de ala APAPI deberían ser tales que, durante una aproximación, el piloto de una aeronave que esté observando una luz blanca y una roja, franqueará con un margen seguro todos los obstáculos situados en el área de aproximación.

5.6.7.13 Los elementos luminosos del sistema deberían estar situados en la configuración básica que aparece en la Figura 5-6.

5.6.7.14 Los elementos que forman la barra de ala deberían estar montados de manera tal que el piloto de una aeronave en aproximación los vea en una línea horizontal. Los elementos luminosos deberían estar montados lo más bajo posible y deberían ser suficientemente livianos y frangibles como para no constituir un peligro para la aeronave.

## 5.6.8 Luces de guía de pista

Cuando las demás ayudas visuales proporcionen guía insuficiente podrán suministrarse luces de guía de pista. Un sistema de iluminación de guía de pista debería extenderse desde un punto apropiado para la trayectoria de aproximación hasta un punto en que los alrededores de la pista sean visibles. Cada grupo de luces de un sistema de guía de pista debería constar de por lo menos tres luces blancas de destellos en una configuración lineal o en racimo. Las luces de destellos en cada grupo deberían dar destellos en sucesión hacia la pista. En el *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 4 se proporciona orientación sobre el suministro de sistemas de luces de entrada a la pista.

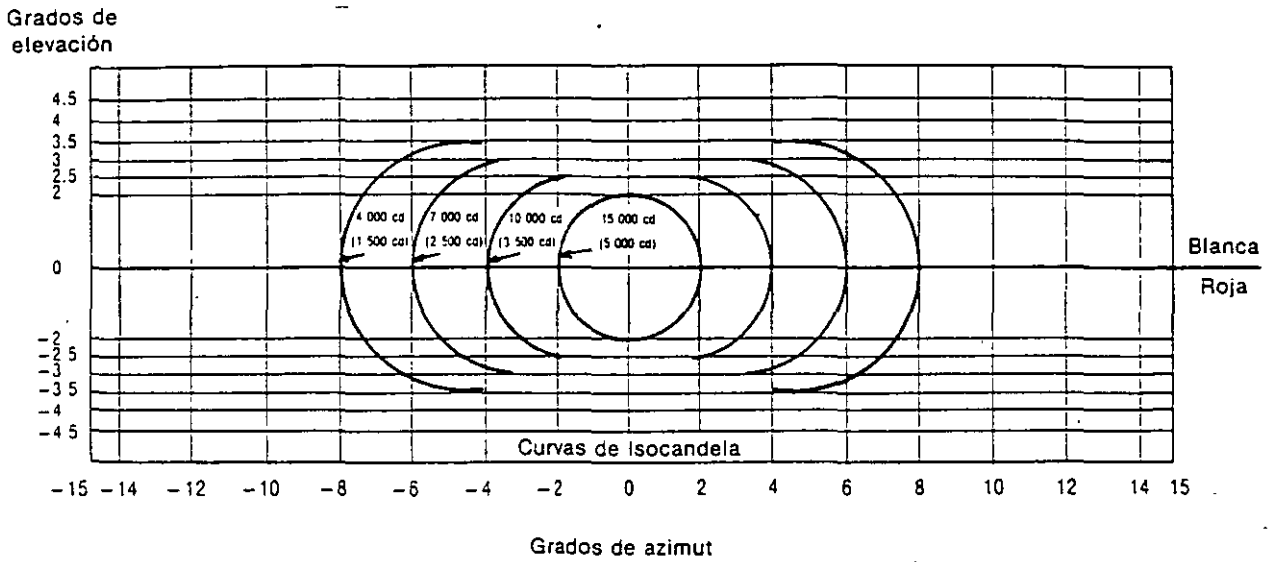
## 5.6.9 Luces de identificación de umbral de pista

5.6.9.1 Deberían instalarse luces de identificación de umbral de pista en el umbral de una pista cuando sea necesario hacer más perceptible el umbral o cuando no se proporciona un sistema de iluminación para la aproximación.

5.6.9.2 Las luces de identificación de umbral de pista deberían estar alineadas con el umbral y a 10 m, aproximadamente, al interior de cada línea de luces de borde de pista. Deberían ser luces de destellos de color blanco, con una frecuencia de destellos de 60 a 120 por minuto. Las luces deberían ser visibles únicamente en la dirección de la aproximación a la pista.

## 5.6.10 Luces de borde de pista

5.6.10.1 Las luces de borde de pista deberían estar situadas a todo lo largo de la pista en dos líneas rectas paralelas y equidistantes del eje. Las luces deberían estar situadas a 1.5 m del borde de la pista y la distancia longitudinal entre las luces no debería ser mayor de 30 m. Las luces

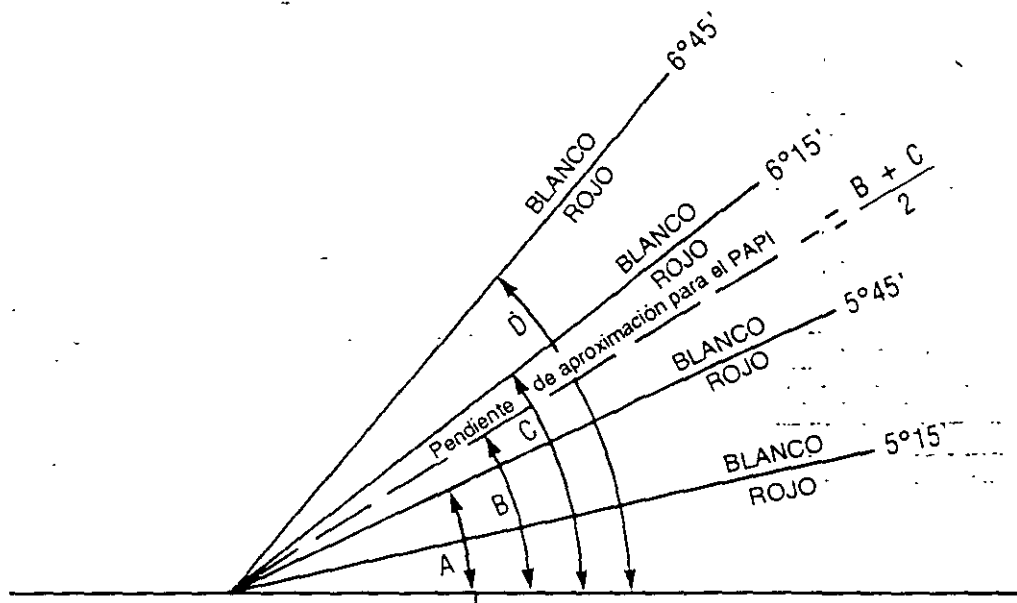


*Nota 1.— Estas curvas se refieren a las intensidades mínimas de la luz roja.*

*Nota 2.— El valor de la intensidad en el sector blanco del haz no será inferior a 2 veces la intensidad correspondiente del sector rojo y puede llegar a ser hasta 6.5 veces dicha intensidad.*

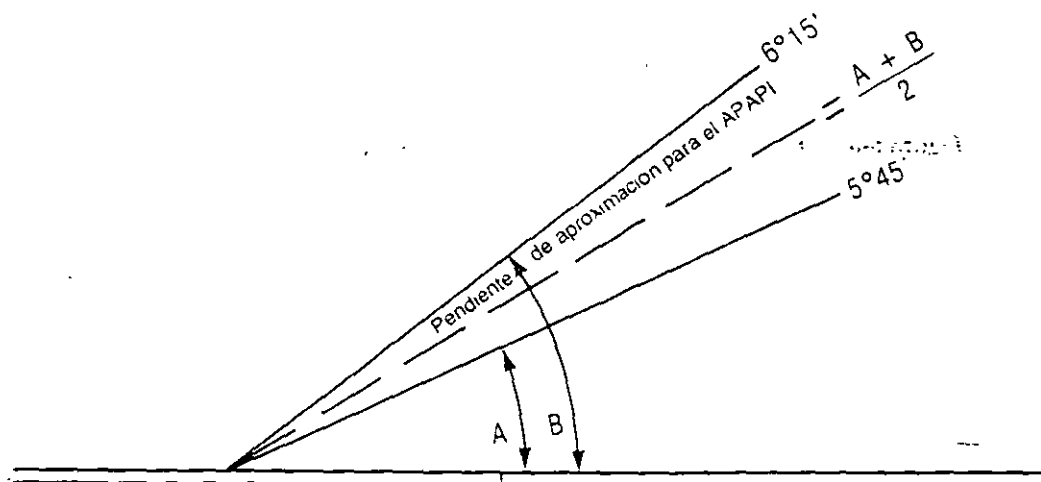
*Nota 3.— Los valores de intensidad que se indican entre paréntesis se refieren al APAPI.*

**Figura 5-6. Distribución de la intensidad luminosa del PAPI y del APAPI**



La altura de los ojos del piloto por encima de la antena del receptor de trayectoria de planeo ILS varía según el tipo de avión y la actitud del aproximación. La amonización de la señal del PAPI y de la trayectoria de planeo ILS en un punto más próximo al umbral, puede lograrse aumentando el sector "en rumbo" de 20° a 30°. Los ángulos de reglaje de una trayectoria de planeo de 6° serían de 5°10', y 5°40', 6°20' y 6°50'.

PAPI DE 6°



APAPI DE 6°

Figura 5-7. Haces luminosos y reglaje del ángulo de elevación del PAPI y del APAPI

a uno y otro lado del eje de la pista deberían estar dispuestas en líneas perpendiculares al eje.

5.6.10.2 Para mitigar los problemas de eliminación de la nieve durante el mantenimiento invernal, los elementos luminosos deberían estar situados a no más de 3 m del borde de pista y ser elevados. Los elementos, cuando fuesen elevados, no deberían tener una altura superior a 35 cm por encima del nivel del terreno a 1.5 m del borde de pista, ni superior a 75 cm por encima del nivel del terreno a 3 m del borde de pista. Debería mantenerse una separación mínima de 15 cm entre los elementos luminosos elevados y cualquier parte colgante de una aeronave considerada crítica cuando sus ruedas principales están en el borde de la pista.

5.6.10.3 Las luces de borde de pista deberían ser fijas y de color blanco variable, excepto que:

- a) cuando el umbral esté desplazado, las luces entre el comienzo de la pista y el umbral desplazado deberían ser de color rojo en la dirección de la aproximación; y
- b) las luces de la sección del tercio de la pista anterior al extremo de pista deberían ser de color amarillo.

5.6.10.4 Las luces de borde de pista deberían verse desde los ángulos de azimut que se necesiten para orientar al piloto que aterrice o despegue en una u otra dirección. En todos esos ángulos de azimut, las luces de borde de pista deberían verse desde los ángulos de elevación sobre la horizontal apropiados para la pendiente de aproximación correspondiente a la pista del aeropuerto STOL.

### 5.6.11 Luces de umbral de pista

5.6.11.1 El umbral de una pista de aeropuerto STOL debería indicarse mediante seis elementos luminosos, tres a cada lado del eje. Las luces deberían estar emplazadas en una fila perpendicular al eje de pista, y a no más de 1.5 m del extremo de la pista. Las luces situadas en la parte más externa de los dos grupos deberían estar emplazadas a 1.5 m hacia afuera de la prolongación de la línea del borde de pista, espaciándose las luces restantes a 4.5 m a partir de la luz situada en el punto más externo.

5.6.11.2 Las luces de borde de pista deberían ser luces fijas unidireccionales viéndose de color verde en la dirección de aproximación. Los elementos luminosos deberían tener ángulos de elevación sobre el horizonte apropiados para la pendiente de aproximación correspondiente a la pista del aeropuerto STOL.

5.6.11.3 Cuando un umbral de pista coincida con el comienzo de una zona de parada correspondiente a la pista recíproca, el umbral debería estar iluminado de conformidad con 5.6.12.

### 5.6.12 Luces de umbral de pista desplazado

Cuando el umbral de pista del aeropuerto STOL sea un umbral desplazado, debería indicarse mediante dos barras de ala situadas simétricamente a cada lado del borde de pista a lo largo del umbral desplazado. Cada barra de ala de luces de umbral de pista desplazado debería constar de 3 luces de color verde espaciadas a una distancia de 4.5 m, estando la luz situada en el punto más interior en alineada con las luces de borde de pista.

### 5.6.13 Luces de extremo de pista

5.6.13.1 El extremo de una pista de aeropuerto STOL debería señalarse con seis elementos luminosos, tres de cada lado del eje. Las luces de extremo de pista deberían estar situadas simétricamente respecto al eje de la pista en línea perpendicular al mismo y a no más de 1.5 m del extremo de pista. Las luces situadas en el punto más externo de los dos grupos deberían estar situadas a 1.5 m al exterior de la prolongación de la línea del borde de pista, estando las luces restantes espaciadas a 4.5 m a partir de la luz situada en el punto más externo.

5.6.13.2 Las luces de extremo de pista deberían ser luces fijas unidireccionales, viéndose de color rojo en la dirección de despegue.

### 5.6.14 Luces combinadas de umbral y de extremo de pista

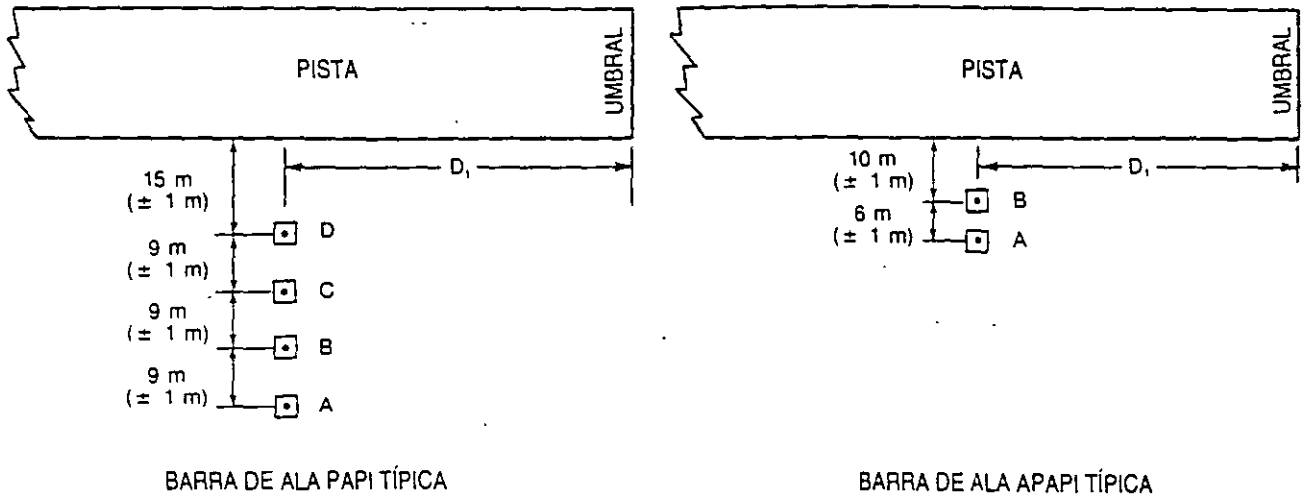
5.6.14.1 Cuando el umbral de pista coincida con el extremo recíproco de pista, se podrán utilizar luces combinadas de umbral y de extremo de pista.

5.6.14.2 Las luces combinadas de umbral y de extremo de pista deberían ser luces fijas bidireccionales, que se vean visibles de color verde en la dirección de aproximación y de color rojo en la dirección de despegue. Las luces combinadas deberían estar distribuidas en el umbral/extremo de pista como se describe en 5.6.11.1.

5.6.14.3 Los elementos luminosos deberían tener ángulos de elevación sobre el horizonte apropiados a la pendiente de aproximación correspondiente a la pista del aeropuerto STOL.

### 5.6.15 Luces de zona de parada

5.6.15.1 Cuando exista una zona de parada para proporcionar la distancia de aceleración-parada exigida para las operaciones de un aeropuerto STOL, la zona de parada debería estar dotada de luces de borde y de extremo. Las luces de borde de zona de parada deberían estar colocadas a lo largo de la zona de parada en dos filas coincidentes con las de las luces



#### TOLERANCIAS DE INSTALACIÓN

- La distancia  $D_1$  se calculará para asegurar que la altura más baja a la cual el piloto verá una indicación de trayectoria de aproximación correcta proporciona un margen vertical entre las ruedas y el umbral de por lo menos 3 m o la altura de la distancia vertical entre los ojos del piloto y las ruedas en actitud de aproximación para los aviones más críticos tomándose el valor que sea el mayor.
- La distancia  $D_1$  debería ser igual a la que media entre el umbral y el origen real de la trayectoria de planeo no visual.
- La distancia  $D_1$  debería ajustarse para compensar las diferencias de elevación entre la barra de ala y el eje de la pista y el umbral.
- Pueden hacerse pequeños ajustes de altura de hasta 5 cm entre los elementos. Puede aceptarse un gradiente lateral no superior al 1,25%, a condición de que se aplique uniformemente entre los elementos.
- Se puede utilizar una separación de 6 m ( $\pm 1$  m) entre los elementos del PAPI. El elemento interior debería estar situado a 10 m (+1 m) del borde de la pista.
- La separación lateral entre los elementos del APAPI puede incrementarse a 9 m ( $\pm 1$  m) si se requiere un mayor alcance o si se prevé la conversión posterior a un PAPI. En este último caso, el elemento interior debería estar colocado a 15 m ( $\pm 1$  m) del borde de la pista.

Figura 5-8. Haces de luz y reglajes del ángulo de elevación del PAPI y del APAPI

de borde de pista. Las luces de extremo de zona de parada deberían estar colocadas a través del extremo de la zona de parada a no más de 3 m hacia afuera del mismo.

5.6.15.2 Las luces de zona de parada deberían ser luces fijas unidireccionales de color rojo visibles en la dirección de la pista.

### 5.6.16 Luces de zona de toma de contacto en la pista

5.6.16.1 Debido a la precisión de la toma de contacto necesaria para las operaciones STOL se considera conveniente señalar la zona de toma de contacto con luces. Un método apropiado consiste en instalar un par de luces blancas empotradas en la pista para señalar el final de la zona de toma de contacto.

5.6.16.2 La iluminación de la zona de toma de contacto mediante proyectores puede ser de utilidad en la precisión de enderezamiento y toma de contacto de algunos tipos de aviones y puede utilizarse como complemento de las luces de zona de toma de contacto o como alternativa. Cuando se decida proporcionar iluminación mediante proyectores, la zona de toma de contacto debería iluminarse con tres proyectores a cada lado de la pista y situados lateralmente a seis metros del borde de la misma.

5.6.16.3 Se considera que una luminancia horizontal media de 14 lux es adecuada siempre y cuando la relación de uniformidad (media a mínima) sea superior a 4:1. Las intensidades de la iluminación y las dimensiones del haz que figuran en la Tabla 5-1 deberían proporcionar dicho valor.

### 5.6.17 Iluminación de las calles de rodaje y de plataforma

Las especificaciones del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, para las luces de borde de calle de rodaje, luces de punto de espera en rodaje y de iluminación de plataforma con proyectores se consideran apropiadas para los aeropuertos STOL. En el *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 4 se proporciona orientación adicional sobre la iluminación de plataforma con proyectores.

### 5.6.18 Control de la iluminación por las aeronaves

5.6.18.1 En ciertas circunstancias puede ser conveniente que la iluminación del aeropuerto STOL sea radiocontrolada por las aeronaves. Deberían poder controlarse los siguientes sistemas:

- a) las luces de aproximación (si hubiera);
- b) las luces de borde, umbral y extremo de pista;

- c) las luces de calle de rodaje;
- d) el indicador de pendiente de aproximación;
- e) las luces de identificación de pista; y
- f) el indicador de dirección del viento.

5.6.18.2 El equipo de radiocontrol debería controlar la iluminación del aeropuerto STOL descifrando una serie de señales de radio generadas por el accionamiento del micrófono del radiotransmisor de una aeronave. Podrá utilizarse un procedimiento como el que sigue:

Tres sonidos de accionamiento de micrófono: ponen en marcha la iluminación de aeropuerto STOL o, si ya está iluminado, cambian el brillo a más bajo.

Cinco sonidos de accionamiento de micrófono: ajustan el brillo al nivel medio.

Siete sonidos de accionamiento de micrófono: ajustan el brillo al valor más alto.

Los sonidos de accionamiento de micrófono deberían producirse dentro de un período de 5 segundos.

El brillo se refiere a las intensidades establecidas para las diversas ayudas de conformidad con 5.6.4.1 y 5.6.4.2

5.6.18.3 El sistema de iluminación del aeropuerto STOL debería apagarse automáticamente 15 minutos después de la última transmisión de control.

## 5.7 LETREROS

### 5.7.1 Generalidades

5.7.1.1 Los letreros se instalan para suministrar información o instrucciones. Las indicaciones sobre el tamaño de los letreros, sus inscripciones, métodos de iluminación, emplazamiento, abreviaturas usadas corrientemente y la frangibilidad de las señales que se proporcionan en el *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 4, se aplican a los letreros de los aeropuertos STOL.

5.7.1.2 Los letreros deberían colocarse tan cerca del borde del pavimento como su construcción lo permita. Los letreros deberían ser ligeros y diseñados con frangibilidad y ser lo suficientemente bajos como para conservar la distancia de guarda respecto a toda parte que sobresalga del avión crítico.

5.7.1.3 Los únicos letreros en el área de movimiento en los que se utilice el color rojo deberían ser los que indiquen

obligación. El letrero debería poder leerse desde el puesto de pilotaje de una aeronave situada en el punto más lejano desde el que se haya de ver. Cuando se utilicen letreros para indicar áreas de movimientos, deberían estar iluminados de modo que pudieran leerse de noche desde una distancia de 240 m con un color de fondo fácilmente perceptible.

### 5.7.2 Letreros con instrucciones obligatorias

5.7.2.1 Se deberían proporcionar letreros con instrucciones obligatorias cuando se trate de identificar por medio de un letrero un punto más allá del cual una aeronave o un vehículo no deberá proseguir a menos que lo autorice la torre de control del aeropuerto STOL. Entre los letreros con instrucciones obligatorias deberían estar comprendidos los letreros de intersección de calle de rodaje con pista y los letreros de PROHIBIDA LA ENTRADA. Cuando esté prohibida la entrada en alguna zona se debería proveer un letrero de PROHIBIDA LA ENTRADA.

5.7.2.2 Una señal de punto de espera en rodaje debería estar complementada con un letrero de intersección de calle de rodaje con pista. En lo posible, los letreros de intersección de calle de rodaje con pista y de PROHIBIDA LA ENTRADA deberían estar situados a cada lado de la calle de rodaje frente al sentido de aproximación a la pista o al área prohibida. Cuando por alguna razón se utilice solamente un letrero éste debería estar colocado de modo que sea el que el piloto vea a su izquierda.

5.7.2.3 Un letrero con instrucciones obligatorias debería consistir en una inscripción en blanco sobre fondo rojo y debería estar iluminado cuando el aeropuerto STOL esté destinado a la utilización nocturna o en condiciones de mala visibilidad. Donde sea apropiado se deberían utilizar las inscripciones de letreros con instrucciones obligatorias establecidas en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, 5.4.2.12.

### 5.7.3 Letreros de información

5.7.3.1 Dado lo limitado del área y dada la simplicidad de un aeropuerto STOL característico, se prevé poco uso para los letreros de información. Cuando sea necesario, un letrero de información debería proporcionar informaciones como, por ejemplo, el emplazamiento o destino específico en un área de movimientos. En lo posible, el letrero de información sobre una calle de rodaje debería estar situado del lado izquierdo de la misma.

5.7.3.2 Un letrero de información debería consistir en inscripciones amarillas sobre fondo negro o en inscripciones negras sobre fondo amarillo y debería estar iluminado cuando el aeropuerto STOL está diseñado para la utilización nocturna o en condiciones de mala visibilidad.

## 5.8 BALIZAS

### 5.8.1 Generalidades

Las balizas deberían ser ligeras y estar montadas sobre soportes frangibles. Las que estén situadas cerca de una pista o calle de rodaje deberían ser lo suficientemente bajas como para conservar la distancia de guarda respecto a toda parte sobresaliente del avión crítico. En el *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 4 se da orientación sobre la frangibilidad de balizas.

### 5.8.2 Balizas de borde de pistas sin pavimentar

5.8.2.1 Es aconsejable emplear balizas para delinear los límites utilizables de una pista cuando la superficie de la misma esté cubierta de grava, césped, hielo o nieve. Si se utilizan balizas planas rectangulares, deberían medir por lo menos 1 m de anchura por 3 m de longitud, y estar instaladas con la dimensión más larga paralela al eje de la pista. Si se utilizan balizas cónicas, no deberían tener más de 50 cm de altura.

5.8.2.2 Cuando se proporcionen luces de borde de pista, las balizas deberían formar parte de los dispositivos luminosos. Cuando no hubiera luces, las balizas planas de forma rectangular, o cónicas, deberían estar colocadas de modo que delimiten claramente la pista.

### 5.8.3 Balizas de borde para pistas cubiertas de nieve

5.8.3.1 Se recomienda el empleo de balizas de borde para pistas cubiertas de nieve para indicar la parte utilizable de las pistas cuando los límites de las mismas no se indiquen de otra forma. Las balizas de borde para pistas cubiertas de nieve deberían estar colocadas a lo largo de los bordes de la pista a intervalos no superiores a 100 m y suficientemente alejadas del eje para no interferir con la aeronave en la pista. El umbral y el extremo de la pista deberían contar con balizas.

5.8.3.2 Los árboles de hojas perennes de 1.2 a 1.5 m de altura, u otras balizas de poco peso visibles se consideran apropiados para su utilización como balizas de borde para pistas cubiertas de nieve.

### 5.8.4 Balizas de borde de calle de rodaje sin pavimentar

5.8.4.1 Cuando los límites de una calle de rodaje sin pavimentar no estén claramente indicados, deberían instalarse balizas.

5.8.4.2 Cuando existan luces de calle de rodaje, las balizas deberían montarse en los dispositivos luminosos. Cuando no haya luces, deberían utilizarse balizas cónicas para delimitar claramente la calle de rodaje.



## Capítulo 6

# Ayudas visuales indicadoras de obstáculos

### 6.1 OBJETOS QUE HAY QUE SEÑALAR E ILUMINAR

6.1.1 El señalamiento y la iluminación de los objetos tiene la finalidad de reducir los peligros para las aeronaves indicando la presencia de los obstáculos, pero no reduce forzosamente las limitaciones de operación que pueda imponer la presencia de los obstáculos.

6.1.2 Todo obstáculo fijo que sobresalga de una superficie de aproximación, de transición o de ascenso en el despegue, dentro de la distancia comprendida entre 3 000 m y el borde interior, debería señalarse e iluminarse, salvo que:

a) el señalamiento y la iluminación pueden omitirse cuando el obstáculo esté apantallado por otro obstáculo fijo; y

el señalamiento puede omitirse cuando el obstáculo esté iluminado de día por luces de alta intensidad.

6.1.3 Todo obstáculo fijo que sobresalga de una superficie horizontal debería estar señalado e iluminado, salvo que:

a) el señalamiento y la iluminación pueden omitirse cuando:

1) el obstáculo esté apantallado por otro obstáculo fijo;

2) se trate de una superficie horizontal interior obstaculizada por objetos inamovibles o por prominencias del terreno y se hayan establecido procedimientos de vuelo en circuito para garantizar márgenes verticales seguros por debajo de las trayectorias de vuelo en circuito; o

3) la autoridad apropiada determine que el obstáculo no tiene importancia para las operaciones; y

b) el señalamiento puede omitirse cuando el obstáculo esté iluminado de día por luces de alta intensidad.

6.1.4 El equipo móvil y los vehículos, excluidas las aeronaves, que se encuentren en el área de movimiento del aeropuerto STOL se consideran como obstáculos, por lo cual deberían estar señalados e iluminados, salvo el equipo de servicio de las aeronaves y los vehículos que se utilizan solamente en las plataformas, los cuales podrían eximirse de este requisito.

6.1.5 Las luces aeronáuticas elevadas que estén dentro del área de movimiento deberían estar señaladas de modo que fuesen bien visibles durante el día.

6.1.6 Todos los objetos elevados situados a una distancia de 26 m con respecto al eje de la calle de rodaje deberían estar señalados e iluminados.

6.1.7 Todos los objetos elevados situados a una distancia de 24.5 m con respecto al eje de una calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves debería estar señalado e iluminado.

### 6.2 SEÑALAMIENTO E ILUMINACIÓN DE OBJETOS

Todos los objetos deberían estar señalados e iluminados de conformidad con el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 6, 6.2 ó 6.3, según corresponda.

## Capítulo 7

### Ayudas visuales indicadoras de zonas de uso restringido

#### 7.1 SEÑALAMIENTO DE PISTAS Y CALLES DE RODAJE CERRADAS

7.1.1 Deberían colocarse señales indicadoras de calle de rodaje cerrada en cada extremo de la pista y a lo largo de la misma a intervalos de no más de 300 m.

7.1.2 Las señales indicadoras de calle de rodaje cerrada deberían estar colocadas a cada extremo de la calle de rodaje o en una parte de la calle de rodaje que esté cerrada.

7.1.3 Si una pista y calle de rodaje estuviera cerrada permanentemente debería pintarse una señal en la superficie pero si la clausura es temporaria la señal podría hacerse utilizando otros materiales que no sean pintura. La señal debería tener forma de "X", debiendo ser cada uno de los brazos de por lo menos 6 m de longitud y 0,9 m de anchura, como se indica en la Figura 7-1.

#### 7.2 SEÑALAMIENTO DE ÁREAS FUERA DE SERVICIO

7.2.1 Las partes fuera de servicio de un área de maniobras deberían estar señaladas de manera netamente visible con objetos tales como conos, banderas o tableros colocados a intervalos que señalen claramente el área fuera de servicio. Las características de las luces de área fuera de servicio son:

- a) un cono que debería tener una altura mínima de 0.5 m;
- b) una bandera que debería ser cuadrada, de 0.5 m de lado por lo menos;
- c) un tablero que debería tener como mínimo 0.5 m de altura y 0.9 m de anchura; y
- d) los objetos antedichos deberían ser de color rojo, anaranjado o amarillo o de cualquiera de dichos colores en combinación con el blanco.

#### 7.3 ILUMINACIÓN DE ÁREAS DE MOVIMIENTO FUERA DE SERVICIO

Las pistas, calles de rodaje y áreas fuera de servicio cerradas deberían estar señaladas con luces rojas fijas de color rojo. Las luces de pista o calles de rodaje de las partes cerradas deberían estar apagadas y, cuando la parte cerrada esté en una intersección con una pista o calle de rodaje utilizable, las luces indicadoras de área fuera de servicio deberían estar colocadas a intervalos de no más de 3 m a través de las entradas al área cerrada. Las luces de área fuera de servicio deberían estar colocadas a intervalos que permitan delinear claramente el área fuera de servicio.

#### 7.4 ÁREA PREVIA AL UMBRAL

7.4.1 Cuando la superficie que conduzca al umbral de pista esté pavimentada pero no sea apropiada para la utilización normal por las aeronaves y exceda de 60 m en longitud, la totalidad de la parte previa al umbral debería estar señalada con trazos en ángulo de color amarillo.

7.4.2 Los trazos en ángulo deberían estar contruidos por franjas amarillas de 1 m de anchura y deberían estar trazadas a un ángulo de 45° con respecto al eje de pista extendido (véase la Figura 7-1).

#### 7.5 SEÑALAMIENTO DE SUPERFICIES NO RESISTENTES

Cuando los márgenes de las calles de rodaje y otras superficies no resistentes no puedan distinguirse fácilmente debería señalarse los límites entre dichas áreas y la calle de rodaje, el apartadero de espera o la plataforma mediante líneas de trazo continuo de color blanco y de 15 cm de anchura de manera que el borde exterior de la línea indique el borde de la superficie no resistente.

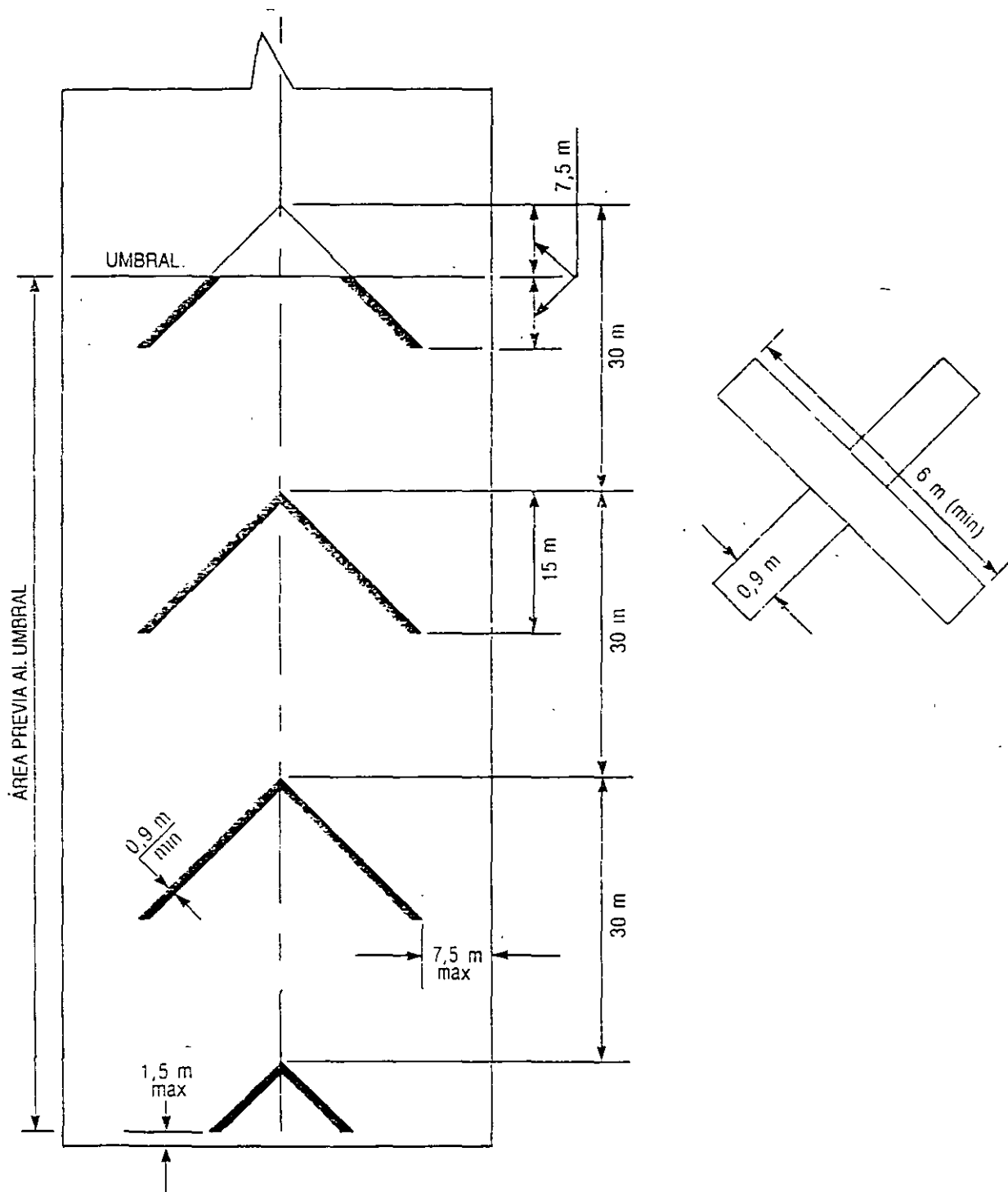


Figura 7-1. Señal anterior al umbral y señales de pista cerrada

# Capítulo 8

## Equipo e instalaciones

### 8.1 FUENTE SECUNDARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

8.1.1 Debería proveerse una fuente secundaria de energía eléctrica por medio de una unidad generadora de reserva o por una segunda fuente independiente de alumbrado público. No obstante, cuando la fuente principal de energía eléctrica sea suficientemente segura debido a la existencia de alimentación duplicada, de una segunda fuente de energía o de otros medios apropiados, puede no ser necesario que haya una fuente de alimentación de reserva.

8.1.2 El paso de la fuente normal a la fuente secundaria debería producirse automáticamente dentro de los 15 segundos de la interrupción o del desperfecto de la alimentación normal.

8.1.3 Debería proveerse una fuente secundaria de energía eléctrica capaz de satisfacer, por lo menos, los requisitos de las instalaciones del aeropuerto STOL que se enumeran seguidamente:

- a) la lámpara de señales y el alumbrado mínimo necesario para que el personal de los servicios de control de tránsito aéreo pueda desempeñar su cometido;
- b) todas las luces de obstáculos que, en opinión de la autoridad competente, sean indispensables para garantizar la seguridad de las operaciones de las aeronaves;
- c) la iluminación de aproximación, de pista y de calle de rodaje;
- d) el equipo meteorológico;
- e) la iluminación indispensable para fines de seguridad;
- f) el equipo y las instalaciones esenciales de las dependencias del aeródromo que atienden a casos de urgencia; y
- g) la iluminación con proyectores de los puestos aislados que hayan sido asignados para estacionamiento de aeronaves, si se proporciona dicha iluminación.

En el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 8, se proporciona orientación apropiada sobre las especificaciones relativas a las fuentes secundarias de energía, incluidos los tiempos máximos de cambio.

8.1.4 En el *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 5 se proporciona orientación sobre la fuente secundaria de energía eléctrica.

### 8.2 DISPOSITIVO MONITOR

Para asegurar la fiabilidad del sistema de iluminación debería emplearse un dispositivo monitor de las ayudas visuales. En el *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 5 se proporciona orientación sobre esta materia.

### 8.3 VALLAS

8.3.1 El aeropuerto STOL debería estar provisto de vallas u otras barreras adecuadas de protección para impedir la entrada, al área de movimiento, de animales que, por su tamaño, lleguen a constituir un peligro para las aeronaves, así como para impedir el acceso de personas no autorizadas a la parte aeronáutica.

8.3.2 Las instalaciones y servicios terrestres indispensables para la seguridad de la aviación civil ubicados fuera del aeropuerto STOL deberían estar protegidos contra el acceso de personas no autorizadas.

8.3.3 La valla o barrera debería separar las zonas abiertas al público del área de movimiento y otras instalaciones o zonas del aeropuerto STOL vitales para la operación segura de las aeronaves.

### 8.4 EMPLAZAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO E INSTALACIONES EN LAS ZONAS DE OPERACIONES

8.4.1 Con excepción de los que por sus funciones requieran estar situados en ese lugar para fines de navegación aérea, no deberán emplazarse equipos e instalaciones:

- a) en una franja de pista, una franja de calle de rodaje o dentro de una distancia de 26 m de la calle de rodaje que no sea una calle de rodaje de puesto de estacionamiento de aeronave, si constituyera un peligro para las aeronaves; o

b) una zona libre de obstáculos, si constituyera un peligro para las aeronaves.

8.4.2 Cualquier equipo o instalación requerido para fines de navegación aérea que deba estar emplazado en una franja de calle de rodaje o dentro de una distancia de 26 m del eje de la calle de rodaje debería ser considerado como un obstáculo y debería tener la menor masa y altura posibles, ser de diseño y montaje frangibles y estar situado de tal modo que el peligro para las aeronaves se reduzca al mínimo. Todo equipo o instalación requerido para fines de navegación aérea que deba estar emplazado en una franja de pista y que:

a) esté colocado a una distancia de 45 m del eje de la pista; o

b) penetre la superficie de aproximación interna o la superficie de transición

debería tener la menor masa y altura posibles, ser de diseño frangible y estar situado de tal modo que el peligro sea mínimo. En el *Manual de servicios de aeropuertos*, Parte 6, se proporciona orientación sobre el diseño frangible de ayudas para la navegación.

### 8.5 OPERACIONES DE LOS VEHÍCULOS DEL AEROPUERTO STOL

En el Anexo 14, Volumen I, Adjunto A, Sección 18, se proporciona orientación sobre las operaciones de los vehículos de aeródromo.

## Capítulo 9

### Servicios de emergencia y otros servicios

#### 9.1 PLANIFICACIÓN EN PREVISIÓN DE SITUACIONES DE EMERGENCIA EN EL AEROPUERTO STOL

9.1.1 A fin de preparar al aeropuerto STOL a enfrentar una situación de emergencia, los planificadores de aeropuertos STOL deberían emplear las especificaciones que figuran en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 9, y la orientación de la planificación de emergencia que figura en el *Manual de servicios de aeropuertos*, Parte 7, a fin de elaborar un plan de emergencia de aeropuerto STOL acorde con las operaciones aéreas y demás actividades.

9.1.2 El plan de emergencia del aeropuerto STOL debería prever las medidas a adoptarse frente a una emergencia que se presente en un aeropuerto STOL o en sus inmediaciones. El plan debería coordinar la intervención o participación de todas las actividades existentes que, a juicio de la autoridad competente podrían ayudar a hacer frente a la emergencia. Debería existir un procedimiento establecido para poner a prueba el plan de emergencia del aeropuerto STOL con miras a su perfeccionamiento. Cuando el aeropuerto STOL forme parte de un aeródromo más grande el plan de emergencia del aeropuerto STOL debería incorporarse en el plan de emergencia del aeródromo.

#### 9.2 SALVAMENTO Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS

9.2.1 Debería proporcionarse al aeropuerto STOL servicios y equipo de salvamento y de extinción de incendios apropiados, siendo el objetivo principal de los mismos salvar vidas en la eventualidad de un accidente aéreo o de un incendio en el aeropuerto STOL. Este objetivo debería satisfacerse preparando una ruta de escape a salvo del incendio para la evacuación o rescate de los pasajeros y tripulantes. El objetivo secundario es proteger la propiedad conteniendo o extinguiendo el incendio resultante de un accidente aéreo.

9.2.2 Los servicios de salvamento y de extinción de incendios deberían también funcionar como una reserva, pudiendo responder rápidamente a una situación de emergencia en vuelo apenas se declare. Los explotadores del aeropuerto STOL deberían regirse por las especificaciones en materia de equipo y servicio de salvamento y extinción de

incendios que figuran en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 9, y en el texto del Anexo 14, Volumen I, Adjunto A, Sección 17, y en el *Manual de servicios de aeropuertos*, Parte 1.

#### 9.3 TRASLADO DE AERONAVES INUTILIZADAS

El plan de emergencia del aeropuerto STOL debería incluir un plan para el traslado de las aeronaves inutilizadas en el área de movimiento o en sus proximidades. En el *Manual de servicios de aeropuertos*, Parte 5, se da orientación sobre el traslado de las aeronaves inutilizadas.

#### 9.4 MANTENIMIENTO

9.4.1 Debería establecerse en el aeropuerto STOL un programa de mantenimiento, incluyendo el programa de mantenimiento preventivo, para conservar las instalaciones en condiciones tales que no afecten desfavorablemente a la seguridad, regularidad o eficiencia de las operaciones aéreas.

9.4.2 Un programa de mantenimiento elaborado de conformidad con el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 9, y que utilice la orientación siguiente sería apropiado para un aeropuerto STOL.

- a) En el Anexo 14, Volumen I, Adjunto A, Sección 8, y en el *Manual de proyecto de aeródromos*, Parte 2, figura la orientación sobre el mantenimiento de los márgenes.
- b) En el Anexo 14, Volumen I, Adjunto A, Sección 5, se proporciona orientación sobre el mantenimiento de la superficie de las pistas a fin de evitar irregularidades perjudiciales.
- c) En el Anexo 14, Volumen I, Adjunto A, Sección 7, y en el *Manual de servicios de aeropuertos*, Parte 2, figura la orientación sobre la evaluación de las características de rozamiento de las pistas.
- d) En el Anexo 14, Volumen I, Adjunto A, Sección 6, se proporciona orientación sobre la determinación y expresión de las características de rozamiento en superficies pavimentadas cubiertas de nieve o de hielo.

- e) En el *Manual de servicios de aeropuertos*, Parte 2, se proporciona orientación sobre la mejora de las características de rozamiento y de limpieza de las pistas.
- f) En el *Manual de servicios de aeropuertos*, Parte 2, se proporciona orientación sobre la utilización de productos químicos destinados a eliminar o a evitar la formación de hielo en los pavimentos.

9.4.3 Debería emplearse un sistema de mantenimiento preventivo de las ayudas visuales para garantizar la fiabilidad del sistema de iluminación y señalamiento. El sistema de mantenimiento preventivo para las ayudas visuales debería garantizar el servicio en todo tiempo de por lo menos el 85% de:

- a) las luces de aproximación (si se proporcionan);
- b) las luces de umbral de pista;
- c) las luces de borde de pista;
- d) las luces de extremo de pista; y
- e) las luces de las zonas de parada (si hubiera).

Con el fin de asegurar la continuidad de la guía, no debería permitirse una luz fuera de servicio contigua a otra luz fuera de servicio.

9.4.4 El sistema de mantenimiento preventivo para las ayudas visuales debería tener como objetivo que, durante operaciones en condiciones IFR, todas las luces especificadas en 9.4.3 estén en servicio. En el *Manual de servicios de aeropuertos*, Parte 9, se proporciona orientación sobre el mantenimiento preventivo de las ayudas visuales.

## 9.5 REDUCCIÓN DE PELIGROS DEBIDOS A LAS AVES

El explotador de un aeropuerto STOL debería instituir un método para controlar las aves que constituyen un peligro para las operaciones aéreas. En el *Manual de servicios de aeropuertos*, Parte 3, se proporciona orientación sobre el control del peligro aviario.

## 9.6 SERVICIO DE DIRECCIÓN EN LA PLATAFORMA

Cuando el volumen del tránsito y las condiciones de operación lo justifiquen, debería proporcionarse un servicio de dirección en la plataforma apropiado. En el *Manual de servicios de aeropuertos*, Parte 8, y en el *Manual de sistemas de guía y control del movimiento en la superficie* (Doc. 9476), se proporciona orientación sobre un servicio de dirección en la plataforma.

# Apéndice A

## Definiciones

Cuando en el presente manual se utilicen los términos y expresiones siguientes su significado es el que se da a continuación:

- Aeródromo.** Área definida de tierra o de agua (que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos) destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves.
- Apartadero de espera.** Área definida en la que puede detenerse una aeronave para esperar o dejar paso a otras, con objeto de facilitar el movimiento eficiente de la circulación de las aeronaves en tierra.
- Área de maniobras.** Parte del aeropuerto STOL que ha de utilizarse para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, incluyendo las plataformas.
- Área de movimiento.** Parte del aeropuerto STOL que ha de utilizarse para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, integrada por el área de maniobras y la(s) plataforma(s).
- Avión STOL.** Avión cuyo tamaño y performance son característicos de los aviones a los que un aeropuerto STOL está destinado a servir y cuyas características constituyen los criterios a aplicarse al realizar el proyecto de un aeropuerto STOL.
- Barreta.** Tres o más luces aeronáuticas de superficie, poco espaciadas y situadas sobre una línea transversal, de forma que se vean como una corta barra luminosa.
- Calle de rodaje.** Vía definida en un aeropuerto STOL terrestre, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeropuerto STOL.
- Carga admisible.** La capacidad de estructura de una superficie para soportar las cargas impuestas por los aviones.
- Coefficiente de utilización.** El porcentaje de tiempo durante el cual el uso de una pista o sistema de pista no está limitado por la componente transversal del viento.
- Faro de peligro.** Faro aeronáutico utilizado a fin de indicar un peligro para la navegación aérea.
- Frangibilidad.** Característica de un objeto que consiste en conservar su integridad estructural y su rigidez hasta una carga máxima conveniente, deformándose, quebrándose o cediendo con el impacto de una carga mayor, de manera que represente un peligro mínimo para las aeronaves.
- Franja de calle de rodaje.** Zona que incluye una calle de rodaje destinada a proteger a una aeronave que esté operando en ella y a reducir el riesgo de daño en caso de que accidentalmente se salga de ésta.
- Franja de pista.** Una superficie definida que comprende la pista y la zona de parada, si la hubiese, destinada a reducir el riesgo de daños a las aeronaves que se salgan de la pista y a proteger a las aeronaves que la sobrevuelan durante las operaciones de despegue o aterrizaje.
- IFR.** Reglas de vuelo por instrumentos.
- Intensidad efectiva.** La intensidad efectiva de una luz de destellos es igual a la intensidad de una luz fija del mismo color que produzca el mismo alcance visual en idénticas condiciones de observación.
- Longitud de campo.** Significa longitud de campo compensado para los aviones, si corresponde, o distancia de despegue en los demás casos.
- Longitud de campo compensado.** Una longitud de campo en que la distancia de aceleración y parada es igual a la distancia de despegue de una aeronave que está sufriendo una falla de motor a la velocidad crítica de falla de motor.
- Longitud del campo de referencia del avión.** La longitud de campo mínima necesaria para el despegue con el peso máximo homologado de despegue al nivel del mar, en atmósfera tipo, sin viento y con pendiente de pista cero, como se indica en el correspondiente manual de vuelo del avión, prescrito por la autoridad que otorga el certificado, según los datos equivalentes que proporcione el fabricante del avión.
- Luz aeronáutica de superficie.** Toda luz dispuesta especialmente para que sirva de ayuda a la navegación aérea, excepto las ostentadas por las aeronaves.



**Luz fija.** Luz que posee una intensidad luminosa constante cuando se observa desde un punto fijo.

**Margen.** Banda de terreno que bordea un pavimento, tratada de forma que sirva de transición entre ese pavimento y el terreno adyacente.

**Obstáculo.** Todo objeto fijo (tanto de carácter temporal como permanente) o móvil, o parte del mismo, que esté situado en una área destinada al movimiento de las aeronaves en tierra o que sobresalga de una superficie definida destinada a proteger a las aeronaves en vuelo.

**Pista.** Área rectangular definida en un aeropuerto STOL terrestre preparada para el aterrizaje y despegue de las aeronaves.

**Pista para aproximaciones de precisión.** Véase pista de vuelo por instrumentos.

**Pista de vuelo por instrumentos.** Uno de los siguientes tipos de pista destinados a la operación de aeronaves que utilizan procedimientos de aproximación por instrumentos:

- a) **Pista para aproximaciones que no sean de precisión.** Pista de vuelo por instrumentos servida por ayudas visuales y una ayuda no visual que proporciona por lo menos guía direccional adecuada para la aproximación directa.
- b) **Pista para aproximaciones de precisión.** Pista de vuelo por instrumentos servida por ayudas no visuales y ayudas visuales destinadas a operaciones hasta una altura de decisión y un alcance visual en la pista apropiados para la performance de la aeronave y las características del aeropuerto STOL.

**Plataforma.** Área definida, en un aeropuerto STOL terrestre, destinada a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga,

abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.

**Procedimiento de vuelo en circuito.** La maniobra visual necesaria después de haber terminado un procedimiento de aproximación por instrumentos.

**Puesto de estacionamiento de aeronave.** Área designada en una plataforma, destinada al estacionamiento de una aeronave.

**Punto de espera en rodaje.** Punto designado en el que se puede ordenar a las aeronaves en rodaje y a vehículos que esperen, a fin de que queden adecuadamente separados de la pista.

**Señal.** Símbolo o grupo de símbolos expuestos en la superficie del área de movimiento a fin de transmitir información aeronáutica.

**Umbral.** Comienzo de la parte utilizable para el aterrizaje.

**Umbral desplazado.** Umbral que no está situado en el extremo de la pista.

**Zona de parada.** Área rectangular definida en el terreno situado a continuación del recorrido de despegue disponible, preparada como zona adecuada para que puedan pararse las aeronaves en caso de despegue interrumpido.

**Zona de toma de contacto.** Parte de la pista, situada después del umbral, destinada a que los aviones que aterrizan hagan el primer contacto con la pista.

**Zona libre de obstáculos.** Área rectangular definida en el terreno o en el agua y bajo control de la autoridad competente, designada o preparada como área adecuada sobre la cual un avión puede efectuar una parte del ascenso inicial hasta una altura especificada.

## Apéndice B

### Tipos de aviones

La Tabla 1 contiene una lista de algunos aviones cuyas performances pueden ser apropiadas para las operaciones de aeropuertos STOL. Cabe notar que las operaciones de los aeropuertos STOL pueden depender no solamente de la longitud del campo de referencia del avión sino también de su capacidad de alcanzar ciertos ángulos de ascenso en la salida y de aproximación.

TABLA 1

<i>Designación del avión</i>	<i>Masa bruta de despegue (kg)</i>	<i>Núm de pasajeros</i>	<i>Longitud (m)</i>	<i>Envergadura (m)</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Base de ruedas (m)</i>	<i>Vía del tren de aterrizaje (m)</i>	<i>Observaciones</i>
AN74	34 500	40	28,07	31,89	8,75			Performance STOL
AP68TP-600	2 850	9	10,85	12,0	3,64	3,51	2,17	Despegue a 50' — 460 m Aterrizaje desde 50' — 500 m
Beech 1300	7 530	19	17,63	16,6	4,55	7,26	5,23	Despegue a 50' — 991 m Aterrizaje desde 50' — 774 m
BN2B	2 993	9	10,86	14,94	4,18	3,99	3,61	Despegue a 50' — 371 m Aterrizaje desde 50' — 299 m
CASA212-300	7 700	28	16,2	20,28	6,3	5,55	3,1	Despegue a 50' — 782 m Aterrizaje desde 50' — 519 m
CL215T	19 868	26	19,82	28,6	8,98	7,23	5,28	Despegue a 50'(tierra) — 703 m Aterrizaje desde 50' (tierra) — 768 m
CN235	14 400	44	21,35	25,81	8,18	6,9	3,9	Despegue a 35' — 687 m Aterrizaje desde 50' — 585 m
DI16-300	5 670	20	15,77	19,81	5,94	4,53	3,7	Despegue a 50' — 360 m Aterrizaje desde 50' — 457 m
DI17-100	19 958	50	24,54	28,25	7,98	8,38	7,16	Despegue a 50' — 688 m Aterrizaje desde 35' — 594 m
DO228-200	5 700	19	16,56	16,97	4,86	6,29	3,3	Despegue a 50' — 750 m Aterrizaje desde 50' — 620 m
HARBIN Y-12II	5 300	17	14,86	17,23	5,57	4,7	3,6	Despegue a 50' — 425 m Aterrizaje desde 50' — 500 m
LET L410UVP-E	6 400	19	14,4	19,98	5,83	3,67	3,65	Despegue a 35' — 686 m Aterrizaje desde 30' — 480 m
LET L610	14 000	40	21,42	25,6	7,6	6,6	4,59	Campo compensado — 875 m Aterrizaje desde 30' — 545 m
NAL ASUKA	38 700		33,15	30,6	10,17	9,33	4,4	Avión experimental QSTOL

<i>Designación del avión</i>	<i>Masa bruta de despegue (kg)</i>	<i>Núm. de pasajeros</i>	<i>Longitud (m)</i>	<i>Envergadura (m)</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Base de ruedas (m)</i>	<i>Vía del tren de aterrizaje (m)</i>	<i>Observaciones</i>
ÍZL AN28	6 500	17	13,1	22,0	4,9	4,35	3,4	Despegue a 35' — 360 m Aterrizaje desde 50' — 315 m
SKYTRADER SCOUT	4 536	16	12,8	16,8	5,8			Despegue a 50' — 305 m Recorrido de aterrizaje — 290 m
SKYTRADER 1400	5 896	19	14,9	16,8	5,8			Despegue a 50' — 466 m Recorrido de aterrizaje — 165 m
STARSHIP	6 350	10	14,05	16,6	3,7	6,7	5,1	Despegue a 50' — 628 m Aterrizaje desde 50' — 963 m

## Bibliografía

The DeHavilland Aircraft of Canada, Limited, Downsview, Ontario — *A Guide to STOL Transportation System Planning*. (Enero de 1970)

Transport Canada, Air, Air Navigation Systems Requirements Branch — *Stolport Standards and Recommended Practices TP4885E* — Primera edición. (Mayo de 1985)

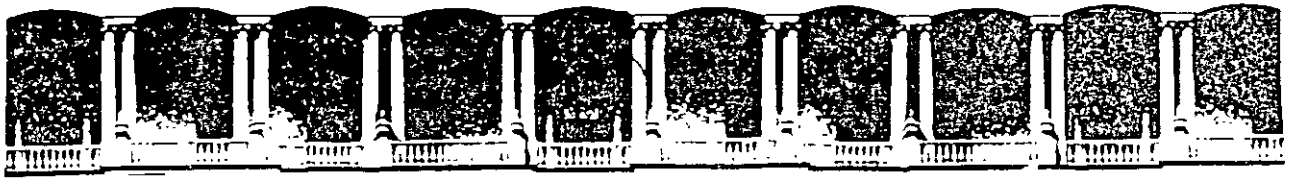
U.S.A. Department of Transportation, Federal Aviation Administration — *Utility Airports AC150/5300-4B*

Organización de Aviación Civil Internacional — Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, Volumen I. *Diseño y operaciones de aeródromos*, Primera edición. (Julio de 1990)

David L. Kohlman — *Introduction to V/STOL Airplanes*. Iowa State University Press/Ames (1981)

John W.R. Taylor — *Jane's All the World's Aircraft, 1988-89*, Jane's Information Group, Ltd. (1988)

— FIN —



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES  
XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍA DE AEROPUERTOS**

Del 31 de agosto al 30 de octubre.

Módulo III

**CONSTRUCCION DE AEROPUERTOS**

*Tema: Protección del Medio Ambiente  
Anexo 16*

Palacio de Minería  
1998.

NORMAS Y MÉTODOS RECOMENDADOS  
INTERNACIONALES

# PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

ANEXO 16

AL CONVENIO SOBRE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL

VOLUMEN II

EMISIONES DE LOS MOTORES  
DE LAS AERONAVES

SEGUNDA EDICIÓN — JULIO DE 1993



Esta edición incorpora todas las enmiendas adoptadas por el Consejo antes del 25 de marzo de 1993 y reemplaza desde el 11 de noviembre de 1993, todas las ediciones anteriores de este Anexo.

Véase en el Preámbulo y en las cláusulas pertinentes en cada capítulo la información relativa a la aplicación de las normas y métodos recomendados.

ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL

**NORMAS Y MÉTODOS RECOMENDADOS  
INTERNACIONALES**

**PROTECCIÓN  
DEL MEDIO AMBIENTE**

**ANEXO 16  
AL CONVENIO SOBRE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL**

**VOLUMEN II**

**EMISIONES DE LOS MOTORES  
DE LAS AERONAVES**

**SEGUNDA EDICIÓN — JULIO DE 1993**

Esta edición incorpora todas las enmiendas adoptadas por el Consejo antes del 25 de marzo de 1993 y reemplaza, desde el 11 de noviembre de 1993, todas las ediciones anteriores de este Anexo.

*Véase* en el Preámbulo y en las cláusulas pertinentes en cada capítulo la información relativa a la aplicación de las normas y métodos recomendados

**ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL**





## ÍNDICE

	<i>Página</i>		<i>Página</i>
PREÁMBULO .....	(v)	APÉNDICE 2. Evaluación de las emisiones de humo .....	14
<b>Parte I. Definiciones y símbolos .....</b>	<b>1</b>	1. Introducción y definiciones .....	14
CAPÍTULO 1. Definiciones .....	1	2. Medición de las emisiones de humo .....	14
CAPÍTULO 2. Símbolos .....	2	3. Cálculo del índice de humo a base de los datos medidos .....	17
<b>Parte II. Purga del combustible .....</b>	<b>3</b>	4. Notificación de los datos a las autoridades encargadas de la certificación .....	17
CAPÍTULO 1. Administración .....	3	APÉNDICE 3. Instrumentos y métodos de medición de las emisiones gaseosas .....	18
CAPÍTULO 2. Prevención de la purga voluntaria de combustible .....	4	1. Introducción .....	18
<b>Parte III. Certificación respecto a las emisiones .....</b>	<b>5</b>	2. Definiciones .....	18
CAPÍTULO 1. Administración .....	5	3. Datos necesarios .....	20
CAPÍTULO 2. Motores turborreactores y turbofán proyectados para propulsar aeronaves exclusivamente a velocidades subsónicas .....	6	4. Disposición general del sistema .....	20
2.1 Generalidades .....	6	5. Descripción de los componentes .....	20
2.2 Humo .....	7	6. Procedimientos a seguir al hacer el ensayo general .....	21
2.3 Emisiones gaseosas .....	7	7. Cálculos .....	22
2.4 Datos necesarios .....	7	Adjunto A del Apéndice 3. Especificaciones del analizador de HC .....	27
CAPÍTULO 3. Motores turborreactores y turbofán proyectados para propulsar aeronaves a velocidades supersónicas .....	9	Adjunto B del Apéndice 3. Especificaciones de los analizadores de CO y de CO <sub>2</sub> .....	28
3.1 Generalidades .....	9	Adjunto C del Apéndice 3. Especificaciones del analizador de NO <sub>x</sub> .....	29
3.2 Humo .....	10	Adjunto D del Apéndice 3. Gases de calibración y de ensayo .....	30
3.3 Emisiones gaseosas .....	10	Adjunto E del Apéndice 3. Cálculo de los parámetros de las emisiones — base, correcciones de la medición y método numérico de alternativa .....	31
3.4 Datos necesarios .....	10	Adjunto F del Apéndice 3. Especificaciones en cuanto a los datos adicionales .....	34
<b>APÉNDICES</b>		APÉNDICE 4. Especificación del combustible que ha de utilizarse en las pruebas de las emisiones de los motores de turbina .....	35
APÉNDICE 1. Medición de la relación de presión de referencia .....	13	APÉNDICE 5. Instrumentos y métodos de medición de las emisiones gaseosas de los motores de turbina de gas con postcombustión .....	36
1. Generalidades .....	13	1. Introducción .....	36
2. Medición .....	13	2. Definiciones .....	36
		3. Datos necesarios .....	39
		4. Disposición general del sistema .....	39

	<i>Página</i>		<i>Página</i>
5. Descripción de los componentes .....	39	Adjunto E del Apéndice 5. Cálculo de los parámetros de las emisiones — base, correcciones de la medición y método numérico de alternativa .....	50
6. Procedimientos a seguir al hacer el ensayo general .....	40		
7. Cálculos .....	41	Adjunto F del Apéndice 5. Especificaciones en cuanto a los datos adicionales .....	53
Adjunto A del Apéndice 5. Especificaciones del analizador de HC .....	46	APÉNDICE 6. Procedimiento para certificar el cumplimiento con respecto al humo y a las emisiones gaseosas .....	54
Adjunto B del Apéndice 5. Especificaciones de los analizadores de CO y de CO <sub>2</sub> .....	47	1. Generalidades .....	54
Adjunto C del Apéndice 5. Especificaciones del analizador de NO <sub>x</sub> .....	48	2. Procedimiento para certificar el cumplimiento .....	54
Adjunto D del Apéndice 5. Gases de calibración y de ensayo .....	49	3. Procedimiento en caso de rechazo .....	54

## PREÁMBULO

### Antecedentes

En 1972 se celebró en Estocolmo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. La posición de la OACI, ante esa Conferencia, fue objeto de la Resolución A18-11 de la Asamblea, que, entre otras cosas, dice lo siguiente:

2. Que al desempeñar ese papel, la OACI está consciente de los efectos adversos en el medio ambiente que pueden relacionarse con la actividad de las aeronaves y de la responsabilidad de la OACI y de sus Estados miembros en lograr la mayor compatibilidad posible entre el desarrollo seguro y ordenado de la aviación civil y la calidad del medio humano;"

El 18° período de sesiones de la Asamblea también adoptó la Resolución A18-12, relacionada con el medio humano, que dice lo siguiente:

"LA ASAMBLEA:

1. PIDE al Consejo que, con la ayuda y cooperación de otros órganos de la Organización y de otros organismos internacionales, prosiga enérgicamente la labor de preparación de normas, métodos recomendados y procedimientos, o de textos de orientación referentes a la calidad del medio humano."

A raíz de esta resolución, la OACI organizó un programa de acción atinente al medio ambiente. Como parte de ese programa, se creó un grupo de estudio para que colaborase con la Secretaría en determinadas labores relacionadas con las emisiones de los motores de las aeronaves. Como resultado de la labor realizada por ese grupo de estudio, en 1977 la OACI publicó una circular titulada *Regulación de las emisiones de los motores de las aeronaves* (Circular 134). Esta Circular contiene textos de orientación a base de un procedimiento de certificación para regular la pérdida de combustible, el humo y ciertas emisiones gaseosas provenientes de los nuevos motores turboreactores y turbofán proyectados para la propulsión de aeronaves a velocidades subsónicas.

El Consejo convino en que el asunto de las emisiones de los motores de las aeronaves no sólo se confinaba a los aspectos técnicos objetivos, sino que también reclamaba el estudio de expertos en diferentes actividades, sin olvidar las opiniones directas de los Estados miembros. Así pues, en 1977 se creó un comité del Consejo, denominado Comité sobre las emisiones de los motores de las aeronaves (CAEE), para que profundizase varios aspectos de esta cuestión.

Con ocasión de la segunda reunión de ese Comité sobre las emisiones de los motores de las aeronaves, celebrada en mayo de 1980, se propusieron textos para su inclusión en algún Anexo de la OACI. Hechas las enmiendas necesarias, a raíz de la consulta acostumbrada a los Estados miembros de la

Organización, el texto propuesto fue adoptado por el Consejo como texto del presente documento. El Consejo consideró que era conveniente incluir en un solo Anexo, todas las disposiciones relacionadas con los aspectos del ambiente en el que se desenvuelve la aviación. En vista de ello, cambió el título del Anexo 16 a "Protección del medio ambiente", el texto actual del Anexo pasó a ser el "Volumen I — Ruido de las aeronaves", y el contenido en el presente documento se convirtió en el "Volumen II — Emisiones de los motores de las aeronaves".

### Aplicación

La Parte I del Volumen II del Anexo 16 contiene definiciones y la Parte II normas relacionadas con la purga del combustible. La Parte III contiene normas relacionadas con la certificación de las emisiones, aplicables a las diversas clases de motores de aeronave especificadas en cada uno de los capítulos de esta Parte, cuando esos motores se instalan en aeronaves que se dedican a la aviación civil internacional.

### Medidas a tomar por los Estados contratantes

*Notificación de diferencias.* Se señala a la atención de los Estados contratantes la obligación que les impone el Artículo 38 del Convenio, en virtud del cual se pide a los Estados contratantes que notifiquen a la Organización cualquier diferencia entre sus reglamentos y métodos nacionales y las normas internacionales contenidas en este Anexo y en las enmiendas del mismo. Se pide a los Estados contratantes que en su notificación incluyan las diferencias respecto a los métodos recomendados contenidos en este Anexo y en las enmiendas del mismo, cuando la notificación de dichas diferencias sea de importancia para la seguridad de la navegación aérea. Además, se invita a los Estados contratantes a que mantengan a la Organización debidamente informada de todas las diferencias subsiguientes, o de la eliminación de cualquiera de ellas notificada previamente. Inmediatamente después de la adopción de cada enmienda de este Anexo, se enviará a los estados contratantes una solicitud específica para la notificación de diferencias.

También se señala a la atención de los Estados lo dispuesto en el Anexo 15 referente a la publicación de diferencias entre sus reglamentos y métodos nacionales y las correspondientes normas y métodos recomendados de la OACI por medio del servicio de información aeronáutica, además de la obligación que impone a los Estados el Artículo 38 del Convenio.

*Uso del texto del Anexo en los reglamentos nacionales.* El Consejo, el 13 de abril de 1948, adoptó una resolución en la que hacía presente a los Estados contratantes, la conveniencia de que, en la medida de lo posible, emplearan en sus propios reglamentos nacionales la misma redacción de las normas de la OACI que tiene carácter preceptivo, y que indicaran

también cuándo se han apartado del texto de las normas, así como las demás disposiciones nacionales que tuvieran importancia para la seguridad y regularidad de la navegación aérea internacional. Siempre que ha sido posible, las disposiciones de este Anexo se han redactado de manera que puedan incluirse en las legislaciones nacionales sin variaciones importantes.

#### Carácter de cada una de las partes componentes del Anexo.

Los Anexos constan de las siguientes partes, aunque no obligatoriamente, y cada una de ellas tiene el carácter que se indica:

##### 1.— Texto que constituye el Anexo propiamente dicho:

- a) *Normas y Métodos recomendados* que el Consejo ha adoptado de conformidad con las disposiciones del Convenio. Su definición es la siguiente:

*Norma:* Toda especificación de características físicas, configuración, material, performance, personal o procedimiento, cuya aplicación uniforme se considera necesaria para la seguridad o regularidad de la navegación aérea internacional y a la que, de acuerdo con el Convenio, se ajustarán los Estados contratantes. En el caso de que sea imposible su cumplimiento, el Artículo 38 del Convenio estipula que es obligatorio hacer la correspondiente notificación al Consejo.

*Método recomendado.* Toda especificación de características físicas, configuración, material, performance, personal o procedimiento, cuya aplicación uniforme se considera conveniente por razones de seguridad, regularidad o eficiencia de la navegación aérea internacional, y a la cual, de acuerdo con el Convenio, tratarán de ajustarse los Estados contratantes.

- b) *Apéndices* con texto que por conveniencia se agrupa por separado, pero que forma parte de las normas y métodos recomendados que ha adoptado el Consejo.
- c) *Disposiciones* que gobiernan la aplicación de las normas y métodos recomendados.
- d) *Definiciones* de la terminología empleada en las normas y métodos recomendados, que no es explícita porque no tiene el significado corriente. Las definiciones no tienen carácter independiente pues son parte esencial de cada una de las normas y métodos recomendados en que se usa la terminología, ya que cualquier cambio en el significado de ésta afectaría la disposición.

#### 2.— Texto aprobado por el Consejo para su publicación en relación con las normas y métodos recomendados:

- a) *Preámbulos* que comprenden antecedentes históricos, textos explicativos basados en las medidas del Consejo, y que incluyen una explicación de las obligaciones de los Estados, dimanantes del Convenio y de las resoluciones de adopción, en cuanto a la aplicación de las normas y métodos recomendados.
- b) *Introducciones* que contienen texto explicativo al principio de las partes, capítulos y secciones de los Anexos, a fin de facilitar la comprensión de la aplicación del texto.
- c) *Notas* intercaladas en el texto, cuando corresponde, que proporcionan datos o referencias acerca de las normas o métodos recomendados de que se trate, sin formar parte de tales normas o métodos recomendados.
- d) *Adjuntos* que contienen texto suplementario a las normas y métodos recomendados o que sirven de guía para su aplicación.

#### Elección de idioma

Este Anexo se ha adoptado en cinco idiomas — español, francés, inglés y ruso. Se pide a cada uno de los Estados contratantes que elija uno de esos textos para los fines de aplicación nacional y demás efectos previstos en el Convenio, ya sea para utilizarlo directamente o mediante traducción a su propio idioma, y que notifique su preferencia a la Organización.

#### Presentación editorial

Para facilitar la lectura e indicar su condición respectiva, las *Normas* aparecen en tipo corriente; y los *Métodos recomendados* y las *Notas* en letra bastardilla, precedidas de la palabra *Recomendación* y *Nota* respectivamente.

Cabe señalar además que en el texto español el carácter obligatorio de las normas se expresa mediante el uso del futuro del verbo, mientras que en los métodos recomendados se utiliza el término "debería".

De conformidad con lo previsto en el Anexo 5, en el presente documento se emplea el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Toda referencia hecha a cualquier parte de este documento, identificada por un número, comprende todas las subdivisiones de dicha parte.

Tabla A. Enmiendas del Anexo 16

Enmienda(s)	Origen	Tema(s)	Adaptada/aprobada Surtió efecto Aplicable
1a. edición	Conferencia especial sobre el ruido producido por las aeronaves en las proximidades de los aeródromos (1969)		2 de abril de 1971 2 de agosto de 1971 6 de enero de 1972
1	Primera Reunión del Comité sobre el ruido producido por las aeronaves	Homologación en cuanto al ruido en la producción futura y versiones perfeccionadas de aviones subsónicos de reacción, y actualización de la terminología utilizada para describir el peso de las aeronaves.	6 de diciembre de 1972 6 de abril de 1973 16 de agosto de 1973
2	Tercera Reunión del Comité sobre el ruido producido por las aeronaves	Homologación en cuanto al ruido de aviones ligeros propulsados por hélice y de aviones subsónicos de reacción, de 5 700 kg o menos de peso máximo certificado de despegue, y orientación destinada a señalar a los Estados el modo de desempeñar sus funciones en los casos de arrendamiento, fletamento o intercambio de aeronaves.	3 de abril de 1974 3 de agosto de 1974 27 febrero de 1975
3 (2a. edición)	Cuarta Reunión del Comité sobre el ruido producido por las aeronaves	Homologación en cuanto al ruido para los futuros aviones subsónicos de reacción y de los propulsados por hélice, aparte de los aviones STOL, y directrices para la certificación acústica de los futuros aviones supersónicos de transporte, de los aviones STOL propulsados por hélice, de los grupos auxiliares de energía (APU) y de los sistemas auxiliares de las aeronaves durante las operaciones en tierra.	21 de junio de 1976 21 de octubre de 1976 6 de octubre de 1977
4 (3a. edición)	Quinta Reunión del Comité sobre el ruido producido por las aeronaves	Introducción de un nuevo parámetro, el número de motores, en las normas de certificación acústica de los aviones subsónicos de reacción; mejora de los procedimientos de prueba detallados para velar porque se aplique el mismo nivel de tecnología a todos los tipos de aeronaves; y mejoras editoriales para simplificar la redacción y eliminar incongruencias.	6 de marzo de 1978 6 de julio de 1978 10 de agosto de 1978
5 (Anexo 16 — Volumen I 1a. edición)	Sexta Reunión del Comité sobre el ruido producido por las aeronaves	1. El Anexo ha pasado a titularse <i>Protección del medio ambiente</i> y se publicará en dos volúmenes, a saber: Volumen I — <i>Ruido de las aeronaves</i> (incluye las disposiciones contenidas en la tercera edición del Anexo 16, modificadas por la Enmienda 5) y Volumen II — <i>Emisiones de los motores de las aeronaves</i> .  2. Introducción en el Volumen I de normas para la homologación de helicópteros en cuanto al ruido y relativas a la producción futura de aviones SST, actualización de las directrices para la homologación en cuanto al ruido de APU instalados y sistemas asociados de aeronaves, y enmiendas de redacción que incluyen los cambios en las unidades de medida dirigidos a armonizar este Anexo con las disposiciones del Anexo 5.	11 de mayo de 1981 11 de septiembre de 1981 26 de noviembre de 1981
6 (Anexo 16 — Volumen II 1a. edición)	Segunda Reunión del Comité sobre las emisiones de los motores de las aeronaves	Introducción del Volumen II que contiene normas relativas al control de la purga del combustible, del humo y de las emisiones gaseosas procedentes de los motores turboreactores y turbofán de nueva fabricación, previstos para la propulsión subsónica y supersónica.	30 de junio de 1981 30 de octubre de 1981 18 de febrero de 1982
1	Primera Reunión del Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación	Cambios de las especificaciones del combustible de prueba. Apéndice 4.	4 de marzo de 1988 31 de julio de 1988 17 de noviembre de 1988
2 (2a. edición)	Segunda reunión del Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación	a) mayor rigurosidad de los límites de las emisiones de NO <sub>x</sub> ; b) mejoras en el procedimiento de certificación del humo y las emisiones gaseosas.	24 de marzo de 1993 26 de julio de 1993 11 de noviembre de 1993

# NORMAS Y MÉTODOS RECOMENDADOS INTERNACIONALES

## PARTE I. DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

### CAPÍTULO 1. DEFINICIONES

Las expresiones que siguen, utilizadas en el Volumen II de este Anexo, tienen los significados que se indican a continuación:

**Fase de aproximación.** Aquella fase de utilización definida por el tiempo durante el cual el motor funciona en la modalidad de aproximación.

**Fase de ascenso.** Aquella fase definida por el tiempo durante el cual el motor funciona en la modalidad de ascenso.

**Fase de despegue.** Aquella fase de utilización definida por el tiempo durante el cual el motor funciona al régimen de potencia nominal.

**Fecha de fabricación.** La fecha en la cual se haya librado el correspondiente documento que atestigüe que el motor o la aeronave en cuestión se ajusta a las exigencias correspondientes al tipo de motor de que se trata, o la fecha de libramiento de algún documento análogo.

**Hidrocarburos sin quemar.** Cantidad de compuestos de hidrocarburos de todas clases y pesos moleculares, contenidos en una muestra de gas, calculada en el equivalente de metano.

**Humo.** Aquellas materias carbonosas, contenidas en las emisiones del escape, que obstaculizan la transmisión de la luz.

**Índice de humo.** El término adimensional que cuantifica las emisiones de humo (véase 3 del Apéndice 2).

**Óxidos de nitrógeno.** La suma de las partes de óxido nítrico y de bióxido de nitrógeno contenidas en una muestra de gas, calculada como si el óxido nítrico estuviese presente en forma de bióxido de nitrógeno.

**Postcombustión.** Modalidad de utilización de un motor con un sistema de combustión alimentado (total o parcialmente) con aire viciado.

**Potencia nominal.** A los efectos de las emisiones de los motores, significa la potencia o empuje máximos disponibles para despegar en condiciones normales de operación y estáticas en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar, sin utilizar la inyección de agua, que haya aprobado la autoridad encargada de la certificación. El empuje se expresa en kilonewtons.

**Relación de presión de referencia.** La relación entre la presión total media en el último plano de descarga del compresor y la presión total media en el plano de entrada del compresor, cuando el motor desarrolla el empuje nominal de despegue en condiciones estáticas en la atmósfera tipo internacional (ISA), al nivel del mar.

*Nota.*— Los métodos para medir la relación de presión de referencia aparecen en el Apéndice 1.

**Rodaje/marcha lenta en tierra.** Las fases de utilización que comprenden el rodaje o el funcionamiento a bajo régimen desde la puesta en marcha inicial del motor o motores de propulsión hasta la iniciación del recorrido de despegue, y entre el momento de salida de la pista y aquél en el que se paran definitivamente todos los motores de propulsión.

**Versión derivada.** Todo motor aéreo de turbina de gas genéricamente del mismo tipo previamente certificado, del que proceda, y que tenga características que retengan el núcleo básico y la cámara de combustión — y accesorios conexos — del motor de que dimana y cuyos otros factores, a juicio de la autoridad encargada de la certificación, no hayan variado.

*Nota.*— Se hace notar la diferencia entre la definición de "versión derivada de una aeronave" que figura en el Volumen I del Anexo 16 y la definición de "versión derivada" incluida en el presente volumen.

## CAPÍTULO 2. SÍMBOLOS

Los símbolos que siguen, utilizados en el Volumen II de este Anexo, tienen los significados que se indican:

CO	Monóxido de carbono	$F^*_{on}$	Potencia nominal con postcombustión
$D_p$	La masa de todo gas contaminante emitido durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue para las emisiones	HC	Hidrocarburos sin quemar (véase definición)
$F_n$	Empuje en la atmósfera tipo internacional (ISA), en condiciones al nivel del mar, correspondiente a determinada modalidad de utilización.	NO	Óxido nítrico
$F_{on}$	Potencia nominal (véase definición)	NO <sub>2</sub>	Bióxido de nitrógeno
		NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno (véase definición)
		SN	Índice de humo (véase definición)
		$\pi_{on}$	Relación de presión de referencia (véase definición)

---



## PARTE II. PURGA DEL COMBUSTIBLE

### CAPÍTULO 1. ADMINISTRACIÓN

1.1 Lo previsto en esta Parte se aplicará a todas las aeronaves equipadas con motor de turbina que hayan de utilizarse en la navegación aérea internacional, fabricadas después del 18 de febrero de 1982.

1.2 La certificación relacionada con la prevención de la purga voluntaria de combustible, la otorgará a base de pruebas convincentes, la autoridad encargada de la certificación, al efecto de que ya sea la aeronave o los motores de ésta, se ajusten a lo previsto en el Capítulo 2.

*Nota.— El documento que atestigüe la certificación pertinente a la purga del combustible podrá consistir en un certificado independiente o en una declaración apropiada extendida en algún documento autorizado por la autoridad encargada de la certificación.*

1.3 Los Estados contratantes reconocerán como válido todo certificado sobre la purga del combustible otorgado por la autoridad encargada de la certificación de otro Estado contratante, siempre que las formalidades, a base de las cuales se haya otorgado, sean no menos rigurosas que las previstas en el Volumen II del presente Anexo.

## CAPÍTULO 2. PREVENCIÓN DE LA PURGA VOLUNTARIA DE COMBUSTIBLE

Las aeronaves se proyectarán y construirán de modo que sea posible prevenir la purga voluntaria del combustible líquido en la atmósfera...que, al parar los motores, se haya acumulado en los colectores de inyección del carburante, a raíz de las actividades normales de utilización, tanto en vuelo como en tierra.

---

## PARTE III. CERTIFICACIÓN RESPECTO A LAS EMISIONES

### CAPÍTULO 1. ADMINISTRACIÓN

1.1 Lo previsto en 1.2 a 1.4 se aplicará a todos los motores correspondientes a las clasificaciones definidas en los Capítulos 2 y 3 en materia de certificación respecto a las emisiones, cuando esos motores se utilicen en aeronaves dedicadas a la navegación aérea internacional.

1.2 La autoridad encargada de la certificación concederá los certificados respecto a las emisiones a base de pruebas satisfactorias de que el motor en cuestión satisface requisitos por lo menos tan rigurosos como los prescritos en el Volumen II del presente Anexo. El cumplimiento de los niveles de emisión de los Capítulos 2 y 3 se demostrará por el procedimiento descrito en el Apéndice 6.

*Nota.— El documento que atestigüe la certificación respecto a las emisiones puede consistir en un certificado independiente de las emisiones o en una declaración apropiada contenida en algún documento aprobado por la autoridad encargada de la certificación.*

1.3 Todo documento que atestigüe la certificación respecto a las emisiones de cada motor contendrá, por lo menos, los datos siguientes, aplicables al tipo de motor de que se trate:

- a) la designación oficial de la autoridad encargada de la certificación;
- b) la designación del tipo y modelo de la fabricación;
- c) la declaración de toda modificación adicional incorporada con el fin de complementar las formalidades aplicables a la certificación respecto a las emisiones;
- d) la potencia nominal;
- e) la relación de presión de referencia;
- f) una declaración de cumplimiento de los requisitos atinentes al índice de humo;
- g) una declaración de cumplimiento de los requisitos atinentes a los contaminantes gaseosos.

1.4 Los Estados contratantes reconocerán como válido todo certificado respecto a las emisiones otorgado por la autoridad encargada de la certificación de otro Estado contratante, siempre que las formalidades, a base de las cuales se haya otorgado el certificado, sean, por lo menos, tan rigurosas como las previstas en el Volumen II de este Anexo.

## CAPÍTULO 2: MOTORES TURBORREACTORES Y TURBOFÁN PROYECTADOS PARA PROPULSAR AERONAVES EXCLUSIVAMENTE A VELOCIDADES SUBSÓNICAS

### 2.1 Generalidades

#### 2.1.1 Campo de aplicación

Lo previsto en el presente capítulo se aplicará a todos los motores turbo reactores y turbofán, como se concreta más ampliamente en 2.2 y en 2.3, proyectados para propulsar aeronaves exclusivamente a velocidades subsónicas, salvo en aquellos casos en los que las autoridades encargadas de la certificación eximan determinados tipos de motores y las versiones derivadas de éstos respecto a los cuales ya se haya librado el certificado de prototipo, o se haya complementado algún otro procedimiento equivalente, antes del 1 de enero de 1965. En esos casos, la autoridad encargada de la certificación librará el correspondiente documento de exención. Las disposiciones de este capítulo se aplicarán también a los motores diseñados para aplicaciones en las que de otro modo se habrían utilizado motores turbo reactores y turbofán.

*Nota.— Al considerar las exenciones, la autoridad encargada de la certificación debería tener debidamente en cuenta el número probable de unidades de esos motores que se fabricarán y su repercusión en el medio ambiente. En caso de que se conceda la exención, la autoridad encargada de la certificación debería considerar la conveniencia de imponer un plazo límite en cuanto a la fabricación futura de esos motores para instalarlos en nuevas aeronaves, si bien la fabricación de esos motores, para recambio, debería autorizarse indefinidamente.*

#### 2.1.2 Emisiones de que se trata

Para certificar los motores de aviación se verificarán las emisiones siguientes:

Humo  
Emisiones gaseosas  
Hidrocarburos sin quemar (HC);  
Monóxido de carbono (CO); y  
Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

#### 2.1.3 Unidades de medida

2.1.3.1 Las emisiones de humo se medirán y notificarán a base del índice del humo (SN).

2.1.3.2 Se medirá y notificará en gramos la masa ( $D_p$ ) de los contaminantes gaseosos HC, CO, NO<sub>x</sub> emitidos durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue (LTO) para las emisiones, definido en 2.1.4.2 y 2.1.4.3.

### 2.1.4 Condiciones de referencia

#### 2.1.4.1 Condiciones atmosféricas

Las condiciones atmosféricas de referencia se basarán en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar, pero la humedad absoluta de referencia será de 0.006 29 kg agua/kg aire seco.

#### 2.1.4.2 Reglaje del empuje

El motor se ensayará a un número suficiente de reglajes de régimen, a fin de determinar las características de las emisiones de gases y de humo del motor, de modo que pueda determinarse la masa de la emisión y los índices de humo corregidos a las condiciones ambientales de referencia, a los siguientes porcentajes específicos del régimen nominal, según lo disponga la autoridad encargada de la certificación.

Modalidad de utilización	Reglaje del empuje
Despegue	100% $F_{\infty}$
Ascenso	85% $F_{\infty}$
Aproximación	30% $F_{\infty}$
Rodaje/marcha lenta en tierra	7% $F_{\infty}$

#### 2.1.4.3 Ciclo de referencia de aterrizaje y despegue (LTO) para las emisiones

El ciclo de referencia LTO, para calcular y notificar las emisiones gaseosas, se representará mediante los tiempos siguientes en cada modalidad de utilización.

Fase	Tiempo en la modalidad de utilización (minutos)
Despegue	0.7
Ascenso	2.2
Aproximación	4.0
Rodaje/marcha lenta en tierra	26.0

2.1.4.4 Especificaciones en cuanto al combustible

El combustible utilizado para efectuar las pruebas se ajustará a las especificaciones del Apéndice 4, y no contendrá aditivos mezclados con objeto de suprimir el humo (tales como los compuestos orgánico-metálicos).

2.1.5 Condiciones de las pruebas

2.1.5.1 Las pruebas se realizarán con el motor en banco de pruebas.

2.1.5.2 El motor será representativo de la configuración certificada (véase el Apéndice 6); no se simularán las purgas ni las cargas producidas por los accesorios que no sean necesarias para el funcionamiento básico del motor.

2.1.6 Cuando las condiciones de las pruebas difieran de las de referencia previstas en 2.1.4, los resultados se corregirán respecto a las condiciones de referencia mediante los métodos indicados en el Apéndice 3.

2.2 Humo

2.2.1 Campo de aplicación

Las disposiciones de 2.2.2 se aplicarán a los motores fabricados a partir del 1 de enero de 1983.

2.2.2 Índice de humo reglamentario

El índice de humo en cualquier reglaje del empuje, cuando se mida y calcule conforme a los procedimientos del Apéndice 2 y se convierta a un nivel característico mediante los procedimientos del Apéndice 6, no podrá superar el nivel calculado a base de la fórmula siguiente:

$$\text{Índice de humo reglamentario} = 83.6 (F_{m})^{-0.274}$$

o un valor de 50,  
el que sea menor

2.3 Emisiones gaseosas

2.3.1 Campo de aplicación

Las disposiciones de 2.3.2 se aplicarán a los motores fabricados a partir del 1 de enero de 1986 cuya potencia nominal sea mayor de 26,7 kN y con respecto a los óxidos de nitrógeno, según se especifica más adelante.

2.3.2 Niveles reglamentarios

Los niveles de las emisiones gaseosas, cuando se midan y calculen con arreglo a los procedimientos del Apéndice 3 y se conviertan a los niveles característicos mediante los proce-

dimientos del Apéndice 6, no podrán superar los niveles reglamentarios calculados a base de las formulas siguientes:

Hidrocarburos (HC):  $D_p/F_{\infty} = 19.6$

Monóxido de carbono (CO):  $D_p/F_{\infty} = 118$

Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):

- a) para los motores de tipo o de modelo cuya fecha de fabricación para el primer modelo construido es como máximo el 31 de diciembre de 1995 y para los que la fecha de fabricación del motor en cuestión es como máximo el 31 de diciembre de 1999.

$$D_p/F_{\infty} = 40 + 2 \pi_{\infty}$$

- b) para los motores de tipo o de modelo cuya fecha de fabricación para el primer modelo construido es posterior al 31 de diciembre de 1995 o para los que la fecha de fabricación en cuestión es posterior al 31 de diciembre de 1999.

$$D_p/F_{\infty} = 32 + 1.6 \pi_{\infty}$$

*Nota.— El nivel característico del índice de humo o de las emisiones de los contaminantes gaseosos equivale a la media de los valores de todos los motores probados, medida y corregida con respecto al motor normal de referencia y a las condiciones ambientales de referencia, dividida por el coeficiente correspondiente al número de motores aprobados, según se indica en el Apéndice 6.*

2.4 Datos necesarios

*Nota.— La información requerida se divide en tres grupos, a saber: 1) información general para conocer las características del motor, el combustible utilizado y el método de análisis de los datos; 2) los datos obtenidos de las pruebas del motor; y 3) los resultados dimanantes de los datos de las pruebas.*

2.4.1 Información general

Se proporcionará la información siguiente respecto a cada tipo de motor de cuyas emisiones se solicite la certificación:

- a) designación del motor;
- b) potencia nominal (en kilonewtons);
- c) relación de presión de referencia;
- d) referencia de la especificación del combustible;
- e) relación hidrógeno/carbono del combustible;
- f) métodos de obtención de los datos;
- g) método para hacer correcciones respecto a las condiciones ambientales; y
- h) método de análisis de los datos.

## 2.4.2 Información sobre las pruebas

Sobre cada motor que se pruebe para certificación, se proporcionará la información siguiente, correspondiente a cada uno de los reglajes del empuje prescritos en 2.1.4.2. Esta información se proporcionará una vez corregida con respecto a las condiciones ambientales de referencia, cuando corresponda:

- a) flujo de combustible (kilogramos/segundos);
- b) índice de emisión (gramos/kilogramo) de cada contaminante gaseoso; y
- c) índice de humo medido.

## 2.4.3 Información deducida

2.4.3.1 Sobre cada motor que se pruebe para certificación, se proporcionará la información deducida siguiente:

- a) la tasa de emisión, es decir, el índice de emisión multiplicado por el flujo de combustible (gramos/segundo) de cada contaminante gaseoso;
- b) la emisión bruta total de cada contaminante gaseoso medido durante el ciclo LTO (gramos);
- c) los valores  $D_p/F_{m0}$  de cada contaminante gaseoso (gramos/kilonewton); y
- d) el índice de humo máximo.

2.4.3.2 Sobre cada tipo de motor que se desee certificar en cuanto a las emisiones, se proporcionará el índice de humo característico y los niveles de emisión de los contaminantes gaseosos.

*Nota.* — El nivel característico del índice de humo o de las emisiones de los contaminantes gaseosos equivale a la media de los valores de todos los motores probados, medida y corregida con respecto al motor normal de referencia y a las condiciones ambientales de referencia, dividida por el coeficiente correspondiente al número de motores probados, según se indica en el Apéndice 6.

## CAPÍTULO 3. MOTORES TURBORREACTORES Y TURBOFÁN PROYECTADOS PARA PROPULSAR AERONAVES A VELOCIDADES SUPERSÓNICAS

### 3.1 Generalidades

#### 3.1.1 Campo de aplicación

Las disposiciones del presente capítulo se aplicarán a todos los motores turbo reactores y turbofán proyectados para propulsar aeronaves a velocidades supersónicas, fabricados a partir del 18 de febrero de 1982.

#### 3.1.2 Emisiones de que se trata

Para certificar los motores de aviación se verificarán las emisiones siguientes:

Humo  
Emisiones gaseosas  
Hidrocarburos sin quemar (HC);  
Monóxido de carbono (CO); y  
Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

#### 3.1.3 Unidades de medida

3.1.3.1 Las emisiones de humo se medirán y notificarán a base del índice de humo (SN).

3.1.3.2 Se medirá y notificará en gramos la masa ( $D_p$ ) de los contaminantes gaseosos HC, CO, NO<sub>x</sub> emitidos durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue (LTO) para las emisiones, definido en 3.1.5.2 y 3.1.5.3.

#### 3.1.4 Nomenclatura

En todo este capítulo, cuando se trate de motores sin postcombustión se utilizará la expresión  $F_{in}$  en vez de  $F_{in}^*$ . Cuando se trate del rodaje/marcha lenta, siempre se utilizará  $F_{in}$ .

#### 3.1.5 Condiciones de referencia

##### 3.1.5.1 Condiciones atmosféricas

Las condiciones atmosféricas de referencia se basarán en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar, pero la humedad absoluta de referencia será de 0.00629 kg agua/kg aire seco.

##### 3.1.5.2 Reglaje del empuje

El motor se ensayará a un número suficiente de reglajes de régimen, a fin de determinar las características de las emisiones de gases y de humo del motor, de modo que pueda determinarse la masa de la emisión y los índices de humo corregidos a las condiciones ambientales de referencia, a los siguientes porcentajes específicos del régimen nominal, según lo disponga la autoridad encargada de la certificación.

Modalidad de utilización	Reglaje del empuje
Despegue	100% $F_{in}^*$
Ascenso	65% $F_{in}^*$
Descenso	15% $F_{in}^*$
Aproximación	34% $F_{in}^*$
Rodaje/marcha lenta en tierra	5.8% $F_{in}^*$

##### 3.1.5.3 Ciclo de referencia de aterrizaje y despegue (LTO) para las emisiones

El ciclo de referencia LTO, para calcular las emisiones gaseosas, se representará mediante los tiempos siguientes en cada modalidad de utilización.

Fase	Tiempo en la modalidad de utilización (minutos)
Despegue	1.2
Ascenso	2.0
Descenso	1.2
Aproximación	2.3
Rodaje/marcha lenta en tierra	26.0

##### 3.1.5.4 Especificaciones en cuanto al combustible

El combustible utilizado para efectuar las pruebas se ajustará a las especificaciones del Apéndice 4, y no contendrá aditivos mezclados con objeto de suprimir el humo (tales como los compuestos orgánico-metálicos).

### 3.1.6 Condiciones de las pruebas

3.1.6.1 Las pruebas se realizarán con el motor en banco de pruebas.

3.1.6.2 El motor será representativo de la configuración certificada (véase el Apéndice 6); no se simularán las purgas ni las cargas producidas por los accesorios que no sean necesarios para el funcionamiento básico del motor.

3.1.6.3 Las mediciones hechas para determinar los niveles de emisión correspondientes a los empujes prescritos en 3.1.5.2, se efectuarán, cuando sea el caso, empleando el postcombustor al nivel utilizado normalmente.

3.1.7 Cuando las condiciones de las pruebas difieran de las de referencia previstas en 3.1.5, los resultados se corregirán respecto a las condiciones de referencia mediante los métodos indicados en el Apéndice 5.

## 3.2 Humo

### 3.2.1 Índice de humo reglamentario

El índice de humo en cualquier reglaje del empuje, cuando se mida y calcule conforme a los procedimientos del Apéndice 2 y se convierta a un nivel característico mediante los procedimientos del Apéndice 6, no podrá superar el nivel calculado a base de la fórmula siguiente:

$$\text{Índice de humo reglamentario} = 83.6 (F_{100})^{-0.274}$$

o un valor de 50,  
el que sea menor

*Nota.— La autoridad encargada de la certificación puede asimismo aceptar los valores obtenidos empleando la postcombustión, siempre que la validez de esos datos quede debidamente demostrada.*

## 3.3 Emisiones gaseosas

### 3.3.1 Niveles reglamentarios

Los niveles de las emisiones gaseosas, cuando se midan y calculen con arreglo a los procedimientos del Apéndice 3 o Apéndice 5, según corresponda, y se conviertan a los niveles característicos mediante los procedimientos del Apéndice 6, no podrán superar los niveles reglamentarios calculados a base de las fórmulas siguientes:

$$\text{Hidrocarburos (HC): } D_p / F_{100} = 140(0.92)^{\pi_{100}}$$

$$\text{Monóxido de carbono (CO): } D_p / F_{100}^* = 4\,550(\pi_{100})^{-1.03}$$

$$\text{Óxidos de nitrógeno (NO}_x\text{): } D_p / F_{100}^* = 36 + 2.42\pi_{100}$$

*Nota.— El nivel característico del índice de humo o de las emisiones de los contaminantes gaseosos equivale a la media*

*de los valores de todos los motores probados, medida y corregida con respecto al motor normal de referencia y a las condiciones ambientales de referencia, dividida por  $\epsilon$  coeficiente correspondiente al número de motores aprobados, según se indica en el Apéndice 6.*

## 3.4 Datos necesarios

*Nota.— La información requerida se divide en tres grupos, a saber: 1) información general para conocer las características del motor, el combustible utilizado y el método de análisis de los datos; 2) los datos obtenidos de las pruebas del motor; y 3) los resultados dimanantes de los datos de las pruebas.*

3.4.1 Se proporcionará la información siguiente respecto a cada tipo de motor de cuyas emisiones se solicite la certificación:

- a) designación del motor;
- b) potencia nominal (en kilonewtons);
- c) potencia nominal con postcombustión, si corresponde (en kilonewtons);
- d) relación de presión de referencia;
- e) referencia de la especificación del combustible;
- f) relación hidrógeno/carbono del combustible;
- g) métodos de obtención de los datos;
- h) método para hacer correcciones respecto a las condiciones ambientales; y
- i) método de análisis de los datos.

### 3.4.2 Información sobre las pruebas

Sobre cada motor que se pruebe para certificación, se proporcionará la información siguiente, correspondiente a cada uno de los reglajes del empuje prescritos en 3.1.5.2. Esta información se proporcionará una vez corregida con respecto a las condiciones ambientales de referencia, cuando corresponda:

- a) flujo de combustible (kilogramos/segundos);
- b) índice de emisión (gramos/kilogramo) de cada contaminante gaseoso;
- c) porcentaje del empuje aportado por la postcombustión; y
- d) índice de humo medido.

### 3.4.3 Información deducida

3.4.3.1 Sobre cada motor que se pruebe para certificación se proporcionará la información siguiente:



- a) la tasa de emisión, es decir, el índice de emisión multiplicado por el flujo de combustible (gramos/segundo) de cada contaminante;
- b) la emisión bruta total de cada contaminante gaseoso medido durante el ciclo LTO (gramos);
- c) los valores  $D_p/F_{ao}^*$  de cada contaminante gaseoso (gramos/kilonewton); y
- d) el índice de humo máximo.

3.4.3.2 Sobre cada tipo de motor que se desee certificar en cuanto a las emisiones, se proporcionará el índice de humo característico y los niveles de emisión de los contaminantes gaseosos.

*Nota.*— El nivel característico del índice de humo o de las emisiones de los contaminantes gaseosos equivale a la media de los valores de todos los motores probados, medida y corregida con respecto al motor normal de referencia y a las condiciones ambientales de referencia, dividida por el coeficiente correspondiente al número de motores probados, según se indica en el Apéndice 6.

## APÉNDICE 1. MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE PRESIÓN DE REFERENCIA

### 1. GENERALIDADES

1.1 La relación de presión se determinará a base de un motor representativo.

1.2 La relación de presión de referencia se deducirá correlacionando la relación de presión medida con el empuje del motor corregido a la presión ambiente del día tipo, y leyendo en el gráfico dicha correlación al empuje nominal de despegue correspondiente al día tipo.

### 2. MEDICIÓN

2.1 La presión total se medirá en el último plano de descarga del compresor y en la parte delantera del primer compresor, colocando por lo menos cuatro sondas, de modo que sea posible dividir el área del flujo del aire en cuatro

sectores idénticos y tomando la media de los cuatro valores obtenidos.

*Nota.— La presión total de descarga del compresor puede obtenerse a base de la presión total o estática, medida en una posición lo más próxima posible al plano de descarga del compresor. Sin embargo, la autoridad encargada de la certificación podrá autorizar otros medios que permitan calcular la presión total de descarga del compresor, en el caso de que el motor esté proyectado de manera tal que no sea práctico, para hacer las pruebas de certificación de las emisiones, recurrir a las sondas antes referidas.*

2.2 Al hacer las pruebas para la certificación de tipo, se determinarán los factores de correlación necesarios utilizando por lo menos un solo motor y a base de las pruebas y análisis de todo componente asociado al motor.

2.3 De todos modos, los procedimientos a seguir contarán previamente con el visto bueno de la autoridad encargada de la certificación.

## APÉNDICE 2. EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE HUMO

### 1. INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES

*Nota.*— Los procedimientos aquí indicados conciernen a la adquisición de muestras representativas del escape y a su introducción y análisis en el dispositivo medidor de las emisiones.

1.1 Sólo se permitirán modificaciones del procedimiento contenido en este Apéndice previa solicitud dirigida a la autoridad encargada de la certificación, y después de que ésta las haya sancionado.

1.2 Las expresiones y símbolos siguientes utilizados en este Apéndice tienen el sentido que se les asigna a continuación:

**SN.** Índice de humo. Término adimensional que cuantifica el nivel de las emisiones de humo, guiándose por la mancha resultante en un filtro por la masa de referencia de la muestra de gases de escape, y graduados en una escala de 0 a 100 (véase 3 de este Apéndice).

**SN'**. Índice de humo obtenido de una sola muestra de humo, que no ha de ser forzosamente del tamaño de la de referencia, definido en 3 de este Apéndice.

**Tamaño de la muestra.** Muestra seleccionada del escape, la magnitud de cuya masa (expresada en kilogramos por metro cuadrado del área manchada del filtro) corresponde a la gama prescrita en 2.5.3 h) de este Apéndice y que, al atravesar el material filtrante produce un cambio de reflectancia que da el valor del parámetro SN'.

**Tamaño de la muestra de referencia.** La masa de la muestra, de 16.2 kg/m<sup>2</sup> del área manchada del filtro, que en caso de hacerla atravesar el material filtrante produce un cambio de reflectancia que da el valor del parámetro SN'.

**Volumen de la muestra.** El volumen de la muestra seleccionada (expresado en metros cúbicos), cuya masa equivalente, calculada según se indica en 3 de este Apéndice, corresponde a la definición de tamaño de la muestra.

**W.** Masa en kilogramos de una sola muestra de humo del gas de escape, calculada a base de la medición del volumen, presión y temperatura de la muestra (véase 3 de este Apéndice).

### 2. MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE HUMO

#### 2.1 Sonda para recoger las muestras de las emisiones de humo

a) La sonda será de acero inoxidable. En caso de utilizarse una sonda mezcladora, todos los orificios de muestreo tendrán el mismo diámetro.

b) La sonda tendrá una forma tal que, por lo menos, el 80% de la caída de presión a través del conjunto de la sonda se registre en los orificios.

c) El número mínimo de orificios de muestreo será de 12.

d) El plano de muestreo estará lo más próximo al plano de salida de la tobera de escape del motor que permita la performance del motor, pero, en todo caso, a una distancia del plano de salida que no rebase medio diámetro de la tobera.

e) El solicitante demostrará a la autoridad encargada de la certificación, mediante desplazamientos pormenorizados de la sonda, que el sistema de sondeo que se propone utilizar y su posición proporcionan una muestra representativa respecto a cada régimen prescrito de potencia.

#### 2.2 Conducto de muestreo de las emisiones de humo

2.2.1 La muestra pasará de la sonda al colector muestras, utilizando para ello un conducto de un diámetro interno de 4.0 a 8.5 mm, a base de la ruta más corta posible, que, en ningún caso, excederá de 25 m. La temperatura del conducto se mantendrá entre 60°C y 175°C, con una estabilidad de  $\pm 15^\circ\text{C}$ , excepto en cuanto a la distancia necesaria para enfriar el gas, de la temperatura de escape del motor a la de control del conducto.

2.2.2 Los conductos de muestreo serán lo más "rectos" posible. Los radios de toda curvatura necesaria serán más de 10 veces superiores al diámetro interno de los conductos. Éstos deberán ser de algún material que evite la acumulación de cuerpos extraños o electricidad estática.

*Nota.*— Satisfacen esos requisitos el acero inoxidable, el cobre y el politetrafluorotileno (PTFE) relleno de carbón y con conexión a tierra.

#### 2.3 Dispositivos para analizar el humo

*Nota.*— El método aquí descrito se basa en la medición de la reducción de la reflectancia de un filtro manchado por determinada masa de flujo del escape de muestra.

La disposición de los diversos componentes que integran el dispositivo para conseguir las muestras necesarias del filtro manchado, tendrá las características indicadas en la esquemática en la Figura 2-1. Podrá instalarse una derivación optativa sobre el medidor de volumen para facilitar la lectura.

Los principales elementos del sistema deberán satisfacer los requisitos siguientes:

- a) *medición del volumen de la muestra:* se trata de un medidor de volumen de desplazamiento positivo, húmedo o seco, que se utilizará para medir el volumen de la muestra, con una precisión de  $\pm 2\%$ . También deberán medirse la presión y la temperatura a la entrada de la muestra al medidor, con una precisión de  $0.2\%$  y  $\pm 2^\circ\text{C}$ , respectivamente;
- b) *medición del flujo de la muestra:* el flujo de la muestra se mantendrá a un valor de  $14 \pm 0.5 \text{ L/min}$  y el instrumento medidor del gasto (flujómetro), utilizado con ese fin, deberá poder medir con una precisión de  $\pm 5\%$ ;
- c) *filtro y portafiltro:* el portafiltro, que será de material anticorrosivo, deberá ajustarse a la configuración del canal de flujo ilustrada en la Figura 2-1. El filtro estará confeccionado con el material conocido como Whatman Tipo Núm. 4, u otro equivalente que autoricen las autoridades encargadas de la certificación;

d) *válvulas:* se instalarán cuatro válvulas como se indica en la Figura 2-1:

- 1) la válvula deberá poder accionarse con rapidez, permitir el paso total del flujo, desviar la muestra de entrada a través del filtro de medición o de los circuitos de derivación, y cerrar el circuito;

*Nota.— Si es necesario, dicha válvula puede consistir en dos válvulas acopladas, que permitan conseguir la función deseada.*

- 2) las válvulas B y C deberán ser reguladoras, ya que se utilizan para regular el gasto;
- 3) la válvula D será una válvula de cierre, que permita aislar el portafiltro;

todas estas válvulas deberán ser de material anticorrosivo;

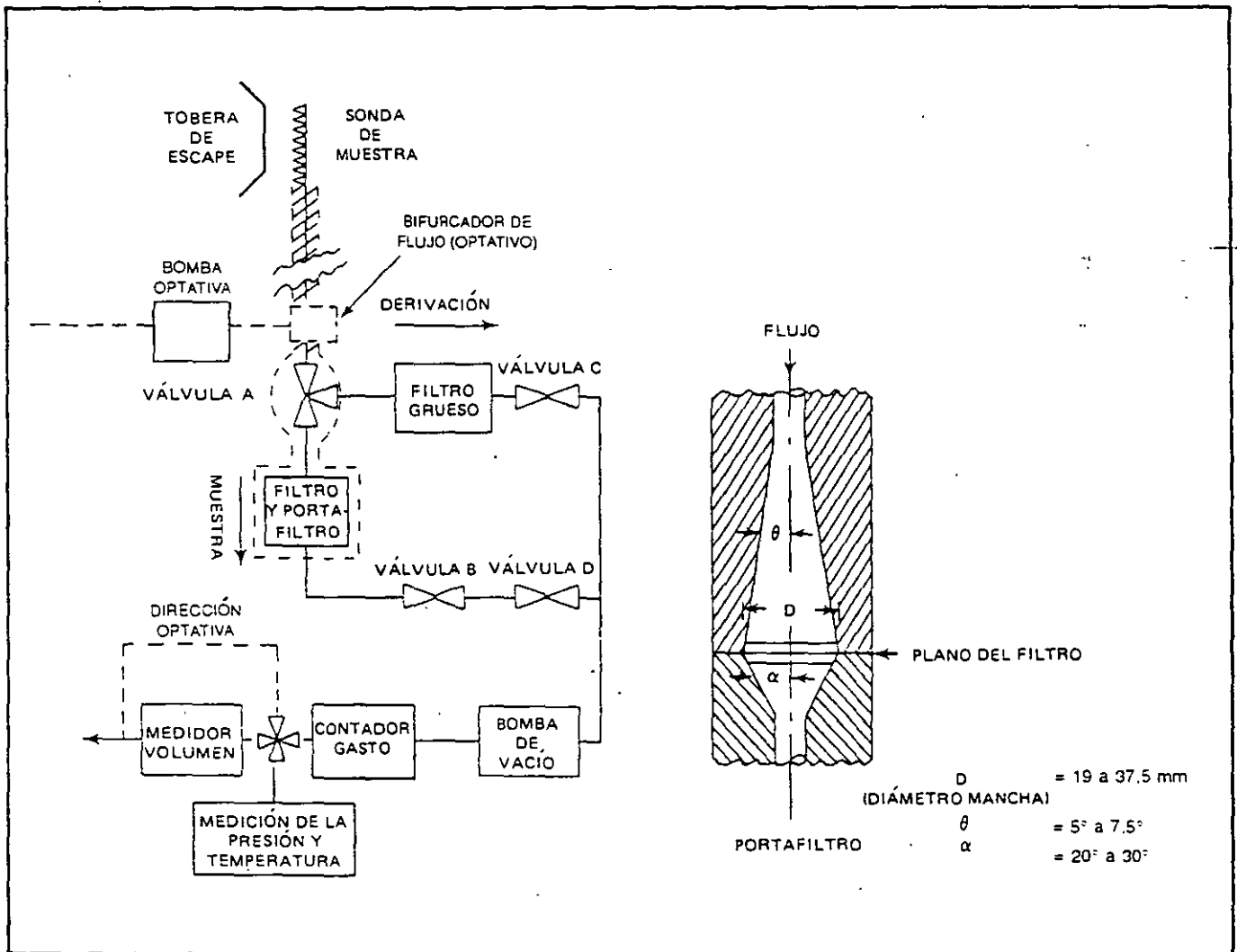


Figura 2-1. Sistema para analizar el humo

e) *bomba de vacío*: esta bomba, a gasto nulo, deberá poder producir un vacío de  $-75\text{kPa}$  en relación con la presión atmosférica; al gasto-máximo, el régimen no deberá ser inferior a  $28\text{ L/min}$ , a la temperatura y presión normales;

f) *regulación de la temperatura*: el conducto de entrada de la muestra al portafiltro se mantendrá a una temperatura comprendida entre los  $60^\circ\text{C}$  y  $175^\circ\text{C}$ , con una estabilidad de  $\pm 15^\circ\text{C}$ :

*Nota.*— Se trata de evitar que se forme condensación de agua antes de llegar al portafiltro y dentro de él.

g) si se desea que el flujo de muestra sea mayor a través de la sonda que a través del portafiltro, podrá instalarse un bifurcador de flujo optativo entre la sonda y la válvula A (Figura 2-1), para descargar el flujo excedente. El conducto de vaciado estará tan próximo como sea posible del orificio de salida de la sonda y no afectará la capacidad del sistema de muestreo para mantener la caída de presión de 80% que se requiere en el montaje de la sonda. El flujo de vaciado también podrá desviarse hacia el analizador de  $\text{CO}_2$  o a un sistema de análisis completo de las emisiones;

h) si se utiliza el bifurcador de flujo, se efectuará un ensayo para demostrar que el bifurcador de flujo no cambia el nivel de humo que pasa a través del portafiltro. Esto podrá efectuarse invirtiendo los conductos de salida del bifurcador de flujo y demostrando que, dentro de la precisión del método, el nivel de humo no varía;

i) *pérdidas*: el subsistema deberá satisfacer la prueba siguiente:

- 1) colocar un filtro limpio en el portafiltro;
- 2) cerrar la válvula A y abrir por completo las válvulas B, C y D;
- 3) accionar la bomba de vacío durante 1 minuto, hasta lograr el equilibrio necesario;
- 4) seguir accionando la bomba y medir el gasto con el contador, durante 5 minutos. Dicho volumen no deberá exceder de 5 L (con referencia a la temperatura y presión normales). En el caso de que no se consiga esto, el dispositivo no deberá utilizarse;

j) *reflectómetro*: la medición del coeficiente de reflexión del filtro se realizará con un instrumento que se ajuste a la norma Núm. PH2.17/1977 de la American Standard Association (ASA) y que permita determinar la densidad de reflexión del difusor. El diámetro del haz luminoso del reflectómetro, proyectado sobre el filtro de papel, no excederá de  $D/2$ , ni será superior a  $D/10$ , siendo D el diámetro de la mancha que aparece en el filtro, indicado en la Figura 2-1.

## 2.4 Características del combustible

El combustible deberá ajustarse a las especificaciones del Apéndice 4. No contendrá aditivos con el propósito de suprimir el humo (como los compuestos orgánicos-metálicos).

## 2.5 Procedimientos aplicables a la medición del humo

### 2.5.1 Ensayo de motores

2.5.1.1 El motor se hará funcionar en un banco de pruebas estático, apropiado y debidamente equipado para hacer ensayos de performance de gran precisión.

2.5.1.2 Los ensayos se harán a los regímenes de potencia aprobados por las autoridades encargadas de la certificación. A cada régimen, habrá que estabilizar el motor.

### 2.5.2 Verificaciones de las pérdidas y la limpieza

No se hará ninguna medición antes de que se hayan calentado y estabilizado los conductos de transferencia de la muestra y las válvulas correspondientes. Antes de proceder a una serie de ensayos, se verificará el sistema de la siguiente manera, para cerciorarse de que no hay pérdidas y de que está limpio:

a) *Verificación de las pérdidas*: apartar la sonda y cerrar el extremo del conducto de muestreo; proceder a la verificación de la pérdida, según se indica en 2.3 g), con la diferencia de que la válvula A debe quedar abierta y en posición de "derivación", la válvula D debe quedar cerrada y el límite de pérdida es de 2 L. Colocar de nuevo la sonda en su lugar y abrir el conducto de interconexión.

b) *Verificación de la limpieza*:

- 1) abrir las válvulas B, C y D;
- 2) accionar la bomba de vacío y alternativamente poner la válvula A en la posición "derivación" y "muestra", para purgar enteramente el sistema con aire limpio durante cinco minutos;
- 3) poner la válvula A en "derivación";
- 4) cerrar la válvula D y colocar un filtro limpio en el portafiltro. Abrir la válvula D;
- 5) poner la válvula A en "muestra" y ponerla de nuevo en "derivación" después que hayan pasado por el filtro 50 kg de aire por metro cuadrado de filtro;
- 6) medir la mancha resultante  $SN'$ , tal cual se describe en el párrafo 3 de este Apéndice;
- 7) si  $SN'$  excede de 3, será necesario limpiar el sistema (o rectificarlo) hasta conseguir un valor inferior a 3.

El sistema no deberá utilizarse a menos que se haya cumplido con los requisitos en cuanto a las pérdidas y a su limpieza.

### 2.5.3 Medición del humo

La medición del humo se hará independientemente de mediciones, a menos que los valores del humo, objeto de medición, sean considerablemente más bajos que los valores

limitadores o bien que se pueda demostrar la validez de los valores del humo procedentes de mediciones simultáneas del humo y de las emisiones gaseosas, en cuyo caso la medición del humo puede hacerse simultáneamente con la de las emisiones gaseosas. En todos los casos deberán respetarse estrictamente los radios de curvatura de los conductos de muestreo, detallados en 2.2.2. Se determinará el subsistema de análisis de humos, que deberá ajustarse a las especificaciones que figuran en 2.3. Haciendo referencia a la Figura 2-1, a continuación se indican las operaciones principales que habrá que hacer para lograr las muestras constituidas por los filtros manchados:

- a) cuando el motor funciona con la sonda en posición de ensayo, no se colocará la válvula A en posición de cerrada, ya que podrían acumularse cuerpos extraños en los conductos;
- b) poner la válvula A en la posición de "derivación", cerrar la válvula D y colocar un filtro limpio en el portafiltro. Seguir recogiendo la muestra de escape en la posición de derivación, por lo menos, durante 5 minutos, mientras el motor casi está, o está ya, en la modalidad de utilización deseada, regulando la válvula C de modo que el gasto sea de  $14 \pm 0.5$  L/min;
- c) abrir la válvula D y regular la válvula A en la posición de "muestra", y utilizar la válvula B para ajustar de nuevo el gasto al valor fijado en b);
- d) regular la válvula A en la posición "derivación", cerrar la válvula D y colocar material filtrante en el portafiltro;
- e) cuando se haya estabilizado el motor, permitir que el flujo de muestra circule durante un minuto, con las válvulas en las posiciones relativas indicadas en d);
- f) abrir la válvula D, colocar la válvula A en la posición "muestra", regular de nuevo el gasto (si es necesario) y, antes de poner de nuevo la válvula A en la posición de "derivación" y de cerrar la válvula D, permitir que circule el volumen elegido de la muestra (véase h);
- g) sacar el filtro manchado para hacer el correspondiente análisis y poner otro limpio en el portafiltro;
- h) los volúmenes de las muestras seleccionadas estarán comprendidos en la gama de 12 a 21 kg del gas de escape por metro cuadrado de filtro, y deberán incluir muestras — por exceso y por defecto — de 16.2 kg o exactamente de esa cantidad, del gas de escape por metro cuadrado de filtro. Para cada régimen de utilización del motor, deberá hacer un mínimo de tres muestras, y, siempre que sea necesario, habrá que repetir las operaciones indicadas en e) a g).

### 3. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE HUMO A BASE DE LOS DATOS MEDIDOS

Las muestras, a base de los filtros manchados, obtenidas según lo indicado en 2.5.3 precedente, deberán analizarse con

un reflectómetro, según se indica en 2.3. El material utilizado como fondo deberá ser negro y tener un coeficiente de reflexión absoluto inferior al 3%. La indicación  $R_s$  del coeficiente de reflexión absoluto de cada filtro manchado deberá utilizarse para calcular la reducción de este coeficiente, según la fórmula siguiente:

$$SN' = 100 (1 - R_s / R_w)$$

en la que  $R_w$  representa el coeficiente de reflexión absoluto del filtro limpio.

Las masas de las diversas muestras deberán calcularse a base de la siguiente fórmula:

$$W = 0,348 PV/T \times 10^{-2}(\text{kg})$$

en la que  $P$  y  $T$  representan, respectivamente, la presión de la muestra en pascuales y la temperatura en grado kelvin, medidos inmediatamente contra la dirección del flujo del medidor de volumen  $V$  representa el volumen medido de la muestra, en metros cúbicos.

Respecto a cada régimen del motor, en el caso de que el tamaño de las muestras fluctúe por debajo y por arriba del valor de referencia, los diversos valores de  $SN'$  y  $W$  deberán trazarse como  $SN'$  en función de  $\log (W/A)$ , y  $A$  representa la superficie de la mancha del filtro ( $\text{m}^2$ ). Utilizando una recta que se ajuste a los mínimos cuadrados, deberá calcularse el valor de  $SN'$  cuando  $W/A = 16.2 \text{ kg/m}^2$ , y notificarse como el índice de humo ( $SN$ ) de esa modalidad de utilización del motor. Cuando únicamente se utilice el muestreo al valor del tamaño de referencia, el  $SN$  notificado se basará en la media aritmética de cada uno de los diversos valores de  $SN'$ .

### 4. NOTIFICACIÓN DE LOS DATOS A LAS AUTORIDADES ENCARGADAS DE LA CERTIFICACIÓN

Los datos obtenidos se notificarán a las autoridades encargadas de la certificación. Además, para cada ensayo, se facilitarán los datos que siguen:

- a) temperatura de la muestra;
- b) presión de la muestra;
- c) volumen efectivo de la muestra en las condiciones en las cuales se ha efectuado el muestreo;
- d) gasto efectivo de la muestra en las condiciones en las cuales se ha hecho el muestreo; y
- e) corroboración de las verificaciones realizadas en cuanto a las pérdidas y al aspecto limpieza (véase 2.5.2).

## APÉNDICE 3. INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LAS EMISIONES GASEOSAS

### 1. INTRODUCCIÓN

*Nota.*— Los procedimientos aquí indicados conciernen a la adquisición de muestras representativas de los gases de escape y a su entrada y análisis en el dispositivo medidor de las emisiones. Este procedimiento no es aplicable a los motores que utilizan postquemador. Los métodos propuestos representan la práctica moderna más avanzada, conocida y aceptada.

Sólo se permitirán modificaciones al contenido de este Apéndice, siempre y cuando previamente se solicite y lo autoricen las autoridades encargadas de la certificación.

### 2. DEFINICIONES

En el presente Apéndice, las expresiones que siguen a continuación tendrán los significados que se indican:

**Analizador infrarrojo sin dispersión.** Instrumento que, al absorber la energía infrarroja, mide selectivamente determinados componentes.

**Concentración.** La fracción volumétrica del componente deseado, en la mezcla de gas, expresada como porcentaje del volumen total o como partes por millón.

**Desviación cero.** La desviación, en relación con el tiempo, de la indicación del instrumento a partir del punto cero, cuando por el mismo pasa gas que no contiene el elemento que se desea medir.

**Detector de la ionización de la llama.** Un detector de la difusión del hidrógeno-aire de la llama, que produce una señal nominalmente proporcional al gasto de hidrocarburos que penetra en la llama por unidad de tiempo; generalmente, se supone que es proporcionalmente sensible al número de átomos de carbono que penetran en la llama.

**Estabilidad.** La similitud que pueden registrar las mediciones repetidas de una muestra invariable dada durante un período determinado.

**Gas de calibración.** Un gas de referencia de gran precisión, que hay que utilizar para alinear, ajustar y hacer la verificación periódica de los instrumentos.

**Gas cero.** El gas que hay que utilizar para determinar la posición cero de calibración del instrumento, es decir, el punto en el cual la reacción es nula.

**Gas de referencia.** Una mezcla de gases de composición especificada y conocida, utilizada como base para interpretar

la reacción del instrumento, en función de la concentración del gas en presencia del cual reacciona el instrumento.

**Interferencia.** Toda reacción del instrumento debida a la presencia de elementos ajenos al gas (o vapor) que hay que medir.

**Partes por millón (ppm).** La concentración del volumen unitario de un gas por un millón de unidades de volumen de la mezcla de gases de la cual forma parte.

**Partes por millón de carbono (ppmC).** La fracción mol de hidrocarburo multiplicada por  $10^6$ , medida por referencia al metano. Así pues, 1 ppm de metano se indica como 1 ppmC. Para convertir la concentración de una ppm de cualquier hidrocarburo a una ppmC equivalente, multiplíquese la concentración ppm por el número de átomos de carbono por molécula de gas. Por ejemplo, 1 ppm de propano equivale a 3 ppmC de hidrocarburo; 1 ppm de hexano equivale a 6 ppmC de hidrocarburo.

**Precisión.** El grado de aproximación con que una medida se acerca al valor verdadero, medido independientemente.

**Relación-aire/combustible.** El gasto de flujo de aire a través de la sección caliente del motor, dividido por el gasto de flujo del combustible que pasa al motor.

**Repetibilidad.** La precisión con que la medición de una muestra dada e invariable puede lograrse repetidas veces en breve plazo con el mismo resultado, sin que sea necesario calibrar de nuevo el instrumento.

**Resolución.** El cambio mínimo perceptible en una medición.

**Respuesta.** Toda variación de la señal indicadora del instrumento, que ocurre al variar la concentración de la muestra. También, la señal indicadora correspondiente a la concentración de una muestra dada.

**Ruido.** Toda variación aleatoria de la indicación del instrumento, que nada tiene que ver con las características de la muestra, en contacto con la cual reacciona el instrumento, y que puede distinguirse por sus características de desviación.

**Tobera de escape.** Tratándose del muestreo de las emisiones de escape de los motores de turbina de gas en los que la emanación del chorro no sale mezclada (como por ejemplo, en algunos motores turbofán), la tobera considerada es aquella por la cual pasa únicamente el flujo de salida del generador de gas (núcleo). No obstante, cuando la emanación del chorro sale mezclada, la tobera considerada es aquella por la cual pasan todos los gases.

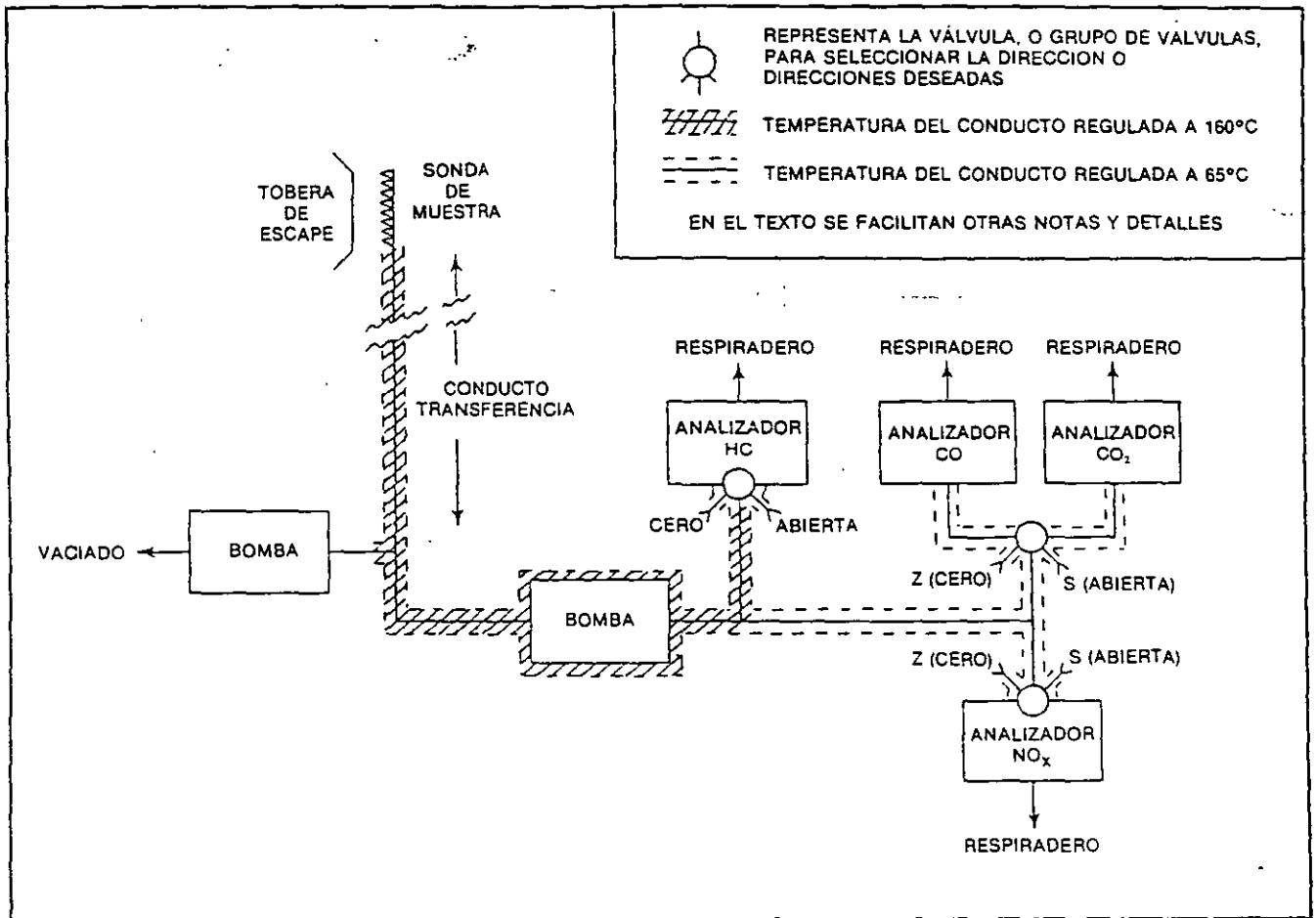


Figura 3-1. Diagrama del sistema de muestreo y análisis



### 3. DATOS NECESARIOS

#### 3.1 Emisiones gaseosas.

Se determinará la concentración de las siguientes emisiones:

- a) hidrocarburos (HC): el cálculo combinado de todos los compuestos de hidrocarburos presentes en el gas de escape;
  - b) monóxido de carbono (CO);
  - c) bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);
- Nota.— Aunque el CO<sub>2</sub> no se considera como contaminante, se necesita su concentración para hacer los cálculos y verificaciones.*
- d) óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): el cálculo de la suma de óxido nítrico (NO) y bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>);
  - e) óxido nítrico (NO).

#### 3.2 Otros datos

Con objeto de normalizar los datos de medición de las emisiones y cuantificar las características de prueba del motor, se suministrará la siguiente información adicional:

- temperatura en la boca de entrada;
- humedad en la boca de entrada;
- presión atmosférica;
- relación hidrógeno/carbono del combustible;
- otros parámetros necesarios del motor (por ejemplo, empuje, velocidad del rotor, temperaturas de la turbina y flujo de aire del generador de gas).

Estos datos se obtendrán por medición directa o por cálculo, según se indica en el Adjunto F del presente Apéndice.

### 4. DISPOSICIÓN GENERAL DEL SISTEMA

No se emplearán desecantes, secadoras, deshidratadoras ni equipo similar, para tratar la muestra de escape que vaya a parar a los instrumentos analizadores de los óxidos de nitrógeno y de los hidrocarburos. En el párrafo 5 se indican los requisitos para los diversos subsistemas componentes, pero la lista que sigue enumera algunas de las salvedades y variaciones.

- a) Se supone que cada uno de los diversos subsistemas tiene un regulador de flujo y los dispositivos de acondicionamiento y medición necesarios.
- b) La necesidad de contar con una bomba de vaciado y/o de muestra caliente dependerá de las posibilidades que haya que transferir la muestra en tiempo útil y del gasto de flujo que requiera el subsistema de análisis. Esto, a su vez, dependerá de la presión con la cual el escape desplaza la

muestra de gas y de las posibles pérdidas que haya en los conductos. Se considera que estas bombas serán habitualmente necesarias en ciertas condiciones de funcionamiento del motor.

- c) La posición de la bomba caliente, en relación con los subsistemas de análisis de los gases, puede variar, según sea necesario. (Por ejemplo, algunos analizadores de HC tienen bombas calientes, por lo que pueden considerarse apropiadas para su utilización más arriba que la bomba caliente del sistema).

*Nota.— En la Figura 3-1 se ilustra el sistema de muestreo y análisis del escape de gases, que representa las exigencias básicas, típicas, para verificar la calidad de las emisiones.*

### 5. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES

*Nota.— A continuación se describen, a grandes rasgos, las especificaciones de los elementos principales del sistema de medición de las emisiones de gases de los motores. Cuando se necesiten más detalles, consúltense los Adjuntos A, B y C de este Apéndice.*

#### 5.1 Dispositivo para medir las muestras

##### 5.1.1 Sonda de muestreo

- a) La sonda será de acero inoxidable. En caso de utilizarse sonda mezcladora, todos los orificios de muestreo tendrán el mismo diámetro.
- b) La sonda tendrá una forma tal que, por lo menos, el 80% de la caída de presión, a través del conjunto de la sonda se registre en los orificios.
- c) El número mínimo de orificios de muestreo será de 12.
- d) El plano de muestreo estará lo más próximo al plano de salida de la tobera de escape del motor que permita la performance del motor, pero, en todo caso, a una distancia del plano de salida que no rebase medio diámetro de la tobera.
- e) El solicitante demostrará a la autoridad encargada de la certificación, mediante desplazamientos pormenorizados de la sonda, que el sistema de sondeo que se propone utilizar y su posición proporcionan una muestra representativa respecto a cada régimen prescrito de potencia.

##### 5.1.2 Conductos de muestreo

La muestra se transferirá de la sonda a los analizadores por medio de un conducto de un diámetro interno de 4.0 a 8.5 mm, utilizando para ello el camino más corto posible y a base de un gasto tal que permita trasladarla en menos de 10 segundos. El conducto tendrá una temperatura constante de 160°C ± 15°C (con una estabilidad de ±10°C), excepto: a) en caso de la distancia necesaria para enfriar el gas desde la temperatura

de escape del motor hasta la temperatura de control del conducto, y b) en cuanto al ramal que alimenta las muestras a los analizadores de CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>. El conducto tendrá una temperatura de 65°C ± 15°C (con una estabilidad de ±10°C). Cuando el muestreo se haga para medir los elementos de HC, CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, el conducto será de acero inoxidable o de politetrafluoretileno (PTFE) relleno de carbón y con conexión a tierra.

### 5.2 Analizador HC

La medición del total de los hidrocarburos contenidos en la muestra se hará mediante un analizador equipado con un detector de ionización de la llama (FID) con calefacción, entre los electrodos del cual pase una corriente de ionización proporcional a la masa de hidrocarburos que penetre en la llama de hidrógeno. Es de suponer que el analizador en cuestión tendrá dispositivos apropiados para regular la temperatura y el gasto de la muestra, para desviar ésta, el combustible y los gases diluentes, y para hacer la verificación efectiva de las calibraciones S (abierta) y Z (cero).

*Nota.— En el Adjunto A de este Apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.*

### 5.3 Analizadores CO y CO<sub>2</sub>

Para medir esos elementos, habrá que utilizar analizadores de infrarrojo sin dispersión, que deberán ser del tipo que funciona a base de la absorción diferencial de energía en células paralelas de gas de referencia y de gas de muestra; la célula o grupo de ellas, respecto a cada uno de esos elementos gaseosos, se sensibilizarán debidamente. Este subsistema de análisis incluirá todas las funciones necesarias para regular y manipular el flujo de la muestra, y el de los gases Z y S de referencia. La temperatura será la apropiada para la base de medición utilizada.

*Nota.— En el Adjunto B de este Apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.*

### 5.4 Analizador de NO<sub>x</sub>

La medición de la concentración de los óxidos de nitrógeno (NO) se hará por el método químico-luminiscente, mediante el cual la medición de la intensidad de la radiación emitida durante el tiempo de reacción de los NO contenidos en la muestra, más O<sub>3</sub>, constituye la medición de la concentración de los NO. El elemento NO<sub>2</sub> se convertirá en NO, en un convertidor idóneo, antes de hacer la medición. El sistema de medición de los NO<sub>x</sub> resultantes deberá tener todos los regulares necesarios de flujo, temperatura y demás, y lo necesario para poder hacer la calibración acostumbrada de Z y S y permitir la verificación del rendimiento del convertidor.

*Nota.— En el Adjunto C de este Apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.*

## 6. PROCEDIMIENTOS A SEGUIR AL HACER EL ENSAYO GENERAL

### 6.1 Funcionamiento del motor

6.1.1 El motor se hará funcionar en un banco de pruebas estático apropiado y debidamente equipado para hacer ensayos de performance de gran precisión.

6.1.2 Los ensayos de las emisiones se harán a los regímenes de potencia prescritos por las autoridades encargadas de la certificación. A cada régimen, habrá que estabilizar el motor.

### 6.2 Calibración básica de instrumentos

*Nota.— El objetivo general de esta calibración es confirmar la estabilidad y linealidad.*

6.2.1 En el momento de hacer el ensayo, el solicitante deberá demostrar a las autoridades encargadas de la certificación que la calibración del sistema analítico es correcta.

6.2.2 En cuanto al analizador de hidrocarburos, la calibración incluirá la verificación de que tanto el detector de oxígeno como las respuestas diferenciales de los hidrocarburos se ajustan a los límites previstos, según se indica en el Adjunto A de este Apéndice. También se verificará la eficacia del convertidor de NO<sub>2</sub>/NO, cerciorándose de que satisface lo previsto en el Adjunto C de este Apéndice.

6.2.3 El procedimiento para verificar el comportamiento de cada analizador será el que se indica a continuación (utilizando los gases de calibración y de ensayo indicados en el Adjunto D de este Apéndice):

- a) introdúzcase el gas cero (gas de referencia Z) y hágase el reglaje a cero del instrumento, anotando la posición correspondiente;
- b) por cada gama que haya de utilizarse en servicio, introdúzcase el gas de calibración del 90% (nominal) de la concentración correspondiente a la deflexión máxima de la escala (FSD); ajústese debidamente el regulador del instrumento y anótese su posición;
- c) introdúzcase aproximadamente el 30, 60 y 90% de las concentraciones FSD de la gama y anótese las indicaciones del analizador;
- d) trácese la recta de mínimos cuadrados correspondiente a los puntos 0, 30, 60 y 90% de concentración. En cuanto al analizador de CO y/o CO<sub>2</sub>, utilizado en su configuración básica, sin linealización de salida, se ajustará la curva de mínimos cuadrados de la fórmula matemática apropiada valiéndose de puntos de calibración adicionales, si se estima necesario. Si algún punto se aparta en más de 2% del valor de la escala (ó ±1 ppm\*, lo que sea mayor), habrá que trazar una curva de calibración para utilizarla en servicio.

\* Salvo en el caso del analizador del CO<sub>2</sub>, para el cual el valor será ±100 ppm.

6.3 Utilización

6.3.1 No se hará ninguna medición hasta que no se hayan calentado y estabilizado todos los instrumentos y los conductos de transferencia de la muestra y hasta que no se hayan efectuado las verificaciones siguientes:

- a) verificación de las pérdidas: antes de efectuar una serie de ensayos, se verificará que el sistema no tenga pérdidas. Para hacerlo, aislar la sonda y los analizadores, conectar y accionar una bomba de vacío de actuación equivalente a la que se utilizó para el sistema de medición de humo a fin de comprobar que las pérdidas del gasto del sistema sean inferiores a 0,4 L/min, a la temperatura y presión normales;
- b) verificación de la limpieza: aislar el sistema de muestreo de gases de la sonda y conectar el extremo del conducto de muestra a una fuente de gas cero. Calentar el sistema hasta alcanzar la temperatura de funcionamiento que se necesita para hacer las mediciones de hidrocarburos. Activar la bomba de flujo de la muestra y ajustar el flujo al que se utilizó durante el ensayo de las emisiones del motor. Registrar la lectura del analizador de hidrocarburos. La lectura no excederá de 1% del nivel de emisiones del motor en marcha lenta o 1 ppm (ambos expresados en el equivalente de metano), de estos valores el mayor.

*Nota 1.— Al hacer funcionar el motor, es conveniente purgar los conductos de muestreo mientras la sonda esté en el interior del escape de gases del motor, pero sin medir las emisiones, con objeto de cerciorarse de que la contaminación no sea excesiva.*

*Nota 2.— También es conveniente controlar la calidad del aire de entrada al principio y al final del ensayo y por lo menos una vez por hora durante el mismo. Si se considera que los niveles son importantes, deberían tenerse en cuenta.*

6.3.2 Para hacer la medición con el motor en funcionamiento, se adoptará el siguiente procedimiento:

- a) aplíquese el gas cero apropiado y háganse los ajustes necesarios del instrumento;
- b) aplíquese el gas de calibración apropiado, al 90% nominal de concentración FSD con respecto a las gamas que haya que utilizar, y ajústese y anótese debidamente la posición del regulador de ganancia;
- c) una vez que el motor se haya estabilizado a la modalidad de utilización necesaria, debe seguir funcionando. Obsérvense las concentraciones de los contaminantes hasta obtener una indicación estabilizada, que habrá que anotar;
- d) una vez terminado el ensayo y también a intervalos máximos de una hora, durante los ensayos, verifíquense de nuevo el punto cero y los de calibración. Si uno de ellos ha variado más del ± 2% de la escala FSD, habrá que repetir el ensayo hasta que el instrumento haya recuperado su posición indicada, dentro de los márgenes de la especificación de referencia.

6.4 Verificación del equilibrio de carbono

Respecto a cada ensayo, habrá que hacer una verificación de efecto de que la relación aire/combustible, estimada a base de la concentración total de carbono de la muestra integrada, excluyendo el humo, concuerde con el cálculo basado en la relación aire/combustible del motor con un margen de ± 15% para la modalidad rodaje/marcha lenta en tierra y con un margen del 10% para todas las demás modalidades (véase 7.1.2).

7. CÁLCULOS

7.1 Emisiones gaseosas

7.1.1 Generalidades

Las mediciones analíticas realizadas representarán las concentraciones de las diversas clases de contaminantes — según se hayan detectado en sus analizadores respectivos en función de las diversas modalidades de funcionamiento — que habrá que notificar. Además de esto, será necesario calcular y notificar otros parámetros, a saber\*:

7.1.2 Parámetros básicos

$$EI_p \text{ (índice de emisión del elemento } p) = \frac{\text{masa de } p \text{ producida en gm}}{\text{masa de combustible utilizado } c}$$

$$EI(\text{CO}) = \left( \frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left( \frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_c + (n/m)M_H} \right) (1 + T(P_0/m))$$

$$EI(\text{HC}) = \left( \frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left( \frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_c + (n/m)M_H} \right) (1 + T(P_0/m))$$

$$EI(\text{NO}_x) \text{ (como NO}_2) = \left( \frac{[\text{NO}_x]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left( \frac{10^3 M_{\text{NO}_x}}{M_c + (n/m)M_H} \right) (1 + T(P_0/m))$$

$$\text{Relación aire/combustible} = (P_0/m) \left( \frac{M_{\text{AIR}}}{M_c + (n/m)M_H} \right)$$

en la que:

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h - |TZ/2|)}$$

y

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - (|2/x| - |y/2x|) [\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$

\* En el adjunto de este Apéndice E se describe un método aceptado completo y preciso.

$M_{AIR}$	masa molecular del aire seco = 28,966 g o bien, cuando corresponda = (32 R + 28.156 4 S + 44.011 T) g
$M_{HC}$	masa molecular de hidrocarburos del escape, considerados como CH <sub>4</sub> = 16,043 g
$M_{CO}$	masa molecular del CO = 28,011 g
$M_{NO_2}$	masa molecular del NO <sub>2</sub> = 46,008 g
$M_C$	masa atómica del carbono = 12,011 g
$M_H$	masa atómica del hidrógeno = 1,008 g
R	concentración de O <sub>2</sub> en aire seco, por volumen = normalmente 0.209 5
S	concentración de N <sub>2</sub> + gases raros en aire seco, por volumen = normalmente 0.790 2
T	concentración de CO <sub>2</sub> en aire seco, por volumen = normalmente 0.000 3
[HC]	concentración húmeda media de hidrocarburos del escape, por volumen, expresada como carbono
[CO]	concentración húmeda media de CO, por volumen
[CO <sub>2</sub> ]	concentración húmeda media de CO <sub>2</sub> por volumen
[NO <sub>x</sub> ]	concentración húmeda media de NO <sub>x</sub> , por volumen = [NO + NO <sub>2</sub> ]
[NO]	concentración húmeda media de NO en la muestra de escape, por volumen
[NO <sub>2</sub> ]	concentración húmeda media de NO <sub>2</sub> en la muestra de escape, por volumen
	$= \frac{([NO_x]_r - [NO])}{\eta}$
[NO <sub>x</sub> ] <sub>r</sub>	concentración húmeda media de NO en la muestra de escape, una vez pasado el convertidor de NO <sub>2</sub> a NO, por volumen
η	eficacia del convertidor de NO <sub>2</sub> a NO
h	humedad del aire ambiente, volumen de agua/volumen de aire seco
m	número de átomos de C en una molécula característica de combustible
n	número de átomos de H en una molécula característica de combustible
x	número de átomos de C en una molécula característica de hidrocarburos del escape
y	número de átomos de H en una molécula característica de hidrocarburos del escape.

El valor de  $n/m$ , la relación entre el hidrógeno atómico y el carbono atómico del combustible utilizado, se evalúa analizando el tipo de combustible. La humedad del aire ambiente ( $h$ ) se medirá en cada condición de utilización. A falta de pruebas en contrario de la caracterización ( $x$ ,  $y$ ) de los hidrocarburos del escape, se utilizarán los valores  $x = 1$ ,  $y = 4$ . Si hay que utilizar mediciones del CO y del CO<sub>2</sub>, ya sea seco o semiseco, éstas se convertirán primero en las concentraciones húmedas equivalentes que figuran en el Adjunto E de este Apéndice, donde figuran fórmulas para corregir las interferencias, cuando sea menester.

### 7.1.3 Corrección de los índices de emisión con respecto a las condiciones de referencia

Se harán las correcciones de los índices de emisión medidos, respecto a todos los contaminantes, en cada una de las modalidades pertinentes de utilización del motor, para tener en cuenta las discrepancias respecto a las condiciones verdaderas de referencia (ISA al nivel del mar) de la temperatura y presión del aire en la boca de entrada. El valor de referencia de la humedad será de 0.006 29 kg agua/kg de aire seco.

Así, pues, tendremos: El corregido =  $K \times$  El medido, en que la expresión generalizada de  $K$  es:

$$K = (P_{Bref}/P_B)^a \times (FAR_{ref}/FAR_B)^b \times \exp(|T_{Bref} - T_B|/c) \times \exp(d|h - 0.006 29|)$$

$P_B$	presión medida en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos
$T_B$	temperatura medida en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos
$FAR_B$	relación aire/combustible en la cámara de combustión y accesorios conexos
$h$	humedad del aire ambiente
$P_{ref}$	presión ISA al nivel del mar
$T_{ref}$	temperatura ISA al nivel del mar
$P_{Bref}$	presión en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos del motor probado (o del motor de referencia, si los datos se corrigen respecto a un motor de esta índole) correspondiente a la $T_B$ en condiciones ISA al nivel del mar
$T_{Bref}$	temperatura en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos en condiciones ISA al nivel del mar, del motor probado (o del motor de referencia, si los datos han de corregirse respecto a un motor de referencia). Esta temperatura es la que corresponde a cada nivel de empuje especificado para cada modalidad de utilización

$FAR_{ref}$  relación aire/combustible en la cámara de combustión y accesorios conexos en condiciones ISA al nivel del mar del motor probado (o del motor de referencia, si los datos han de corregirse respecto a un motor de referencia)

$a, b, c, d$  constantes específicas que pueden variar según el contaminante y el tipo de motor

Preferiblemente, los parámetros de la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos se medirán, pero también pueden calcularse a partir de las condiciones ambientales, mediante fórmulas apropiadas.

7.1.4 Si se utiliza la técnica recomendada de ajuste de la curva para relacionar los índices de emisión con la temperatura de la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos, se elimina de hecho, el término  $\exp((T_{Bref} - T_B)/c)$  de la ecuación generalizada y, en la mayoría de los casos, el término  $(FAR_{ref}/FAR_B)$  puede considerarse igual a la unidad. En cuanto a los índices de las emisiones de CO y HC, muchos laboratorios de ensayo han determinado que la humedad está suficientemente cerca de la unidad como para eliminarla de la expresión y que el exponente del término  $(P_{Bref}/P_B)$  también se acerca a la unidad.

Así pues,

El(CO) corregido = El derivado de  $(P_B/P_{Bref})$ . El(CO) en función de la curva de  $T_B$

El(HC) corregido = El derivado de  $P_B/P_{Bref}$ . El(HC) en función de la curva de  $T_B$

El( $NO_x$ ) corregido = El derivado de  $El(NO_x) (P_{Bref}/P_B)^{0.5} \exp(19|h - 0.00629|)$  en función de la curva de  $T_B$

Si no se obtiene una correlación satisfactoria con este método recomendado para corrección del índice de emisiones de CO y HC, podrá utilizarse otro método con los parámetros que se derivan de los ensayos de componentes.

Cualquier otro método utilizado para corregir los índices de emisión del CO, los HC y los  $NO_x$  debe contar con el visto bueno de la autoridad encargada de la certificación.

## 7.2 Funciones del parámetro regulador ( $D_p, F_{00}, \pi$ )

### 7.2.1 Definiciones

$D_p$  La masa de todo contaminante gaseoso emitido durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue para las emisiones.

$F_{00}$  El empuje máximo desarrollado para el despegue en condiciones normales de utilización y en condiciones estáticas en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar, sin inyección de agua, que haya aprobado la autoridad competente encargada de la certificación.

$\pi$  La relación entre la presión total media en el último plano de descarga del compresor y la presión total media en el plano de entrada del compresor, cuando el motor desarrolla el empuje nominal de despegue en condiciones estáticas en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar.

7.2.2 Los índices de emisión (EI) de cada contaminante, corregidos en cuanto a la presión y humedad (según sea el caso) en relación con las condiciones atmosféricas ambientales de referencia, según se indica en 7.1.4, y, si es preciso, en relación con el motor de referencia, se obtendrán a base de la modalidad de utilización del ciclo LTO requerido del motor ( $n$ ), es decir: marcha lenta, aproximación, ascenso y despegue, en cada una de las condiciones de empuje equivalentes corregidas. Se requerirán tres puntos de prueba, como mínimo, para determinar la modalidad de marcha lenta. Con respecto a cada contaminante, se determinarán las relaciones siguientes:

- a) entre EI y  $T_B$ ;
- b) entre  $W_f$  (gasto del flujo de la masa de combustible del motor) y  $T_B$ ; y
- c) entre  $F_n$  (corregido a las condiciones ISA al nivel mar) y  $T_B$  (corregida a las condiciones ISA al nivel del mar);

*Nota.— Véanse los ejemplos ilustrados en la Figura 3-2 a), b) y c).*

Cuando el motor en prueba no sea un motor "de referencia", los datos podrán corregirse a las condiciones del motor "de referencia" utilizando las relaciones b) y c) obtenidas de un motor de referencia. Se entiende por motor de referencia aquél que corresponde fundamentalmente a la descripción del motor cuya certificación se solicita y que la autoridad encargada de la certificación ha aceptado como representativo del tipo de motor en cuestión.

El fabricante también suministrará a la autoridad encargada de la certificación todos los datos necesarios sobre la performance del motor, a fin de poder comprobar esas relaciones, y en las condiciones ambientales de la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar:

- d) el empuje nominal máximo ( $F_{00}$ ); y
- e) la relación de presión del motor ( $\pi$ ) al empuje nominal máximo.

*Nota.— Véase el ejemplo ilustrado en la Figura 3-2 d).*

7.2.3 La estimación del EI de cada contaminante, en cada uno de los reglajes requeridos del régimen del motor, corregido a las condiciones ambientales de referencia, se ajustará al procedimiento general siguiente:

- a) En cada modalidad de empuje  $F_n$  en condiciones ISA, determinar la temperatura equivalente en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos ( $T_B$  (Figura 3-2 c)).
- b) A partir de la característica EI/ $T_B$  (Figura 3-2) determinar el valor EI<sub>n</sub> correspondiente a  $T_B$ .

Apéndice 3

$M_{AIR}$	masa molecular del aire seco = 28,966 g o bien, cuando corresponda = $(32 R + 28,156 4 S + 44,011 T)$ g
$M_{HC}$	masa molecular de hidrocarburos del escape, considerados como $CH_4$ = 16,043 g
$M_{CO}$	masa molecular del CO = 28,011 g
$M_{NO_2}$	masa molecular del $NO_2$ = 46,008 g
$M_C$	masa atómica del carbono = 12,011 g
$M_H$	masa atómica del hidrógeno = 1,008 g
$R$	concentración de $O_2$ en aire seco, por volumen = normalmente 0,209 5
$S$	concentración de $N_2$ + gases raros en aire seco, por volumen = normalmente 0,790 2
$T$	concentración de $CO_2$ en aire seco, por volumen = normalmente 0,000 3
[HC]	concentración húmeda media de hidrocarburos del escape, por volumen, expresada como carbono
[CO]	concentración húmeda media de CO, por volumen
[ $CO_2$ ]	concentración húmeda media de $CO_2$ por volumen
[ $NO_x$ ]	concentración húmeda media de $NO_x$ , por volumen = $[NO + NO_2]$
[NO]	concentración húmeda media de NO en la muestra de escape, por volumen
[ $NO_2$ ]	concentración húmeda media de $NO_2$ en la muestra de escape, por volumen
	$= \frac{([NO_x]_r - [NO])}{\eta}$
[ $NO_{1,r}$ ]	concentración húmeda media de NO en la muestra de escape, una vez pasado el convertidor de $NO_2$ a NO, por volumen
$\eta$	eficacia del convertidor de $NO_2$ a NO
$h$	humedad del aire ambiente, volumen de agua/volumen de aire seco
$m$	número de átomos de C en una molécula característica de combustible
$n$	número de átomos de H en una molécula característica de combustible
$x$	número de átomos de C en una molécula característica de hidrocarburos del escape
$y$	número de átomos de H en una molécula característica de hidrocarburos del escape.

Anexo 16 — Protección del medio ambiente

El valor de  $n/m$ , la relación entre el hidrógeno atómico y el carbono atómico del combustible utilizado, se evalúa analizando el tipo de combustible. La humedad del aire ambiente ( $h$ ) se medirá en cada condición de utilización. A falta de pruebas en contrario de la caracterización ( $x$ ,  $y$ ) de los hidrocarburos del escape, se utilizarán los valores  $x = 1$ ,  $y = 4$ . Si hay que utilizar mediciones del CO y del  $CO_2$ , ya sea seco o semiseco, éstas se convertirán primero en las concentraciones húmedas equivalentes que figuran en el Adjunto E de este Apéndice, donde figuran fórmulas para corregir las interferencias, cuando sea menester.

7.1.3 Corrección de los índices de emisión con respecto a las condiciones de referencia

Se harán las correcciones de los índices de emisión medidos, respecto a todos los contaminantes, en cada una de las modalidades pertinentes de utilización del motor, para tener en cuenta las discrepancias respecto a las condiciones verdaderas de referencia (ISA al nivel del mar) de la temperatura y presión del aire en la boca de entrada. El valor de referencia de la humedad será de 0,006 29 kg agua/kg de aire seco.

Así, pues, tendremos: EI corregido =  $K \times$  EI medido, en que la expresión generalizada de  $K$  es:

$$K = (P_{Bref}/P_B)^a \times (FAR_{ref}/FAR_B)^b \times \exp\left(\frac{|T_{Bref} - T_B|}{c}\right) \times \exp(d|h - 0,006 29|)$$

$P_B$	presión medida en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos
$T_B$	temperatura medida en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos
$FAR_B$	relación aire/combustible en la cámara de combustión y accesorios conexos
$h$	humedad del aire ambiente
$P_{ref}$	presión ISA al nivel del mar
$T_{ref}$	temperatura ISA al nivel del mar
$P_{Bref}$	presión en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos del motor probado (o del motor de referencia, si los datos se corrigen respecto a un motor de esta índole) correspondiente a la $T_B$ en condiciones ISA al nivel del mar
$T_{Bref}$	temperatura en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos en condiciones ISA al nivel del mar, del motor probado (o del motor de referencia, si los datos han de corregirse respecto a un motor de referencia). Esta temperatura es la que corresponde a cada nivel de empuje especificado para cada modalidad de utilización

$FAR_{ref}$  relación aire/combustible en la cámara de combustión y accesorios conexos en condiciones ISA al nivel del mar del motor probado (o del motor de referencia, si los datos han de corregirse respecto a un motor de referencia)

$a, b, c, d$  constantes específicas que pueden variar según el contaminante y el tipo de motor

Preferiblemente, los parámetros de la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos se medirán, pero también pueden calcularse a partir de las condiciones ambientales, mediante fórmulas apropiadas.

7.1.4 Si se utiliza la técnica recomendada de ajuste de la curva para relacionar los índices de emisión con la temperatura de la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos, se elimina de hecho, el término  $\exp((T_{Bref} - T_B)/c)$  de la ecuación generalizada y, en la mayoría de los casos, el término  $(FAR_{ref}/FAR_B)$  puede considerarse igual a la unidad. En cuanto a los índices de las emisiones de CO y HC, muchos laboratorios de ensayo han determinado que la humedad está suficientemente cerca de la unidad como para eliminarla de la expresión y que el exponente del término  $(P_{Bref}/P_B)$  también se acerca a la unidad.

Así pues,

El(CO) corregido = El derivado de  $(P_B/P_{Bref})$ . El(CO) en función de la curva de  $T_B$

El(HC) corregido = El derivado de  $P_B/P_{Bref}$ . El(HC) en función de la curva de  $T_B$

El( $NO_x$ ) corregido = El derivado de El( $NO_x$ )  $(P_{Bref}/P_B)^{0.5} \exp(19|h - 0.00629|)$  en función de la curva de  $T_B$

Si no se obtiene una correlación satisfactoria con este método recomendado para corrección del índice de emisiones de CO y HC, podrá utilizarse otro método con los parámetros que se derivan de los ensayos de componentes.

Cualquier otro método utilizado para corregir los índices de emisión del CO, los HC y los  $NO_x$  debe contar con el visto bueno de la autoridad encargada de la certificación.

## 7.2 Funciones del parámetro regulador ( $D_p, F_{max}, \pi$ )

### 7.2.1 Definiciones

$D_p$  La masa de todo contaminante gaseoso emitido durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue para las emisiones.

$F_{max}$  El empuje máximo desarrollado para el despegue en condiciones normales de utilización y en condiciones estáticas en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar, sin inyección de agua, que haya aprobado la autoridad competente encargada de la certificación.

$\pi$  La relación entre la presión total media en el último plano de descarga del compresor y la presión total media en el plano de entrada del compresor, cuando el motor desarrolla el empuje nominal de despegue en condiciones estáticas en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar.

7.2.2 Los índices de emisión (EI) de cada contaminante, corregidos en cuanto a la presión y humedad (según sea el caso) en relación con las condiciones atmosféricas ambientales de referencia, según se indica en 7.1.4, y, si es preciso en relación con el motor de referencia, se obtendrán a base de la modalidad de utilización del ciclo LTO requerido del motor ( $n$ ), es decir: marcha lenta, aproximación, ascenso y despegue, en cada una de las condiciones de empuje equivalentes corregidas. Se requerirán tres puntos de prueba, como mínimo, para determinar la modalidad de marcha lenta. Con respecto a cada contaminante, se determinarán las relaciones siguientes:

- entre EI y  $T_B$ ;
- entre  $W_f$  (gasto del flujo de la masa de combustible del motor) y  $T_B$ ; y
- entre  $F_n$  (corregido a las condiciones ISA al nivel mar) y  $T_B$  (corregida a las condiciones ISA al nivel del mar);

*Nota.*— Véanse los ejemplos ilustrados en la Figura 3-2 a), b) y c).

Cuando el motor en prueba no sea un motor "de referencia", los datos podrán corregirse a las condiciones "de referencia" utilizando las relaciones b) y obtenidas de un motor de referencia. Se entiende por motor de referencia aquél que corresponde fundamentalmente a la descripción del motor cuya certificación se solicita y que la autoridad encargada de la certificación ha aceptado como representativo del tipo de motor en cuestión.

El fabricante también suministrará a la autoridad encargada de la certificación todos los datos necesarios sobre la performance del motor, a fin de poder comprobar esas relaciones, y en las condiciones ambientales de la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar:

- el empuje nominal máximo ( $F_{max}$ ); y
- la relación de presión del motor ( $\pi$ ) al empuje nominal máximo.

*Nota.*— Véase el ejemplo ilustrado en la Figura 3-2 d).

7.2.3 La estimación del EI de cada contaminante, en cada uno de los reglajes requeridos del régimen del motor, corregido a las condiciones ambientales de referencia, se ajustará al procedimiento general siguiente:

- En cada modalidad de empuje  $F_n$  en condiciones ISA, determinar la temperatura equivalente en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos ( $T_B$  (Figura 3-2 c)).
- A partir de la característica EI/ $T_B$  (Figura 3-2) determinar el valor EI<sub>n</sub> correspondiente a  $T_B$ .

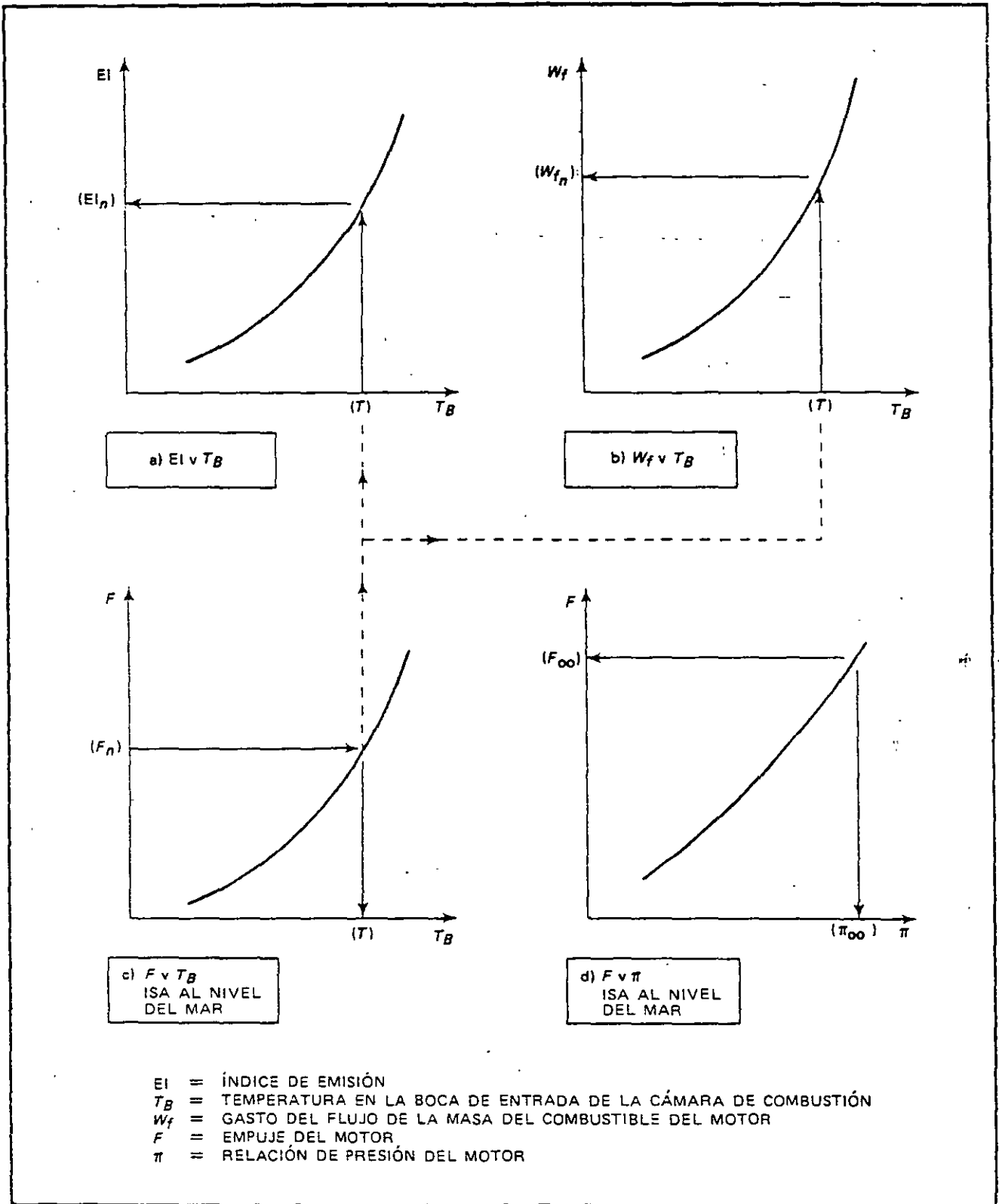


Figura 3-2. Procedimiento de cálculo



c) A partir de la característica  $W_f/T_B$  (Figura 3-2 b)), determinar el valor  $W_{fn}$  correspondiente a  $T_B$ .

d) Obsérvense los valores máximos del régimen nominal de empuje y de la relación de presión en la atmósfera tipo internacional (ISA), que son  $F_{m1}$  y  $\pi$ , respectivamente (Figura 3-2 d)).

e) Calcúlese, para cada contaminante

$$D_p^+ = \Sigma (EI_n (W_{fn} (t)), \text{ en la que:}$$

- $t$  tiempo en la modalidad LTO (minutos)
- $W_{fn}$  gasto del flujo de la masa de combustible (kg/minuto)
- $\Sigma$  suma de la serie de modalidades que comprende el ciclo de referencia LTO.

7.2.4 Si bien la metodología descrita es la recomendada, la autoridad encargada de la certificación podrá aceptar procedimientos matemáticos equivalentes que se valgan expresiones matemáticas para representar las curvas ilustrada, siempre que dichas expresiones se hayan derivado utilizando alguna técnica aceptada de adaptación de las curvas.

### 7.3 Excepciones en cuanto a los procedimientos propuestos

En aquellos casos en que la configuración del motor u otras condiciones atenuantes impidan la aplicación de este procedimiento, la autoridad encargada de la certificación podrá aprobar otro procedimiento, una vez que haya recibido pruebas técnicas convincentes de los resultados equivalentes obtenidos con el mismo.

## ADJUNTO A DEL APÉNDICE 3. ESPECIFICACIONES DEL ANALIZADOR DE HC

*Nota.— Como se deja apuntado en 5.2 del Apéndice 3, el elemento medidor de este analizador es el detector de ionización de la llama (FID), en el cual todo el flujo de la muestra, o una parte representativa de la misma, penetra en una llama de hidrógeno. A base de electrodos colocados en posiciones apropiadas, es posible hacer pasar una corriente ionizante en función de la proporción de los hidrocarburos que penetran en la llama. Es precisamente esta corriente la que, referida a un cero apropiado, se amplía y relaciona con la escala de la gama deseada del instrumento para conseguir la respuesta en función de la concentración de hidrocarburos expresada como equivalente de las ppmC.*

### 1. GENERALIDADES

**Precauciones:** Las especificaciones de actuación que se indican corresponden generalmente al máximo de la escala del analizador. Los errores que no llegan al máximo de la escala pueden representar un porcentaje significativamente mayor de la lectura. La pertinencia y la importancia de estos aumentos se considerará al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se habrán de tomar las precauciones apropiadas.

El instrumento que se utilice deberá poder mantener la temperatura del detector y de los componentes de manipulación de la muestra a determinada temperatura, comprendida en la gama de 155°C a 165°C, con una estabilidad de  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Los puntos de especificación principales deberán ser los indicados a continuación, con tal que la reacción del detector se haya optimizado y el instrumento se haya estabilizado en general:

- Gama total:** de 0 a 5 000 ppmC, en las gamas apropiadas.
- Resolución:** superior al 0.5% del máximo de la escala de la gama utilizada ó 0.5 ppmC, la que sea mayor.
- Repetibilidad:** superior al  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada ó  $\pm 0.5$  ppmC, la que sea mayor.
- Estabilidad:** superior al  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada ó  $\pm 1.0$  ppmC, en un período de una hora.
- Desviación cero:** menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada ó  $\pm 0.5$  ppmC, la que sea mayor, en un período de una hora.
- Ruido:** 0.5 Hz y mayor, menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada ó  $\pm 0.5$  ppmC, lo que sea mayor.
- Tiempo de respuesta:** no deberá exceder de diez segundos, desde el momento de entrada de la muestra al sistema analizador hasta conseguir el 90% de la indicación definitiva.

- Linealidad:** con propano mezclado con aire, la respuesta deberá ser lineal respecto a cada gama, con una tolerancia de  $\pm 2\%$  del máximo de la escala, de no ser así, será necesario rectificar la calibración.

### 2. EFECTOS SINÉRGICOS

*Nota — En su aplicación práctica, hay dos aspectos de la performance que pueden afectar la precisión de la medición, a saber:*

- el efecto del oxígeno (ya que las distintas proporciones de oxígeno presentes en la muestra dan concentraciones indicadas diferentes de hidrocarburos, en cuanto se trata de concentraciones constantes verdaderas de HC); y
- la respuesta relativa de los hidrocarburos (por la cual la respuesta es diferente respecto a la misma concentración de hidrocarburos de la muestra expresada como equivalente en ppmC, que depende de la clase o combinación de clases de los compuestos de hidrocarburo).

*La magnitud de los efectos señalados se determinará como se indica a continuación, y se limitará en consecuencia.*

**Respuesta del oxígeno:** mídase ésta con dos mezclas de propano, en una concentración aproximada de 500 ppmC, de una precisión relativa conocida del  $\pm 1\%$ , como se indica a continuación:

- propano en  $10 \pm 1\%$  de  $\text{O}_2$ , y el resto  $\text{N}_2$
- propano en  $21 \pm 1\%$  de  $\text{O}_2$ , y el resto  $\text{N}_2$

Si  $R_1$  y  $R_2$  constituyen las respuestas normalizadas respectiva, ( $R_1 - R_2$ ) no deberá alcanzar el 3% de  $R_1$ .

**Respuesta diferencial de los hidrocarburos:** mídase la respuesta con cuatro mezclas de hidrocarburos distintos mezclados con aire, en concentraciones de unas 500 ppmC, de una precisión relativa conocida del  $\pm 1\%$  como sigue:

- propano en aire cero;
- propileno en aire cero;
- tolueno en aire cero;
- n-hexano en aire cero.

Si  $R_a$ ,  $R_n$ ,  $R_r$ ,  $R_d$  constituyen, respectivamente, las respuestas normalizadas (con respecto al propano), tendremos que: ( $R_a - R_n$ ), ( $R_a - R_r$ ) y ( $R_a - R_d$ ) deberán ser, cada una de ellas, inferiores al 5% de  $R_a$ .

### 3. OPTIMIZACIÓN DE LA REACCIÓN Y ALINEACIÓN DEL DETECTOR

3.1 Habrá que seguir siempre las instrucciones facilitadas por el fabricante en cuanto a la determinación de los procedimientos, servicios auxiliares y suministros necesarios, y dejar que el instrumento se estabilice. Todas las posiciones de ajuste requerirán la verificación iterativa de la posición cero, y hacer la corrección necesaria, si es menester. Utilizando como ejemplo una muestra de unas 500 ppmC de propano mezclado con aire, se determinará la característica de la respuesta: primero, en cuanto a las variaciones del flujo de combustible y, luego, casi al flujo óptimo de combustible, para

poder seleccionar el punto óptimo en cuanto a las variaciones de la dilución del flujo de aire. A continuación se evaluarán la respuesta de oxígeno y la del diferencial de los hidrocarburos: como se deja apuntado.

3.2 La linealidad de cada escala de gamas del analizador se verificará añadiendo propano a las muestras de aire, en concentraciones de un 30, 60 y 90% respecto al punto máximo de la escala. La desviación máxima de la respuesta de cada una de esas concentraciones, a partir de una recta de mínimos cuadrados (trazada a base de los puntos y el cero) no deberá discrepar más del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala. En caso contrario, será preciso trazar una curva de calibración para su empleo en servicio.

## ADJUNTO B DEL APÉNDICE 3. ESPECIFICACIONES DE LOS ANALIZADORES DE CO Y CO<sub>2</sub>

*Nota.— En el párrafo 5.3 del Apéndice 3, se resumen las características del subsistema de análisis que hay que utilizar para medir separadamente las concentraciones de CO y CO<sub>2</sub> de la muestra de los gases de escape. Los instrumentos en cuestión se basan en el principio de la absorción sin dispersión de la radiación infrarroja en células paralelas del gas de referencia y del gas de muestra. Las gamas de sensibilidad se obtienen utilizando células de muestra superpuestas, o a base de las variaciones que se producen en los circuitos electrónicos, o ambas cosas a la vez. Los efectos debidos a los gases con bandas de absorción superpuestas, pueden reducirse mediante filtros que absorban el gas o con filtros ópticos, de preferencia estos últimos.*

**Precauciones:** Las especificaciones de actuación que se indican corresponden generalmente al máximo de la escala del analizador. Los errores que no llegan al máximo de la escala pueden representar un porcentaje significativamente mayor de la lectura. La pertinencia y la importancia de estos aumentos se considerarán al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se habrán de tomar las precauciones apropiadas.

Las características de actuación principales deberán ser:

#### Analizador de CO

- Gama total:** de 0 a 2 500 ppm, en gamas apropiadas.
- Resolución:** menos del 0.5% del máximo de la escala de la gama utilizada ó 1 ppm, la que sea mayor.
- Repetibilidad:** menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada ó  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor.
- Estabilidad:** menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada ó  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.

- Desviación cero:** menos del  $\pm 1\%$  ppm del máximo de la escala de la gama utilizada ó  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- Ruido:** 0.5-Hz y mayor, menos de  $\pm 1\%$  del máximo de escala de la gama utilizada ó  $\pm 1$  ppm, lo que sea mayor.
- Interferencias:** habrá que limitarlas, con respecto a la concentración de CO indicada, como sigue:
  - menos de 500 ppm por ciento de la concentración de etileno;
  - menos de 2 ppm por ciento de la concentración de CO<sub>2</sub>;
  - menos de 2 ppm por ciento de la concentración de vapor acuoso.\*

Si no es posible satisfacer las limitaciones de interferencia del CO<sub>2</sub> y/o del vapor de agua, se determinarán, notificarán y aplicarán los factores de corrección apropiados.

*Nota.— Se recomienda, de conformidad con la práctica apropiada, que esos procedimientos de corrección se adopten en todos los casos.*

#### Analizador de CO<sub>2</sub>

- Gama total:** del 0 al 10% de gamas apropiadas.
- Resolución:** menos del 0.5% del máximo de la escala de la gama utilizada ó 100 ppm, la que sea mayor.
- Repetibilidad:** menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de gama utilizada ó  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor.

\* No es aplicable necesariamente cuando las mediciones se han he base de muestras "secas".

- d) *Estabilidad*: menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada ó  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) *Desviación cero*: menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada ó  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) *Ruido*: 0.5 Hz y mayor, menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada ó  $\pm 100$  ppm, lo que sea mayor.
- g) Se verificará el efecto del oxígeno ( $O_2$ ) en la respuesta del analizador de  $CO_2$ . Para un cambio de 0%  $O_2$  a 21% de  $O_2$  la respuesta de una concentración determinada de  $CO_2$  no cambiará en más de 2% de la lectura. Si no se puede alcanzar este límite, se aplicará el factor de corrección apropiado.

*Nota.*— Se recomienda, de conformidad con la práctica apropiada, que estos procedimientos de corrección se adopten en todos los casos.

*Analizadores de CO y de CO<sub>2</sub>*

- a) *Tiempo de respuesta*: no deberá exceder de 10 segundos, desde el momento de entrada de la muestra al sistema analizador hasta conseguir el 90% de la indicación definitiva.
- b) *Temperatura de la muestra*: la modalidad preferida es analizar la muestra "mojada" (sin tratar). Esto exige que

tanto la célula de muestra como todos los demás elementos que, en este subsistema, entren en contacto con ella, permanezcan a una temperatura mínima de 50°C, con una estabilidad de  $\pm 2^\circ C$ . Se admite la posibilidad de medir el CO y el  $CO_2$  en seco (con deshidratador apropiado), en cuyo caso se pueden utilizar analizadores sin calentar y anular así los efectos limitadores del vapor de agua; luego, es necesario hacer la corrección en cuanto al vapor acuoso de entrada y al agua desprendida por la combustión.

c) *Curvas de calibración.*

- i) Se verificarán los analizadores con característica lineal de salida de señal en todas las gamas que se utilizan empleando gases de calibración en concentraciones conocidas de aproximadamente 0, 30, 60 y 90% del máximo de la escala. La desviación máxima de la respuesta en cualquiera de estos puntos a partir de una recta de mínimos cuadrados, ajustada a los puntos y la lectura cero, no excederá de  $\pm 2\%$  del valor máximo de la escala. Si excede de este valor, será preciso trazar una curva de calibración para utilizarla en servicio.
- ii) En el caso de los analizadores con característica no lineal de salida de señal, y de los que no cumplan con los requisitos de linealidad mencionados, será preciso trazar curvas de calibración para todas las gamas que se utilizan empleando gases de calibración en concentraciones conocidas de aproximadamente 0, 30, 60 y 90% del máximo de la escala. Se utilizarán otras mezclas, si es necesario, para definir adecuadamente la forma de la curva.

ADJUNTO C DEL APÉNDICE 3. ESPECIFICACIONES DEL ANALIZADOR DE  $NO_x$

1. Como se indica en 5.4 del Apéndice 3, la medición de la concentración de los óxidos de nitrógeno se hará por el método químico-luminiscente, mediante el cual se mide la intensidad de la radiación emitida por la reacción del NO con el  $O_3$ . Este método no es sensible al  $NO_2$  y, por esto, será necesario pasar la muestra por un convertidor, en el cual el  $NO_2$  se convierte en NO, antes de hacer la medición del  $NO_x$  total. Habrá que anotar tanto el NO original como el  $NO_x$ . Así por diferenciación, se podrá medir la concentración del  $NO_2$ .

2. El instrumento a utilizar deberá tener todos los componentes necesarios para regular el flujo, tales como reguladores, válvulas, flujómetro (aforador), etc. Los materiales que tengan que entrar en contacto con el gas de muestra se limitarán a aquellos que resistan la corrosión causada por los óxidos de nitrógeno, es decir, acero inoxidable, vidrio, etc. En todo momento, la temperatura de la muestra se mantendrá en aquellos valores compatibles con las presiones locales, que eviten la condensación de agua.

**Precauciones:** Las especificaciones de actuación que se indican corresponden generalmente al máximo de la escala del analizador. Los errores que no llegan al máximo de la escala pueden representar un porcentaje significativamente mayor de la lectura. La pertinencia y la importancia de estos aumentos se considerarán al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se habrán de tomar las precauciones apropiadas.

3. Las especificaciones principales de actuación del instrumento utilizado a la temperatura ambiente y estable, dentro de un margen de tolerancia de  $2^\circ C$ , serán las siguientes:

- a) *Gama total*: de 0 a 2 500 ppm, en las gamas apropiadas.
- b) *Resolución*: menos del 0.5% del máximo de la escala de la gama utilizada ó 1 ppm, la que sea mayor.
- c) *Repetibilidad*: menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada ó  $\pm 1$  ppm, la que sea mayor.

- d) *Estabilidad*: menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada  $\pm 1$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) *Desviación cero*: menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada  $\pm 1$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) *Ruido*: 0.5 Hz y mayor, menos de  $\pm 1.0\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada  $\pm 1$  ppm, lo que sea mayor, en un período de dos horas.
- g) *Interferencias*: la supresión, respecto a las muestras que consisten CO<sub>2</sub> y vapor acuoso, se limitará a lo siguiente:
  - menos del 0.5% de la indicación/porcentaje de la concentración de CO<sub>2</sub>;
  - menos del 0.1% de la indicación/porcentaje de la concentración del vapor de agua.

Si no es posible satisfacer las limitaciones de interferencia del CO<sub>2</sub> y/o del vapor de agua, se determinarán, notificarán y aplicarán los factores de corrección apropiados.

*Nota.*— Se recomienda, de conformidad con la práctica apropiada, que esos procedimientos de corrección se adopten en todos los casos.

- h) *Tiempo de respuesta*: no deberá exceder de 10 segundos, desde el momento de entrada de la muestra al sistema analizador hasta conseguir el 90% de la indicación definitiva.
- i) *Linealidad*: menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor.
- j) *Convertidor*: estará concebido y funcionará de manera que reduzca a NO el NO<sub>2</sub> presente en la muestra. El convertidor no alterará el NO contenido inicialmente en la muestra.

El rendimiento técnico del convertidor será, por lo menos, del 90%.

Este valor del rendimiento se empleará para corregir el valor del NO<sub>2</sub> de la muestra medida (es decir, [NO<sub>2</sub>]<sub>c</sub> — [NO]) el que se habría obtenido si el rendimiento hubiese sido del 100%.

### ADJUNTO D DEL APÉNDICE 3. GASES DE CALIBRACIÓN Y DE ENSAYO

*Nota.*— En la tabla siguiente se enumeran los gases idóneos para emplear los procedimientos de preparación y calibración, descritos en otro lugar.

Analizador	Gas	Precisión*
HC	propano en 10 $\pm$ 1 % de O <sub>2</sub> , el resto N <sub>2</sub>	$\pm 1$ %
HC	propano en 21 $\pm$ 1 % de O <sub>2</sub> , el resto N <sub>2</sub>	$\pm 1$ %
HC	propileno en aire cero	$\pm 1$ %
HC	tolueno en aire cero	$\pm 1$ %
HC	n-hexano en aire cero	$\pm 1$ %
HC	propano en aire cero	$\pm 2$ % o $\pm 0.05$ ppm**
CO	CO en aire	$\pm 2$ % o $\pm 2$ ppm**
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> en aire	$\pm 2$ % o $\pm 100$ ppm**
NO <sub>x</sub>	NO en N <sub>2</sub>	$\pm 2$ % o $\pm 1$ ppm**

\*Basada en el "intervalo" de confianza del 95 %.

\*\* La que sea mayor

Los gases de calibración monóxido de carbono y bióxido de carbono podrán mezclarse separadamente o como mezclas de dos componentes. Pueden emplearse mezclas compuestas de monóxido de carbono, bióxido de carbono y propano en aire seco, a condición de que pueda preservarse la estabilidad de la mezcla.

El gas cero especificado para el analizador del CO, CO<sub>2</sub> y HC equivaldrá al aire cero (el cual incluye el aire "artificial" con un 20 a 22% de O<sub>2</sub> combinado con N<sub>2</sub>). Con respecto al analizador de NO<sub>x</sub>, el nitrógeno cero se considerará como gas cero. Las impurezas contenidas en ambas variedades de gas cero deberán limitarse, de modo que sean inferiores a las concentraciones siguientes:

- 1 ppm C
- 1 ppm CO
- 100 ppm CO<sub>2</sub>
- 1 ppm NO<sub>x</sub>

El solicitante deberá cerciorarse de que los comerciales que haya recibido respondan efectivamente a la especificación, o de que así los especifique el vendedor del producto.

## ADJUNTO E DEL APÉNDICE 3. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LAS EMISIONES – BASE, CORRECCIONES DE LA MEDICIÓN Y MÉTODO NUMÉRICO DE ALTERNATIVA

### 1. SÍMBOLOS

<p><b>AFR</b> relación aire/combustible; la relación del gasto del flujo de la masa de aire seco con respecto al del combustible</p> <p><b>EI</b> índice de emisión: <math>10^3 \times</math> gasto del flujo de la masa del producto de las emisiones gaseosas en el escape, por unidad de gasto del flujo de la masa de combustible</p> <p><b>K</b> relación de concentración medida húmeda con respecto a la medida en seco (pasado el deshidratador)</p> <p><b>L, L'</b> coeficiente de interferencia del analizador, de la interferencia del <math>\text{CO}_2</math></p> <p><b>M, M'</b> coeficiente de interferencia del analizador, de la interferencia del <math>\text{H}_2\text{O}</math></p> <p><b><math>M_{\text{AIR}}</math></b> masa molecular de aire seco = 28.966 g, o bien, cuando corresponda, = <math>(32 R + 28.156 4 S + 44.011 7) \text{ g}</math></p> <p><b><math>M_{\text{CO}}</math></b> masa molecular de <math>\text{CO}</math> = 28.011 g</p> <p><b><math>M_{\text{HC}}</math></b> masa molecular de hidrocarburos del escape, considerados como <math>\text{CH}_4</math> = 16.043 g</p> <p><b><math>M_{\text{NO}_2}</math></b> masa molecular del <math>\text{NO}_2</math> = 46.008 g</p> <p><b><math>M_{\text{C}}</math></b> masa atómica del carbono = 12.011 g</p> <p><b><math>M_{\text{H}}</math></b> masa atómica del hidrógeno = 1.008 g</p> <p><b><math>P_1</math></b> número de moles de <math>\text{CO}^2</math>, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible</p> <p><b><math>P_2</math></b> número de moles de <math>\text{N}_2</math>, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible</p> <p><b><math>P_3</math></b> número de moles de <math>\text{O}_2</math>, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible</p> <p><b><math>P_4</math></b> número de moles de <math>\text{H}_2\text{O}</math>, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible</p> <p><b><math>P_5</math></b> número de moles de <math>\text{CO}</math>, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible</p> <p><b><math>P_6</math></b> número de moles de <math>\text{C}_x\text{H}_y</math>, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible</p> <p><b><math>P_7</math></b> número de moles de <math>\text{NO}_2</math>, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible</p> <p><b><math>P_8</math></b> número de moles de <math>\text{NO}</math>, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible</p>	<p><b><math>P_T</math></b> <math>P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8</math></p> <p><b>R</b> concentración de <math>\text{O}_2</math> en aire seco, por volumen = 0.209 5 (normalmente)</p> <p><b>S</b> concentración de <math>\text{N}_2</math> + gases raros en aire seco, por volumen = 0.790 2 (normalmente)</p> <p><b>T</b> concentración de <math>\text{CO}_2</math> en aire seco, por volumen = 0.000 3 (normalmente)</p> <p><b><math>P_n</math></b> número de moles de aire por mol de combustible en la mezcla inicial aire/combustible</p> <p><b>Z</b> símbolo utilizado y definido en 3.4</p> <p><b><math>[\text{CO}_2]</math></b> concentración media de <math>\text{CO}_2</math> en la muestra de emisiones del escape, por volumen</p> <p><b><math>[\text{CO}]</math></b> concentración media de <math>\text{CO}</math> en la muestra de emisiones del escape, por volumen</p> <p><b><math>[\text{HC}]</math></b> concentración media de hidrocarburos en la muestra de emisiones del escape, volumen de C por volumen total</p> <p><b><math>[\text{NO}]</math></b> concentración media de <math>\text{NO}</math> en la muestra de emisiones del escape, por volumen</p> <p><b><math>[\text{NO}_2]</math></b> concentración media de <math>\text{NO}_2</math> en la muestra de emisiones del escape, por volumen</p> <p><b><math>[\text{NO}_x]</math></b> concentración media de <math>\text{NO}</math> y <math>\text{NO}_2</math> en la muestra de emisiones del escape, por volumen</p> <p><b><math>[\text{NO}_x]_r</math></b> concentración media de <math>\text{NO}</math> en la muestra de emisiones del escape una vez pasado el convertidor de <math>\text{NO}_2</math> a <math>\text{NO}</math>, por volumen</p> <p><b><math>[\text{NO}_2]</math></b> concentración media de <math>= \frac{([\text{NO}_x]_r - [\text{NO}])}{\eta}</math></p> <p><b><math>[\ ]_d</math></b> concentración media en la muestra de emisiones del escape, pasado el deshidratador frío, por volumen</p> <p><b><math>[\ ]_m</math></b> medida de la concentración media indicada antes de aplicar la corrección del instrumento, por volumen</p> <p><b>h</b> humedad del aire ambiente, vol de agua/vol de aire seco</p> <p><b><math>h_d</math></b> humedad de la muestra de emisiones del escape que salen del "secador", o del "deshidratador frío", vol de agua/vol de muestra seca</p> <p><b>m</b> número de átomos de C en una molécula característica del combustible</p> <p><b>n</b> número de átomos de H en una molécula característica del combustible</p>
--	--

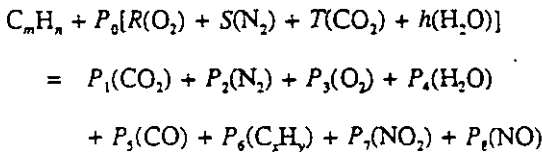
- x número de átomos de C en una molécula característica de hidrocarburo de las emisiones del escape
- y número de átomos de H en una molécula característica de hidrocarburo de las emisiones del escape
- η eficacia del convertidor de NO<sub>2</sub> a NO

contrario en cuanto a la caracterización de los hidrocarburos de las emisiones del escape (x, y); se asignen valores de x = 1 y de y = 4.

2.4 La determinación de las incógnitas restantes exige la solución de la serie siguiente de ecuaciones lineales simultáneas, en las que 1) a 4) dimanen de las relaciones fundamentales de conservación atómica, y 5) a 9) representan las relaciones de concentración del producto gaseoso de las emisiones.

**2. BASE PARA CALCULAR LOS PARÁMETROS EI Y AFR**

2.1 Se supone que el equilibrio entre la mezcla original de combustible y aire y el estado resultante de las emisiones del escape de las cuales se ha extraído la muestra puede representarse mediante la ecuación siguiente:



a partir de la cual, por definición, los parámetros requeridos se pueden expresar de la forma siguiente:

$$EI(CO) = P_5 \left( \frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right)$$

$$EI(HC) = xP_6 \left( \frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ expresado como equivalente del metano}$$

$$EI(NO_x) = (P_7 + P_8) \left( \frac{10^3 M_{NO_x}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ expresado como equivalente del NO}_2$$

$$AFR = P_0 \left( \frac{M_{AIR}}{mM_C + nM_H} \right)$$

2.2 A base de la especificación o análisis del combustible se asignan los valores de la composición de hidrocarburos del combustible (m, n). Si solamente se determina la relación n/m, se puede asignar el valor m = 12. Normalmente se supone que las fracciones de los moles de los elementos constitutivos del aire seco (R, S, T) corresponden a los valores normales recomendados, si bien pueden asignarse otros valores, a reserva de la restricción R + S + T = 1 y de la aprobación de la autoridad encargada de la certificación.

2.3 La humedad del aire ambiente, h, es la medida en cada ensayo. Se recomienda que, de no existir prueba en

$$m + TP_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \dots \dots \dots (1)$$

$$n + 2hP_0 = 2P_4 + yP_6 \dots \dots \dots (2)$$

$$(2R + 2T + h)P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \dots \dots \dots (3)$$

$$2SP_0 = 2P_2 + P_7 + P_8 \dots \dots \dots (4)$$

$$[CO_2] P_T = P_1 \dots \dots \dots (5)$$

$$[CO] P_T = P_5 \dots \dots \dots (6)$$

$$[HC] P_T = xP_6 \dots \dots \dots (7)$$

$$[NO_x] P_T = \eta P_7 + P_8 \dots \dots \dots (8)$$

$$[NO] P_T = P_8 \dots \dots \dots (9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots \dots (10)$$

Estas ecuaciones condicionales se aplican en el caso de que todas las concentraciones medidas sean verídicas, es decir, que no estén viciadas por interferencias o que requieran corrección para obtener la muestra seca. En la práctica, los efectos de la interferencia suelen manifestarse en grado considerable en las mediciones de CO, NO<sub>x</sub> y de NO, de modo que suele acudir a la medición del CO<sub>2</sub> y del CO, ya sea en seco o en condiciones semisecas. Las modificaciones necesarias de las ecuaciones pertinentes se exponen en 2.5 y 2.6.

2.5 Los efectos de interferencia obedecen sobre todo a la presencia de CO<sub>2</sub> y de H<sub>2</sub>O en la muestra, que pueden afectar a los analizadores del CO y del NO<sub>x</sub> de maneras básicamente distintas. El analizador de CO tiene tendencia a desplazarse al punto cero, en tanto que el analizador de NO<sub>x</sub> experimenta cambios de sensibilidad, representados como sigue:

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$\text{y } [NO_x]_c = [NO_x]_{cm} (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

que se transforman en las ecuaciones siguientes de alternativa de 6), 8) y 9), en cuyo caso hay que corregir los efectos de interferencia.

$$[CO]_m P_T + LP_1 + MP_4 = P_5 \dots \dots \dots (6A)$$

$$[NO_x]_{cm} (P_T + L'P_1 + M'P_4) = \eta P_7 + P_8 \dots \dots \dots (8A)$$

$$[NO]_m (P_T + L'P_1 + M'P_4) = P_8 \dots \dots \dots (9A)$$

2.6 La opción de medir las concentraciones de CO<sub>2</sub> y de CO a base de una muestra seca o parcialmente seca, o sea con la humedad de muestra reducida a h<sub>d</sub>, requiere el empleo de las ecuaciones condicionales modificadas siguientes:

$$[CO_2]_d (P_T - P_d) (1 + h_d) = P_1 \dots\dots\dots (5A)$$

y

$$[CO]_d (P_T - P_d) (1 + h_d) = P_3$$

Sin embargo, el analizador CO también puede estar viciado por la interferencia descrita en 2.5, de modo que la ecuación completa de alternativa, para la medición de la concentración del CO, pasa a ser:

$$[CO]_{md} (P_T - P_d) (1 + h_d) + LP_1 + Mh_d (P_T - P_d) = P_3 \dots\dots\dots (6B)$$

### 3. FÓRMULAS ANALÍTICAS

#### 3.1 Generalidades

Las ecuaciones (1) a (10) pueden reducirse para conseguir las fórmulas analíticas de los parámetros EI y AFR, que figuran en la Sección 7.1. Esta reducción constituye un proceso de eliminación progresiva de las raíces de P<sub>0</sub>, P<sub>1</sub> a P<sub>8</sub>, P<sub>T</sub>, en el supuesto de que todas las mediciones de la concentración se hayan efectuado con la muestra "húmeda" y de que no requieran correcciones debido a interferencias o por algún otro concepto. En la práctica, a menudo se prefiere efectuar las mediciones de la concentración "seca" o "semiseca" del CO<sub>2</sub> y del CO. También a menudo, es necesario hacer correcciones para compensar la interferencia. Las fórmulas que han de utilizarse en estas diversas circunstancias se dan en 3.2, 3.3 y 3.4 siguientes.

#### 3.2 Ecuación para convertir las mediciones de la concentración seca a húmeda

Concentración húmeda = K × concentración seca

es decir: [ ] = K [ ]<sub>d</sub>

La expresión siguiente de K se aplica cuando el CO y el CO<sub>2</sub> se determinan "en seco".

$$K = \frac{4 - (n/m) T + (|n/m|T - 2h) \{ [NO_2] - (2[HC]/x) \}}{(2 - h) \left\{ 2 + (n/m) (1 - h_d) \{ [CO_2]_d + [CO]_d \} \right.}$$

$$\left. + (2 - h) \{ |y/x| - |n/m| \} [HC] \right\} (1 - h_d) - (|n/m|T - 2h) \{ 1 - |1 + h_d| [CO]_d \}}$$

### 3.3 Correcciones debidas a interferencias

Es posible que las mediciones de CO y/o de NO<sub>x</sub> y de NO requieran correcciones para anular la interferencia ocasionada por las concentraciones de CO<sub>2</sub> y de agua, en la muestra, antes de utilizarlas en estas ecuaciones analíticas. Tales correcciones pueden normalmente expresarse de las formas generales siguientes:

$$[CO] = [CO]_{m'} + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$[CO]_d = [CO]_{m'} + L[CO_2]_d + M \left( \frac{h_d}{1 + h_d} \right)$$

$$[NO] = [NO]_{m'} (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

$$\eta [NO_2] = ([NO_2]_{m'} - [NO]_{m'}) (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

#### 3.4 Ecuación para calcular el agua de la muestra

Concentración de agua en la muestra

$$[H_2O] = \frac{(|n/2m| + h|P_0/m|) \{ [CO_2] + [CO] + [HC] \}}{1 + T(P_0/m)} - (y/2x) [HC]$$

en la que

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h - |T/2|)}$$

y

$$Z = \frac{2 - [CO] - (|2/x| - |y/2x|) [HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}$$

Cabe señalar que esta estimación es función de las lecturas de los distintos análisis de concentración, que acaso, a su vez, requieran corrección de la interferencia del agua. A fin de lograr mayor precisión, en esos casos se requieren reiterados análisis en los que se vuelve a calcular sucesivamente la concentración de agua hasta obtener la estabilidad requerida. Se soslaya esta dificultad utilizando el método alternativo de solución numérica (4).

### 4. MÉTODO ALTERNATIVO: SOLUCIÓN NUMÉRICA

4.1 Como alternativa de los procedimientos analíticos resumidos en 3, es posible obtener sin mayor dificultad los índices de emisión, la relación aire/combustible, las concentraciones corregidas de humedad, etc., mediante la solución numérica de las ecuaciones (1) a (10), respecto a cada serie de mediciones, con la ayuda de una computadora digital.



4.2 En la serie de ecuaciones de (1) a (10), las mediciones efectivas de la concentración quedan sustituidas por el empleo de cualesquiera de las ecuaciones de alternativa (5A), (6A), etc., aplicadas respecto a determinado sistema de medición, a fin de tener en cuenta las correcciones de interferencia y/o las mediciones de muestras en seco.

4.3 Existe amplia disponibilidad de combinaciones bidimensionales idóneas y sencillas para resolver ecuaciones con ayuda de computadoras, y su empleo resulta conveniente y flexible a estos efectos, a fin de incorporar e identificar inmediatamente todas las posibilidades de secado de una muestra y las correcciones por interferencia u otras causas.

### ADJUNTO F DEL APÉNDICE 3. ESPECIFICACIONES EN CUANTO A LOS DATOS ADICIONALES

Como se requiere en el párrafo 3.2 de este Apéndice, además de las concentraciones medidas de los componentes de las muestras, deberán suministrarse los datos siguientes:

- a) temperatura en la boca de entrada: medida como la temperatura total en un punto distanciado un diámetro del plano de entrada del motor, con una precisión de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ;
- b) humedad en la boca de entrada (kg agua/kg aire seco): medida en un punto situado hasta 15 m, como máximo, del plano de entrada, por delante del motor, con una precisión de  $\pm 5\%$ ;
- c) presión atmosférica: medida hasta 1 km, como máximo, del lugar donde se ensaya el motor y corregida, según sea necesario, a la altitud del banco de pruebas, con una precisión de  $\pm 100\text{ Pa}$ ;
- d) flujo de combustible: por medición directa, con una precisión de  $\pm 2\%$ ;
- e) relación H/C del combustible: definida como  $n/m$ , en la que  $C_mH_n$  constituye la representación equivalente de los

hidrocarburos del combustible utilizado para hacer el ensayo y evaluada por referencia al análisis del tipo de combustible del motor;

f) parámetros del motor:

- 1) empuje: por medición directa, con una precisión de  $\pm 1\%$  al régimen de despegue y  $\pm 5\%$  a base del empuje mínimo utilizado en la prueba de homologación, con variación lineal entre esos puntos;
- 2) velocidad(es) de rotación: por medición directa, con precisión mínima de  $\pm 0.5\%$ ;
- 3) flujo de aire del generador de gas: determinado con una precisión de  $\pm 2\%$ , por referencia a la calibración de performance del motor.

Los parámetros a), b), d) y f) se determinarán a cada ajuste de potencia para el ensayo de las emisiones, pero el parámetro c) deberá determinarse a intervalos mínimos de una hora, en el transcurso del período que requieran los ensayos de las emisiones.

**APÉNDICE 4. ESPECIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE QUE HA DE UTILIZARSE EN LAS PRUEBAS DE LAS EMISIONES DE LOS MOTORES DE TURBINA**

<i>Propiedad</i>	<i>Gama permisible de valores</i>
Densidad, kg/m <sup>3</sup> a 15°C	780 – 820
Temperatura de destilación, °C	
10% del punto de ebullición	155 – 201
Punto final de ebullición	235 – 285
Calor neto de combustión, MJ/kg	42.86 – 43.50
Aromáticos, % de volumen	15 – 23
Naftalinas, % de volumen	1.0 – 3.5
Punto de humo, mm	20 – 28
Hidrógeno, % de masa	13.4 – 14.1
Azufre, % de masa	menos de 0.3%
Viscosidad cinemática a -20°C, mm <sup>2</sup> /s	2.5 – 6.5

## APÉNDICE 5. INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LAS EMISIONES GASEOSAS DE LOS MOTORES DE TURBINA DE GAS CON POSTCOMBUSTIÓN

### 1. INTRODUCCIÓN

*Nota.*— Los procedimientos aquí indicados conciernen a la adquisición de muestras representativas de los gases de escape y a su entrada y análisis en el dispositivo-medidor de las emisiones. Este procedimiento sólo se aplica cuando media postcombustión. Los métodos propuestos representan la práctica moderna más avanzada, conocida y aceptada. Se admite la necesidad de hacer correcciones con respecto a las condiciones ambientales, pero el método se especificará cuando se cuente con alguno viable. Entretanto, todo método de corrección utilizado con postcombustión debería aprobarlo previamente la autoridad encargada de la certificación.

Sólo se admitirán variaciones en el procedimiento contenido en este Apéndice previa solicitud a la autoridad encargada de la certificación y aprobación de la misma.

### 2. DEFINICIONES

En el presente Apéndice, las expresiones siguientes, salvo que se expliquen con más detalle, tendrán los significados que se indican a continuación:

*Analizador infrarrojo sin dispersión.* Instrumento que, al absorber la energía infrarroja, mide selectivamente determinados componentes.

*Concentración.* La fracción volumétrica del componente deseado, en la mezcla de gas, expresada como porcentaje del volumen total o como partes por millón.

*Desviación cero.* La desviación, en relación con el tiempo, de la indicación del instrumento a partir del punto cero, cuando por el mismo pasa gas que no contiene el elemento que se desea medir.

*Detector de la ionización de la llama.* Detector de la difusión del hidrógeno-aire de la llama, que produce una señal nominalmente proporcional al gasto de hidrocarburos que penetra en la llama por unidad de tiempo; generalmente, se supone que es proporcionalmente sensible al número de átomos de carbono que penetran en la llama.

*Estabilidad.* La similitud que pueden registrar las mediciones repetidas de una muestra variable dada durante un período determinado.

*Gas de calibración.* Un gas de referencia de gran precisión, que hay que utilizar para alinear, ajustar y hacer la verificación periódica de los instrumentos.

*Gas cero.* El gas que hay que utilizar para determinar la posición cero de calibración del instrumento, es decir, el punto en el cual la reacción es nula.

*Gas de referencia.* Una mezcla de gases de composición especificada y conocida, utilizada como base para interpretar la reacción del instrumento, en función de la concentración del gas en presencia del cual reacciona el instrumento.

*Interferencia.* Toda reacción del instrumento debida a la presencia de elementos ajenos al gas (o vapor) que hay que medir.

*Partes por millón (ppm).* La concentración del volumen unitario de un gas por un millón de unidades de volumen de la mezcla de gases de la cual forma parte.

*Partes por millón de carbono (ppmC).* La fracción mol de hidrocarburo multiplicada por  $10^6$ , medida por referencia al metano. Así pues, 1 ppm de metano se indica como 1 ppmC. Para convertir la concentración de una ppm de cualquier hidrocarburo a una ppmC equivalente, multiplíquese la concentración ppm por el número de átomos de carbono por molécula de gas. Por ejemplo, 1 ppm de propano equivale a 3 ppmC de hidrocarburo; 1 ppm de hexano equivale a 6 ppmC de hidrocarburo.

*Penacho.* El flujo externo total exhalado, con inclusión de todo aire ambiente que se le mezcla.

*Precisión.* El grado de aproximación con que una medición se acerca al valor verdadero, medido independientemente.

*Repetibilidad.* La precisión con que la medición de una muestra dada e invariable puede lograrse repetidas veces en breve plazo con el mismo resultado, sin que sea necesario calibrar de nuevo el instrumento.

*Resolución.* El cambio mínimo perceptible en una medición.

*Respuesta.* Toda variación de la señal indicadora del instrumento, que ocurre al variar la concentración de la muestra. También, la señal indicadora correspondiente a la concentración de una muestra dada.

*Ruido.* Toda variación aleatoria de la indicación del instrumento, que nada tiene que ver con las características de la muestra, en contacto con la cual reacciona el instrumento, que puede distinguirse por sus características de desviación.

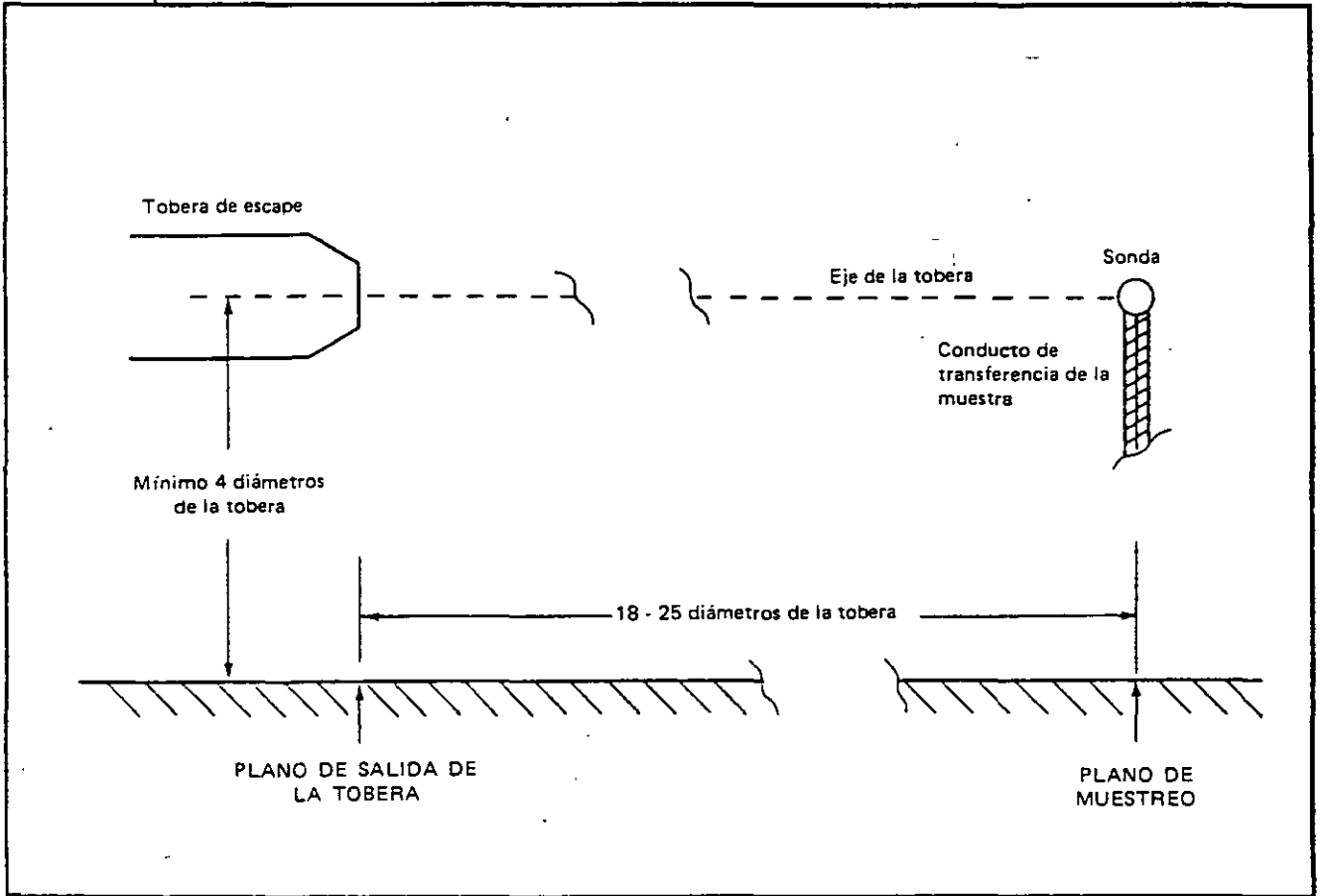


Figura 5-1. Diagrama del sistema de muestreo de los gases de escape

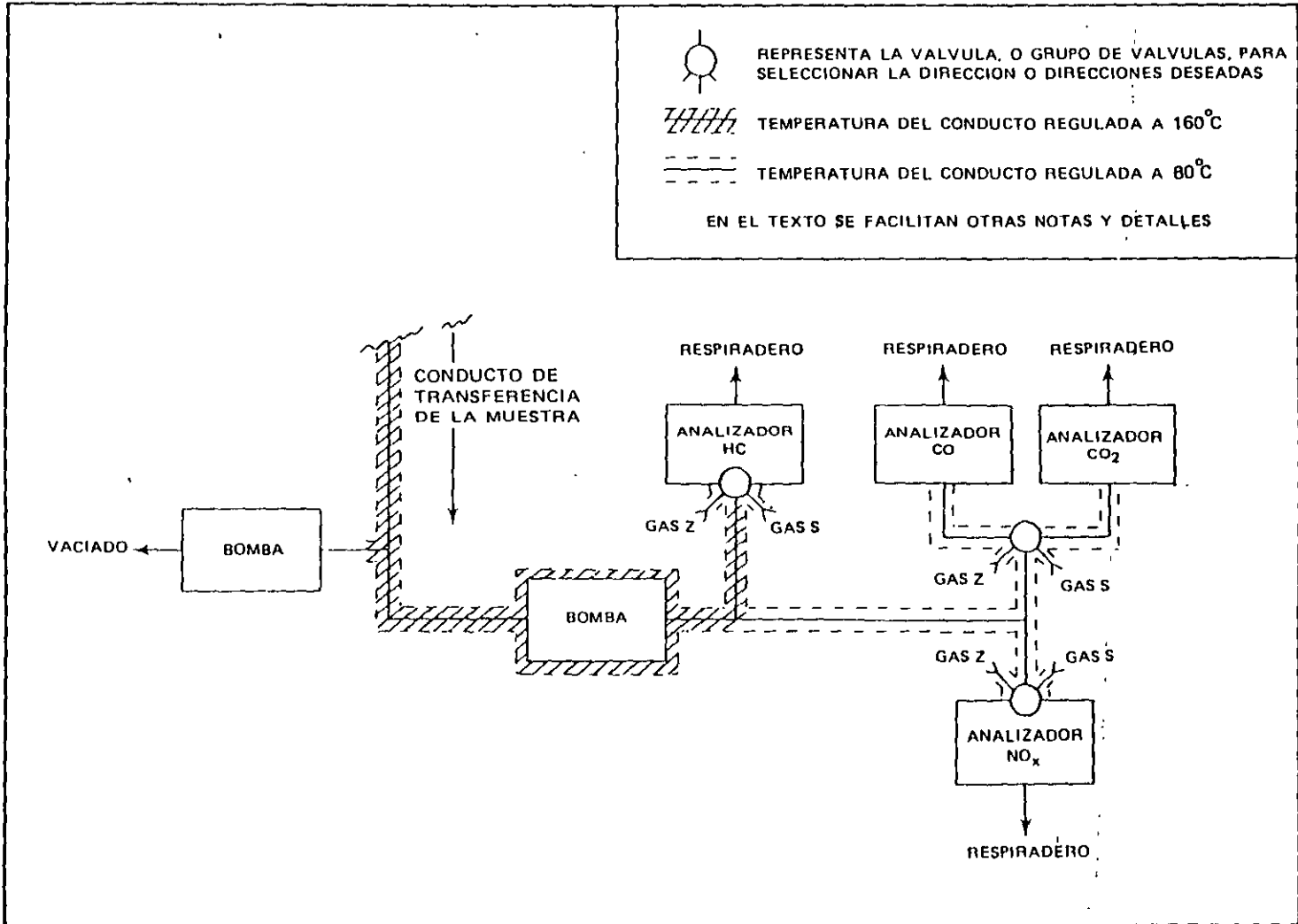


Figura 5-2. Diagrama del sistema de muestreo, transferencia y análisis de la muestra

### 3. DATOS NECESARIOS

#### 3.1 Emisiones gaseosas

Se determinará la concentración de las siguientes emisiones:

- a) hidrocarburos (HC): se hará el cálculo combinado de todos los compuestos de hidrocarburos presentes en el gas de escape;
  - b) monóxido de carbono (CO);
  - c) bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);
- Nota.— Aunque no se lo considera como contaminante, se necesita su concentración para hacer los cálculos y verificaciones.*
- d) óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): se hará un cálculo de la suma de óxido nítrico (NO) y bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>);
  - e) óxido nítrico (NO).

#### 3.2 Otros datos

Con objeto de normalizar los datos de medición de las emisiones y cuantificar las características de ensayo del motor, se suministrarán los datos siguientes, además de lo requerido en el Capítulo 3, 3.4 de este Anexo:

- temperatura en la boca de entrada;
- humedad en la boca de entrada;
- presión atmosférica;
- vectores del viento en relación con el eje del escape del motor;
- relación hidrógeno/carbono del combustible;
- pormenores sobre la instalación del motor;
- otros parámetros necesarios del motor (por ejemplo, empuje, revoluciones del motor, temperaturas de la turbina);
- datos sobre la concentración de contaminantes y parámetros para la confirmación estadística.

Estos datos se obtendrán por medición directa o por cálculo, según se indica en el Adjunto F del presente Apéndice.

### 4. DISPOSICIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Debido a la naturaleza reactiva del penacho de escape de los motores con postcombustión, es preciso cerciorarse de que las emisiones medidas correspondan realmente a las efectivamente emitidas en la atmósfera circundante. Ello se logra extrayendo una muestra del penacho, a suficiente distancia del motor, para que los gases de escape se hayan enfriado hasta una temperatura tal que hayan cesado las reacciones. No se emplearán desecantes, secadoras, deshidratadoras ni equipo similar, para tratar la muestra que vaya a parar a los instrumentos analizadores de los óxidos de nitrógeno y de los hidrocarburos. En el párrafo 5 se indican los requisitos para los

diversos subsistemas componentes, pero la lista que sigue a continuación enumera algunas de las salvedades y variaciones:

- a) se supone que cada uno de los diversos subsistemas tiene un regulador de flujo y los dispositivos de acondicionamiento y medición necesarios;
- b) la necesidad de contar con una bomba de vaciado y/o de muestra caliente dependerá de las posibilidades que haya de transferir la muestra en tiempo útil y del gasto de flujo que requiera el subsistema de análisis. Esto, a su vez, dependerá de la presión con la cual el escape desplace la muestra de gas y de las posibles pérdidas que haya en los conductos. Se considera que estas bombas serán mayormente necesarias en ciertas condiciones de funcionamiento del motor, y
- c) la posición de la bomba caliente, en relación con los subsistemas de análisis de los gases, puede variar, según sea necesario. (Por ejemplo, algunos analizadores de HC tienen bombas calientes, por lo que pueden considerarse apropiadas para su utilización más arriba que la bomba caliente del sistema).

*Nota.— En las Figuras 5-1 y 5-2 se ilustra el sistema de muestreo y análisis del escape de gases, que representa las exigencias básicas, típicas, para verificar la calidad de las emisiones.*

### 5. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES

*Nota.— A continuación se describen, a grandes rasgos, las especificaciones de los elementos principales del sistema de medición de las emisiones de gases de los motores. Cuando se necesiten más detalles, consúltense los Adjuntos de este Apéndice.*

#### 5.1 Dispositivo para medir las muestras

##### 5.1.1 Sonda de muestreo

- a) La sonda estará construida de tal manera que permita la extracción de muestras separadas en diversos puntos a lo largo del diámetro del penacho exhalado. No se permitirán muestras mezcladas.
- b) El material con el cual la muestra está en contacto deberá ser de acero inoxidable y su temperatura se mantendrá a un mínimo de 60°C.
- c) El plano de muestreo será perpendicular a la proyección del eje de la tobera del motor, y se colocará lo más cerca posible de un punto situado a 18 diámetros de la tobera del plano de salida de ésta, de conformidad con lo previsto en 7.1.2, pero, en ningún caso, a más de 25 diámetros de la tobera. El diámetro de la tobera de escape deberá ser el previsto para el régimen máximo de potencia del motor. Entre el escape, incluido éste y los planos de muestreo, deberá haber una porción sin obstrucciones de, por lo menos, 4 diámetros de la tobera de escape, en distancia radial a lo largo de la proyección del eje de la tobera del motor.

d) Habrá, como mínimo, 11 puntos de muestreo. El plano de medición, situado a una distancia  $X$  del motor, se dividirá en tres secciones delimitadas por círculos concéntricos en torno al eje del chorro de escape con los radios siguientes:

$$R1 = 0.05X$$

$$R2 = 0.09X$$

y se tomarán como mínimo 3 muestras por sección. La diferencia entre el número de muestras de cada sección debe ser inferior a 3. La muestra extraída a mayor distancia del eje estará distanciada a un radio comprendido entre  $0.11X$  y  $0.16X$ .

### 5.1.2 Conductos de canalización de la muestra

La muestra se transferirá de la sonda a los analizadores por medio de un conducto de un diámetro interno de 4.0 a 8.5 mm, utilizando para ello el camino más corto posible y a base de un gasto de flujo tal que permita trasladarla en menos de 10 segundos. El conducto tendrá una temperatura constante de  $160^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ , con una estabilidad de  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ . Cuando el muestreo se haga para medir los elementos HC, CO,  $\text{CO}_2$  y  $\text{NO}_x$ , el conducto será de acero inoxidable o de politetrafluoretileno (PTFE) imprimado, con carga de negro de carbón.

### 5.2 Analizador de HC

La medición del total de los hidrocarburos contenidos en la muestra se hará mediante un analizador equipado con un detector de ionización de llama (FID) con calefacción, entre cuyos electrodos pasa una corriente de ionización proporcional a la masa de hidrocarburos que penetra en la llama de hidrógeno. Es de suponer que el analizador en cuestión tendrá dispositivos apropiados para regular la temperatura y el gasto de la muestra, para desviar ésta, el combustible y los gases diluyentes, y para hacer la verificación efectiva de las calibraciones S (span) y Z (zero).

*Nota.— En el Adjunto A de este Apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.*

### 5.3 Analizadores CO y $\text{CO}_2$

Para medir esos elementos, habrá que utilizar analizadores de infrarrojo sin dispersión, que deberán ser del tipo que funciona a base de la absorción diferencial de energía en células paralelas de gas de referencia y de gas de muestra: la célula o grupo de ellas, respecto a cada uno de esos elementos gaseosos, se sensibilizará debidamente. Este subsistema de análisis incluirá todas las funciones necesarias para regular y manipular el flujo de la muestra, y el de los gases Z y S de referencia. La temperatura será la apropiada para la base de medición utilizada, húmeda o seca.

*Nota.— En el Adjunto B de este Apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.*

### 5.4 Analizador de $\text{NO}_x$

La medición de la concentración de los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$ ) se hará por el método químico-luminiscente, mediante el cual la medición de la intensidad de la radiación emitida durante el tiempo de reacción de los  $\text{NO}$  contenidos en la muestra, más  $\text{O}_3$ , constituye la medición de la concentración de los  $\text{NO}$ . El elemento  $\text{NO}_2$  se convertirá en  $\text{NO}$ , en un convertidor idóneo, antes de hacer la medición. El sistema de medición de los  $\text{NO}_x$  resultantes deberá tener todos los reguladores necesarios de flujo, temperatura y demás, y lo necesario para poder hacer la calibración acostumbrada de Z y S y permitir la verificación del rendimiento del convertidor.

*Nota.— En el Adjunto C de este Apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.*

## 6. PROCEDIMIENTOS A SEGUIR AL HACER EL ENSAYO GENERAL

### 6.1 Funcionamiento del motor

El motor se hará funcionar en un banco de pruebas al aire libre y estático apropiado y debidamente equipado para hacer ensayos de performance de gran precisión, que se ajuste a los requisitos para la instalación de la sonda de muestreo, según se la describe en 5.1. Los ensayos de las emisiones se harán a los regímenes de potencia prescritos por las autoridades encargadas de la certificación. A cada régimen, habrá que estabilizar el motor.

### 6.2 Condiciones atmosféricas ambientales

6.2.1 Deberán verificarse las concentraciones de CO, HC,  $\text{CO}_2$  y  $\text{NO}_x$  en el medio ambiente, con el motor marchando en condiciones de ensayo. Las concentraciones inusualmente elevadas de dichos gases revelan condiciones anormales, tales como la recirculación de gases de escape, pérdidas de combustible o cualquier otra fuente de emisiones que se desea evitar en la zona de prueba, y esas situaciones se corregirán o evitarán, según corresponda.

*Nota.— A título informativo, la concentración normal de  $\text{CO}_2$  en el ambiente es de 0.03% y los niveles de concentración de CO y HC de 5 ppm, y el de  $\text{NO}_x$  de 0.5 ppm, los cuales difícilmente se sobrepasan en condiciones ambientales normales.*

6.2.2 También se evitarán las condiciones climáticas extremas, tales como las que conlleva la precipitación o vientos de velocidad excesiva.

### 6.3 Calibración básica de instrumentos

*Nota.— El objetivo general de esta calibración es confirmar la estabilidad y linealidad.*

6.3.1 En el momento de hacer el ensayo, el solicitante deberá demostrar a las autoridades encargadas de la certificación que la calibración del sistema analítico es correcta.

6.3.2 En cuanto al analizador de hidrocarburos, la calibración incluirá la verificación de que tanto el detector de oxígeno como las respuestas diferenciales de los hidrocarburos se ajustan a los límites previstos, según se indica en el Adjunto A de este Apéndice. También se verificará la eficacia del convertidor de NO<sub>2</sub>/NO, cerciorándose de que satisface lo previsto en el Adjunto C de este Apéndice.

6.3.3 El procedimiento para verificar el comportamiento de cada analizador será el que se indica a continuación (utilizando los gases de calibración y de ensayo indicados en el Adjunto D de este Apéndice):

- a) introdúzcase el gas cero (gas de referencia Z) y hágase el reglaje a cero del instrumento, anotando la posición correspondiente;
- b) por cada gama que haya de utilizarse en servicio, introdúzcase el gas de calibración del 90% (nominal) de la concentración correspondiente a la deflexión máxima de la escala (FSD); ajústese debidamente el regulador del instrumento y anótese su posición;
- c) introdúzcase aproximadamente el 30, 60 y 90% de las concentraciones FSD de la gama y anótese las indicaciones del analizador;
- d) trácese la recta de mínimos cuadrados correspondiente a los puntos 0, 30, 60 y 90% de concentración. En cuanto al analizador de CO y/o CO<sub>2</sub>, utilizado en su configuración básica, sin linealización de salida, se ajustará la curva de mínimos cuadrados de la fórmula matemática apropiada valiéndose de puntos de calibración adicionales, si se estima necesario. Si algún punto se aparta en más de 2% del valor de la escala (o  $\pm 1$  ppm\*, lo que sea mayor), habrá que trazar una curva de calibración para utilizarla en servicio.

## 6.4 Utilización

6.4.1 No se hará ninguna medición hasta que no se hayan calentado y estabilizado todos los instrumentos y los conductos de transferencia de la muestra y hasta que no se hayan efectuado las verificaciones siguientes:

- a) verificación de las pérdidas: antes de efectuar una serie de ensayos, se verificará que el sistema no tenga pérdidas. Para hacerlo, aislar la sonda y los analizadores, conectar y accionar una bomba de vacío de actuación equivalente a la que se utilizó para el sistema de medición de humo a fin de comprobar que las pérdidas del gasto del sistema sean inferiores a 0,4 L/m, a la temperatura y presión normales;
- b) verificación de la limpieza: aislar el sistema de muestreo de gases de la sonda y conectar el extremo del conducto de muestra a una fuente de gas cero. Calentar el sistema hasta alcanzar la temperatura de funcionamiento que se necesita para hacer las mediciones de hidrocarburos. Activar la bomba de flujo de la muestra y ajustar el flujo al valor utilizado durante el ensayo de las emisiones del motor. Registrar la lectura del analizador de hidrocarburos. La lectura no excederá de 1% del nivel de emisiones del motor en marcha lenta o 1 ppm (ambos expresados en el equivalente de metano), de estos valores el mayor.

*Nota 1.— Al hacer funcionar el motor, es conveniente purgar los conductos de muestreo mientras la sonda esté en el interior del escape de gases de motor, pero sin medir las emisiones, con objeto de cerciorarse de que la contaminación no sea excesiva.*

*Nota 2.— También es conveniente controlar la calidad del aire de entrada al principio y al final del ensayo y por lo menos una vez por hora durante el mismo. Si se considera que los niveles son importantes, deberían tenerse en cuenta.*

6.4.2 Para hacer la medición con el motor en funcionamiento, se adoptará el siguiente procedimiento:

- a) aplíquese el gas cero apropiado y háganse los ajustes necesarios del instrumento;
- b) aplíquese el gas de calibración apropiado, al 90% nominal de concentración FSD con respecto a las gamas que haya que utilizar, y ajústese y anótese debidamente la posición del regulador de ganancia;
- c) una vez que el motor se haya estabilizado a la modalidad de utilización necesaria y en el emplazamiento de muestreo, deberá seguir funcionando. Obsérvense las concentraciones de los contaminantes hasta obtener una indicación estabilizada, que habrá que anotar. En la misma modalidad de utilización del motor, repítase el procedimiento de medición en cada emplazamiento de muestreo restante;
- d) una vez terminado el ensayo y también a intervalos máximos de una hora, durante los ensayos, verifíquense de nuevo el punto cero y los de calibración. Si uno de ellos ha variado más del  $\pm 2\%$  de la escala FSD, habrá que repetir el ensayo hasta que el instrumento haya recuperado su posición indicada, dentro de los márgenes de la especificación de referencia.

## 7. CÁLCULOS

### 7.1 Emisiones gaseosas

#### 7.1.1 Generalidades

Las mediciones analíticas realizadas representarán las concentraciones de las diversas clases de contaminantes que correspondan al (a los) régimen(es) de post-combustión del motor, en los diversos puntos del plano de muestreo. Además de anotar estos parámetros básicos, será necesario calcular y notificar otros parámetros, a saber:

\* Salvo en el caso del analizador de CO<sub>2</sub>, respecto al cual el valor debería ser de  $\pm 100$  ppm.



7.1.2 Análisis y confirmación de las mediciones

a) Para cada reglaje del motor, deberán promediarse las concentraciones medidas a base de diferentes posiciones de la sonda de muestreo, de la forma siguiente:

$$C_{i, moy} = \sum_{j=1}^n C_{ij}$$

Fórmula en la que:

$\sum_{j=1}^n$  Suma del número total  $n$  de las posiciones de muestreo utilizadas.

$C_{i,j}$  Concentraciones de la especie  $i$  medidas en la  $j$ ésima posición de muestreo.

$C_{i, moy}$  Promedio de concentración o media de la especie  $i$ .

Las mediciones de la concentración seca se convertirán en concentraciones húmedas reales (véase el Adjunto E de este Apéndice).

b) La calidad de las mediciones de cada contaminante se determinará comparándolas con las mediciones de  $CO_2$  aplicando el coeficiente de correlación siguiente:

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij} CO_{2j} - \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij} \sum_{j=1}^n CO_{2j}}{n}}{\sqrt{\left( \left\{ n \sum_{j=1}^n (CO_{2j})^2 - \left( \sum_{j=1}^n CO_{2j} \right)^2 \right\} \left\{ n \sum_{j=1}^n C_{ij}^2 - \left( \sum_{j=1}^n C_{ij} \right)^2 \right\} \right)^{1/2}}$$

Los valores de  $r_i$  que se aproximan a 1 indican que las ediciones obtenidas durante el transcurso de todo el periodo de muestreo son suficientemente estables y que las curvas son gaussianas. En el caso de que  $r_i$  sea inferior a 0.95, habrá que repetir las mediciones en un plano de muestreo situado a mayor distancia del motor de la aeronave. Completado el proceso de medición propiamente dicho, se hacen luego los mismos cálculos y demostración precedentes.

7.1.3 Parámetros básicos

Para la medición de cada modalidad de utilización del motor se estima la concentración media de cada especie gaseosa del modo ilustrado en 7.1.2, habiendo efectuado de la forma indicada en el Adjunto E de este Anexo todas las correcciones necesarias en concepto de mediciones de muestra en seco y/o de interferencias. Estas concentraciones medias se utilizan para el cómputo de los parámetros básicos siguientes:

$$EI_p \text{ (índice de emisión del elemento } p) = \frac{\text{masa de } p \text{ producida en gm}}{\text{masa de combustible utilizado en kg}}$$

$$EI(CO) = \left( \frac{[CO]}{[CO_2] + [CO] + [HC]} \right) \left( \frac{10^3 M_{CO}}{M_C + (n/m)M_H} \right) (1 + T(P_e/m))$$

$$EI(HC) = \left( \frac{[HC]}{[CO_2] + [CO] + [HC]} \right) \left( \frac{10^3 M_{HC}}{M_C + (n/m)M_H} \right) (1 + T(P_e/m))$$

$$EI(NO_x) \text{ (como } NO_2) = \left( \frac{[NO_x]}{[CO_2] + [CO] + [HC]} \right) \left( \frac{10^3 M_{NO_2}}{M_C + (n/m)M_H} \right) (1 + T(P_e/m))$$

$$\text{Relación aire/combustible} = (P_e/m) \left( \frac{M_{AIR}}{M_C + (n/m)M_H} \right)$$

en la que:

$$P_e/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + n - |TZ/2|)}$$

y

$$Z = \frac{2 - [CO] - (|2/x| - |y/2x|) [HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}$$

$M_{AIR}$  masa molecular de aire seco = 28.966 g, o bien, cuando corresponda, = (32 R + 28,156 4 S + 44,011 T) g

$M_{HC}$  masa molecular de hidrocarburos del escape, considerados como  $CH_4$  = 16.043 g

$M_{CO}$  masa molecular de CO = 28.011 g

$M_{NO_2}$  masa molecular del  $NO_2$  = 46.008 g

$M_C$  masa atómica del carbono = 12.011 g

$M_H$  masa atómica del hidrógeno = 1.008 g

R concentración de  $O_2$  en aire seco, por volumen = normalmente 0.209 5

S concentración de  $N_2$  + gases raros en aire seco, por volumen = normalmente 0,790 2

T concentración de  $CO_2$  en aire seco, por volumen = normalmente 0.000 3

[HC] concentración húmeda media de hidrocarburos del escape por volumen, expresada como carbono

[CO] concentración húmeda media de CO, por volumen

[ $CO_2$ ] concentración húmeda media de  $CO_2$ , por volumen

[ $NO_x$ ] concentración húmeda media de  $NO_x$ , por volumen = [NO] + [ $NO_2$ ]

[NO] concentración húmeda media de NO en la muestra de escape, por volumen

[ $NO_2$ ] concentración húmeda media de  $NO_2$  en la muestra de escape, por volumen

$$= \frac{([NO_2]_e - [NO])}{\eta}$$

Apéndice 5

$[\text{NO}_x]$	concentración media de NO en la muestra de escape una vez pasado el convertidor de $\text{NO}_2$ a NO, por volumen
$\eta$	eficacia del convertidor de $\text{NO}_2$ a NO
$h$	humedad del aire ambiente, volumen de agua/volumen de aire seco
$m$	número de átomos de C en una molécula característica del combustible
$n$	número de átomos de H en una molécula característica del combustible
$x$	número de átomos de C en una molécula característica de hidrocarburo de las emisiones del escape
$y$	número de átomos de H en una molécula característica de hidrocarburo de las emisiones del escape

El valor de  $(n/m)$ , la relación entre el hidrógeno atómico y el carbono atómico del combustible utilizado, se evalúa analizando el tipo de combustible. La humedad del aire ambiente ( $h$ ) se medirá en cada condición de utilización. A falta de pruebas en contrario de la caracterización  $(x,y)$  de los hidrocarburos del escape, se utilizarán los valores  $x = 1, y = 4$ . Si hay que utilizar mediciones del CO y del  $\text{CO}_2$ , ya sea seco o semiseco, éstas se convertirán primero en las concentraciones húmedas equivalentes que figuran en el Adjunto E de este Apéndice, donde también figuran fórmulas para corregir las interferencias, cuando sea menester.

*Nota.— El procedimiento previsto en 7.1.4 y en 7.2 sólo es aplicable a las pruebas hechas sin postcombustión. Cuando las pruebas se hagan con postcombustión podría emplearse un procedimiento similar, previa aprobación de la autoridad encargada de la certificación.*

7.1.4 Corrección de los índices de emisión con respecto a las condiciones de referencia

Se harán las correcciones a los índices de emisión medidos, respecto a todos los contaminantes, en cada una de las modalidades pertinentes de utilización del motor, para tener en cuenta las discrepancias respecto a las condiciones verdaderas de referencia (ISA al nivel del mar) de la temperatura y presión del aire en la boca de entrada. El valor de referencia de la humedad será de 0.006 29 kg  $\text{H}_2\text{O}/\text{kg}$  de aire seco.

Así, pues, tendremos: El corregido =  $K \times$  El medido.

en que la expresión generalizada de  $K$  es:

$$K = (P_{Bref}/P_B)^m \times (FAR_{ref}/FAR_B)^n \times \exp(|T_{Bref} - T_B|/c) \times \exp(d|h - 0.006\ 29|)$$

$P_B$	presión medida en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos
$T_B$	temperatura medida en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos

Anexo 16 — Protección del medio ambiente

$FAR_B$	relación aire/combustible en la cámara de combustión y accesorios conexos
$h$	humedad del aire ambiente
$P_{ref}$	presión ISA al nivel del mar
$T_{ref}$	temperatura ISA al nivel del mar
$P_{Bref}$	presión en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos del motor probado (o del motor de referencia, si los datos se corrigen respecto a un motor de esta índole) correspondiente a la $T_B$ en condiciones ISA al nivel del mar
$T_{Bref}$	temperatura en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos en condiciones ISA al nivel del mar, del motor probado (o del motor de referencia, si los datos han de corregirse respecto a un motor de referencia). Esta temperatura es la que corresponde a cada nivel de empuje especificado para cada modalidad de utilización
$FAR_{ref}$	relación aire/combustible en la cámara de combustión y accesorios conexos en condiciones ISA al nivel del mar del motor probado (o del motor de referencia, si los datos han de corregirse respecto a un motor de referencia)
$a,b,c,d$	constantes específicas que pueden variar según el contaminante y el tipo de motor

Preferiblemente, los parámetros de la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos se medirán, pero también pueden calcularse a partir de las condiciones ambientales, mediante fórmulas apropiadas.

7.1.5 Si se utiliza la técnica recomendada de ajuste de la curva para relacionar los índices de emisión con la temperatura de la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos, se elimina, de hecho, el término  $\exp(|T_{Bref} - T_B|/c)$  de la ecuación generalizada y, en la mayoría de los casos, el término  $(FAR_{ref}/FAR_B)$  puede considerarse igual a la unidad. En cuanto a los índices de las emisiones de CO y HC, muchos laboratorios de ensayo han determinado que la humedad está suficientemente cerca de la unidad como para eliminarla de la expresión y que el exponente del término  $(P_{Bref}/P_B)$  también se acerca a la unidad.

Así pues,

EI(CO) corregido = El derivado de  $(P_B/P_{Bref})$  EI(CO) en función de la curva de  $T_B$ ;

EI(HC) corregido = El derivado de  $(P_B/P_{Bref})$  EI(HC) en función de la curva de  $T_B$ ;

EI( $\text{NO}_x$ ) corregido = El derivado de EI( $\text{NO}_x$ )  $(P_{Bref}/P_B)^{0.5} \exp(19|h - 0.006\ 29|)$  en función de la curva de  $T_B$ .

Si no se obtiene una correlación satisfactoria con este método recomendado para corrección del índice de emisiones de CO y HC, podrá utilizarse otro método con los parámetros que se derivan de los ensayos de componentes.

Cualquier otro método utilizado para corregir los índices de emisión del CO, los HC y los NO<sub>x</sub> debe contar con el visto bueno de la autoridad encargada de la certificación.

**7.2 Funciones del parámetro regulador**  
(D<sub>p</sub>, F<sub>on</sub>, π)

**7.2.1 Definiciones**

- D<sub>p</sub> La masa de todo contaminante gaseoso emitido durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue para las emisiones.
- F<sub>on</sub> El empuje máximo desarrollado para el despegue en condiciones normales de utilización y en condiciones estáticas en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar, sin inyección de agua, que haya aprobado la autoridad competente encargada de la certificación.
- π La relación entre la presión total media en el último plano de descarga del compresor y la presión total media en el plano de entrada del compresor, cuando el motor desarrolla el empuje nominal de despegue en condiciones estáticas en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar.

7.2.2 Los índices de emisión (EI) de cada contaminante, corregidos en cuanto a la presión y humedad (según sea el caso) en relación con las condiciones atmosféricas ambientales de referencia, según se indica en 7.1.4, y, si es preciso, en relación con el motor de referencia, se obtendrán a base de la modalidad de utilización del ciclo LTO requerido del motor (n), es decir: marcha lenta, aproximación, ascenso y despegue, en cada una de las condiciones de empuje equivalentes corregidas. Se requerirán tres puntos de prueba, como mínimo, para determinar la modalidad de marcha lenta. Con respecto a cada contaminante, se determinarán las relaciones siguientes:

- a) entre EI y T<sub>B</sub>; y
- b) entre W<sub>f</sub> (gasto del flujo de la masa de combustible del motor) y T<sub>B</sub>; y
- c) entre F<sub>n</sub> (corregido a las condiciones ISA al nivel mar) y T<sub>B</sub> (corregida a las condiciones ISA al nivel del mar);

*Nota.— Véanse los ejemplos ilustrados en la Figura 5-3 a), b) y c).*

Quando el motor en ensayo no sea un motor "de referencia", los datos podrán corregirse a las condiciones del motor "de referencia" utilizando las relaciones b) y c) obtenidas de un motor de referencia. Se entiende por motor de referencia aquél que corresponde fundamentalmente a la descripción del motor cuya certificación se solicita y que la autoridad encargada de la certificación ha aceptado como representativo del tipo de motor en cuestión.

El fabricante también suministrará a la autoridad encargada de la certificación todos los datos necesarios sobre la performance del motor, a fin de poder comprobar esas relaciones, en las condiciones ambientales de la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar:

- d) el empuje nominal máximo (F<sub>on</sub>); y
- e) la relación de presión del motor (π) al empuje nominal máximo.

*Nota.— Véase el ejemplo ilustrado en la Figura 5-3 d).*

7.2.3 La estimación del EI de cada contaminante, en cada uno de los reglajes requeridos del régimen del motor, corregido a las condiciones ambientales de referencia, se ajustará al procedimiento general siguiente:

- a) en cada modalidad de empuje F<sub>n</sub> en condiciones ISA, determinar la temperatura equivalente en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos (T<sub>B</sub>) [Figura 5-3 c)];
- b) a partir de la característica EI/T<sub>B</sub> [Figura 5-3 a)], determinar el valor EI<sub>n</sub> correspondiente a T<sub>B</sub>;
- c) a partir de la característica W<sub>f</sub>/T<sub>B</sub> [Figura 5-3 b)], determinar el valor W<sub>f</sub> correspondiente a T<sub>B</sub>;
- d) obsérvense los valores máximos del régimen nominal de empuje y de la relación de presión en la atmósfera tipo internacional (ISA), que son F<sub>on</sub> y π, respectivamente [Figura 5-3 d)].
- e) calcúlese, para cada contaminante

$$D_p = \sum (EI_n) (W_{fn}) (t), \text{ en la que:}$$

- t tiempo en la modalidad LTO (minutos)
- W<sub>fn</sub> gasto del flujo de la masa de combustible (kg/min)
- ∑ suma de la serie de modalidades que comprende el ciclo de referencia LTO.

7.2.4 Si bien la metodología descrita es la recomendada, la autoridad encargada de la certificación podrá aceptar procedimientos matemáticos equivalentes que se valgan de expresiones matemáticas para representar las curvas ilustradas, siempre que dichas expresiones se hayan derivado utilizando alguna técnica aceptada de adaptación de las curvas.

**7.3 Excepciones en cuanto a los procedimientos propuestos**

En aquellos casos en que la configuración del motor u otras condiciones atenuantes impidan la aplicación de este procedimiento, la autoridad encargada de la certificación podrá aprobar otro procedimiento, una vez que haya recibido pruebas técnicas convincentes de los resultados equivalentes obtenidos con el mismo.

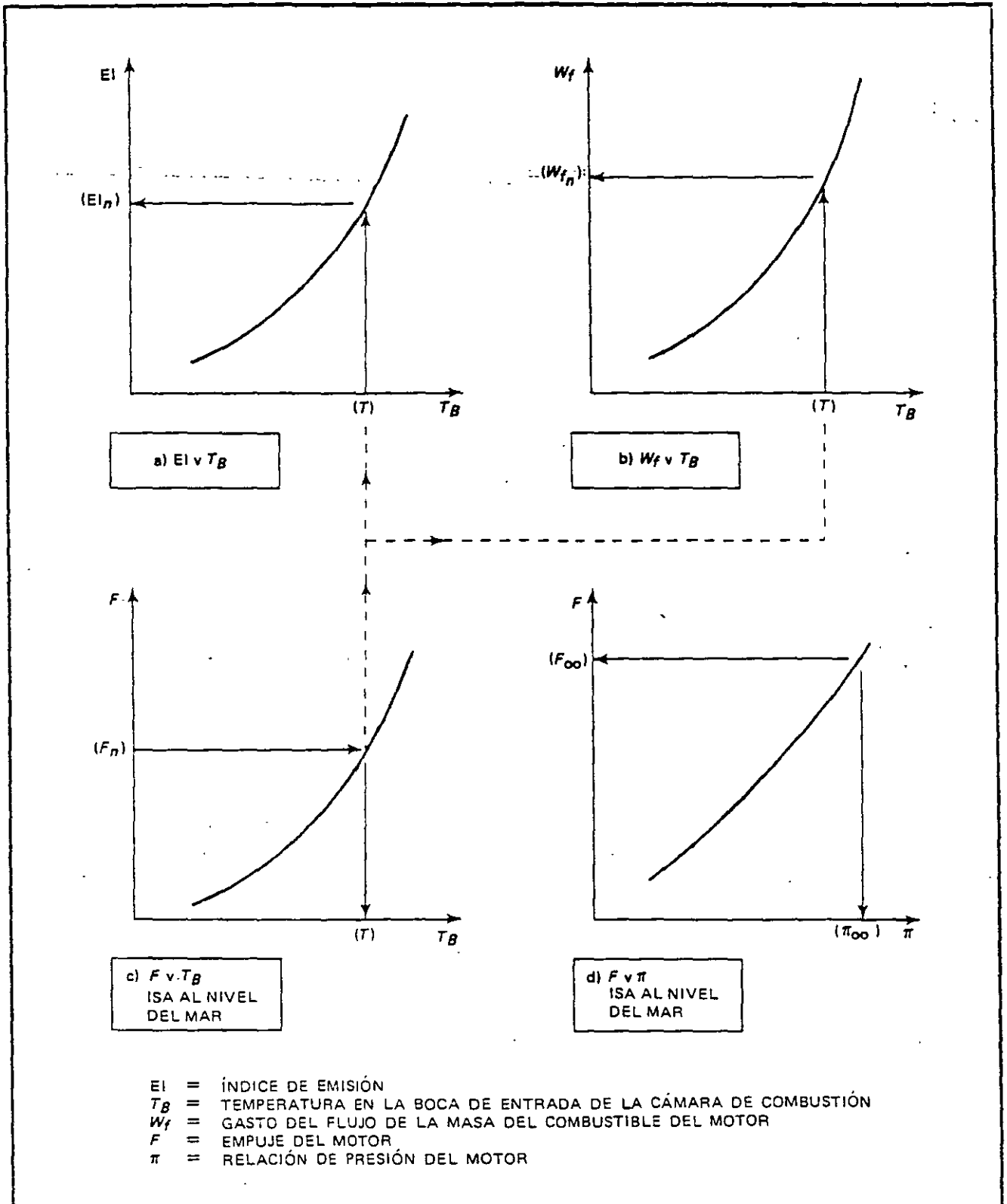


Figura 5-3. Procedimiento de cálculo

## ADJUNTO A DEL APÉNDICE 5. ESPECIFICACIONES DEL ANALIZADOR DE HC

*Nota:— Como se deja apuntado en 5.2 del Apéndice 5, el elemento medidor de este analizador es el detector de ionización de la llama (FID), en el cual todo el flujo de la muestra, o una parte representativa de la misma, penetra en una llama de hidrógeno. A base de electrodos colocados en posiciones apropiadas, es posible hacer pasar una corriente ionizante en función de la proporción de los hidrocarburos que penetran en la llama. Es precisamente esta corriente la que, referida a un cero apropiado, se amplía y relaciona con la escala de la gama deseada del instrumento para conseguir la respuesta en función de la concentración de hidrocarburos expresada como equivalente de las ppmC.*

### 1. GENERALIDADES

**Precauciones:** Las especificaciones de actuación que se indican corresponden generalmente al máximo de la escala del analizador. Los errores que no llegan al máximo de la escala pueden representar un porcentaje significativamente mayor de la lectura. La pertinencia y la importancia de estos aumentos se considerará al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se habrán de tomar las precauciones apropiadas.

El instrumento que se utilice deberá poder mantener la temperatura del detector y de los componentes de manipulación de la muestra a determinada temperatura, comprendida en la gama de 155°C a 165°C, con una estabilidad de  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Los puntos de especificación iniciales deberán ser los indicados a continuación, con tal que la reacción del detector se haya optimizado y el instrumento se haya estabilizado en general:

- Gama total:** de 0 a 5 000 ppmC, en las gamas apropiadas.
- Resolución:** superior al 0.5% del máximo de la escala de la gama utilizada o 0.5 ppmC, la que sea mayor.
- Repetibilidad:** superior al  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 0.5$  ppmC, la que sea mayor.
- Estabilidad:** superior al  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 1.0$  ppmC, en un período de una hora.
- Desviación cero:** menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 0.5$  ppmC, la que sea mayor, en un período de una hora.
- Ruido:** 0.5 Hz y mayor, menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 0.5$  ppmC, lo que sea mayor.
- Tiempo de respuesta:** no deberá exceder de 10 segundos, desde el momento de entrada de la muestra al sistema analizador hasta conseguir el 90% de la indicación definitiva.

- Linealidad:** con propano mezclado con aire, la respuesta deberá ser lineal respecto a cada gama, con una tolerancia de  $\pm 2\%$  del máximo de la escala, de no ser así, será necesario rectificar la calibración.

### 2. EFECTOS SINÉRGICOS

*Nota.— En su aplicación práctica, hay dos aspectos de la performance que pueden afectar la precisión de la medición, a saber:*

- el efecto del oxígeno (ya que las distintas proporciones de oxígeno presentes en la muestra dan concentraciones indicadas diferentes de hidrocarburos, en cuanto se trata de concentraciones constantes verdaderas de HC); y*
- la respuesta relativa de los hidrocarburos (por la cual la respuesta es diferente respecto a la misma concentración de hidrocarburos de la muestra expresada como equivalente en ppmC, que depende de la clase o combinación de clases de los compuestos de hidrocarburo).*

*La magnitud de los efectos señalados se determinará como se indica a continuación, y se limitará en consecuencia.*

**Respuesta del oxígeno:** mídase ésta con dos mezclas de propano, en una concentración aproximada de 500 ppmC, de una precisión relativa conocida del  $\pm 1\%$ , como se indica a continuación:

- propano en  $10 \pm 1\%$  de  $\text{O}_2$ , y el resto  $\text{N}_2$
- propano en  $21 \pm 1\%$  de  $\text{O}_2$ , y el resto  $\text{N}_2$

Si  $R_1$  y  $R_2$  constituyen las respuestas normalizadas respectivas,  $(R_1 - R_2)$  no deberá alcanzar el 3% de  $R_1$ .

**Respuesta diferencial de los hidrocarburos:** mídase la respuesta con cuatro mezclas de hidrocarburos distintos mezclados con aire, en concentraciones de unas 500 ppmC, de una precisión relativa conocida del  $\pm 1\%$  como sigue:

- propano en aire cero;
- propileno en aire cero;
- tolueno en aire cero;
- n-hexano en aire cero.

Si  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  y  $R_d$  constituyen, respectivamente, las respuestas normalizadas (con respecto al propano), tendremos que  $(R_b - R_a)$  y  $(R_d - R_c)$  deberán ser, cada una de ellas, infe al 5% de  $R_a$ .

### 3. OPTIMIZACIÓN DE LA REACCIÓN Y ALINEACIÓN DEL DETECTOR

3.1 Habrá que seguir siempre las instrucciones facilitadas por el fabricante en cuanto a la determinación de los procedimientos, servicios auxiliares y suministros necesarios, y dejar que el instrumento se estabilice. Todas las posiciones de ajuste requerirán la verificación iterativa de la posición cero, y hacer la corrección necesaria, si es menester. Utilizando como ejemplo una muestra de unas 500 ppmC de propano mezclado con aire, se determinará la característica de la respuesta: primero, en cuanto a las variaciones del flujo de combustible y, luego, casi al flujo óptimo de combustible, para poder seleccionar el punto óptimo en cuanto a las variaciones de la

dilución del flujo de aire. A continuación se evaluarán la respuesta de oxígeno y la del diferencial de los hidrocarburos, como se deja apuntado.

3.2 La linealidad de cada escala de gamas del analizador se verificará añadiendo propano a las muestras de aire, en concentraciones de un 30, 60 y 90% respecto al punto máximo de la escala. La desviación máxima de la respuesta de cada una de esas concentraciones, a partir de una recta de mínimos cuadrados (trazada a base de los puntos y el cero) no deberá discrepar más del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala. En caso contrario, será preciso trazar una curva de calibración para su empleo en servicio.

## ADJUNTO B DEL APÉNDICE 5. ESPECIFICACIONES DE LOS ANALIZADORES DE CO Y DE CO<sub>2</sub>

*Nota.*— En 5.3 del Apéndice 5 se resumen las características del subsistema de análisis que hay que utilizar para medir separadamente las concentraciones de CO y CO<sub>2</sub> de la muestra de los gases de escape. Los instrumentos en cuestión se basan en el principio de la absorción sin dispersión de la radiación infrarroja en células paralelas del gas de referencia y del gas de muestra. Las gamas de sensibilidad se obtienen utilizando células de muestra superpuestas, o a base de las variaciones que se producen en los circuitos electrónicos, o ambas cosas a la vez. Los efectos debidos a los gases con bandas de absorción superpuestas, pueden reducirse mediante filtros que absorban el gas o con filtros ópticos, de preferencia estos últimos.

*Precauciones:* Las especificaciones de actuación que se indican corresponden generalmente al máximo de la escala del analizador. Los errores que no llegan al máximo de la escala pueden representar un porcentaje significativamente mayor de la lectura. La pertinencia y la importancia de estos aumentos se considerará al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se habrán de tomar las precauciones apropiadas.

Las características de actuación principales deberán ser:

#### Analizador de CO

- Gama total:* de 0 a 2 500 ppm, en gamas apropiadas.
- Resolución:* menos del 0,5% del máximo de la escala de la gama utilizada o 1 ppm, la que sea mayor.
- Repetibilidad:* menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de gama utilizada o  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor.
- Estabilidad:* menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.

- Desviación cero:* menos del  $\pm 1\%$  ppm del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- Ruido:* 0,5 Hz y mayor, menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 1$  ppm, lo que sea mayor.
- Interferencias:* habrá que limitarlas, con respecto a la concentración de CO indicada, como sigue:
  - menos de 500 ppm por ciento de la concentración de etileno;
  - menos de 2 ppm por ciento de la concentración de CO<sub>2</sub>;
  - menos de 2 ppm por ciento de la concentración de vapor acuoso.\*

Si no es posible satisfacer las limitaciones de interferencia del CO<sub>2</sub> y/o del vapor de agua, se determinarán, notificarán y aplicarán los factores de corrección apropiados.

*Nota.*— Se recomienda, de conformidad con la práctica apropiada, que estos procedimientos de corrección se adopten en todos los casos.

#### Analizador de CO<sub>2</sub>

- Gama total:* del 0 al 10% de gamas apropiadas.
- Resolución:* menos del 0,5% del máximo de la escala de la gama utilizada o 100 ppm, la que sea mayor.
- Repetibilidad:* menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de gama utilizada o  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor.

\* No es aplicable necesariamente cuando las mediciones se han hecho a base de muestras "secas".

- d) *Estabilidad*: menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) *Desviación cero*: menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) *Ruido*: 0.5 Hz y mayor, menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor.
- g) Se verificará el efecto del oxígeno ( $O_2$ ) en la respuesta del analizador de  $CO_2$ : Para un cambio de 0%  $O_2$  a 21% de  $O_2$  la respuesta de una concentración determinada de  $CO_2$  no cambiará en más de 2% de la lectura. Si no se puede alcanzar este límite, se aplicará el factor de corrección apropiado.

*Nota.*— Se recomienda, de conformidad con la práctica apropiada, que estos procedimientos de corrección se adopten en todos los casos.

#### Analizadores de CO y de $CO_2$

- a) *Tiempo de respuesta*: no deberá exceder de 10 segundos, desde el momento de entrada de la muestra al sistema analizador-hasta conseguir el 90% de la indicación definitiva.
- b) *Temperatura de la muestra*: la modalidad preferida es analizar la muestra "mojada" (sin tratar). Esto exige que tanto la célula de muestra como todos los demás elementos

que, en este subsistema, entren en contacto con ella, permanezcan a una temperatura mínima de  $50^\circ C$ , con una estabilidad de  $\pm 2^\circ C$ . Se admite la posibilidad de medir e CO y el  $CO_2$  en seco (con deshidratador apropiado), en cuyo caso se pueden utilizar analizadores sin calentar y anular así los efectos limitadores del vapor de agua; luego, es necesario hacer la corrección en cuanto al vapor acuoso de entrada y al agua desprendida por la combustión.

#### c) Curvas de calibración:

- i) Se verificarán los analizadores con característica lineal de salida de señal en todas las gamas que se utilizan empleando gases de calibración en concentraciones conocidas de aproximadamente 0, 30, 60 y 90% del máximo de la escala. La desviación máxima de la respuesta en cualquiera de estos puntos a partir de una recta de mínimos cuadrados, ajustada a los puntos y la lectura cero, no excederá de  $\pm 2\%$  del valor máximo de la escala. Si excede de este valor, será preciso trazar una curva de calibración para utilizarla en servicio.
- ii) En el caso de los analizadores con característica no lineal de salida de señal, y de los que no cumplan con los requisitos de linealidad mencionados, será preciso trazar curvas de calibración para todas las gamas que se utilizan empleando gases de calibración en concentraciones conocidas de aproximadamente 0, 30, 60 y 90% del máximo de la escala. Se utilizarán otras mezclas, si es necesario, para definir adecuadamente la forma de la curva.

## ADJUNTO C DEL APÉNDICE 5. ESPECIFICACIONES DEL ANALIZADOR DE $NO_x$

1. Como se indica en 5.4 del Apéndice 5, la medición de la concentración de los óxidos de nitrógeno se hará por el método químico-luminiscente, mediante el cual se mide la intensidad de la radiación emitida por la reacción del NO con el  $O_3$ . Este método no es sensible al  $NO_2$  y, por esto, será necesario pasar la muestra por un convertidor, en el cual el  $NO_2$  se convierte en NO, antes de hacer la medición del  $NO_x$  total. Habrá que anotar tanto el NO original como el  $NO_x$ . Así por diferenciación, se podrá medir la concentración del  $NO_2$ .

2. El instrumento a utilizar deberá tener todos los componentes necesarios para regular el flujo, tales como reguladores, válvulas, flujómetro (aforador), etc. Los materiales que tengan que entrar en contacto con el gas de muestra se limitarán a aquellos que resistan la corrosión causada por los óxidos de nitrógeno, es decir, acero inoxidable, vidrio, etc. En todo momento, la temperatura de la muestra se mantendrá en

aquellos valores compatibles con las presiones locales, que eviten la condensación de agua.

**Precauciones:** Las especificaciones de actuación que se indican corresponden generalmente al máximo de la escala del analizador. Los errores que no llegan al máximo de la escala pueden representar un porcentaje significativamente mayor de la lectura. La pertinencia y la importancia de estos aumentos se considerará al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se habrán de tomar las precauciones apropiadas.

3. Las especificaciones principales de actuación del instrumento utilizado a la temperatura ambiente y estable, dentro de un margen de tolerancia de  $2^\circ C$ , serán las siguientes:

- a) *Gama total*: de 0 a 2 500 ppm, en las gamas apropiadas.

- b) *Resolución*: menos del 0.5% del máximo de la escala de la gama utilizada o 1 ppm, la que sea mayor.
- c) *Repetibilidad*: menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 1$  ppm, la que sea mayor.
- d) *Estabilidad*: menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 1$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) *Desviación cero*: menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 1$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) *Ruido*: 0.5 Hz y mayor, menos de  $\pm 1.0\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 1$  ppm, lo que sea mayor, en un período de dos horas.
- g) *Interferencias*: la supresión, respecto a las muestras que contienen CO<sub>2</sub> y vapor acuoso, se limitará a lo siguiente:
  - menos del 0.5% de la indicación/porcentaje de la concentración de CO<sub>2</sub>;
  - menos del 0.1% de la indicación/porcentaje de la concentración del vapor de agua.

Si no es posible satisfacer las limitaciones de interferencia del CO<sub>2</sub> y/o del vapor de agua, se determinarán, notificarán y aplicarán los factores de corrección apropiados.

*Nota.*— Se recomienda, de conformidad con la práctica apropiada, que esos procedimientos de corrección se adopten en todos los casos.

- h) *Tiempo de respuesta*: no deberá exceder de 10 segundos, desde el momento de entrada de la muestra al sistema —analizador hasta conseguir el 90% de la indicación definitiva.
- i) *Linealidad*: menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor.
- j) *Convertidor*: estará concebido y funcionará de manera que reduzca a NO el NO<sub>2</sub> presente en la muestra. El convertidor no alterará el NO contenido inicialmente en la muestra.

El rendimiento técnico del convertidor será, por lo menos, del 90%.

Este valor del rendimiento se empleará para corregir el valor del NO<sub>2</sub> de la muestra medida (es decir, [NO<sub>2</sub>] — [NO] el que habría obtenido si el rendimiento hubiese sido del 100%).

### ADJUNTO D. DEL APÉNDICE 5. GASES DE CALIBRACIÓN Y DE ENSAYO

*Nota.*— En la tabla siguiente se enumeran los gases idóneos para emplear los procedimientos de preparación y calibración, descritos en otro lugar

Analizador	Gas	Precisión*
HC	propano en 10 $\pm 1\%$ de O <sub>2</sub> , el resto N <sub>2</sub>	$\pm 1\%$
HC	propano en 21 $\pm 1\%$ de O <sub>2</sub> , el resto N <sub>2</sub>	$\pm 1\%$
HC	propileno en aire cero	$\pm 1\%$
HC	tolueno en aire cero	$\pm 1\%$
HC	n-hexano en aire cero	$\pm 1\%$
HC	propano en aire cero	$\pm 2\%$ o $\pm 0.05$ ppm**
CO	CO en aire	$\pm 2\%$ o $\pm 2$ ppm**
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> en aire	$\pm 2\%$ o $\pm 100$ ppm**
NO <sub>x</sub>	NO en N <sub>2</sub>	$\pm 2\%$ o $\pm 1$ ppm**

\* Basada en el "intervalo" de confianza del 95%.

\*\* La que sea mayor.

Los gases de calibración monóxido de carbono y bióxido de carbono podrán mezclarse separadamente o como mezclas de dos componentes. Pueden emplearse mezclas, compuestas de monóxido de carbono, bióxido de carbono y propano en aire seco, a condición de que pueda preservarse la estabilidad de la mezcla.

El gas cero especificado para el analizador del CO, CO<sub>2</sub> y HC equivaldrá al aire cero (el cual incluye el aire "artificial" con un 20 a 22% de O<sub>2</sub> combinado con N<sub>2</sub>). Con respecto al analizador de NO<sub>x</sub>, el nitrógeno cero se considerará como gas cero. Las impurezas contenidas en ambas variedades de gas cero deberán limitarse, de modo que sean inferiores a las concentraciones siguientes:

- 1 ppm C
- 1 ppm CO
- 100 ppm CO<sub>2</sub>
- 1 ppm NO<sub>x</sub>

El solicitante deberá cerciorarse de que los gases comerciales que haya recibido respondan efectivamente a esta especificación, o de que así los especifique el vendedor del producto.



## ADJUNTO E DEL APÉNDICE 5. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LAS EMISIONES – BASE, CORRECCIONES DE LA MEDICIÓN Y MÉTODO NUMÉRICO DE ALTERNATIVA

### 1. SÍMBOLOS

AFR	relación aire/combustible; la relación del gasto del flujo de la masa de aire seco con respecto al del combustible	R	concentración de O <sub>2</sub> en aire seco, por volumen = 0.2095 (normalmente)
EI	índice de emisión: 10 <sup>3</sup> x gastos del flujo de la masa del producto de las emisiones gaseosas en el escape, por unidad de gasto del flujo de la masa de combustible	S	concentración de N <sub>2</sub> + gases raros en aire seco, por volumen = 0.7902 (normalmente)
K	relación de concentración medida húmeda con respecto a la medida en seco (pasado el deshidratador)	T	concentración de CO <sub>2</sub> en aire seco, por volumen = 0.0003 (normalmente)
L, L'	coeficiente de interferencia del analizador, de la interferencia del CO <sub>2</sub>	P <sub>o</sub>	número de moles de aire por mol de combustible en la mezcla inicial aire/combustible
M, M'	coeficiente de interferencia del analizador, de la interferencia del H <sub>2</sub> O	Z	símbolo utilizado y definido en 3.4
M <sub>AIR</sub>	masa molecular de aire seco = 28.966 g, o bien, cuando corresponda, = (32 R + 28.156 4 S + 44.011 T) g	[CO <sub>2</sub> ]	concentración media de CO <sub>2</sub> en la muestra de emisiones del escape, volumen de C por volumen total
M <sub>CO</sub>	masa molecular de CO = 28.011 g	[CO]	concentración media de CO en la muestra de emisiones del escape, volumen de C por volumen total
M <sub>HC</sub>	masa molecular de hidrocarburos del escape, considerados como CH <sub>4</sub> = 16.043 g	[HC]	concentración media de hidrocarburos en la muestra de emisiones de escape, por volumen
M <sub>NO<sub>2</sub></sub>	masa molecular del NO <sub>2</sub> = 46.008 g	[NO]	concentración media de NO en la muestra de emisiones del escape, por volumen
M <sub>C</sub>	masa atómica del carbono = 12.011 g	[NO <sub>2</sub> ]	concentración media de NO <sub>2</sub> en la muestra de emisiones del escape, por volumen
M <sub>H</sub>	masa atómica del hidrógeno = 1.008 g	[NO <sub>x</sub> ]	concentración media de NO y NO <sub>2</sub> en la muestra de emisiones del escape, por volumen
P <sub>1</sub>	número de moles de CO <sub>2</sub> , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible	[NO <sub>x</sub> ] <sub>r</sub>	concentración media de NO en la muestra de emisiones del escape una vez pasado el convertidor de NO <sub>2</sub> a NO, por volumen
P <sub>2</sub>	número de moles de N <sub>2</sub> , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible	[NO <sub>2</sub> ]	concentración media de $= \frac{([NO_x]_r - [NO])}{n}$
P <sub>3</sub>	número de moles de O <sub>2</sub> , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible	[ ] <sub>d</sub>	concentración media en la muestra de emisiones del escape, pasado el deshidratador frío, por volumen
P <sub>4</sub>	número de moles de H <sub>2</sub> O, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible	[ ] <sub>m</sub>	medida de la concentración media indicada antes de aplicar la corrección del instrumento, por volumen
P <sub>5</sub>	número de moles de CO, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible	h	humedad del aire ambiente, vol de agua/vol de aire seco
P <sub>6</sub>	número de moles de C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible	h <sub>d</sub>	humedad de la muestra de emisiones del escape que salen del "secador", o del "deshidratador frío", vol de agua/vol de muestra seca
P <sub>7</sub>	número de moles de NO <sub>2</sub> , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible	m	número de átomos de C en una molécula característica del combustible
P <sub>8</sub>	número de moles de NO, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible	n	número de átomos de H en una molécula característica del combustible
P <sub>T</sub>	$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$		

- x número de átomos de C en una molécula característica de hidrocarburo de las emisiones del escape
- y número de átomos de H en una molécula característica de hidrocarburo de las emisiones del escape
- η eficacia del convertidor de NO<sub>2</sub> a NO

**2. BASE PARA CALCULAR LOS PARÁMETROS EI Y AFR**

2.1 Se supone que el equilibrio entre la mezcla original de combustible y aire y el estado resultante de las emisiones del escape de las cuales se ha extraído la muestra puede representarse mediante la ecuación siguiente:

$$C_m H_n + P_0[R(O_2) + S(N_2) + T(CO_2) + h(H_2O)] = P_1(CO_2) + P_2(N_2) + P_3(O_2) + P_4(H_2O) + P_5(CO) + P_6(C_x H_y) + P_7(NO_2) + P_8(NO)$$

a partir de la cual, por definición, los parámetros requeridos se pueden expresar de la forma siguiente:

$$EI(CO) = P_5 \left( \frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right)$$

$$EI(HC) = xP_6 \left( \frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ expresado como equivalente del metano}$$

$$EI(NO_x) = (P_7 + P_8) \left( \frac{10^3 M_{NO_x}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ expresado como equivalente del NO}_2$$

$$AFR = P_0 \left( \frac{M_{AFR}}{mM_C + nM_H} \right)$$

2.2 A base de la especificación o análisis del combustible se asignan los valores de la composición de hidrocarburos del combustible (m, n). Si solamente se determina la relación n/m, se puede asignar el valor m = 12. Normalmente se supone que las fracciones de los moles de los elementos constitutivos del aire seco (R, S, T) corresponden a los valores normales recomendados, si bien pueden asignarse otros valores, a reserva de la restricción R + S + T = 1 y de la aprobación de la autoridad encargada de la certificación.

2.3 La humedad del aire ambiente, h, es la medida en cada ensayo. Se recomienda que, de no existir prueba en contrario en cuanto a la caracterización de los hidrocarburos de las emisiones del escape (x, y), se asignen valores de x = 1 y de y = 4.

2.4 La determinación de las incógnitas restantes exige la solución de la serie siguiente de ecuaciones lineales simultáneas, en las que 1) a 4) dimanen de las relaciones fundamentales de conservación atómica, y 5) a 9) representan las relaciones de concentración del producto gaseoso de las emisiones.

$$m + TP_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \dots \dots \dots (1)$$

$$n + 2hP_0 = 2P_4 + yP_6 \dots \dots \dots (2)$$

$$(2R + 2T + h)P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \dots \dots \dots (3)$$

$$2SP_0 = 2P_2 + P_7 + P_8 \dots \dots \dots (4)$$

$$[CO_2] P_T = P_1 \dots \dots \dots (5)$$

$$[CO] P_T = P_5 \dots \dots \dots (6)$$

$$[HC] P_T = xP_6 \dots \dots \dots (7)$$

$$[NO_x]_c P_T = \eta P_7 + P_8 \dots \dots \dots (8)$$

$$[NO] P_T = P_8 \dots \dots \dots (9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots \dots (10)$$

Estas ecuaciones condicionales se aplican en el caso de que todas las concentraciones medidas sean verídicas, es decir, que no estén viciadas por interferencias o que requieran corrección para obtener la muestra seca. En la práctica, los efectos de la interferencia suelen manifestarse en grado considerable en las mediciones de CO, NO<sub>x</sub> y de NO, de modo que suele acudir a la medición del CO<sub>2</sub> y del CO, ya sea en seco o en condiciones semisecas. Las modificaciones necesarias de las ecuaciones pertinentes se exponen en 2.5 y 2.6.

2.5 Los efectos de interferencia obedecen sobre todo a la presencia de CO<sub>2</sub> y de H<sub>2</sub>O en la muestra, que pueden afectar a los analizadores del CO y del NO<sub>x</sub> de maneras básicamente distintas. El analizador de CO tiene tendencia a desplazarse al punto cero, en tanto que el analizador de NO<sub>x</sub> experimenta cambios de sensibilidad, representados como sigue:

$$[CO] = [CP]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

y

$$[NO_x]_c = [NO_x]_{cm} (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

que se transforman en las ecuaciones siguientes de alternativa de 6), 8) y 9), en cuyo caso hay que corregir los efectos de interferencia.

$$[CO]_m P_T + LP_1 + MP_4 = P_5 \dots\dots\dots (6A)$$

$$[NO_x]_{cm} (P_T + L'P_1 + M'P_4) = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8A)$$

$$[NO]_m (P_T + L'P_1 + M'P_4) = P_8 \dots\dots\dots (9A)$$

2.6 La opción de medir las concentraciones de CO<sub>2</sub> y de CO a base de una muestra seca o parcialmente seca, o sea con la humedad de muestra reducida a h<sub>d</sub>, requiere el empleo de las ecuaciones condicionales modificadas siguientes:

$$[CO_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots\dots\dots (5A)$$

y

$$[CO]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_3$$

Sin embargo, el analizador CO también puede estar viciado por la interferencia descrita en 2.5, de modo que la ecuación completa de alternativa, para la medición de la concentración del CO, pasa a ser:

$$[CO]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + LP_1 + Mh_d (P_T - P_4) = P_3 \dots\dots\dots (6B)$$

### 3. FÓRMULAS ANALÍTICAS

#### 3.1 Generalidades

Las ecuaciones (1) a (10) pueden reducirse para conseguir las fórmulas analíticas de los parámetros EI y AFR, que figuran en la Sección 7.1. Esta reducción constituye un proceso de eliminación progresiva de las raíces de P<sub>10</sub>, P<sub>1</sub> a P<sub>8</sub>, P<sub>7</sub>, en el supuesto de que todas las mediciones de la concentración se hayan efectuado con la muestra "húmeda" y de que no requieran correcciones debido a interferencias o por algún otro concepto. En la práctica, a menudo se prefiere efectuar las mediciones de la concentración "seca" o "semiseca" del CO<sub>2</sub> y del CO. También a menudo, es necesario hacer correcciones para compensar la interferencia. Las fórmulas que han de utilizarse en estas diversas circunstancias se dan en 3.2, 3.3 y 3.4 siguientes.

#### 3.2 Ecuación para convertir las mediciones de la concentración seca a húmeda

Concentración húmeda = K × concentración seca es decir:

$$[ ]_h = K [ ]_d$$

La expresión siguiente de K se aplica cuando el CO y el CO<sub>2</sub> se determinan "en seco".

$$K = \frac{\{4 + (n/m) T + (|n/m|T - 2h) ([NO_2] - 2[HC]/x)\}}{(2 + h) \{2 + (n/m) (1 + h_d) ([CO_2]_d + [CO]_d)\} + (2 + h) (|y/x| - |n/m|) [HC] (1 + h_d)} \dots\dots\dots - (|n/m|T - 2h) \{1 - |1 + h_d| [CO]_d\}$$

#### 3.3 Correcciones debidas a interferencias

Es posible que las mediciones de CO y/o de NO<sub>x</sub> y de NO requieran correcciones para anular la interferencia ocasionada por las concentraciones de CO<sub>2</sub> y de agua, en la muestra, antes de utilizarlas en estas ecuaciones analíticas. Tales correcciones pueden normalmente expresarse de las formas generales siguientes:

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO_2]_d + M \left( \frac{h_d}{1 + h_d} \right)$$

$$[NO] = [NO]_m (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

$$\eta [NO_2] = ([NO_2]_{cm} - [NO]_m) (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

#### 3.4 Ecuación para calcular el agua de la muestra

Concentración de agua en la muestra

$$[H_2O] = \frac{(|n/2m| + h|P_0/m|) ([CO_2] + [CO] + [HC]) - (y/2x) [HC]}{1 + T(P_0/m)}$$

en la que

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h - |TZ/2|)}$$

y

$$Z = \frac{2 - [CO] - (|2/x| - |y/2x|) [HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}$$

Cabe señalar que en esta estimación es función de las lecturas de los distintos análisis de concentración, que acaso, a su vez, requieran corrección de la interferencia del agua. A fin de lograr mayor precisión, en esos casos se requirieron reiterados análisis en los que se vuelve a calcular sucesivamente la concentración de agua hasta obtener la

estabilidad requerida. Se soslaya esta dificultad utilizando el método alternativo de solución numérica (4).

#### 4. MÉTODO ALTERNATIVO: SOLUCIÓN NUMÉRICA

4.1 Como alternativa de los procedimientos analíticos resumidos en 3, es posible obtener sin mayor dificultad los índices de emisión, la relación aire/combustible, las concentraciones corregidas de humedad, etc., mediante la solución numérica de las ecuaciones (1) a (10), respecto a cada serie de mediciones, con la ayuda de una computadora digital.

4.2 En la serie de ecuaciones de (1) a (10), las mediciones efectivas de la concentración quedan sustituidas por el empleo de cualesquiera de las ecuaciones de alternativa (5A), (6A), etc., aplicadas respecto a determinado sistema de medición, a fin de tener en cuenta las correcciones de interferencia y/o las mediciones de muestras en seco.

4.3 Existe amplia disponibilidad de combinaciones bidimensionales idóneas y sencillas para resolver ecuaciones con ayuda de computadoras, y su empleo resulta conveniente y flexible a estos efectos, a fin de incorporar e identificar inmediatamente todas las posibilidades de secado de una muestra y las correcciones por interferencia u otras causas.

### ADJUNTO F DEL APÉNDICE 5. ESPECIFICACIONES EN CUANTO A LOS DATOS ADICIONALES

Como se requiere en el párrafo 3.2 de este Apéndice, además de las concentraciones medidas de los componentes de las muestras, deberán suministrarse los datos siguientes:

- a) temperatura en la boca de entrada: medida como la temperatura total en un punto distanciado un diámetro del plano de entrada del motor, con una precisión de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ;
- b) humedad en la boca de entrada (kg agua/kg aire seco): medida en un punto situado hasta 15 m, como máximo, del plano de entrada, por delante del motor, con una precisión de  $\pm 5\%$ ;
- c) presión atmosférica: medida hasta 1 km, como máximo, del lugar donde se ensaya el motor y corregida, según sea necesario, a la altitud del banco de pruebas, con una precisión de  $\pm 100$  Pa;
- d) flujo de combustible: por medición directa, con una precisión de  $\pm 2\%$ ;
- e) relación H/C del combustible: definida como  $n/m$ , en la que  $C_mH_n$  constituye la representación equivalente de los

hidrocarburos del combustible utilizado para hacer el ensayo y evaluada por referencia al análisis del tipo de combustible del motor;

- f) parámetros del motor:
  - 1) empuje: por medición directa, con una precisión de  $\pm 1\%$  al régimen de despegue y  $\pm 5\%$  a base del empuje mínimo utilizado en la prueba de homologación, con variación lineal entre esos puntos;
  - 2) velocidad(es) de rotación: por medición directa, con una precisión mínima de  $\pm 0.5\%$ ;
  - 3) flujo de aire del generador de gas: determinado con una precisión de  $\pm 2\%$ , por referencia a la calibración de performance del motor.

Los parámetros a), b), d) y f) se determinarán a cada ajuste de potencia para el ensayo de las emisiones, pero el parámetro c) deberá determinarse a intervalos mínimos de una hora, en el transcurso del periodo que requieran los ensayos de las emisiones.

## APÉNDICE 6. PROCEDIMIENTO PARA CERTIFICAR EL CUMPLIMIENTO CON RESPECTO AL HUMO Y A LAS EMISIONES GASEOSAS

### 1. GENERALIDADES

Para satisfacer los niveles reglamentarios prescritos en el Volumen II, Parte III, 2.2, 2.3, 3.2 y 3.3 del presente Anexo, se observarán los principios generales siguientes:

- a) Para las pruebas de certificación, el fabricante podrá seleccionar cualquier número de motores, incluso un solo motor, si así lo desea.
- b) La autoridad encargada de la certificación tendrá en cuenta todos los resultados obtenidos durante las pruebas de certificación.
- c) Se realizarán como mínimo tres pruebas de motor, de modo que si se somete para certificación un solo motor, éste tendrá que probarse por lo menos tres veces.
- d) Si determinado motor se prueba varias veces, el valor medio aritmético de las pruebas se considerará como valor medio de ese motor. El resultado de la certificación ( $X$ ) equivale entonces al promedio de los valores ( $X_i$ ) obtenidos respecto a cada motor probado.
- e) El fabricante facilitará a la autoridad encargada de la certificación los datos prescritos en el Volumen II, Parte III, 2.4 ó 3.4 de este Anexo, según sea el caso.
- f) Los motores sometidos a prueba tendrán las características de emisión correspondientes al tipo de motor respecto al cual se desee la certificación. No obstante, por lo menos uno de los motores responderá fundamentalmente a la norma de fabricación del tipo de motor y tendrá características de operación y de performance enteramente representativas. Uno de esos motores se declarará motor normal de referencia. Los métodos para corregir todo otro motor probado con respecto a este motor normal de referencia, deberán contar con el visto-bueno de la autoridad nacional encargada de la certificación. Los métodos para corregir los resultados de las pruebas teniendo en cuenta los efectos ambientales se describen en el párrafo 7 del Apéndice 3 o en el párrafo 7 del Apéndice 5, según corresponda.

### 2. PROCEDIMIENTO PARA CERTIFICAR EL CUMPLIMIENTO

La autoridad encargada de la certificación librará el correspondiente certificado de cumplimiento, si la media de los valores medidos y corregidos (con respecto al motor normal de referencia y en las condiciones ambientales de referencia) de todos los motores probados ( $i$ ), cuando una vez

convertida a un nivel reglamentario (L) utilizando el valor apropiado de C/L de la tabla siguiente, no excede del nivel limitador reglamentario.

*Nota.— El nivel característico del índice de humo o de las emisiones de los contaminantes gaseosos equivale a la media de los valores de todos los motores probados, medida y corregida con respecto al motor normal de referencia y a las condiciones ambientales de referencia, dividida por el coeficiente correspondiente al número de motores probados, según se indica en la tabla a continuación.*

Número de motores probados ( $i$ )	CO	HC	NO <sub>x</sub>	SN
1	0.814 7	0.649 3	0.862 7	0.776 9
2	0.877 7	0.768 5	0.909 4	0.852 7
3	0.924 6	0.857 2	0.944 1	0.909 1
4	0.934 7	0.876 4	0.951 6	0.921 3
5	0.941 6	0.889 4	0.956 7	0.929 6
6	0.946 7	0.899 0	0.960 5	0.935 8
7	0.950 6	0.906 5	0.963 4	0.940 5
8	0.953 8	0.912 6	0.965 8	0.944 4
9	0.956 5	0.917 6	0.967 7	0.947 6
10	0.958 7	0.921 8	0.969 4	0.950 2
Más de 10	$1 - \frac{0.130\ 59}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0.247\ 24}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0.096\ 78}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0.157\ 36}{\sqrt{i}}$

### 3. PROCEDIMIENTO EN CASO DE RECHAZO

*Nota.— Cuando la prueba para la certificación fracasa, esto no significa necesariamente que el tipo de motor no responda a las exigencias, sino quizás que el grado de confianza que merece a la autoridad encargada de la certificación no es suficientemente elevado, es decir, es inferior al 90%. Por consiguiente, debería permitirse al fabricante presentar pruebas adicionales de cumplimiento en cuanto al tipo de motor en cuestión.*

3.1 Si un tipo de motor no satisface la prueba para la certificación, la autoridad competente permitirá al fabricante, si éste lo solicita, realizar pruebas adicionales de los motores presentados para su certificación. Si los resultados disponibles todavía no satisfacen las exigencias de certificación, se permitirá al fabricante que pruebe cuantos

## Apéndice 6

motores adicionales desee. Luego, estos resultados se examinarán junto con todos los datos precedentes.

3.2 Si el resultado sigue siendo negativo, se permitirá al fabricante que seleccione uno o más motores para modificarlos. Se estudiarán entonces los resultados de las pruebas ya realizadas del motor (o motores) seleccionado(s) antes de ser modificado(s) y se procederá a nuevas pruebas de modo que, por lo menos, se disponga de tres de ellas. Para cada motor se determinará la media de esas pruebas, que se denominará la "media sin modificar".

3.3 Posteriormente, el motor (o motores) podrá(n) modificarse, y con el motor (o motores) modificado(s) se

## Anexo 16 — Protección del medio ambiente

realizarán por lo menos tres pruebas, cuya media se denominará, en cada caso, la "media modificada". Esta "media modificada" se comparará con la "media sin modificar" a fin de obtener un mejoramiento proporcional, que se aplicará al resultado de la prueba previa de certificación para determinar si finalmente se ha logrado el cumplimiento. Cabe señalar que antes de iniciar las pruebas de las emisiones de cualquier motor modificado, deberá determinarse si la modificación satisface las exigencias pertinentes de aeronavegabilidad.

3.4 Este procedimiento se repetirá hasta que quede demostrado el cumplimiento o se retire la solicitud de certificación del tipo de motor.

— FIN —



31/12/94

*Nota de envío*

**SUPLEMENTO DEL  
ANEXO 16 — PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**

**VOLUMEN II —  
EMISIONES DE LOS MOTORES DE LAS AERONAVES**

**(Segunda edición)**

1. El Suplemento adjunto reemplaza y anula todos los anteriores Suplementos del Anexo 16, Volumen II y comprende las diferencias notificadas por los Estados contratantes hasta el 31 de diciembre de 1994.
  2. Este Suplemento debe insertarse al final del Anexo 16, Volumen II, segunda edición. Las diferencias adicionales que envíen los Estados contratantes, se publicarán periódicamente como enmiendas del Suplemento.
-

**SUPLEMENTO DEL ANEXO 16 —  
EMISIONES DE LOS MOTORES DE LAS AERONAVES**

**Volumen II — Emisiones de los motores de las aeronaves**

**Segunda edición**

Diferencias notificadas a la OACI, de conformidad con el Artículo 38 del *Convenio sobre Aviación Civil Internacional* y la resolución del Consejo del 21 de noviembre de 1950, entre los reglamentos y métodos nacionales de los Estados contratantes y las correspondientes normas y métodos recomendados internacionales del Anexo 16, Volumen II.

DICIEMBRE DE 1994

---

ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL



**REGISTRO DE ENMIENDAS DEL SUPLEMENTO**

<i>Núm.</i>	<i>Fecha</i>	<i>Anotada por</i>	<i>Núm.</i>	<i>Fecha</i>	<i>Anotada por</i>

**ENMIENDAS DEL ANEXO 16, VOLUMEN II, ADOPTADAS O APROBADAS POR EL CONSEJO CON POSTERIORIDAD A LA SEGUNDA EDICIÓN, PUBLICADA EN JULIO DE 1993**

<i>Núm.</i>	<i>Fecha de adopción o aprobación</i>	<i>Fecha de aplicación</i>	<i>Núm.</i>	<i>Fecha de adopción o aprobación</i>	<i>Fecha de aplicación</i>

### 1. Estados contratantes que han notificado diferencias a la OACI

Los Estados contratantes que figuran a continuación han notificado a la OACI las diferencias que existen entre sus reglamentos y métodos nacionales y las normas y métodos recomendados internacionales del Anexo 16, Volumen II, segunda edición, o han enviado comentarios con respecto a su aplicación.

Los números de páginas indicados para cada Estado y las fechas de publicación de dichas páginas corresponden a las páginas de este Suplemento.

<i>Estado</i>	<i>Fecha de notificación</i>	<i>Páginas del Suplemento</i>	<i>Fecha de publicación</i>
Arabia Saudita	16/7/93	1	31/12/94
Federación de Rusia	30/9/93	1	31/12/94
Francia	18/11/93	1	31/12/94
Nueva Zelanda	19/10/93	1	31/12/94
Países Bajos, Reino de los	3/11/93	1	31/12/94
Qatar	22/6/93	1	31/12/94
Vanuatu	2/8/93	1	31/12/94

### 2. Estados contratantes que han notificado a la OACI que no existen diferencias

<i>Estado</i>	<i>Fecha de notificación</i>	<i>Estado</i>	<i>Fecha de notificación</i>
Alemania	30/9/93	Irlanda	10/10/93
Argentina	2/9/93	Islandia	31/10/94
Australia	2/8/93	Jordania	17/10/93
Austria	26/7/93	Lituania	30/6/93
Barbados	9/6/93	Noruega	13/10/93
Canadá	13/7/93	Polonia	30/9/93
Chile	26/10/93	Portugal	12/1/94
Chipre	8/7/93	Singapur	16/9/93
Dinamarca	12/10/93	Turquía	24/6/93
Egipto	25/7/93	Uganda	13/5/93
Fiji	12/7/93	Uruguay	19/10/93
Finlandia	28/4/93		

## 3. Estados contratantes de los que no se ha recibido información

Afganistán	Grecia	Níger
Albania	Guatemala	Nigeria
Angola	Guinea	Omán
Antigua y Barbuda	Guinea-Bissau	Pakistán
Argelia	Guinea Ecuatorial	Panamá
Armenia	Guyana	Papua Nueva Guinea
Azerbaiyán	Haití	Paraguay
Bahamas	Honduras	Perú
Bahrein	Hungría	Reino Unido
Bangladesh	India	República Árabe Siria
Belarús	Indonesia	República Centroafricana
Bélgica	Irán, República Islámica del	República Checa
Belice	Iraq	República de Corea
Benin	Islas Cook	República Democrática Popular Lao
Bhután	Islas Marshall	República de Moldova
Bolivia	Islas Salomón	República Dominicana
Bosnia y Herzegovina	Israel	República Popular Democrática de Corea
Botswana	Italia	República Unida de Tanzania
Brasil	Jamahiriyá Árabe Libia	Rumania
Brunei Darussalam	Jamaica	Rwanda
Bulgaria	Japón	San Marino
Burkina Faso	Kazajistán	Santa Lucía
Burundi	Kenya	Santo Tomé y Príncipe
Cabo Verde	Kirguistán	San Vicente y las Granadinas
Camboya	Kiribati	Senegal
Camerún	Kuwait	Seychelles
Colombia	La ex República Yugoslava de Macedonia	Sierra Leona
Comoras	Lesotho	Somalia
Congo	Letonia	Sri Lanka
Costa Rica	Líbano	Sudáfrica
Côte d'Ivoire	Liberia	Sudán
Croacia	Luxemburgo	Suecia
Cuba	Madagascar	Suiza
Chad	Malasia	Suriname
China	Malawi	Swazilandia
Djibouti	Maldivas	Tailandia
Ecuador	Mali	Tayikistán
El Salvador	Malta	Togo
Emiratos Árabes Unidos	Marruecos	Tonga
Eritrea	Mauricio	Trinidad y Tabago
Eslovaquia	Mauritania	Túnez
Eslovenia	México	Turkmenistán
España	Micronesia, Estados Federados de	Ucrania
Estados Unidos	Mónaco	Uzbekistán
Estonia	Mongolia	Venezuela
Etiopía	Mozambique	Viet Nam
Filipinas	Myanmar	Yemen
Gabón	Namibia	Zaire
Gambia	Nauru	Zambia
Georgia	Nepal	Zimbabwe
Ghana	Nicaragua	
Granada		

## 4. Párrafos con respecto a los cuales se han notificado diferencias

<i>Párrafo</i>	<i>Diferencias notificadas por</i>	<i>Párrafo</i>	<i>Diferencias notificadas por</i>
Generalidades	Arabia Saudita Federación de Rusia Nueva Zelandia Países Bajos, Reino de los Qatar Vanuatu	Capítulo 2 Generalidades	Francia
		Capítulo 3 Generalidades	Francia

**Generalidades**    Todavía no se han establecido normas relativas al control de las emisiones de los motores de las aeronaves para el Reino de Arabia Saudita.

---

**Generalidades** Actualmente se están preparando en la Federación de Rusia nuevas normas nacionales (reglamentación aeronáutica) en cuanto al ruido local de las aeronaves, teniendo en cuenta las disposiciones del Anexo 16, Volumen II, incluyendo la Enmienda 2. Se ha previsto que esa reglamentación entre en vigor en los próximos seis meses, después de lo cual la Federación de Rusia presentará la notificación requerida de diferencias.

---

**Capítulo 2**

**Generalidades** Los nuevos motores certificados en Francia cumplen con las condiciones de emisión estipuladas en los Capítulos 2 y 3 del Anexo 16, Volumen II. Hasta la fecha, Francia todavía no está expidiendo certificados respecto a las emisiones ni se hace referencia explícita a esas especificaciones técnicas en su reglamentación.

**Capítulo 3**

**Generalidades** Los nuevos motores certificados en Francia cumplen con las condiciones de emisión estipuladas en los Capítulos 2 y 3 del Anexo 16, Volumen II. Hasta la fecha, Francia todavía no está expidiendo certificados respecto a las emisiones ni se hace referencia explícita a esas especificaciones técnicas en su reglamentación.

---

**Generalidades** Nueva Zelandia no certifica aeronaves con respecto a la prevención de la purga voluntaria de combustible. Nueva Zelandia no se encarga en sí de la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves.

---



**Generalidades** Las normas sobre emisiones de los motores no son aplicables. El Ministerio del Medio Ambiente es responsable de establecer normas para emisiones. Se han iniciado conversaciones entre el Ministerio de Transporte y el Ministerio del Medio ambiente sobre la legislación.

---

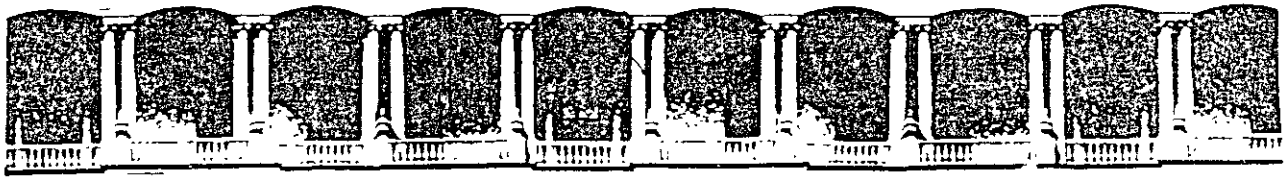
**Generalidades** Actualmente el Estado de Qatar no cuenta con reglamentación de las emisiones de los motores de aeronaves ni puede darse todavía una fecha específica en cuanto a la incorporación de las disposiciones de la OACI en la reglamentación nacional.

---

**Generalidades** - Si bien no desaprobamos ninguna de las enmiendas, no podemos indicar si habrá o no diferencias en determinada fecha entre la reglamentación de Vanuatu y las disposiciones del Anexo 16, Volumen II.

La Dirección de Aviación Civil de Vanuatu se ha reestructurado y se prevé que como consecuencia, en unos doce meses se dispondrá de los expertos necesarios para comenzar a redactar la Reglamentación de aviación civil de Vanuatu. Se tratará de armonizar nuestra reglamentación nuevamente para aplicar las normas de la OACI con otros Estados de la región.

A medida que se revise cada parte de nuestra reglamentación les informaremos de toda diferencia que pueda haber entre nuestros reglamentos nacionales y las normas de la OACI.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES  
XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍA DE AEROPUERTOS**

Del 31 de agosto al 30 de octubre.

Módulo II

PROYECTO DE AEROPUERTOS

*Tema: Manual de Diseño de Aeródomos  
Parte 4  
"Ayudas Visuales"*

Palacio de Minería  
1998.

# MANUAL DE DISEÑO DE AERÓDROMOS



## PARTE 4 AYUDAS VISUALES

TERCERA EDICIÓN — 1993

*Aprobado por el Secretario General  
y publicado bajo su responsabilidad*

ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL

# **Manual de diseño de aeródromos**

(Doc 9157-AN/901)

## **Parte 4**

### **Ayudas visuales**

Tercera edición — 1993





## PREÁMBULO

El diseño e instalación adecuados de las ayudas visuales constituyen un prerrequisito indispensable para la seguridad y la regularidad de la aviación civil. Por consiguiente, se incluyen en este manual textos de orientación sobre las características de las ayudas visuales utilizadas en los aeropuertos.

Los temas más importantes de los que trata este manual son los siguientes:

- a) un análisis general acerca de los requisitos funcionales de las ayudas visuales terrestres (Capítulo 1);
- b) antecedentes sobre las características de las luces de pista para aproximaciones de precisión (Capítulo 4);
- c) orientación sobre el emplazamiento y las características fotométricas de los sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación (Capítulo 8);
- d) orientación sobre los componentes de las ayudas visuales para los sistemas de guía y control del movimiento en la superficie (Capítulos 10 y 11);
- e) características sobresalientes de algunas clases de sistemas de guía visual para el atraque (Capítulo 12);
- f) orientación sobre la iluminación con proyectores en la plataforma (Capítulo 13); y
- g) orientación sobre el uso de luces de obstáculos de gran intensidad (Capítulo 14).

Gran parte de estos textos está íntimamente relacionada con las especificaciones que figuran en el Anexo 14 — *Aeródromos, Volumen I — Diseño y operaciones de aeródromos*. El objetivo de este manual es el de prestar asistencia a los Estados en el cumplimiento de estas especificaciones y de este modo ayudarles a que se apliquen uniformemente.

Se desea mantener actualizado este manual. Las ediciones futuras mejorarán a base de la tarea del Grupo de expertos sobre ayudas visuales de la OACI, así como con la experiencia obtenida y por los comentarios y sugerencias recibidos de los usuarios del mismo. Por lo tanto, se ruega a los lectores a que den a conocer sus opiniones, comentarios y sugerencias sobre esta edición dirigiéndose para ello al Secretario General de la OACI.



# Índice

Página

Página

<b>Capítulo 1. Requisitos funcionales de las ayudas visuales terrestres.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	1
1.2 Factores operacionales .....	1
1.3 Requisitos operacionales .....	9
1.4 Servicios que las ayudas visuales y las referencias visuales prestan a los pilotos.....	11

<b>Capítulo 2. Señales y balizas de superficie .....</b>	<b>23</b>
2.1 Señales en las pendientes situadas inmediatamente por delante de los extremos de las pistas .....	23
2.2 Nuevas señales de márgenes pavimentados .....	24
2.3 Señales de plataforma.....	24
2.4 Balizas de calle de rodaje .....	32

<b>Capítulo 3. Área de señales y paneles de señalización .....</b>	<b>34</b>
3.1 Generalidades .....	34
3.2 Diseño .....	34

<b>Capítulo 4. Características de los sistemas de iluminación de pistas para aproximaciones de precisión de las Categorías I, II y III y de calles de rodaje .....</b>	<b>36</b>
4.1 Factores que determinan los requisitos en cuanto a distribución de la luz .....	36
4.2 Envoltentes de trayectorias de vuelo .....	36
4.3 Requisitos operacionales e hipótesis .....	36
4.4 Procedimientos operacionales para las Categorías IIIA y IIIB .....	37
4.5 Análisis del diseño de los sistemas de iluminación .....	37
4.6 Especificaciones para el sistema de iluminación.....	38

<b>Capítulo 5. Reglaje de la intensidad luminosa .....</b>	<b>42</b>
--	-----------

<b>Capítulo 6. Sistema de luces de entrada a la pista .....</b>	<b>49</b>
---	-----------

<b>Capítulo 7. Luces de guía para el vuelo en circuito .....</b>	<b>51</b>
7.1 Introducción .....	51
7.2 Requisitos de iluminación .....	51

<b>Capítulo 8. Sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación .....</b>	<b>53</b>
8.1 Generalidades .....	53
8.2 VASIS y VASIS de 3 BARRAS .....	54
8.3 T-VASIS .....	64
8.4 PAPI.....	74

<b>Capítulo 9. Iluminación de pistas y de calles de rodaje .....</b>	<b>84</b>
9.1 Luces empotradas .....	84
9.2 Luces de borde de calle de rodaje — Efecto denominado "mar azul".....	86
9.3 Luces de calle de salida .....	86

<b>Capítulo 10. Sistemas de guía y control del movimiento en la superficie .....</b>	<b>89</b>
10.1 Generalidades .....	89
10.2 Ayudas visuales que forman parte de un sistema SMGC .....	89

<b>Capítulo 11. Letreros de guía para el rodaje.....</b>	<b>98</b>
11.1 Generalidades .....	98
11.2 Letreros obligatorios .....	98
11.3 Letreros de información .....	98

<b>Capítulo 12. Sistemas de guía visual para estacionamiento y para atraque .....</b>	<b>106</b>
12.1 Introducción.....	106
12.2 Luces de guía para maniobras en el puesto de estacionamiento de aeronaves .....	106
12.3 Sistemas de guía visual para el atraque.....	106

<b>Capítulo 13. Iluminación de plataformas con proyectores.....</b>	<b>116</b>
13.1 Introducción.....	116
13.2 Funciones de la iluminación de la plataforma con proyectores .....	116
13.3 Requisitos en cuanto a la eficacia de los sistemas.....	116
13.4 Criterios de diseño .....	117

**Capítulo 14. Luces de obstáculos de gran intensidad** ..... 124

14.1 Introducción ..... 124

14.2 Obstáculos aislados ..... 124

14.3 Obstáculos complejos ..... 125

14.4 Cálculos de potencia eléctrica ..... 127

14.5 Percepción de los obstáculos ..... 128

14.6 Vigilancia y mantenimiento ..... 128

14.7 Instalación de luces de obstáculo sobre cables suspendidos de alta tensión ..... 128

**Capítulo 15. Frangibilidad de los dispositivos de sujeción y montaje de las ayudas visuales** ..... 130

15.1 Generalidades ..... 130

15.2 Luces elevadas de borde de pista, de umbral, de extremo de pista, de zona de parada y de borde de calle de rodaje ..... 130

15.3 Sistema de iluminación de aproximación ..... 130

15.4 Otras ayudas ..... 131

**Apéndice 1. Requisitos operacionales aplicables a los sistemas de guía visual para el atraque con la proa hacia adentro** ..... 133

**Apéndice 2. Requisitos operacionales aplicables a los sistemas de guía visual para el estacionamiento** ..... 134

**Apéndice 3. Selección, aplicación y remoción de las pinturas** ..... 135

**Apéndice 4. Procedimientos de reglaje diurno de la intensidad luminosa** ..... 139

**Apéndice 5. Método utilizado para las presentaciones gráficas de las Figuras 5-1 a 5-3** ..... 146

# Capítulo 1. REQUISITOS FUNCIONALES DE LAS AYUDAS VISUALES TERRESTRES

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo tiene por objeto proporcionar al personal técnico una idea general del modo en que el piloto al mando utiliza y depende de las ayudas y referencias visuales para realizar la aproximación, el aterrizaje y las operaciones en las superficies de los aeropuertos. La información proporcionada se presenta solamente a título de ilustración y no implica necesariamente que la OACI haya aprobado o dado su apoyo a los métodos y procedimientos operacionales descritos. Respecto a los procedimientos y métodos operacionales detallados que actualmente están en vigor, deben consultarse los documentos pertinentes en materia de operaciones y de instrucción.

## 1.2 FACTORES OPERACIONALES

### El problema del piloto

1.2.1 Los seres humanos son parte del reino animal que se mueve predominantemente en dos dimensiones. Desde el momento en que comenzamos a gatear, interpretamos las referencias visuales y utilizamos nuestro sentido del equilibrio para desplazarnos sobre la superficie de la tierra. Este proceso de aprendizaje largo y gradual continúa cuando más tarde nos hacemos cargo de diversos tipos de transporte mecánico, sobre el terreno o sobre el agua, momento en el que ya hemos acumulado años de experiencia a la que podemos recurrir. En cuanto despegamos y nos movemos en el aire adquirimos libertad de movimiento en una tercera dimensión y apenas nos sirven los años de experiencia adquirida en resolver problemas en dos dimensiones.

1.2.2 Para el mando de una aeronave en vuelo contamos con dos procedimientos — el piloto automático y los medios manuales. Las referencias visuales necesarias para el mando manual las obtiene el piloto ya sea en el tablero de instrumentos, con apreciaciones que le proporciona el sistema director de vuelo, ya sea del mundo exterior, sirviéndose únicamente de sus propias apreciaciones respecto a referencias visuales. Para este último método, se supone que la visibilidad es adecuada y que se distingue claramente la línea del horizonte que puede ser la del horizonte real o la de un horizonte aparente que se infiere a partir de las pendientes observadas en la superficie de la tierra con su relieve y detalles.

1.2.3 Con mucho, las tareas más difíciles al pilotar una aeronave por medios visuales son las de "enfilar la pista" en la aproximación y la de "ver tierra" en la subsiguiente maniobra de aterrizaje. Durante la aproximación, no solamente debe controlarse cuidadosamente la velocidad, sino que al mismo tiempo deben aplicarse correcciones continuas en las tres dimensiones para seguir la trayectoria de vuelo correcta. Esta trayectoria puede definirse como la línea de intersección de dos planos perpendiculares, el plano vertical que contiene la prolongación del eje de la pista y otro plano que contiene la pendiente de aproximación.

1.2.4 La introducción de los motores de reacción ha dificultado aún más la maniobra de mantener una pendiente precisa de aproximación, sin la ayuda de los sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación. Las antiguas aeronaves con motor de hélice respondían casi instantáneamente a un aumento de la potencia; la circulación de aire a más velocidad por encima de las alas, como consecuencia de aumentar las revoluciones por minuto de las hélices, proporcionaba un aumento inmediato de la sustentación. Los motores de reacción no sólo responden con más lentitud a una variación del reglaje del mando de gases, sino que además, esto no influye directamente en la circulación del aire por encima del ala. No se producirá ningún aumento de la sustentación mientras no se haya acelerado la totalidad de la masa de la aeronave después de un aumento del empuje.

1.2.5 Es esencial que la aeronave cruce el umbral de la pista con un margen suficiente de altura y de velocidad. Para una toma de contacto suave deben reducirse simultáneamente la velocidad aerodinámica y la velocidad vertical de descenso durante la maniobra denominada de enderezamiento, de forma que las ruedas tomen contacto con la pista inmediatamente antes o en el momento de entrar en pérdida.

1.2.6 Después de la toma de contacto el piloto continúa necesitando guía direccional para mantener la aeronave en el centro o cerca del centro de la pista (a velocidades de toma de contacto que a menudo exceden de 255 km/h, es decir de 138 kt). El piloto necesita también información para poder evaluar la longitud restante de pista y, cuando la aeronave haya disminuido suficientemente la velocidad, un aviso anticipado de salida conveniente de la pista, con su anchura claramente delimitada si no se dispone de luces de eje de calle de rodaje.

1.2.7 Una vez fuera de la pista, el piloto debe conducir un vehículo, decididamente de difícil manejo, a lo largo de un verdadero laberinto de calles de rodaje hasta el puesto

adecuado de estacionamiento/atraque, en una plataforma que frecuentemente estará congestionada. El piloto debe recibir indicaciones claras del camino que ha de seguir y debe impedirse que cruce pistas en uso y estar protegido frente a aeronaves y vehículos que circulen por las calles de rodaje.

1.2.8 Si examinamos el caso más crítico, el de los reactores de gran tamaño, el piloto que efectúa el rodaje tiene que conducir uno de los triciclos más grandes, más pesados y más ineficaces en cuanto al mando del motor que se haya fabricado jamás. El piloto está sentado a una altura no inferior a 6 m por encima del terreno y el punto más cercano por delante que puede verse está aproximadamente a más de 12 m. La rueda orientable de morro está varios metros por detrás del asiento del piloto en el puesto de pilotaje (lo que trae consigo problemas especiales al maniobrar en una curva), mientras que los bogies de las ruedas principales están por lo menos a 27 m por detrás. Por supuesto, que no hay "transmisión directa" hacia estas ruedas y debe utilizarse el empuje de los motores de reacción que son notoriamente ineficaces a estas lentas velocidades de avance. Al igual que en muchos reactores modernos de alas en flecha (sea cual sea su tamaño), resulta a menudo imposible que el piloto alcance a ver los extremos de las alas desde el puesto de pilotaje.

1.2.9 En la Sección 1.4 se describe detalladamente la forma en que las ayudas visuales satisfacen todos los diversos requisitos operacionales esbozados en los párrafos precedentes.

### Las cuatro C

1.2.10 Cuatro sistemas principales caracterizan el sistema completo de iluminación de aeropuerto que ha evolucionado durante un largo período a partir de los programas de investigación y desarrollo y de la experiencia práctica sobre el terreno. Por conveniencia, estos elementos se conocen como las cuatro C — configuración, color, candelas y cobertura. La configuración y el color proporcionan información esencial para orientarse dinámicamente en tres dimensiones. La configuración proporciona información de guía y el color informa al piloto acerca de la posición de la aeronave dentro del sistema. Las candelas y la cobertura se refieren a características luminosas que son esenciales para la función adecuada de la configuración y del color. Un piloto competente estará familiarizado con la configuración y el color de los sistemas y estará también enterado de la modificación de las candelas que acompaña a un aumento o disminución de la intensidad luminosa. Estos cuatro elementos se aplican, con un grado elevado de variación, a todos los sistemas de iluminación de aeropuerto, dependiendo de factores tales como la utilización del aeropuerto y las condiciones de visibilidad en las que se prevea que hayan de realizarse operaciones, y todos ellos se examinan en los párrafos siguientes.

#### Configuración

1.2.11 Esta característica se relaciona con el emplazamiento de los diversos componentes y con el espaciado de

las luces y de las señales dentro del sistema. Las luces están distribuidas en hileras y en columnas, transversalmente y longitudinalmente, respecto al eje de la pista, mientras que señales de pista pintadas están alineadas únicamente en sentido longitudinal con el eje de la pista. (La ilusión de acortar que ofrecen las señales transversales a ángulos de aproximación, hace impracticable su utilización.)

1.2.12 El espaciado de las luces depende en primer lugar de que éstas estén dispuestas en sentido longitudinal o transversal. Es evidente que la vista en perspectiva de los sistemas de ayudas visuales, por parte del piloto, hace que las luces muy espaciadas en sentido longitudinal produzcan un "efecto lineal". Por otro lado, las luces en una hilera transversal deben estar muy juntas para que proporcionen un "efecto lineal". Otro factor que influye en el espaciado de las luces es el de las condiciones de visibilidad en las que ha de utilizarse el sistema. Si las operaciones tienen lugar en condiciones de escasa visibilidad, se requiere menor espaciado, especialmente en sentido longitudinal, para proporcionar adecuadas referencias visuales con un alcance visual restringido.

1.2.13 El emplazamiento de las luces de borde de pista, de las luces de umbral y de las luces de extremo de pista nunca ha planteado problemas, ya que su misma designación indica el emplazamiento. Sin embargo, el emplazamiento de las luces de umbral es hasta cierto punto complicado en el caso de umbral de pista desplazado. El problema se resolvió al mejorarse el sistema de luces semiempotradas y actualmente es posible emplazar las luces de umbral de pista desplazado en una configuración estándar, en el mismo pavimento de pista. Ha variado muy poco el espaciado de las luces de borde de pista, desde que éstas comenzaron a iluminarse, puesto que la guía visual primaria, en condiciones de escasa visibilidad, ya no la proporcionan las luces de borde de pista sino los nuevos sistemas perfeccionados de luces de eje de pista y de luces de zona de toma de contacto.

1.2.14 Aunque las luces de pista han evolucionado sin muchas complicaciones, la investigación y desarrollo de las luces de aproximación ha llevado a importantes diferencias en diversos Estados, en cuanto al emplazamiento y al espaciado de los sistemas de iluminación. Al estudiar las operaciones en pistas para aproximaciones de precisión de la Categoría II, se convino en que una configuración normalizada sería por lo menos necesaria a lo largo de 300 m antes del umbral. Se logró este objetivo mediante un programa de colaboración entre varios Estados de la OACI.

#### Color

1.2.15 La función de las señales luminosas de color consiste en identificar los diversos sistemas de iluminación de aeródromo, impartir instrucciones o información y aumentar su perceptibilidad. Por ello, las luces de borde de pista son de color blanco, y las luces de borde de calle de rodaje son de color azul; se utilizan señales rojas, blancas y verdes en lámparas de señalización de tráfico para dar instrucciones.

tránsito terrestre y aéreo; y las luces rojas de obstáculos se ven mejor sobre un fondo de luces blancas que las luces de otros colores, además de que el color rojo sirve también para advertir la presencia de un peligro.

1.2.16 Si bien es posible distinguir muchos colores, cuando las superficies coloreadas son de suficiente magnitud para percibirlos como un todo, sólo pueden distinguirse cuatro señales luminosas de colores distintos cuando las luces se ven aisladamente como fuentes "puntiformes".

1.2.17 Seleccionando adecuadamente los límites de los colores, pueden distinguirse bien los colores rojo, blanco o amarillo, verde y azul. El blanco puede distinguirse del amarillo únicamente:

- a) si las luces de los dos colores se muestran simultáneamente en partes adyacentes del mismo sistema de señalización; o
- b) si el color blanco y el amarillo se muestran como fases sucesivas de la misma señal (p.ej., destellos alternados de blanco y de amarillo en el faro de un hidroaeródromo); o
- c) si la señal es de una dimensión apreciable que no parezca ser una fuente puntiforme.

Del mismo modo, puede distinguirse una señal rosa del VASIS porque las otras señales son de color rojo o blanco. Debido a las limitaciones inherentes a la distinción entre colores, éstos tienen más de un significado, y la necesaria diferenciación entre uno y el otro se obtiene mediante el emplazamiento y la configuración de las luces de colores. Así pues, el verde se utiliza para las luces de umbral, para las luces de eje de calle de rodaje, y como señal de "siga" en la lámpara de señalización y en las luces de control del tránsito. Al elaborar los sistemas de iluminación de aeródromo, deben tenerse en cuenta las luces de navegación y las luces anticollisión de las aeronaves, ya que éstas podrían dar lugar a problemas de identificación, al confundirse con algunas de las ayudas luminosas terrestres.

1.2.18 Las luces de color se obtienen ordinariamente utilizando una fuente incandescente de tungsteno junto con un filtro de luz apropiado. Este filtro es corrientemente de vidrio y puede ser un componente que se añade al dispositivo luminoso que de no ser así proporcionaría una señal blanca, o puede ser parte integrante del sistema óptico del dispositivo. En ambos casos, el filtro actúa eliminando luces de longitud de onda no deseada y no añadiendo luces de la longitud de onda deseada. Además se suprime parte de la intensidad de luz de la longitud de onda deseada. Por lo tanto, la densidad de la luz de color es inferior a la de un dispositivo diseñado para emitir luz blanca. La intensidad de las señales de color se expresa en porcentajes aproximados de la intensidad posible de la señal blanca: 40% aproximadamente para el color amarillo, 20% para los colores rojo y verde y 2% para el azul.

1.2.19 Sin embargo, debe señalarse que el umbral de iluminancia de la luz roja es aproximadamente la mitad del umbral de iluminancia de la luz blanca y que, por lo tanto, la intensidad efectiva de la luz roja, obtenida al insertar un filtro rojo delante de una luz blanca, es superior al porcentaje anteriormente indicado. Por ejemplo, un filtro rojo con una transmitancia del 20% disminuye la intensidad efectiva en un 40% y no en un 20% de la intensidad de la luz blanca.

*Candelas*

1.2.20 Lo que determina que una luz pueda alcanzar a verse es la iluminación producida por dicha luz en el ojo del observador. La iluminación que una fuente luminosa de intensidad *I*, medida en candelas, produce a una distancia *V*, en una atmósfera de transmisibilidad (transmitancia por unidad de distancia) *T* viene dada por la ley de Allard:

$$E = \frac{IT^V}{V^2}$$

Si la iluminancia es igual a *E<sub>c</sub>*, iluminancia mínima perceptible, la luz es justamente visible y *V* es el alcance visual de la luz. Los valores de la iluminancia mínima perceptible que han de utilizarse para determinar el alcance visual que se dan en el Anexo 3, Adjunto C, son los siguientes:

	Umbral de iluminación	
	(lux)	candelas-km
Noche	$8 \times 10^{-7}$	0.8
Valor intermedio	$10^{-5}$	10
Día normal	$10^{-4}$	100
Día luminoso (niebla con el sol)	$10^{-3}$	1 000

1.2.21 la Figura 1-1 se muestra la relación entre la transmisibilidad, *T*, la distancia *V* y la razón de intensidad a iluminancia *I/E*. La intensidad de las luces utilizadas para iluminación de aeródromo varía en la gama de 10 candelas a 2 000 000 de candelas. La transmisibilidad de la atmósfera sufre considerables variaciones, fluctuando entre más de 0.95 por kilómetro, en tiempo muy despejado, a menos de  $10^{-30}$  con niebla densa.

1.2.22 Según se observa en la Figura 1-1, en condiciones de tiempo despejado, una luz ha de verse desde una gran distancia. Consideremos, por ejemplo, las condiciones nocturnas en las cuales la transmisibilidad sea de 0.90 por kilómetro. En tal caso, para una luz de una intensidad de 80 candelas, el valor de *I/E* sería de 80/0.8 o de 100, y el alcance visual sería aproximadamente de 7 km. Sin embargo, en presencia de niebla se acusa el efecto de la ley del rendimiento decreciente, a distancias relativamente cortas. Por ejemplo, si la transmitancia fuera del  $10^{-20}$  por kilómetro (niebla densa), una luz de una intensidad de 80 candelas sería visible a unos 0.17 km, y una luz de una intensidad de 80 000 candelas podría verse solamente a una distancia

aproximada de 0,3 km. Por lo tanto, es con frecuencia imposible que las luces de borde de pista proporcionen suficiente guía en condiciones de la Categoría II y III a base de aumentar la intensidad de las luces, diseñadas para ser utilizadas en condiciones de tiempo despejado. Se requiere modificar la configuración y disminuir el espaciado. Por lo tanto, se añadieron al sistema de iluminación de la pista las luces de zona de toma de contacto y las luces de eje de pista poco espaciadas a fin de que disminuyeran las distancias a las que era preciso que las luces fueran visibles.

1.2.23 Otra característica de la atmósfera que debe tenerse presente es la marcada diferencia en la apariencia de las luces, como consecuencia de la transmitancia atmosférica, por ejemplo, una luz de 80 000 candelas que solamente podría alcanzar a verse a una distancia de 0,3 km cuando la transmisibilidad es de  $10^{-20}$  por kilómetro, produciría una iluminación un millón de veces superior a la necesaria para ser apenas visible con cielo completamente despejado. En este caso sería necesario disminuir la intensidad de la luz. Pero si incluso se disminuyera la intensidad a 0,1% de su valor máximo, sería aún mucho mayor de lo deseado. Por lo tanto,

si bien es necesario atenuar las luces de alta intensidad y las luces de pista, esto no puede contrarrestar por completo los efectos de las variaciones en la transmitancia atmosférica.

### Cobertura

1.2.24 Las primeras luces aeronáuticas de superficie eran lámparas sencillas, o lámparas sencillas cubiertas de vidrio transparente. La luz emitida tenía esencialmente la misma intensidad en todas las direcciones. A medida que se dejó sentir la necesidad de disponer de mayor intensidad, se pusieron en servicio luces con reflectores, lentes o prismas. Dirigiendo la emisión de la luz solamente hacia las direcciones en que ésta era necesaria se aumentó la intensidad en las direcciones deseadas sin que aumentara el consumo de energía. Además, se redujo el deslumbramiento molesto que causan las luces cercanas, orientando parte de la luz emitida, en las direcciones en las que se ve solamente a distancias muy cortas, hacia las direcciones en las que se ven a mayores distancias en condiciones mejores de visibilidad. Cuanto más estrecho es el haz producido por el sistema óptico, mayor es la intensidad de la luz dentro del haz.

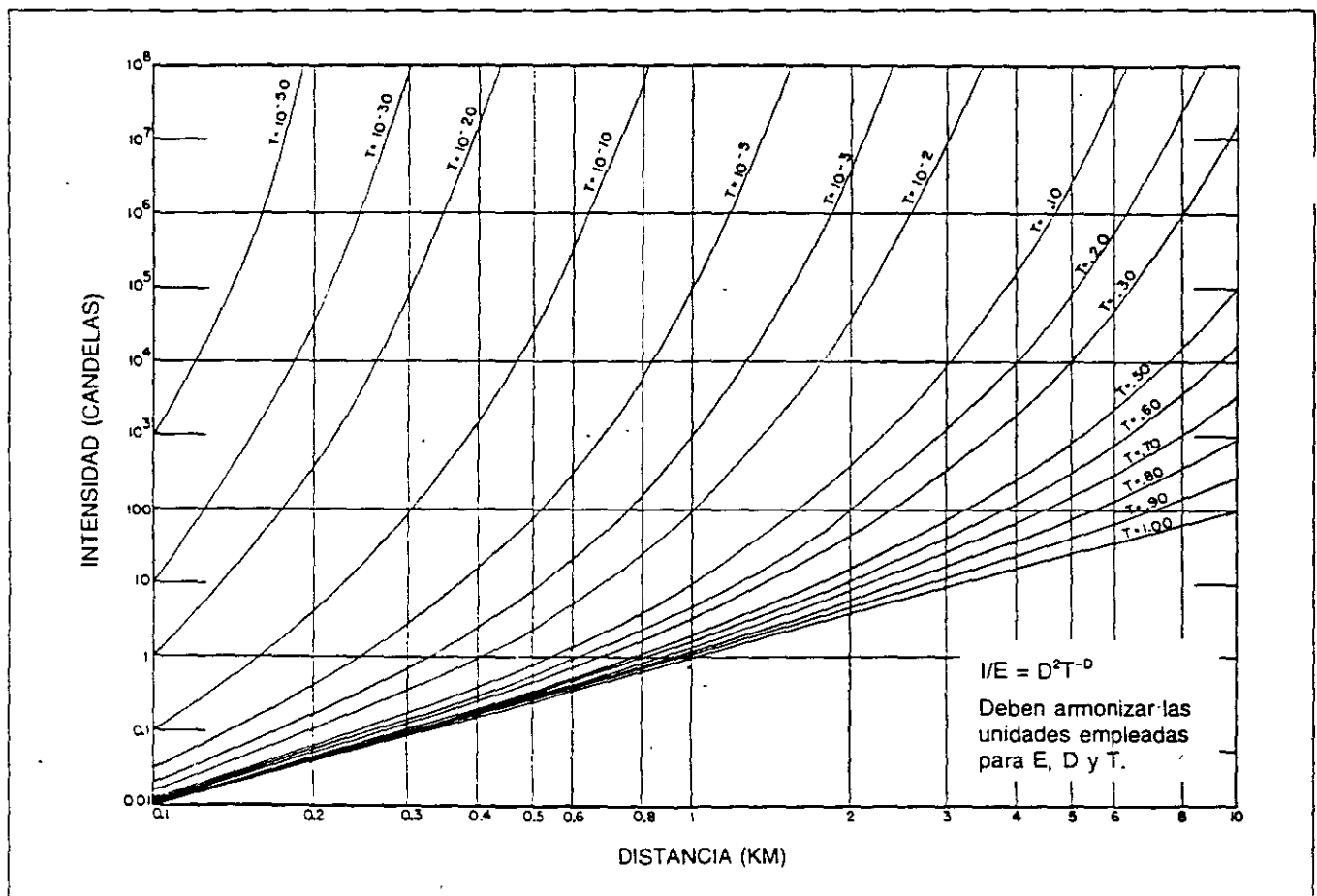


Figura 1-1. Intensidad requerida para obtener una iluminación de valor unitario en función de la distancia, para diversos valores de transmisibilidad de la atmósfera

1.2.25 Teóricamente es posible diseñar un sistema óptico para proporcionar una luz tal que, en una determinada línea fija de aproximación y para un determinado valor de transmisibilidad atmosférica, la intensidad máxima del haz luminoso se dirija hacia el punto desde el cual la luz sea vista por primera vez. A medida que disminuya la distancia entre la aeronave y la luz, disminuye la intensidad en la dirección de la aeronave, de forma que el brillo de la luz se mantenga constante. (Se excluyen las trayectorias orientadas directamente hacia la luz.) Así pues, es posible diseñar un faro de forma tal, que para determinado valor de la transmisibilidad atmosférica, los destellos tengan un brillo constante para una aeronave que vuele hacia el faro a una altura fija sobre éste. Con tal diseño se reduce al mínimo la energía necesaria para obtener el alcance visual deseado. Sin embargo, las aeronaves no siguen una sola trayectoria ni vuelan en las mismas condiciones de visibilidad. Por lo tanto, es necesario que al diseñar la configuración de los haces para las luces aeronáuticas de superficie se cubra toda la gama de trayectorias y de valores de la transmisibilidad atmosférica.

1.2.26 Estos principios se han tomado en consideración al determinar la anchura de haz de las luces especificadas en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2.

1.2.27 Debe señalarse que cuando se modifican los requisitos operacionales, es habitualmente necesario modificar el diseño del haz luminoso a fin de obtener un rendimiento máximo. Por ejemplo, con el advenimiento de las aeronaves de reacción, se hizo necesario que las luces de los faros aeronáuticos pudieran verse desde altitudes de hasta 9-000 m. No era suficiente una sencilla elevación del haz del faro, ya que con ello hubiera disminuido notablemente la cobertura a las altitudes a las que vuelan las pequeñas aeronaves de hélice, según se indica en la Figura 1-2, curvas a y b. En lugar de ello, a base de modificar el diseño de las lámparas, aumentó la abertura vertical del haz del faro, para proporcionar la cobertura indicada mediante la curva c. Análogamente, es necesario modificar la abertura de haz de las luces de aproximación y de pista, diseñadas para operaciones de la Categoría I, si se desea obtener la cobertura deseada en operaciones de la Categoría II y especialmente de la Categoría III.

#### El elemento humano al interpretar las ayudas visuales terrestres

1.2.28 Son muchos los factores que determinan la forma en que los pilotos reaccionan efectivamente ante las ayudas visuales, es decir, la forma en que captan, comprenden y actúan al observar determinados elementos de guía y de información durante una aproximación. Aunque no es posible examinar en todos los problemas la relación de causa a efecto, en lo que sigue se analizan los aspectos relacionados con el diseño de los sistemas y con las referencias visuales dentro del medio ambiente, así como la posibilidad de errores del piloto durante las operaciones de aproximación y de aterrizaje.

#### Normalización de los sistemas

1.2.29 El piloto siempre ve en perspectiva el sistema de luces de aproximación y de pista, nunca en planta, y solamente en condiciones meteorológicas ideales tendrá a la vista la totalidad del sistema. El piloto, al proseguir a lo largo de la trayectoria de aproximación, tiene frecuentemente que interpretar la guía que le proporciona "un tramo visual en movimiento" de luces que se desplazan hacia abajo por su parabrisas. La longitud de este tramo varía en función de la altura de la aeronave y del alcance visual oblicuo desde el puesto de pilotaje (véase la Figura 1-3). Es realmente muy limitada la información que el piloto puede captar, a base de una longitud relativamente corta de la configuración de luces de aproximación, que observa a gran velocidad en condiciones de visibilidad reducida. Puesto que sólo se dispone de unos pocos segundos para ver y reaccionar a las ayudas visuales, en condiciones de escasa visibilidad, es de suma importancia que la configuración de las luces sea, además de sencilla, normalizada.

#### Diferencias personales

1.2.30 La agudeza visual y la sensibilidad frente al deslumbramiento varían de un piloto a otro y dependen en parte de la edad, del grado de fatiga y de la adaptación a los niveles de luz que existan. Además, las aptitudes, reacciones y respuestas de un mismo piloto variarán según las condiciones temporales en que se encuentre. Asimismo, el sistema de guía visual debe ser capaz de atender por igual a los pilotos con menos experiencia, así como a los pilotos de experiencia mediana y a los pilotos cuyo nivel de competencia sea superior a la media.

#### Elementos mecánicos de la visión

1.2.31 Para orientar siempre al piloto de la mejor forma posible deben tenerse en cuenta dos factores importantes. En primer lugar, es esencial que el reglaje de la intensidad se adapte bien a las condiciones del medio ambiente. En segundo lugar, la intensidad de las diversas partes que constituyen la totalidad del sistema debe cuidadosamente seleccionarse para que se adapten mutuamente, particularmente cuando se emplean colores. Con estos dos factores se tiene la seguridad de que el piloto no dejará de ver una referencia esencial, tal como las luces verdes de umbral, porque la señal sea demasiado débil, ni le deslumbrarán algunas luces demasiado brillantes en las condiciones reinantes.

1.2.32 Por dos razones se hace resaltar el eje en la configuración de los sistemas de iluminación de aproximación y de pista. Una razón evidente es que la posición ideal para el aterrizaje es a lo largo del eje de la pista. La segunda razón es que el ángulo de visión aguda del ojo, la fovea, es solamente de un valor de 1.5° aproximadamente.

1.2.33 Los estudios han demostrado que el piloto necesita aproximadamente un promedio de 2.5 segundos para cambiar

su mirada de las referencias visuales externas a los instrumentos y volver de nuevo a las referencias externas. Puesto que las aeronaves de elevada performance recorren unos 150 m en este período, es evidente que, en la medida de lo posible, las ayudas visuales deberían proporcionar un máximo de guía y de información para que el piloto pueda seguir adelante sin necesidad de verificar su apreciación con los instrumentos. La tarea de anunciar información crítica obtenida de los instrumentos se reserva a otros miembros de la tripulación, con lo cual mejora la seguridad de las operaciones en condiciones de escasa visibilidad.

#### Carga de trabajo visual

1.2.34 La capacidad de procesamiento de datos del piloto es considerable, si se satisfacen ciertas condiciones, particularmente cuando la situación se desarrolla de un modo esperado

y las referencias sucesivas confirman lo previsto. En tal caso, el piloto puede atender a la configuración de los datos en rápida evolución, mantener su capacidad de apreciación de la situación, y ejecutar una serie de reacciones adecuadas con el grado y en el momento oportunos. La capacidad que tiene el piloto de procesar la información puede disminuir drásticamente si los nuevos datos no concuerdan con las previsiones y si son ambiguos o de carácter transitorio. En esta situación, el piloto puede ser víctima de un proceso de pensamiento denominado "túnel" y continuar con la aproximación cuando en realidad las condiciones exigen que pase a la aproximación frustrada.

1.2.35 Lo dicho anteriormente sugiere que es de suma importancia asegurarse de que las funciones del sistema de guía visual actúan armónicamente como un todo. Los elementos constituyentes deben estar equilibrados respecto a la

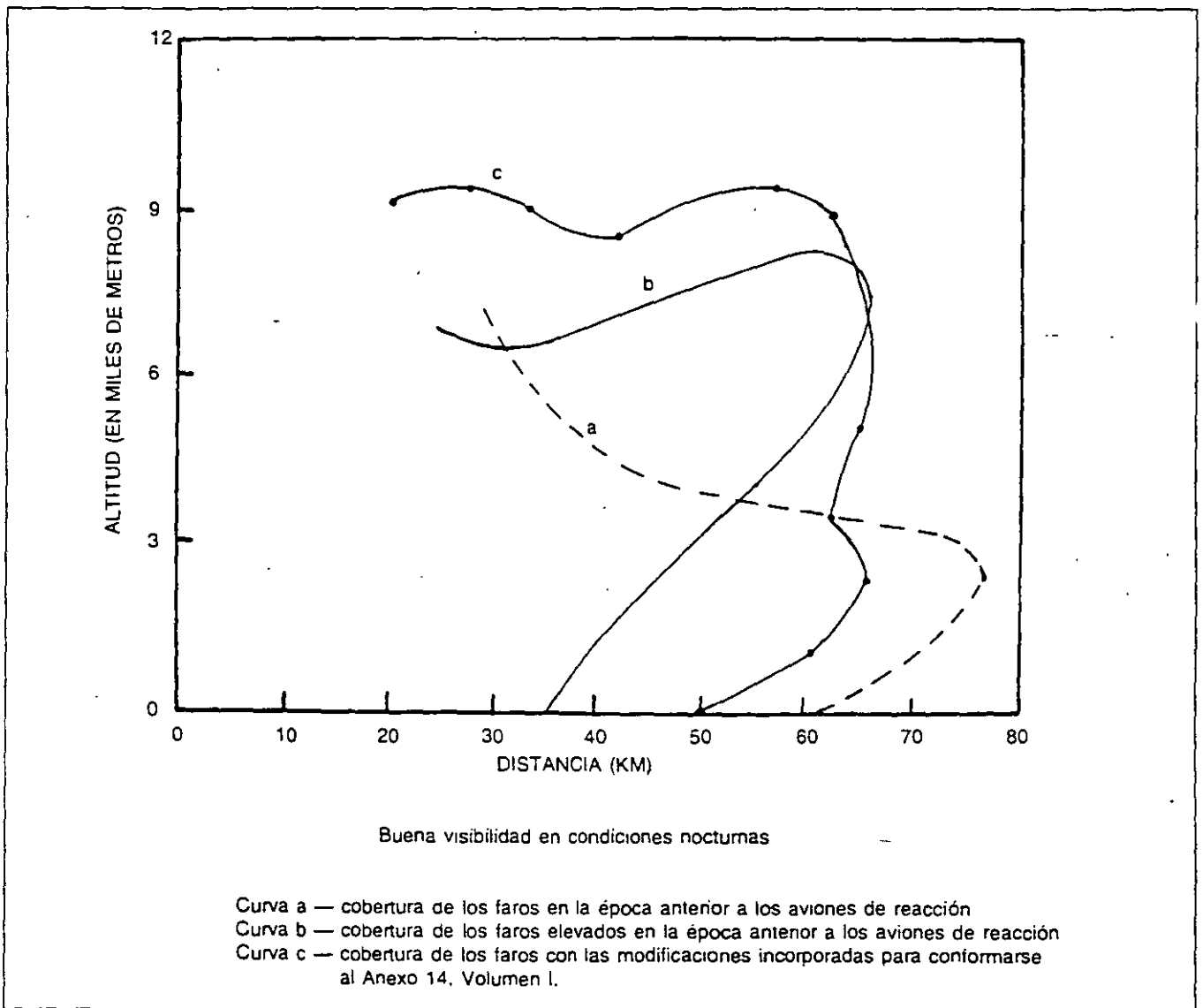


Figura 1-2. Cobertura de los faros de aeródromo



intensidad y al espaciado, asegurándose de que el piloto alcanza a ver una configuración que reconoce como el sistema estándar previsto, no una colección desordenada de elementos dispares, en la que algunos impidan la percepción de los otros. La carga de trabajo visual se moderará óptimamente mediante la normalización, el equilibrio y la integridad de los elementos. Un sistema rasgado en el que falten muchas de las luces rompe la configuración desde el punto en que se encuentran los ojos del piloto, lo que se suma a partes ocultas por la proa desde el puesto de pilotaje, y quizás a otras limitaciones provenientes de bancos de niebla o de otras condiciones meteorológicas. Es posible que el piloto quede momentáneamente desorientado al pasar la vista del tablero de instrumentos a un sistema rasgado o visualmente desequilibrado.

*Ilusiones visuales durante la aproximación al aterrizaje*

1.2.36 Frecuentemente los pilotos tienen que enfrentarse a problemas visuales complejos en la aproximación a una pista que carece de ayudas, ya sean visuales o no visuales, que le guíen a lo largo del ángulo correcto de pendiente de aproximación. Algunos de estos problemas se clasifican ordinariamente como ilusiones visuales, aunque en realidad no se trate de referencias erróneas o confusas, sino más bien de que en realidad falten o sean escasas las referencias visuales en las que el piloto se base para apreciar la altura y la distancia.

En el examen que sigue de problemas de aproximación visual, se supone que no se dispone de ayudas, ya sea visuales o no visuales, (o que si las hay no están en servicio) para guiar al piloto a lo largo de la pendiente de aproximación a la pista.

*Problemas relacionados con el terreno*

1.2.37 Durante el día, se plantean problemas de apreciación de la altura y de la distancia al efectuar la aproximación a la pista desde grandes extensiones de agua, desde terrenos sin relieve (comprendidas zonas cubiertas de nieve) y desde terrenos a una altitud inferior al plano horizontal de la pista, tales como valles profundos, zonas situadas por delante de aeropuertos en la cima de una montaña, vertientes abruptas, etc. Los problemas proceden de la ausencia, o de la disminución, de las normales referencias visuales lo cual complica la apreciación de la altura y de la distancia. Por el mismo motivo, es difícil apreciar la altura y la distancia en noches oscuras, cuando la zona de aproximación y sus cercanías no están suficientemente iluminadas por luces ajenas al aeropuerto. Sin embargo, la iluminación ajena al aeropuerto, de valles profundos, de vertientes abruptas, etc., puede complicar la toma de decisión de los pilotos, haciéndoles pensar que están a demasiada altura, aunque en realidad se encuentren en la pendiente correcta de aproximación a la pista. Si maniobran para compensar esta impresión podrían situar a la aeronave en un ángulo bajo de pendiente de aproximación a la pista.

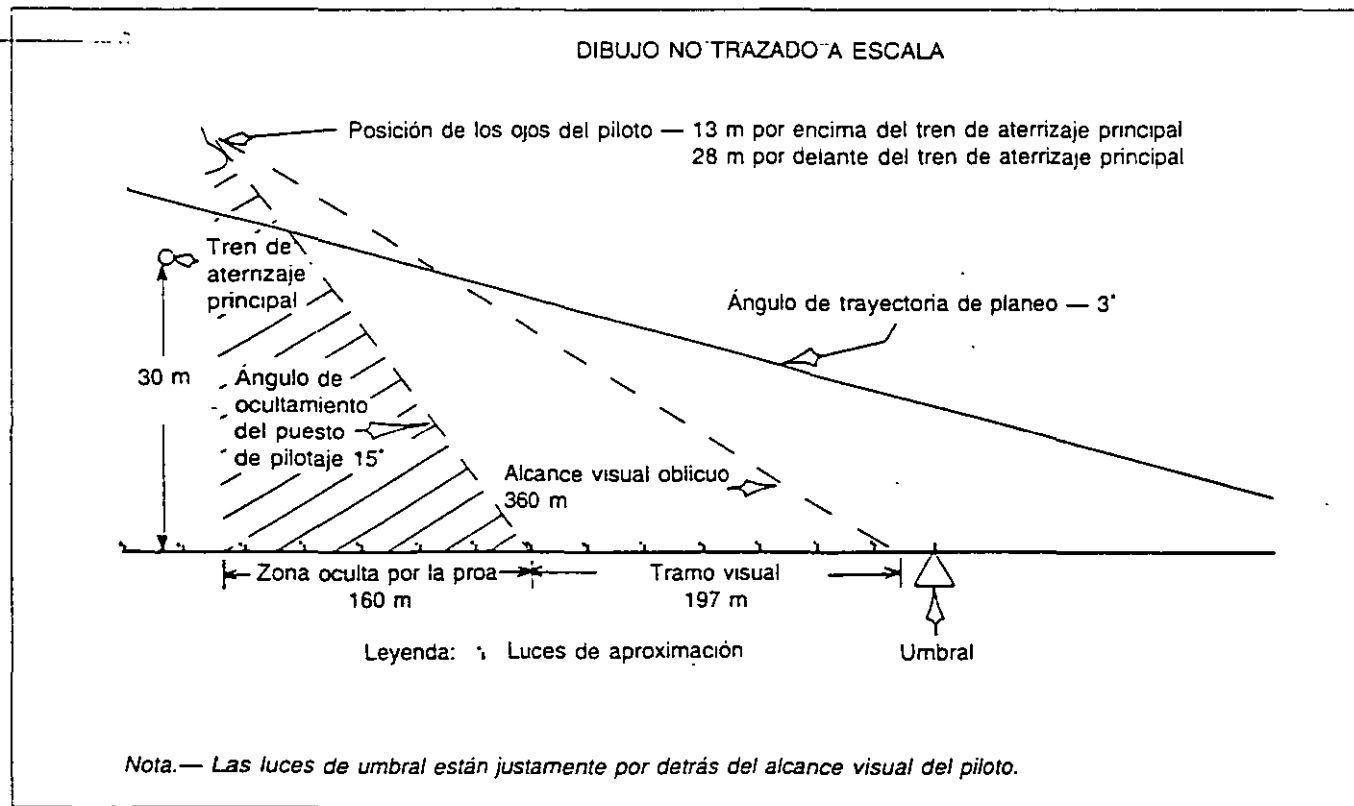


Figura 1-3. Tramo visual de un reactor de fuselaje ancho a una altura de 30 m — Alcance visual oblicuo de 360 m

1.2.38 Los despegues sobre grandes extensiones de agua o terreno árido en condiciones de bruma, incluso durante el día, pueden ser peligrosos para pilotos que no tengan la habilidad de volar por referencia a instrumentos de vuelo. Este problema se acentúa si estos pilotos no tienen referencias visuales después del despegue a no ser que giren mucho la cabeza para establecerlas. Si se inclina la cabeza en el momento en que la aeronave está virando, puede provocarse un sentido de desorientación denominado vértigo que frecuentemente va acompañado de náuseas. Para sobreponerse al vértigo, es necesario dominar la disciplina de vuelo por instrumentos; si los pilotos no están habilitados para ello las consecuencias pueden ser realmente peligrosas.

1.2.39 Los pilotos experimentados tienen una imagen en perspectiva "ideal" de la pista; por consiguiente, en las pistas con pendiente ascendente tendrán la tendencia a aproximarse a un ángulo por debajo de la pendiente normal de aproximación y en pistas con pendiente descendente tendrán la tendencia a aproximarse a un ángulo por encima de la pendiente normal de aproximación. Este error no llevaría normalmente a problemas serios. Sin embargo, las condiciones generales de la zona pueden agravar o aliviar el efecto total. Por ejemplo, al aproximarse a una pista ascendente desde un valle profundo se aumentaría la tendencia del piloto a aproximarse a un ángulo menor del normal de pendiente de aproximación a la pista.

1.2.40 Los pilotos que no estén familiarizados con técnicas de vuelo en zonas montañosas, pueden iniciar la aproximación a la pista a ángulos inferiores a los normales cuando aterrizan en dirección a cadenas montañosas. Esto se debe a que el horizonte aparente está por encima del horizonte real, con lo que se aprecia erróneamente la relación del punto de visada en la pista respecto a una línea por debajo del horizonte real. Si la aproximación se realiza en una noche oscura sobre terreno sin iluminación, aumenta el peligro de que se efectúe un aterrizaje demasiado corto.

#### *Problemas relacionados con la iluminación de aproximación y de pista*

1.2.41 Teniendo en cuenta que las luces brillantes parecen estar más cerca que las menos brillantes o las de brillo atenuado, es importante mantener un equilibrio razonable entre la intensidad de las luces de aproximación y la de las luces de pista para poder apreciar la altura y la distancia durante la aproximación. Al considerar los problemas relacionados con la percepción ilusoria, este factor es de mayor importancia cuando la visibilidad permite que, durante la aproximación, los pilotos alcancen a ver tanto los sistemas de iluminación de aproximación como los sistemas de iluminación de pista. Dado que la configuración de los sistemas de iluminación de aproximación proporciona referencias más débiles, para apreciar la altura y la distancia, que la configuración de los sistemas de iluminación de pista, la combinación de luces brillantes de aproximación con luces atenuadas de pista plantea al piloto un problema más grave que el caso inverso. Las luces brillantes de aproximación atraen la atención del piloto, y como estas

luces dominan la escena y apantallan las luces más distantes de la pista, se degradan las referencias para apreciar la altura y la distancia.

1.2.42 Si las luces a un lado de la pista son más brillantes que las del otro lado, los pilotos tendrán la tendencia a apartarse del lado más brillante en busca de un equilibrio entre las intensidades. Normalmente, las luces a ambos lados de la pista están bien equilibradas, pero a veces hay un desequilibrio si en uno de los lados hay una conexión eléctrica defectuosa a tierra; o si las operaciones de los quitanieves o de los lanzanieves (o vientos laterales) acumulan la nieve a uno de los lados de la pista.

1.2.43 Es de desear que los pilotos vuelen hacia pistas en las que haya un espaciado uniforme entre las hileras de luces de borde pista, de luces de zona de toma de contacto y de luces de eje de pista, así como entre las distintas luces de un mismo sistema. Se sabe que algunos pilotos inician el enderezamiento cuando las hileras de luces comienzan a fusionarse o adoptan una cierta apariencia lineal.

1.2.44 El descenso hacia un terreno cubierto de una ligera capa de niebla puede ser bastante peligroso, cuando se acortan rápidamente o desaparecen por completo los sistemas de iluminación de aproximación y de iluminación de pista, que eran visibles a través de la niebla al descender en la aproximación, en el momento en que la aeronave se aproxima y penetra en la parte superior de la capa de niebla. En condiciones de capas ligeras de niebla en la superficie, pierden las referencias de iluminación a poca altura y los pilotos, que vuelan estrictamente por referencias visuales, reciben la falsa impresión de que la aeronave está subiendo en vez de descender en el momento de la transición de las referencias visuales a la pérdida de las mismas. Si se reacciona ante la impresión de que la aeronave asciende, aumentando la velocidad vertical de descenso a poca altura y sin referencias visuales, o en el mejor de los casos con muy pocas referencias visuales, se puede llegar a una toma de contacto con el terreno o con la pista a una excesiva velocidad vertical de descenso.

#### *Problemas de contraste y problemas relacionados con las dimensiones de las pistas*

1.2.45 El hecho de que la anchura y la longitud de las pistas sean muy variables lleva a que los pilotos juzguen erróneamente el ángulo de pendiente de aproximación, puesto que las pistas anchas y largas parecen estar más próximas que las pistas estrechas y cortas. Los pilotos de aeronaves de gran tamaño están acostumbrados a entradas y salidas en aeropuertos en los que la imagen en perspectiva es razonablemente uniforme. Por el contrario, los pilotos de pequeñas aeronaves pueden realizar operaciones hacia pistas cuya anchura y longitud sea muy variable; y son estos pilotos de aeronaves pequeñas los que normalmente experimentan con frecuencia problemas en la aproximación y en el aterrizaje, relacionados con la configuración de la pista y los que tienen la tendencia a aproximarse a pistas grandes a ángulos de pendiente de aproximación inferiores a los normales.

1.2.46 Cuando una aeronave se aproxima a la pista con el sol de cara en días claros, el piloto puede enfrentarse a problemas de visión extremadamente difíciles. En determinadas condiciones, el resplandor entorpece la visión hasta tal punto que puede resultar difícil localizar la pista y, una vez localizada, mantener el contacto visual durante la aproximación. Además del problema de deslumbramiento, se modifica el contraste de la pista (normalmente se disminuye) debido a que el ángulo de incidencia de los rayos del sol en la pista da lugar a efectos de "contraluz" en la textura del terreno que rodea al pavimento y disminuye también el contraste de las señales de pista.

1.2.47 Así como los pilotos que efectúan la aproximación a una pista se sienten más atraídos por las luces brillantes, análogamente los pilotos se sienten atraídos por pavimentos que resalten más del terreno circundante. Así pues, se ha dado el caso de que aeronaves aterricen en calles de rodaje que corren paralelas a la pista debido a que los pilotos vieron en primer lugar la calle de rodaje y concentraron su atención en ella durante toda la maniobra de aproximación y de aterrizaje. Ocurrió un incidente de esta clase con un piloto de una aeronave grande de transporte en su propio aeropuerto local, en el que se habían retirado grandes cantidades de nieve de la pista y de la calle de rodaje paralela, presentando la superficie negra de la calle de rodaje un contraste excelente con la nieve, mientras que la pista de hormigón se destacaba poco de la nieve circundante.

#### *Problemas provenientes de la experiencia adquirida*

1.2.48 Las modificaciones de las referencias visuales con las que se tiene experiencia, o a las que se está acostumbrado, pueden dar origen a problemas de percepción ilusoria. Los pilotos habituados a volar sobre zonas con grandes árboles pueden efectuar la aproximación a la pista con ángulos inferiores a los normales si vuelan sobre zonas de "arbustos" que tengan una apariencia similar a la de los grandes árboles. Los pilotos acostumbrados a volar sobre terreno básicamente llano pueden experimentar dificultades de apreciación al aproximarse a una pista situada en terrenos ondulados o montañosos. Otro ejemplo sería el de los pilotos acostumbrados a sobrevolar zonas de construcciones densas cuando vuelan hacia pistas situadas en zonas despejadas sin ninguna construcción y sin objetos naturales de gran dimensión vertical.

#### *Problemas relacionados con la aeronave*

1.2.49 Por supuesto, los pilotos podrán hacer el mejor uso posible de las referencias y ayudas visuales terrestres cuando los parabrisas de la aeronave estén limpios y exentos de precipitación. Los parabrisas mojados por la lluvia pueden provocar ondas y manchas que distorsionen la visión. La configuración geométrica de las ayudas visuales terrestres puede desaparecer, con lo que se dificulta e incluso imposibilita la correcta interpretación del diseño funcional de las ayudas visuales. Hay pruebas de que la presencia de lluvia en los parabrisas hace que los objetos parezcan estar a una

altura inferior a la real, ilusión que puede hacer que los pilotos vuelen con ángulos de pendiente de aproximación a la pista inferiores a los normales. Es obvio que los pilotos deben utilizar lo más posible los sistemas antilluvia (limpiaparabrisas, repelentes neumáticos y químicos de la lluvia) para efectuar una aproximación para aterrizar en condiciones de lluvia intensa.

## 1.3 REQUISITOS OPERACIONALES

### Generalidades

1.3.1 Los requisitos operacionales de las ayudas visuales dependen del tipo de aeronave, de las condiciones meteorológicas en el lugar de destino, del tipo de radioayuda para la navegación utilizado en la aproximación, de las características físicas de la pista o de la calle de rodaje, y de que se disponga o no de información por medios de radiocomunicaciones antes del aterrizaje.

### Aeropuertos pequeños

1.3.2 Frecuentemente los aeropuertos diseñados para ser utilizados por aeronaves de un solo motor, y por aeronaves ligeras bimotoras de una masa inferior a 5 700 kg, no disponen de ayudas de aproximación por instrumentos ni de instalaciones o servicios de control de tránsito aéreo. Por consiguiente, en muchos de los aeropuertos pequeños las ayudas visuales terrestres deben satisfacer todos los requisitos operacionales de los pilotos. En algunos de estos aeropuertos la superficie de las pistas no está pavimentada, situación que agrava el problema de proporcionar a los pilotos ayudas visuales adecuadas.

1.3.3 Los requisitos operacionales, enumerados en el orden utilizado normalmente por los pilotos, son:

- a) emplazamiento del aeropuerto;
- b) identificación del aeropuerto;
- c) información para el aterrizaje:
  - 1) dirección y velocidad del viento;
  - 2) designación de la pista;
  - 3) estado de la pista — cerrada o en servicio;
  - 4) designación de pista preferencial (normalmente para fines de atenuación del ruido, siempre que la dirección y la velocidad del viento permitan utilizar la pista);
- d) guía para vuelo en circuito;
- e) guía de aproximación final a la toma de contacto:
  - 1) delineación de borde de pista y de umbral;

- 2) guía de pendiente de aproximación;
- 3) guía de punto de visada;
- 4) delineación de eje de pista;

*Nota.— No es posible delinear el eje en pistas no pavimentadas. Normalmente estas pistas se utilizan únicamente en condiciones de buena visibilidad. Por lo tanto, la delineación del eje no es tan importante como en los aeropuertos en los que se autorizan las operaciones en condiciones de escasa visibilidad cuando se proporcionen ayudas de aproximación por instrumentos.*

- f) guía del recorrido en tierra:
  - 1) delineación de eje de pista [véase la nota que sigue a e) 4)];
  - 2) delineación de borde de pista;
  - 3) emplazamiento de calle de salida;
  - 4) indicación de extremo de pista;
- g) guía para el rodaje:
  - 1) delineación de borde de calle de rodaje o de eje de calle de rodaje;
  - 2) letreros de información (letreros de emplazamiento y de destino) hacia las áreas de estacionamiento y de servicio;
  - 3) letreros de información (letreros de emplazamiento y de destino) hacia la pista de salida;
- h) información para la salida;

*Nota.— La información necesaria es la misma que la enumerada en c); sin embargo, los pilotos obtienen normalmente esta información antes de abandonar la oficina de operaciones sin tener que recurrir a las ayudas visuales.*

- i) guía para el despegue:
  - 1) delineación del eje de la pista [véase la nota que sigue a e) 4)];
  - 2) delineación de borde de pista;
  - 3) indicación de extremo de pista.

### Grandes aeropuertos

1.3.4 Los grandes aeropuertos disponen normalmente de radiayudas para la navegación y de instalaciones y servicios de control de tránsito aéreo que requieren el uso de radio-comunicaciones. En condiciones meteorológicas de vuelo

visual (VMC) en las que no se hace uso de estas ayudas, los requisitos en materia de ayudas visuales terrestres son los mismos que los enumerados para los aeropuertos pequeños. Además, en los grandes aeropuertos se proporcionan sistemas de guía para estacionamiento de las aeronaves en la plataforma, así como sistemas de guía visual para el atraque en los terminales equipados con pasarelas telescópicas para los pasajeros. También es necesario un sistema eficaz de iluminación de la plataforma para ayudar en el estacionamiento de las aeronaves y para proteger a los pasajeros que circulan en el área terminal hacia las aeronaves o desde las mismas.

1.3.5 Cuando las condiciones meteorológicas son inferiores a VMC, las ayudas visuales terrestres asumen una función más crítica en cuanto a la seguridad de las operaciones de vuelo. En los vuelos que se realizan en condiciones meteorológicas de vuelo por instrumentos (IMC) se requiere el uso de otras ayudas visuales, además de las enumeradas para los aeropuertos pequeños. Los nuevos requisitos operacionales enumerados a continuación se clasifican según las cuatro categorías de pistas de vuelo por instrumentos.

#### *Pistas para aproximaciones que no sean de precisión*

Guía de aproximación final hasta la toma de contacto:

- Guía de alineación de eje a lo largo de una distancia por lo menos de 420 m antes del umbral.
- Indicación de distancia a 300 m antes del umbral.

#### *Pistas para aproximaciones de precisión de Categoría I*

Guía de aproximación final hasta la toma de contacto:

- Guía de alineación de eje a lo largo de una distancia de 900 m antes del umbral.
- Indicación de distancia a 300 m antes del umbral.
- Guía de zona de toma de contacto.

#### *Pistas para aproximaciones de precisión de Categoría II*

Guía de aproximación final hasta la toma de contacto:

- Guía de alineación de eje a lo largo de una distancia de 900 m antes del umbral.
- Indicaciones de distancia a 300 m y a 150 m antes del umbral.
- Guía de alineación de zona de toma de contacto a lo largo de una distancia de 300 m antes del umbral.
- Guía de zona de toma de contacto.

Guía para el recorrido en tierra:

- Información sobre la distancia restante.

Guía para el rodaje:

- Guía de calle de salida.
- Delineación de eje de calle de rodaje con clave para cambio de dirección.

#### *Pistas para aproximaciones de precisión de Categoría III*

Los requisitos operacionales para ayudas visuales en condiciones meteorológicas de la Categoría III, son, desde el punto de vista de la configuración para la aproximación y el aterrizaje, las mismas que las indicadas para las condiciones meteorológicas de la Categoría II. Es necesario modificar las características fotométricas de las luces adecuadas para operaciones de las Categorías I y II, a fin de proporcionar una mayor cobertura vertical, especialmente en el caso de aeronaves grandes con gran distancia vertical entre los ojos del piloto y las ruedas.

1.3.6 Aunque los pilotos que vuelan en condiciones meteorológicas de Categoría III disponen de las mismas ayudas visuales que en condiciones de Categoría II, la posibilidad de obtener del sistema la guía visual disminuye en proporción con el grado de empeoramiento de las condiciones meteorológicas durante la aproximación. Normalmente, con visibilidades mayores, en operaciones de la Categoría IIIA, se establece la guía visual con el sistema de iluminación de aproximación, lo que permite al piloto apreciar la trayectoria de vuelo en relación con su alineación con el eje. Con tan poca visibilidad es imposible apreciar la pendiente de aproximación sirviéndose de las ayudas visuales.

1.3.7 Los movimientos en la superficie de los aeropuertos importantes, en condiciones meteorológicas de la Categoría III, exigen el diseño de nuevas señales visuales para mantener la separación entre las aeronaves. Dos ejemplos de estas señales son las barras de parada y las barras de cruce de las que se hace mención en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5. Este requisito también se aplica a los aeropuertos importantes con mejores condiciones de visibilidad, pero se menciona en esta sección por ser mayor su necesidad cuando la visibilidad es inferior. Este sistema no constituye un requisito de guía visual sino más bien un requisito para impedir colisiones entre aeronaves que se mueven en la superficie, y se pone particularmente de relieve la necesidad de separar los movimientos de aeronaves en las pistas de aterrizaje y de despegue de las aeronaves que circulan con mayor lentitud por las calles de rodaje.

## 1.4 SERVICIOS QUE LAS AYUDAS VISUALES Y LAS REFERENCIAS VISUALES PRESTAN A LOS PILOTOS

### Generalidades

1.4.1 Son difíciles y complejas las tareas de pilotaje para establecer y mantener la orientación dinámica en tres

dimensiones respecto a la pista, durante las operaciones de aproximación y de aterrizaje, particularmente en condiciones de visibilidad limitada (IMC). Una vez en tierra, la aeronave que efectúa el rodaje en condiciones de visibilidad reducida tiene que depender continuamente de las ayudas visuales hasta que llega al punto de atraque. En la Sección 1.3 se enumeran los requisitos operacionales para los aeropuertos pequeños y para los aeropuertos grandes. Esta sección trata de las relaciones entre el piloto, su aeronave y las ayudas visuales o no visuales que se le proporcionan, insistiéndose particularmente acerca del modo en que las ayudas visuales terrestres proporcionan información y guía.

1.4.2 *El marco de referencia.* Puede apreciarse la importancia de esta relación de piloto a máquina en el vuelo visual, observando a un piloto que se sienta para hacerse cargo de los mandos de la aeronave. Pocas veces le satisface el ajuste de la posición vertical del asiento del piloto que le precedió al mando. Después de avanzar el asiento hasta una posición cómoda delante de los mandos de vuelo, el piloto deja libre el dispositivo de fijación vertical del asiento, mira por encima del morro de la aeronave manteniendo derechos el tronco y la cabeza, ajusta la posición vertical del asiento hasta que la posición de los ojos le parece "óptima" respecto al borde inferior del parabrisas y respecto al horizonte, es decir, establece el marco de referencia para el vuelo visual. Algunos pilotos ajustan la posición de los ojos en un punto relativamente elevado; otros prefieren un punto más bajo. Según su experiencia anterior en vuelo, cada piloto juzga cuál ha de ser la posición ideal de sus ojos. Esta posición es una ayuda para apreciar, con las ayudas visuales, el ángulo al que vuela la aeronave al aproximarse a la pista, siendo el de más importancia el ángulo de la línea de intersección de la trayectoria de vuelo de la aeronave con el terreno — el punto de visada. La posición de los ojos del piloto determina también un ángulo de visión por encima de la proa que ordinariamente se denomina ángulo de ocultamiento del puesto de pilotaje. La parte inferior del parabrisas se utiliza también para establecer y mantenerse en vuelo horizontal por medios visuales y para ayudar en la apreciación del ángulo de inclinación lateral, respecto al horizonte, o a los componentes transversales del sistema de ayudas visuales, cuando no se ve bien el horizonte. Por consiguiente, puede observarse que el parabrisas de la aeronave desempeña una función importante como ayuda del piloto en condiciones de vuelo visual.

1.4.3 Las aeronaves de transporte más modernas están equipadas con dispositivos de alineación para ayudar a los pilotos a ajustar la altura de sus ojos, de modo que la línea de visión hacia adelante y hacia abajo (ocultamiento del puesto de pilotaje) coincida con la posición de los ojos, según el diseño de la aeronave de que se trate. Estos dispositivos de alineación son bastante sencillos, de poco coste, y fáciles de utilizar. Son particularmente importantes durante la aproximación y la toma de contacto con aeronaves en las que el ángulo de encabritamiento es elevado (es decir, de cinco a diez grados). En el ejemplo que sigue se explica la instalación y el funcionamiento de estos dispositivos. Detrás del larguero central del parabrisas, entre el piloto y el copiloto, está

montado un triángulo formado por tres bolas. Tanto el piloto como el copiloto ajustan sus asientos verticalmente y hacia adelante o hacia atrás, de forma que la bola trasera que está a su lado se alinee con la bola central delantera — el piloto usa la bola trasera ubicada de su lado y el copiloto usa la bola trasera ubicada del suyo. Cuando la bola posterior tapa a la bola anterior, la posición de los ojos coincide con la de diseño para esa aeronave.

#### Ayudas visuales en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC)

1.4.4 Es preciso comprender la dinámica del mundo visual desde el punto de vista de los pilotos. Comúnmente, al hablar de movimiento percibido, se refiere uno al "movimiento de un objeto". Sin embargo, al tratar del uso de ayudas visuales por parte del piloto, es evidente que lo implicado es el "movimiento del observador" que va acompañado de una expansión de la escena visual a medida que el piloto dirige la aeronave hacia la pista. El centro de expansión de la escena es el punto hacia el que se dirige la trayectoria de vuelo — punto inmóvil de referencia visual. La velocidad de las referencias visuales aumenta desde el centro hacia afuera, pero disminuye y se acerca a cero en el horizonte.

1.4.5 *Localización del aeropuerto.* Los aeropuertos se localizan de diversas maneras según sus dimensiones y la índole de las ayudas visuales y de las ayudas no visuales de que dispongan. Durante el día, pueden verse las pistas de grandes dimensiones en buenas condiciones meteorológicas, a grandes distancias, pero esto también depende de la altura a que vuela la aeronave, de la dirección en que se encuentre el sol, del contraste entre la pista y los terrenos circundantes etc. Los aeropuertos pequeños, particularmente los que no tienen pistas pavimentadas, se localizan frecuentemente por el color y la forma de las aeronaves en ellos estacionadas. Las ayudas no visuales y la lectura de los mapas son elementos básicos para localizar, durante el día y durante la noche los aeropuertos, siendo el faro de aeropuerto una ayuda sumamente valiosa, especialmente por la noche, en los aeropuertos que no disponen de ayudas no visuales.

1.4.6 *Identificación del aeropuerto.* La identificación de un aeropuerto constituye frecuentemente un problema para los pilotos con poca experiencia, particularmente cuando un aeropuerto está muy cerca de otros. Incluso pilotos experimentados de línea aérea aterrizan ocasionalmente en un aeropuerto distinto del que tenían que hacerlo y se enfrentan a una situación muy embarazosa. En algunos aeropuertos pequeños se pinta el nombre del aeropuerto en una calle de rodaje o en el techo de un hangar, mientras que en otros se utiliza una clave de identificación en vez del nombre. Algunos aeropuertos iluminan los nombres o claves para que puedan ser identificados por la noche. Raramente se utilizan faros de identificación. Un faro de luces alternas verdes y blancas identifica a un aeropuerto terrestre y un faro de luces alternas amarillas y blancas identifica a un hidropuerto. En algunos Estados, los faros de los aeropuertos civiles y militares tienen una clave que permite diferenciarlos.

1.4.7 Las siguientes ayudas visuales, cuando se proporcionan y cuando no se dispone de medios de radiocomunicaciones, son observadas por el piloto desde un punto cercano y a una altura bastante superior a la altitud del circuito de tránsito para que no haya conflicto con otras aeronaves que estén en el circuito. (El color de estas ayudas debería proporcionar el máximo contraste con el terreno circundante.) Seguidamente, el piloto entra en el circuito de tránsito apropiado preparándose para el aterrizaje.

#### Información para el aterrizaje

1.4.8 Los indicadores de la dirección del viento son ayudas visuales importantes, particularmente en los aeropuertos en los que no se proporciona información para el aterrizaje por medios de radiocomunicaciones. Los indicadores de sentido de aterrizaje raramente se utilizan puesto que es necesario, con la consiguiente responsabilidad, cambiar su dirección cuando la cambie el viento. Las señales visuales terrestres para indicar el estado de las pistas y calles de rodaje se describen en el Anexo 2 (véase también el Capítulo 3 de este manual). En el Anexo 14, Volumen I, figuran las especificaciones relativas a las señales de designación de pista.

1.4.9 En general los pilotos prefieren el cono de viento que es de tela y que proporciona una indicación general de la velocidad del viento. Son muy útiles los conos que se despliegan totalmente cuando soplan vientos de unos 15 kt, ya que esta velocidad es la máxima admisible del componente transversal del viento para el aterrizaje de aeronaves pequeñas. Un cono de viento desplegado a 90° respecto a la dirección de la pista de aterrizaje proporcionaría una señal muy útil a los pilotos.

#### Guía para el vuelo en circuito

1.4.10 En condiciones VMC es preciso efectuar la entrada inicial, en la mayoría de los circuitos de tránsito, a un ángulo de 45° respecto al tramo a favor del viento (Figura 1-4). Los pilotos se sitúan en el tramo a favor del viento evaluando la distancia que les separa de la pista y el ángulo a que ven la pista por debajo del horizonte. El recorrido del tramo a favor del viento no suele plantear ningún problema, ya que la componente transversal del viento es habitualmente bastante reducida. La altura de las aeronaves durante el tramo a favor del viento se controla mediante la lectura del altímetro de a bordo y por referencia a la línea del horizonte delante de la aeronave.

1.4.11 El umbral de la pista sirve de referencia para establecer el tramo básico. Los pilotos de aeronaves pequeñas pueden iniciar el viraje hacia el tramo básico cuando la aeronave pasa más allá del umbral; por el contrario, los pilotos de aeronaves de gran tamaño prolongan el tramo a favor del viento para contar con un tramo de aproximación final más largo. Los pilotos vigilan el régimen al que disminuye el ángulo que forma la pista con la aeronave lo que les permite virar hacia el rumbo de aproximación final e interceptar mientras que la pista gira hasta una posición perpendicular a

horizonte. Los pilotos de todas estas aeronaves tienen el mismo requisito: la necesidad de determinar su posición respecto al umbral y la de disponer de guía para alinearse y mantenerse a lo largo de la prolongación del eje de la pista en el tramo de aproximación final.

*Aproximación final, enderezamiento y aterrizaje*

1.4.12 Esta fase del pilotaje de una aeronave es bastante difícil e implica una evaluación compleja de la distancia, de la altura, de la deriva y del ángulo de vuelo respecto a la pista. Tanto el piloto novato como el experimentado alcanzan a ver, desde el puesto de pilotaje, el mismo mundo visual, pero los pilotos experimentados incorporan a sus reacciones, ya sea conscientemente o inconscientemente, evaluaciones precisas y no aproximadas que les permiten, por lo tanto, pilotar la aeronave con mayor precisión.

1.4.13 Cuando la aeronave vuela en condiciones VMC, las mínimas meteorológicas suelen permitir que el piloto vea el horizonte para pilotar la aeronave a base de referencias

visuales exteriores. El horizonte puede ser el real o uno aparente, que es una línea, percibida o imaginaria, en un plano horizontal obtenida mediante referencias visuales en tierra, la configuración de las nubes, o la línea de demarcación luminosa entre el cielo y el suelo, en caso de que no haya una clara visión del horizonte real. Cuando se alcanza a ver la pista de aterrizaje en condiciones de buena visibilidad, no es difícil conocer la posición de la aeronave respecto a las cercanías de la pista (a diferencia de las condiciones IMC). La fase de aproximación final se subdivide en dos partes sucesivas: en primer lugar la aproximación al umbral y, en segundo lugar, el aterrizaje después de cruzar el umbral de la pista.

1.4.14 En la aproximación final, la trayectoria que el piloto desea seguir puede considerarse como la intersección de dos planos, el plano inclinado que comprende la pendiente óptima de aproximación, y el plano vertical que comprende la prolongación del eje de la pista.

1.4.15 Para lograr este objetivo, el piloto debe conocer continuamente seis variables:

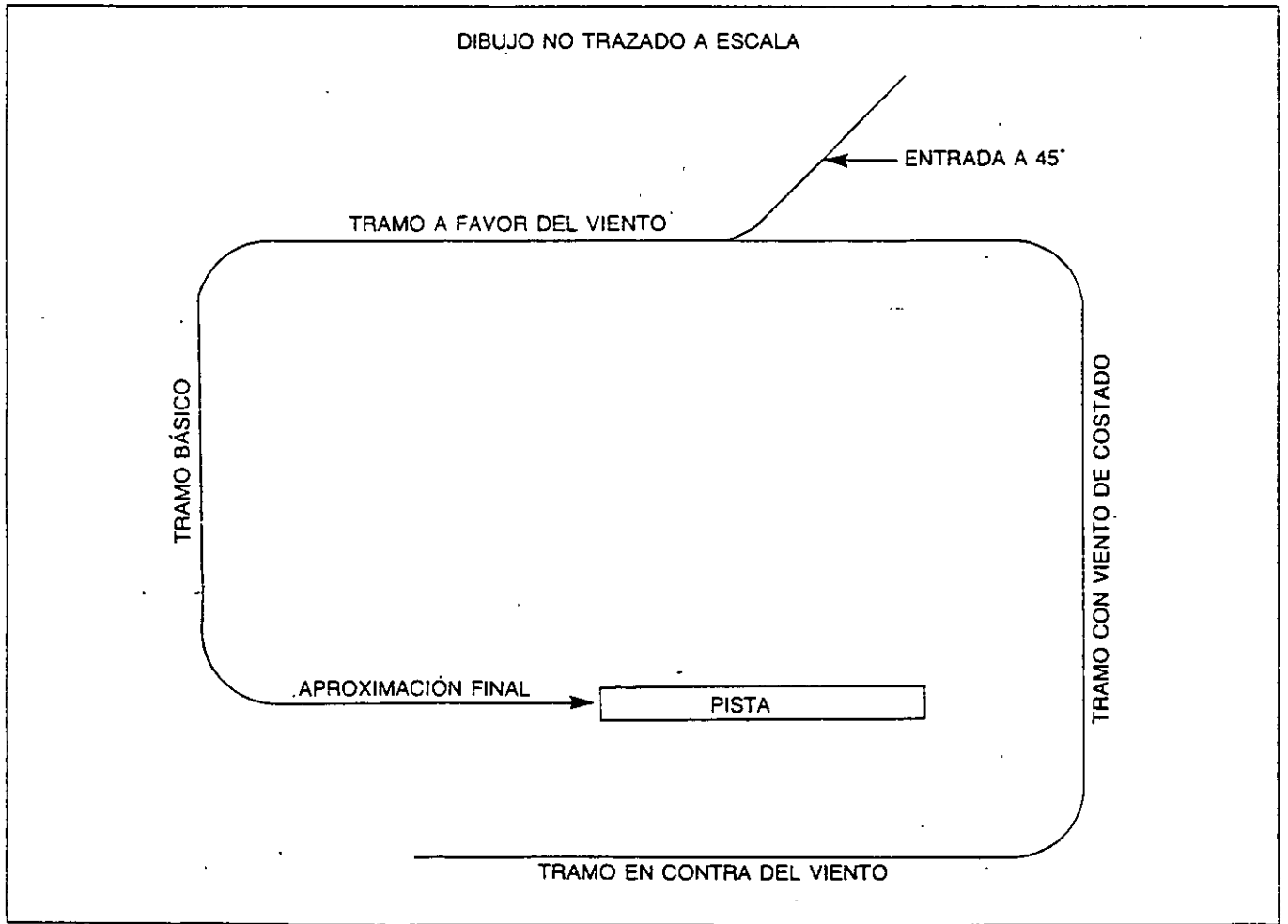


Figura 1-4 Circuito estándar de tránsito en condiciones VMC

- a) el desplazamiento respecto a cada plano de referencia;
- b) la velocidad de acercamiento a cada plano de referencia; es decir, información sobre la velocidad de acercamiento; y
- c) el régimen de variación de la velocidad de acercamiento a cada plano de referencia, es decir, información sobre la velocidad de acercamiento y sobre el régimen de variación de la misma.

1.4.16 Los pilotos adaptan continuamente las indicaciones relativas al desplazamiento y a la velocidad de acercamiento para llegar en último término a un desplazamiento igual a cero y a una velocidad de acercamiento también igual a cero; dicho de otro modo deben conocer:

- a) su posición en un momento dado;
- b) hacia donde se dirigen en un momento dado; y
- c) su posición unos instantes más tarde.

Las indicaciones visuales asociadas con estos dos planos de referencia difieren considerablemente y se examinan en 1.4.17 y 1.4.18.

#### *Guía de azimut*

1.4.17 La indicación de que el desplazamiento es igual a cero respecto al plano vertical (desplazamiento lateral) se obtiene cuando la imagen en perspectiva de la pista y de las luces de aproximación, si las hubiere, es perpendicular al horizonte. Como la pista es de considerable longitud, se obtiene instantáneamente la referencia visual respecto a este desplazamiento [variable indicada en 1.4.15 a)]. El rumbo de la derrota y el régimen de variación del rumbo [variables indicadas en 1.4.15 b) y c)] no se obtienen de forma instantánea, pero los errores pueden corregirse de manera que sean pequeñas las desviaciones respecto a la derrota deseada, a medida que el piloto prosigue con el acercamiento durante la aproximación final. Así pues, la pista, o las luces de borde de pista, pueden considerarse como referencias visuales que permiten al piloto alinear rápidamente la aeronave y mantener la alineación con ligeras desviaciones respecto a la prolongación del eje de la pista.

#### *Información sobre la pendiente de aproximación*

1.4.18 A diferencia de la guía de azimut explicada en 1.4.17, en este título no se incluye la palabra "guía". Los sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación proporcionan guía de pendiente de aproximación, pero las otras ayudas visuales ordinariamente asociadas con la pista sólo proporcionan una cierta referencia respecto al ángulo de pendiente de aproximación. En esta sección se presenta la teoría del vuelo de aproximación suponiéndose que no se dispone de sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación o que están fuera de servicio. Como se verá en los párrafos que siguen, los pilotos que disponen de sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación quedan

libres de una elevada carga de trabajo, respecto a la apreciación del ángulo correcto de pendiente de aproximación.

1.4.19 A medida que la aeronave se aproxima a la pista de aterrizaje, antes de iniciar el descenso para la aproximación final, el piloto observa la forma en que las referencias visuales asociadas con la pista se desplazan hacia abajo a lo largo del parabrisas de la aeronave. Cuando el punto, a lo largo de la pista, al que ha de apuntar la aeronave durante el descenso (punto de visada) queda por debajo del horizonte, al ángulo aparente de aproximación deseado, el piloto inicia el descenso dirigiendo la aeronave hacia el punto de visada seleccionado. El punto de visada seleccionado dependerá del tamaño de la aeronave y de la longitud de pista disponible para el aterrizaje. Las aeronaves pequeñas apuntan normalmente a las señales de designación de pista o a un punto algo más allá; las aeronaves de gran tamaño apuntan normalmente hacia las señales de distancia fija situadas a 300 m más allá del umbral o hacia un punto cerca de las mismas.

1.4.20 El desplazamiento hacia arriba o hacia abajo del ángulo ideal de pendiente de aproximación, lleva consigo que se prolongue o que se comprima en sentido vertical la imagen en perspectiva de la pista, junto con modificaciones de los ángulos que el borde de la pista forma con el umbral de la pista y con el horizonte (Figura 1-5). Los pilotos experimentados pueden apreciar si se acercan al ángulo de aproximación deseado, comparando la imagen real de la pista con la imagen "ideal" formada en su mente, tras largos años de instrucción y de prácticas. A medida que desciende la aeronave, los bordes de la pista convergen. Cuando aumenta la altura de la aeronave, los bordes de la pista divergen.

1.4.21 Al descender la aeronave a alturas entre 45 m y 22.5 m por encima de la pista (valor que depende del ángulo de pendiente de aproximación y de la velocidad), se le presenta con más claridad al piloto la escena de expansión de la pista al observar que las referencias visuales se mueven rápidamente hacia afuera desde el centro de expansión. Esto se debe a que aumenta la velocidad del "campo visual en movimiento" a un régimen inversamente proporcional a la distancia del piloto. Por lo tanto, a estas alturas relativamente pequeñas, el piloto se da cuenta mejor de la dirección precisa de la trayectoria de vuelo de la aeronave, apreciando el punto de movimiento cero y, de ser necesario, incorporando los ajustes finales de la trayectoria de vuelo para efectuar un aterrizaje seguro dentro de los límites de la zona de toma de contacto de la pista.

#### *Enderezamiento y aterrizaje*

1.4.22 El enderezamiento de la aeronave es una maniobra por la cual el piloto, o el piloto automático, dirige el vuelo de la aeronave, desde el ángulo de aproximación final hasta una trayectoria en la que la aeronave se mueve esencialmente en una paralela a la superficie de la pista antes del aterrizaje. El enderezamiento puede iniciarse mucho antes de llegar al umbral, en el caso de aeronaves de grandes dimensiones, y cruzar el umbral en el caso de aeronaves pequeñas.



1.4.23 Las ayudas visuales utilizadas para el enderezamiento y el aterrizaje son aquellas que señalan el umbral, delimitan los bordes del pavimento con plena resistencia y delinean el eje de la pista. De día, los bordes de la pista se perciben normalmente por el contraste que ofrece el pavimento de la pista respecto al terreno circundante, mientras que de noche son necesarias las luces de borde de pista. Las señales de umbral de pista y de eje de pista se usan tanto de día como de noche. Las ayudas visuales proporcionan guía de alineación. La textura de la superficie del pavimento constituye la fuente primaria para la apreciación de la altura tanto de día como de noche (por la noche se utilizan también los faros de aterrizaje de la aeronave) a menos de que, por supuesto, se disponga de luces de zona de toma de contacto y se utilicen en operaciones VMC. La iluminación de la pista, y en particular, la iluminación de eje de pista y de zona de toma de contacto, acentúan el sentido de apreciación de la altura debido a que las luces se mezclan para dar una apariencia lineal y a que las luces más cercanas se transforman en fuentes

lineales (líneas de trazos) debido a las elevadas velocidades que intervienen.

*Guía del recorrido en tierra*

1.4.24 El recorrido en tierra se inicia inmediatamente después de la toma de contacto de las ruedas del tren de aterrizaje principal con la superficie de la pista. Las señales de eje de pista o las luces de eje de pista, proporcionan la guía primaria de alineación visual durante el recorrido en tierra. La iluminación de borde de pista se utiliza por la noche para suplir al eje, particularmente cuando no se dispone de iluminación de eje de pista.

1.4.25 La clave por colores de las luces de eje de pista, cuando se proporciona, ayuda a los pilotos a apreciar la posición de la aeronave cuando ésta desciende durante el recorrido en tierra. La clave consiste en luces alternadas rojas y blancas, dentro de la zona comprendida entre 900 m y

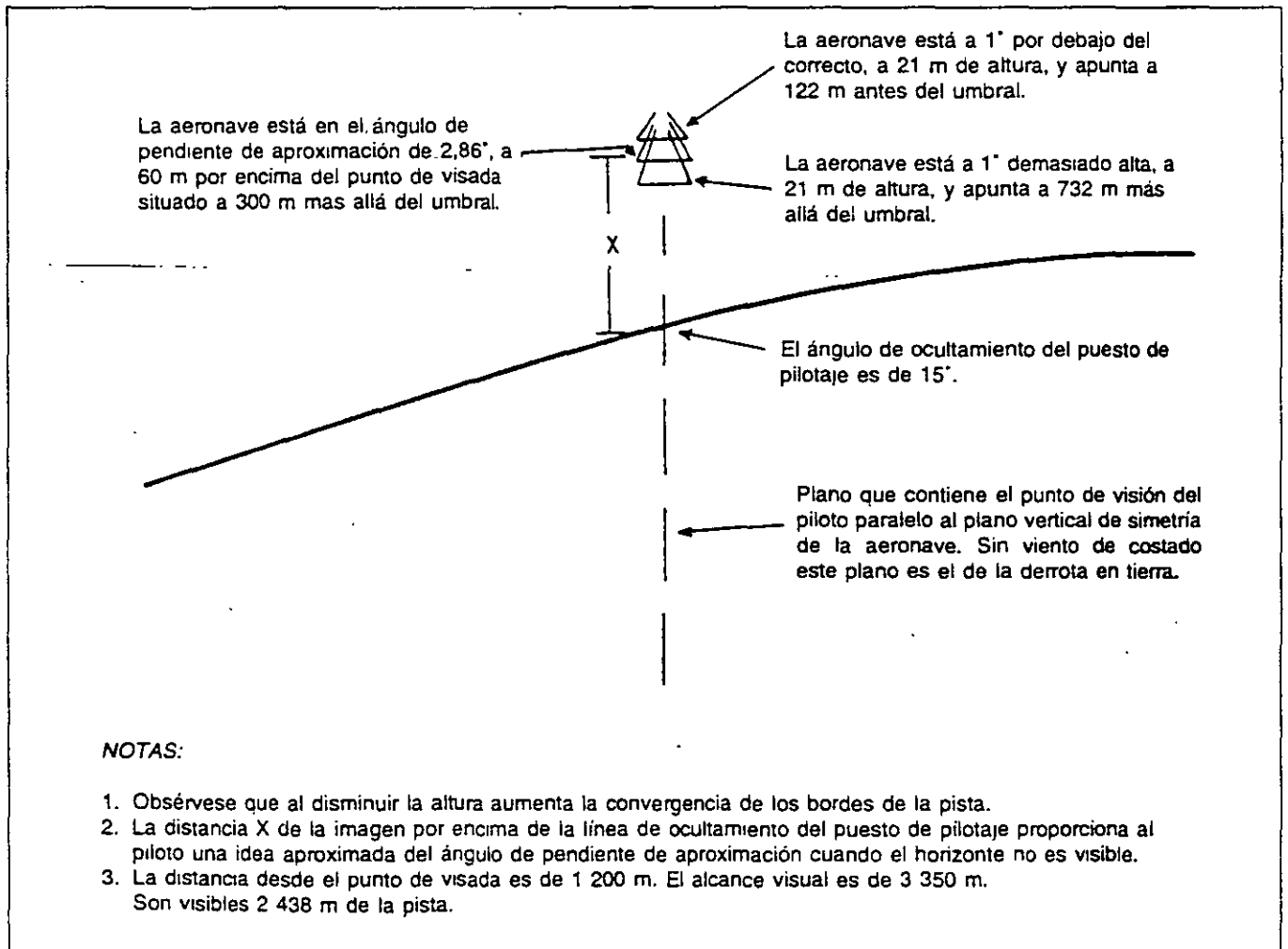


Figura 1-5. Errores de altura y de orientación aparentes cuando sólo es visible la pista y el horizonte está oculto

300 m por delante del extremo de la pista, y en luces todas rojas en los últimos 300 m de la pista anteriores al extremo de pista. Las señales de zona de toma de contacto, cuando se proporcionan para aterrizar en sentido opuesto, son también útiles para apreciar la posición de la aeronave en los últimos 900 m del recorrido en tierra. Las señales de distancia fija indican una posición a 300 m. por delante del extremo de la pista. Las luces de extremo de pista señalan el límite de la longitud de pista disponible para el recorrido en tierra.

#### *Guía para salida de la pista*

1.4.26 A medida que el piloto descelera la aeronave hasta la velocidad de salida, es importante, especialmente en aeropuertos de mucho tránsito, que salga cuanto antes de la pista. Cuando se dispone de calles de salida a gran velocidad es posible salir pronto de la pista. Los pilotos necesitan saber de antemano el punto de salida puesto que, si no se les proporciona esta información, se ven obligados a continuar el recorrido en tierra en busca de una salida que, con frecuencia, se ve demasiado tarde para poder utilizarla. La iluminación de eje de calle de rodaje que se prolonga hasta el eje de la pista, según se especifica en el Anexo 14, Volumen I, para calles de rodaje que no sean las de salida rápida, es una ayuda muy útil por la noche. (Los datos sobre los movimientos de la cabeza y de los ojos del piloto indican que estos movimientos son mucho menores cuando se efectúa el rodaje después del aterrizaje, comparándolos con los movimientos durante el rodaje antes del despegue. Esto puede explicar en parte las dificultades propias de la etapa que sigue inmediatamente al aterrizaje, es decir, la fatiga del piloto o la continuación de la posición de "mirada fija" que adopta el piloto durante el enderezamiento y el aterrizaje.

1.4.27 En general, la guía para el rodaje hacia el edificio terminal o para salir hacia la pista de despegue no plantea problemas importantes para los pilotos familiarizados con el aeropuerto y que circulan en condiciones VMC. Los pilotos de aeronaves de largo fuselaje deben proceder con prudencia en las intersecciones de las calles de rodaje, particularmente durante la noche. Los problemas principales se deben a que son inadecuadas:

- a) la información sobre emplazamiento y destino;
- b) la limpieza de la nieve en los lugares donde están instaladas las luces de eje de calle de rodaje;
- c) el control del tránsito en la superficie, particularmente en las intersecciones con las pistas; y
- d) la delineación del camino que ha de seguirse en las plataformas de gran extensión.

#### *Guía para el despegue*

1.4.28 Desde el punto de vista de la guía visual, la fase de despegue no constituye ningún problema. El piloto efectúa el rodaje hasta el punto de despegue, sirviéndose de las luces de borde de pista, o de las luces de eje de pista por la noche, para centrar la aeronave sobre la pista. Las señales o las luces de eje

de pista proporcionan la guía de alineación. La codificación de las luces del eje de la pista, si se proporciona, y las luces de extremo de pista son de importancia primordial cuando un piloto interrumpe el recorrido de despegue durante la noche.

#### **Ayudas visuales en condiciones meteorológicas de vuelo por instrumentos (IMC)**

1.4.29 En los párrafos 1.4.4-a-1.4.28 se estudió el caso de vuelos en condiciones VMC y se analizó el diseño de las ayudas visuales terrestres destinadas a ayudar a los pilotos. Estos mismos análisis son aplicables a esta sección cuando, después de una aproximación por instrumentos el piloto pasa a vuelo visual y completa las maniobras de aproximación, enderezamiento y aterrizaje únicamente con referencias visuales exteriores.

1.4.30 Solamente los pilotos experimentados, habilitados para vuelos por instrumentos y para el uso de la radio están autorizados a volar en condiciones IMC. Sin embargo, las aproximaciones, los aterrizajes y los despegues realizados en condiciones IMC, particularmente cuando la visibilidad es inferior a 800 m, exigen el uso de ayudas visuales más potentes y complejas que las necesarias en condiciones VMC.

#### *Localización del aeropuerto*

1.4.31 En condiciones IMC la localización del aeropuerto depende primordialmente de la utilización de ayudas no visuales. En donde se hayan establecido procedimientos de aproximación que no sean de precisión en los que se exige volar manteniendo el "contacto" a lo largo de una distancia de varios kilómetros, siguiendo un rumbo especificado desde la vertical del punto de referencia de aproximación final al aeropuerto, que es una ayuda no visual, las ayudas visuales terrestres ayudan a localizar los aeropuertos particularmente por la noche. Las luces de aproximación, las luces de borde de pista y las luces de guía para el vuelo en circuito, así como el faro de aeropuerto, son ayudas que se utilizan en función de las operaciones que se lleven a cabo.

#### *Identificación del aeropuerto*

1.4.32 La identificación del aeropuerto solamente constituye un problema cuando se utilizan ayudas que no son de precisión. El piloto supone que ha identificado el aeropuerto cuando alcanza a ver los alrededores de una pista una vez transcurrido el tiempo apropiadamente calculado de vuelo, desde el punto de referencia de aproximación final. Cuando dos aeropuertos están muy cerca el uno del otro, es muy posible que los pilotos se equivoquen de aeropuerto al utilizar ayudas de aproximación por instrumentos que no sean de precisión, si las pistas están orientadas aproximadamente en la misma dirección. En estas condiciones, un faro de identificación podría resultar una ayuda visual de suma utilidad.

#### *Información de aterrizaje*

1.4.33 Con objeto de evitar pérdida de tiempo aproximaciones frustradas innecesarias, es esencial que

pilotos obtengan toda la información de aterrizaje pertinente (altura de la base de las nubes y visibilidad, dirección y velocidad del viento, pista en servicio, etc.) antes de iniciar un procedimiento de aproximación por instrumentos. Aquellas ayudas visuales que proporcionan información para el aterrizaje en condiciones VMC no sirven en condiciones IMC.

*Pistas para aproximaciones que no sean de precisión*

1.4.34 Los procedimientos de aproximación directa que no sean de precisión, no deberían exigir un cambio de rumbo, en la aproximación final hacia la pista de aterrizaje, que exceda de 30° (Figura 1-6). En los procedimientos de

aproximación que no sea de precisión se autorizan normalmente las maniobras en circuito hacia otras pistas (si las hubiera), además de una determinada pista, si están a menos de 30° del rumbo de aproximación final. La tarea del piloto es menos complicada, y por consiguiente más segura, cuando la trayectoria de aproximación final está alineada con la pista de aterrizaje. Puede considerarse que el grado de dificultad es directamente proporcional a la magnitud del cambio de rumbo necesario para pasar de la aproximación final a la pista.

1.4.35 Se elaboran los procedimientos de aproximación que no son de precisión de forma que la aeronave pueda descender hasta la altitud mínima establecida para el

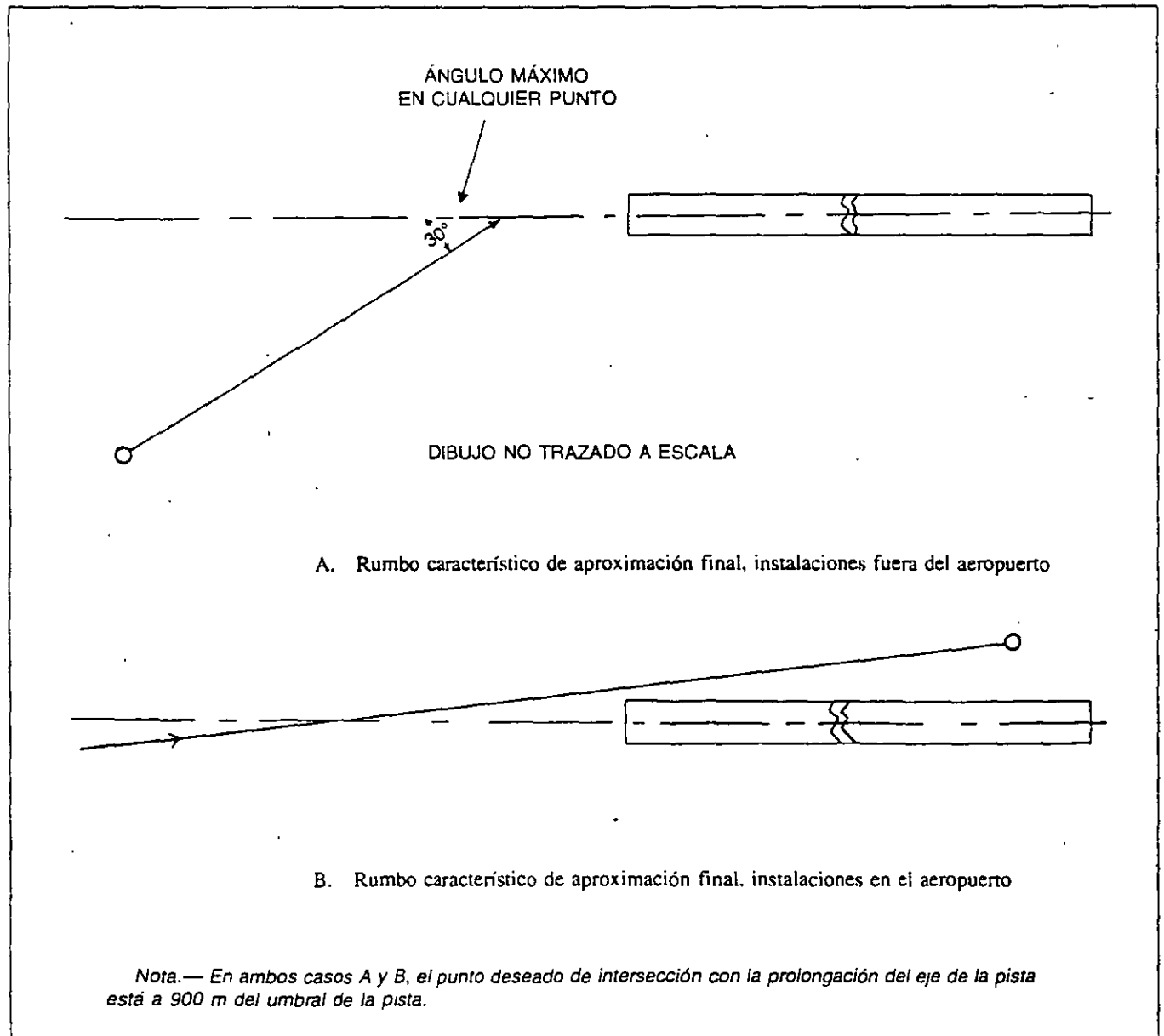


Figura 1-6. Ejemplos de aterrizajes directos, ayudas que no son de precisión

procedimiento, antes de que la trayectoria de vuelo corte a la prolongación del eje de la pista (Figura 1-6). La guía en azimut se proporciona mediante el sistema de iluminación de aproximación (ALS) allí donde se dispone del mismo. Si no se proporciona ALS, deben aplicarse mínimos más elevados de visibilidad para que el piloto tenga tiempo de interceptar la prolongación del eje de la pista, sirviéndose como guía visual, del contraste con los terrenos circundantes, o de las luces de borde de pista.

#### *Guía para el vuelo en circuito*

1.4.36 Volar en circuito para aterrizar después de una aproximación por instrumentos, cuando las condiciones meteorológicas sean las mínimas establecidas para el procedimiento, o cerca de las mismas, es una tarea de pilotaje que requiere pericia considerable. Los pilotos deben establecer la referencia visual con la pista volando a alturas tan bajas como a 90 m por encima de los obstáculos. Las referencias visuales son análogas a las requeridas en condiciones VMC, según lo indicado en 1.4.10 y 1.4.11, sin embargo, los pilotos utilizan más los instrumentos de la aeronave para mantener la alineación y la altura. El tamaño aparente de objetos conocidos, el movimiento aparente de los objetos, el hecho de que un objeto impida la visión de otro y las pendientes del relieve natural son puntos de referencia importantes para apreciar la altura y la distancia durante el día.

#### *Aproximación final, enderezamiento y aterrizaje*

1.4.37 Cuando la aeronave se alinea con la pista después de una aproximación directa o de una aproximación en circuito se utilizan las ayudas visuales terrestres de modo muy similar al indicado anteriormente en operaciones VMC, salvo algunas excepciones. Dado que el horizonte no es visible, el ángulo de pendiente de aproximación (cuando no se dispone de sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación) se obtiene mediante la altura del punto de visada de la pista por encima del borde inferior del parabrisas. Cuando los bordes de pista se hacen suficientemente visibles, la convergencia de los ángulos ayuda al piloto a apreciar el ángulo de pendiente de aproximación hacia el punto de visada. Puede que no se tenga una apreciación instantánea de la guía de alineación puesto que gran parte de la pista está oscurecida durante la aproximación final.

1.4.38 Los sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación constituyen ayudas visuales de suma importancia ya que muchas referencias visuales quedan ocultas debido a las condiciones meteorológicas. Los pilotos que realizan aproximaciones sin disponer de sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación, tropiezan en muchos lugares con grandes dificultades, especialmente cuando las aproximaciones se realizan sobre el agua o sobre terrenos sin relieve.

#### *Pistas para aproximaciones de precisión*

1.4.39 Para todas las categorías de aproximaciones de precisión se utiliza el mismo tipo de ayuda terrestre no visual

(ILS), con la única diferencia de que tanto el equipo terrestre como el equipo de a bordo deben ser de mayor precisión para satisfacer los requisitos de certificación en operaciones con visibilidad más reducida. Esta mayor precisión se indica en las envolventes de trayectorias de vuelo indicadas en la Figura A-4 del Adjunto A, Anexo 14, Volumen I.

1.4.40 La mayor preocupación del piloto en las operaciones con categorías de visibilidad reducida es que la aproximación por instrumentos continúa hasta valores mínimos inferiores (por lo tanto el piloto continúa dependiendo de los instrumentos al estar más cerca del umbral), se prolonga la fase de vuelo por instrumentos y se acorta la fase de vuelo visual. Por ejemplo, la altura de decisión (DH) normal es de 60 m en las operaciones de Categoría I; de 30 m en las operaciones de Categoría II; no se aplica ninguna altura de decisión (DH) en las operaciones de Categorías IIIA y B; y por último, en las operaciones de la Categoría IIIC no se recurre para nada a las ayudas visuales. La altura de decisión real en un aeropuerto dado dependerá de las condiciones locales.

1.4.41 Durante la fase del vuelo por instrumentos, el piloto trata de saber la posición de la aeronave en sentido lateral, vertical y longitudinal, así como el valor probable de su ángulo de deriva cuando logre establecer contacto visual con el sistema de iluminación. Cuando alcanza a ver el sistema de iluminación de aproximación, el piloto debe rápidamente verificar las impresiones facilitadas por la guía electrónica y decidir si debe continuar con la aproximación por debajo de la altura de decisión que sea aplicable.

#### *Aproximación final — Guía de azimut*

1.4.42 En el momento en que el piloto alcanza a ver un tramo corto del eje del sistema de luces de aproximación (ALS), puede rápidamente comprobar el desplazamiento respecto al eje. Si el sistema cuenta con barretas de fila lateral en los 300 m interiores del sistema, los pilotos obtienen una información adicional relativa a la magnitud del desplazamiento. Se requieren unos 3 segundos para decidir cuál es la trayectoria de vuelo en relación con el eje [variable b), 1.4.15]. Si la aeronave está alineada, los elementos que forman el eje del sistema de luces de aproximación ALS parecen ser simétricos. Si no hay alineación, los elementos del eje del ALS son asimétricos y el piloto debe decidir si la aeronave se dirige hacia el eje, vuela paralela al mismo, o se aparta del eje. En los dos últimos casos, la magnitud de la corrección que puede realizarse con seguridad depende no sólo de la velocidad de aproximación y de la distancia al umbral sino también de la maniobrabilidad de la aeronave y de la longitud de pista disponible para el aterrizaje. Esta decisión vital que implica muchas variables ha de adoptarse en unos pocos segundos.

1.4.43 Las barretas de fila lateral son especialmente útiles en condiciones de visibilidad reducida. Estas barretas ayudan a tomar decisiones más rápidas por estar en línea con las barretas de la zona de toma de contacto, y por ello constituyen un punto de referencia positivo respecto a la zona de la pista en la que la aeronave debería aterrizar. Esta zona interior de

ALS proporciona excelentes referencias visuales para apreciar la actitud de balanceo de la aeronave — referencias que son esenciales para mantener la alineación con la pista. Cuando la aeronave llega a la altura de decisión de Categoría II, 30 m, la pista se encuentra entonces a menos de 5 segundos de vuelo, y por lo tanto, la decisión de proseguir con la aproximación dependen en gran medida de que la trayectoria de vuelo de la aeronave esté comprendida entre las barretas de fila lateral.

*Aproximación final — Información sobre la altura*

1.4.44- Para que las ayudas visuales proporcionen guía de pendiente de aproximación cuando no se dispone de un sistema visual indicador de pendiente de aproximación, o éste no sea visible por razón de la escasa visibilidad, es necesario que sea visible el punto de visada. Por lo tanto es evidente que las operaciones en visibilidades reducidas de la Categoría II e inferiores se realizan sin la ayuda de guía visual de pendiente de aproximación (Figura 1-3). Cuando una aeronave desciende por debajo de la trayectoria de planeo, hasta alturas de unos 15 m por encima del sistema de luces de aproximación, los componentes transversales determinan un plano de apariencia lineal en el que la apreciación de la altura es buena, a condición de que la visibilidad permita que el piloto vea y mantenga ante su vista un tramo visible de longitud equivalente a unos 3 segundos de tiempo de vuelo. Este no es un procedimiento aprobado ni recomendado, debido a la posibilidad de encontrar una zona de niebla densa que pueda ocasionar la desaparición o acortamiento del tramo visual. En estas condiciones, los pilotos pueden tener la ilusión de que la aeronave se encabrita y la reacción normal de los pilotos es la de aumentar la velocidad vertical de descenso con la

posibilidad de realizar un aterrizaje corto por delante del umbral de la pista (Figura 1-7).

*Enderezamiento y aterrizaje*

1.4.45 Antes de que existieran las luces de eje de pista y las luces de toma de contacto, los pilotos se enfrentaban con una tarea extremadamente difícil al volar en condiciones de visibilidad equivalentes a las actuales de la Categoría II e inferiores. El problema era más agudo durante la noche y la condición se denominaba apropiadamente el "agujero negro". Los faros de aterrizaje de la aeronave eran inútiles ya que iluminaban la niebla en lugar de la superficie de la pista, con lo que se deterioraba aún más el medio ambiente visual. El desarrollo y la utilización de luces de eje de pista y de luces de toma de contacto proporcionan a los pilotos guía de azimut e información de altura — que son la solución del problema del "agujero negro". Los componentes transversales de las luces de zona de toma de contacto, proporcionan guía de balanceo, que es la clave para mantener la alineación de la aeronave con la pista. Estas luces indican también los límites laterales (izquierdo y derecho) y longitudinales de la zona de toma de contacto, particularmente para las aeronaves de gran tamaño.

1.4.46 Durante el día, las señales de pista dentro de la zona de toma de contacto proporcionan guía de azimut e información de altura para las operaciones de la Categoría I. Las señales son también ayudas visuales importantes en las operaciones de Categorías II y III, particularmente de día, cuando los niveles de brillo de fondo son elevados.

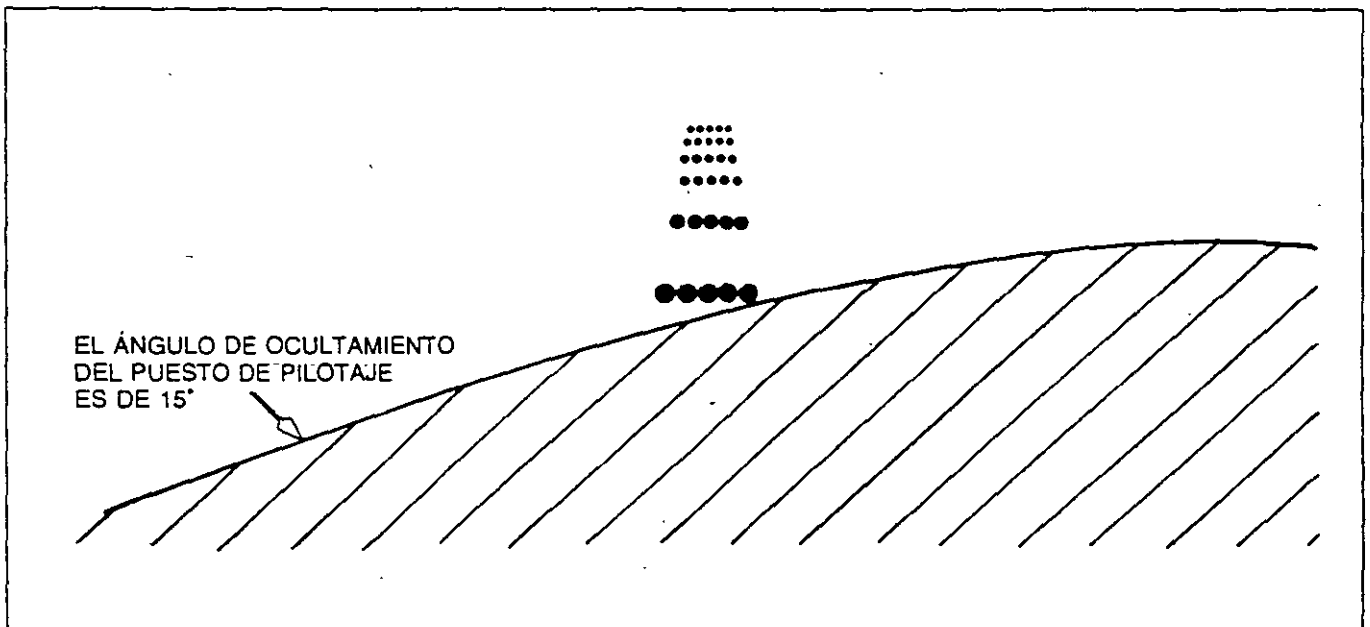


Figura 1-7. Tramo visual de tierra de 150 m visto por un piloto que vuela a una altura de 15 m por encima del sistema de luces de aproximación

1.4.47 Al aproximarse a la pista, las distintas luces de eje de pista y de zona de toma de contacto se ven como fuentes puntuales, pero durante el enderezamiento a poca altura, las fuentes puntuales más próximas se transforman en fuentes lineales (líneas de trazos). La distancia por delante de la aeronave a la que las fuentes puntuales se convierten en fuentes lineales varía según la velocidad de la aeronave y la altura del puesto de pilotaje. El efecto de trazas lineales se debe a la elevada velocidad angular a la que las luces se mueven por la retina del ojo; es decir que no pueden fijarse mediante los movimientos de seguimiento del ojo. El efecto es que aumente la impresión de altura que tiene el piloto o que aumente la impresión de cualquier cambio de azimut que pueda producirse. Por lo tanto, puede verse que cuando los pilotos de muchas aeronaves (a elevadas velocidades de aterrizaje, y con poca altura del puesto de pilotaje) aterrizan en condiciones de la Categoría IIIB, verán en la mayoría de los casos trazos de luz durante la noche, puesto que las fuentes puntuales de casi todas las luces estarán ocultas por la niebla. El efecto de trazas lineales no es tan evidente durante el día, por cuanto la superficie de la pista, compuesta de millones de referencias por su textura, es visible y da también lugar a la impresión de trazos lineales.

#### *Guía del recorrido en tierra*

1.4.48 A medida que disminuye el alcance visual en la pista RVR, el piloto tiene que depender cada vez más de las luces de eje de pista y llega un punto en el que casi lo único que ve es el eje de la pista en condiciones de Categoría III. Las luces y señales de eje de pista son eficaces para guiar la aeronave en tierra con alcances visuales muy reducidos, especialmente cuando el piloto está por encima de las señales. El desplazamiento máximo suele ser de unos 9 m a la izquierda o a la derecha, pero tal desplazamiento reduce apreciablemente la guía de azimut en condiciones de escasa visibilidad. En la Figura 1-8 se muestra que estas luces se desplazarán un ángulo relativamente grande respecto al eje longitudinal de la aeronave. Normalmente los pilotos dirigirán la aeronave hacia el eje y por encima (o cerca) del eje para mejorar la guía de azimut en tales condiciones.

#### *Salida de pista.*

1.4.49 La localización de las calles de salida puede ser un problema importante cuando se vuela en condiciones de RVR por debajo de 400 m, a no ser que las luces de calle de rodaje verdes se prolonguen hasta la pista, de conformidad con las especificaciones del Anexo 14, Volumen I. La experiencia ha demostrado que la salida de la pista puede ser lenta, aún en condiciones VMC, a menos que se provean luces de calle de rodaje que se prolonguen hasta el eje de la pista. Las luces de alta intensidad, el efecto de halo en torno a las luces, los niveles elevados de luz ambiental, junto con la niebla, la lluvia en el parabrisas, etc. son todos factores que unidos a la fatiga del piloto después del aterrizaje, crean la firme necesidad de imponer el requisito operacional de una buena iluminación de salida de pista en operaciones con visibilidad reducida.

#### *Información sobre distancia*

1.4.50 Las luces de aproximación y de pista proporcionan por etapas sucesivas información sobre distancia a lo largo de toda la longitud de los sistemas combinados. Estas etapas se indican en la Tabla 1-1. La disponibilidad de ayudas visuales terrestres, para mantener informados a los pilotos acerca de su posición en condiciones de visibilidad reducida, es una característica importante del sistema que atañe a la seguridad.

#### *Guía para el rodaje*

1.4.51 Aunque el rodaje en condiciones VMC no suele presentar ningún problema importante, el rodaje en condiciones IMC (particularmente por la noche) se hace cada vez más difícil a medida que disminuye la visibilidad, incluso para los pilotos que están muy familiarizados con el aeropuerto. Todavía no se han desarrollado plenamente las ayudas visuales necesarias para el movimiento seguro y rápido de las aeronaves sobre la superficie. Los pilotos de aeronaves de fuselaje largo necesitan señales para informarles de que la cola de su aeronave se encuentra fuera de la pista y de otras calles de rodaje cuando unas intersecciones están cerca de otras. Los pilotos necesitan que se les avise con antelación cuando se aproximan a una curva, a menos que el rodaje se efectúe a muy poca velocidad. Al entrar en la plataforma, la delineación de las calles de rodaje en la plataforma es tan importante como la delineación de las calles de rodaje convencionales. Al salir de la plataforma, en condiciones de visibilidad reducida, puede resultar una tarea muy difícil la de localizar e identificar las calles de rodaje que hayan de utilizarse.

1.4.52 La conmutación de las luces de eje de calle de rodaje, comprendidas las calles de rodaje de la plataforma, para delinear el camino que ha de seguirse en el rodaje, es una solución óptima por lo que se refiere a ayudas visuales. Si no se proporciona un sistema de conmutación, los letreros claros de identificación del camino a seguir, constituyen una ayuda visual de suma importancia para los pilotos en condiciones de visibilidad reducida.

#### *Guía para el atraque y el estacionamiento*

1.4.53 En el caso de visibilidades inferiores, es necesaria la guía de eje hacia el punto de atraque para impedir grandes cambios de rumbo, cuando se alcanzan a ver las señales de guía de atraque. Las señales de atraque que proporcionan guía a la izquierda o a la derecha, indicación de velocidad de acercamiento y la orden de detenerse en relación con la posición del piloto, sin que éste tenga que girar la cabeza y sin la ayuda de un señalero, constituyen la descripción del sistema ideal de guía visual para el atraque. Cuando no esté implicado el atraque, se requieren ayudas visuales para que los pilotos realicen el estacionamiento en las zonas abiertas de la plataforma, con o sin ayuda de señaleros, para mantenerse a una distancia de seguridad de todos los demás objetos en el área de estacionamiento. La iluminación general de la plataforma debería servir para que puedan leerse las instrucciones de estacionamiento y para que se vean los objetos que puedan

constituir un obstáculo a los movimientos de las aeronaves, y no deberían impedir la visibilidad de las señales necesarias para atraque o estacionamiento.

Guía para el despegue

1.4.54 La guía para el despegue se proporciona mediante luces y señales de eje de pista. Cuando la aeronave se

encuentra en el sistema, la guía de alineación es excelente y pueden realizarse operaciones en condiciones de seguridad con alcances visuales bastante reducidos. El eje con luces codificadas en los últimos 900 m de la pista es muy valioso en caso de despegue interrumpido, ya que las referencias permiten al piloto decidir si ha de recurrir a los procedimientos de frenado de emergencia para detener la aeronave sin salirse de la pista.

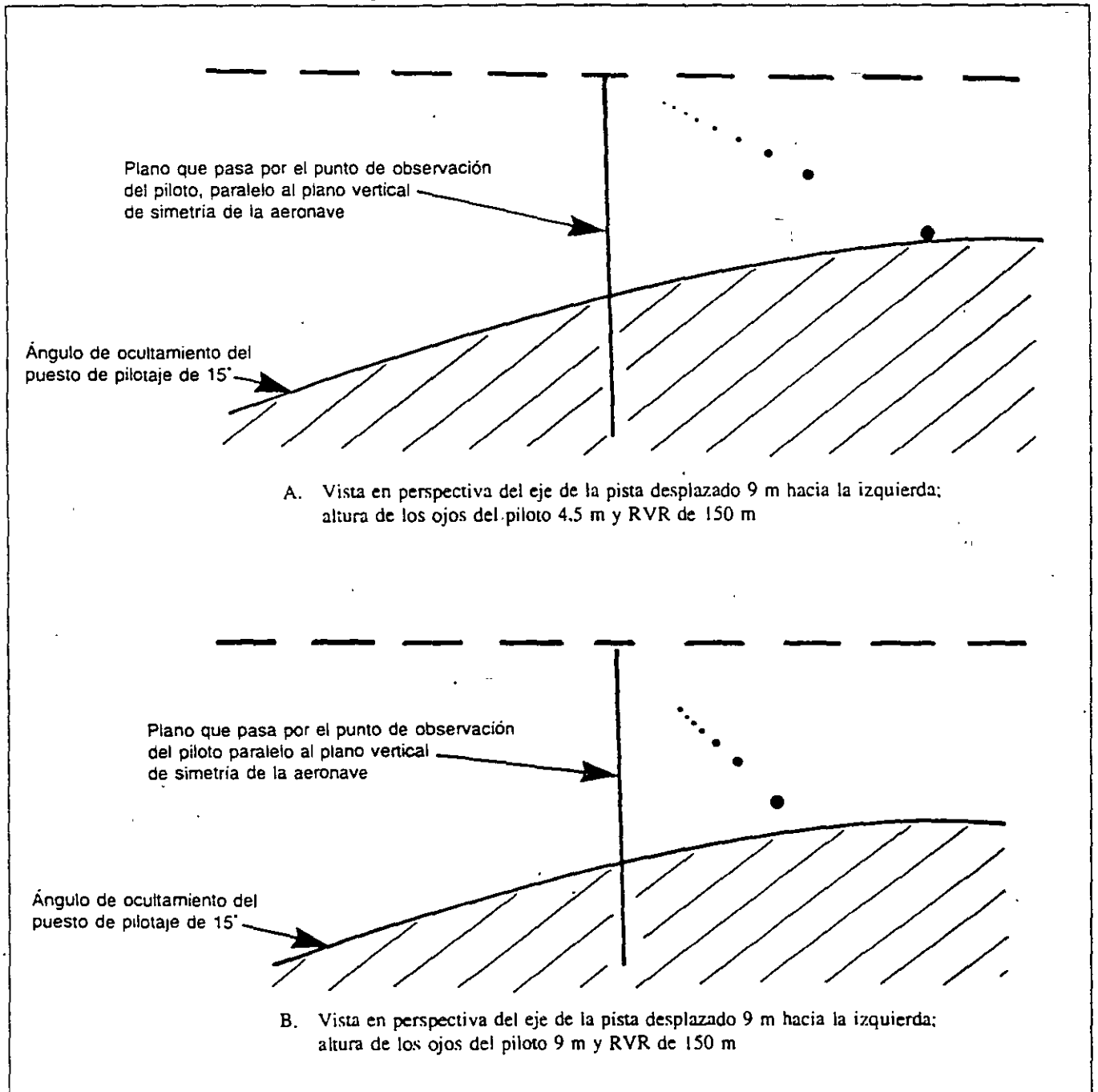


Figura 1-8. Vista en perspectiva del eje de la pista desde diversas alturas de los ojos del piloto

Tabla 1-1. Código de distancias para Categorías II y III

Sistema	Componente	Color	Configuración	Importancia para las operaciones
Sistema de iluminación de aproximación y eje con clave de distancias	600 m exteriores	Blanco	Configuración con tres fuentes de luces en el sector más exterior y dos fuentes de luces en el sector interior	Posición de la aeronave por encima de la altura de decisión (Categoría II)
Sistema de iluminación de aproximación y eje de barretas	600 m exteriores	Blanco	Eje formado por cinco barretas de luces con luces de descarga de condensador en cada estación	Posición de la aeronave por encima de la altura de decisión (Categoría II)
Sistema de iluminación de aproximación, ambos tipos	300-30 m	Blanco	Barra transversal en un punto a 300 m	Una señal potente a la altura de decisión o cerca de ella (Categoría II)
		Blanco	Eje de barretas	Alineación de eje
		Rojo	Filas laterales alineadas con las luces de zona de toma de contacto	Marca los límites laterales de desviación para el aterrizaje. Si el piloto está fuera de la señal, debe interrumpir la aproximación a menos que esté orientado hacia el eje.
		Blanco	Barra lateral en un punto a 150 m	Enderezamiento anticipado para algunas aeronaves de gran tamaño, proximidad inmediata del umbral. (Todo el sector marca la zona anterior al umbral, pero cada uno de los componentes ayudan al piloto de diversas maneras.)
Umbral de la pista	Una fila transversal	Verde	Una fila transversal que puede interrumpirse en la parte central	Comienzo de la superficie de aterrizaje
Eje y zona de toma de contacto	Primeros 900 m de la pista	Blanco	Eje de pista	Alineación con el eje
		Blanco	Barretas de zona de toma de contacto — unos 9 m a cada lado del eje	Límites laterales de desviación. (La totalidad del sector determina una zona segura para el aterrizaje.)
Eje	Parte central de la pista	Blanco	Determina la parte central de la pista	Zona de deceleración
Eje	Últimos 900 m de la pista	Rojo y blanco alternados	Luces rojas y blancas alternadas en los primeros 600 m del sector	Advierte al piloto que se acerca a los últimos 300 m de la pista
		Rojo	Todas las luces rojas en una distancia de 300 m	Determina la zona final de la pista
Extremo de pista	Fila transversal	Rojo	Fila transversal que está normalmente interrumpida en la parte central	El fin de la pista



## Capítulo 2. SEÑALES Y BALIZAS DE SUPERFICIE<sup>1</sup>

### 2.1 SEÑALES EN LAS PENDIENTES SITUADAS INMEDIATAMENTE POR DELANTE DE LOS EXTREMOS DE LAS PISTAS<sup>2</sup>

2.1.1 En los aeropuertos donde exista una pendiente descendente pronunciada inmediatamente antes del comienzo de una pista, los pilotos pueden encontrar dificultades al estimar su altura durante el aterrizaje.

2.1.2 En el aeródromo de Estocolmo-Bromma hay dos de estas pendientes y la experiencia ha demostrado que daban lugar al riesgo de que las aeronaves hicieran un aterrizaje demasiado corto. Para evitarlo se han instalado balizas de límite en una configuración en zig-zag, perpendicular a la prolongación del eje de la pista y a todo lo ancho de ésta.

2.1.3 Las balizas pueden pintarse en campos alternados negros y amarillos, y cada campo tiene una longitud de 1 m. Los extremos superiores de las balizas pueden emplazarse de forma que queden inmediatamente por debajo de la elevación de la pista al borde de la pendiente (véase la Figura 2-1).

2.1.4 Se cree que con esta sencilla disposición podrá disminuir considerablemente la dificultad de estimar la altura en las circunstancias mencionadas. Las balizas pueden también servir de advertencia al piloto para que vigile atentamente la altura a que vuela.

2.1.5 Estas balizas han demostrado ser muy satisfactorias.

1. En el Apéndice 3 se proporciona orientación sobre la selección, aplicación y retiro de las pinturas.
2. Texto proporcionado por Suecia.

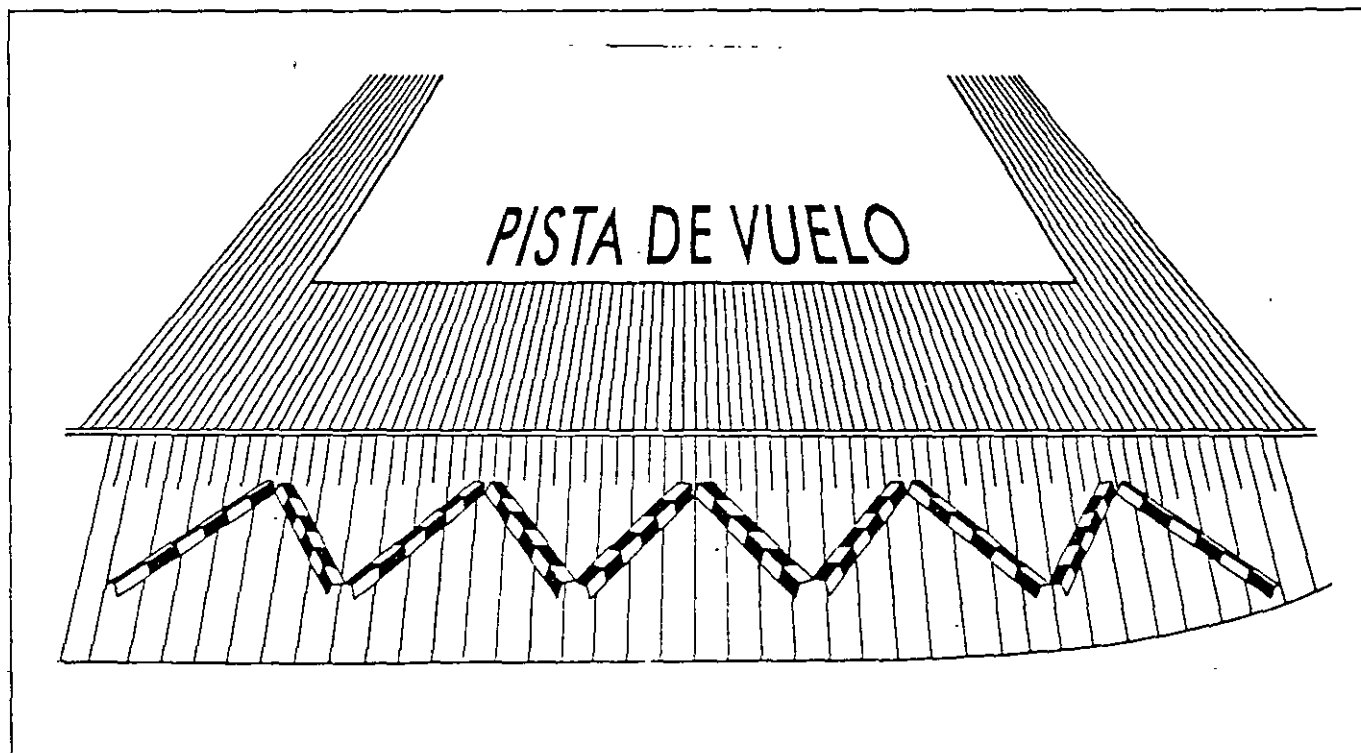


Figura 2-1. Señales en las pendientes situadas inmediatamente por delante del umbral de la pista

## 2.2 NUEVAS SEÑALES DE MÁRGENES PAVIMENTADOS<sup>3</sup>

2.2.1 Las plataformas y calles de rodaje pueden estar provistas de márgenes estabilizados que tienen el aspecto de pavimento pero que no están previstos para soportar las ruedas de las aeronaves. Análogamente, puede ser que en la zona de la plataforma haya pequeñas áreas de superficie pavimentada no resistente que tengan la apariencia de ser plenamente resistentes. Esta estabilización puede proporcionarse para evitar la erosión debida al chorro de los reactores y al agua, así como para proporcionar una superficie lisa que pueda mantenerse limpia de detritos.

2.2.2 En los tramos rectos, puede indicarse fácilmente esta zona de estabilización mediante las señales de faja lateral de calle de rodaje recomendadas en el Anexo 14, Volumen I. En las intersecciones de las calles de rodaje y en otras áreas en las que al virar puede presentarse la posibilidad de confundir las señales de faja lateral con las señales de eje, siempre que el piloto no esté seguro del lado de las señales de borde al que se encuentra el pavimento con insuficiente resistencia a la carga, se ha comprobado que constituye una ayuda útil la colocación de fajas transversales en la superficie no resistente a la carga.

2.2.3 Según se indica en la Figura 2-2, las fajas transversales deberían emplazarse perpendicularmente a las señales de faja lateral. En las curvas, debería colocarse una faja en cada punto de tangencia con la curva y en los puntos intermedios a lo largo de la curva, de modo que el intervalo entre fajas no exceda de 15 m. Si se considera conveniente colocar fajas transversales en pequeños tramos rectos, el espaciado no debería exceder de 30 m. La anchura de las señales debería ser de 0.9 m y deberían extenderse hasta una distancia de 1.5 m del borde exterior del pavimento estabilizado o tener una longitud de 7.5 m, de estas dos longitudes la menor. Las fajas transversales deberían ser del mismo color que las fajas de borde, es decir, amarillas.

## 2.3 SEÑALES DE PLATAFORMA

### Objeto de la guía en los puestos de estacionamiento de aeronave

2.3.1 El objetivo principal de la guía en los puestos de estacionamiento de aeronave es el que las aeronaves:

- a) puedan maniobrar sin peligro en el puesto de estacionamiento; y
- b) puedan establecer con precisión la posición correcta.

En el pasado se obtenía este objetivo principalmente mediante señales de plataforma. En la actualidad se utilizan varias ayudas luminosas en los aeropuertos de tránsito intenso para complementar la guía provista por las señales de plataforma durante la noche y en condiciones de mala visibilidad.

Son de especial interés las luces de guía para maniobras de las aeronaves en los puestos de estacionamiento, así como los sistemas de guía visual para el atraque, de los que se trata en mayor detalle en el Capítulo 12. Debido al peligro del chorro de los reactores y para utilizar de forma óptima el espacio disponible en las plataformas, así como para reducir al mínimo las distancias que han de recorrer a pie los pasajeros, ya no se aceptan en los principales aeropuertos los puestos de estacionamiento en los que las aeronaves de reacción de tamaños medio y grande maniobren por sí mismas.

### Facilidad de maniobras de las aeronaves en condiciones de seguridad

2.3.2 Los puestos de estacionamiento de aeronave suelen estar colocados a distancias relativamente pequeñas entre sí, con el fin de reducir al mínimo posible el área de la superficie pavimentada, así como la distancia que los pasajeros tienen que recorrer a pie. Por consiguiente, es preciso controlar con precisión las maniobras de las aeronaves de forma que en todo momento mantengan un margen de seguridad entre ellas, con las aeronaves adyacentes, los edificios y los vehículos de servicio en las plataformas. También debería considerarse la necesidad de lograr que el chorro de los motores de reacción de las aeronaves que maniobran en la plataforma no interfiera en las actividades del puesto adyacente y que las señales sean compatibles con la capacidad de viraje de todas las aeronaves que utilizan el puesto de estacionamiento. Los márgenes de separación entre aeronaves que maniobran y otras aeronaves, edificios u otros obstáculos en diversas circunstancias...s, indican en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 3. Debería controlarse el movimiento del equipo y de los vehículos terrestres, para asegurar que el área de maniobras de las aeronaves en el puesto de estacionamiento está despejada. El equipo y los vehículos terrestres deberían mantenerse fuera de líneas de seguridad predeterminadas cuando las aeronaves estén maniobrando o cuando el equipo se deje desatendido.

### Manera de seguir a lo largo de la línea de guía

2.3.3 Existen dos procedimientos reconocidos para que las aeronaves sigan las líneas de guía. En uno de ellos la proa de la aeronave (o el asiento del piloto) se mantienen sobre la línea mientras que en el otro es la rueda de proa la que sigue la línea de guía. En el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 3, se especifica que las curvas de las calles de rodaje deberían diseñarse con el fin de que proporcionen los márgenes de separación necesarios cuando el puesto de pilotaje de las aeronaves permanece sobre las señales de eje de calle de rodaje. Esto se debe esencialmente a la dificultad que tendría el piloto de asegurarse de que la rueda de proa sigue las líneas de guía. En algunas aeronaves, la rueda de proa está

3. Las disposiciones internacionales para la señalización de márgenes pavimentados figuran en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 7.

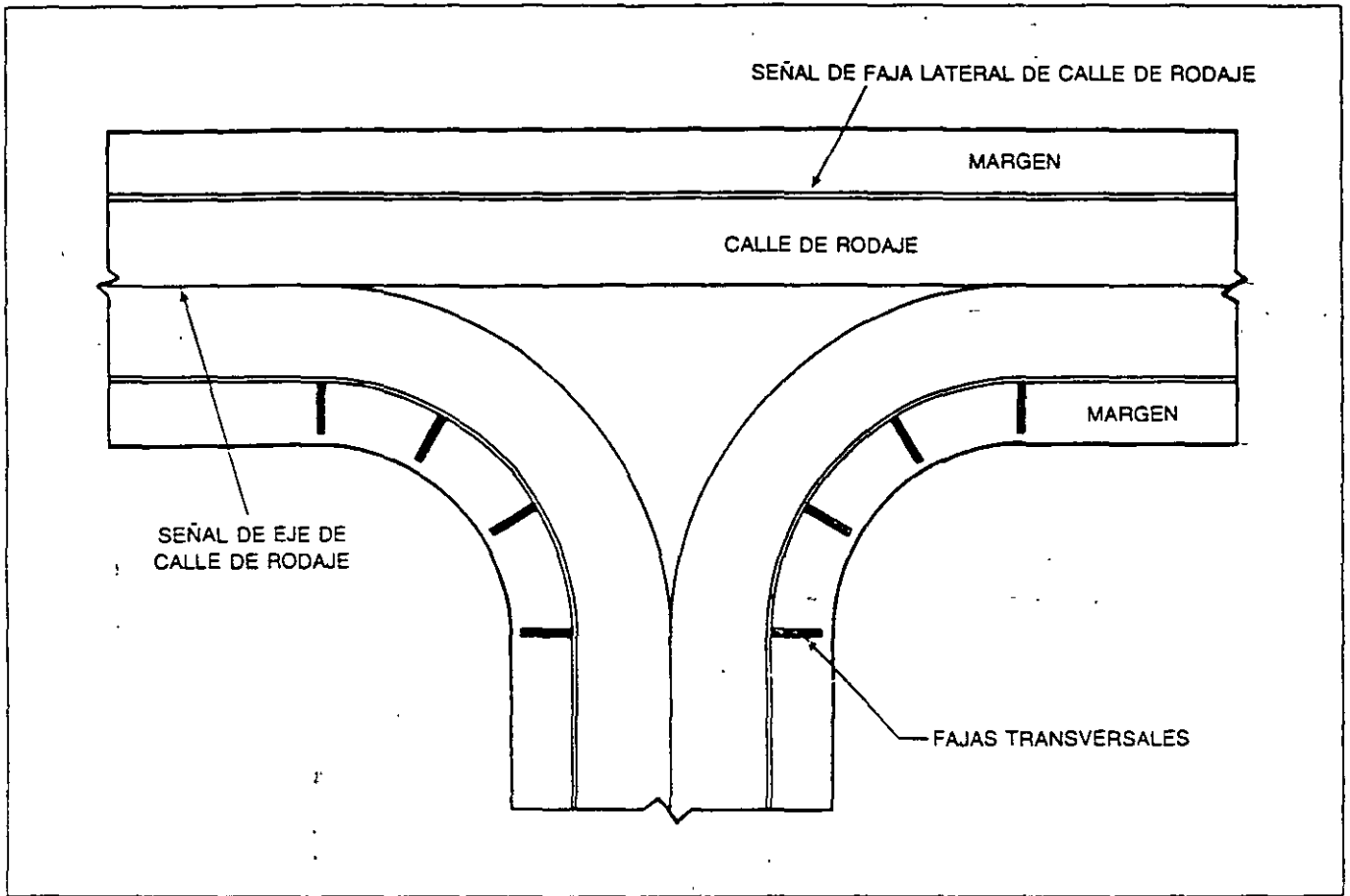


Figura 2-2. Señales de márgenes pavimentados de calle de rodaje

desplazada hasta 5 m por detrás del puesto de pilotaje. Sin embargo, los requisitos respecto a las señales en el puesto de estacionamiento no pueden compararse con los correspondientes a las señales de eje de calle de rodaje. En las maniobras de las aeronaves en los puestos de estacionamiento pueden señalarse dos diferencias:

- a) se requieren radios de viraje mucho más pequeños debido al área reducida para maniobrar; y
- b) señaleros competentes prestan a menudo su ayuda en las maniobras de las aeronaves.

Por consiguiente, en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, se especifica que las señales de los puestos de estacionamiento de aeronave se diseñen atendiendo al principio de que la rueda de proa siga la línea de guía.

#### Tipos de señales en el puesto de estacionamiento

2.3.4 Las señales de puesto de estacionamiento consisten en líneas de guía para indicar la trayectoria que ha de seguir

la aeronave y en barras de referencia que proporcionan información suplementaria. Las líneas de guía pueden subdividirse en:

- a) líneas de entrada;
- b) líneas de viraje; y
- c) líneas de salida.

#### Líneas de entrada

2.3.5 Estas líneas proporcionan guía desde las calles de rodaje de la plataforma hasta determinados puestos de estacionamiento de aeronave. Puede requerirse que estas líneas permitan a las aeronaves en rodaje mantener un margen de separación prescrito respecto a otras aeronaves en la plataforma. Estas líneas pueden considerarse tan importantes como las líneas de viraje para alinear el eje de la aeronave con una posición final predeterminada. En los puestos de estacionamiento con la proa hacia adentro, las líneas de entrada señalarán el eje del puesto de estacionamiento hasta la posición de detención de la aeronave. No habrá líneas de

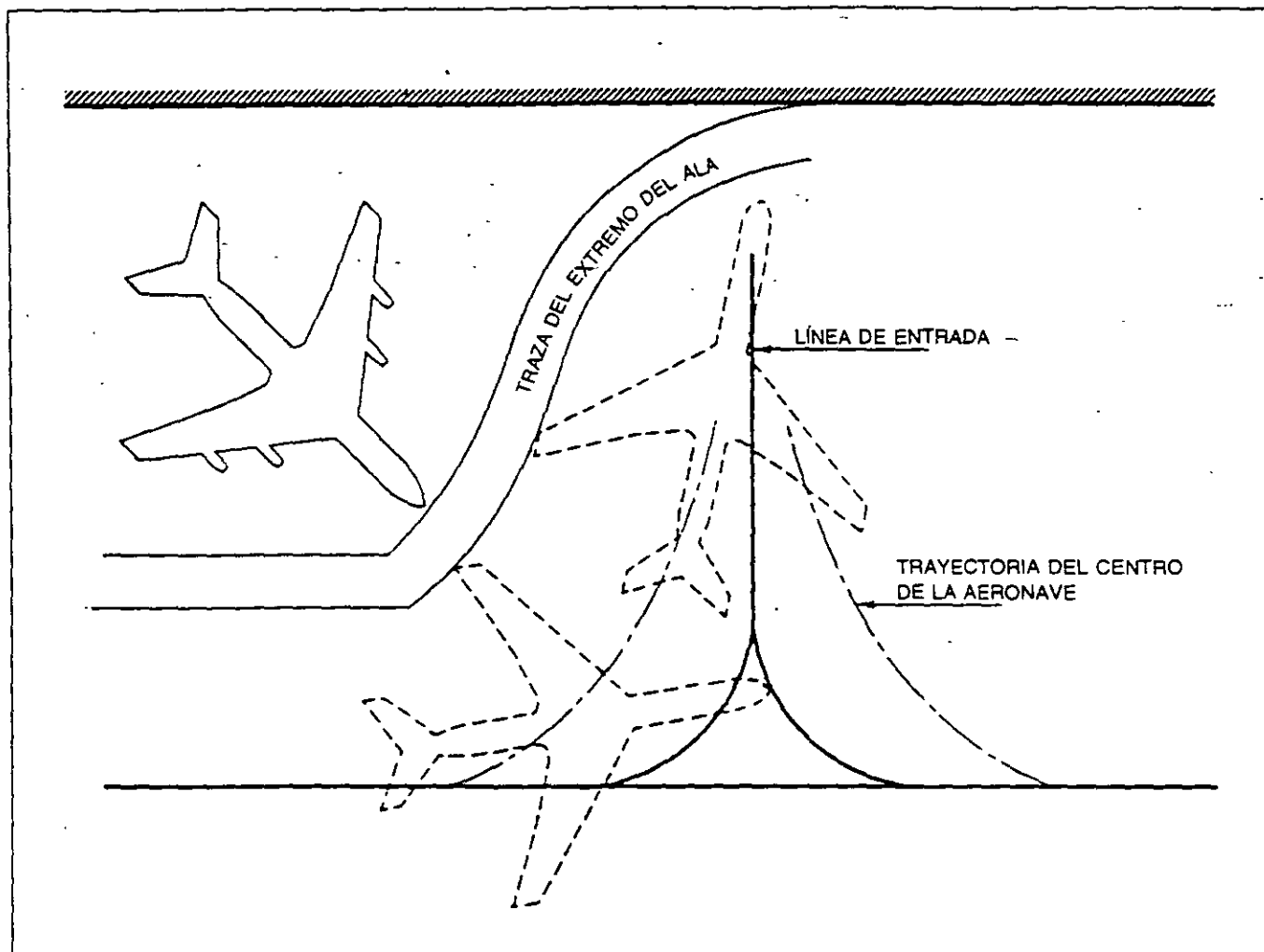


Figura 2-3. Línea de entrada sencilla para rueda de proa

orientación para la salida y los conductores de los tractores se servirán de las líneas de entrada durante las maniobras de retroceso.

2.3.6 En la Figura 2-3 se muestra una línea sencilla de entrada. La ventaja de esta línea consiste en que presenta el método más natural para virar y es la que menos se presta a confusiones. Tiene el inconveniente de que no es adecuada para señalar un puesto de estacionamiento en el que la aeronave haya de situarse en posición centrada sobre la línea de entrada, y de que requiere más espacio de plataforma que otros tipos de señales. La rueda de proa de la aeronave debe seguir las líneas. Cuando se utilizan dichas líneas debería procurarse que la trayectoria del centro de la aeronave se mantenga dentro de la curva de la línea de guía. En algunos casos el área disponible de la plataforma puede exigir el uso de un tipo distinto de señales. En la Figura 2-4 se muestra una línea de entrada desplazada. Cuando la rueda de proa de la aeronave sigue estas líneas, el centro de la aeronave no se

adentra tanto en la curva sino que efectúa un viraje más cerrado. Por consiguiente, la extensión de los puestos de estacionamiento no tiene que ser tan grande. Debería no obstante observarse, que si bien este tipo de señales coloca a la aeronave centrada sobre la línea de entrada, cada línea sólo se adapta totalmente a un solo tipo de aeronave cuando la forma geométrica de la aeronave, en función de la distancia entre ruedas, es prácticamente la misma en los diversos tipos de aeronaves que utilizan el puesto de estacionamiento. Cuando sea necesario que el puesto de estacionamiento lo utilicen diversos tipos de aeronaves cuya geometría del tren de aterrizaje no sea la misma, y el espacio disponible exija que la aeronave esté centrada sobre la línea de entrada, la mejor manera de lograr este objetivo es utilizar una flecha corta perpendicular al eje de la calle de rodaje, según se indica en la Figura 2-5. Un inconveniente de esta disposición es que el punto de entrada y el grado de viraje necesarios para alinear la aeronave centrándola sobre la línea de entrada quedan arbitrio del piloto.

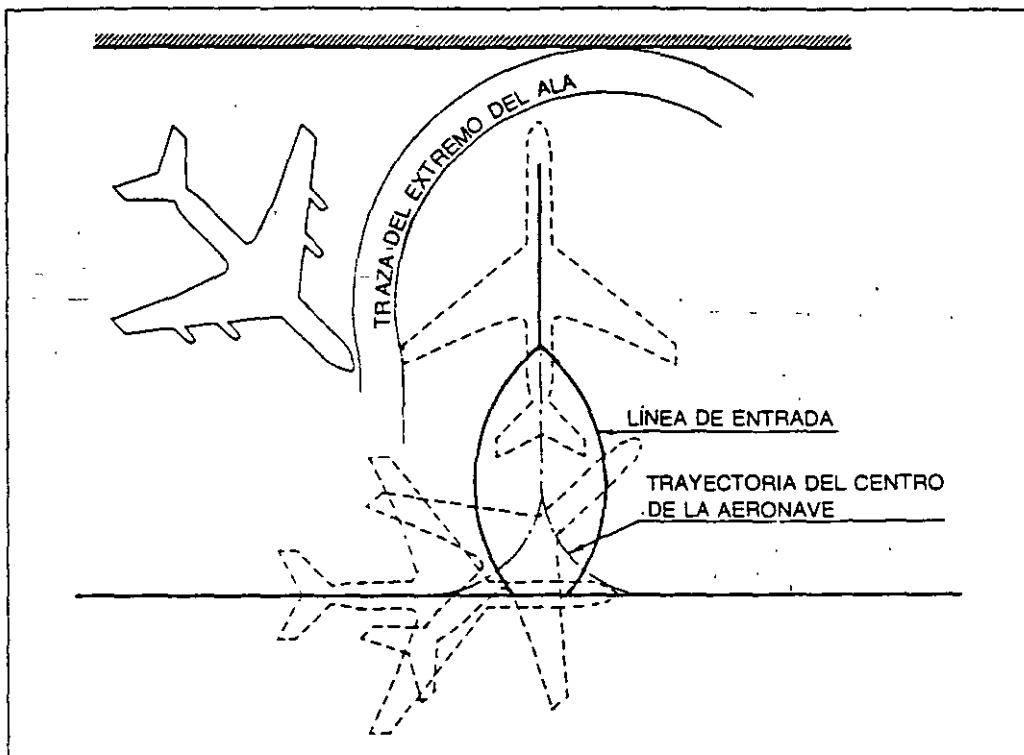


Figura 2-4. Línea de entrada desplazada para rueda de proa

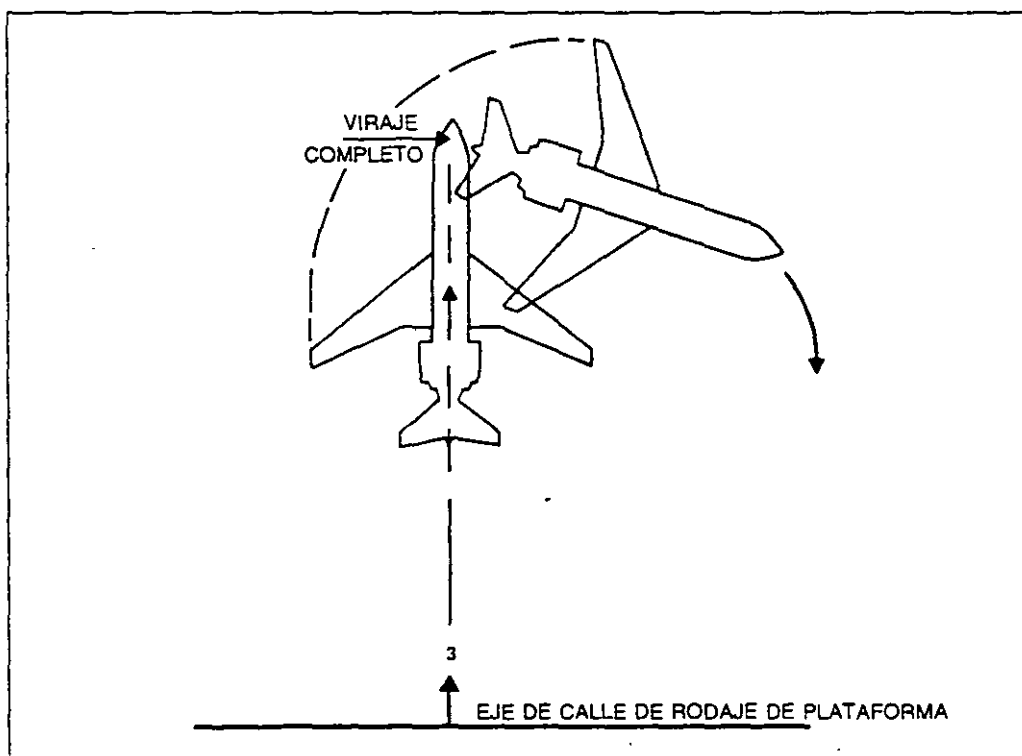


Figura 2-5. Línea de entrada directa

2.3.7 Cuando sea necesario que la aeronave efectúe un viraje en el puesto de estacionamiento, antes de detenerse por completo, o después de "arrancar para salir", puede ser necesaria una línea de viraje que haya de seguir la aeronave. El objetivo principal de estas líneas es limitar el viraje de la aeronave dentro del área designada, para mantener un margen entre la aeronave y los obstáculos y para ayudar a situar la aeronave con precisión. El primer objetivo es especialmente importante cuando hay poco margen libre de separación entre el puesto de estacionamiento y las estructuras cercanas u otros puestos.

2.3.8 En la Figura 2-6 se muestra un ejemplo característico de línea de viraje para la rueda de proa. Esta línea podría ser complementada con barras de referencia como se indica en la Figura 2-5 y se expone más adelante en 2.3.15.

2.3.9 *Tramo recto de la línea de viraje.* La línea de viraje debería incluir un tramo recto, por lo menos de 3 m de longitud, en la posición final de la aeronave. Esto proporciona una sección de 1.5 m antes de la posición definitiva de parada, para aliviar la presión en el tren de aterrizaje y al mismo tiempo para corregir la alineación de la aeronave, y una sección de 1.5 m de longitud después de la posición de parada para reducir el empuje necesario y, por consiguiente, el chorro de los reactores durante el "arranque para salir". La longitud del tramo recto mencionado puede reducirse a 1.5 m en el caso de puestos de estacionamiento previstos para aeronaves pequeñas.

#### *Líneas de salida*

2.3.10 Estas líneas proporcionan guía desde los puestos de estacionamiento hasta las calles de rodaje, a fin de asegurar el margen de separación prescrito respecto a otras aeronaves y obstáculos. Estas líneas se muestran en la Figura 2-7. Cuando la aeronave tiene que efectuar un viraje antes de abandonar el puesto de estacionamiento, con objeto de mantenerse separada de los obstáculos adyacentes, la línea de salida puede ser la indicada en la Figura 2-7 a). Cuando el margen de separación respecto al puesto adyacente sea menos crítico, pueden utilizarse las líneas de salida indicadas en la Figura 2-7 b) o c). Cuando los márgenes de separación sean críticos, puede que sean necesarias líneas de salida desplazadas para la rueda de proa según se indica en la Figura 2-8.

#### *Método para calcular el radio de las partes curvas en las líneas de entrada, de viraje y de salida*

2.3.11 Ya sea que se utilice una línea de rueda de proa o solamente una línea de entrada directa, como la indicada en la Figura 2-5, el radio supuesto, o marcado, debe corresponder a la capacidad de viraje de las aeronaves para las cuales se ha previsto el puesto de estacionamiento. Al calcular el radio, es necesario evaluar el efecto posible del chorro de los reactores, si este radio obligara a un viraje demasiado cerrado. También

es posible que el radio mínimo aceptable del viraje no sea el mismo para todos los explotadores que utilicen el mismo tipo de avión. Además, cuanto más pequeño sea el radio de viraje y mayor sea el ángulo de la rueda de proa, mayor será la posibilidad de que ocurra un derrape del neumático. En otras palabras, suponiendo que pueda aplicarse un ángulo de 65° de rueda de proa, el radio efectivo de viraje sería sólo equivalente a un ángulo algo menor, posiblemente con una pérdida de hasta 5°. Para determinar el radio, por lo tanto, es necesario consultar los manuales publicados por los fabricantes de aeronaves para fines de planificación de aeropuertos, y deberían también consultarse los explotadores de cada tipo de avión para verificar hasta qué punto modifican por cualquier motivo las directrices dadas por los fabricantes. Seguidamente, debería estudiarse la situación concreta de cada plataforma para comprobar si serían necesarias otras modificaciones.

#### *Duplicación de la guía*

2.3.12 Cuando un puesto sea utilizado por diferentes tipos de aeronave y su alineación no tenga gran importancia, quizá sea posible que un conjunto de señales sirva para todos los tipos. En tal caso, se utiliza el radio máximo de viraje. Por lo tanto, cualquier tipo de aeronave del grupo considerado puede maniobrar con suficiente margen, siempre que la rueda de proa siga las líneas de guía. Sin embargo, si es esencial que las aeronaves estén alineadas con precisión en el puesto de estacionamiento, pueden ser necesarias otras líneas de guía secundarias. Las líneas de guía secundarias son igualmente necesarias cuando el puesto de estacionamiento para una aeronave grande debe dar cabida a más de una aeronave pequeña al mismo tiempo (véase la Figura 2-9). Dichos puestos de estacionamiento se conocen comúnmente por el nombre de puestos de estacionamiento superpuestos. En todos estos casos, la línea principal de guía debería ser la correspondiente a las aeronaves más críticas, es decir, aquellas que requieran un área mayor para maniobrar.

#### *Características de las líneas de guía*

2.3.13 Las líneas de guía deberían ser normalmente líneas de trazo continuo, amarillas, de una anchura mínima de 15 cm pero preferiblemente de 30 cm. Sin embargo, cuando se prevean líneas de guía secundarias, éstas deben ser de trazos para distinguirlas de la línea principal. Además, debería indicarse claramente el tipo de aeronave que ha de seguir determinada línea de guía.

2.3.14 Cuando se juzgue necesario distinguir entre las líneas de entrada y las líneas de salida, deberían indicarse en las mismas líneas las cabezas de flecha correspondientes al sentido que haya de seguirse. Debería añadirse a la línea de entrada el número o la letra de designación del puesto de estacionamiento (véase la Figura 2-10). Además, debería proporcionarse un letrero de identificación de puesto de estacionamiento por detrás del puesto, por ejemplo, en un edificio, o en un poste de manera que sea claramente visible desde el puesto de pilotaje de la aeronave.

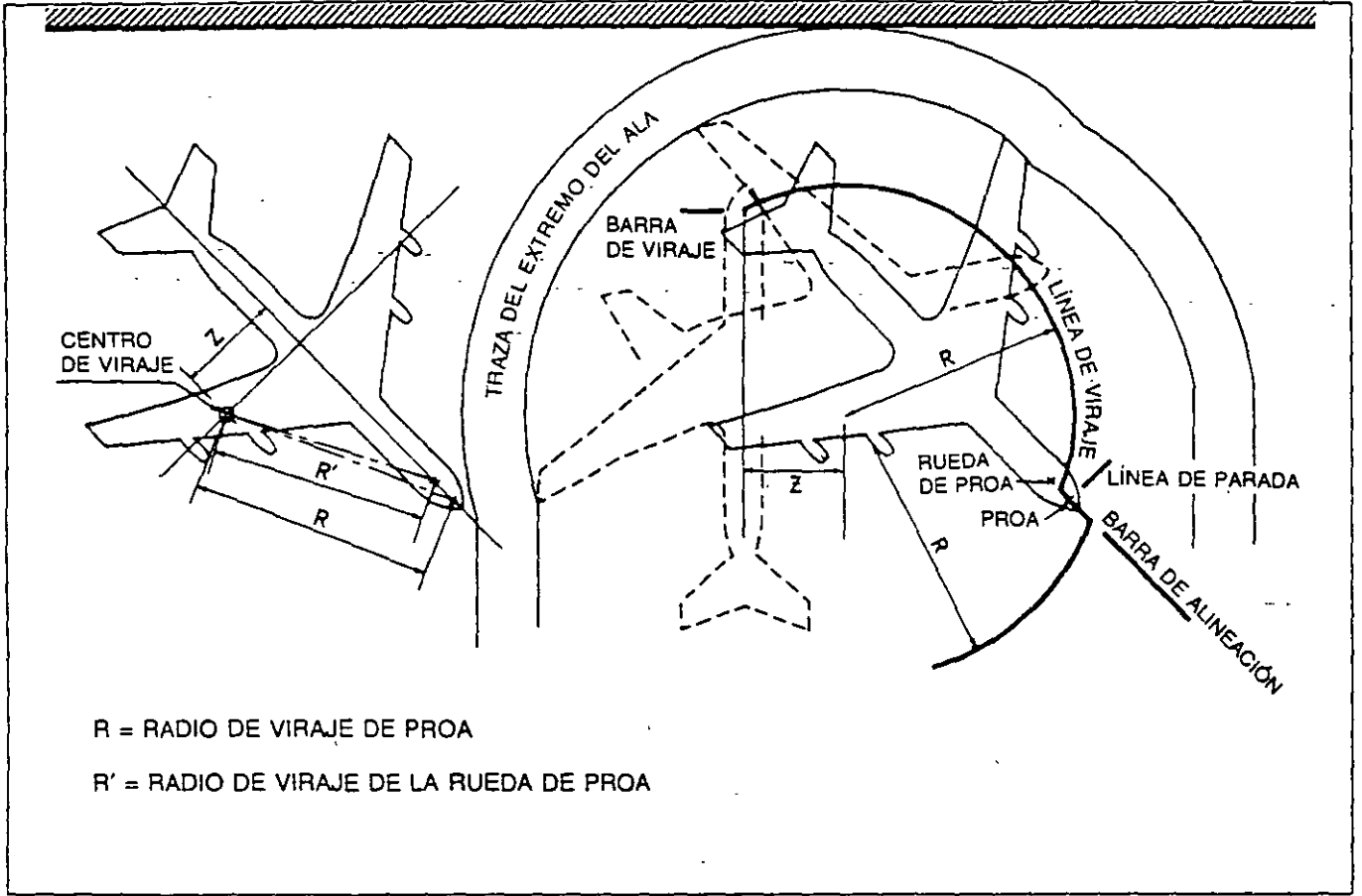


Figura 2-6. Línea de viraje y barras de referencia

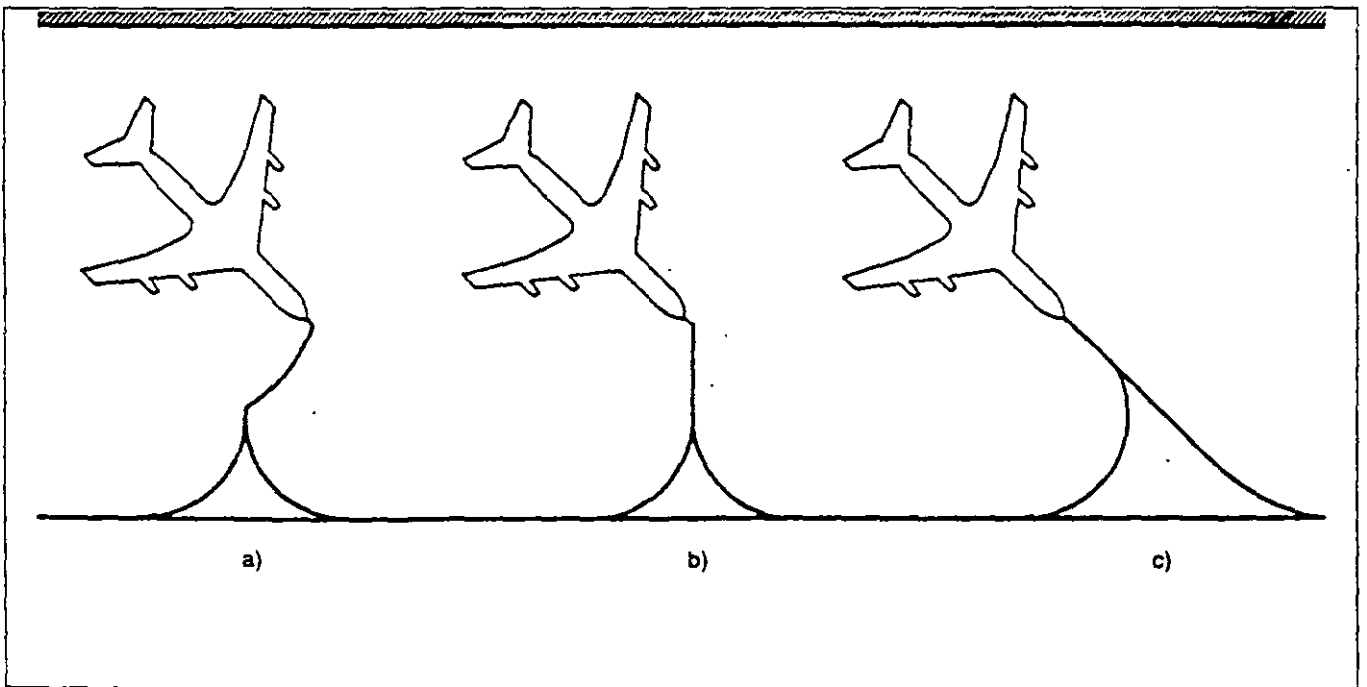


Figura 2-7. Líneas de salida sencilla de rueda de proa

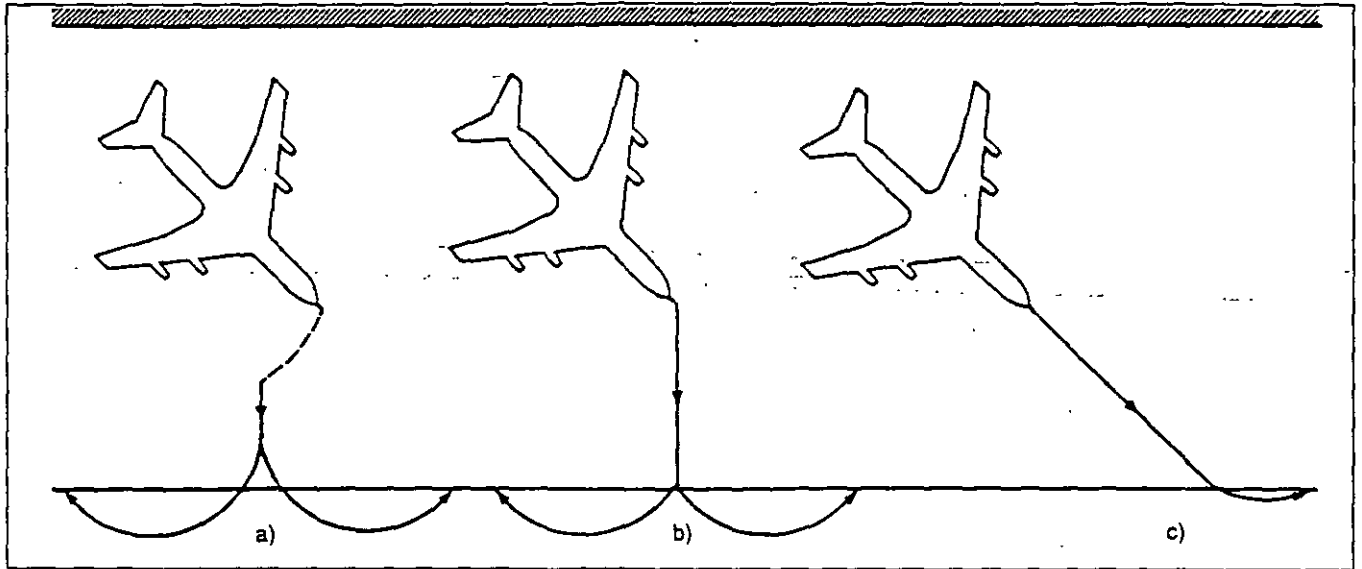


Figura 2-8. Líneas de salida desplazada de rueda de proa

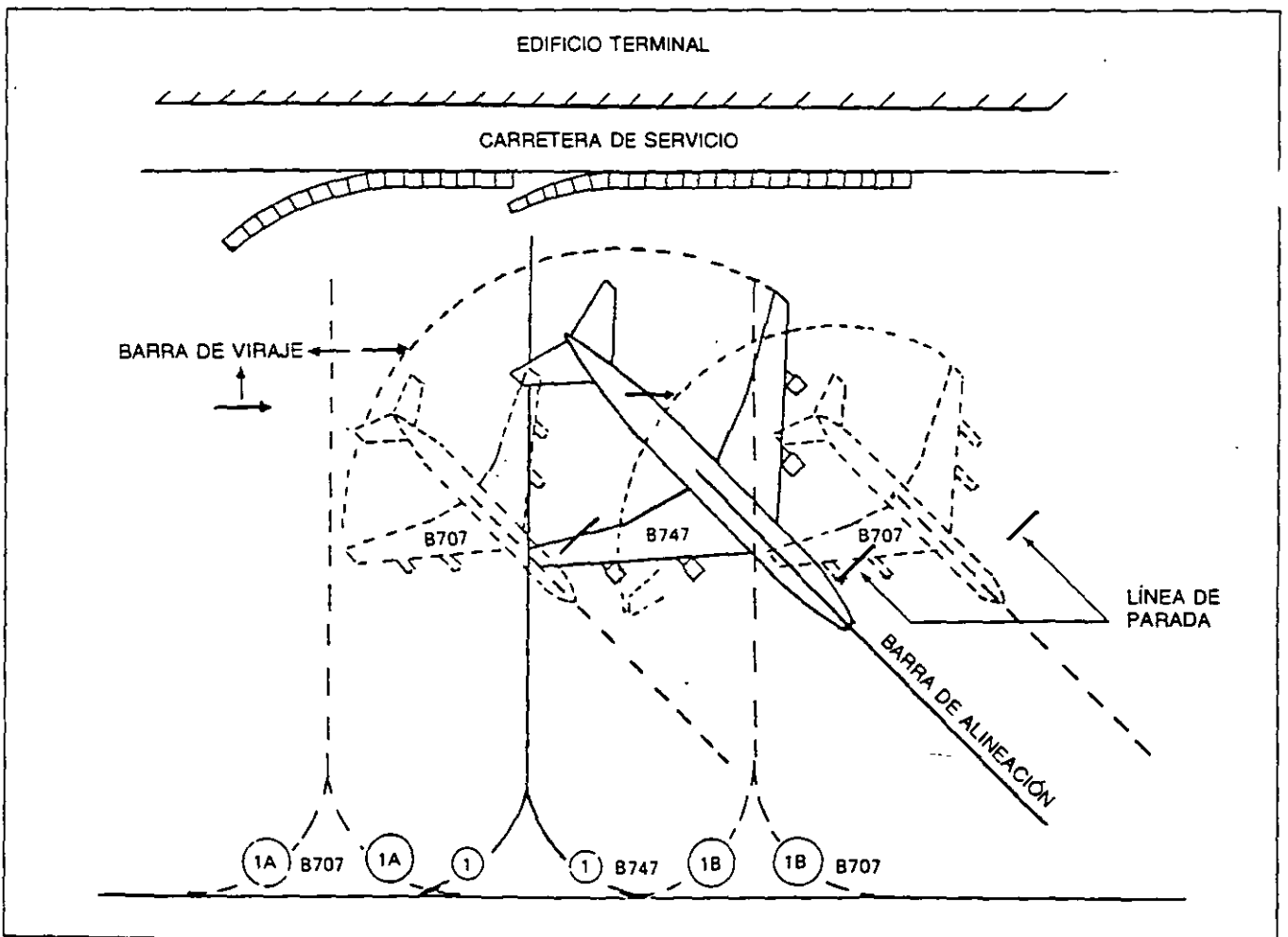
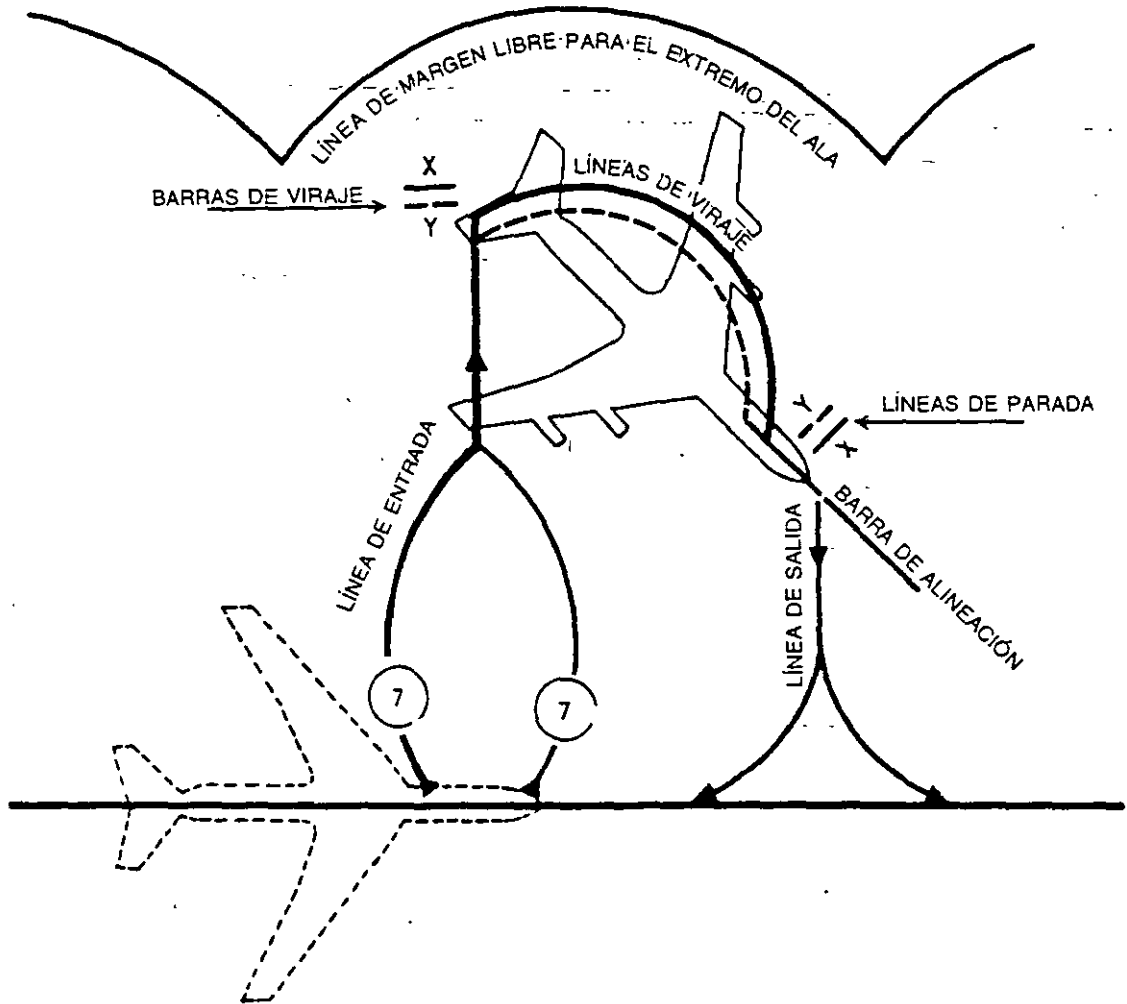


Figura 2-9. Un método para la señalización de puestos de estacionamiento superpuestos





NOTAS:

1. El número "7" es el del puesto de estacionamiento de aeronave.
2. Las líneas y barras de trazo continuo son para la aeronave X y las líneas y barras de trazos son para la aeronave Y.
3. La barra de alineación es para todos los tipos de aeronave que utilicen el puesto de estacionamiento.

Figura 2-10. Ejemplos de barras de referencia

### Barras de referencia

2.3.15 Los siguientes son ejemplos de barras de referencia y de su función:

- a) barra de viraje (indica el punto de comienzo del viraje);
- b) línea de parada (indica el punto en que hay que detenerse);
- c) barra de alineación (sirve de ayuda para alinear la aeronave al ángulo deseado).

En la Figura 2-10 se muestra un ejemplo de estas tres clases de barras.

2.3.16 *Características de las barras de referencia.* Las barras de viraje o las líneas de parada deberían tener una longitud del orden de 6 m y una anchura no inferior a 15 cm, y ser del mismo color que la línea de guía, es decir amarillas. Estas barras deberían estar situadas a la izquierda de las líneas de guía y formando un ángulo recto con las mismas, a la altura del asiento del piloto en los puntos de comienzo del viraje y de parada. En las barras de viraje utilizadas en un Estado se incluye una flecha y la expresión "FULL TURN" (viraje completo) según lo indicado en la Figura 2-5. La longitud mínima de las barras de alineación debería ser del orden de 15 m y la anchura del orden de 15 cm, y estar colocadas de forma que sean visibles desde el asiento del piloto.

2.3.17 *Agrupamiento de aeronaves para reducir la cantidad de barras de viraje y de líneas de parada.* Cuando el puesto de estacionamiento de aeronaves se ha previsto para diversos tipos de avión, será necesario agruparlos a fin de reducir el número de barras de viraje y de líneas de parada. Sin embargo, no existe ningún método universalmente aceptado para el agrupamiento de aviones. En el caso de puestos de estacionamiento para aeronaves que maniobran por sí mismas, pueden agruparse los aviones cuya capacidad de viraje y cuya geometría sean similares; también es posible incluir aviones más pequeños con características disímiles, a condición de que al seguir las líneas de guía no se salgan de los límites del área necesaria para las maniobras de otros tipos que prescriben los márgenes de separación en el puesto de estacionamiento. En el caso de puestos de estacionamiento con la proa hacia adentro, tal vez sea menos importante preocuparse de la magnitud y de la capacidad de viraje que de otros factores tales como el emplazamiento de las salidas y el tipo de pasarela telescópica de que se disponga para los pasajeros. Cuando se ha instalado un reabastecimiento de combustible por manguera, deben tenerse igualmente en cuenta los puntos de reabastecimiento. Por lo tanto, es necesario estudiar la situación específica de cada aeropuerto y adaptar cualquier agrupamiento a las instalaciones disponibles, los diversos tipos de avión, su número, la disposición general de la plataforma, etc.

2.3.18 *Sistema de codificación para barras de viraje y líneas de parada.* Cuando el puesto de estacionamiento de aeronaves sea utilizado exclusivamente por dos o tres tipos de aeronaves, es posible identificar en lenguaje claro el tipo de

aeronave para el cual se ha previsto cada conjunto de señales, por ejemplo, B-727, DC-9, etc. Cuando el puesto de estacionamiento esté previsto para varios tipos distintos de aeronave, quizá sea necesario introducir una codificación de las barras de viraje y de las líneas de parada, a fin de simplificar las señales y facilitar la maniobra segura y rápida de las aeronaves. No existe, sin embargo, ningún sistema de codificación en el que se haya convenido y haya sido aceptado universalmente. El sistema de codificación aplicado debería ser tal que los pilotos puedan utilizarlo e interpretarlo sin dificultad.

2.3.19 *Líneas para remolque.* Cuando las aeronaves hayan de ser remolcadas, son necesarias las líneas de guía que ha de seguir el conductor del tractor.

2.3.20 *Líneas de seguridad en la plataforma.* Será necesario emplear líneas de seguridad en la plataforma que marquen los límites del área de estacionamiento para equipo terrestre, carreteras de servicio y camino de los pasajeros, etc. Estas líneas son más angostas y de color distinto para diferenciarlas de las líneas de guía de las aeronaves.

2.3.21 *Líneas de margen libre para los extremos del ala.* Estas líneas deberían delimitar la zona, con el margen de seguridad necesario, de la trayectoria que sigue el extremo del ala de la aeronave más crítica. La línea debería trazarse a la distancia apropiada, mencionada en 2.3.2, hacia afuera de la trayectoria normal del extremo del ala de la aeronave más crítica. La anchura de la línea debería ser por lo menos de 10 cm.

2.3.22 *Líneas de límite para el equipo.* Estas líneas utilizan para indicar los límites de las áreas previstas para el estacionamiento de vehículos y equipo de servicio de aeronaves, cuando no se están utilizando. Actualmente se emplean varios métodos para identificar el lado de una línea de seguridad en el que pueden almacenarse sin peligro los vehículos. En algunos aeropuertos se pintan las palabras "límite para el equipo" en el lado utilizado por el equipo terrestre, pudiéndose leer desde dicho lado. La altura de las letras es de unos 30 cm. En otros aeropuertos, se proporciona a un lado de la línea de seguridad, una línea de apartadero o una línea adicional (línea a trazos del mismo color, o línea continua de distinto color). El lado en el cual se encuentran dichas líneas de apartadero o adicionales se considera seguro para el estacionamiento de vehículos y equipo.

2.3.23 *Líneas de paso de pasajeros.* Estas líneas se utilizan para los pasajeros que van a pie por la plataforma y tienen por objeto mantenerlos alejados de peligro. Actualmente se emplea un par de líneas paralelas con rayado de zebra entre ellas.

## 2.4 BALIZAS DE CALLE DE RODAJE

2.4.1 En aeródromos pequeños, para delinear los bordes de las calles de rodaje, particularmente por la noche, pueden utilizarse balizas en vez de luces. En el Anexo 14, Volume se recomienda utilizar estas balizas en las calles de rodaje c

número de clave sea 1 ó 2, en las que no haya ni luces de eje, ni luces de borde, de calle de rodaje.

2.4.2 En un tramo recto de una calle de rodaje, deberían emplazarse longitudinalmente, a intervalos iguales que no sean de más de 60 m, balizas de borde de calle de rodaje. En las curvas, las balizas deberían espaciarse a intervalos de menos de 60 m, de forma que se de una clara indicación de la curva. Las balizas deberían colocarse lo más cerca posible de los bordes de las calles de rodaje, o fuera de los bordes a una distancia que no exceda de 3 m.

2.4.3 Las balizas de borde de calle de rodaje deberían ser retrorreflectantes de color azul, de conformidad con las especificaciones del Anexo 14, Volumen I. La superficie balizada debería ser vista por el piloto como un rectángulo y tener un área visible mínima de 150 cm<sup>2</sup>.

2.4.4 Comúnmente las balizas utilizadas son de forma cilíndrica. El diseño de la baliza debería idealmente ser tal que si se instala adecuadamente, ninguna de sus partes sobresalga más de 35 cm de la superficie sobre la que está instalada. Sin embargo, en lugares en los que la nieve puede alcanzar alturas importantes, está permitido utilizar balizas de más de 35 cm de altura, siempre que quede un margen suficiente de franqueamiento para las hélices y las góndolas de los motores de los aviones de reacción.

2.4.5 Las balizas de borde de calle de rodaje serán livianas y frangibles. En la Figura 2-11 se indican los detalles de un tipo de baliza que satisface los requisitos mencionados. El poste está fabricado con material PVC flexible y es de color azul. La manga, que es retrorreflectante, es también de color azul. Obsérvese que el área de la superficie balizada es de 150 cm<sup>2</sup>.

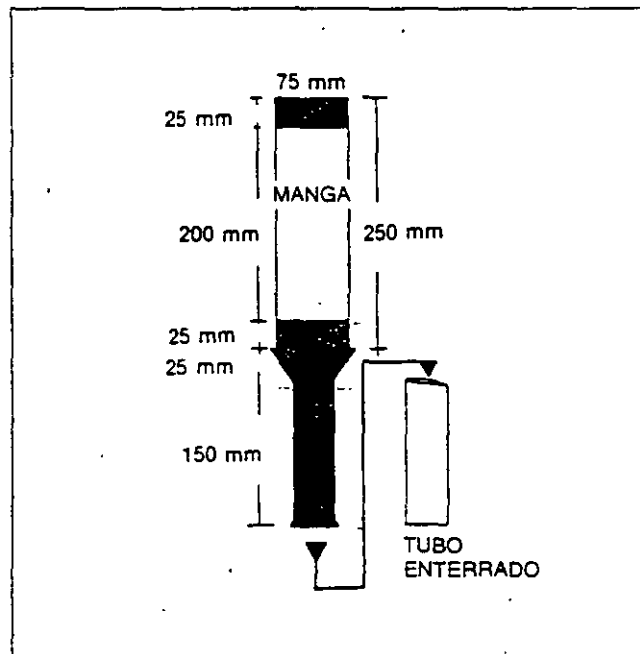


Figura 2-11. Baliza de borde de calle de rodaje

# Capítulo 3. ÁREA DE SEÑALES Y PANELES DE SEÑALIZACIÓN

## 3.1 GENERALIDADES.

3.1.1 Sólo es necesario proporcionar un área de señales cuando se deseen utilizar señales visuales terrestres para comunicarse con las aeronaves en vuelo. Dichas señales pueden ser necesarias cuando el aeródromo no cuenta con torre de control o con una dependencia de información de vuelo, o cuando el aeródromo es utilizado por aviones que no están equipados con radio. Las señales visuales terrestres pueden también ser útiles en caso de falla de las comunicaciones por radio en ambos sentidos con las aeronaves. Cabe destacar, sin embargo, que el tipo de información que puede proporcionarse mediante señales visuales terrestres debería figurar normalmente en las publicaciones de información aeronáutica o en los NOTAM. En consecuencia, debe evaluarse la posible necesidad de las señales visuales terrestres antes de adoptar una decisión con respecto a la instalación de áreas de señales en un aeródromo.

3.1.2 En el Anexo 2, Capítulo 4, se incluyen especificaciones aplicables a diez tipos distintos de señales visuales terrestres, abarcando los aspectos de forma, de color, de punto de emplazamiento y de finalidad de cada señal. Además en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, se incluyen especificaciones detalladas sobre el indicador de sentido de aterrizaje y sobre el área de señales. En los párrafos que siguen se explican brevemente la forma de instalar el área de señales, los paneles de señalización y la "T" de aterrizaje.

## 3.2 DISEÑO

### Área de señales

3.2.1 El área de señales debería ser una superficie plana, horizontal y cuadrada, por lo menos de 9 m de lado. Debería construirse de hormigón reforzado con suficiente acero para que no se formen grietas debido al fraguado desigual del hormigón. La capa de cemento superior debería alisarse con una paleta de acero y recubrirse con pintura del color apropiado. El color del área de señales debería seleccionarse de modo que contraste con los colores de los paneles de señalización que hayan de exponerse en ella. El área debería estar rodeada por un borde blanco de una anchura mínima de 0.3 m.

### Paneles de señalización y "T" de aterrizaje

#### *Pesa de gimnasia*

3.2.2 Esta señal debería construirse de madera o de otro material ligero. La pesa de gimnasia debería consistir en dos círculos de 1.5 m de diámetro conectados por una barra de 1.5 m de longitud y 0.4 m de anchura, tal como se indica en la Figura 3-1A. Debería pintarse de blanco.

#### *"T" de aterrizaje*

3.2.3 La "T" de aterrizaje debería construirse de madera o de otro material ligero y sus dimensiones deberían corresponder a las indicadas en la Figura 3-1B. Debería pintarse de blanco o de naranja. La "T" debería montarse en un pedestal de hormigón armado debidamente reforzado con almas de acero para evitar que se formen grietas debido al fraguado desigual del hormigón. La superficie del pedestal debería tener un acabado liso efectuado con una paleta de acero y luego debería revestirse de pintura del color apropiado. El color del pedestal debería contrastar con el color de la "T" de aterrizaje. Antes de poner la base de la "T" de aterrizaje en el pedestal de hormigón, debería verificarse si los pernos están debidamente espaciados. La "T" de aterrizaje debería montarse e instalarse de conformidad con las instrucciones del fabricante. Debería tener libertad de movimientos en torno al eje vertical, de modo que pueda orientarse en cualquier dirección. La superficie inferior de la "T" de aterrizaje, una vez montada en el pedestal, no debería estar a menos de 1.25 m sobre el nivel del terreno. Cuando sea necesario utilizarla de noche, la "T" debería estar iluminada o rodeada de luces blancas.

#### *Cuadrado rojo con cruz amarilla*

3.2.4 Las dimensiones de este panel de señalización, que se refiere a la prohibición de aterrizar, deberían corresponder a las indicadas en la Figura 3-1C. Este panel puede construirse utilizando una plancha de hierro galvanizado de 3 m x 3 m. Primeramente debería pintarse la cruz de amarillo y luego el resto del área de rojo. Para facilitar su manejo, el panel debería tener por lo menos dos asas.

Cuadrado rojo con diagonal amarilla

3.2.5 Este panel de señalización, que se ilustra en la Figura 3-1D, debería en general construirse atendiendo a lo indicado en el párrafo precedente. La única diferencia es que este panel tiene dibujada una diagonal amarilla en vez de la cruz amarilla.

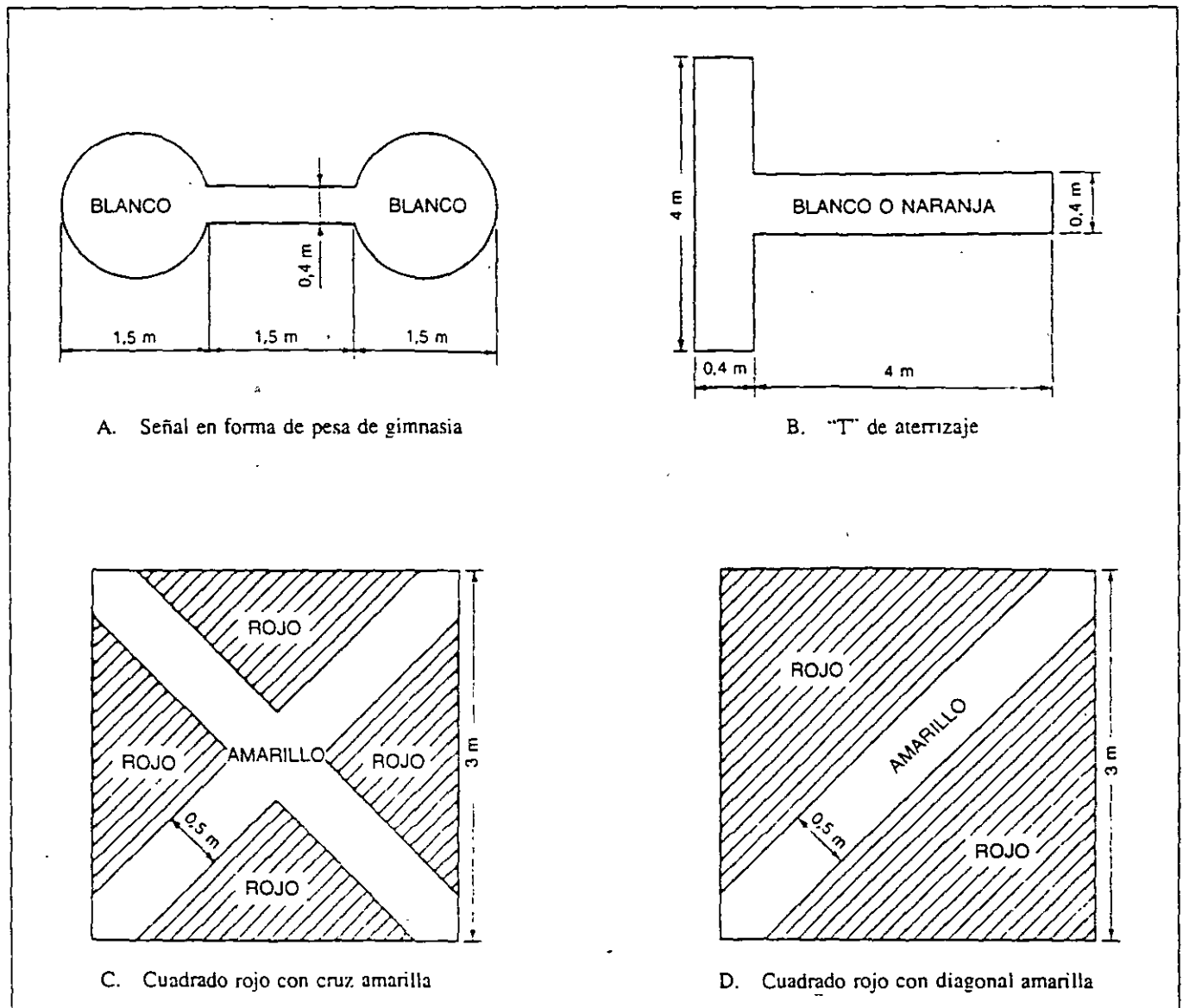


Figura 3-1 Paneles de señalización y "T" de aterrizaje

# Capítulo 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DE PISTAS PARA APROXIMACIONES DE PRECISIÓN DE LAS CATEGORÍAS I, II Y III Y DE CALLES DE RODAJE

## 4.1 FACTORES QUE DETERMINAN LOS REQUISITOS EN CUANTO A DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ

La distribución de la luz requerida depende de cuatro factores principales, es decir:

- lo que puede esperarse que la aeronave se desvíe de su trayectoria de vuelo nominal, o ideal, durante la aproximación para el aterrizaje. Tales desviaciones están contenidas dentro de lo que se denomina "envolvente de trayectorias de vuelo";
- la gama de distancias verticales entre "los ojos del piloto y las ruedas" y entre "los ojos del piloto y la antena" de las aeronaves en las operaciones actuales y en las previstas;
- la distancia hasta la cual han de ser visibles las luces en cualquier etapa particular de la aproximación: toma de contacto, recorrido en tierra, despegue y aterrizaje y las diversas condiciones de visibilidad en las que las luces deben proporcionar guía; y
- el campo visual disponible por delante de la aeronave.

## 4.2 ENVOLVENTES DE TRAYECTORIAS DE VUELO

### Categorías I y II

4.2.1 En la Figura A-4 del Adjunto A del Anexo 14, Volumen I, se indican las envolventes de trayectorias de vuelo que han de aplicarse al diseño de iluminación. Estos valores se han basado en los datos obtenidos por el Grupo de expertos sobre franqueamiento de obstáculos (OCP) con un 99% de isoprobabilidad para puntos a distancias de 600 m y de 1 200 m desde el umbral de la pista.

4.2.2 Para los límites superiores se ha tenido en cuenta la mayor distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena receptora ILS de la aeronave, en tipos de aviones tales como el Concorde, B-747 u otros similares. Los límites para las Categorías I y II que se basaron en estos datos se han trazado hasta las respectivas alturas mínimas de decisión, es decir

60 m y 30 m respectivamente. Por debajo de estas alturas, las envolventes de trayectorias de vuelo están definidas por los límites de las trayectorias de vuelo que producirían un aterrizaje satisfactorio en condiciones visuales. El límite inferior de la envolvente para Categoría I se ha establecido a un ángulo de elevación de 2° respecto a la luz de aproximación más alejada para tener en cuenta las aproximaciones que no sean de precisión en buenas condiciones de visibilidad.

### Categoría III

4.2.3 En la época en que se determinaron las envolventes de trayectorias de vuelo no se contaba con datos suficientes de vuelo para operaciones de la Categoría III en los que se basaron los datos correspondientes a las envolventes de trayectorias para esta categoría. Los límites verticales indicados en la Figura A-4 del Adjunto A del Anexo 14, Volumen I, se han obtenido partiendo de los límites de la Categoría II, y truncando las trayectorias en un límite superior de la altura de decisión de 30 m, que estarían en general asociadas con el valor superior del RVR de 400 m. En el plano horizontal, el límite de desplazamiento lateral en la zona de toma de contacto es de 10 m a cada lado del eje de la pista. A la altura de 30 m la aeronave debería estar dentro de la anchura de la pista; este punto en el límite inferior se toma como punto de partida del límite lateral.

## 4.3 REQUISITOS OPERACIONALES E HIPÓTESIS

### Categoría I

4.3.1 Para las operaciones de la Categoría I, los sistemas de iluminación de pista y de aproximación deben ser eficaces, no solamente cuando se tiene la visibilidad límite de 800 m, sino también en condiciones de visibilidad intermedias y buenas.

### Categoría II

4.3.2 Para operaciones en condiciones de la Categoría es decir RVR comprendida entre 800 m y 400 m, se

proporcionan las barretas de fila lateral para complementar la información, sobre posición en sentido lateral y en sentido longitudinal, disponible en los 300 m interiores del sistema de iluminación de aproximación, se proporcionan las luces de zona de toma de contacto para mejorar las referencias visuales de la textura durante la maniobra de enderezamiento y se instalan luces de eje de pista para mejorar la guía de dirección.

### Categoría III

4.3.3 Para operaciones de la Categoría III se requiere guía visual, lo mismo que para las operaciones de las Categorías I y II, para el rodaje, el despegue, el aterrizaje y el recorrido en tierra. Esta guía es necesaria en condiciones de visibilidad hasta el límite inferior de la Categoría IIIB, es decir RVR de 50 m.

## 4.4 PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES PARA LAS CATEGORÍAS IIIA Y IIIB

### Rodaje

4.4.1 Los pilotos que efectúan el rodaje de aeronaves en condiciones de las Categorías III A y III B, guían a lo largo de determinados caminos mediante referencias visuales a las luces verdes de eje de calle de rodaje de elevada intensidad: en estas condiciones el principio de "ver y ser visto" no será siempre eficaz para mantener la separación segura entre aeronaves. Para proteger a las aeronaves que se aproximan a las intersecciones de calles de rodaje y de pistas, y para evitar que las aeronaves en rodaje penetren en las áreas críticas del ILS mientras otras aeronaves ejecutan la aproximación al aterrizaje, son necesarias barras de parada que regulen el movimiento de las aeronaves en puntos de espera reconocidos.

### Despegue

4.4.2 Las luces y señales de eje de pista son las referencias visuales primarias que proporcionan al piloto guía direccional hasta que la aeronave da el tirón para el despegue. (Las luces de borde de pista desempeñan también una función en las operaciones de despegue o en las de aterrizaje si la aeronave empieza a desviarse bastante del eje de la pista.) A partir de este punto, el piloto completa el despegue por referencia a los instrumentos de vuelo. Si el despegue se interrumpe antes de alcanzar la velocidad para separarse del suelo, el piloto continúa tomando como referencia las luces y señales de eje de pista, hasta que la aeronave se detiene o inicia el rodaje de salida de la pista.

### Aterrizaje

4.4.3 En todas las operaciones de la Categoría III los sistemas de guía no visual se han diseñado para dirigir a la aeronave que aterriza hasta una posición por encima de la pista

a partir de la cual puede efectuar un aterrizaje sin peligro. Si la aeronave no llega a la posición prescrita en el espacio, dentro de límites bien definidos, se inicia el procedimiento de aproximación frustrada. Los aterrizajes en condiciones de Categoría IIIA se efectúan cuando el piloto comprueba satisfactoriamente, por referencia a las luces o señales de pista, que la posición de la aeronave está dentro de la anchura total de la zona de toma de contacto y que sigue satisfactoriamente el ángulo de azimut. El piloto debe determinar si el tramo visual de la iluminación de eje de pista es suficiente para que pueda completar por medios manuales el recorrido en tierra. En las condiciones superiores de visibilidad de la Categoría IIIA, puede obtenerse algún beneficio de los 300 m interiores de la iluminación de aproximación por los que el piloto podrá evaluar su posición y el camino que sigue respecto al eje de la pista antes de cruzar el umbral. Para operaciones en condiciones de los mínimos de la Categoría IIIB, las maniobras de aproximación, enderezamiento y recorrido en tierra son totalmente automáticas. El piloto pasa a referencias visuales a fin de virar para salir de la pista y, a continuación, para seguir los sistemas de iluminación de eje de calle de rodaje.

## 4.5 ANÁLISIS DEL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

4.5.1 Para obtener las características luminosas indicadas en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, Figuras 2.1 a 2.11, se aplicaron los siguientes principios y procedimientos:

- a) la intensidad de todo el sistema de iluminación debería estar equilibrada en el sentido de que, cuando haya niebla uniforme, el tramo visual que alcance a ver el piloto nunca disminuya de intensidad y en general ésta aumente continuamente;
- b) en determinadas condiciones de visibilidad meteorológica, la longitud del tramo visual debería ser la misma para todas las trayectorias de aproximación comprendidas dentro de las envolventes de aproximación.

4.5.2 Se supone que las aeronaves se mantendrán dentro de los límites definidos en la Figura A-4 del Adjunto A del Anexo 14, Volumen I. El alcance visual, los ángulos de elevación y el ángulo de azimut entre la aeronave y las posiciones representativas de las luces, en las configuraciones de iluminación de aproximación y de pista a lo largo de los límites, se han calculado para una serie de valores del tramo visual.

4.5.3 Los valores correspondientes de la intensidad necesaria para satisfacer los requisitos de alcance visual se calculan en cada caso, utilizando la Ley de Allard, para una serie de valores de la visibilidad meteorológica equivalente, que correspondan a las tres categorías OACI de operaciones en condiciones de escasa visibilidad, en relación con los valores diurnos del umbral de iluminancia del piloto ( $10^{-4}$  a  $10^{-3}$  lux).

4.5.4 Los cálculos anteriores se repiten para diversos tipos de aeronaves, utilizando valores apropiados del ángulo de ocultamiento del puesto de pilotaje (véase en la Figura 4-1 la distancia por delante de la aeronave que está oculta para el piloto por los límites de la ventanilla del puesto de pilotaje y por la proa de la aeronave) y las dimensiones de las aeronaves en lo que respecta a la distancia vertical entre la antena receptora ILS y los ojos del piloto durante la aproximación y a la distancia vertical entre los ojos del piloto y las ruedas durante el recorrido en tierra. La información obtenida se representa gráficamente para indicar la distribución angular teórica, de la intensidad luminosa necesaria para tal luz, en la configuración.

#### Tolerancias de alineación y de fábrica

4.5.5 En general, las luces elevadas son más propensas a desalinearse durante el servicio, mientras que las luces empotradas exigen ser alineadas con gran precisión durante la instalación inicial ya que las correcciones subsiguientes son difíciles de efectuar. Las variaciones respecto a la norma dependerán obviamente, entre otras cosas, de la calidad del diseño, de la construcción y del mantenimiento, pero no es probable que excedan de 1°. Por lo tanto, al especificar las características de potencia de salida de los dispositivos luminosos debería añadirse una tolerancia de 1° a cada lado respecto a los ángulos indicados en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, Figuras 2.1 a 2.11. Además, en la fabricación de los dispositivos luminosos es importante que se atienda a las tolerancias especificadas para asegurar que todos los dispositivos satisfacen las especificaciones. Si las luces no se fabrican y alinean de conformidad con las tolerancias especificadas, la configuración del sistema de iluminación proporcionará tramos visuales no uniformes.

### 4.6 ESPECIFICACIONES PARA EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

#### Generalidades

4.6.1 En el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, Figuras 2.1 a 2.11, se presentan diagramas de isocandela, los valores de convergencia (que correspondan) y los ángulos de reglaje (que correspondan) para un diseño de luces utilizadas en todas las categorías, es decir, en pistas para aproximaciones de precisión de las Categorías I, II o III. Las curvas de isocandelas son elipses calculadas a partir de la ecuación  $(x^2/a^2) + (y^2/b^2) = 1$  en la que los valores de  $a$  y  $b$  son respectivamente la mitad de la anchura de haz en sentido horizontal y en sentido vertical. Al trazar estas curvas, se han utilizado como origen los ejes de los haces y no se han incluido los ángulos de reglaje. Se indican las intensidades para los colores especificados de la luz salvo que los valores para la luz blanca sólo se indican en las luces de borde de pista y en las luces de eje de pista. Las intensidades especificadas se aplican a luces nuevas que no hayan sido utilizadas.

4.6.2 Las luces indicadas en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, Figuras 2.1 a 2.11, han sido diseñadas en apoyo de toda clase de operaciones de aterrizaje hasta un RVR de 150 m para aeronaves que están enlazadas correctamente con un sistema de precisión ILS. Las luces proporcionarán también guía para aproximaciones por medios manuales en las que se utilicen ayudas de aproximación por instrumentos de poca precisión. En los despegues, estas luces proporcionarán guía adecuada para un RVR superior aproximadamente a 100 m.

4.6.3 En el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, Figuras 2.13 a 2.15, se enumeran los valores de intensidad y de cobertura de haz requeridos en las luces de eje de calle de rodaje para calles de rodaje previstas para ser utilizadas en condiciones de alcance visual en la pista inferior a un valor del orden de 400 m.

4.6.4 En el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, Figuras 2.16 y 2.17, se enumeran los valores de intensidad y de cobertura de haz requeridos en las luces de eje de calle de rodaje para calles de rodaje previstas para ser utilizadas en condiciones de alcance visual en la pista del orden de 400 m o superior.

#### Luces de eje de calle de rodaje

4.6.5 *Valores del RVR del orden de 400 m o superiores.* Para las operaciones con tales valores de la visibilidad, se utilizan en general luces de calle de rodaje que proporcionen información o dirección, por contraposición a indicar la selección de un determinado camino. Las luces de calle de rodaje no son necesarias en las operaciones diurnas. En la noche son adecuadas intensidades de la luz verde de 20 candelas. Esto puede fácilmente lograrse con luces omnidireccionales así como con las luces especificadas en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, Figuras 2.16 y 2.17. En emplazamientos difíciles (tales como en los que el fondo es de mucho brillo y en los que ocurren condiciones de niebla de variable intensidad) puede ser necesario un promedio mínimo de intensidad de 50 candelas.

4.6.6 *Valores del RVR de un orden inferior a 400 m.* La experiencia operacional y los ensayos con simuladores han demostrado que las aeronaves pueden maniobrar con seguridad a lo largo de una calle de rodaje cuyo eje esté marcado mediante luces cuando el piloto pueda ver un tramo visual del orden de 50 m. En un tramo de este tipo la posición del eje puede apreciarse adecuadamente con un mínimo de tres luces, espaciadas a intervalos de 15 m. Por lo tanto, la luz más alejada que perciba el piloto estará a una distancia de 45 m, pero a esta distancia debe añadirse el tramo invisible por delante de la aeronave que el piloto no alcanza a ver por razón del puesto de pilotaje y de la proa de la aeronave.

4.6.7 En los tramos rectos de las calles de rodaje es relativamente fácil determinar la cobertura de haz en azimut. Es solamente necesario que haya luces suficientes para que el piloto pueda mantenerse durante el rodaje en el eje o cerca (mismo).



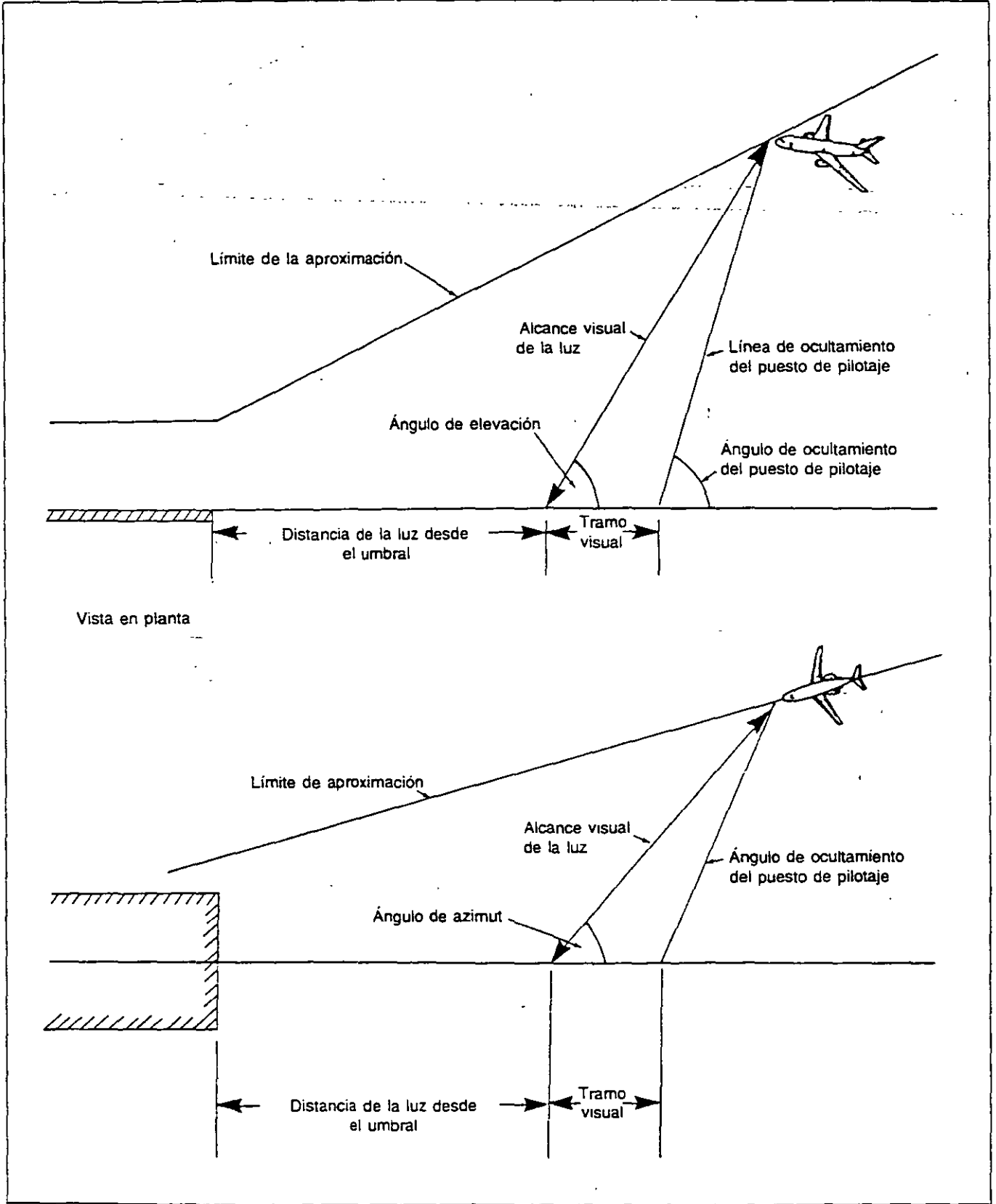


Figura 4-1 Geometría del tramo visual

4.6.8 En la actualidad se aplican diversos métodos para dirigir las aeronaves de gran tamaño por las curvas. Según uno de estos métodos se requiere que el piloto dirija la aeronave manteniendo el puesto de pilotaje continuamente sobre el eje de la calle de rodaje. Este procedimiento exige la construcción de superficies de enlace en los bordes interiores de las curvas y en las intersecciones, ya que las ruedas del tren de aterrizaje principal de la aeronave describen una curva mucho más abierta que la de la rueda de proa. Existe otro método por el cual el piloto trata de mantener la rueda de proa de la aeronave para que siga a lo largo del eje de la calle de rodaje. En los aviones de gran tamaño, en los cuales el puesto de pilotaje se encuentra a considerable distancia por delante de la rueda de proa, la posición del piloto trazará una trayectoria bastante más afuera del eje de todas las curvas, por lo que sería necesario construir superficies de enlace.

4.6.9 Los requisitos relativos a la iluminación de eje de calle de rodaje, especificados en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, se basan en el procedimiento de que el puesto de pilotaje siga a lo largo del eje, de conformidad con las recomendaciones del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 3. Cuando se apliquen otros procedimientos, será necesario que la cobertura horizontal del haz sea más amplia para que la luz se extienda ampliamente hacia afuera de la tangente a la curva.

4.6.10 En curvas e intersecciones cuyo radio sea inferior a 400 m, el espaciado estándar de las luces debería ser la mitad del espaciado en los tramos rectos. (El radio de la mayoría de las curvas es inferior a 200 m.) Radios superiores a 400 m se presentan normalmente en circunstancias especiales, por ejemplo, en virajes de salida rápida de las pistas, en los que el radio es tan grande que conviene aplicar el espaciado correspondiente a los tramos rectos. Por lo tanto, el requisito para operaciones con RVR de un valor inferior al orden de 400 m, es de que el espaciado entre las luces de tramos rectos de la calle de rodaje sea de 15 m y de que cerca de las curvas se adopte el espaciado estándar de 7.5 m.

4.6.11 La experiencia ha demostrado que el espaciado menor de las luces antes de las curvas proporciona una advertencia adecuada de un cambio inminente de dirección para los pilotos que efectúan el rodaje en condiciones de poca visibilidad, de forma que puedan modificar su velocidad con suficiente antelación. Puede proporcionarse menor espaciado de las luces, por lo menos hasta una distancia de 60 m, antes del principio de la curva.

4.6.12 Las aeronaves que aplican el método de seguimiento de la traza de la rueda de proa, pueden salir de una curva con un error grande de rumbo respecto al eje de la calle de rodaje. Por lo tanto, para tener en cuenta operaciones en condiciones de visibilidad reducida, es de desear que continúe el espaciado menor de las luces por una distancia similar de 60 m después de la curva. Esto ayuda al piloto a realinear la

aeronave y proporciona una transición suave al espaciado mayor de las luces en los tramos rectos.

4.6.13 La cobertura del haz en azimut para las luces en las curvas se rige por el requisito de que:

- a) se mantenga un tramo mínimo de tres luces más allá del ángulo de ocultamiento del puesto de pilotaje;
- b) se proporcione información sobre el régimen de cambio de dirección de la curva;
- c) se indique la magnitud de cualquier desviación de la aeronave respecto al eje de la calle de rodaje; y
- d) se proporcionen luces para operaciones en ambos sentidos.

4.6.14 En la Figura 4-2 se ilustra la forma de calcular la cobertura de haz necesaria de las luces de eje en una curva. Como ejemplo, se presenta la posición del piloto a una distancia de 60 m de la curva. En la figura se muestra la relación entre la posición de la luz en la curva, la cobertura de haz en azimut necesaria  $\theta$  y el radio de la curva (R). Se muestra también que las curvas de radio pequeño serán las que determinen el requisito, puesto que en ellas se necesita la máxima cobertura de haz. Si toda la curva ha de ser visible, el valor del ángulo será  $\theta = 90^\circ$ ; para una curva cuyo radio sea de 40 m la cobertura de haz necesaria será de  $68^\circ$ . Si  $\theta$  disminuye a  $60^\circ$  ( $2/3$  de la curva), la cobertura de haz dentro de la curva debería ser de  $50^\circ$ . Se necesita una cobertura de  $3^\circ$  fuera de la tangente a la curva, puesto que en la práctica el puesto de pilotaje no seguirá con precisión los trazos del eje. Para aeronaves en operaciones con un RVR de un valor inferior al orden de 400 m, cuando solamente son visibles tres luces desde el principio de la curva, la cobertura de haz dentro de la tangente debería ser de  $35^\circ$ , pero este no será el valor óptimo para valores del RVR superiores a 400 m. En los aeropuertos en los que existe un sistema complicado de calles de rodaje, los requisitos en aquellas intersecciones en las que convergen diversas rutas de calles de rodaje, pueden satisfacerse mediante la instalación múltiple de dispositivo con anchura de haz restringida.

4.6.15 Deberían conservarse las luces con cobertura de haz similar a lo largo de una distancia de 60 m más allá de la curva; de lo contrario, el tramo visual disminuirá a medida que la aeronave avanza a lo largo de la curva. En condiciones de escasa visibilidad, esto podría llevar a que el piloto alcance a ver menos de tres luces si el espaciado es de 7.5 m.

4.6.16 *Barras de parada.* La intensidad y cobertura de haz de las luces no deberían ser de un valor inferior a los especificados en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, Figuras 2-13, 2-14, 2-15, 2-16 ó 2-17, según corresponda.

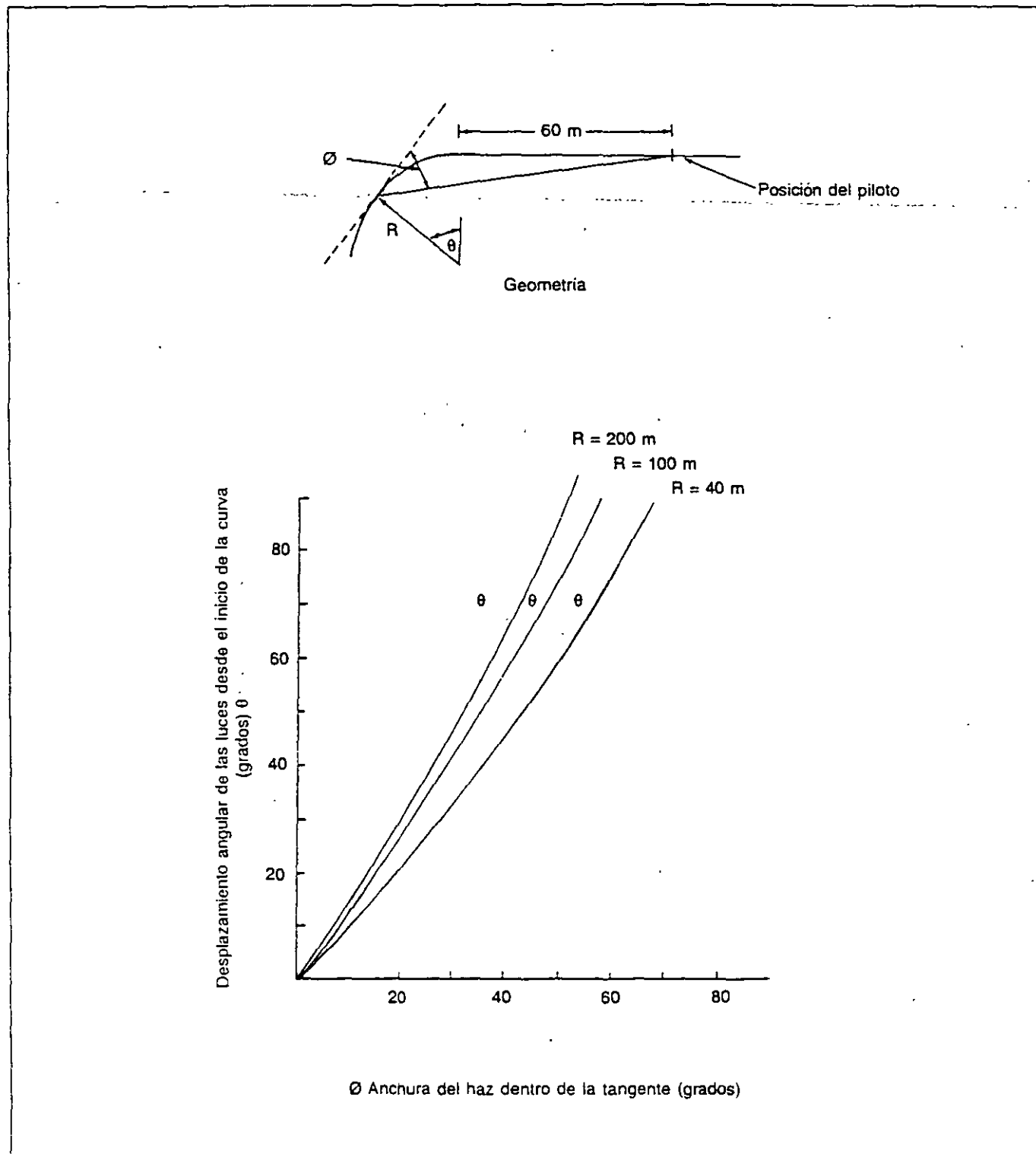


Figura 4-2. Geometría del sistema de iluminación de calles de rodaje

## Capítulo 5. REGLAJE DE LA INTENSIDAD LUMINOSA

5.1 En la Tabla 5-1 se proporcionan los valores de reglaje de la intensidad luminosa para diversos alcances de la visibilidad (condiciones diurnas). Las intensidades especificadas corresponden a las dimensiones del haz principal recomendadas en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, Figuras 2.1 a 2.11. Las luminancias de fondo están comprendidas entre 1 000 y 40 000 candelas por metro cuadrado. En días brillantes (luminancias de fondo superiores a 40 000 candelas por metro cuadrado, por ejemplo, con niebla iluminada por el sol) deben siempre utilizarse los valores máximos de reglaje de la intensidad. Aunque durante el día se utiliza normalmente el reglaje máximo de intensidad, en algunos Estados se sigue la práctica de utilizar un reglaje inferior, si las condiciones lo permiten, ya que la vida útil de las lámparas se prolonga considerablemente si funcionan a intensidad reducida.

5.2 En la Tabla 5-3 se proporcionan los valores de reglaje de la intensidad luminosa para diversos alcances de la visibilidad (condiciones nocturnas). Las intensidades especificadas corresponden con pequeñas variaciones a las dimensiones del haz principal recomendadas en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, Figuras 2.1 a 2.11. De conformidad con el Anexo 3, Adjunto C, las luminancias de fondo en una noche normal (que han de utilizarse para el cálculo del RVR a base de las lecturas de los transmisómetros) se definen como aquellas comprendidas entre 4 y 50 candelas por metro cuadrado. No obstante, las mediciones efectuadas en varios aeropuertos demuestran que las luminancias de fondo correspondientes a los reglajes de intensidad actualmente recomendados, son inferiores a 15 candelas por metro

cuadrado. Con buena visibilidad y fuera de zonas urbanas, las luminancias de fondo pueden ser incluso del orden de 0.1 candelas por metro cuadrado o inferiores; en este caso, pueden ser útiles los valores mínimos del reglaje de la intensidad (columna 6).

5.3 Mientras que la Tabla 5-1 se elaboró a base de prácticas bien establecidas, la Tabla 5-3 se basa en estudios teóricos, combinados con la experiencia obtenida durante ensayos en vuelo. Se presenta una gama de reglajes de la intensidad en diversas condiciones de visibilidad. Se recomienda que los Estados adapten sus procedimientos de reglaje de intensidad a los valores indicados en la Tabla 5-3 y que especialmente sigan lo más cerca posible las relaciones de intensidad luminosa de dicha Tabla 5-3, a fin de proporcionar un sistema equilibrado de intensidades luminosas.

5.4 En la Tabla 5-2 se indican los reglajes de intensidad luminosa para el amanecer y el atardecer (crepúsculo). Los valores se basan en la hipótesis de que los reglajes requeridos han de determinarse a título de valores que están comprendidos entre los indicados en la Tabla 5-1 y en Tabla 5-3.

5.5 En las Figuras 5-1 a 5-3 se representan en forma gráfica los datos indicados en las Tablas 5-1 a 5-3. En cada figura se combinan los datos pertinentes para cada tipo de luz. En el Apéndice 5 se proporciona información sobre el método utilizado para preparar esta representación gráfica.

**Tabla 5-1. Ajuste de la intensidad luminosa en condiciones diurnas  
 (Luminancia de fondo = de 1 000 a 40 000 cd/m<sup>2</sup>)**

Sistema de iluminación	Alcance visual en la pista <sup>a</sup> o visibilidad			
	RVR ≤ 800 m (Notas b y c)	RVR 800 m a RVR 1 500 m (Notas b y d)	RVR 1 500 m a visibilidad 5 000 m (Nota e)	Visibilidad ≥ 5 000 m (Nota f)
Eje de aproximación y barras transversales	20 000	20 000	10 000	—
Fila lateral de aproximación	5 000	5 000 <sup>g</sup>	2 500 <sup>g</sup>	—
Zona de toma de contacto	5 000	5 000 <sup>gh</sup>	2 500 <sup>g</sup>	—
Eje de pista	5 000 <sup>h</sup>	5 000 <sup>g</sup>	2 500 <sup>g</sup>	—
Umbral y barra de ala	10 000	10 000	5 000	—
Extremo de pista	2 500	2 500	2 500	—
Borde de pista	10 000	10 000	5 000	—

Notas:

- En la preparación de esta tabla se supuso que los valores del RVR se basaban en una intensidad de 10 000 cd y en una luminancia de fondo de 10 000 cd/m<sup>2</sup>. Cuando no se disponga de la medición del RVR se aplicará la visibilidad meteorológica.
- Para valores del RVR inferiores a 1 500 m, los reglajes de intensidad seleccionados pueden proporcionar el sistema de iluminación equilibrado-requerido por el Anexo 14, Volumen I, 5.3.1.11.
- Para valores del RVR inferiores a 400 m, o cuando la luminancia de fondo sea superior a 10 000 cd/m<sup>2</sup>, sería conveniente utilizar, desde el punto de vista de las operaciones, intensidades mayores.
- Cuando la luminancia de fondo sea inferior a 10 000 cd/m<sup>2</sup>, pueden utilizarse intensidades de un valor que sea la mitad de los especificados.
- Estas intensidades han de utilizarse en aproximaciones hacia el sol bajo.
- Con visibilidades superiores a 5 km, puede proporcionarse iluminación a solicitud del piloto.
- Cuando no puedan lograrse estas intensidades luminosas, debería proporcionarse el reglaje máximo posible de la intensidad.
- En estas condiciones de visibilidad es opcional proporcionar y mantener en funcionamiento estas luces.

**Tabla 5-2. Ajuste de la intensidad luminosa en condiciones crepusculares<sup>a</sup>**  
(Luminancia de fondo = de 15 a 1 000 cd/m<sup>2</sup>)

Sistema de iluminación	Alcance visual en la pista <sup>b</sup> o visibilidad				
	RVR ≤ 800 m	RVR 800 m a RVR 1.500 m	RVR 1 500 m a visibilidad 5 000 m	Visibilidad 5 000 m a visibilidad 8 000 m	Visibilidad ≥ 8 000 m
Eje de aproximación y barras transversales	5 000-10 000	3 000-6 000	1 500-3 000	500-1 000	150-300
Fila lateral de aproximación	1 000-2 000	500-1 000 <sup>c</sup>	250-500 <sup>c</sup>	100-200 <sup>c</sup>	—
Zona de toma de contacto	1 000-2 000	500-1 000 <sup>c</sup>	250-500 <sup>c</sup>	100-200 <sup>c</sup>	—
Eje de pista	1 000-2 000	500-1 000 <sup>c</sup>	250-500 <sup>c</sup>	100-200 <sup>c</sup>	—
Umbral y barra de ala	2 500-5 000	1 500-3 000	750-1 500	250-500	75-150
Extremo de pista	2 500	1 500-2 500	750-1 500	250-500	75-150
Borde de pista	2 500-5 000	1 500-3 000	750-1 500	250-500	75-150

Notas:

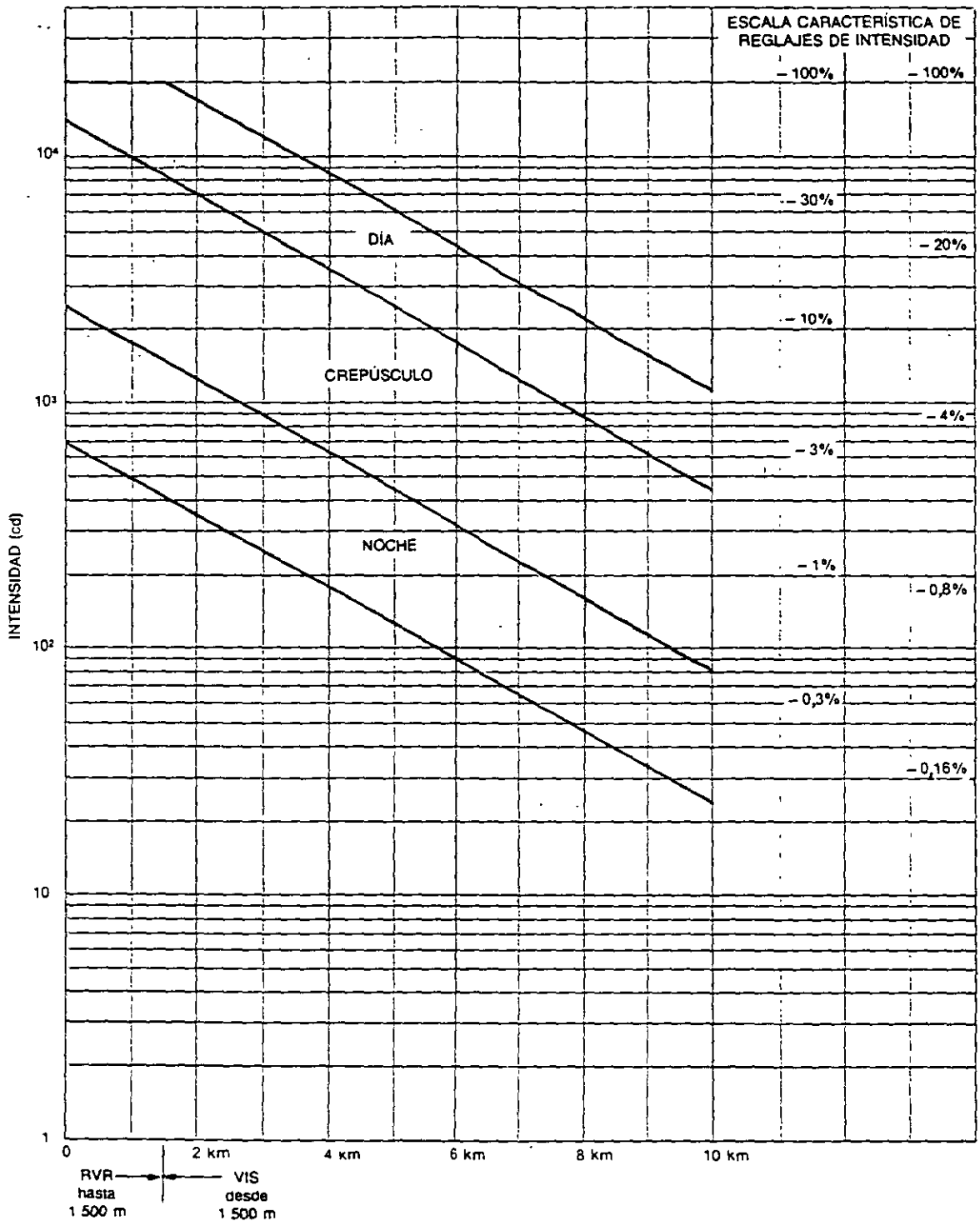
- Para asegurar que los valores adoptados para los diversos elementos de los sistemas de iluminación de aproximación y de pista sea equilibrados, los reglajes de intensidad de los sistemas de iluminación deben indicarse uniformemente en una parte de la gama de valores de tolerancia, es decir hacia la parte superior, hacia el centro, o hacia la parte inferior.
- En la preparación de esta tabla se supuso que los valores del RVR se basaban en una intensidad de 5 000 cd y en una luminancia de fondo de 200 cd/m<sup>2</sup>. Cuando no se disponga de la medición del RVR se aplicará la visibilidad meteorológica.
- Si se proporcionan estas luces deben mantenerse a las intensidades indicadas; sin embargo, su uso es opcional en estas condiciones de visibilidad.
- Cuando no puedan lograrse estas intensidades luminosas, debería proporcionarse el reglaje máximo posible de la intensidad.

Tabla 5-3. Ajuste de la intensidad luminosa en condiciones nocturnas<sup>a</sup>  
 (Luminancia de fondo = 15 cd/m<sup>2</sup>)

Sistema de iluminación	Alcance visual en la pista <sup>b</sup> o visibilidad				
	RVR ≤ 800 m	RVR 800 m a RVR 1 500 m	RVR 1 500 m a visibilidad 5 000 m	Visibilidad 5 000 m a visibilidad 8 000 m	Visibilidad ≥ 8 000 m
Eje de aproximación y barras transversales	1 000-2 000	600-1 200	300-600	100-200	50-100
Fila lateral de aproximación	250-500	150-300 <sup>c</sup>	100-150 <sup>c</sup>	25-40 <sup>c</sup>	—
Zona de toma de contacto	200-500	150-300 <sup>c</sup>	100-150 <sup>c</sup>	25-40 <sup>c</sup>	10-20 <sup>c</sup>
Eje de pista (30 m)	200-500 <sup>d</sup>	150-300 <sup>c</sup>	100-150 <sup>c</sup>	25-40 <sup>c</sup>	10-20 <sup>c</sup>
Eje de pista (15 m)	200-500 <sup>d</sup>	150-300 <sup>c</sup>	100-150 <sup>c</sup>	25-40 <sup>c</sup>	10-20 <sup>c</sup>
Eje de pista (7,5 m)	200-500 <sup>d</sup>	150-300 <sup>c</sup>	100-150 <sup>c</sup>	25-40 <sup>c</sup>	10-20 <sup>c</sup>
Umbral y barra de ala	1 000-2 000	600-1 200	300-600	100-200	20-40 <sup>c</sup>
Extremo de pista	1 000-2 000	600-1 200	300-600	100-200	20-40
Borde de pista	1 000-2 000	600-1 200	300-600	100-200	20-40

Notas:

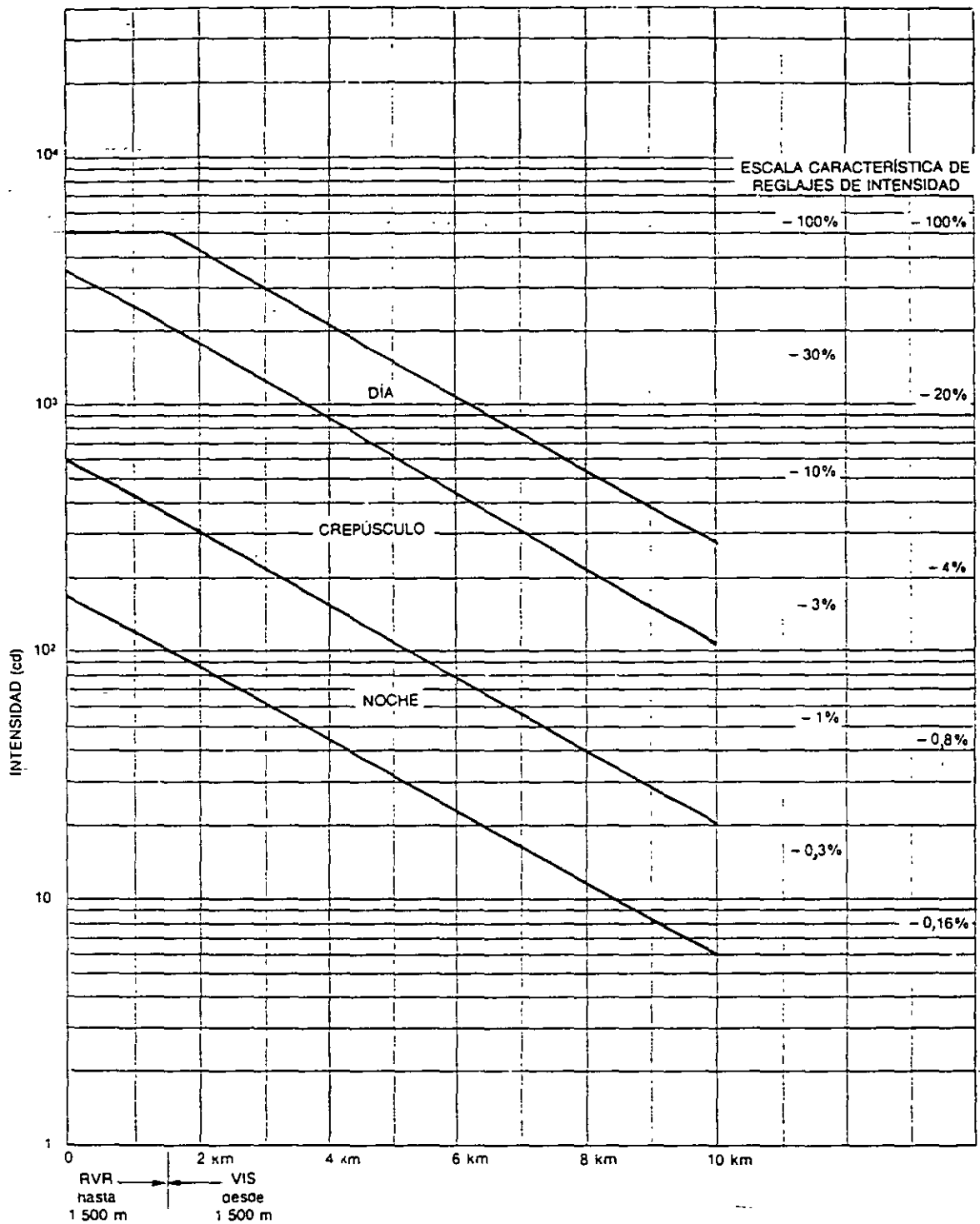
- Para asegurar que los valores adoptados para los diversos elementos de los sistemas de iluminación de aproximación y de pista sean equilibrados, los reglajes de intensidad de los sistemas de iluminación deben indicarse uniformemente en una parte de la gama de valores de tolerancia, es decir hacia la parte superior, hacia el centro, o hacia la parte inferior.
- En la preparación de esta tabla se supuso que los valores del RVR se basaban en una intensidad de 1 000 cd y en una luminancia de fondo de 15 cd/m<sup>2</sup>. Cuando no se disponga de la medición del RVR se aplicará la visibilidad meteorológica.
- Si se proporcionan estas luces deben mantenerse a las intensidades indicadas; sin embargo, su uso es opcional en estas condiciones de visibilidad.
- Puede ser necesario incrementar estos valores de reglaje de la intensidad, para el despegue en condiciones de RVR por debajo de 400 m.



Nota.— Día = luminancia de fondo 1 000-40 000 cd/m<sup>2</sup>  
 Crepúsculo = luminancia de fondo 15-1 000 cd/m<sup>2</sup>  
 Noche = luminancia de fondo 15 cd/m<sup>2</sup>

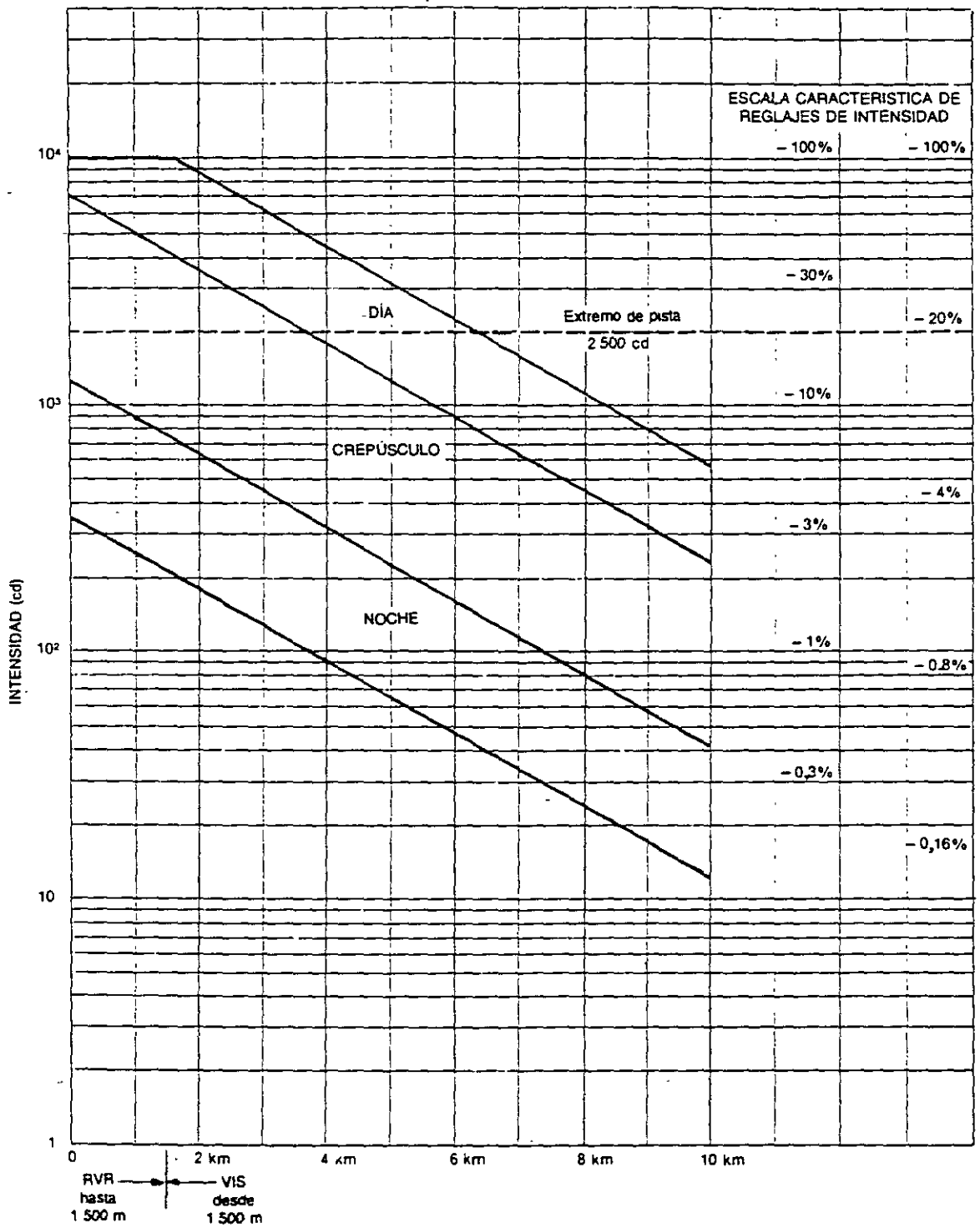
Figura 5-1. Eje de aproximación y barras transversales





Nota.— Día = luminancia de fondo 1 000-40 000 cd/m<sup>2</sup>  
 Crepúsculo = luminancia de fondo 15-1 000 cd/m<sup>2</sup>  
 Noche = luminancia de fondo 15 cd/m<sup>2</sup>

Figura 5-2. Fila lateral de aproximación, zona de toma de contacto y eje de pista



Nota.— Día = luminancia de fondo 1 000-40 000 cd/m<sup>2</sup>  
 Crepúsculo = luminancia de fondo 15-1 000 cd/m<sup>2</sup>  
 Noche = luminancia de fondo 15 cd/m<sup>2</sup>

Figura 5-3. Umbral y barra de ala, extremo de pista y borde de pista

## Capítulo 6. SISTEMA DE LUCES DE ENTRADA A LA PISTA\*

6.1 Quizá sea necesario un sistema de luces de entrada a la pista para proporcionar orientación visual segura a lo largo de determinada trayectoria de aproximación, generalmente curva, en aquellos lugares en los que se presenten dificultades especiales debido a terrenos peligrosos, a obstáculos y a procedimientos de atenuación del ruido. Un sistema de esta clase consiste en una serie de luces de destellos instaladas muy

cerca del nivel del suelo, para indicar la trayectoria conveniente hasta una pista, o hasta la fase de aproximación final. Cada grupo de luces se emplaza y orienta de modo que las aeronaves que efectúen la aproximación puedan verlas al volar por el grupo precedente y puedan seguir las en condiciones

\* Texto proporcionado por los Estados Unidos.

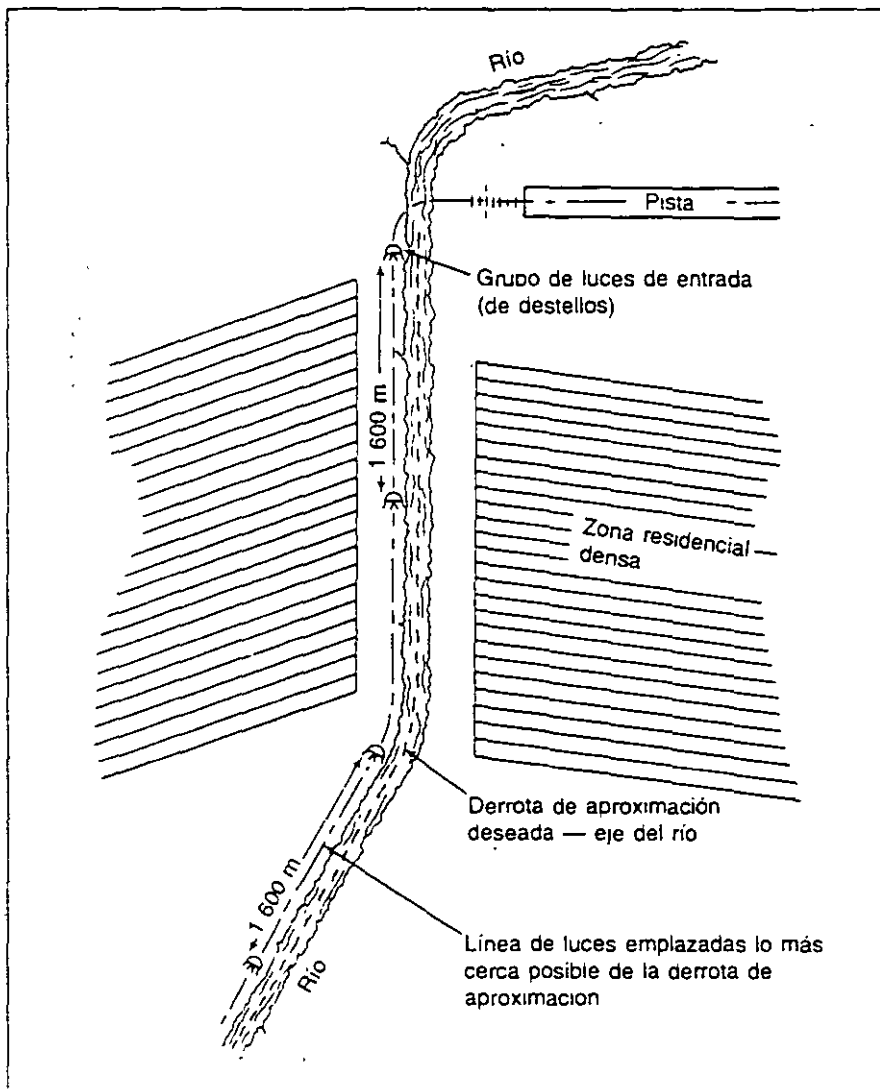


Figura 6-1. Disposición característica de un sistema de iluminación de entrada a la pista

iguales o superiores a las mínimas de aproximación consideradas. El sistema puede ser curvo, recto o mixto según sea necesario. El sistema de luces de entrada a la pista puede terminar en cualquier entronque con el sistema autorizado de luces de aproximación, o a una distancia del umbral de aterrizaje que sea compatible con las mínimas autorizadas de visibilidad, que permitan la referencia visual al terreno que circunda la pista. La parte más exterior del sistema consiste en grupos de luces que marcan los tramos de la trayectoria de aproximación, comenzando en un punto desde el cual pueda verse con facilidad un punto de referencia de aproximación final. El espaciado de estos grupos de luces debe ser de tal magnitud (aproximadamente 1 600 m) que pueda proporcionar orientación continua de entrada. El grupo consiste por lo menos en tres luces de destellos, dispuestas en configuración

lineal o agrupada, pero podrán añadirse luces fijas cuando sea necesario. Siempre que sea posible, los grupos deberían emitir los destellos en una secuencia que se desplace hacia la pista. Cada sistema debe diseñarse de modo que satisfaga las condiciones locales y proporcione la orientación visual deseada. En la Figura 6-1 se ilustra una disposición característica de un sistema de esta clase.

6.2 En algunos lugares, quizá sea necesario proporcionar orientación muy precisa respecto al plano horizontal, debido a la presencia de obstáculos o edificios emplazados cerca de la trayectoria normal de aproximación. En tales casos, el sistema requiere una luz adicional en cada grupo, que proporcione con precisión información relativa a la alineación.

# Capítulo 7. LUCES DE GUÍA PARA EL VUELO EN CIRCUITO

## 7.1 INTRODUCCIÓN

7.1.1 En 1.4.10 a 1.4.36 de este manual se explica la forma en que se emplean las luces de guía para el vuelo en circuito, en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC) y en condiciones meteorológicas de vuelo por instrumentos (IMC), respectivamente. Además, en la Figura 1-4 del manual, se da una idea de circuito normal de tránsito en condiciones meteorológicas de vuelo visual. En los Procedimientos para los servicios de navegación aérea — *Operación de aeronaves*, Volumen II — *Construcción de procedimientos de vuelo visual y por instrumentos* (Doc 8168), Parte III, Sección 1.8, se presenta orientación sobre la construcción de áreas de maniobras visuales (vuelo en circuito) y sobre el cálculo de sus dimensiones.

7.1.2 Para la aproximación en circuito debe proporcionarse la siguiente orientación:

- a) una indicación adecuada acerca de la dirección o emplazamiento de la pista. Esto permitiría que el piloto intercepte el tramo a favor del viento, o que alinee y ajuste su derrota hacia la pista;
- b) una indicación clara del umbral, a fin de que el piloto pueda distinguirlo al sobrevolarlo;
- c) una indicación adecuada de la prolongación del eje de la pista, en el sentido de aproximación, compatible con la relativa al umbral para que el piloto pueda evaluar el viraje hacia el tramo de base y hacia la aproximación final.

7.1.3 La necesidad de luces de guía para el vuelo en circuito y su diseño varían de un lugar a otro, en función de factores tales como el procedimiento de aproximación en circuito utilizado, los tipos de aeronaves que utilizan la pista, las condiciones meteorológicas y las clases de luces disponibles. En la mayoría de los aeropuertos, las luces de borde de pista y los sistemas de iluminación de aproximación proporcionan toda la orientación necesaria. Por consiguiente, solamente serán necesarias luces especiales de guía para el vuelo en circuito cuando tales sistemas no proporcionen la guía satisfactoria indicada en 7.1.2. El suministro de luces adicionales de guía para el vuelo en circuito no constituye ordinariamente ningún problema importante. En general, las luces deben diseñarse e instalarse de forma que sean visibles desde el tramo a favor del viento, pero que no deslumbran ni confundan al piloto en las fases de aproximación para el aterrizaje, de despegue o de rodaje.

## 7.2 REQUISITOS DE LA ILUMINACIÓN

7.2.1 En los párrafos que siguen se indica la medida en que cumplen las condiciones enumeradas en 7.1.2 los sistemas de iluminación prescritos en el Anexo 14, Volumen I, y la forma en que estos sistemas pueden mejorarse para proporcionar guía adecuada, durante aproximaciones en circuito en las que tales mejoras sean necesarias.

### Luces para indicar el sentido de la pista

7.2.2 En el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, figuran las especificaciones relativas a luces de borde de pista. El objetivo primario de estas luces es delinear los límites longitudinales de la pista para las aeronaves que ejecutan la aproximación final. En el Anexo 14, Volumen I, se hace particularmente hincapié en que las luces de borde de pista deben ser visibles desde todos los ángulos de azimut, cuando se desea que proporcionen guía para el vuelo en circuito. Las actuales luces de borde de pista son también capaces de proporcionar guía para el vuelo en circuito. Las luces de baja intensidad que se utilizan para operaciones en noches claras son omnidireccionales. Las luces de alta intensidad que se utilizan para operaciones en condiciones de poca visibilidad son bidireccionales, pero también pueden utilizarse luces omnidireccionales de poca intensidad que proporcionen guía para el vuelo en circuito. Si no se incluyen tales luces omnidireccionales de poca intensidad, podrían instalarse otras luces a lo largo de los bordes de la pista para proporcionar guía para el vuelo en circuito. Estas luces deberían ser de color blanco o de descarga de gases, y si son de elevada intensidad, deberían ser unidireccionales con sus haces luminosos en dirección perpendicular al eje de la pista y sentido hacia afuera de la pista.

### Luces para indicar el umbral

7.2.3 En el Anexo 14, Volumen II, Capítulo 5, se recomienda instalar dos lámparas blancas de destellos en las pistas para aproximaciones que no sean de precisión, cuando sea necesario que el umbral sea más conspicuo o cuando no sea posible instalar otras ayudas luminosas para la aproximación. Estas luces también pueden utilizarse en otras pistas para facilitar la identificación del umbral, particularmente en las zonas en las que haya mucha iluminación o en las que el terreno circundante no tenga ningún relieve. Si las luces son de gran anchura de haz, son de haz omnidireccional, o están orientadas perpendicularmente a la pista, proporcionarán también guía para el vuelo en circuito.

### Luces para indicar la prolongación del eje de la pista

7.2.4 Las luces de eje de todos los sistemas de iluminación de aproximación, especificados en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, tienen el objetivo de delinear la prolongación del eje de la pista. Los sistemas con luces de baja intensidad están normalmente diseñados con luces omnidireccionales, por lo que también proporcionarán guía para el vuelo en circuito. En los sistemas de elevada intensidad se utilizan luces unidireccionales que el piloto no alcanza a ver en el tramo a favor del viento. Estos sistemas pueden perfeccionarse

instalando otras luces adjuntas a las ya existentes, o más allá del extremo del sistema de iluminación de aproximación (a lo largo de la prolongación del eje). Estas luces deberían ser permanentes o de destellos, en el primer caso de color blanco, o de descarga de gases, y en el segundo caso blancas. Cuando se instalen luces más allá del extremo exterior del sistema de iluminación de aproximación, la intensidad y la anchura de haz de las luces deberían ser tales que las luces sean visibles desde el tramo a favor del viento. Si se emplean luces de destellos, deberían destellar secuencialmente a un régimen de una por segundo, empezando por la luz que esté más afuera y consecutivamente hacia el umbral.

## Capítulo 8. SISTEMAS VISUALES INDICADORES DE PENDIENTE DE APROXIMACIÓN

### 8.1 GENERALIDADES

8.1.1 Los sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación definidos en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, 5.3.6, han sido diseñados para dar indicaciones visuales de la pendiente deseada de aproximación. La experiencia en las operaciones ha demostrado la utilidad de tales sistemas.

8.1.2 Los textos de este capítulo tienen por objeto suministrar orientación para la aplicación del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, 5.3.6, considerando que:

- a) se utilizan elementos luminosos de diversos diseños;
- b) se instalan sistemas en aeropuertos con muy distintas características físicas; y
- c) los sistemas son utilizados por los tipos más grandes y por los tipos más pequeños de aeronaves.

8.1.3 En el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Figura 5-16 y Tabla 5-2, se presentan los detalles de las características (y respectivamente del origen, dimensiones y pendiente) de la superficie de protección contra obstáculos (OPS) para los sistemas T-VASIS, AT-VASIS, PAPI y APAPI. Puesto que la configuración de esta superficie se ha trazado en general a lo largo de las líneas de la superficie de aproximación a la pista, los datos recopilados durante el levantamiento topográfico de los obstáculos respecto a esta última superficie, serán útiles para determinar si se encuentran o no objetos que sobresalen por encima de la superficie de protección contra obstáculos. Si algún estudio aeronáutico indicara que existen objetos que sobresalen de la superficie de protección contra obstáculos que podrían influir en la seguridad de las operaciones de los aviones, se adoptarán una o más de las medidas siguientes:

- a) elevar adecuadamente la pendiente de aproximación del sistema;
- b) disminuir la anchura en azimut del sistema, de forma que el objeto quede fuera de los límites del haz;
- c) desplazar el eje del sistema y de la correspondiente superficie de protección contra obstáculos en un ángulo no superior a 5°;
- d) desplazar convenientemente el umbral; y
- e) donde no sea posible poner en práctica lo indicado en d), desplazar convenientemente del umbral el tramo en

contra del viento, para proporcionar un aumento de la altura de cruce por encima del umbral igual a la magnitud del obstáculo que sobresale por encima de la OPS.

8.1.4 El sistema debe ser visible en zonas en las que no está garantizada la protección con un margen suficiente de franqueamiento de obstáculos. En estas circunstancias, esta zona no ha de utilizarse para guía de pendiente de aproximación hasta que la aeronave esté dentro del área de la superficie de protección contra obstáculos. La gran cobertura en azimut del sistema proporciona información a las aeronaves en el tramo básico, pero esta no debería ser la única información de la que se depende para fines de descenso. Cuando se compruebe que un objeto situado fuera de la superficie de protección contra obstáculos del sistema, pero dentro de los límites laterales de su haz luminoso, sobresale por encima del plano de la superficie de protección contra obstáculos y los estudios aeronáuticos indican que dicho objeto podría influir negativamente en la seguridad de las operaciones, debería limitarse la anchura en azimut del haz luminoso de forma que el objeto esté fuera de los límites del haz luminoso.

8.1.5 Aunque la pendiente normal de aproximación es de 3°, podría seleccionarse otra pendiente de aproximación para lograr un ángulo visual de pendiente de aproximación, igual al ángulo de pendiente de aproximación de una trayectoria de planeo por instrumentos, en caso de que se proporcione. Si hubiera obstáculos en el área de aproximación podría ser necesario seleccionar un ángulo mayor de pendiente de aproximación.

*Nota.— En las operaciones de grandes aeronaves de transporte, no se utilizan normalmente ángulos de pendiente de aproximación superiores a unos 3°.*

8.1.6 En el caso del VASIS, las indicaciones provistas suministran un canal de pendiente de aproximación; dos canales de pendiente de aproximación, en el caso del VASIS de 3 BARRAS; una trayectoria de aproximación normal, además de siete indicaciones discretas de desviación, en el caso del T-VASIS; y una trayectoria de aproximación normal y cuatro indicaciones discretas de desviación si se trata del PAPI.

*Nota 1.— En este capítulo, cuando se menciona el VASIS se sobrentiende que está también incluido el AVASIS, cuando se habla del VASIS de 3 BARRAS se sobrentiende que está también incluido el AVASIS de 3 BARRAS, al hablar del VASIS se sobrentiende también el AT-VASIS y al hablar del PAPI se sobrentiende también el APAPI.*

*Nota 2.— Los sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación proporcionan referencias visuales esenciales a los pilotos que realizan la aproximación asegurando:*

- a) un margen mínimo de seguridad para franqueamiento de las ruedas sobre el umbral de la pista;
- b) un margen seguro por encima de todos los obstáculos en la aproximación final; y
- c) correlación con las señales de trayectoria de planeo no visual cuando esté instalado equipo para aproximaciones por instrumentos de precisión.

8.1.7 Al preparar el diseño para la instalación de un sistema, puede ser necesario modificar las dimensiones correspondientes a la configuración ideal, debido al emplazamiento de las calles de rodaje o a otras características a ambos lados de la pista. Se ha comprobado que estas dimensiones pueden modificarse hasta un valor del 10% sin desvirtuar las operaciones del sistema.

8.1.8 Los contornos de la faja de pista no deberían ocasionar ninguna distorsión aparente del sistema, desde el punto de vista de un piloto que se aproxime a lo largo de la pendiente correcta de aproximación. Por consiguiente, se desplazan los elementos luminosos a fin de compensar por la diferencia de nivel entre el umbral y la posición final de los elementos luminosos, requiriéndose un movimiento longitudinal de 19 veces la diferencia de nivel, para una pendiente de aproximación de 3°.

8.1.9 Al mirar a lo largo de la pendiente de aproximación, las barras de ala deberían aparecer situadas al mismo nivel. También deberían aparecer al mismo nivel un par de elementos luminosos en posición transversal a la pista. Después de tener en cuenta la diferencia de altura entre lados opuestos de la pista, la diferencia entre el emplazamiento longitudinal de las barras de ala o el emplazamiento longitudinal de cada uno de los elementos luminosos de un par combinado, debería ser inferior a 1.5 m.

8.1.10 En el caso de una instalación permanente que será lo normal, se proporcionan planchas de hormigón que sostienen los pilares de apoyo de los elementos luminosos. Para que estos no constituyan un obstáculo respecto a una aeronave que rueda por encima de la instalación, la plancha debería estar empotrada por debajo del nivel del terreno, o los lados de la plancha deberían descender suavemente hasta el terreno de forma que si la aeronave rueda sobre la plancha no sufra ningún daño. En el primer caso, la cavidad por encima de la plancha debería llenarse de material apropiado. Esta práctica, junto con la de construir de forma frágil los elementos luminosos y sus apoyos, aseguran que no se producirá ningún daño importante a los aviones en caso de que rodaran por encima de un elemento. Si no se diseñan los elementos luminosos de forma que resistan los efectos del flujo del chorro de los reactores de una aeronave al despegar o al virar sobre la pista, puede ser necesario instalar una

pantalla protectora para desviar la dirección del chorro o adoptar otras medidas de protección de los elementos luminosos.

## 8.2 VASIS Y VASIS DE 3 BARRAS

### VASIS

*Emplazamiento y reglaje de elevación de las barras de ala anteriores del VASIS*

8.2.1 En la práctica raramente se presenta la disposición ideal indicada en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Figura 5-11, debido a las variaciones topográficas pero, sin embargo, esta disposición constituye la base de los sistemas. Ningún elemento luminoso debería emplazarse más cerca de 15 m del borde de la pista o de la calle de rodaje. Los sistemas podrían comprimirse o extenderse longitudinalmente de conformidad con las tolerancias de instalación especificadas en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Figura 5-11.

8.2.2 La altura mínima de los ojos por encima del umbral proporcionada por el VASIS depende del emplazamiento y del reglaje de elevación de las barras de ala anteriores. Como se indica en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Figura 5-11, la distancia normal desde el umbral de la pista hasta la barra de ala anterior es de 150 m en el caso de una pendiente de aproximación de 3°.

8.2.3 Esta distancia debería en primer lugar ajustarse de la manera siguiente:

- a) Si la pendiente de aproximación es menor de 3°, la distancia normal de 150 m debería aumentarse en 5 m, por cada 5 minutos de arco en el que el ángulo sea inferior a 3°.

*Nota.— Cuando se proporciona también trayectoria de planeo no visual, ambas trayectorias deberían tener, de ser posible, la misma pendiente.*

- b) Si existe una pendiente descendente desde el umbral hacia las barras de ala anteriores, será necesario aumentar la distancia normal en 6 m, por cada 0.30 m diferencia de nivel entre el umbral y el punto situado a una distancia de 150 m.
- c) Si existen dificultades de instalación debidos a la intersección de calles de rodaje y de pistas, puede aumentarse la distancia normal según sea necesario; sólo excepcionalmente puede disminuirse la distancia  $D_1$  en no más de 30 m, ya que esto podría afectar adversamente al margen de franqueamiento de las ruedas sobre el umbral. El total de las correcciones mencionadas en a, b, y c no debe exceder de 90 m, de manera que la distancia de ajuste no sea nunca superior a 240 m.
- d) Cuando el número de clave sea 1 ó 2, la distancia normal puede disminuirse de manera que la par-



inferior de la sección rosada de la barra de ala anterior proporcione una distancia mínima de franqueamiento de las ruedas sobre el umbral de 1,5 m. de los aviones para los que esté prevista la pista.

8.2.4 Seguidamente, puede seleccionarse el reglaje de elevación de las barras de ala anteriores basándose en las siguientes consideraciones:

- a) El ángulo mínimo respecto al cual el ala de barra anterior aparece de color blanco para el piloto que efectúa la aproximación final (ángulo A en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Figura 5-10) debería proporcionar una altura de los ojos del piloto sobre el umbral, tal que para los tipos de aeronaves que utilicen el sistema, se obtenga un margen mínimo seguro de franqueamiento de las ruedas sobre el umbral.
- b) El ángulo A así definido no debería ser superior al ángulo seleccionado de pendiente de aproximación visual.
- c) Si se proporciona también una trayectoria de planeo no visual, el ángulo A no debería ser superior al ángulo de aproximación correspondiente a la trayectoria de planeo no visual.
- d) El ángulo máximo respecto al cual la luz de la barra de ala anterior aparece de color rojo para el piloto que efectúa la aproximación final (ángulo B en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Figura 5-10) debería proporcionar un margen seguro de franqueamiento sobre todos los obstáculos en el área de aproximación.

8.2.5 Para asegurar que la indicación prescrita de pendiente de aproximación proporciona un margen seguro de franqueamiento por encima de todos los obstáculos en el área de aproximación, es necesario realizar un levantamiento topográfico de una zona, cuya forma y dimensiones sean las indicadas en la Figura 8-1. Más allá de una distancia de 3 200 m, bastaría normalmente tener la referencia de un mapa a gran escala. Ningún objeto debería sobresalir por encima de un plano que tenga una pendiente inferior en 1° al límite superior del sector totalmente rojo de los elementos luminosos que constituyen las barras de ala anteriores y cuyo origen esté en una línea transversal situada a 90 m más cerca del umbral que las barras de alas anteriores y al mismo nivel.

8.2.6 Cuando un objeto situado bastante hacia afuera de la línea de aproximación sobresalga del plano de obstáculos, puede permitirse una tolerancia de 60 cm aproximadamente por cada 300 m de distancia del objeto al umbral. De lo contrario, podría ser necesario disminuir la cobertura lateral de los elementos luminosos a fin de excluir, del sector visible del VASIS, el área que contiene los obstáculos. Esto puede lograrse apantallando o suprimiendo de los elementos luminosos los cristales difusores. En algunos tipos de elementos luminosos, la supresión de los difusores reduce una tercera parte aproximadamente de la dispersión. Puede tenerse en cuenta que debido a la amplia dispersión en azimut de los elementos luminosos, puede haber objetos que sobresalgan del plano de obstáculos fuera de los límites laterales del área de aproximación. En casos especiales, puede ser conveniente promulgar una advertencia a los pilotos si no puede remediarse la situación, lo cual puede ser preferible a aumentar el ángulo de pendiente de aproximación o a desplazar más hacia atrás las barras de ala. Normalmente no debería ser necesario tomar estas medidas si el umbral está correctamente emplazado.

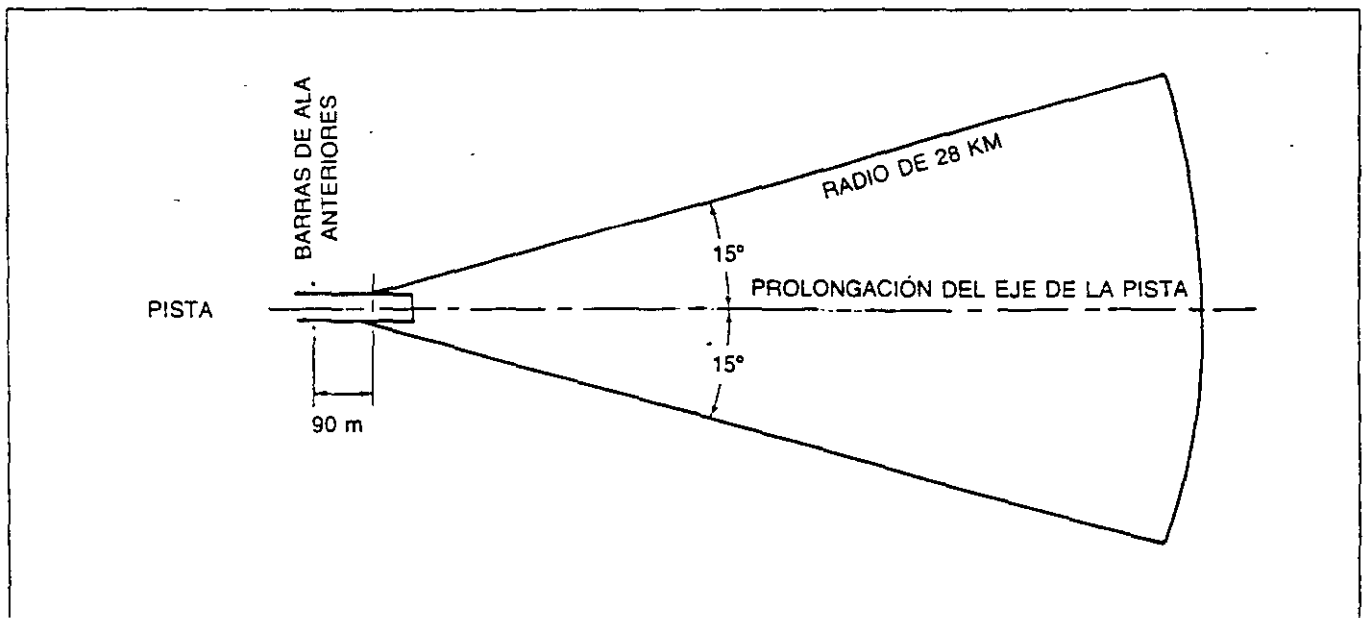


Figura 8-1. Área de levantamiento topográfico para el VASIS y el VASIS de 3 BARRAS — Franqueamiento de obstáculos

### Emplazamiento y reglaje de elevación de las barras de ala posteriores

8.2.7 Debería seleccionarse el reglaje de elevación de las barras de ala posteriores teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- El ángulo máximo al cual la luz de los elementos de la barra de ala posterior aparece de color-rojo para el piloto que efectúa la aproximación final (ángulo D en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Figura 5-10) debería ser tal que el ángulo proporcionado mediante  $(A + D)/2$  sea igual al ángulo de pendiente de aproximación seleccionado.
- Cuando se proporcione también una trayectoria de planeo no visual, el ángulo D no debería ser inferior al ángulo de aproximación de la trayectoria de planeo no visual.

8.2.8 El espaciado entre las barras posteriores y las anteriores, junto con el reglaje de elevación de los elementos luminosos, influye directamente en la distancia máxima a la cual pueden distinguirse las dos barras, y determina la sensibilidad del sistema. Para obtener una distinción suficiente entre las barras a una distancia entre 8 km y 10 km se requiere una separación mínima de 150 m, en una pendiente de aproximación de 3°. Una separación superior a 300 m dará lugar a una carencia de sensibilidad en la guía de aproximación. Se ha adoptado un espaciado estándar de 200 m entre las barras posteriores y las barras anteriores, pero en las pistas cuyo número de clave sea 1 ó 2 puede disminuirse esta distancia a un valor no inferior a 90 m. Puede haber otras razones que exijan aumentar la distancia a un valor superior a 210 m. En ningún caso debería ser la distancia entre las barras posteriores y las barras anteriores superior a 300 m, ni inferior a 105 m cuando el número de clave de la pista sea 3 ó 4, ni a 90 m cuando el número de clave de la pista sea 1 ó 2. Una pendiente descendente entre las barras anteriores y las barras posteriores debería compensarse según lo indicado en 8.2.3 b).

8.2.9 Cuando se instale el VASIS con un ángulo de pendiente de aproximación superior a 3°, para ser utilizado por un grupo restringido de aeronaves, la distancia  $D_1$  entre el umbral y las barras de ala anteriores, y la distancia  $D_2$  entre las barras de ala anteriores y posteriores, podrían ser menores a las distancias normales indicadas en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Figura 5-11, sin salirse de las tolerancias indicadas: es decir, hasta un valor no inferior a 90 m en el caso de  $D_1$  y hasta un valor no inferior a 120 m en el caso de  $D_2$  cuando el número de clave de la pista sea 3 ó 4. Tienen aplicación los aspectos mencionados en 8.2.1 a 8.2.9 inclusive.

*Nota.— El ángulo de pendiente de aproximación visual en el caso de estas instalaciones no debería exceder de 4,5°, salvo en aquellas instalaciones que sean exclusivamente utilizadas para operaciones STOL en las que los ángulos de pendiente de aproximación pueden ser hasta de 6°.*

## VASIS DE 3 BARRAS

### Generalidades

8.2.10 En operaciones de aeronaves con una gran distancia vertical entre los ojos del piloto y las ruedas, la instalación del VASIS debería modificarse para convertirla en un VASIS de 3 BARRAS. Debido a la gran diferencia entre la trayectoria que siguen los ojos del piloto y la que sigue el tren de aterrizaje principal, el VASIS no proporcionará a los pilotos una advertencia segura de que realizan un aterrizaje demasiado corto, cuando vuelan estas aeronaves u otras similares en las que es muy grande la distancia vertical entre los ojos y las ruedas.

8.2.11 Los pilotos de aeronaves con estas características deberían hacer caso omiso de las barras de ala anteriores y atender a las barras de ala intermedias y posteriores para obtener las señales correctas.

8.2.12 Para que las pendientes de aproximación de estas aeronaves con gran distancia vertical entre los ojos y las ruedas no sean muy pronunciadas, se aplica una diferencia, entre los reglajes de elevación de las tres barras, inferior a la utilizada en el caso del VASIS. El resultado es que se obtienen dos canales de pendiente de aproximación casi paralelos. El VASIS de 3 BARRAS proporciona por lo tanto señales más sensibles para el vuelo que el VASIS.

### Emplazamiento y reglaje de las barras de ala anteriores

8.2.13 Las barras de ala anteriores del VASIS de 3 BARRAS pueden instalarse de la misma forma que las del VASIS, a condición de que la determinación de un margen seguro de franqueamiento de las ruedas sobre el umbral se aplique solamente a tipos de aeronave con altura de los ojos del piloto sobre las ruedas inferior a 4,5 m, y suponiéndose que las aeronaves de mayor tamaño utilizan el canal posterior de pendiente de aproximación visual.

### Emplazamiento y reglaje de las barras de ala intermedias

8.2.14 El emplazamiento y el reglaje de elevación de las barras de ala intermedias del VASIS de 3 BARRAS se basan en las mismas consideraciones aplicadas a las barras de ala posteriores del VASIS. Además, las barras de ala intermedias constituyen el elemento luminoso más bajo del canal posterior de pendiente de aproximación visual. Por consiguiente, es necesario verificar si el ángulo más bajo al que las luces de las barras de ala intermedias aparecen como blancas para el piloto que efectúa la aproximación final (ángulo C en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Figura 5-10), proporciona un franqueamiento seguro mínimo de las ruedas sobre el umbral para aeronaves cuya altura de los ojos del piloto sobre las ruedas sea superior a un valor aproximado de 4,5 m y hasta la altura de los ojos del piloto sobre las ruedas que corresponda a los tipos de aeronaves más grandes que se espera utilicen sistema.

*Emplazamiento y reglaje de elevación  
de las barras de ala posteriores*

8.2.15 Las barras de ala posteriores del VASIS de 3 BARRAS se emplazan y se reglan en relación con las barras de ala intermedias, de la misma forma que las barras de ala posteriores del VASIS se emplazan y reglan en relación con las barras de ala anteriores.

8.2.16 El ángulo máximo al cual la luz de las barras de ala posteriores aparecen de color rojo para el piloto que efectúa la aproximación final (ángulo F en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Figura 5-10), debería ser tal que el ángulo determinado por  $(F+C)/2$  sea igual al ángulo posterior de pendiente de aproximación visual. Por lo tanto, el ángulo F nunca puede ser inferior al ángulo C.

*Nota.— La interrelación entre los ángulos del VASIS de 3 BARRAS es tal, que la diferencia entre el ángulo de pendiente de aproximación anterior y el ángulo de pendiente de aproximación posterior nunca pueda ser inferior a la diferencia entre los ángulos C y D indicados en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Figura 5-10, es decir, que nunca pueden ser inferiores a la profundidad del sector de transición de los elementos luminosos de las barras de ala intermedias. Por diversos motivos, es conveniente que las pendientes de aproximación posterior y anterior se acerquen lo más posible a ser paralelas.*

a) *En las operaciones de grandes aeronaves de transporte no se utilizan normalmente ángulos de pendiente de aproximación superiores a unos 3°. De esta forma, se establece un límite superior para el ángulo de pendiente posterior de aproximación. Al mismo tiempo, por motivos tales como el franqueamiento de obstáculos y otros, puede ser necesario que las aeronaves que sigan la pendiente anterior de aproximación desciendan a ángulos de pendiente de aproximación que se acercan lo más posible a 3°.*

b) *Si se proporciona también una trayectoria de planeo no visual, se obtendrá el máximo posible de compatibilidad entre los dos ángulos de pendiente de aproximación visual y el ángulo de la pendiente de aproximación no visual, cuando estas tres pendientes sean paralelas.*

*Por estos motivos, los elementos luminosos que tengan un sector de transición profundo son menos adecuados para ser utilizados en el VASIS de 3 BARRAS, particularmente en las barras de ala intermedias. La transición debería ser tan brusca como sea posible y nunca debería ser superior a 15 minutos de arco.*

8.2.17 En todos los casos, es crítico el reglaje de elevación de la barra intermedia en las instalaciones del VASIS de 3 BARRAS y debe determinarse con precisión. La sensibilidad del VASIS de 3 BARRAS exige también que se mantengan con precisión todos los reglajes de elevación y que estén equilibradas las intensidades de los elementos luminosos de una barra de ala.

**Elementos luminosos del VASIS  
y del VASIS de 3 BARRAS**

*Generalidades*

8.2.18 Los elementos luminosos descritos a continuación se utilizan en el VASIS, AVASIS, VASIS de 3 BARRAS o AVASIS de 3 BARRAS. Se proporciona la siguiente orientación como ayuda en la aplicación de las disposiciones del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, 5.3.6.

*Características del haz*

8.2.19 A fin de satisfacer los requisitos en materia de cobertura angular y de alcance visual del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, 5.3.6.14, para operaciones diurnas, el área central del haz luminoso tiene una intensidad por lo menos de 10 000 candelas en el sector rojo. La parte superior del haz es de color blanco y la parte inferior de color rojo. Entre los sectores rojo y blanco del haz puede haber una pequeña zona dentro de la cual el observador ve una señal rosada. La extensión de la zona de transición no debería exceder de 15 minutos de arco.

*Tolerancias de fabricación*

8.2.20 Todos los elementos luminosos de un sistema deberían tener características similares de haz, de lo contrario, el sistema presentaría una apariencia irregular al piloto. En general, cuanto más pequeña sea la zona de color rosado más difícil será lograr este objetivo.

*Diseño de los elementos*

8.2.21 Es importante proteger la integridad del sistema mediante un buen diseño de los elementos luminosos. Debe prestarse particular atención a proporcionar más de una fuente luminosa en cada unidad. El diseño debería ser tal que los depósitos provenientes de la condensación, la suciedad o la nieve desvirtúen lo menos posible las características de las señales luminosas. En el diseño debe prestarse atención a la facilidad de instalar y reglar el equipo y a la facilidad de mantenerlo en condiciones de eficacia operacional. También deberían tenerse en cuenta factores relacionados con el medio ambiente, tales como el viento y el chorro de los reactores. Por lo general, se logra la requerida eficiencia óptica de los elementos luminosos mediante dos métodos. En los párrafos que siguen se proporcionan algunos ejemplos.

8.2.22 En uno de los métodos, los haces luminosos de elevada intensidad se proyectan a través de una ranura de 5 cm de profundidad, que se extiende a todo lo ancho de la cara frontal del elemento. Para producir la cobertura horizontal requerida se coloca un vidrio dispersor inmediatamente por delante de cada lámpara; delante de cada vidrio, pero cubriendo solamente la mitad superior de la abertura de la lámpara se pone un filtro de vidrio de color rojo. Otra posibilidad es que el filtro rojo forme parte del vidrio dispersor. El sistema óptico se ilustra en forma diagramática

en la Figura 8-2 y está dispuesto de modo tal que emite un haz en forma de abanico que mide aproximadamente  $\pm 12,5^\circ$  en azimut y  $7^\circ$  en elevación. En la Figura 8-3 se muestran las características de un haz ordinario. La mitad superior del haz es de color blanco y la mitad inferior de color rojo. Entre los sectores rojo y blanco del haz hay una zona de transición de color rosado que se extiende aproximadamente  $1/4$  de grado.

8.2.23 En el segundo método se utilizan también fuentes luminosas de elevada intensidad (véase la Figura 8-4). Estas luces iluminan los materiales que actúan de filtro que se montan en el plano focal, o cerca del mismo, de las lentes de un proyector. Los componentes ópticos se han diseñado para proporcionar las características requeridas del haz. Si los materiales que actúan de filtro se colocan precisamente en el plano focal, puede lograrse una transición brusca de rojo a blanco. Si se desea que haya un sector de transición, esto puede lograrse añadiendo un filtro de color rosado o desenfocando el filtro rojo. En la Figura 8-5 se muestra el primero de estos métodos. Los sistemas de proyección de esta clase pueden utilizarse ventajosamente con el VASIS de 3 BARRAS. En la Figura 8-5 a) se muestra la distribución horizontal de un elemento luminoso característico de este tipo. En la Figura 8-5 b) se muestra la distribución vertical con filtros rojo y rosado, instalados en el elemento de forma que se obtenga una zona pequeña de color rosado; mientras que en la Figura 8-5 c) se muestra la distribución de una transición brusca entre los sectores rojo y blanco de la señal.

8.2.24 Una versión económica del elemento luminoso estándar del VASIS está en servicio en pistas cortas destinadas principalmente a aviones ligeros que no son de reacción. El diseño de este elemento luminoso responde al mismo principio que el elemento luminoso estándar con la excepción de que se utilizan menos lámparas siendo por consiguiente de forma más angosta. Este tipo de elemento se utiliza exclusivamente en la

configuración E del AVASIS que se presenta en la Figura 5-9 del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, y tiene un alcance de detección visual aproximado de 2.7 km. En las Figuras 8-6 y 8-7 se indican las características fotométricas de tal elemento luminoso.

#### Reglaje en elevación de los elementos luminosos

8.2.25 Los elementos luminosos que forman cada par de barras de ala deberían tener el mismo ángulo de reglaje en elevación, con una tolerancia de  $\pm 2$  minutos de arco. En el sistema descrito en 8.2.22 el ángulo de elevación de un elemento luminoso se determina mediante un teodolito o sextante de burbuja visto en la ranura desde un punto a unos 30 m por delante del elemento. El ángulo de elevación se mide desde la altura en la que la indicación roja del elemento incluye la parte más pequeña de la luz blanca que pueda detectarse. Este ángulo se conoce como ángulo de reglaje. En la práctica, el piloto de una aeronave en la aproximación reconocería que la luz de un elemento está cambiando de color rosa a color rojo a un ángulo de  $1/8$  de grado por encima del ángulo de reglaje, y la profundidad efectiva de la zona de transición rosada por encima de este punto sería aproximadamente de  $1/2$  de grado. En la Tabla 8-1 se indican los ángulos característicos de reglaje para elementos luminosos de estas características. En el sistema descrito en 8.2.23, se regla el ángulo de elevación de un elemento luminoso colocando un nivel de precisión de burbuja sobre la cara plana del elemento luminoso que actúa de punto de referencia. El eje del haz luminoso puede alinearse con los ángulos de reglaje de elevación seleccionados mediante un tornillo regulador. Los ángulos de reglaje en elevación de estos elementos luminosos deberían determinarse de conformidad con las orientaciones proporcionadas en 8.2.1 a 8.2.9 para el VASIS y el AVASIS y en 8.2.13 a 8.2.17 para el VASIS de 3 BARRAS y el AVASIS de 3 BARRAS.

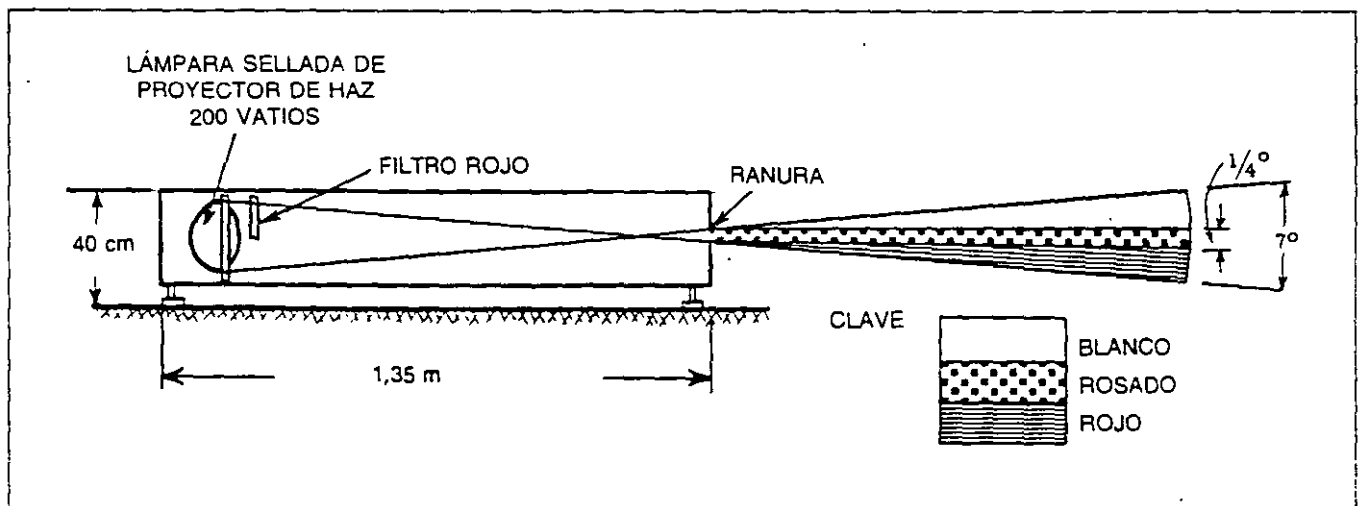


Figura 8-2. Elemento luminoso del VASIS — Sistema óptico característico (tipo de ranura)

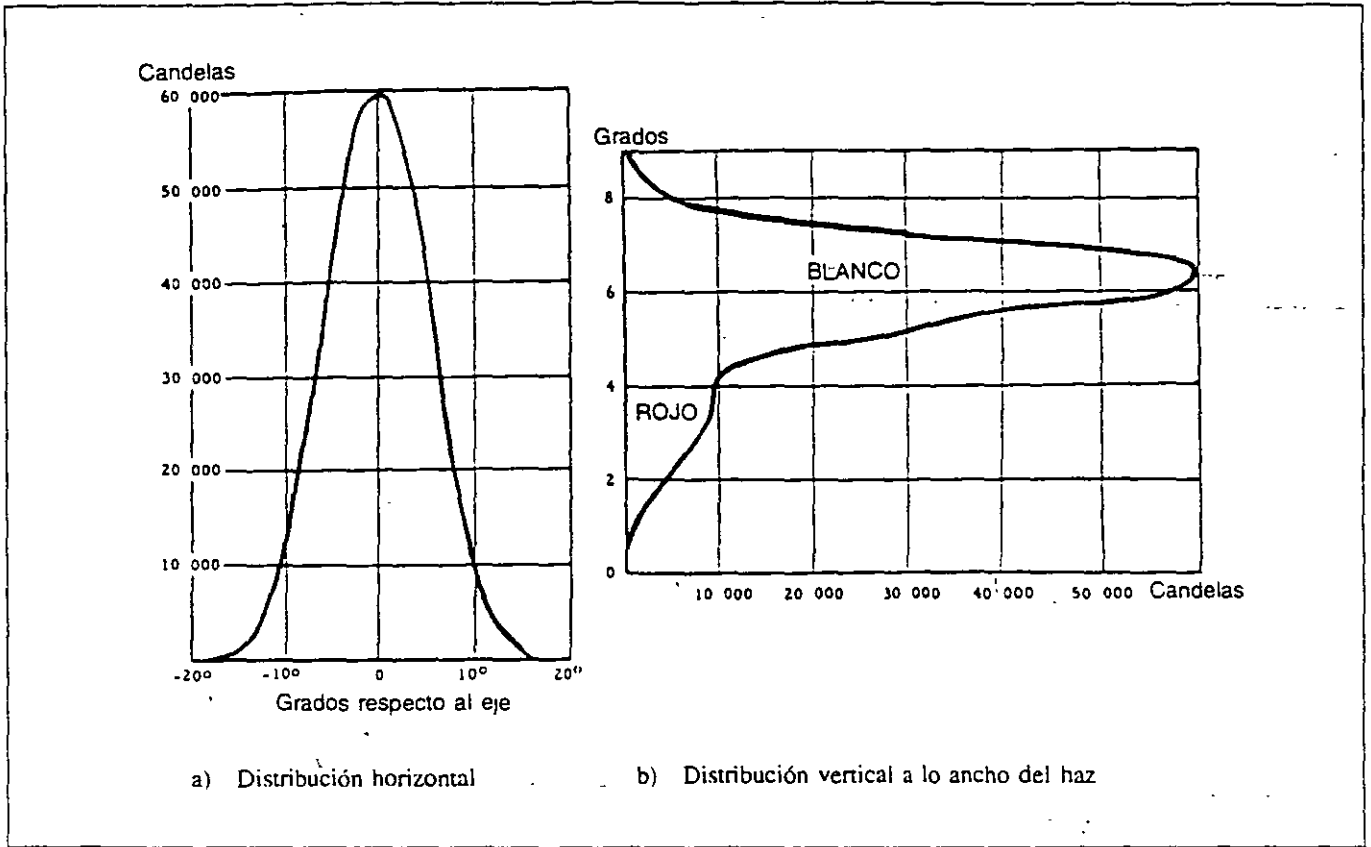


Figura 8-3. Distribución característica de la intensidad de los elementos luminosos del VASIS descrita en 8.2.22

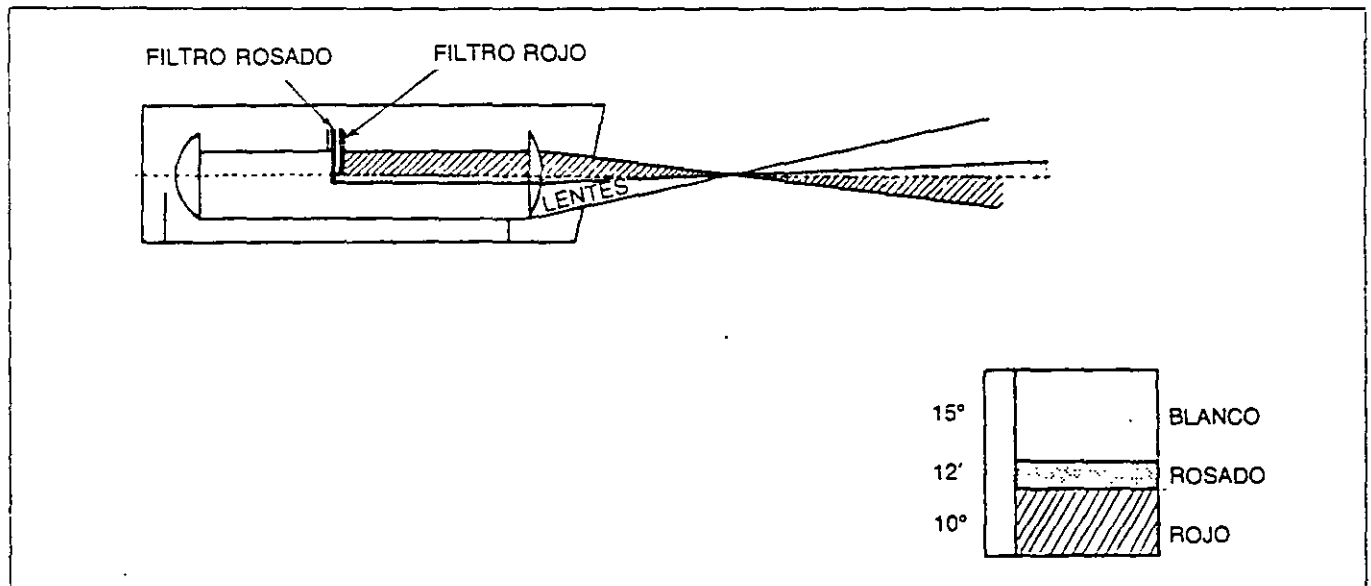
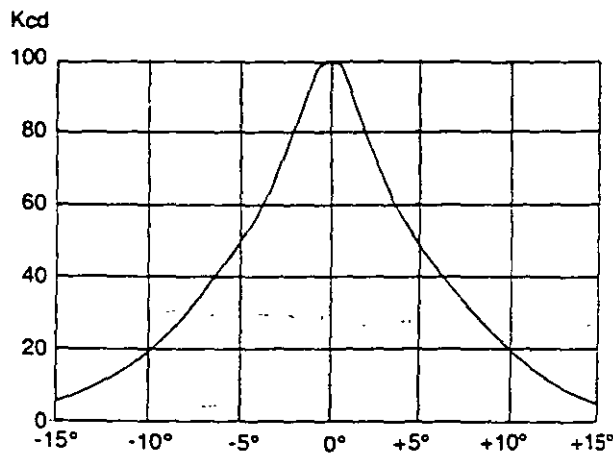
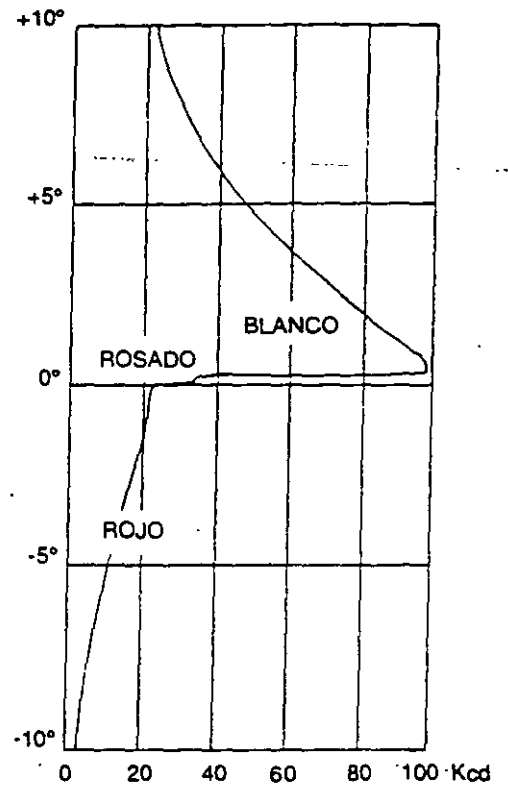


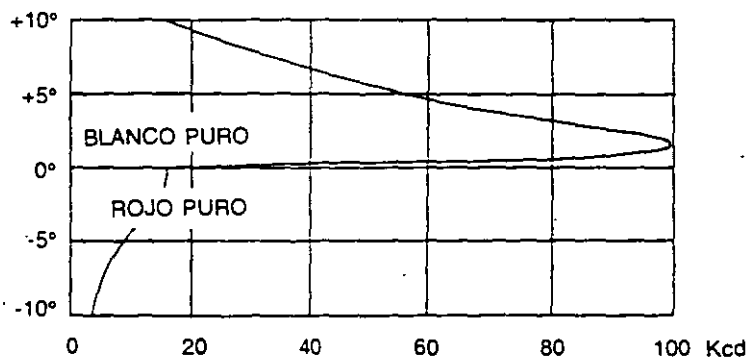
Figura 8-4. Elemento luminoso del VASIS — Sistema óptico característico



a) Distribución en el plano horizontal



b) Distribución en el plano vertical con filtros rojo y rosa



c) Distribución en el plano vertical con transición brusca

Figura 8-5. Distribución característica de la intensidad de los elementos luminosos descrita en 8.2.23

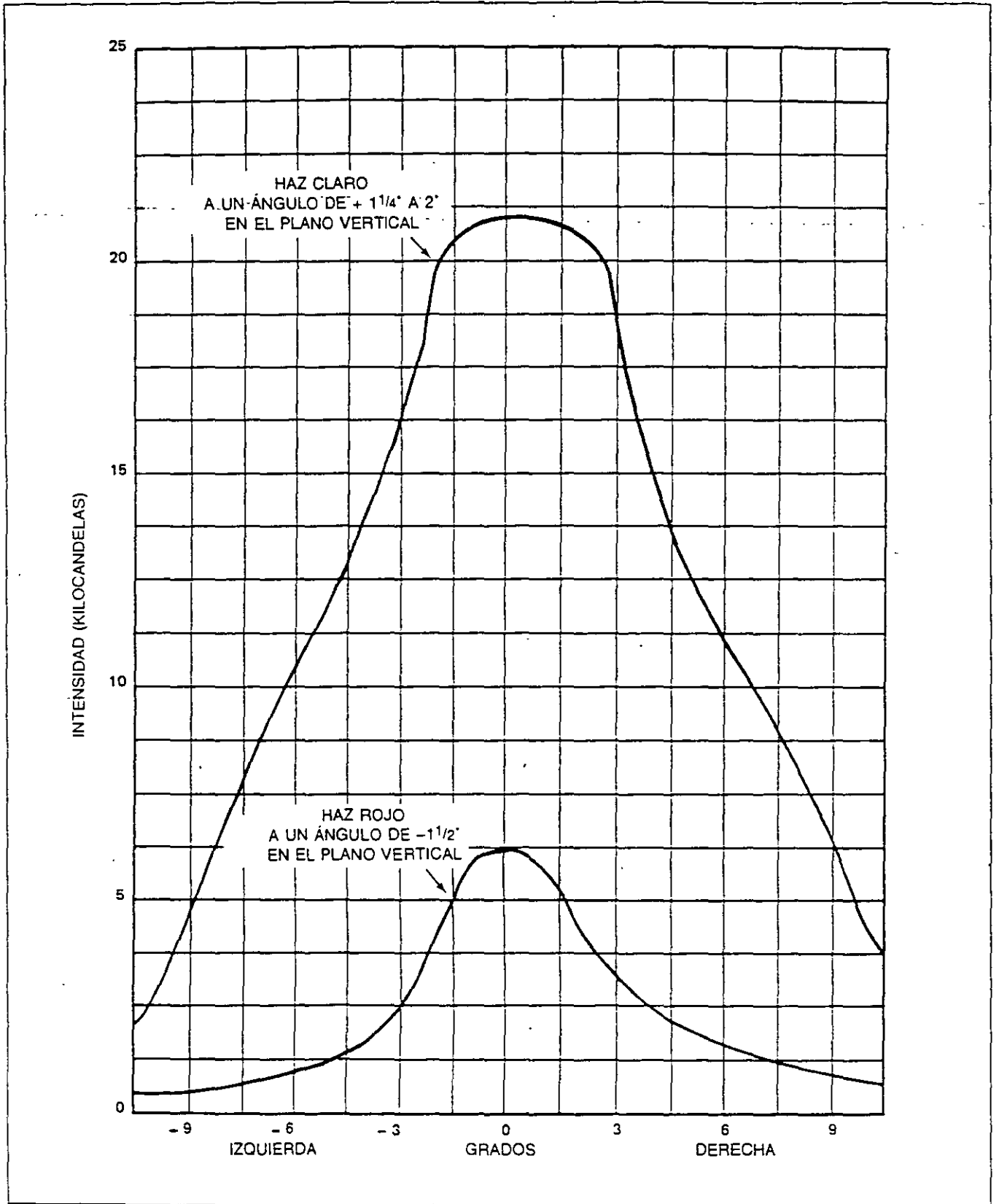


Figura 8-6. Distribución horizontal de la intensidad

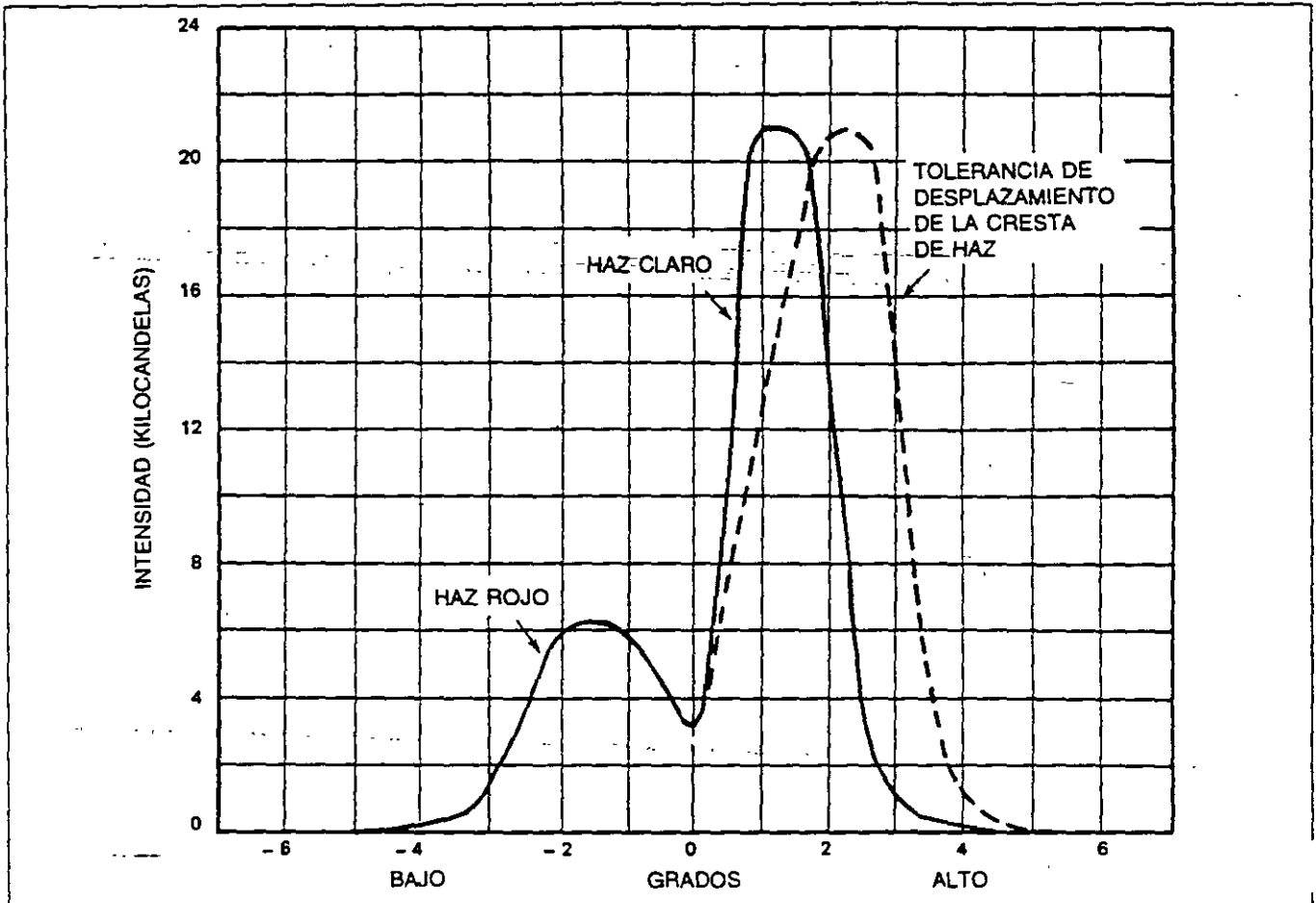


Figura 8-7. Distribución vertical de la intensidad

#### Montaje de los elementos luminosos

8.2.26 Las tolerancias normales de instalación de los elementos luminosos que forman las barras de ala son las siguientes:

- La cara anterior de los elementos debería situarse en un plano perpendicular al eje de la pista con una tolerancia de  $1^\circ$ .
- Las ranuras de los elementos deberían estar al mismo nivel, con tolerancia de 5 cm y las ranuras de cada uno de los elementos deberían estar en un plano horizontal con una tolerancia de  $\frac{1}{4}$  de grado. Debería utilizarse como referencia para los elementos luminosos de tipo proyección el eje que une los centros de las lentes frontales.
- Los bordes inferiores de las ranuras o la parte inferior de las lentes frontales deberían estar a menos de 30 cm del nivel del punto más cercano del eje de la pista, y longitudinalmente a 3 m como máximo del eje de la

barra de ala en el lado opuesto de la pista. Esto quizá no pueda lograrse cuando el terreno tenga una pendiente transversal, y en estas circunstancias la posición de la barra, o barras, de ala debe desplazarse longitudinalmente una distancia igual a la diferencia de niveles dividida por la tangente del ángulo de reglaje, en dirección hacia el umbral si las ranuras están más altas y viceversa. Para la instalación del VASIS de 3 BARRAS, el ángulo crítico de la barra de ala posterior será de  $3\frac{1}{4}^\circ$  aproximadamente; el ajuste longitudinal para esta barra de ala debería ser  $17\frac{1}{2}$  veces superior a la diferencia de niveles. Los elementos situados donde el terreno sea más alto deberán montarse lo más cerca posible del suelo. Si la pendiente transversal fuera tan grande que exigiera una separación longitudinal de más de 30 m entre las barras de ala nominalmente opuestas, no debería excederse de esta distancia, pero las barras de ala del lado más bajo deberían montarse, si fuera necesario, a un nivel más alto.

8.2.27 El elemento luminoso situado más al interior cada barra, debería estar a una distancia no inferior a 15 m,



**Tabla 8-1. Ángulos característicos de reglaje de elementos luminosos cuyas características se describen en 8.2.22**

Ángulo nominal de pendiente de aproximación		Distancia entre las barras de alas posteriores y anteriores		
		Menos de 180 m	De 180 m a 260m	Más de 260 m
2'30'	U	2'35'	2'30'	2'25'
	D	1'55'	2'00'	2'05'
	O	1'05'	1'10'	1'15'
2'45'	U	2'50'	2'45'	2'40'
	D	2'10'	2'15'	2'20'
	O	1'20'	1'25'	1'20'
3'00'	U	3'05'	3'00'	2'55'
	D	2'25'	2'30'	2'35'
	O	1'35'	1'40'	1'45'
3'15'	U	3'20'	3'15'	3'10'
	D	2'40'	2'45'	2'50'
	O	1'50'	1'55'	2'00'

U — Ángulo de reglaje en elevación de los elementos que forman las barras de ala posteriores  
D — Ángulo de reglaje en elevación de los elementos que forman las barras de ala anteriores  
O — Elevación del plano de franqueamiento de obstáculos (véanse 8.2.5 y 8.2.6)

superior a 23 m, del borde de la pista. La distancia mínima de separación, con respecto a las calles de rodaje, no debería ser inferior a la establecida en la Tabla 3-1 del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 3.

8.2.28 Es normal que las barras de ala de uno de los lados de la pista reciban energía eléctrica de un circuito en serie, independiente de la fuente de alimentación de las barras de ala al otro lado de la pista. Esta característica, junto con el hecho de que cada elemento contiene varias lámparas, reduce la posibilidad de que se den indicaciones inadecuadas o engañosas en caso de fallas del circuito o de las lámparas.

**Verificación en vuelo del VASIS y del VASIS de 3 BARRAS**

8.2.29 Durante la instalación inicial debería llevarse a cabo una verificación en vuelo, tanto de día como de noche, y en ella deberían comprobarse los siguientes puntos:

- a) Los elementos luminosos que forman cada par de barras de ala parecen tener intensidad uniforme, cambian simultáneamente de color y aparecen en una línea esencialmente horizontal.
- b) La profundidad del sector de transición de los elementos luminosos parece satisfacer los requisitos de 5.3.6.13 del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.

c) El alcance efectivo de los elementos luminosos parece satisfacer los requisitos de 5.3.6.14 del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5. Debe comprobarse hasta qué punto se satisfacen los requisitos de 5.3.6.15 del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.

d) Las intensidades de cada uno de los elementos luminosos son las mismas y el control de intensidad proporcionado es adecuado para las operaciones, tanto diurnas como nocturnas.

e) La pendiente de aproximación indicada por los elementos luminosos es satisfactoria para las operaciones y, en los lugares en los que se dispone de una trayectoria de planeo no visual, las indicaciones visuales son compatibles con las no visuales.

f) Ninguna otra luz de aeródromo dificulta la clara interpretación de las señales provenientes de los elementos luminosos.

g) El reglaje de elevación de las barras de ala anteriores asegura un margen de franqueamiento suficiente, por encima de todos los obstáculos en la aproximación, según lo requerido por 5.3.6.21 del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.

Deberían realizarse subsiguientes verificaciones periódicas en vuelo para comprobar en particular lo indicado en a) y e).

### Verificaciones en tierra del VASIS y del VASIS de 3 BARRAS

8.2.30 Las verificaciones en tierra, descritas a continuación, deberían realizarse inicialmente cada día hasta que se esté seguro de la estabilidad del sistema. Después de este período inicial, se ha demostrado que normalmente basta una verificación por semana.

8.2.31 Pueden aplicarse varios métodos para efectuar las verificaciones periódicas de los ángulos de reglaje de los elementos luminosos. Un método sencillo, que ha resultado eficaz en la práctica, consiste en utilizar una mira topográfica, marcada con la designación o designaciones de la pista de que se trate. En la parte superior de la mira hay una pequeña pantalla rectangular transparente de color verde que lleva grabadas dos líneas horizontales separadas entre sí por unos 5 cm y que corresponden a unos 5 minutos de arco a la distancia a la que ha de utilizarse la mira.

8.2.32 La mira topográfica se coloca sobre una base de hormigón que ha sido emplazada delante de cada elemento. Estas bases están situadas de manera que si el observador alcanza a ver indicios de luz blanca entre las líneas horizontales de la pantalla, el elemento está dentro de los límites de tolerancia. Si la luz blanca puede verse por debajo de la línea inferior, el reglaje es demasiado bajo y si la luz blanca no puede verse hasta que el ojo esté por encima de la línea superior, el reglaje se ha hecho demasiado alto. Con el fin de que la misma mira pueda utilizarse en todos los elementos de una determinada instalación, la distancia de cada base de hormigón por delante de su elemento correspondiente debe ajustarse para tener en cuenta la diferencia de nivel entre la base de hormigón y el elemento luminoso.

8.2.33 Las verificaciones en tierra de los elementos luminosos de tipo proyector se efectúan de conformidad con el procedimiento descrito en 8.2.25. Las lámparas dañadas de un sistema óptico pueden rápidamente sustituirse por lámparas del mismo tipo sin que ello influya en el reglaje de la trayectoria de planeo.

## 8.3 T-VASIS

### Emplazamiento

#### Generalidades

8.3.1 Se propone un método gráfico sencillo para diseñar la disposición del T-VASIS o del AT-VASIS.

#### Definiciones

8.3.2 En el diseño para emplazamiento del T-VASIS se utilizan los siguientes términos y expresiones:

- a) *Disposición estándar.* Esta disposición se muestra en la Figura 5-12 del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, y se

basa en una pendiente estándar de aproximación de 3° y en una faja de pista perfectamente horizontal.

- b) *Altura de los ojos por encima del umbral.* La altura teórica de los ojos del piloto cuando la aeronave pasa por encima del umbral verdadero siguiendo una señal correcta de pendiente de aproximación del T-VASIS. En un sistema estándar esta altura es de 15 m.
- c) *Pendiente de aproximación.* La pendiente de aproximación estándar es de 3°. Este ángulo puede ser modificado por las autoridades competentes cuando lo juzgan necesario por razones de franqueamiento de obstáculos, armonización con el ILS o por otras razones similares. La pendiente de aproximación estándar de 3° es una pendiente real de 1:19,08. En este método de diseño gráfico se aplica una pendiente de 1:19 redondeando la cifra ya que al mismo tiempo se mantiene la precisión adecuada de diseño.
- d) *Desplazamiento.* El movimiento de todo el sistema hacia afuera del umbral o hacia el umbral. Modifica la altura de los ojos sobre el umbral respecto a la magnitud estándar de 15 m pero no modifica la configuración que el piloto observa desde el aire.
- e) *Distorsión.* Los elementos luminosos en los tramos de la configuración en "T" están emplazados normalmente a intervalos estándar de 45 m, 90 m y 90 m respectivamente a partir de la barra de ala, a lo largo de una línea que pasa por el centro de la barra de ala y es paralela a la pista. Es necesario aplicar a estas dimensiones una tolerancia, y el resultado se denomina distorsión porque tenderá a distorsionar la configuración vista por el piloto.
- f) *Compensación topográfica.* Puesto que la faja de pista no está generalmente a la misma altura que el umbral, no es conveniente emplazar los elementos luminosos con un espaciado estándar a lo largo del plano horizontal que pasa por el umbral. Otra modificación de las dimensiones es necesaria, la cual lleva a que los elementos luminosos estén emplazados al nivel del terreno, en un punto en el cual una línea paralela a la pendiente de aproximación y que pasa por el punto teórico del elemento luminoso sobre el plano horizontal, corta el perfil del terreno.
- g) *Anclaje del emplazamiento del elemento luminoso.* Este es el emplazamiento real en el que la fuente luminosa de cada elemento luminoso debería estar situada, es decir al nivel del terreno. En la práctica, podría considerarse como el borde posterior de cada elemento luminoso y se utiliza como punto de referencia para la instalación real de cada elemento luminoso. Esta aproximación continúa siendo válida, puesto que todos los elementos luminosos que están nominalmente al nivel del terreno (es decir, los que no se hayan montado sobre pilares de ampliación) se montan a una distancia uniforme mínima por encima del nivel del terreno.

8.3.3 El anclaje definitivo para emplazamiento del elemento luminoso se compone de una dimensión estándar con ajustes, dentro de los límites de tolerancia descritos a continuación, en cuanto a:

- el desplazamiento;
- la distorsión; y
- la compensación topográfica.

#### Tolerancias

8.3.4 *Altura de los ojos sobre el umbral.* La magnitud estándar de 15 m puede modificarse, añadiéndose como máximo 1 m, o disminuyéndose como máximo 3 m, lo cual proporciona una gama admisible comprendida entre 12 m y 16 m. Cualquier modificación que se salga de estos límites debe someterse a la consideración de las autoridades competentes.

8.3.5 *Desplazamiento.* El desplazamiento y la altura de los ojos sobre el umbral son elementos directamente relacionados y cualquier modificación de uno de ellos influye directamente en el otro, en proporción a la relación de pendientes de aproximación.

*Nota.— En el caso de una pendiente de aproximación estándar de 3° (1:19) y de una altura de los ojos por encima del umbral de 15 m, la barra de ala está situada a 285 m del umbral. Una modificación de la altura de los ojos sobre el umbral comprendida entre 12 m y 16 m, influye en una modificación del emplazamiento de la barra de ala de 228 m a 304 m, lo cual corresponde a un desplazamiento máximo de 57 m hacia el umbral y de 19 m hacia afuera del umbral respectivamente.*

8.3.6 *Distorsión.* Puede modificarse la distancia longitudinal estándar entre la barra de ala y los elementos que forman los tramos de la configuración en "T", según lo indicado en 8.3.2 e), dentro de los límites máximos de tolerancia de  $\pm 10\%$ .

*Nota.— Esta tolerancia puede aplicarse a evitar las calles de rodaje, etc. Debe claramente entenderse que esta tolerancia del 10% es distinta de las variaciones de la distancia estándar que provienen de una compensación topográfica.*

8.3.7 *Compensación topográfica.* Aunque en el diseño para emplazamiento del T-VASIS, pueden aprovecharse todas o cualquier combinación de tolerancias aplicables a la altura de los ojos sobre el umbral, al desplazamiento o a la distorsión, también debe tenerse en cuenta para cada elemento luminoso el efecto de la compensación topográfica. Debe prestarse particular atención al emplazamiento de elementos luminosos cerca de las calles de rodaje o de pistas que se crucen, y en algunos casos debe también considerarse la posibilidad de emplazar para este fin los elementos luminosos sobre pilares de ampliación según se analiza en 8.3.16.

8.3.8 La línea longitudinal de los elementos luminosos de un tramo que son paralelos al eje de la pista debe emplazarse a una distancia de 30 m ( $\pm 3$  m) del borde de la pista. Se

definirá el borde de la pista como la distancia del eje de la pista equivalente a la mitad de la anchura nominal de la pista, excluyendo los márgenes.

8.3.9 Por consiguiente, en la etapa de diseño del proyecto, se aplicarán las siguientes tolerancias:

Magnitud: Altura de la pendiente de aproximación sobre el umbral  
Estándar: 15 m.  
Tolerancia admisible: +1 m, -3 m (altura sobre el umbral)

Magnitud: Espaciado de las unidades luminosas de un tramo  
Estándar: 45 m  
Tolerancia admisible:  $\pm 4.5$  m (distorsión)

Estándar: 90 m  
Tolerancia admisible:  $\pm 9$  m (distorsión)

Magnitud: Distancia de la línea longitudinal de los elementos luminosos respecto al borde de la pista  
Estándar: 30 m  
Tolerancia admisible:  $\pm 3$  m

#### Levantamiento topográfico

8.3.10 Antes de determinar el emplazamiento real de cada elemento luminoso del sistema, debe realizarse un levantamiento topográfico del área. El levantamiento debería abarcar un área alrededor de las posiciones previstas de las barras y de las dos líneas de los elementos de un tramo. También debe determinarse el nivel del eje de la pista en el umbral. Los niveles dentro de las áreas en las que estén emplazados los elementos luminosos deben obtenerse en puntos separados por 10 m, de forma que los niveles intermedios puedan calcularse con bastante precisión, en caso de que la posición de un elemento luminoso esté comprendida entre puntos en los que realmente se obtuvieron los niveles. Además del cálculo de los niveles, en el levantamiento topográfico debería incluirse el emplazamiento y las dimensiones de los pavimentos, obstáculos, conductos, drenaje, cañerías de drenaje, etc. que podrían obstaculizar el emplazamiento de los elementos luminosos. En la Figura 8-8 se indica el emplazamiento de los puntos que requieren ser objeto de levantamiento topográfico.

#### Franqueamiento de obstáculos

8.3.11 Puesto que la señal nocturna del T-VASIS puede ser visible a 15° aproximadamente, a ambos lados de la prolongación del eje de la pista (es decir, mucho más allá de la superficie de protección contra obstáculos), se recomienda que el ingeniero encargado del diseño de la instalación compruebe las interferencias topográficas probables que puedan esperarse en esta área no protegida y determine:

- a) la posibilidad de remover obstáculos;
- b) la necesidad de restringir el ángulo de azimut; y
- c) la necesidad de adoptar otras medidas apropiadas, incluidas las de iluminación de obstáculos.

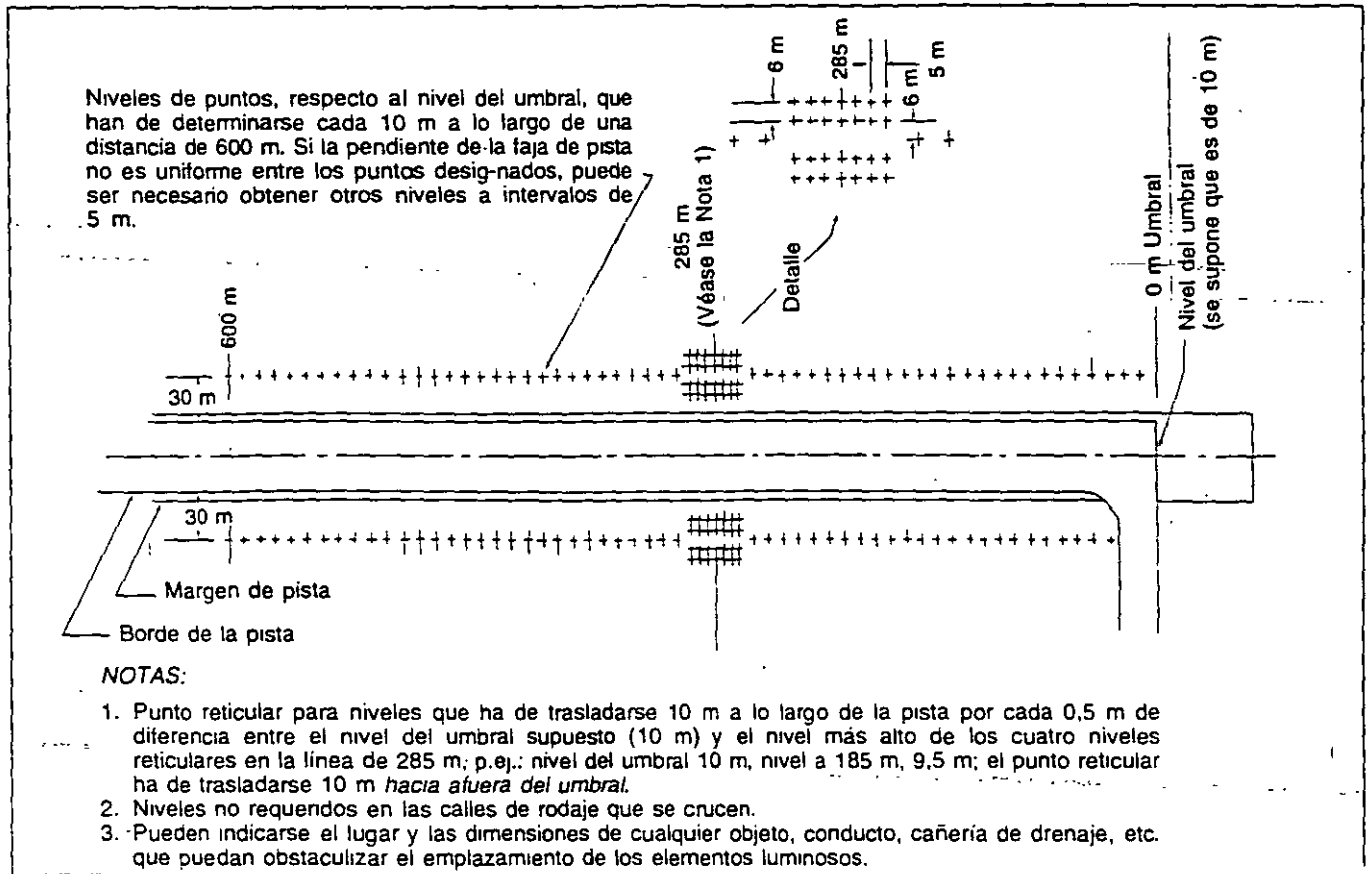


Figura 8-8. Levantamiento topográfico para el T-VASIS

### Diseño

8.3.12 En la Figura 8-9 se muestra un diseño de T-VASIS para una pendiente de aproximación estándar de  $3^\circ$  (1:19) y una altura estándar de los ojos sobre el umbral de 15 m. Cuando en el diseño se apliquen otros datos numéricos, ya sea dentro de los límites de tolerancia admisibles o fuera de estos límites, deben incorporarse, con aprobación de la autoridad competente, las variaciones adecuadas que correspondan.

8.3.13 Cuando se instale un T-VASIS o un AT-VASIS como complemento de un ILS (o MLS), se diseñará de forma que sea compatible con la trayectoria de planeo ILS (o MLS). Se ha demostrado que es satisfactoria para la mayoría de las aeronaves una altura de los ojos sobre el umbral que sea 1 m superior a la altura de la trayectoria de planeo ILS sobre el umbral. En el caso de aeronaves de gran tamaño en las que la distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena sea mucho mayor de 1 m en la actitud de aproximación, pueden armonizarse las pendientes de aproximación por instrumentos y la pendiente de aproximación del T-VASIS volando por referencia al T-VASIS "con la barra de ala y con una luz de indicador descendida" a título de señal en la pendiente.

8.3.14 Usando como referencia el nivel del umbral en el eje de la pista, se ha trazado un perfil de los niveles de la faja, a lo largo de la línea que forman los elementos luminosos, en el tramo anterior o en el tramo posterior, a 30 m del borde de pista.

*Nota 1.— Una escala exagerada en el sentido vertical ayuda a trazar los niveles y aumenta la precisión, cuando se determina el emplazamiento de los elementos luminosos.*

*Nota 2.— En esta etapa es importante que se indiquen los límites de las calles de rodaje, o de las pistas de cruce, y sus limitaciones en cuanto a franqueamiento, en vista de perfil, para señalar los lugares en los que no pueden emplazarse elementos luminosos.*

8.3.15 Se traza una línea, con una pendiente de 1 a 19, por un punto a la altura estándar sobre el umbral de 15 m que corta el perfil en el emplazamiento aproximado de la barra de ala. Utilizando los datos del levantamiento topográfico se trazan los perfiles longitudinales de cada elemento luminoso de barra de ala. La intersección de la línea de pendiente con el perfil más elevado de estos cuatro perfiles constituye el anclaje

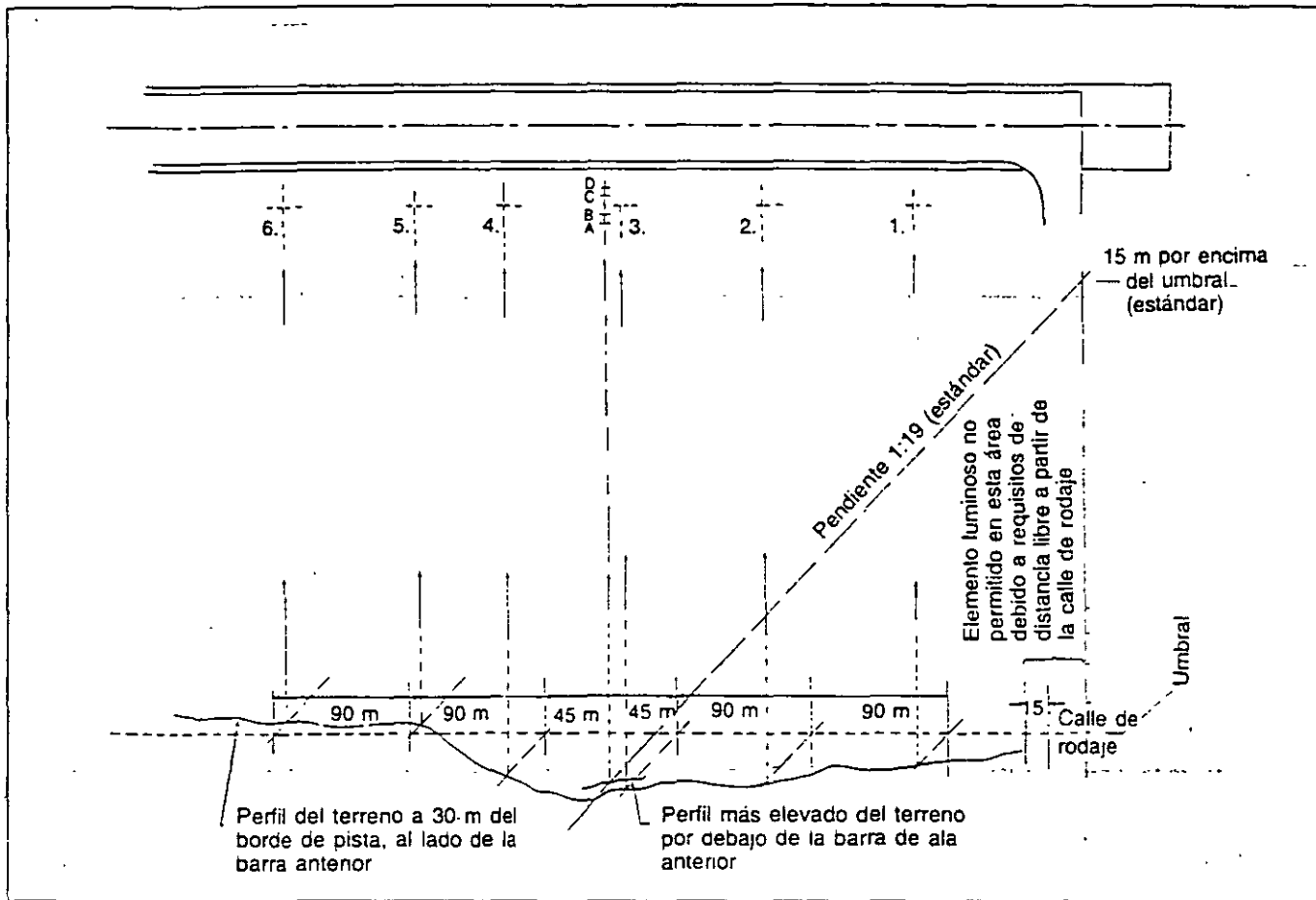


Figura 8-9. Diseño del T-VASIS para una pendiente de aproximación de 3° y una altura de los ojos sobre el umbral de 15 m

emplazamiento del elemento luminoso de barra de ala de referencia.

*Nota 1.— Cuando se aplique una pendiente de aproximación distinta a 1:19, se determinará la pendiente con una precisión que sea práctica para ser aplicada a este método gráfico, pero que no diferirá de la pendiente actualmente calculada en más de 0.1.*

*Nota 2.— En general hay una pendiente transversal hacia afuera de la pista, de forma que el elemento luminoso de la barra de ala más cercano a la pista debería ser el más elevado y, por consiguiente, constituiría el elemento luminoso de referencia para la barra de ala.*

8.3.16 Puesto que se requiere montar al mismo nivel los cuatro elementos luminosos de la barra de ala, y dentro de una tolerancia de  $\pm 25$  mm, será necesario montar los elementos luminosos restantes sobre pilares a menos que la diferencia de nivel sea pequeña o de que todos los emplazamientos estén al mismo nivel. La longitud de los pilares puede determinarse según las diferencias del nivel del terreno entre los emplazamientos de los elementos luminosos.

8.3.17 Se traza una línea horizontal en un lugar conveniente, es decir, justamente por encima del nivel del umbral y con un margen libre por encima del perfil del terreno. Empezando en el punto de intersección de esta línea con la línea de pendiente anteriormente trazada, se marcan los puntos a distancias de 45 m, 90 m y 90 m en ambos sentidos a lo largo de la línea horizontal. Desde estos puntos, se trazan líneas paralelas a la línea de pendiente anterior que corten al perfil del terreno. Estos nuevos puntos de intersección constituyen los puntos de anclaje para el emplazamiento de cada elemento luminoso de un tramo.

*Nota.— Cuando el intervalo estándar entre la barra de ala y las unidades luminosas del tramo adyacente se modifique para tener en cuenta la tolerancia de distorsión, la barra de ala se emplazará, siempre que sea posible, en el punto medio entre los elementos luminosos del tramo adyacente.*

8.3.18 Cuando este diseño lleve a emplazar un elemento luminoso a una distancia menor de 15 m de una pista o calle de rodaje que se cruce, se aplicarán las tolerancias de emplazamiento y de distorsión, o el uso de pilares según lo indicado en 8.3.22, para emplazar los elementos luminosos fuera del área restringida.

8.3.19 Si el diseño corresponde a un T-VASIS doble, se repite el mismo procedimiento para determinar los emplazamientos de todos los elementos luminosos al otro lado de la pista. Las líneas de pendiente utilizadas para determinar los anclajes de emplazamiento de los elementos luminosos serán comunes a ambos lados del sistema.

#### Margen libre desde el pavimento

8.3.20 Se proporcionará un margen mínimo libre de 15 m entre cualquier parte de un elemento luminoso del T-VASIS (con exclusión de la plancha de cimiento) y cualquier pavimento de pista o de calle de rodaje adyacentes.

*Nota.— Este margen libre de 15 m restringe hasta cierto punto el emplazamiento del sistema. Por ejemplo, no es posible que una calle de rodaje de 22,5 m de anchura pase por el espacio que queda entre la barra de ala y cualquiera de los elementos luminosos del tramo adyacente. Por otro lado, una pista de cruce puede normalmente pasar entre los elementos luminosos del tramo adyacente que no estén unidos a la barra de ala.*

8.3.21 Un elemento luminoso puede parecer que está más apartado del umbral que su posición real aumentando su elevación mediante pilares, siendo el cambio aparente de 19 unidades longitudinales por cada unidad de elevación, es decir, la pendiente de aproximación estándar 1:19. (La razón de este cambio aparente variará consecuentemente para otros ángulos de pendiente de aproximación.)

8.3.22 Pueden utilizarse pilares, cuando sea apropiado, para modificar el emplazamiento de los elementos luminosos a fin de mantener un margen libre respecto a los pavimentos cercanos. La altura máxima admisible de un pilar es de 0.6 m. Debería evitarse la utilización de pilares, siempre que esto sea posible, cuando los elementos luminosos estén situados en puntos en los que están expuestos al influjo directo de los chorros de reacción de las aeronaves. Cuando se utilicen pilares, la altura debe registrarse en el plano de emplazamiento del T-VASIS, y también permanentemente sobre una placa metálica, o mediante un método análogo, que esté fijo en la plancha de cimiento.

#### Verificación aritmética

8.3.23 Después de determinar gráficamente el anclaje de emplazamiento de los elementos luminosos, se recomienda efectuar una verificación aritmética del diseño para determinar si los emplazamientos de diseño son precisos y si el emplazamiento de los elementos luminosos es compatible a ambos lados de la pista. En la Figura 8-10 se presenta un formulario sugerido para ser utilizado en la verificación aritmética y en su registro.

8.3.24 En el formulario se utilizan los siguientes términos y expresiones:

a) *Distancia trazada (columna 2).* Este es el anclaje desde el umbral hasta el anclaje de emplazamiento del elemento luminoso, determinado gráficamente.

- b) *Diferencia de niveles (columna 3).* La diferencia entre el nivel del umbral y el nivel del suelo en el anclaje de emplazamiento del elemento luminoso, obtenida a partir de los datos del levantamiento topográfico. En el caso de la barra de ala, se utiliza el nivel del elemento luminoso más elevado. Cuando se utilizan pilares en los elementos luminosos del tramo, la altura de los pilares debe incluirse en este valor de diferencia de niveles.
- c) *Compensación topográfica (columna 4).* La distancia a la que un elemento luminoso se desplaza desde su posición estándar, debido a diferencias entre el nivel del umbral y el nivel del terreno en el elemento luminoso. Para un sistema de pendiente de aproximación estándar de 1:19 la compensación es igual a la diferencia de niveles (columna 3) multiplicada por 19. Para sistemas de pendiente distinta a 3° se determina el factor de multiplicación según lo indicado en la Nota 1 de 8.3.15.
- d) *Distancia estándar (columna 5).* La distancia desde el umbral hasta el anclaje de emplazamiento del elemento luminoso si la instalación estuviera en terreno horizontal. Cualquier desplazamiento o distorsión de la configuración debido a las calles de rodaje etc., ha de incorporarse a la distancia estándar para fines de verificación aritmética.
- e) *Distancia calculada (columna 6).* Esta es la suma de la distancia estándar (columna 5) y la compensación topográfica (columna 4).
- f) *Diferencia entre las columnas 2 y 6 (columna 7).* Esta es una comparación que representa la diferencia entre la distancia trazada y la distancia calculada desde el umbral hasta el anclaje de emplazamiento del elemento luminoso. Si la diferencia es inferior a 1.5 m, el diseño es aceptable; de lo contrario, debería volver a examinarse la configuración geográfica.

8.3.25 Dado que cada par de los elementos luminosos y de las barras de ala correspondientes en los lados de estribor y de babor debería aparecer al mismo nivel al ser vistos a lo largo de la pendiente de aproximación, deberían verificarse los siguientes puntos:

- a) *Variación de anclaje calculada (columna 8).* Esta es la diferencia de anclaje calculado del elemento luminoso de estribor respecto al correspondiente elemento luminoso a babor a partir de la columna 4.
- b) *Variación de anclaje trazado (columna 9).* Esta es la diferencia de anclaje trazado de un elemento luminoso de estribor respecto al correspondiente elemento luminoso a babor, a partir de la columna 2.
- c) *Diferencia entre las columnas 8 y 9 (columna 10).* Esta es la diferencia entre la variación de anclaje calculada y la variación de anclaje trazado. Si la diferencia es inferior a 1.5 m, el diseño es aceptable; de lo contrario debe volver a examinarse la configuración gráfica.

*Nota.— Al hacer esta verificación es esencial que estén armonía los signos utilizados en las columnas 7 y 9.*

Emplazamiento		Núm.							
Nivel del umbral									
Ángulo de pendiente de aproximación									
Altura del plano de aproximación sobre el umbral									
Distancia de la línea de elementos luminosos de un tramo desde el borde de la pista									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Elemento luminoso Núm.	Distancia trazada	Diferencia de niveles	Compensación topográfica (col. 3 x 19)	Distancia estándar	Distancia calculada (col. 5 + col. 4)	Diferencia (col. 2 & col. 6)	Anclaje calculado (col. 4 P-S)	Anclaje trazado (col. 2 P-S.)	Diferencia (col. 8 & col. 9)
1									
2									
3									
Barra de ala									
4									
5									
6									
7							Plano de levantamiento Núm.	Plano de emplazamiento Núm.	Hoja de trazado Núm.
8									
9									
Barra de ala									
10									
11									
12									

Observaciones:

Firma \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

Figura 8-10. Formulario para verificación aritmética del diseño del T-VASIS

8.3.26 Las instrucciones indicadas en 8.3.25 no se aplican al sistema AT-VASIS.

#### Plano de emplazamiento

8.3.27 Después de completados el diseño de emplazamiento y la verificación aritmética, debe prepararse un plano del emplazamiento de la instalación propuesta, en el que se indiquen todas las características del pavimento y otras características físicas tales como cañerías de drenaje, etc. en la zona, todos los anclajes de emplazamiento de elementos luminosos y las alturas de los pilares que correspondan.

#### Cálculo de los valores de la altura mínima de los ojos sobre el umbral (MEHT)

8.3.28 En el Anexo 14, Volumen I, párrafo 2.11 e) se especifica que la información sobre los valores MEHT del T-VASIS (AT-VASIS) se incluya en la publicación de información aeronáutica correspondiente. Esta será la altura más baja a la cual solamente sean visibles las barras de ala; sin embargo, pueden también notificarse otras alturas a las cuales las barras de ala, más uno, dos o tres elementos luminosos de indicación "descienda", puedan alcanzar a verse si tal información fuera beneficiosa para las aeronaves que realizan la aproximación. La MEHT para el T-VASIS (AT-VASIS) es la altura sobre el umbral de la parte superior de la señal blanca del primer elemento luminoso de indicación "ascienda" en el sistema (es decir, el que está más cerca de la barra de ala; véase el Anexo 14, Volumen I, Figura 5-12). Análogamente, la altura sobre el umbral de la parte superior de la señal blanca de la barra de ala representa la altura mínima a la que llegan a ser visibles las barras de ala, más un elemento luminoso de indicación descendida. Se utiliza el mismo procedimiento para calcular las alturas a las cuales llegan a ser visibles la barra de ala más dos o tres elementos luminosos de indicación descendida.

#### Altura de los ojos sobre el umbral

8.3.29 Tomando como base que la altura nominal de los ojos sobre el umbral es de 15 m, los pilotos pueden seleccionar en la tabla siguiente una indicación visual de trayectoria de aproximación que proporcione el margen de franqueamiento requerido de las ruedas sobre el umbral:

Luces visibles	Altura de los ojos sobre el umbral
Barra de ala solamente	de 13 a 17 m
Barra de ala y un elemento de indicación descendida	de 17 a 22 m
Barra de ala y dos elementos de indicación descendida	de 22 a 28 m
Barra de ala y tres elementos de indicación descendida	de 28 a 54 m

*Nota.— A alturas de los ojos del piloto de un valor aproximado por encima de 30 m, es decir un valor doble de la pendiente nominal de aproximación, las luces serán progresivamente invisibles, empezando por la barra de ala.*

### Elementos luminosos del T-VASIS (de tipo cuchilla)

#### Descripción de los elementos luminosos

8.3.30 En el T-VASIS se emplean tres tipos de elementos luminosos que son de la misma construcción básica y que únicamente varían en los detalles. Las tres variaciones son:

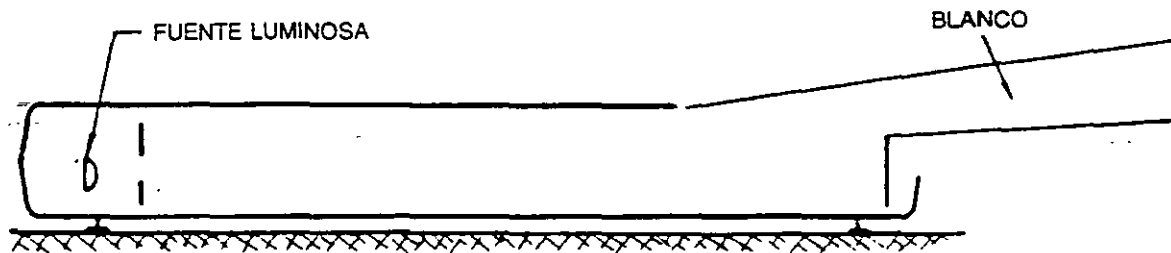
- El elemento luminoso de indicación descendida, que se muestra en la Figura 8-11A, está emplazado sobre el palo de la "T" invertida y lleva una cuchilla posterior de corte ajustada por encima del haz y una cuchilla anterior de corte por debajo del haz. Proporciona un haz que se extiende desde una elevación de 6° hasta aproximadamente la pendiente de aproximación, en donde se corta bruscamente. Su tapa de fibra de vidrio no se extiende hasta por delante del elemento luminoso.
- El elemento luminoso, que se muestra en la Figura 8-11B está emplazado en la barra horizontal de la "T". Se caracteriza por una cuchilla de corte posterior ajustada por encima del haz y un filtro rojo en la parte inferior del frente. Este elemento luminoso produce un haz desde el nivel del terreno hasta 6°, siendo rojo en la parte más baja hasta 1°54'. La tapa, lo mismo que en el elemento luminoso de indicación descendida, no cubre la parte frontal del elemento.
- El elemento luminoso de indicación ascienda, que se muestra en la Figura 8-11C está emplazado en el palo de la "T" recta y lleva una cuchilla posterior de corte por debajo del haz que, junto a una cuchilla frontal por encima del haz, proporciona un corte brusco en la parte superior del haz. Se forma un sector rojo de luz mediante el filtro rojo posterior ajustado por encima del haz y una cuchilla frontal ajustada por debajo del haz. Este elemento luminoso produce un haz desde aproximadamente la pendiente de aproximación hasta el nivel del terreno, siendo roja la parte más inferior por debajo de 1°54'. A diferencia de los otros tipos de elementos luminosos, se cubre totalmente el elemento luminoso de indicación ascienda.

8.3.31 Las cuchillas de cada conjunto de elementos luminosos tienen dos pequeños refuerzos adjuntos en cada extremo, encima de los cuales se fijan zapatas. La cuchilla está ensamblada de forma que la dimensión entre la superficie de trabajo de la cuchilla y la zapata se mantiene dentro de límites estrictos de tolerancia del diseño.

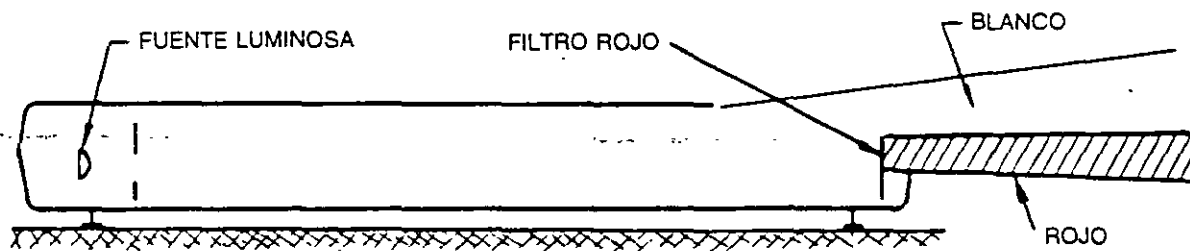
8.3.32 Utilizando la zapata en la cuchilla posterior y la zapata en la cuchilla frontal, se coloca en los postes un nivel especialmente diseñado y altamente sensible; se ajusta seguidamente el elemento luminoso hasta que las zapatas

\* MEHT es la altura mínima a la cual el piloto percibirá la indicación estar en la pendiente por encima del umbral.





A. Elemento luminoso de indicación "desciende"



B. Elemento luminoso de barra



C. Elemento luminoso de indicación "asciende"

Figura 8-11. Elementos luminosos del T-VASIS (tipo de cuchilla)

quedan a nivel, con lo que el elemento luminoso se ajusta al ángulo especificado.

#### Lámparas

8.3.33 La mayoría de los tipos de lámparas utilizados en la iluminación de aeródromo está diseñada para ser utilizada con equipo preciso de proyección que produce un haz controlado de luz de conformidad con las normas requeridas. A este respecto, las lámparas del T-VASIS no constituyen ninguna excepción. Debido a que se trata de un haz más bien estrecho, especialmente en el sentido de elevación, y a la intensidad relativamente elevada que se requiere del sistema, se ha comprobado que las lámparas PAR (bombillas construidas a base de dos piezas de vidrio moldeado, de un reflector y de las lentes que se fusionan conjuntamente) son las que se adaptan mejor a los requisitos.

8.3.34 Cada lámpara es ajustable en azimut y en elevación y dos grupos independientes de lámparas funcionan en circuitos independientes para operaciones de día y de noche respectivamente.

#### Ajuste final

8.3.35 El ajuste final del sistema implica la dirección de visada correcta de cada lámpara, junto con la nivelación transversal y una precisa nivelación longitudinal de cada elemento luminoso. Del cuidado con que se efectúen tales ajustes dependerá la precisión del sistema.

8.3.36 Mediante un nivel para ajustar primero un lado del elemento luminoso y seguidamente el otro, es posible ajustar la totalidad del sistema, de forma que los bordes de corte de los haces luminosos resultantes no difieran en más de 30 segundos de arco de los ángulos de elevación requeridos.

8.3.37 Una vez reglados de este modo todos los elementos luminosos, puede llevarse a cabo periódicamente una verificación de la nivelación de cada elemento. Esta verificación se efectúa inicialmente a intervalos relativamente cortos pero cuando se haya demostrado la estabilidad del sistema, el período entre verificaciones puede ampliarse a seis meses.

8.3.38 Para lograr una señal bien definida y el máximo alcance del sistema, es esencial que se utilice el sector más intenso del haz que proyecta la lámpara.

8.3.39 Esto puede conseguirse mediante un blanco u objetivo que se instala temporalmente delante del elemento luminoso, de forma que cada lámpara pueda tener la dirección de visada correcta mediante ajustes en azimut y en elevación.

8.3.40 A causa de las variaciones en la fabricación de las lámparas, es imprescindible que después de establecida la dirección de visada, se verifique para cada elemento luminoso a una distancia de unos 10 m. Mirando a través de la abertura efectiva constituida por las cuchillas superior e inferior, puede

verificarse la variación lineal de la intensidad y, en caso necesario, puede ser modificada por un ayudante del observador; puede verificarse que la señal se corta o se incorpora simultáneamente en toda la anchura, es decir, no debe dar la apariencia de que "resbala" por toda la abertura si el observador levanta o baja la vista. Además, cada lámpara debería ostentar el área máxima de destellos — es decir, la línea fina de luz debería ser continua y no de trazos.

8.3.41 La distribución de la intensidad de los elementos luminosos se conformará con lo indicado en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, Figura 2.19.

#### Elementos luminoso del T-VASIS (tipo de proyección)

8.3.42 En la Figura 8-12 se muestra otro método de proporcionar los haces luminosos requeridos en el sistema T-VASIS.

8.3.43 De modo similar a los elementos del VASIS de tipo proyección descritos en 8.2.23, los haces se forman iluminando un filtro y una placa de diafragma colocada en el plano focal de una lente de proyección. Además de sustituir la lámpara, también es posible sustituir cada elemento óptico, en el que están comprendidos todos los componentes ópticos asociados con cada lámpara. Se suministra un cierto número de elementos ópticos para operaciones diurnas y una menor cantidad para operaciones nocturnas.

8.3.44 Debido a los principios de fabricación empleados, cualquier modelo de elemento puede ser utilizado en todas las posiciones del T-VASIS, es decir como elemento de barra de ala, elemento de indicación ascienda y elemento de indicación descienda. La única diferencia existe en las placas de filtro y de diafragma y en el reglaje de elevación de los elementos ópticos. Por esta razón, solamente se indica un elemento en la Figura 8-12. Se seleccionó la presentación del haz de indicación ascienda, por ser el más crítico.

#### Lámparas

8.3.45 Las lámparas utilizadas en operaciones diurnas y en operaciones nocturnas son fuentes luminosas idénticas que se enfocan con precisión y están adaptadas a reflectores. La diferencia de cobertura de haz necesaria para operaciones diurnas y para operaciones nocturnas se obtiene utilizando lentes diferentes en los mismos elementos ópticos, según se trate del día o de la noche.

#### Ajuste final

8.3.46 El ajuste final consiste únicamente en nivelar en sentido transversal, y con precisión en sentido longitudinal, el conjunto óptico. Puesto que ya se ajustan en fábrica los ángulos del haz y por ser los elementos ópticos compactos y rígidos, sólo es necesario confirmar subsiguientemente dichos ángulos.

8.3.47 La verificación inicial, y las verificaciones de confirmación posteriores en tierra, se llevan a cabo con un dispositivo que tiene un nivel de precisión y un telescopio, en combinación con una mira de verificación ajustable. No son necesarias bases de hormigón para esta mira.

8.3.48 Normalmente se suministran elementos, con tres reglajes de intensidad para operaciones diurnas, y otros tres reglajes de intensidad para operaciones nocturnas. En algunos casos, se suministran elementos con cinco reglajes de intensidad.

### Verificación en vuelo

8.3.49 Al instalar las luces por primera vez debería efectuarse una verificación en vuelo, tanto de día como de noche, durante la cual debería comprobarse lo siguiente:

- a) La intensidad de las luces parece ser uniforme en todo el sistema.
- b) Las luces que constituyen la configuración aparecen esencialmente en un plano horizontal.
- c) Las luces correspondientes en lados opuestos de la pista aparecen simultáneamente y, cuando corresponde cambiar de color, lo hacen simultáneamente.
- d) El sistema indica la pendiente correcta de aproximación y se muestran los ángulos correctos de corte.
- e) Los elementos luminosos de indicación descendida y de indicación ascendida de la "T" aparecen a intervalos uniformes, a medida que cambia la pendiente de aproximación.

f) Las barras y los elementos luminosos de indicación ascendida de la "T" cambian de color a un ángulo correcto.

g) La distancia desde la cual puede volarse con ayuda del sistema es aceptable.

h) El ángulo de azimut, medido respecto a la prolongación del eje de la pista, dentro del cual el sistema es visible en su totalidad, es satisfactorio, tanto en condiciones diurnas como en condiciones nocturnas.

i) La progresión de las etapas de reglaje de intensidad es aceptable.

j) La intensidad del sistema armoniza con la de las luces de pista cuando ambas se seleccionan con el mismo reglaje.

k) El franqueamiento de obstáculos con el sistema en la posición de "rojo solamente" es adecuado.

Si los ángulos efectivos indicados en d), f) y k) se miden durante la verificación diurna, no sería necesario volver a medirlos de noche, ya que sería suficiente una evaluación subjetiva.

8.3.50 Debería verificarse en ensayos ordinarios en vuelo si ocurre lo siguiente:

- a) Se indica la pendiente correcta de aproximación.
- b) La sensibilidad de la señal "en la pendiente" es aceptable. Si el primer elemento luminoso de indicación ascendida y el primer elemento luminoso de indicación descendida se reglan a ángulos divergentes, no se obtendrá suficiente sensibilidad.

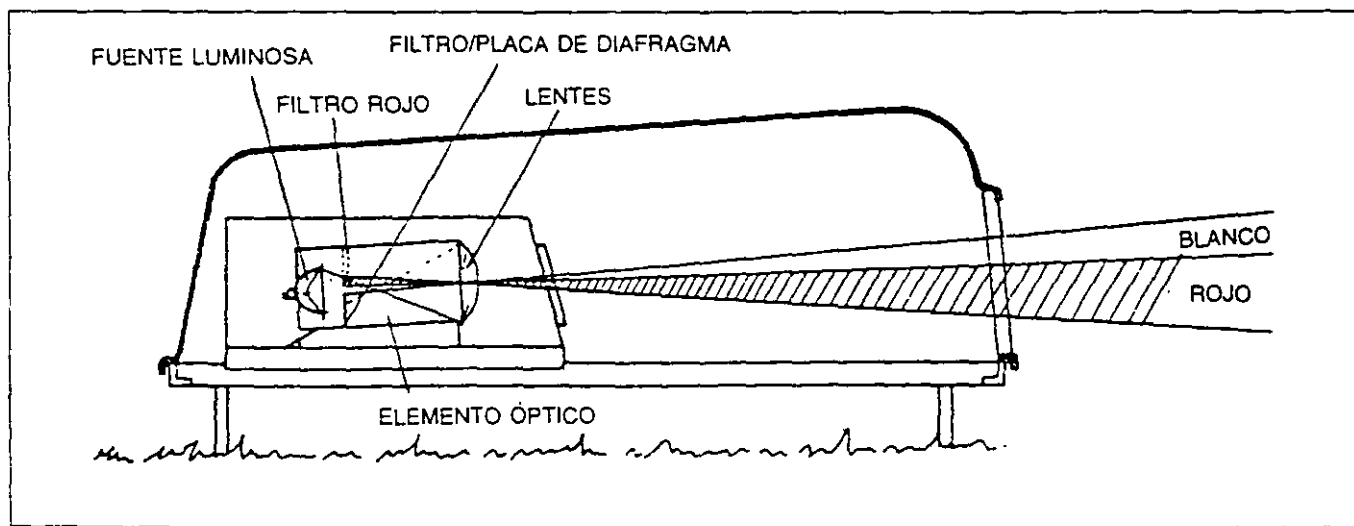


Figura 8-12. Elemento de indicación ascendida del T-VASIS — Sistema óptico característico (tipo de proyección)

- c) La señal roja en los elementos luminosos de barra de ala, y en los elementos luminosos de indicación ascienda, es satisfactoria.
- d) El cambio de una "T" completa de indicación ascienda a una "T" completa de indicación descienda ocurre en progresión continua y las luces a cada lado de la pista funcionan simultáneamente.
- e) La intensidad de las luces es uniforme.

## 8.4 PAPI

### Disposición y ángulos de reglaje de elevación

8.4.1 La disposición de los elementos luminosos del PAPI y del APAPI y la correspondiente configuración luminosa se indican en las Figuras 8-13 y 8-14 respectivamente, junto con los ángulos estándar de reglaje diferencial. El ángulo nominal de aproximación se indica como  $\theta$ , el ángulo de referencia MEHT\* como M (véase 8.4.2.2), y la superficie de protección contra obstáculos como OPS (véanse 8.4.30 a 8.4.32).

8.4.2 El borde interior del elemento del PAPI más cercano a la pista debería estar a 15 m ( $\pm 1$  m) del borde de la pista. Ninguno de los elementos debería estar a una distancia inferior a 14 m de cualquier calle de rodaje, plataforma o pista. En el caso del APAPI, el borde interior del elemento más cercano a la pista debería estar a una distancia de 10 m ( $\pm 1$  m) del borde de la pista. Ninguno de los elementos debería estar a una distancia inferior a 9 m de cualquier calle de rodaje, plataforma o pista.

8.4.3 El espaciado entre los elementos del PAPI (véase la Figura 8-13) será normalmente de 9 m ( $\pm 1$  m); excepto que puede utilizarse un espaciado no inferior a 6 m entre los elementos, cuando no haya suficiente anchura de faja de pista para dar cabida a los cuatro elementos con un espaciado de 9 m. En tal caso, el elemento más interior del PAPI debería emplazarse a una distancia no inferior a 10 m ( $\pm 1$  m) del borde de la pista. El espaciado entre los elementos del APAPI (véase la Figura 8-14) será de 6 m ( $\pm 1$  m).

8.4.4 El sistema debe estar emplazado al lado izquierdo de la pista, a no ser que esto sea imposible. Si se instalara el sistema al lado derecho, el elemento situado a mayor altura sería el más cercano a la pista y el más bajo sería el más alejado de la pista. Una combinación de una serie de elementos a la izquierda, y de una serie de elementos a la derecha, proporciona la configuración simétrica indicada en la Figura 8-15, que puede proporcionarse cuando la pista es utilizada por aeronaves que requieren guía externa de balanceo, lo cual no se proporcione por otros medios (véase la nota que sigue a 5.3.6.52 y 5.3.6.53 del Anexo 14, Volumen I).

8.4.5 El sistema PAPI consistirá en una barra de ala de cuatro elementos emplazados a lo largo de una línea perpendicular a la pista. El elemento más cercano a la pista se regla a un ángulo superior al ángulo requerido de aproximación, disminuyéndose progresivamente el reglaje de los elementos situados más hacia afuera. La diferencia normal entre los ángulos de reglaje es de 20 minutos de arco. Este valor puede modificarse cuando el PAPI se utiliza conjuntamente con un ILS o MLS (véase 8.4.23) siempre que los ángulos de pendiente de aproximación sean superiores a  $4^\circ$  (véanse 8.4.37 y 8.4.38).

8.4.6 El sistema APAPI consistirá en una barra de ala de dos elementos situados en una línea perpendicular a la pista. Para ángulos de aproximación hasta de  $7^\circ$ , el elemento más cercano a la pista se regla a un ángulo  $15'$  superior al ángulo requerido de aproximación y el elemento más alejado de la pista se regla a  $15'$  por debajo del ángulo requerido de aproximación. Para ángulos de aproximación superiores a  $7^\circ$ , el elemento más cercano a la pista se regla a un ángulo  $30'$  superior al requerido de aproximación y el elemento más alejado de la pista se regla a  $30'$  por debajo del ángulo requerido de aproximación.

### Características de los elementos del PAPI y del APAPI

#### Tipo de señal

8.4.7 En los sistemas PAPI y APAPI se utilizan elementos que producen una señal luminosa, cuya parte inferior es roja y cuya parte superior es blanca. La Figura 8-16 muestra el principio óptico de estos elementos.

#### Especificaciones del equipo

8.4.8 La transición entre las señales roja y blanca debería aparecer como prácticamente instantánea, al observarse a distancias superiores a 300 m. En las especificaciones del equipo para los sistemas PAPI y APAPI deberían, por lo tanto, definirse no solamente el diagrama general de isocandelas y las coordenadas de los colores de la señal en los sectores rojo y blanco, sino también las características de transición brusca.

8.4.9 Los elementos, que han demostrado ofrecer una transición brusca satisfactoria tienen una zona de transición no superior a 3 minutos de arco en profundidad,  $8^\circ$  horizontalmente, a ambos lados del eje del haz, que se amplían a un valor no superior a 5 minutos en los bordes, hasta  $15^\circ$  horizontalmente a ambos lados del eje del haz.

#### Ángulos de reglaje

8.4.10 En el proceso de fabricación, el centro del plano de transición se alinea exactamente con el eje horizontal

\* MEHT es la altura mínima a la cual el piloto percibirá la indicación estar en la pendiente por encima del umbral.

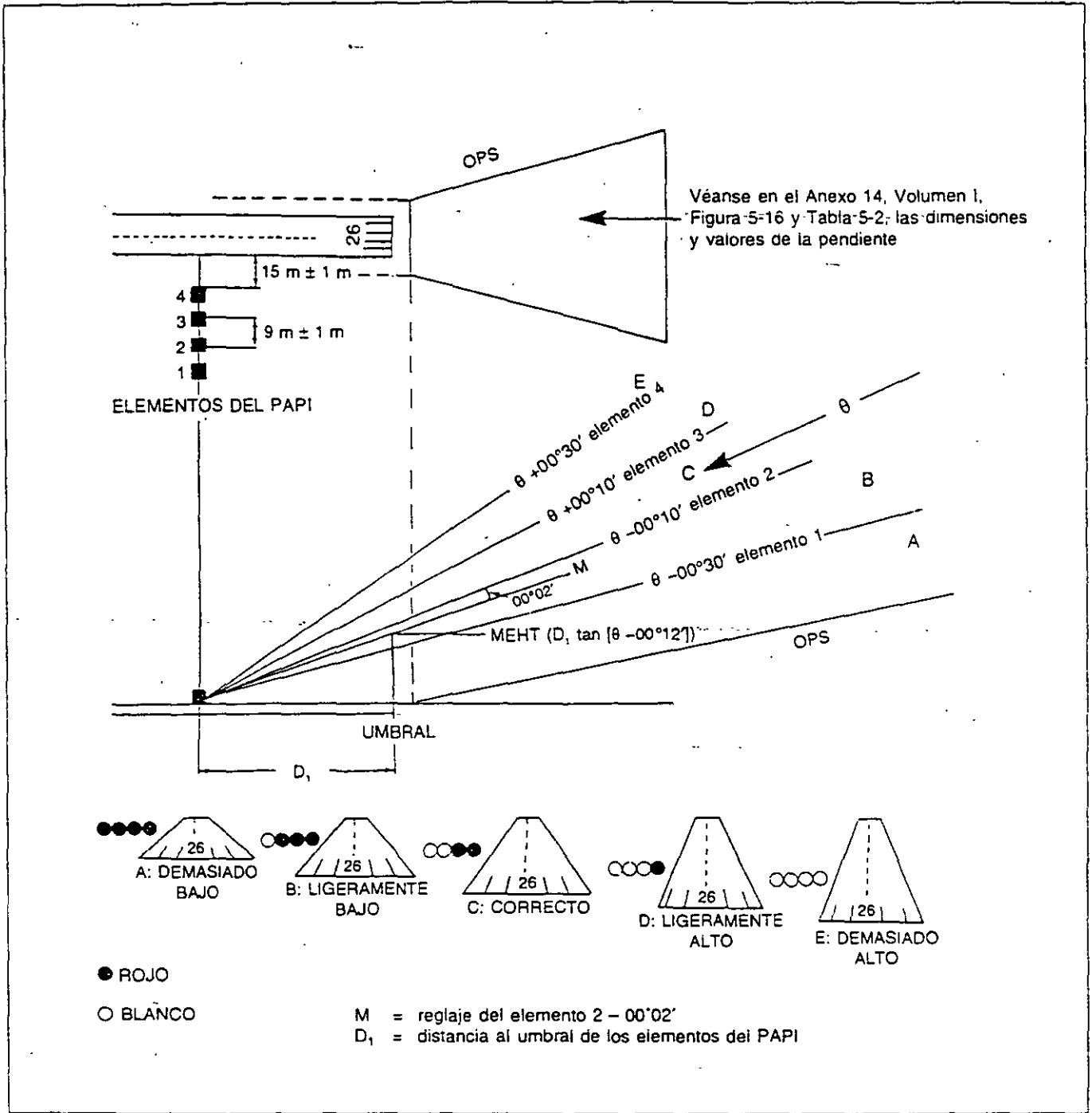


Figura 8-13. Disposición de los elementos del PAPI y visualización correspondiente

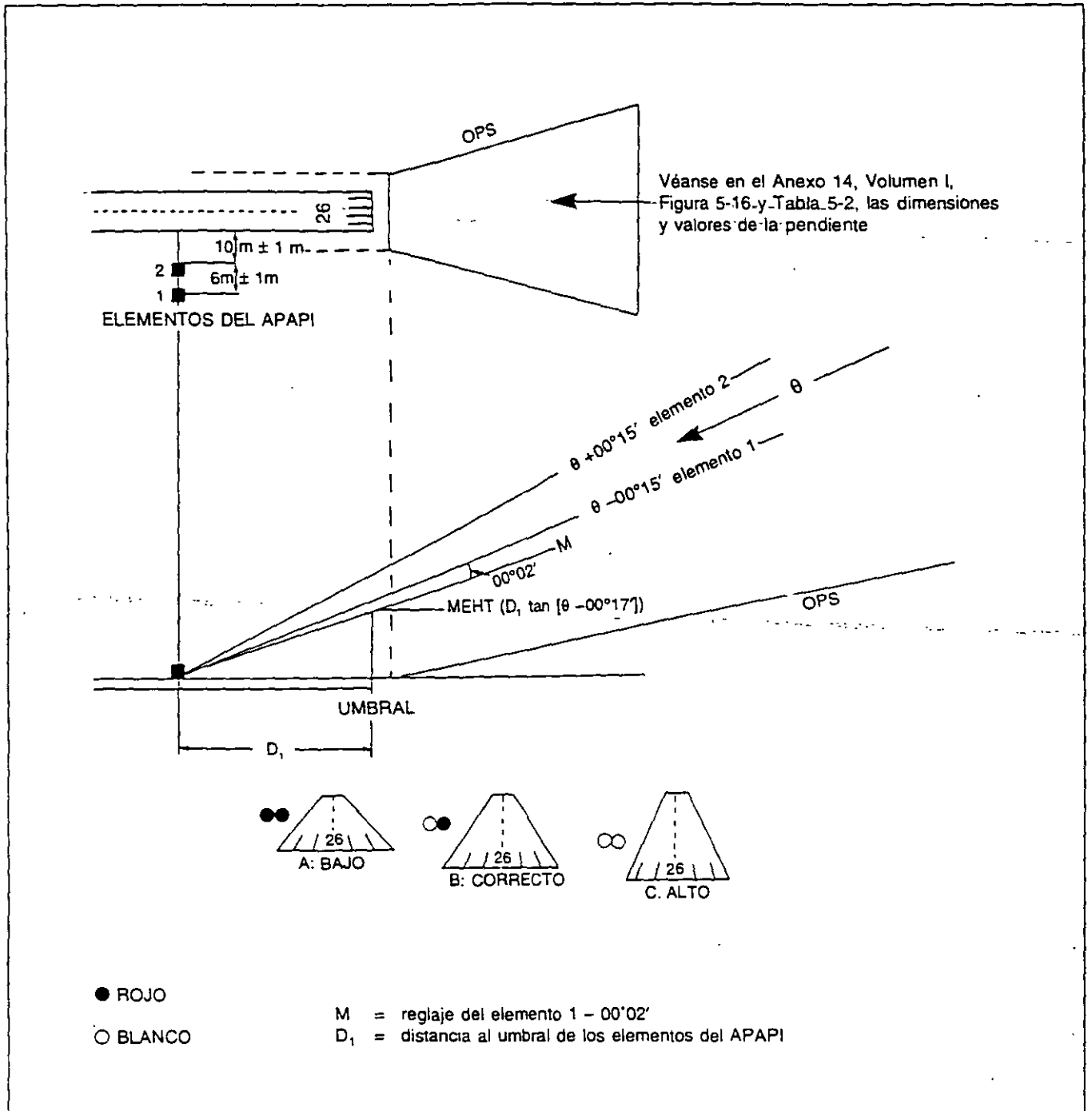


Figura 8-14. Disposición de los elementos del APAPI y visualización correspondiente

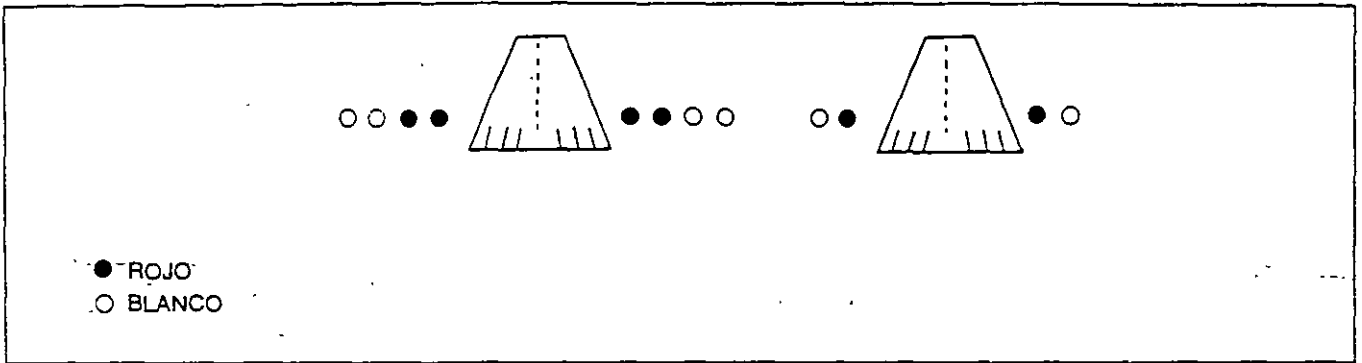


Figura 8-15. Elementos del PAPI y del APAPI a ambos lados de la pista

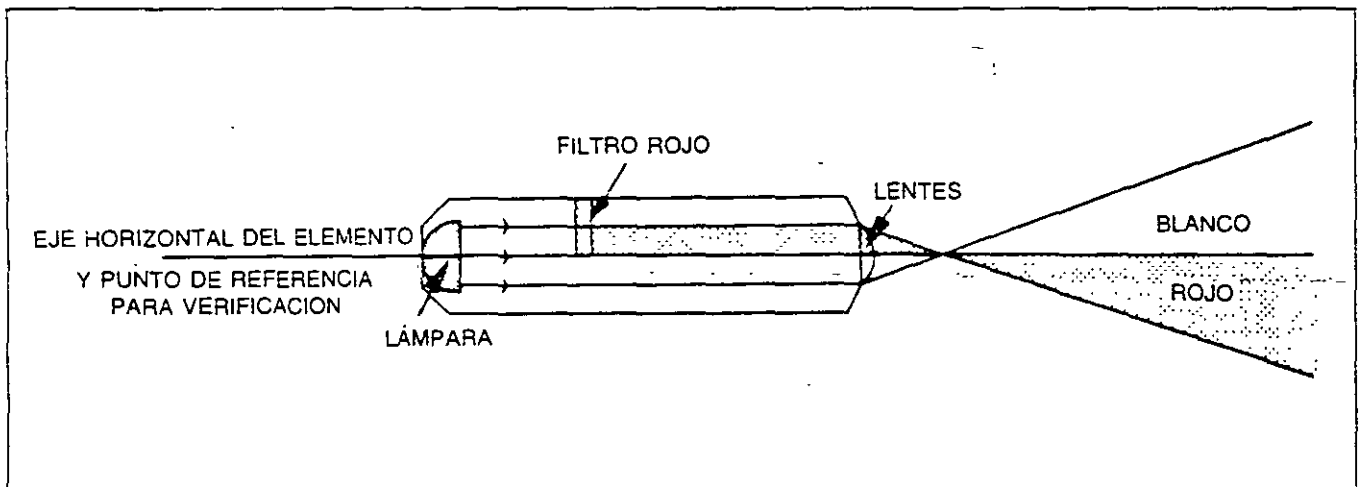


Figura 8-16. Elemento del PAPI

del elemento, que es la referencia para el ángulo de reglaje (Figura 8-16). El ángulo de reglaje del elemento y la elevación del haz son por lo tanto idénticos y pueden reglarse o verificarse utilizando un clinómetro o un instrumento equivalente de medición angular.

**Brillo**

8.4.11 En el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, Figura 2-20, se indica la distribución de la intensidad de los elementos luminosos del PAPI y del APAPI para una anchura de 8° horizontalmente y de 5° verticalmente, a ambos lados del eje del haz. En este diagrama se indica solamente la parte central del haz. Los elementos luminosos que normalmente se utilizan en los sistemas PAPI y APAPI tienen aproximadamente abertura horizontal de 30° (es decir, 15° a cada lado del eje del haz) y una abertura proporcional en sentido vertical. Pueden ser necesarios hasta cinco reglajes de brillo en la gama de 100 a 1% en función de la potencia de los elementos, de las condiciones de funcionamiento y del medio ambiente del aeródromo.

**Frangibilidad y resistencia al chorro de los reactores**

8.4.12 Los elementos deberían fijarse a sus bases mediante enlaces débiles, de forma que si una aeronave chocara con un elemento se lo llevaría por delante.

8.4.13 Los elementos son menos susceptibles a daños procedentes del chorro de los reactores que los elementos del VASIS.

**Resistencia a materias extrañas**

8.4.14 Los elementos están diseñados para resistir a la absorción de materias extrañas.

**Condensación y hielo**

8.4.15 Quizá sean necesarios elementos de calefacción de baja potencia (50-150W) para impedir la condensación y la formación de hielo en las lentes de los elementos luminosos.

El funcionamiento de los elementos luminosos a un reglaje de potencia inferior (20 vatios por lámpara), cuando no está en servicio el elemento, ha demostrado ser un método satisfactorio de prevención. En los elementos que no tienen ningún medio para mantener templadas las lentes, se requiere que durante un breve período se calienten las lámparas hasta la plena intensidad antes de ser utilizados a fin de dispersar la condensación o derretir el hielo de las lentes.

#### *Inspección inicial en vuelo*

8.4.16 Las autoridades competentes deberían llevar a cabo una inspección en vuelo de cualquier nueva instalación, para comprobar que el sistema funciona correctamente. En la inspección debería incluirse la verificación del alcance, de los ángulos de reglaje, del control del brillo y de la compatibilidad con la trayectoria de planeo ILS o con la trayectoria mínima de planeo MLS (si se proporcionara).

#### *Inspección ordinaria*

8.4.17 El reglaje inicial lo efectuará un agente del fabricante, u otras personas pero ajustándose estrictamente a las instrucciones del fabricante. Seguidamente, las autoridades competentes deberían determinar un intervalo razonable entre verificaciones en tierra. Será necesario que las verificaciones en tierra de los elementos sean más frecuentes cuando el terreno sea menos estable o cuando haya cambios bruscos de las condiciones meteorológicas que puedan llevar a movimientos de las bases. En circunstancias normales una verificación mensual de los ángulos de reglaje sería suficiente.

#### *Método de verificación*

8.4.18 Cada uno de los ángulos de reglaje de los elementos se verifica mediante un clinómetro, u otro instrumento equivalente de medición angular, de conformidad con las instrucciones del fabricante. Deben corregirse los errores que excedan de 1 minuto de arco. Pueden utilizarse miras topográficas de verificación o comparaciones visuales entre los elementos reglados al mismo ángulo, para verificar si alguno de los elementos está desalineado entre el sistema óptico y la placa de referencia. Antes de ajustar los ángulos de reglaje, debe investigarse la causa de cualquier desalineación de este tipo y debe seguidamente corregirse.

#### *Condición general*

8.4.19 Debería realizarse una verificación diaria de cada elemento para asegurarse de que:

- a) todas las lámparas están encendidas e iluminadas uniformemente;
- b) no se ven daños evidentes;
- c) el cambio de rojo a blanco coincide en todos los elementos de un grupo; y
- d) las lentes no están sucias.

#### *Distancia al umbral*

8.4.20 La distancia óptima entre el PAPI/APAPI y el umbral de la pista se determina por:

- a) el requisito de proporcionar un margen de franqueamiento adecuado de las ruedas sobre el umbral, para todos los tipos de aeronaves que aterricen en dicha pista;
- b) la conveniencia operacional de que el PAPI/APAPI sea compatible con cualquier trayectoria de planeo no visual hasta las mínimas distancia y altura posibles; y
- c) cualquier diferencia de elevación entre los elementos del PAPI/APAPI y el umbral de la pista.

8.4.21 Puede ser necesario modificar la distancia óptima de los elementos del PAPI/APAPI después de analizar lo siguiente:

- a) la longitud restante de pista disponible para detener la aeronave; y
- b) el franqueamiento de obstáculos.

#### *Franqueamiento de las ruedas y altura mínima de los ojos sobre las ruedas en la pendiente*

8.4.22 En el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Tabla 5-1, se indican los márgenes de franqueamiento de las ruedas sobre el umbral, para el PAPI y el APAPI; en el caso de cuatro grupos de aeronaves según la altura de los ojos del piloto sobre las ruedas. El margen de franqueamiento de las ruedas sobre el umbral está relacionado con la aeronave más crítica de aquellas que utilizan regularmente la pista. De ser posible deberían utilizarse los márgenes de franqueamiento de las ruedas deseados que figuran en la columna 2 de la tabla. El emplazamiento definitivo de los elementos se determina mediante la relación entre el ángulo de aproximación, la diferencia de niveles entre el umbral y los elementos y la altura mínima de los ojos por encima del umbral (MEHT). El ángulo  $M$  utilizado para establecer la MEHT es igual al ángulo de reglaje del elemento menos 2 minutos de arco, lo cual determina el límite inferior de la indicación en la pendiente (es decir, del elemento Núm. 2 para el PAPI y del elemento Núm. 1 para el APAPI.)

#### *Armonización del PAPI/APAPI con el ILS o con el MLS*

8.4.23 Es conveniente para las operaciones que el sistema PAPI/APAPI esté emplazado de forma que la señal en la pendiente coincida con la trayectoria de planeo ILS o con la trayectoria mínima de planeo del MLS hasta el alcance mínimo de utilización del sistema. Las variables que necesario tener en cuenta se indican en 8.4.24 y 8.4.25.



*Fluctuaciones del ángulo de trayectoria de planeo del ILS*

8.4.24 Para un ángulo nominal de trayectoria de planeo  $\emptyset$ , el Anexo 10, Volumen I, especifica una tolerancia de  $\pm 0.075$  para el ILS de Categorías I o II, y de  $\pm 0.040$  para el ILS de Categoría III, considerando que los sistemas pueden utilizarse dentro de estos límites. Por consiguiente, para una trayectoria de planeo de  $3^\circ$ , las tolerancias son de  $\pm 13.5$  minutos para el ILS de Categorías I y II y de  $\pm 7.2$  minutos para el ILS de Categoría III. El reglaje diferencial del PAPI proporciona una pendiente de planeo de  $\pm 10$  minutos, que puede llevar a variaciones del ángulo nominal de trayectoria de planeo ILS. Cuando se comprueba que la trayectoria de planeo ILS difiere continuamente de su reglaje nominal en 5 minutos de arco o más, debería reglarse el PAPI respecto al ángulo de trayectoria de planeo ILS establecido y no respecto al ángulo nominal.

*Distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena*

8.4.25 Los valores de la distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena, para aviones en actitud de aproximación, se incluyen en el Apéndice 6 que se ha basado en datos proporcionados por fabricantes de aeronaves. Según la posición del sistema PAPI, respecto al origen efectivo de la trayectoria de planeo ILS/MLS, el valor de la distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena, para un tipo determinado de aeronave, influirá en la amplitud de armonización que teóricamente pueda lograrse. Puede mejorarse la armonización ensanchando el sector de estar en el rumbo del PAPI, desde el valor de 20 minutos al valor de 30 minutos de arco.

*Corrección del emplazamiento del PAPI/APAPI en función de la pista y de otras pendientes*

8.4.26 Cuando haya una diferencia de más de 0.3 m entre la elevación del umbral de la pista y la elevación del elemento Núm. 2 del PAPI o del elemento Núm. 1 del APAPI a la distancia nominal del umbral, será necesario desplazar el PAPI/APAPI respecto a su posición nominal. Esta distancia se aumentará si el emplazamiento propuesto está a una altura más baja que el umbral y se disminuirá si está a una altura superior. El desplazamiento requerido se obtiene multiplicando la diferencia de niveles por la cotangente del ángulo  $M$  de las Figuras 8-13 y 8-14.

8.4.27 La altura de los elementos del PAPI sobre el suelo debe ser la mínima posible y normalmente no exceder de 0.9 m. Teóricamente todos los elementos de un ala de barra deben estar situados en el mismo plano horizontal, sin embargo para compensar las pendientes transversales sin dejar de satisfacer los criterios respecto a la altura máxima y para evitar las diferencias de nivel de más 5 cm entre elementos adyacentes, puede aceptarse una pendiente lateral no superior a 1.25%, a condición de que sea uniforme a lo largo de los elementos.

8.4.28 Las dimensiones y pendientes de las superficies OPS se determinan según lo indicado en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Tabla 5-2, y se analizan las superficies (Figuras 8-13 y 8-14) para confirmar que ningún obstáculo sobresale de ellas. Si hubiera obstáculos que sobresalen de la OPS y un estudio aeronáutico indicara que tal irregularidad influiría en la seguridad de las operaciones de los aviones, deben adoptarse una o más de las medidas indicadas en 8.4.31.

*Distancia de aterrizaje disponible*

8.4.29 El recorrido de aterrizaje puede estar limitado, especialmente en aeródromos más pequeños, y puede ser más aceptable una disminución del margen de franqueamiento de las ruedas sobre el umbral que una pérdida de la distancia de aterrizaje. En tales casos pueden utilizarse los valores mínimos de franqueamiento de las ruedas, indicados en la columna 3 de la Tabla 5-1 del Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, si un estudio aeronáutico indicara que son aceptables tales márgenes reducidos de franqueamiento.

*Consideraciones relativas a los obstáculos*

8.4.30 En el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Figura 5-16 y Tabla 5-2, se indican las características de las superficies de protección contra obstáculos (OPS) del PAPI y del APAPI. Puesto que la configuración de estas superficies se ha obtenido en general a lo largo de las líneas que determinan la superficie de aproximación a la pista, los datos recopilados durante el levantamiento topográfico de los obstáculos correspondientes a esta última superficie, serán útiles para determinar si hay o no obstáculos que sobresalen por encima de la OPS.

8.4.31 Cuando un estudio aeronáutico indique que algún obstáculo sobresaliente por encima de la OPS podría influir en la seguridad de las operaciones de los aviones, deberán adoptarse una o más de las siguientes medidas:

- a) elevar convenientemente la pendiente de aproximación del sistema;
- b) disminuir la anchura en azimut del sistema, de forma que el obstáculo se salga de los confines del haz;
- c) desplazar el eje del sistema, y la correspondiente superficie OPS, en un ángulo que no sea superior a  $5^\circ$ ;
- d) desplazar convenientemente el umbral; o
- e) cuando no sea posible aplicar la medida indicada en b), desplazar convenientemente del umbral la parte en contra del viento del sistema para proporcionar un aumento de la altura de cruce sobre el umbral que sea igual a la magnitud por la cual el objeto sobresale de la OPS.

8.4.32 Cuando un objeto, situado fuera de los límites de la superficie de protección contra obstáculos del sistema, pero

dentro de los límites laterales de su haz luminoso. sobresalga por encima del plano de la superficie de protección contra obstáculos y un estudio aeronáutico indique que dicho objeto podría influir adversamente en la seguridad de las operaciones de los aviones, debería restringirse la anchura en azimut del haz luminoso, de forma que el objeto quede fuera de los confines del haz luminoso.

*Procedimiento para determinar la distancia entre la barra de ala del PAPI/APAPI y el umbral de la pista*

8.4.33 Una vez determinados el ángulo de aproximación requerido (normalmente de 3°) y los ángulos apropiados de reglaje de los elementos (ordinariamente 2°30', 2°50', 3°10' y 3°30') para un sistema PAPI de 3° y 2°45' y 3°15' para un sistema APAPI, se aplican los parámetros mencionados en 8.4.20, según lo indicado a continuación.

8.4.34 En pistas sin instalaciones ILS/MLS se consulta en primer lugar el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Tabla 5-1, para determinar el grupo de aviones según la distancia vertical entre los ojos del piloto y las ruedas y el margen de franqueamiento de las ruedas sobre el umbral que ha de proporcionarse. Se establece la MEHT, que proporciona el margen de franqueamiento adecuado de las ruedas sobre el umbral, añadiendo la distancia vertical entre los ojos y las ruedas en la configuración de aproximación de la aeronave más crítica entre aquellas que utilizan regularmente la pista al margen requerido de franqueamiento de las ruedas sobre el umbral (véase 8.4.22).

8.4.35 Se efectúa el cálculo de la posición nominal del PAPI/APAPI suponiéndose que los elementos del PAPI/APAPI están al mismo nivel que el eje de la pista adyacente, y que este nivel, a su vez, es el mismo que el del umbral de la pista. La distancia nominal entre el PAPI/APAPI y el umbral se obtiene multiplicando la MEHT requerida por la cotangente del ángulo M, Figuras 8-13 y 8-14 respectivamente.

8.4.36 Si se dispone de ILS o de MLS (véase 8.4.23), el PAPI debe estar emplazado en el origen efectivo de la trayectoria de planeo ILS, o de la trayectoria de planeo mínima MLS, o más adelante, a una distancia que depende del promedio de distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena correspondiente a las aeronaves que utilizan regularmente la pista. La distancia por delante del origen de la trayectoria de planeo ILS, o de la trayectoria mínima de planeo MLS, debería ser igual al producto del promedio de distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena de los aviones que utilizan regularmente la pista y la cotangente del ángulo de aproximación. La distancia resultante al umbral de la pista no

debería ser inferior a la que proporciona el margen mínimo de franqueamiento de las ruedas sobre el umbral indicado en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Tabla 5-1, columna 3. Se incluyen otras orientaciones sobre este asunto en el Ejemplo A.

*Variaciones de los reglajes diferenciales del PAPI/APAPI en función de mayores ángulos de aproximación*

8.4.37 Para ángulos más pronunciados de aproximación que pueden tener lugar en algunas operaciones, es necesario aplicar reglajes diferenciales de mayor anchura para facilitar la adquisición de la pendiente de aproximación y las condiciones de maniobrabilidad en vuelo.

8.4.38 Se ha demostrado que son satisfactorios los siguientes reglajes diferenciales:

Ángulo de aproximación	Ángulo de reglaje diferencial	
	PAPI	APAPI
de 2° a 4°	00°20'	00°30'
de 4° a 7°	00°30'	00°30'
más de 7°	01°00'	01°00'

*Ensayos de los elementos del PAPI/APAPI (método del Reino Unido)*

8.4.39 Cuando se comparan dos elementos desde una distancia por lo menos de 2 km, con un elemento reglado ½ grado de la zona de transición, como señal roja de referencia, la transición observada del otro elemento desde el rojo al blanco no debería ser superior a 3 minutos de arco en profundidad, 8° horizontalmente, a cada lado del eje del haz, que aumentan a un régimen no superior a 5 minutos en el borde, hasta 15° horizontalmente a ambos lados del eje del haz.

8.4.40 Mediante la configuración de instalación de ensayo indicada en la Figura 8-17, el arco suspendido entre los ángulos a los cuales puede medirse en el laboratorio el color de las señales blanca y roja a una corta distancia desde el centro del haz no debería exceder de 15 minutos de arco. Además, el ángulo entre las señal blanca y la señal roja que está dentro del área roja ampliada (indicado en la Figura 8-18) no debería exceder de 3 minutos de arco. En una zona de transición de ½ grado a ambos lados, las coordenadas de color de la señal emitida deberían conformarse con lo indicado en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 1, párrafo 2, y la señal emitida a ángulos mayores no debería diferir de lo anterior notablemente. El elemento objeto de ensayo debería funcionar a los valores nominales de corriente para la lámpara y debería enfocarse para operaciones normales.

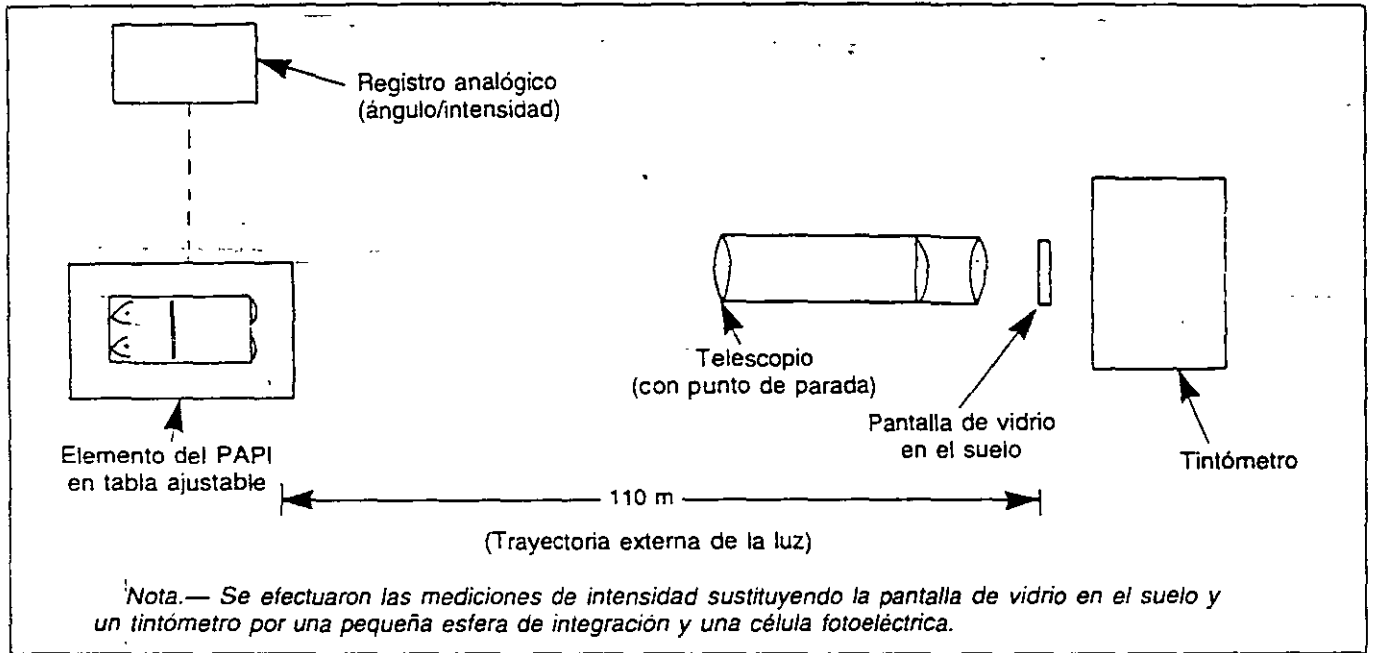


Figura 8-17. Configuración del laboratorio de ensayo

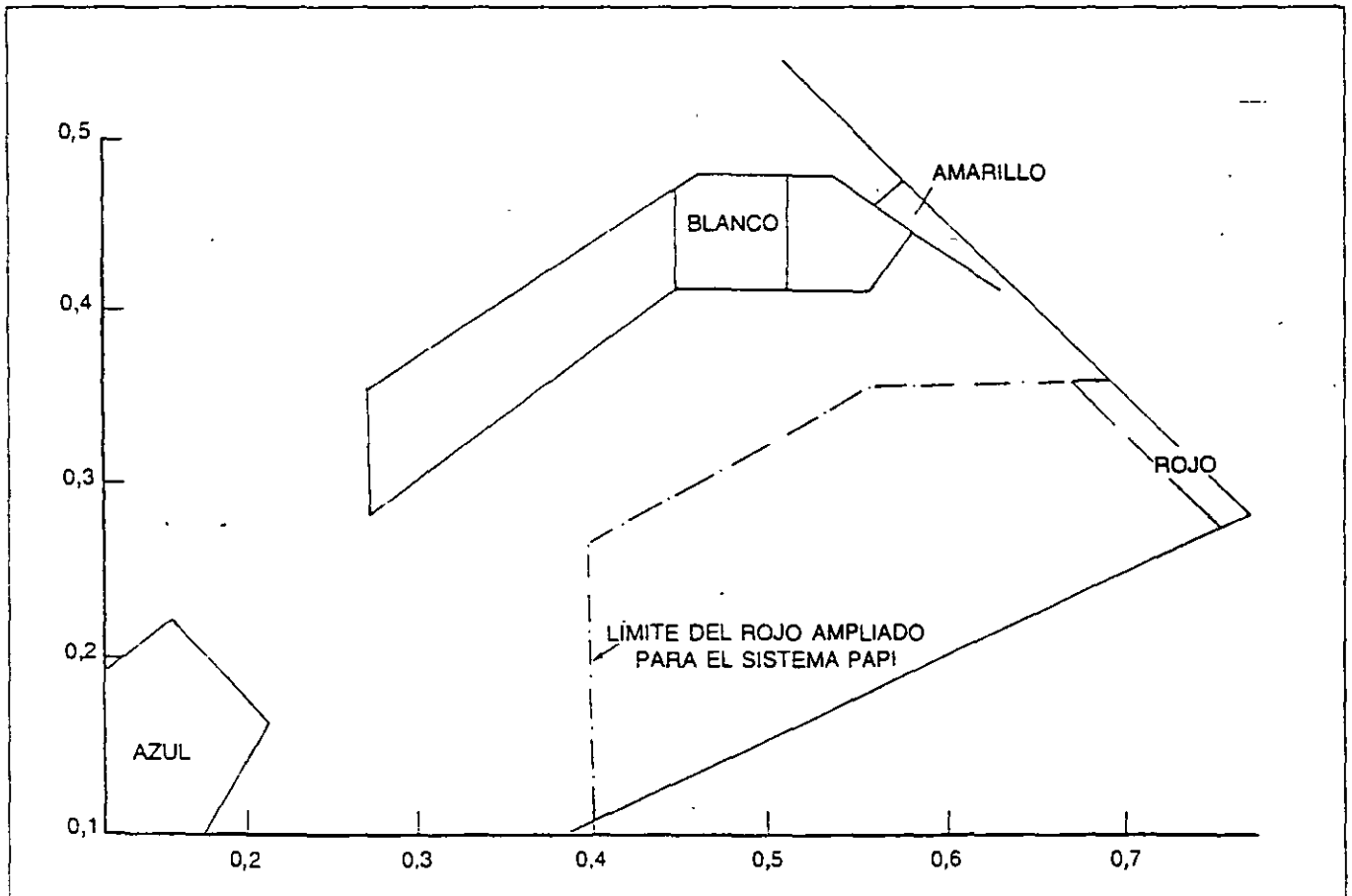


Figura 8-18. Límites prácticos propuestos para el rojo del PAPI

## Ejemplo A. Cálculo de emplazamiento del PAVAPAPI en pistas con ILS

## 1. Referencia ILS y altura MEHT

Los datos de emplazamiento e instalación del ILS proporcionarán la altura de la trayectoria de planeo ILS sobre el umbral de la pista (altura de referencia ILS). En este ejemplo se supone que la altura de referencia ILS es de 15 m para una trayectoria de planeo de 3°.

- Origen efectivo de la trayectoria de planeo ILS suponiendo una pista horizontal:  $15 \times \cot 3^\circ = 286$  m desde el umbral
- Promedio de distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena para aeronaves que utilizan el aeródromo, en este caso B737 a A300: 1,7 m
- Emplazamiento nominal del PAPI para una distancia vertical entre los ojos del piloto y la antena de 1,7 m:  $(15 + 1,7) \cot 3^\circ = 318,6$  m
- MEHT:  $318,6 \times \tan 2^\circ 43' = 15,1$  m

*Nota.— Para lograr una mejor armonización con el ILS, se utiliza un sector en el rumbo de 30° que proporciona un reglaje de 2°45' para el elemento 2. M tiene, por consiguiente, 2' menos de arco, es decir 2°43' (véase la Figura 8-13).*

## 2. Verificación del margen de franqueamiento de las ruedas

- Distancia entre la trayectoria de los ojos y la trayectoria de la parte inferior de las ruedas

B737	5,18 m
A300	9 m

- Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, Tabla 5-1

	Margen vertical deseado de las ruedas	Margen vertical mínimo de las ruedas
B737	6 m	3 m
A300	9 m	6 m

- Con una MEHT de 15 m, margen de franqueamiento de las ruedas para el B737; es decir, un margen de franqueamiento mejor que el deseado:  $15 - 5,18 = 9,82$  m

margen de franqueamiento de las ruedas para el A300; es decir, margen mínimo de franqueamiento de las ruedas que en este caso es aceptable a juicio de las autoridades locales:  $15 - 9 = 6$  m; por consiguiente, se utiliza una MEHT de 15 m.

*Nota.— Si fuera necesario aplicar una MEHT superior a 18 m, para obtener el margen deseado de franqueamiento de las ruedas del A300, se perdería aún más la armonización del PAPI con el ILS en la aproximación de aeronaves con distancias verticales menores entre los ojos del piloto y la antena. En este caso, el encargado del emplazamiento del PAPI ha de decidir si la prudencia es mantener la armonización*

*de las ayudas o proporcionar el margen de franqueamiento deseado de las ruedas.*

## 3. Colocación nominal correcta del PAPI en función de variaciones de la altura del terreno [datos del levantamiento topográfico (véase la Figura 8-19)]

Altura del terreno a 318,6 m: 63,79 m  
 Altura del terreno en el umbral: 60,65 m  
 Diferencia: -3,14 m

El PAPI ha de moverse hacia el umbral:  
 $3,14 \times \cot 2^\circ 43' = 66,33$  m

Posición corregida del PAPI:  
 $318,6 - 66,33 = 252,27$  m

Nueva verificación de altura sobre el terreno  
 Altura del terreno a 318,6 m: 63,79 m  
 Altura del terreno a 252,27 m: 63,08 m  
 Diferencia: +0,71 m

Mover el PAPI hacia afuera del umbral:  
 $0,71 \times \cot 2^\circ 43' = 14,96$  m

Nueva posición del PAPI:  
 $252,27 + 14,96 = 267,23$  m

Nueva verificación de altura del terreno  
 Altura del terreno a 267,23 m: 63,31 m  
 Altura del terreno a 252,27 m: 63,08 m  
 Diferencia: 0,23 m

La diferencia es inferior a 0,3 m; por lo tanto, no es necesaria ninguna otra corrección de la posición.

## 4. Corrección de la posición del PAPI en función de la altura de la lente

Supóngase que la altura del eje de la lente por encima del nivel del terreno es de 0,3 m. Mover el PAPI hacia el umbral:  
 $0,3 \times \cot 2^\circ 43' = 6,32$  m

Posición final del PAPI:  
 $267,23 - 6,32 = 260,91$  m, es decir, 261 m

## 5. Verificar de nuevo la MEHT para ver si se han cometido grandes errores (véase la Figura 8-20)

MEHT:  $261 \times \tan 2^\circ 43' + (63,21 - 60,65) + 0,3$   
 $= 12,37 + 2,56 + 0,3$   
 $= 15,23$  m

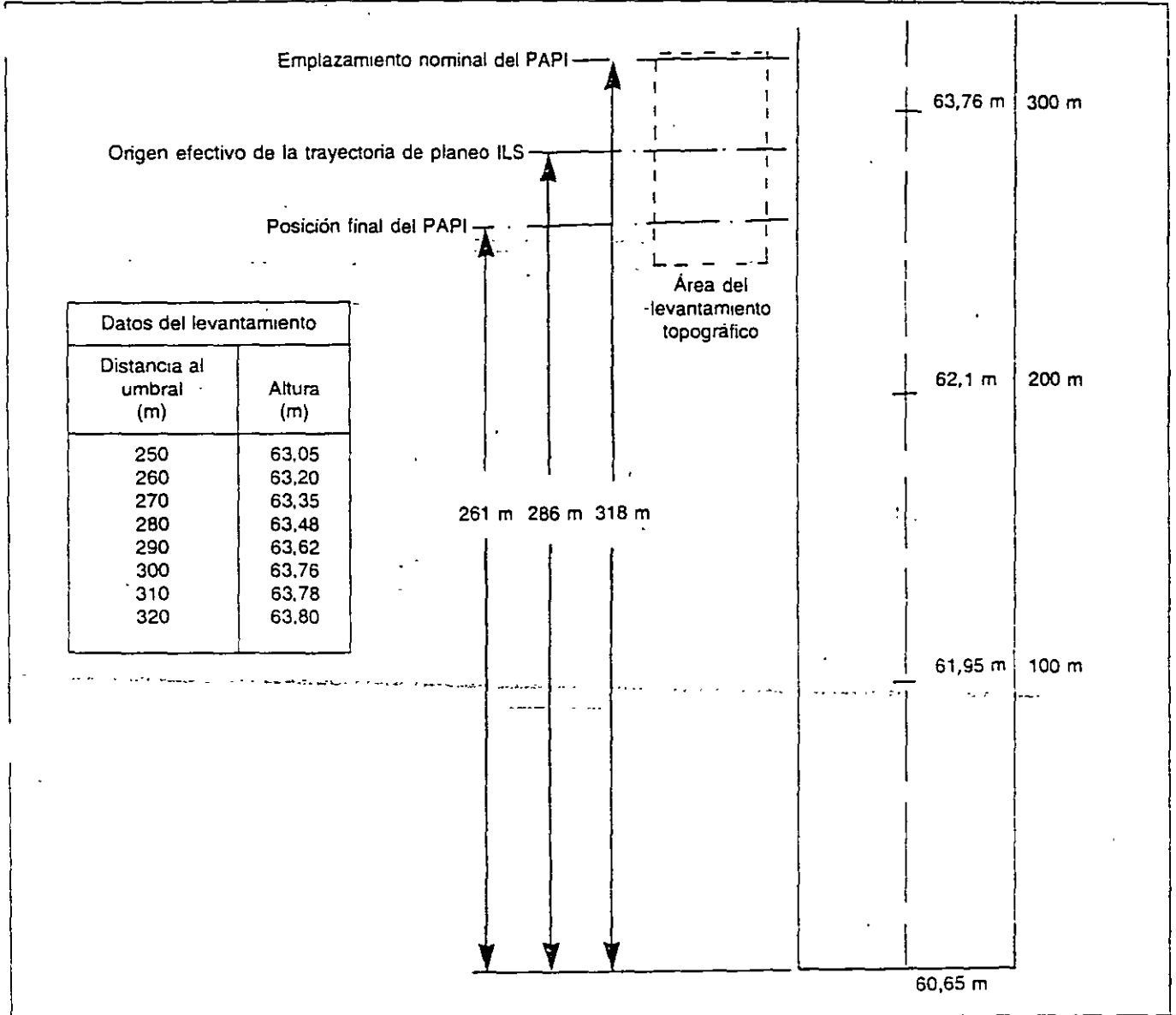


Figura 8-19. Datos de levantamiento topográfico

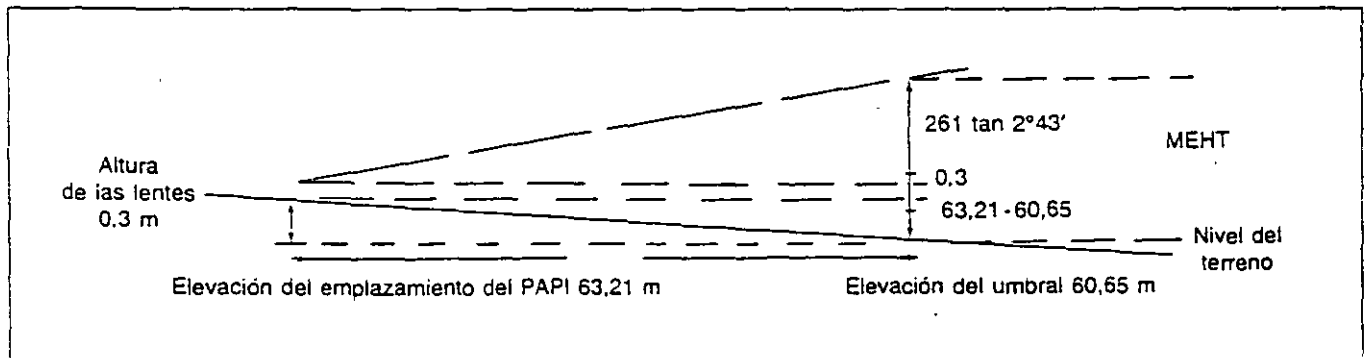


Figura 8-20. Nueva verificación de la MEHT

## Capítulo 9. ILUMINACIÓN DE PISTAS Y DE CALLES DE RODAJE

### 9.1 LUCES EMPOTRADAS

#### Generalidades

9.1.1 Es conveniente que la pieza de ajuste de las luces empotradas sobresalga lo menos posible de la superficie circundante, en consonancia con las características fotométricas requeridas, y tenga un volumen de masa mínimo por encima de dicha superficie, en consonancia con un declive suave en todas las direcciones. Dicha pieza debería ser capaz de resistir al peso y a la presión máximos de los neumáticos del tipo más pesado de aeronave previsto. Debe también prestarse atención a la velocidad que las aeronaves alcanzarían en esa parte del área de movimiento, en la que se proporcionen luces empotradas; el resalte admisible de una pieza de ajuste de luces adecuada para señalar el eje de una calle de rodaje (a excepción de las de salida a gran velocidad) tendría que ser superior al que podría tolerarse en el caso de luces de pista empotradas.

#### Instalación

9.1.2 La instalación de luces de zona de toma de contacto del tipo de empotrado superficial y de luces de eje de pista, se efectúa perforando en el pavimento un agujero cuya profundidad sea ligeramente superior a la de la pieza de ajuste. Se echa una cantidad suficiente de material de sellado en el agujero así preparado y se instala la pieza con los ángulos adecuados de alineación y de elevación mediante una plantilla de conexión o un sujetador.

9.1.3 En el pavimento existente se proporcionan ranuras o cortes de sierra, de 3 cm de profundidad aproximadamente, y de una anchura mínima de 0.60 cm, los cuales conectan un número determinado de agujeros para las luces y que se extienden hasta el borde de la pista. Se insertan hilos de pequeño diámetro en las ranuras y éstas se llenan de material de sellado.

9.1.4 Las luces de zona de toma de contacto y las luces de eje de pista, del tipo de empotrado profundo, se instalan como parte de la construcción del pavimento. Durante la primera fase de pavimentado se deja abierto un agujero de dimensiones apropiadas para facilitar la instalación subsiguiente de tres bases de inserción para una barreta. Se coloca un tubo aislante rígido debajo del pavimento, desde el borde de la pista y se conecta con las bases de empotrado. Las tres bases de empotrado se mantienen al ángulo apropiado de elevación y de alineación mediante una plantilla. La parte

abierta se llena más tarde con pavimento de hormigón. Se hace pasar el cable por los conductos hacia las bases; se establecen las conexiones con los transformadores de aislamiento y las piezas de ajuste de tapa amovible, en las que está incluida la lámpara, se atornillan a la base de empotrado para completar la instalación.

9.1.5 Se dispone también de procedimientos para instalar receptáculos profundamente empotrados en el pavimento de hormigón existente. La ventaja de instalar receptáculos y conductos profundos es que la tarea de mantenimiento de las luces es más barata y mucho más rápida. En los aeropuertos de elevada densidad de tránsito tiene gran importancia la posibilidad de hacer reparaciones rápidas.

#### Medición de la temperatura de las luces empotradas

9.1.6 En los párrafos que siguen se proporcionan textos de orientación sobre los métodos de evaluar en servicio y en laboratorio la temperatura de las luces empotradas.

#### *Influjo de las luces empotradas en los neumáticos*

9.1.7 Respecto a la preocupación manifestada de que el calor producido por las luces empotradas pueda dañar los neumáticos en servicio, se han llevado a cabo en algunos Estados ensayos para medir la temperatura de las luces empotradas y el influjo que ésta tiene en los neumáticos que están en contacto con las luces o cerca de las luces. Los resultados han indicado que cuando los neumáticos están en contacto con una luz empotrada, a temperaturas de hasta 160°C durante un corto periodo de tiempo (es decir, unos 10 minutos) no se producen daños importantes en el neumático. La energía radiante del haz luminoso procedente de luces empotradas puede también dar lugar a altas temperaturas de los neumáticos, pero tampoco en este caso ha podido observarse hasta la fecha que se causen daños importantes a los neumáticos.

9.1.8 Una razón de que el calor proveniente de las luces empotradas no constituya un problema es que la alta temperatura de la parte superior de la luz empotrada está muy localizada, es decir, habitualmente en el centro de la parte superior de la luz empotrada. En general existe una gran diferencia de temperaturas entre el centro y el borde de una luz empotrada y pudiera ser que la energía total de la luz empotrada absorbida por el neumático sea relativamente pequeña.

*rencia entre los ensayos sobre el terreno  
s efectuados en el laboratorio*

9.1.9 En varios Estados se han realizado estudios sobre el terreno para investigar estos efectos. Además, se han realizado estudios de laboratorio en los que se realizaron ensayos en cámaras de calor libres de corrientes de aire. Es importante señalar que las temperaturas medidas en el laboratorio son considerablemente superiores a las que se observan sobre el terreno. Esto es un hecho bien conocido ya que las corrientes de aire ejercen un importante influjo de enfriamiento en el objeto que se esté investigando.

*Límites recomendados de temperatura*

9.1.10 Basándose en los conocimientos actuales, se requiere estipular, para los dos conjuntos de condiciones en los cuales han de efectuarse las mediciones, sobre el terreno y en el laboratorio, las cifras que correspondan a cada caso. Las mediciones efectuadas en el laboratorio son de carácter repetitivo, mientras que las mediciones sobre el terreno están sujetas a cierta variabilidad. En vista de los limitados conocimientos respecto a los efectos de los neumáticos en las superficies de la pista, en las luces empotradas, etc., de muy altas temperaturas ambientales combinadas con la fuerte radiación solar, se sugiere que tal vez sea necesario formular recomendaciones para cada una de dichas condiciones y posiblemente adoptar algunas medidas de protección en las peraciones.

*Condiciones sobre el terreno*

9.1.11 En el caso de ensayos realizados respecto a luces empotradas, la temperatura en el punto de contacto entre el

neumático de la aeronave y la luz empotrada no debería exceder de 160°C por un período de 10 minutos de exposición, ya sea por convección o por radiación de calor. La luz empotrada debe funcionar a plena intensidad durante un tiempo suficiente antes de la medición, para que la luz pueda llegar a una temperatura que se aproxime a la de equilibrio térmico. Dicho período de tiempo sería probablemente de por lo menos dos horas. La medición debería efectuarse utilizando una pila termoeléctrica colocada entre la superficie del neumático y la parte de la luz empotrada que más se calienta. En algunos diseños de luces empotradas, la temperatura de la superficie del neumático puede alcanzar un máximo valor debido a la energía radiante del haz luminoso y, por lo tanto, deberían efectuarse una serie de mediciones para averiguar cuál es la posición más crítica.

*Método de mediciones en el laboratorio*

9.1.12 Para ensayos en condiciones de laboratorio se sugiere que la temperatura, en el punto de contacto entre la luz empotrada y el neumático, no sea superior a 160°C durante un período de 10 minutos de exposición, ya sea por convección o por radiación. Estos ensayos deben realizarse en una cámara de calor con corrientes de aire, cuando la temperatura del aire ambiente sea de 30°C. Antes de efectuar las mediciones, la luz empotrada debería funcionar a plena intensidad, durante un tiempo suficiente para que la luz alcance una temperatura que se aproxime al equilibrio térmico. Este tiempo sería probablemente por lo menos de dos horas.

9.1.13 Para estos ensayos la luz empotrada debería colocarse en una caja de las dimensiones mínimas indicadas en la Figura 9-1. La caja podría ser:

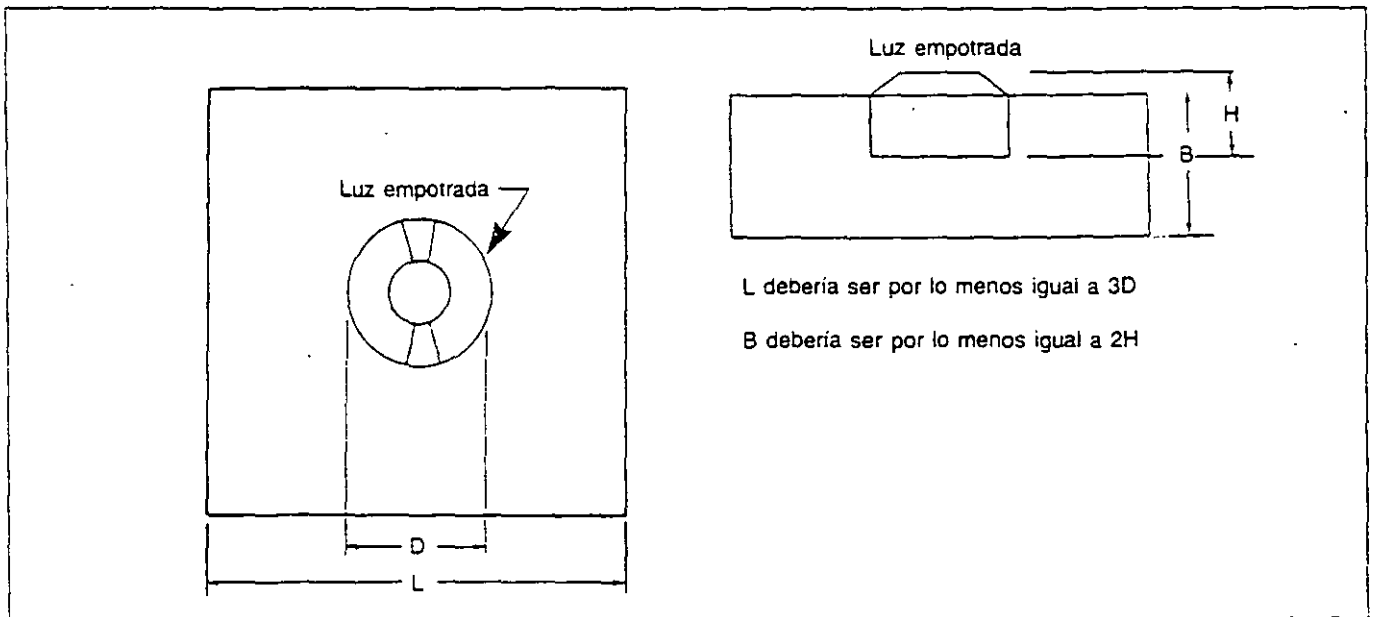


Figura 9-1. Recipiente utilizado comúnmente para la medición de la temperatura de luces empotrada

- a) de hormigón, con la luz empotrada unida al hormigón en la forma recomendada por el fabricante; o bien
- b) llena de arena.

Debe señalarse que la caja llena de arena dará lugar a condiciones más onerosas para el ensayo debido a la baja conductividad térmica de la arena.

9.1.14 En la mayoría de los casos, la medición debería efectuarse cuando el neumático se encuentre directamente sobre la luz empotrada y la pila termoelectrica se encuentre entre el neumático y la parte más caliente de la luz empotrada. Sin embargo, para algunos diseños de luces empotradas la temperatura en la superficie del neumático puede alcanzar un valor máximo debido a la energía radiante del haz luminoso y, por lo tanto, deberían efectuarse una serie de mediciones para comprobar cuál es la posición crítica. El neumático debería tener una carga suficiente, de modo que durante el ensayo el contacto entre el neumático y la luz empotrada represente adecuadamente las condiciones de servicio.

## 9.2 LUCES DE BORDE DE CALLE DE RODAJE — EFECTO DENOMINADO "MAR AZUL"

9.2.1 En muchos aeropuertos, la concentración de luces de borde de calle de rodaje en el área de operaciones da frecuentemente lugar a una masa confusa de luces azules que comúnmente se denomina "mar azul". En la mayoría de los aeropuertos más antiguos se han añadido o ampliado las calles de rodaje pero, al mismo tiempo siguen en servicio todas las antiguas. Es bastante común encender todas estas luces de calle de rodaje al mismo tiempo por lo que aumenta la confusión.

9.2.2 Este problema puede reducirse considerablemente, por los siguientes métodos:

- a) conmutación selectiva;
- b) uso de luces de eje; o
- c) uso de apantallamiento de las lámparas.

9.2.3 La conmutación selectiva es un proceso por el cual solamente se encienden las luces de borde de la calle de rodaje que se esté utilizando. Este método requiere más control y equipo de conmutación y su eficacia dependería de la configuración de las calles de rodaje en cada aeropuerto.

9.2.4 El uso de luces de eje de color verde en lugar de las luces de borde, en tramos rectos de las calles de rodaje, también mitigaría el problema. Sin embargo, este método tiene el inconveniente de que las luces de eje empotradas son más caras que las luces de borde. Además, en los tramos curvos de las calles de rodaje se instalan normalmente luces de borde además de las luces de eje.

9.2.5 El uso de luces de borde azules apantalladas puede ser el método menos costoso para aliviar este problema. Un método de apantallamiento consiste en utilizar pantallas que se ajustan mecánicamente a la parte exterior de las lentes o el uso de reflectores que se ajustan e instalan dentro de las lentes. En estos dos últimos métodos se tiene la ventaja de que las pantallas pueden ajustarse para adaptarse a cualquier emplazamiento.

## 9.3 LUCES DE CALLE DE SALIDA

9.3.1 Las especificaciones del Anexo 14, Volumen I, aplicables a las luces de eje de pista y a las luces de calle de rodaje se han enmendado con objeto de incluir tolerancias laterales de 60 cm y de 30 cm respectivamente. Esto se ha hecho con la idea de resolver ciertas dificultades al instalar las luces a lo largo del eje, debido a la presencia de juntas en los pavimentos, por ejemplo, juntas longitudinales de construcción de pistas o calles de rodaje de hormigón. No obstante, cuando las luces de eje de pista y las luces de eje de calle de rodaje están emplazadas muy próximas las unas de las otras, por ejemplo en calles de salida, es necesario asegurarse de que las luces están separadas por lo menos 60 cm entre sí, para evitar la fusión de las señales. A este efecto, también se enmendaron las especificaciones relativas a las luces de eje de calle de salida rápida y a las de otras calles de salida. El objeto de esta sección es explicar la forma en que las señales y las luces de eje de pista y de eje de calle de rodaje deberían presentarse e instalarse en las intersecciones de pistas con calles de rodaje, en diversas condiciones, para cumplir con los nuevos requisitos.

9.3.2 Es importante observar que en las especificaciones todavía se prevé que las señales de eje de pista y de eje de calle de rodaje se instalen a lo largo del eje. Cuando las luces están instaladas en el lugar de la señal y cuando la pintura de la señal se aplica a máquina, debería cubrirse con papel para proteger a las luces la pieza de ajuste o habría que desactivar temporalmente la máquina.

9.3.3 De las cuatro condiciones ilustradas en la Figura 9-2, la indicada en a) es la más sencilla. El pavimento de la pista es flexible (p.ej., de hormigón asfáltico) y, por lo tanto, no es difícil instalar las luces de eje de pista a lo largo del eje de la misma, o las luces de eje de calle de salida por encima de las señales de eje de calle de salida.

9.3.4 La condición b) representa una pista de hormigón de cemento con una junta longitudinal a lo largo del eje de la pista. Como resultado de ello, las luces de eje de pista están desplazadas a 60 cm. Por otra parte, no hay ninguna dificultad en emplazar las luces de eje de calle de salida por encima de las señales de eje de calle de salida. Es importante señalar que las luces de eje de pista están desplazadas en el lado opuesto a la calle de salida.



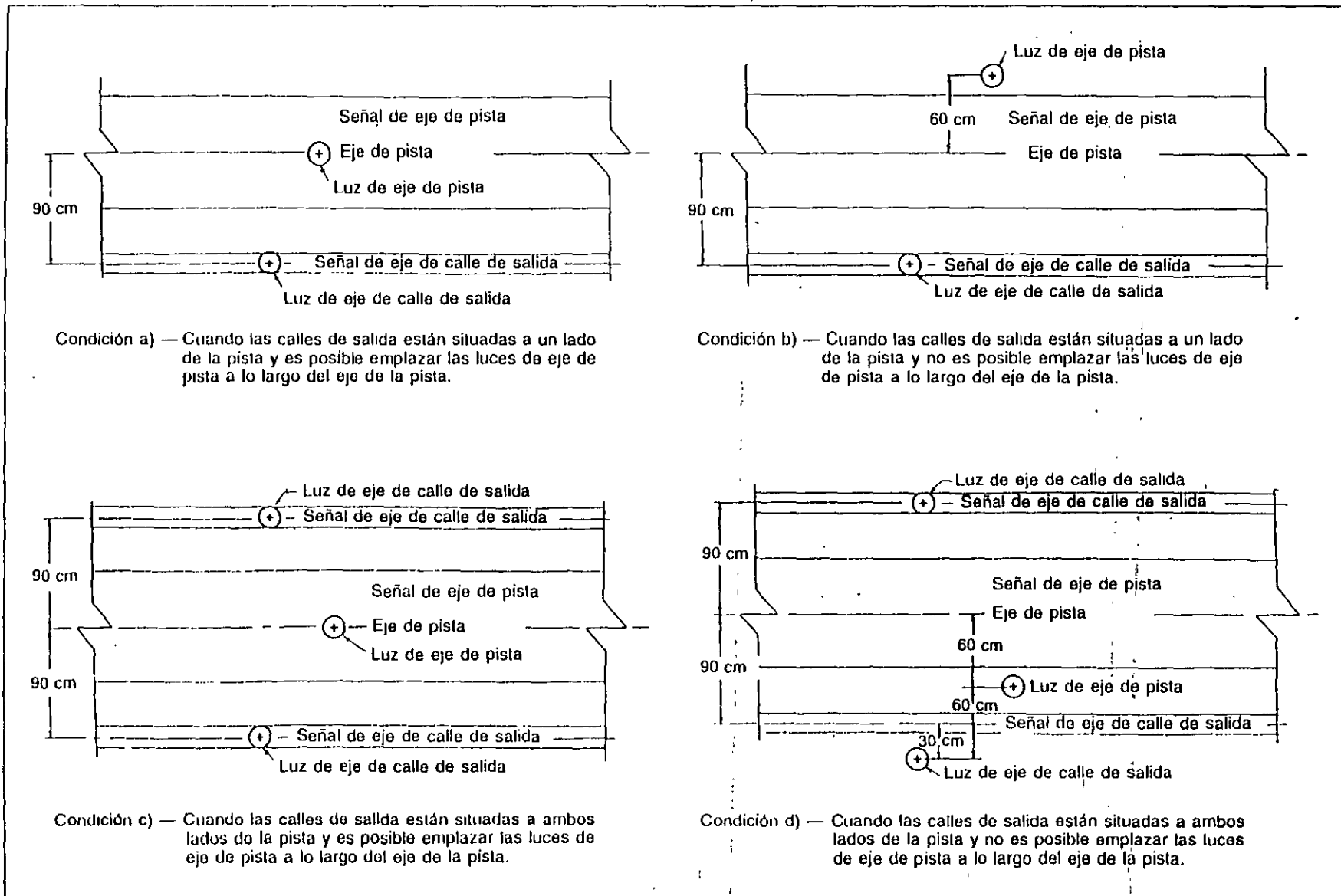


Figura 9.2. Señales y luces en las intersecciones de calles de rodaje con la pista

9.3.5 La condición c) representa el caso de que las calles de salida estén emplazadas a ambos lados de una pista de pavimento flexible, p.ej., de hormigón asfáltico. Las luces de eje de pista están emplazadas a lo largo del eje de la pista y las luces de eje de calle de salida se colocan encima de las señales de eje de calle de salida.

9.3.6 La condición d) representa el caso de que las calles de salida estén emplazadas a ambos lados de una pista de

hormigón de cemento. Las luces de eje de pista están desplazadas a 60 cm debido a la presencia de una junta longitudinal a lo largo del eje de la pista. Esto a su vez exige desplazar 30 cm a un lado las luces de eje de calle de salida, para mantener una separación de 60 cm entre las luces de eje de pista y las luces de eje de calle de salida. Las luces de eje de calle de salida del otro lado se empiazan por encima de las señales de eje de calle de salida. Es importante señalar que las luces de eje de pista deberían desplazarse al lado opuesto, en la mayoría de calles de salida.

# Capítulo 10. SISTEMAS DE GUÍA Y CONTROL DEL MOVIMIENTO EN LA SUPERFICIE

## 10.1 GENERALIDADES

10.1.1 La expresión "sistema de guía y control del movimiento en la superficie (SMGC)" se refiere a un sistema de ayudas, instalaciones y procedimientos diseñados para satisfacer los requisitos de guía y control del tráfico de superficie, en armonía con las condiciones particulares de las operaciones en determinado aeródromo. Los sistemas SMGC están constituidos por una combinación apropiada de ayudas visuales, de ayudas no visuales, de comunicaciones radio-telefónicas, de procedimientos, y de instalaciones y servicios de control e información. La complejidad de los sistemas varía desde uno muy sencillo, en los pequeños aeródromos con poco tráfico que solamente están en servicio en condiciones de buena visibilidad, hasta los más complejos, en aeródromos grandes y de mucho tráfico en los que tienen lugar operaciones en condiciones de muy baja visibilidad. El objetivo de este capítulo es señalar aquellas ayudas visuales que han de utilizarse en los sistemas SMGC. Los textos de orientación,

sobre los demás aspectos de los sistemas SMGC, se presentan en el *Manual de sistemas de guía y control del movimiento en la superficie (SMGCS)* (Doc 9476), que puede ser consultado por los lectores.

10.1.2 El motivo principal de proporcionar los sistemas SMGC es permitir que los aeródromos puedan hacer frente, en condiciones de seguridad, a las demandas de movimientos sobre la superficie del aeródromo en determinadas condiciones operacionales. Por consiguiente, el sistema debería diseñarse con el fin de impedir colisiones entre aeronaves, entre aeronaves y vehículos terrestres, entre aeronaves y obstáculos, entre vehículos y obstáculos, y entre vehículos. En el caso más sencillo, es decir, en condiciones de buena visibilidad y con poco tráfico, este objetivo puede lograrse mediante un sistema de letreros visuales y un conjunto de reglas de tráfico de aeródromo. En situaciones más complejas, particularmente en condiciones de escasa visibilidad o con mucho tráfico, será necesario un sistema mucho más complicado.

## 10.2 AYUDAS VISUALES QUE FORMAN PARTE DE UN SISTEMA SMGC

10.2.1 Las ayudas visuales desempeñan dos funciones importantes en el sistema SMGC:

a) proporcionan guía a las aeronaves hasta su destino; y

b) controlan las aeronaves para fines de seguridad de sus operaciones.

10.2.2 La amplitud de la guía y control, que haya de proporcionarse mediante ayudas visuales, depende de tres factores:

a) las condiciones de visibilidad en las que las autoridades del aeródromo proyectan mantener las operaciones;

b) la densidad de tráfico; y

c) la complejidad de la disposición física del aeródromo.

10.2.3 En la Tabla 2-1 del *Manual de sistemas de guía y control del movimiento en la superficie (SMGCS)*, citado anteriormente, se indica la forma de clasificar por categorías las condiciones operacionales, es decir la visibilidad, la densidad de tráfico y la disposición física del aeródromo con el fin de diseñar los sistemas SMGC. Además, en la Tabla 2-2 del mismo manual se incluye orientación respecto a la selección del sistema SMGC en función de las diversas condiciones críticas de las operaciones. Se recomienda consultar dicho manual para conocer los elementos de las ayudas visuales que han de formar parte de cualquier sistema SMGC.

### Ayudas visuales para guía de encaminamiento

10.2.4 La magnitud de guía de encaminamiento requerida dependerá de las condiciones de visibilidad, de la complejidad de la disposición física del aeródromo y de la densidad de tráfico. Se dispone de las siguientes ayudas, a base de señales y de luces, para proporcionar guía de encaminamiento a las aeronaves. En el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5, se indican las condiciones en las cuales habrían de utilizarse cada una de estas ayudas y también se presenta información en el *Manual de sistemas de guía y control del movimiento en la superficie (SMGCS)*.

#### Señal de eje de pista

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.

#### Señal de eje de calle de rodaje

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.

#### Señal de puesto de espera en rodaje

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.

**Señal de intersección de calles de rodaje...**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.

**Señal de puesto de estacionamiento de aeronave**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.  
 Texto de orientación: Capítulo 2 de este manual.

**Letreros**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.  
 Texto de orientación: Capítulo 11 de este manual.

**Ayudas visuales indicadoras de zonas de uso restringido**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 7.

**Luces de borde de pista (noche)**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.

**Luces de borde de calle de rodaje (noche)**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.  
 Texto de orientación: Capítulo 9 de este manual.

**Luces de eje de pista**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.

**Luces de eje de calle de rodaje**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.  
 Texto de orientación: Párrafos 10.2.14 a 10.2.22 de este manual.

**Barras de cruce**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.

**Barras de parada**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.  
 Texto de orientación: Párrafos 10.2.6 a 10.2.9 de este manual.

**Luces de puesto de espera en rodaje**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.  
 Texto de orientación: Párrafo 10.2.13 de este manual.

**Sistemas visuales de guía para estacionamiento/atraque**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.  
 Texto de orientación: Capítulo 12 de este manual.

**Dispositivo monitor**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 8.  
 Texto de orientación: Manual de diseño de aeródromos, Parte 5.

**Ayudas visuales para control del tráfico**

10.2.5 Para lograr un control efectivo del tráfico en el área de movimiento, las instalaciones y servicios de control que se proporcionen deberían ser adecuadas en conexión con la categoría de la disposición física del aeródromo, de la densidad del tráfico y de la visibilidad. Se indican a continuación las ayudas visuales de que se dispone para lograr

este objetivo, y las correspondientes disposiciones y textos de orientación:

**Letreros**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.  
 Texto de orientación: Capítulo 11 de este manual.

**Señales de superficie**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.  
 Texto de orientación: Capítulo 2 de este manual.

**Lámparas de señalización**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5;  
 Anexo 2, Apéndice A.

**Luces de punto de espera en rodaje**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.  
 Texto de orientación: Párrafo 10.2.13 de este manual.

**Barras de cruce**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.

**Barras de parada**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 5.  
 Texto de orientación: Párrafos 10.2.6 a 10.2.8 de este manual.

**Luces de eje de calle de rodaje de conmutación selectiva**

Disposiciones conexas: Ninguna disposición de la OACI.  
 Texto de orientación: Párrafos 10.2.14 a 10.2.22 de este manual.

**Luces para control del tráfico de vehículos**

Disposiciones conexas: Ninguna disposición de la OACI.  
 Texto de orientación: Párrafos 10.2.10 a 10.2.12 de este manual.

**Dispositivo monitor**

Disposiciones conexas: Anexo 14, Volumen I, Capítulo 8.  
 Texto de orientación: Manual de diseño de aeródromos, Parte 5.

**Barras de parada**

10.2.6 Deben instalarse transversalmente barras de parada en las calles de rodaje como complemento de las señales de punto de espera en rodaje y de intersección de calles de rodaje con el fin de controlar el tráfico por estas intersecciones. El funcionamiento de estas barras debe poder controlarse desde la torre de control. Las barras de parada son particularmente útiles en condiciones de escasa visibilidad, cuando sean poco visibles los letreros instalados a ambos lados de las calles de rodaje. En el Anexo 14, Volumen I, se especifica que deben instalarse barras de parada en los puntos de espera en rodaje de las pistas para aproximaciones de precisión de Categoría III. La finalidad de estas disposiciones es impedir que una aeronave, durante el recorrido de despegue o durante el despegue, entre en las áreas críticas ILS al mismo tiempo que otra aeronave se aproxima para aterrizar.

10.2.7 *Emplazamiento.* Las barras de parada deberían instalarse transversalmente en las calles de rodaje en el lugar en el que se desee que las aeronaves se detengan.

10.2.8 *Características.* Las barras de parada consistirán en luces semirrasantes que se vean de color rojo desde la aeronave que se desea detener. Las luces deben espaciarse a intervalos de 3 m. Para aeronaves de gran tamaño pudiera ser necesario instalar otras luces, fuera de los límites de la calle de rodaje. La intensidad y anchura del haz de las luces de barra de parada deberían ajustarse a lo indicado en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, según corresponda.

10.2.9 *Sistema de barras de parada de Alemania.* En el aeropuerto de Francfort las barras de parada que iluminan los puntos de espera en rodaje están controladas por sensores. Cada barra de parada consta de tres bucles sensores como se indica en la Figura 10-1: el bucle 1 está situado transversalmente en la calle de rodaje a 70 m por delante de la barra de parada; el bucle 2 está situado transversalmente en la calle de rodaje inmediatamente después de la barra de parada, y el bucle 3 está situado transversalmente en la pista aproximadamente 120 m más allá del umbral. Cada bucle de inducción está constituido por tres bobinas. Si una aeronave recibe la

autorización de rodar para despegar, el piloto inicia el rodaje siguiendo las luces de eje de calle de rodaje que permanecen encendidas solamente hasta la barra de parada en el punto de espera en rodaje. Cuando la aeronave cruza el bucle 1 (Figura 10-1), aparece una luz en un tablero especial de la torre de control. De esta forma se avisa al controlador que una aeronave está acercándose a la barra de parada y que el piloto espera la autorización para entrar en la pista. Para autorizar a la aeronave a cruzar la barra de parada (Figura 10-2) el controlador no solamente concede la autorización por radiotelefonía, sino que además apaga las luces de la barra de parada oprimiendo un botón. De esta forma, se encienden automáticamente las luces de eje de calle de rodaje situadas más allá de la barra de parada. Cuando la aeronave cruza el bucle 2 (Figura 10-3) se encienden automáticamente las luces de la barra de parada para proteger la pista. Cuando la aeronave comienza el recorrido de despegue y cruza el bucle 3 (Figura 10-4) se apagan automáticamente las luces de eje de calle de rodaje comprendidas entre la barra de parada y el bucle 3. En caso de que una aeronave cruce la barra de parada sin la autorización del controlador, el bucle 2 funciona como barrera de seguridad (Figura 10-5) y el sistema alerta al controlador visualmente encendiéndose una luz en el tablero de control al mismo tiempo que suena una alarma.

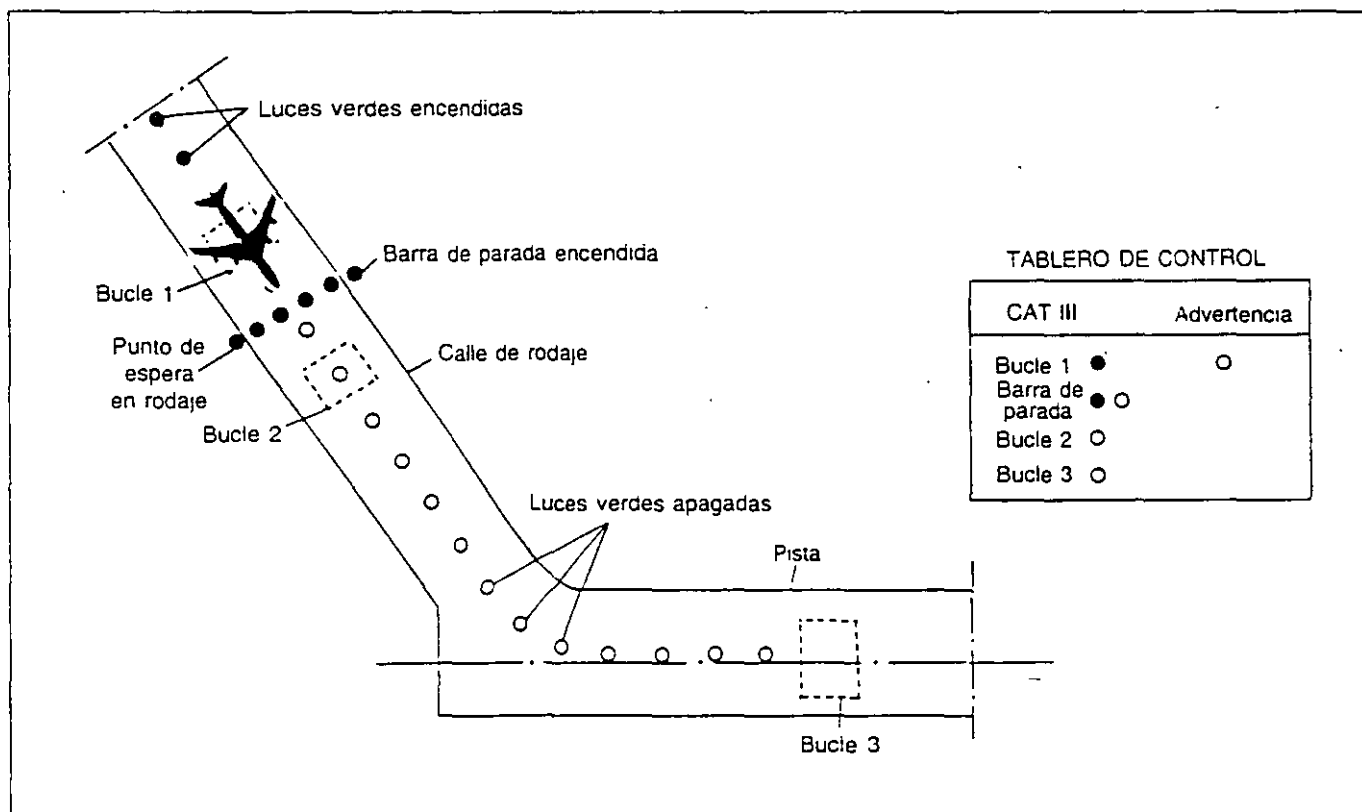


Figura 10-1. Control de las barras de parada mediante bucles de inducción — Aeronave que se acerca a una barra de parada

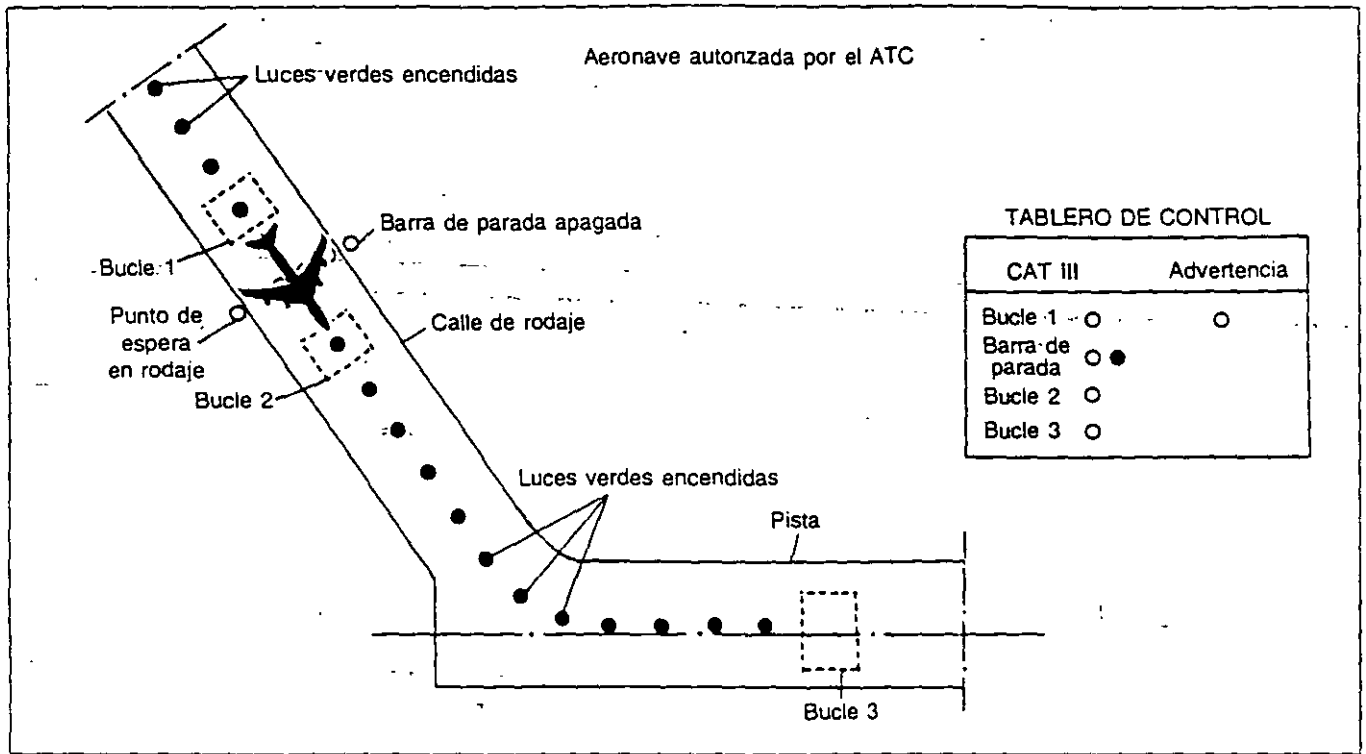


Figura 10-2. Control de las barras de parada mediante bucles de inducción — Aeronave que cruza la barra de parada

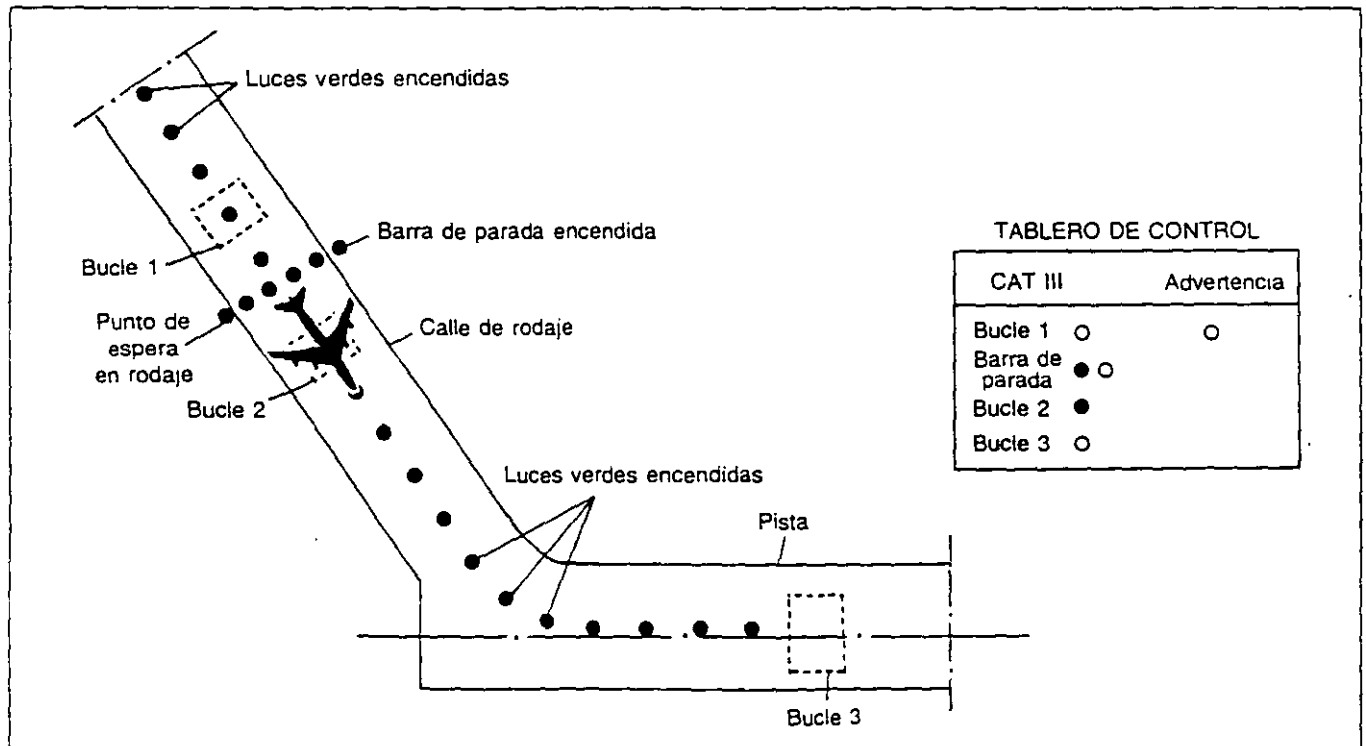


Figura 10-3. Control de las barras de parada mediante bucles de inducción — Una aeronave cruza el bucle 2

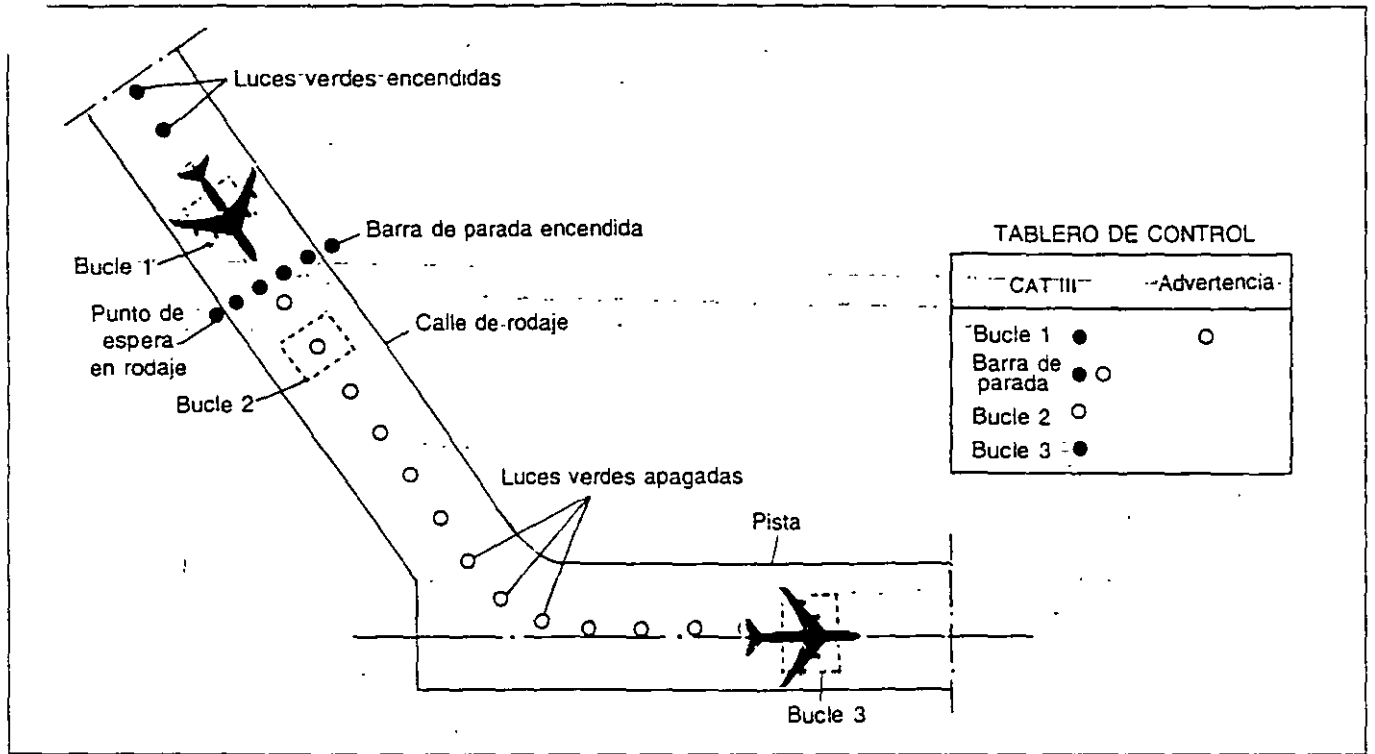


Figura 10-4. Control de las barras de parada mediante bucles de inducción — Una aeronave cruza el bucle 3 mientras otra se acerca a la barra de parada

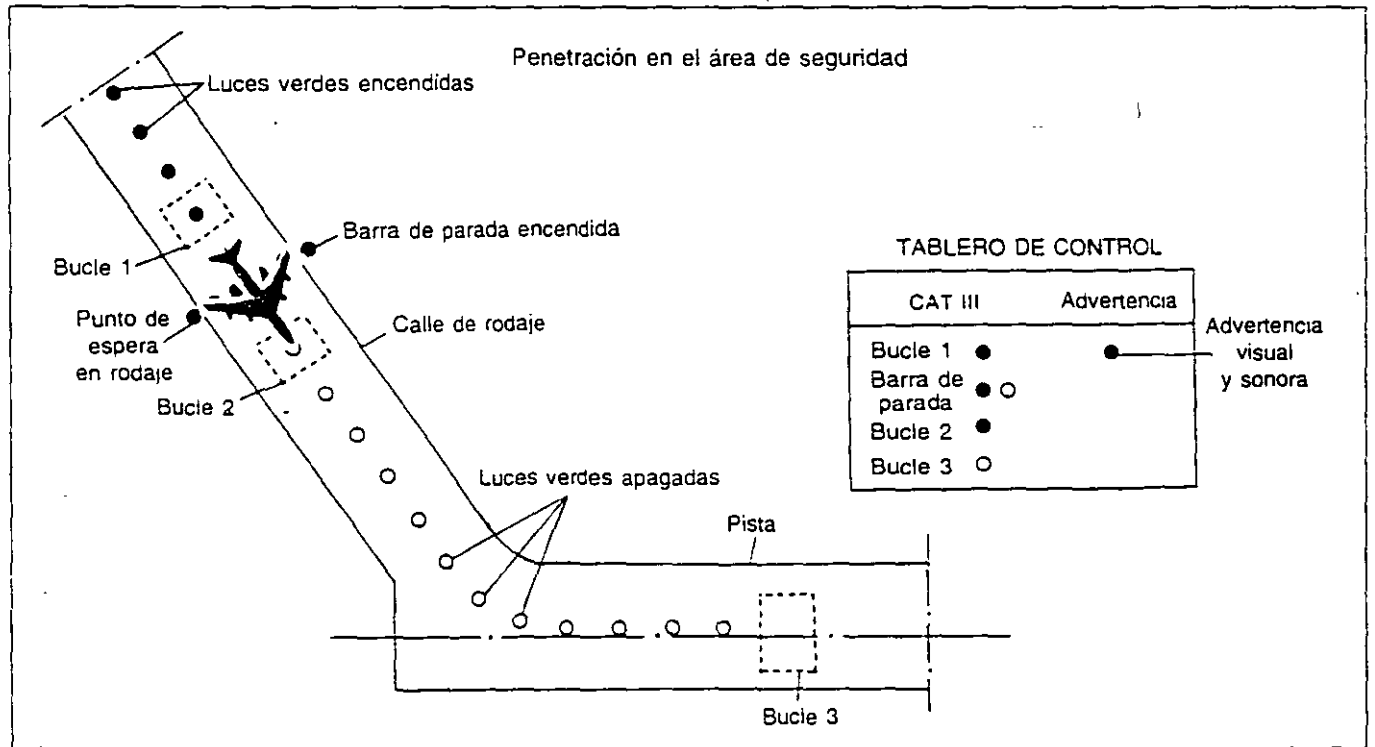


Figura 10-5. Control de las barras de parada mediante bucles de inducción — Aeronave no autorizada cruzando la barra de parada

### Luces de control para el tráfico de vehículos

10.2.10 Pueden utilizarse luces similares a las de los semáforos para controlar el tráfico de vehículos por las intersecciones entre una y otra calle de rodaje, y entre calles de rodaje y pistas. Normalmente, dichas luces no serán necesarias cuando existan barras de parada y éstas funcionen durante el día.

10.2.11 Las luces de control para el tráfico de vehículos deben estar situadas al otro lado del punto en el que se desea que éstos se detengan.

10.2.12 Las luces de control para el tráfico de vehículos deben ser señales rojas y verdes para indicar que los vehículos deben detenerse o que pueden proseguir.

### Luces de punto de espera en rodaje

10.2.13 Ha demostrado ser útil la instalación de luces de punto de espera en rodaje para hacer más conspicuas las barras de parada instaladas en los puntos de espera en rodaje correspondientes a pistas para aproximaciones de precisión de Categoría III. Estas luces deben ser amarillas e instalarse por pares. Las luces deben ser de destellos alternados, a un régimen comprendido entre 40 y 60 destellos por minuto. El haz de luz debe ser unidireccional de forma que sea visible desde una aeronave en rodaje hacia el punto de espera. Se ha demostrado que una intensidad de 200 a 400 candelas es adecuada durante el día y no deslumbra durante la noche. Las luces deben estar en funcionamiento cuando esté en servicio la pista correspondiente.

## Sistema visual de guía y control del rodaje\*

### Generalidades

10.2.14 El procedimiento más efectivo de proporcionar guía para el rodaje es mediante luces de eje de calle de rodaje. Si además el funcionamiento de estas luces es selectivo se cuenta con un procedimiento eficaz de control de las aeronaves durante el rodaje. Las luces de eje son particularmente efectivas y frecuentemente constituyen el único procedimiento de proporcionar guía y control cuando hay poca visibilidad. Si la intensidad de las luces es suficiente, el método puede también ser efectivo durante el día.

10.2.15 En la práctica se proporciona guía, encendiendo únicamente las luces de calle de rodaje que marcan el camino que ha de seguir la aeronave para llegar a su destino. Puede haber varios caminos iluminados para el rodaje simultáneo de varias aeronaves. En el caso de que uno de tales caminos se cruce con otro, se da la preferencia a una de las aeronaves apagando en el punto de cruce las luces de eje del camino que sigue la otra aeronave. Para mayor seguridad es de desear que el sistema eléctrico o mecánico esté diseñado de forma que en cualquier momento sólo sea físicamente posible encender las luces de uno de los caminos en un punto de cruce. Para poder

ejercer el control, tales sistemas de iluminación están también dotados de barras de parada en los puntos de cruce y éstas funcionan conjuntamente con las luces de eje y, además, a la aeronave que llega al cruce le indican cuándo debe detenerse y cuando puede proseguir.

### Características esenciales de diseño del sistema

10.2.16 Para la guía y control del rodaje mediante la conmutación selectiva de las barras de parada y de las luces de eje de calle de rodaje, deben incorporarse al sistema las siguientes características de diseño [véase el *Manual de diseño de aeródromos* (Doc 9157), Parte 5, *Sistemas eléctricos*, 3.2.1.3, donde se presenta orientación sobre el diseño de circuitos eléctricos para la conmutación selectiva de las barras de parada y de las luces de eje de calle de rodaje]:

- a) el extremo de los caminos de calle de rodaje debe señalarse con una barra de parada;
- b) los circuitos de control deben concebirse de forma que cuando estén encendidas las luces de barra de parada estén simultáneamente apagadas las luces de eje de calle de rodaje de la sección que sigue a dichas barras de parada;
- c) debe proporcionarse un tablero de control con una presentación de la configuración de las calles de rodaje y del sistema de iluminación, en el que se indiquen las secciones de luces de eje y de barras de parada que estén encendidas;
- d) los controladores de tránsito aéreo deben tener a su disposición los mandos que les permitan modificar a su discreción el sistema y apagar las luces de un camino que se cruce con una pista que esté utilizándose;
- e) debe existir la posibilidad de vigilancia automática de los caminos seleccionados y, en caso de conflicto, además de sonar la alarma debe aparecer en el tablero de control el punto donde ocurre; y
- f) en el tablero de control debe haber un dispositivo monitor visual que indique las fallas o el funcionamiento inadecuado del sistema.

### Sistema del aeropuerto Heathrow del Reino Unido

10.2.17 Actualmente muy pocos sistemas SMGC permiten el funcionamiento selectivo de las luces de eje de calle de rodaje y de las barras de parada. Uno de esos pocos sistemas es el instalado en el aeropuerto Heathrow de Londres.

\* Este sistema no sólo consta de luces sino también del equipo necesario para control selectivo y vigilancia de su funcionamiento y para la presentación de los datos en la torre de control, centro de mantenimiento, etc.



El sistema se diseñó en 1949 y se instaló en 1952 pero ha sido perfeccionado y ampliado a lo largo de los años, adaptándose a las características esenciales de diseño enumeradas en 10.2.16. Para los que estén interesados en el diseño e instalación de tales sistemas, se proporciona en los párrafos siguientes una descripción técnica del sistema de Heathrow.

10.2.18 El sistema comprende:

- a) luces de eje de calle de rodaje y barras de parada;
- b) generador eléctrico y equipo de control de caminos en subestaciones situadas cerca de las calles de rodaje (véase la Figura 10-6);
- c) sistema de control computarizado;
- d) red de cables conductores y otros de tipo teléfono;
- e) mandos desde la sala de control visual de la torre a cargo de un controlador de las luces (Figura 10-7); y
- f) equipo de control en un piso bajo del edificio de la torre de control.

10.2.19 Las características dominantes del sistema son las siguientes:

- a) *Equipo de iluminación.* Las luces de eje de calle de rodaje y las luces de barra de parada están conectadas a un circuito en serie con una intensidad constante de corriente de 12 o de 6 amperios cuando la potencia de la luz es del 100%. Las bombillas en las luces están conectadas a transductores o tiristores controlados mediante transformadores cuya energía proviene del circuito primario en serie. Se proporciona un circuito de control independiente para cada sección de luces del sistema. (Una sección de luces está constituida por una barra de parada, un bloque de luces de eje y un camino determinado a través de un cruce.) A los circuitos en serie llega permanentemente la energía si el sistema está en servicio. El circuito de control de cada sección de luces proporciona una pequeña corriente a los transductores, de forma que se saturan los núcleos de hierro disminuyendo la corriente en las bombillas a un valor inmediatamente inferior al de emisión de luz. Cuando el controlador del sistema luminoso acciona los mandos, se producen señales que a su vez ponen en funcionamiento el equipo de control de los circuitos que llevan a los transductores.
- b) *Suministro de energía.* La fuente de energía eléctrica en las subestaciones es doble, pues se proporciona también energía eléctrica mediante un generador de reserva que se conecta automáticamente en caso de que falle la fuente primaria de energía. El ingeniero de control (en el centro de mantenimiento) recibe en una pantalla de presentación, indicaciones apropiadas sobre el modo en que está funcionando el sistema de suministro de energía eléctrica.

c) *Equipo de control y monitor.* Aparte de la posibilidad de telemando de las luces para el camino deseado, el sistema está dotado de mandos para la selección de la luminosidad y para conectar o desconectar los circuitos e indicaciones asociados en el dispositivo visual monitor. El tablero de control en la sala de control visual está conectado con el equipo del piso bajo de la torre de control, mediante cables de núcleo múltiple de tipo teléfono. Este equipo controla las señales codificadas, transmitidas hacia el equipo de control de caminos, situado en las diversas subestaciones del aeropuerto. La comunicación se efectúa mediante señalización revertiva a un nivel de 50 voltios, a base de señales digitales codificadas con una respuesta de verificación para cada etapa del mensaje transmitido. Se utiliza un canal común para el trayecto de regreso de los tres formatos de imagen y otros dos canales para señales de alarma y para fines de guarda durante la transmisión. Se necesitan en total siete pares de cables para transmitir las señales, desde el equipo de control hasta los instrumentos de control de camino, emplazados en las inmediaciones de las calles de rodaje.

d) *Salvaguardas.* El sistema está caracterizado por una elevada confiabilidad e integridad. El equipo de computadoras está totalmente duplicado y todas las fuentes de energía proceden de acumuladores. Es extremadamente improbable que una señal incorrecta lleve la energía eléctrica a una sección de luces ya que las instalaciones de verificación son revertivas. El operador del sistema de iluminación recibe una indicación si al apretar un botón no obtiene ninguna respuesta (pero el equipo de control continúa transmitiendo la señal hasta que se cancela la orden que fue dada mediante el botón). El ingeniero de control recibe también indicaciones de falla del sistema en el centro de mantenimiento, en el que está instalado el equipo de comprobación y diagnóstico de fallas.

10.2.20 *Principios de funcionamiento del sistema.* Las luces de eje de calle de rodaje están subdivididas en bloques, de modo que las calles de rodaje se subdividen a su vez en una serie de cruces y de secciones rectas. Todos los bloques están separados por barras de parada. En los cruces, las luces de eje están dispuestas en una serie de secciones de forma que pueda seleccionarse cualquier camino que pase por dicho cruce. El funcionamiento selectivo de las luces de eje y de las barras de parada a lo largo de un camino es automático y se lleva a cabo mediante un dispositivo de control de camino. La energía llega al camino introduciendo señales de control en el equipo de control de camino que corresponden a las secciones de luces que han de encenderse. Estas señales se envían cuando el controlador del sistema de iluminación acciona los botones en el tablero de mando de la sala de control visual. En el tablero de mando está dibujada la configuración geométrica de las pistas y calles de rodaje y están indicados todos los bloques de calles de rodaje. Los botones de mando están colocados en la parte correspondiente a cada barra de parada y accionando los correspondientes a dos barras de parada consecutivas

se selecciona el código de dicha sección. Para establecer un camino completo desde la pista hasta el puesto de estacionamiento de aeronave se accionan sucesivamente los botones a lo largo del camino previsto.

10.2.21 El equipo controla continuamente el funcionamiento de las diversas secciones de luces de eje y de barras de parada pero, además, comprende otras características esenciales para la seguridad. Es imposible que en una intersección funcionen simultáneamente las luces de caminos cruzados o convergentes. Solamente puede seleccionarse en cualquier momento a través de un cruce una sección de luces. Los demás caminos que se acerquen al cruce terminan en una barra de parada delante de un punto de entrada. Para las intersecciones de calles de rodaje con pistas se cuenta con controles análogos a los de las intersecciones entre calles de rodaje pero, además, hay otros factores que regulan el camino seleccionado. Los caminos los establece normalmente el controlador del sistema de iluminación, pero el controlador de tránsito aéreo tiene un mando en su estación para anteponerse al otro y puede conceder la prioridad a aeronaves que estén aterrizando o despegando. Cuando se necesite una pista para aterrizar o para despegar, se apagan todas las luces de eje de calle de rodaje y de barras de parada que estén en la pista y se encienden todas las correspondientes barras de parada en los puntos de espera en rodaje. El único camino para el rodaje que puede establecerse es uno de salida de pista. Sin embargo, cualquier camino que el controlador del sistema de iluminación haya establecido y que haya sido cancelado por el controlador de tránsito aéreo permanece en la memoria del sistema y se restablece tan pronto como las exigencias del vuelo dejen libre

la pista. El funcionamiento, que permite al controlador de tránsito aéreo anteponerse a los mandos del controlador del sistema de iluminación, puede activarse o interrumpirse rápidamente para que así pueda utilizarse al máximo la pista, según las necesidades de control de los vuelos o de los movimientos en tierra.

10.2.22 *Limitaciones del sistema.* El sistema tiene algunas limitaciones, pero se han diseñado las instalaciones de mando de forma que puedan incorporarse mejoras cuando se juzguen necesarias desde el punto de vista operacional o convenientes desde el punto de vista económico. Cuando sea necesario utilizar el sistema durante las horas punta del tránsito, no podrá aprovecharse la máxima capacidad si el mismo funciona a base del principio de bloques. Sin embargo, durante dichos períodos el sistema puede utilizarse, y así se utiliza, para proteger solamente al tránsito que se cruza o que converge al mismo tiempo que los pilotos utilizan el principio de "ver y ser vistos" para mantener la separación de otras aeronaves que le sigan en la misma calle de rodaje. De esta forma se proporciona guía en todo el camino y se mantiene una medida considerable de control, compatible con el aprovechamiento de la capacidad de la pista. No es posible que el controlador del sistema de iluminación identifique positivamente a las aeronaves, pero mediante el radar de superficie puede vigilarse, en cualquier condición de visibilidad, la marcha de las aeronaves que regula el sistema. Todas estas limitaciones pueden subsanarse progresivamente. El paso a un sistema plenamente automático es cuestión financiera y económica que depende del futuro volumen de tránsito y de los requisitos en condiciones de poca visibilidad.

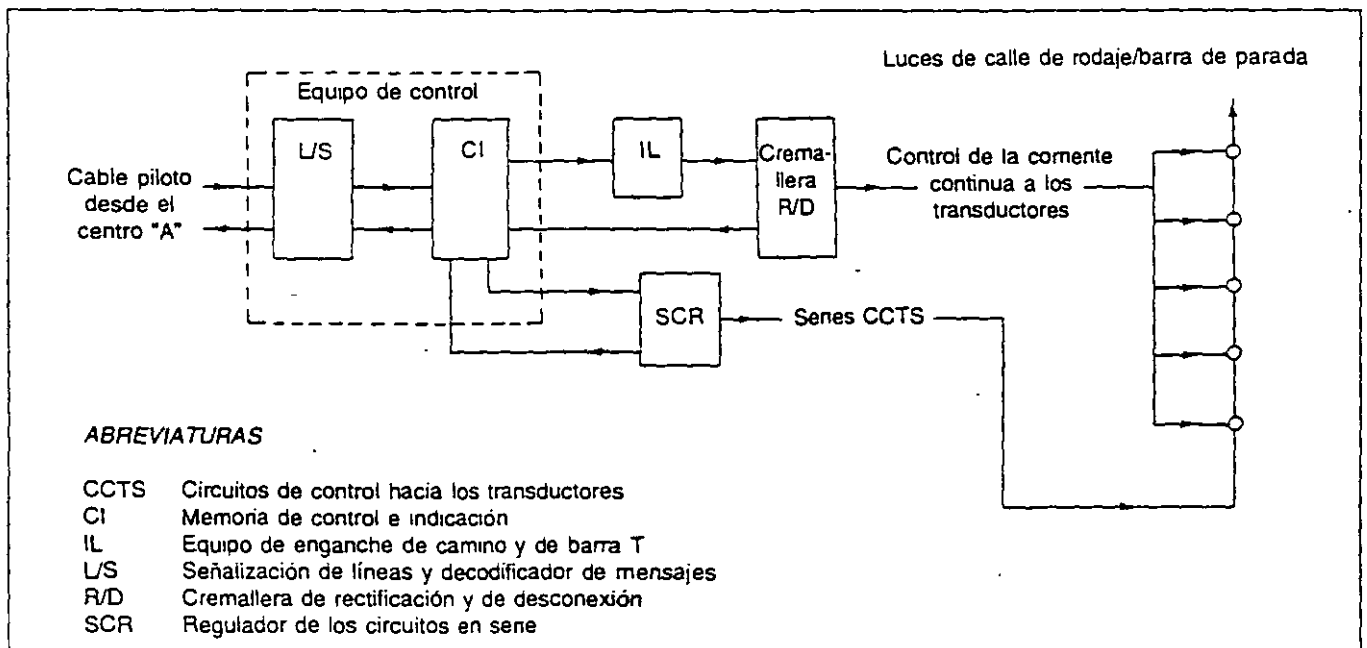
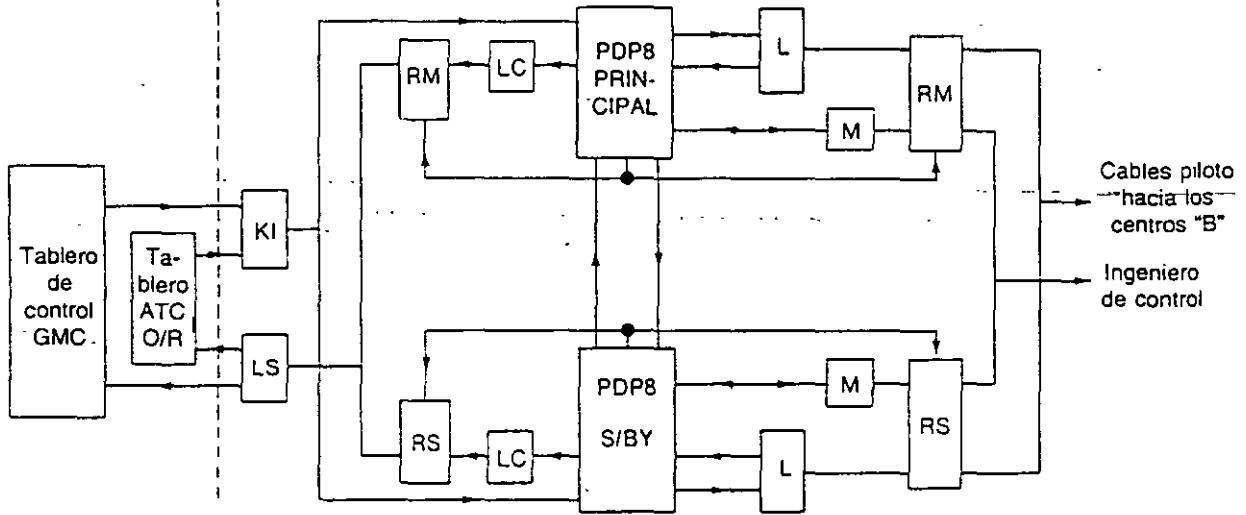


Figura 10-6. Subestación de calle de rodaje/centro "B" del GMC



ABREVIATURAS

- ATC Control de tránsito aéreo
- GMC Control del movimiento en la superficie
- KI Componente de interfaz de entrada al manipulador
- L Transmisor/receptor de línea
- LC Componente de mando de bombilla de indicación
- LS Componente de memoria de bombilla de indicación
- M Modem
- O/R Control superpuesto
- RM Conector del sistema principal
- RS Sistema de reserva del conector
- S/By Reserva

Figura 10-7. Torre de control/centro "A" GMC

# Capítulo 11. LETREROS DE GUÍA PARA EL RODAJE

## 11.1 GENERALIDADES

11.1.1 Los letreros proporcionan diversas clases de información a los pilotos y se clasifican en letreros obligatorios y letreros de información.

11.1.2 Se proporciona un letrero obligatorio cuando se desea comunicar, mediante el mismo, una instrucción que haya de seguirse.

11.1.3 Se proporciona un letrero de información cuando se desea comunicar, mediante el mismo, un emplazamiento determinado o un punto de destino en el área de movimiento o cuando se desea proporcionar otra clase de información.

## 11.2 LETREROS OBLIGATORIOS

11.2.1 Los letreros obligatorios constan de una inscripción en blanco sobre fondo rojo. El letrero debería ser rectangular con el eje mayor paralelo a tierra. La altura vertical del letrero dependerá de su distancia al borde de la calle de rodaje. Cuando se desea utilizarlo por la noche, o en condiciones de escasa visibilidad, el letrero se ilumina interna o externamente.

### Letreros de prohibida la entrada

11.2.2 Se utiliza un letrero de prohibida la entrada en los lugares en los que se desea impedir la penetración en determinada zona, tal como la salida por una calle de rodaje de un sentido. Se emplaza al comienzo de la zona respecto a la cual se prohíbe la entrada y, de ser posible, al lado izquierdo. La inscripción en el letrero será "NO ENTRY".

### Letrero de punto de espera de Categoría I, II o III

11.2.3 Se emplazará un letrero de punto de espera de Categoría I, II o III a cada lado de la señal de punto de espera, frente al sentido de aproximación hacia el área crítica. La inscripción en el letrero será "CAT I" para indicar un punto de espera de Categoría I, "CAT II" para indicar un punto de espera de Categoría II y "CAT III" para indicar un punto de espera de Categoría III.

### Letreros de intersección de calle de rodaje con pista

11.2.4 Los letreros de intersección de calle de rodaje con pista se emplazarán a la izquierda de la calle de rodaje, frente al lugar donde se desea que se detenga la aeronave. La inscripción consistirá en la designación de pista de ambos extremos de la pista que intercepta, debidamente orientada respecto a la posición desde la cual se vea el letrero. Por ejemplo, si el extremo 33 de una pista queda a la izquierda y el extremo 15 a la derecha, la inscripción sería "33-15". Sin embargo, un letrero instalado en las cercanías de un extremo de pista, puede indicar únicamente la designación de pista del extremo de pista de que se trate.

## 11.3 LETREROS DE INFORMACIÓN

11.3.1 Los letreros de información deberían constar de una inscripción amarilla sobre fondo negro o de una inscripción negra sobre fondo amarillo. Cuando los letreros de información estén diseñados para ser utilizados por la noche, se iluminarán interna o externamente. Los letreros pueden también estar revestidos de material retrorreflectante.

11.3.2 Los letreros de situación se utilizan para indicar determinados puntos del aeródromo. Ejemplo de estos puntos son los siguientes:

- a) los extremos de las pistas;
- b) la intersección de calles de rodaje con pistas; y
- c) las intersecciones entre calles de rodaje.

11.3.3. Los letreros de punto de destino se utilizan para indicar el sentido que ha de seguirse para llegar a determinada zona. En estos letreros se incluye la dirección hacia:

- a) pistas;
- b) plataformas;
- c) calles de rodaje; y
- d) edificios terminales.

11.3.4 Los letreros de situación son útiles en todos los aeródromos cualquiera que sea su complejidad, volumen de

o condiciones de visibilidad. Los letreros de destino son muy útiles en condiciones de buena visibilidad y de visibilidad moderadamente reducida. En condiciones de muy poca visibilidad, se considera preferible la guía mediante luces de eje de calle de rodaje. Sin embargo, deben también tenerse en cuenta las condiciones diurnas, cuando las luces de eje de calle de rodaje no sean de suficiente intensidad para proporcionar la guía, en cuyo caso serían necesarios los letreros.

### Emplazamiento de los letreros

11.3.5 Debido a la diversidad de intersecciones de calles de rodaje y a la información que puede ser necesario proporcionar, es difícil establecer una regla fija para el emplazamiento de estos letreros. Un método general, que da buenos resultados, consiste en emplazar todos los letreros antes de las intersecciones. Un letrero para indicar un punto de destino se coloca normalmente delante de una intersección, al mismo lado de la calle de rodaje que la dirección que desea indicarse hacia el emplazamiento. Si el punto de destino está directamente por delante, el letrero puede colocarse a la izquierda o a la derecha. La distancia lateral desde el borde de la calle de rodaje depende de la altura del letrero y del tipo de aviones que utilizan el aeródromo. Las velocidades elevadas del chorro de los motores de reacción de los grandes aviones modernos, que chocan con los actuales letreros de calles de rodaje, han obligado a colocar los letreros a mayor distancia del borde de la pista, o calle de rodaje, para que la velocidad de choque sea menor.

11.3.6 Cuando los letreros hayan de leerse desde ambos sentidos a lo largo de la calle de rodaje, deberían colocarse formando ángulo recto con el eje de la calle de rodaje. Los letreros que hayan de leerse solamente en un sentido, podrían colocarse formando un ángulo, por ejemplo de 75°, para facilitar su lectura.

### Características generales

11.3.7 Los letreros de situación y los de destino deberían ser rectangulares, con el lado mayor paralelo a tierra. La longitud de este lado depende del texto que haya de incluirse en el letrero. La altura total del letrero debería ser la mínima posible y compatible con la necesidad de que el letrero pueda leerse con facilidad, y dependerá de su distancia al borde de la calle de rodaje. Las barquillas de los motores de reacción y las hélices deberían poder pasar por encima del letrero, manteniéndose el margen de protección necesario. También deberían tenerse en cuenta factores tales como el chorro de los motores de reacción y la necesidad de que los letreros sobresalgan por encima de la nieve. En un Estado se juzgaba anteriormente que los letreros de 75 cm de altura, situados a 6 m del borde de la calle de rodaje, serían adecuados; pero debido a daños ocasionados por el chorro de los motores de reacción, se emplazan actualmente a no menos de 18 m del borde del pavimento resistente de las pistas y calles de rodaje.

En las Figuras 11-6 y 11-7 se ilustran los letreros de iluminación interna y los letreros retrorreflectantes, respectivamente.

11.3.8 El texto de los letreros de situación y de los de destino debería ser el siguiente:

*Extremos de pista:* el número de designación (o la letra, dado el caso) del extremo de pista de que se trate. Debería limitarse a este objetivo el uso de números en los letreros, especialmente si se trata de números de dos dígitos.

*Calles de rodaje:* letra o letras en caracteres romanos. En la Figura 11-1 se muestra un ejemplo de asignación de letras a las calles de rodaje.

*Calles de salida:* la letra o letras de la calle de rodaje de que se trate.

*Intersecciones de calles de rodaje a lo largo de la pista:* los números de designación de pista (y las letras que correspondan) de ambos extremos de la pista, separados por un guión y dispuestos de acuerdo con el extremo apropiado (véanse 11.2.5 y la Figura 11-2).

*Otras zonas en el aeródromo:* las siguientes palabras o abreviaturas:

Zonas generales de estacionamiento, de servicio y de carga:  
RAMP o APRON

Zonas exclusivamente para estacionamiento de aeronaves:  
PARK o PARKING

Zonas civiles en aeropuertos de uso mixto civil y militar:  
CIVIL

Zonas militares en aeropuertos de uso mixto civil y militar:  
MILI

Zonas para manipulación de mercancías o de carga:  
CARGO

Zonas internacionales: INTL

Áreas para calentamiento de motores: RUNUP

Punto de verificación del altímetro: ACP

Punto de verificación del VOR: VOR

Zonas de combustible o de servicios: FUEL

Hangar o zona de hangares: HGR

Cuando sea necesario identificar otras áreas distintas a las enumeradas, debería seleccionarse una palabra inglesa apropiada o, de ser necesario, una abreviatura. No deberían abreviarse las palabras de menos de cinco letras. El uso del

inglés no debería interpretarse en el sentido de que se prohíbe el uso de otros letreros en el idioma oficial del lugar.

11.3.9 La dirección que ha de seguirse hasta un punto de destino debería indicarse mediante una flecha. Cuando sea necesario efectuar un viraje a la izquierda, la flecha debería colocarse al lado izquierdo del letrero. Cuando sea necesario efectuar un viraje a la derecha, la flecha debería colocarse al lado derecho del letrero. Cuando la aeronave deba continuar en línea recta, debería indicarse una flecha en sentido vertical al lado izquierdo del letrero (véase la Figura 11-3).

11.3.10 La forma de las letras, números y flechas depende de los métodos utilizados para iluminar el letrero. Han demostrado ser satisfactorios los indicados en la Figura 11-4 para un sistema de letreros con iluminación interna y para un sistema de letreros retrorreflectantes. En el caso de letreros de iluminación externa que hayan de utilizarse en las calles de rodaje, deberían utilizarse las letras y los números de la Figura 11-5. Cuando las luces se utilizan para iluminar

letreros retrorreflectantes, la disposición de las luces no debería interferir con la facilidad de lectura del letrero ni dar lugar a un resplandor molesto o a dispersión de la luz.

### Letreros especiales

11.3.11 Puede utilizarse un letrero especial cuando esté permitido que los despegues se inicien desde un punto de la pista distinto al extremo de la pista. El objetivo consiste en indicar tanto el sentido que ha de seguirse para tal despegue corto en la pista, como el sentido que ha de seguirse hasta el extremo de la pista. Este letrero consta de dos flechas, una que indica el sentido que ha de seguirse hasta el extremo de la pista y el número de designación de pista y el otro indicando el sentido que ha de seguirse hasta un punto intermedio de la pista (para una distancia de despegue más corta), el número de designación de pista y la distancia restante de que se dispone para el despegue (véase la Figura 11-3).

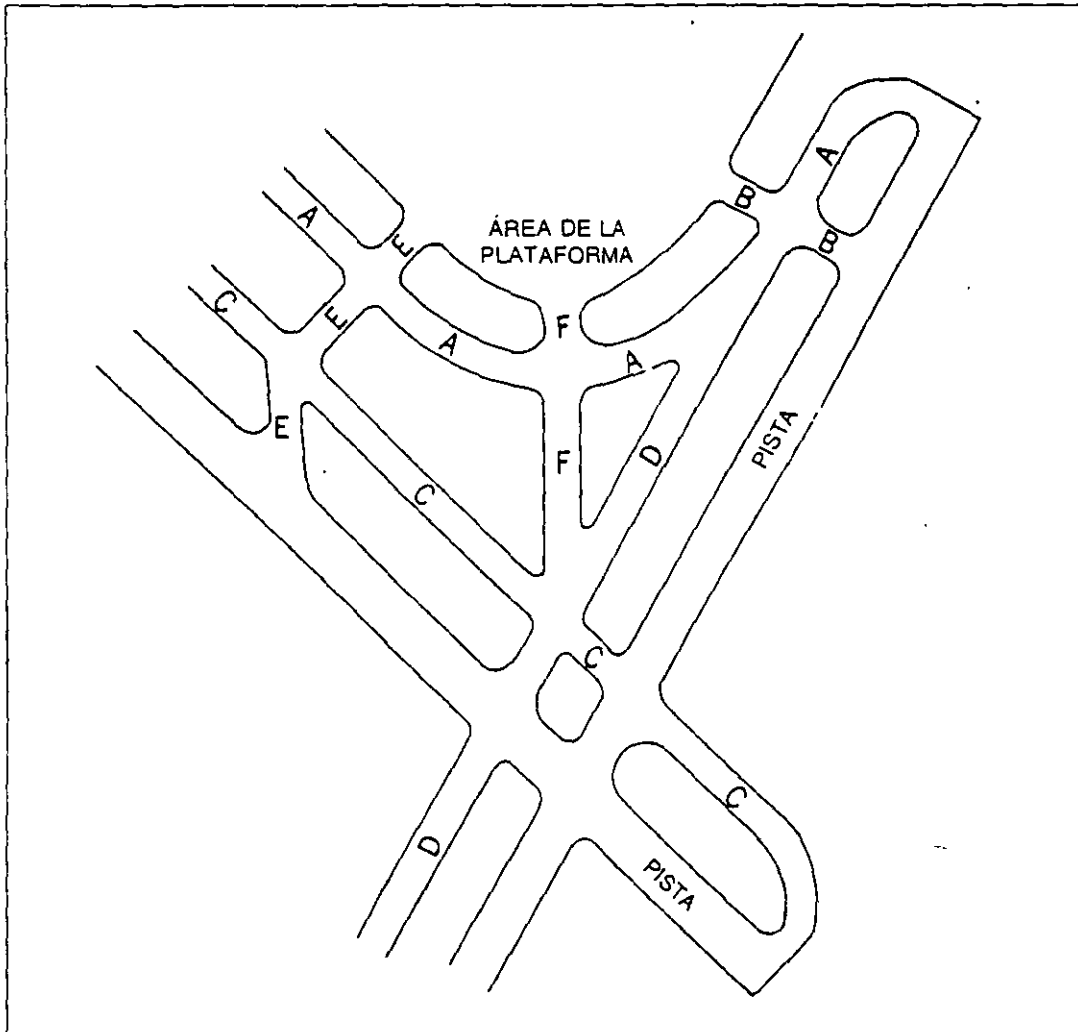


Figura 11-1. Asignación de letras a las calles de rodaje

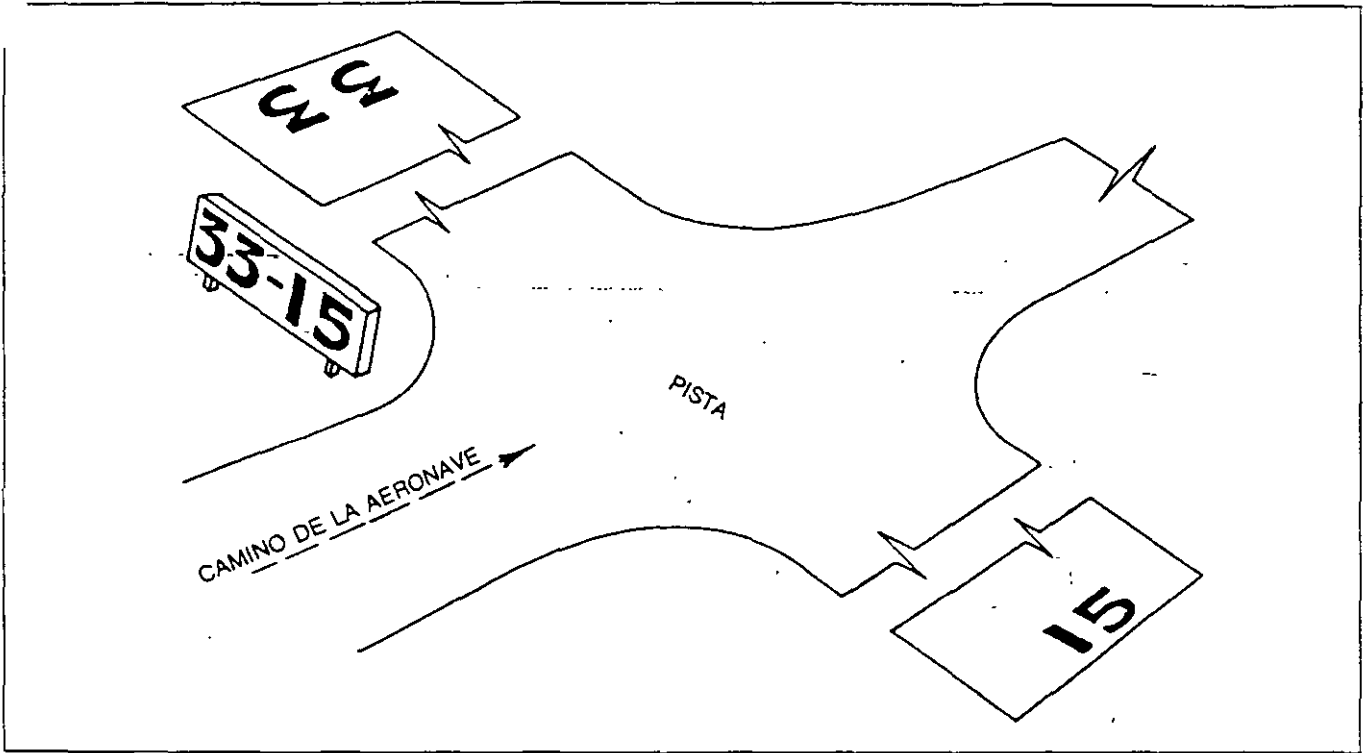


Figura 11-2. Letrero de intersección a lo largo de la pista

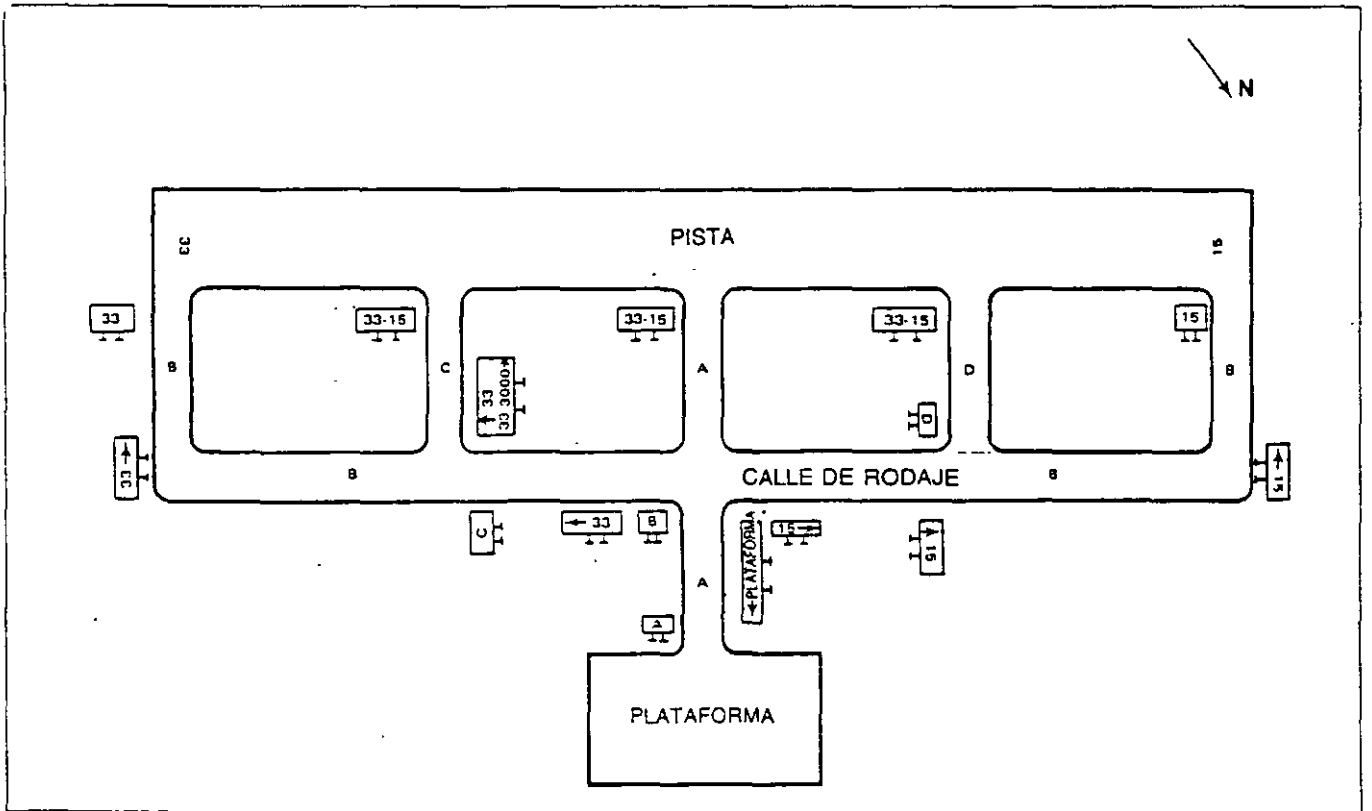


Figura 11-3. Ejemplo de emplazamiento de letreros

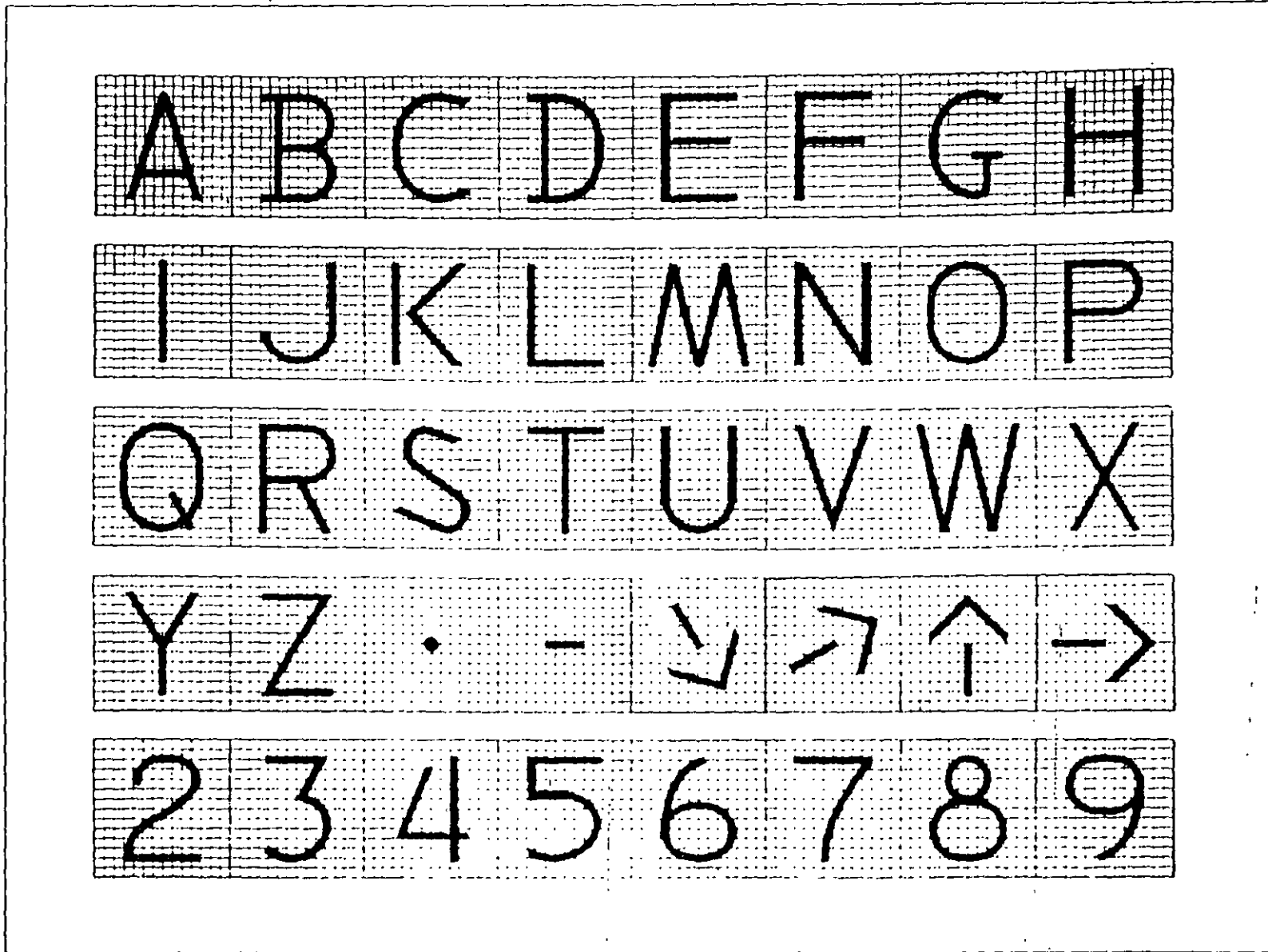


Figura 11-4. Alfabeto para letreros con iluminación interna



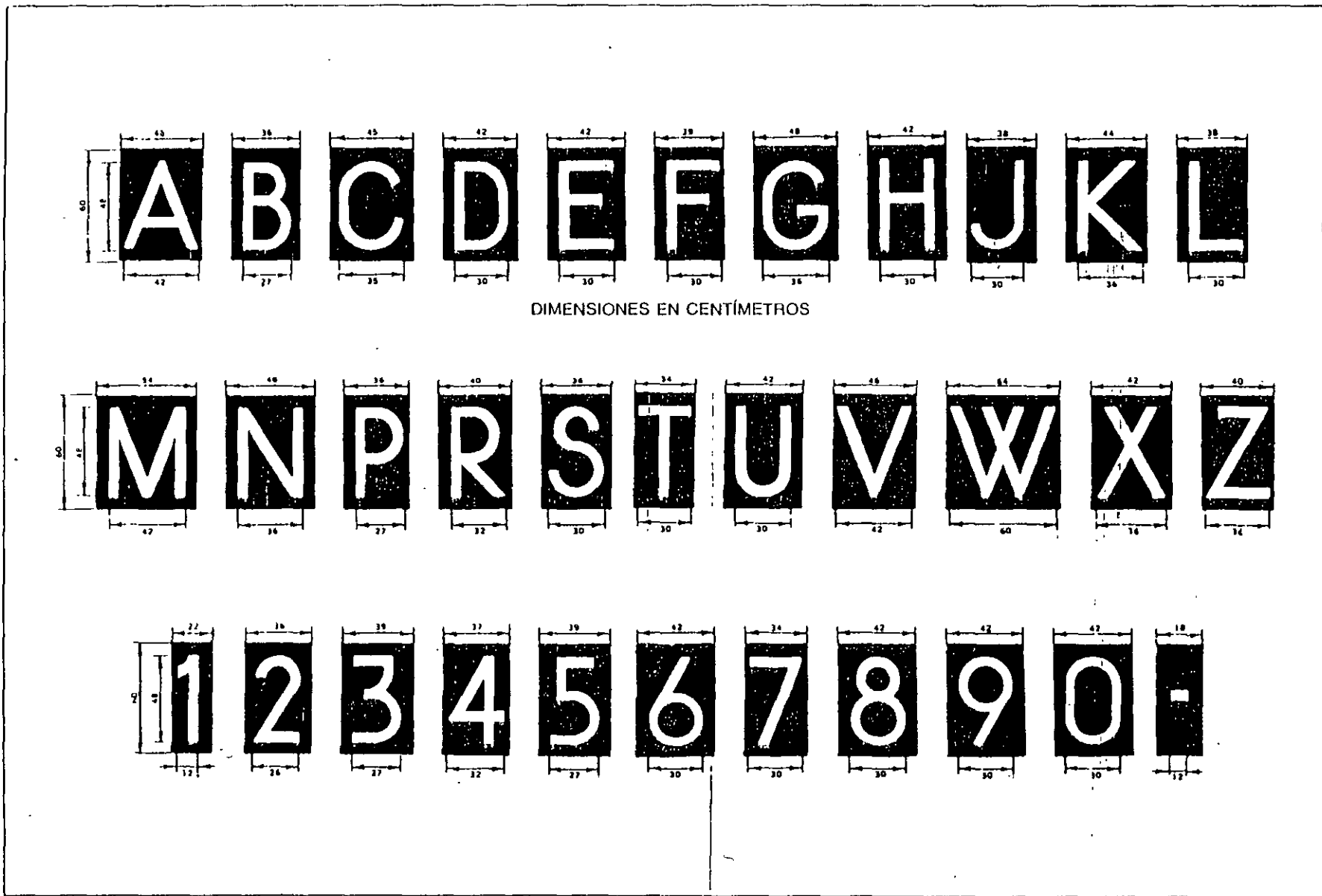
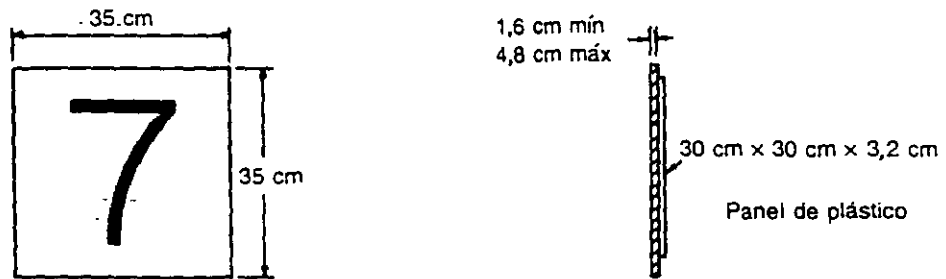
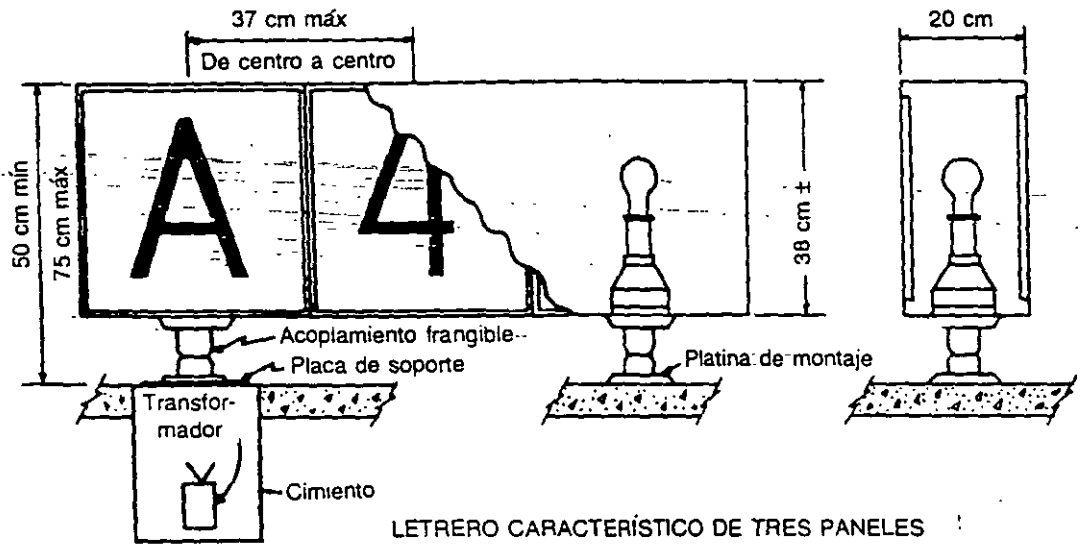
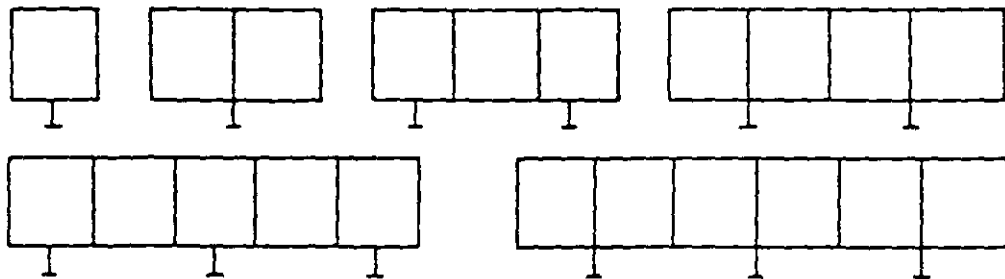


Figura 11-5. Alfabeto para letreros con iluminación externa



PLACA FRONTAL ORDINARIA CON PANEL DE PLÁSTICO



DISPOSICIÓN PARA MONTAJE

Figura 11-6. Letreros con iluminación interna

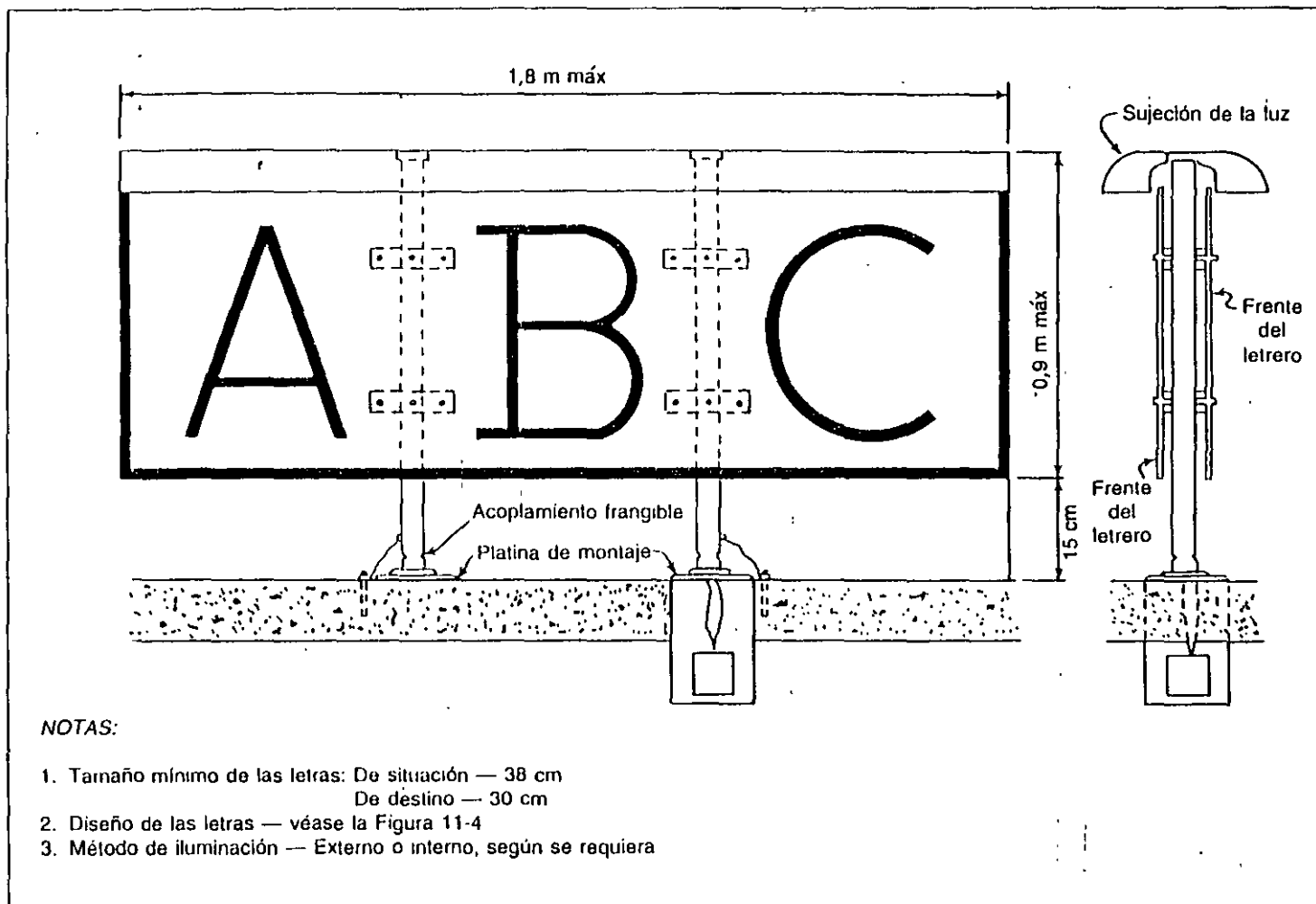


Figura 11-7. Ensamblaje característico de letreros retrorreflectantes

# Capítulo 12. SISTEMAS DE GUÍA VISUAL PARA ESTACIONAMIENTO Y PARA ATRAQUE

## 12.1 INTRODUCCIÓN

### Posición precisa de estacionamiento de aeronaves

En muchos casos se requiere estacionar las aeronaves en una posición prescrita para asegurar que se mantiene el margen requerido de separación de otras aeronaves. Esta colocación precisa de las aeronaves es particularmente necesaria cuando la aeronave está conectada con el edificio terminal mediante facilidades especiales de embarque y desembarque de pasajeros. Asimismo, cuando se proporcionan instalaciones fijas de servicio para reabastecimiento de combustible, suministro de energía eléctrica desde tierra, suministro de agua, líneas terrestres de comunicaciones, suministro de aire comprimido, etc., es de importancia que la aeronave esté estacionada con precisión para que estos sistemas funcionen con seguridad y eficacia. Existe un sistema de guía, que se basa en señales\* y luces empotradas y que se usa para situar a las aeronaves en terminales sin pasarelas telescópicas, denominado sistema de guía para estacionamiento en la plataforma. Para los terminales en los que existen pasarelas telescópicas, se necesita un sistema más complicado de atraque de las aeronaves. Tal sistema se denomina sistema de guía visual para el atraque. En el Apéndice 1 se incluyen los requisitos operacionales del sistema de guía visual para el atraque y en el Apéndice 2 los correspondientes al sistema de guía para estacionamiento.

### 12.2 LUCES DE GUÍA PARA MANIOBRAS EN EL PUESTO DE ESTACIONAMIENTO DE AERONAVES

En 2.3.1. se mencionó que para las maniobras de las aeronaves en condiciones de escasa visibilidad era necesario añadir a las señales de puesto de estacionamiento de aeronave luces con poca separación entre ellas, análogas a las luces de eje de calle de rodaje. Estas luces, denominadas luces de guía para maniobras en el puesto de estacionamiento de aeronaves, deberían ser omnidireccionales para que alcance a verlas un piloto que se acerque a lo largo de la calle de rodaje a un ángulo de 90°. Para lograr un elemento omnidireccional satisfactorio se utilizan normalmente luces estándar de calle de rodaje de poca intensidad. Sin embargo, se sustituyen los filtros verdes por filtros amarillos para mejorar la potencia luminosa de salida. Se requiere una intensidad de 60 candelas (amarilla) para operaciones en condiciones de visibilidad que desciendan hasta bien entrada la gama de valores de la Categoría IIIB. La temperatura del soporte de las luces debe

ser lo suficientemente baja para que no influya en los neumáticos de las aeronaves que entren en contacto con el soporte. El intervalo entre las luces es normalmente de 15 m.

## 12.3 SISTEMAS DE GUÍA VISUAL PARA EL ATRAQUE

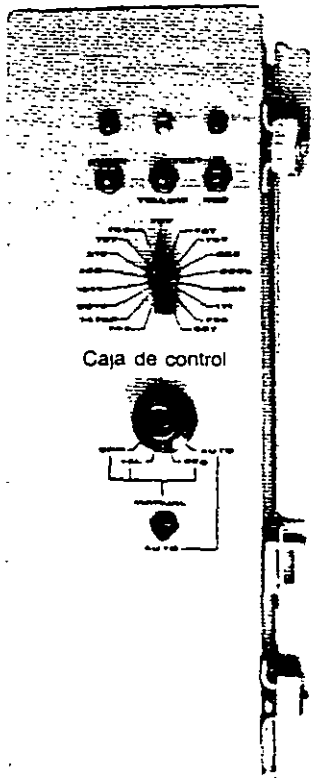
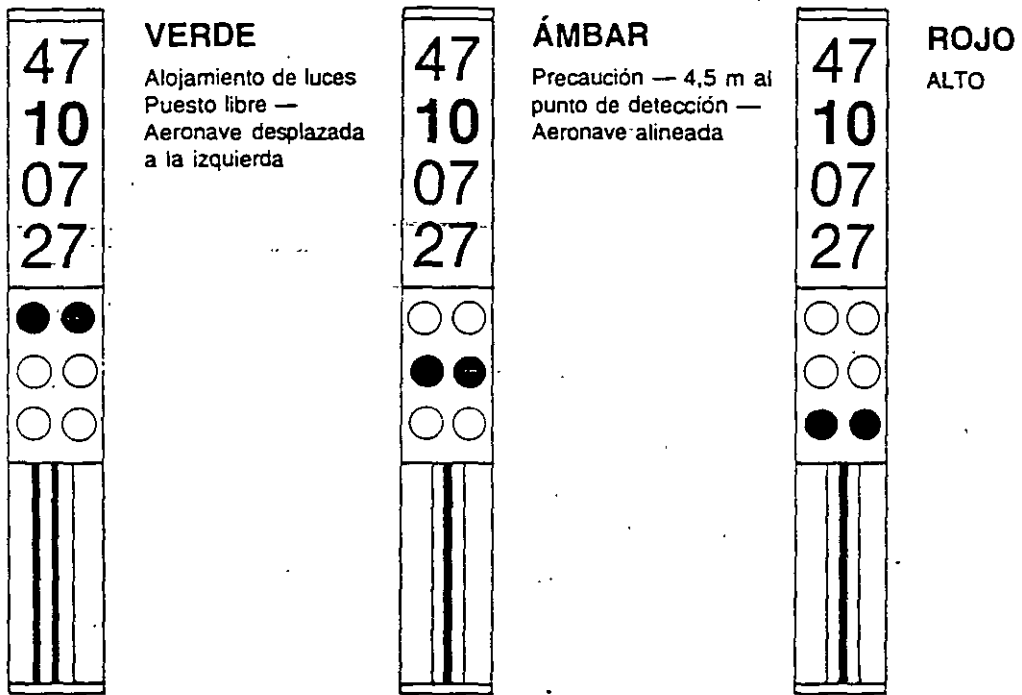
12.3.1 Aunque las luces de guía para maniobras en el puesto de estacionamiento de aeronaves proporcionarán orientación para iniciar el viraje y para colocarse en el eje, no bastan para lograr la precisión en azimut necesaria en los puestos de estacionamiento de proa insertada, equipados con pasarelas telescópicas para los pasajeros. Además, es esencial contar con guía de detención, para que la aeronave se detenga en la posición correcta. Por consiguiente, los sistemas de guía visual para el atraque se instalan en los edificios terminales en los que se dispone de pasarelas telescópicas.

12.3.2 En 1980 se perfeccionaron los textos del Anexo 14, Volumen I, relativos al sistema visual de guía para el atraque a fin de que se conformaran con los requisitos operacionales indicados en el Apéndice 1. En dicha ocasión se elevó la categoría de las disposiciones a la de métodos recomendados. Sin embargo, se están actualmente realizando estudios para determinar cuáles de estas disposiciones deberían elevarse a la categoría de norma, para que haya más uniformidad en lo que se refiere a las características de los sistemas de guía visual para el atraque. Actualmente están en servicio diversos tipos de sistemas de guía visual para el atraque. Se ha comprobado, sin embargo, que la mayoría de dichos sistemas no satisface varios de los requisitos operacionales indicados en el Apéndice 1 del Anexo 14, Volumen I. Por este motivo, debe ejercerse sumo cuidado al seleccionar el sistema de guía visual. En los párrafos que siguen se enumeran las características básicas de unos pocos tipos de sistemas de guía visual para el atraque que han demostrado satisfacer la mayoría, e incluso todos, los requisitos y disposiciones operacionales.

### Sistemas a base de luces y de sensores de bucle inductivo

12.3.3 En la Figura 12-1 se describe un sistema de guía visual para el atraque a base de luces y de sensores de bucle

\* Véase la orientación relativa a las señales de plataforma en el Capítulo 2, 2.3.



Caja de control

Tipo de aeronave

Figura 12-1. Sistema de guía visual para el atraque a base de luces y de sensores de bucle inductivo junto con un alojamiento en forma de caja metálica

inductivo que proporcionan guía en *azimut* e información sobre posición de detención. Este sistema consta de un alojamiento en forma de caja de metal que se une al edificio terminal o a algún otro soporte, que está perfectamente alineado en sentido perpendicular al eje del puesto de estacionamiento de aeronave y a 53 cm hacia la izquierda. Esta distancia corresponde a la alineación con el centro del asiento izquierdo del piloto. Al fondo del alojamiento en forma de caja se colocan tres tubos de neón (uno verde flanqueado por dos amarillos) que proporcionan la guía en *azimut*. El tubo verde está encajado entre placas de desviación de 45 cm de profundidad, y los dos tubos amarillos están detrás de rebordes o pestañas de modo que no sean visibles al acercarse en línea recta. Cuando el piloto se aproxima en el rodaje y sólo alcanza a ver el tubo verde, se encuentra en una posición central correcta, con un margen de tolerancia de  $\pm 7.5$  cm. Si el piloto ve a uno de los lados una línea amarilla se encuentra desplazado hacia ese lado (véase la Figura 12-1).

12.3.4 La parte superior del alojamiento en forma de caja proporciona información sobre la posición de detención. Consiste en indicadores de aeronave de neón rojo — 747, 10, 707, etc., hasta 17 tipos distintos a los que se da cabida en determinada posición. Esta parte del alojamiento puede, según lo exija el montaje, colocarse a un lado del alojamiento de las luces. Las lámparas incandescentes por debajo del indicador del tipo de aeronave son tres conjuntos de luces: superiores (verdes), centrales (ámbar) e inferiores (rojas). El sistema ha sido programado para proporcionar las siguientes indicaciones: verde: puesto de estacionamiento libre y preparado para la aeronave; ámbar: la aeronave se encuentra solamente a 4.5 m de la posición de detención y roja: la aeronave se encuentra en la posición de detención. Al activarse un color se apagan automáticamente las luces de otros colores.

12.3.5 La unidad de control se pone en marcha al activar el interruptor de "arranque" en la caja de controles. Después de esta orden, el sistema es completamente automático. Las luces roja y ámbar se activan cuando la rueda de proa de la aeronave pasa por encima de los bucles de inducción instalados en la plataforma. Estos bucles constan de hilos de alambre bobinado, en dientes de sierra, de una anchura de 0.6 cm y una profundidad de 4 cm, en una configuración rectangular de 30 cm por 180 cm. Los hilos están cubiertos de adhesivo epóxico. Puesto que la distancia entre la rueda de proa y la puerta de los pasajeros es distinta según el tipo de aeronave, se requieren conjuntos independientes de bucles para estos diversos tipos de aeronave. Sin embargo, en los lugares en los que se dispone de pasarelas telescópicas y de conductos flexibles para abastecimiento de combustible, es posible dar cabida a diversos tipos de aeronaves con bucles comunes.

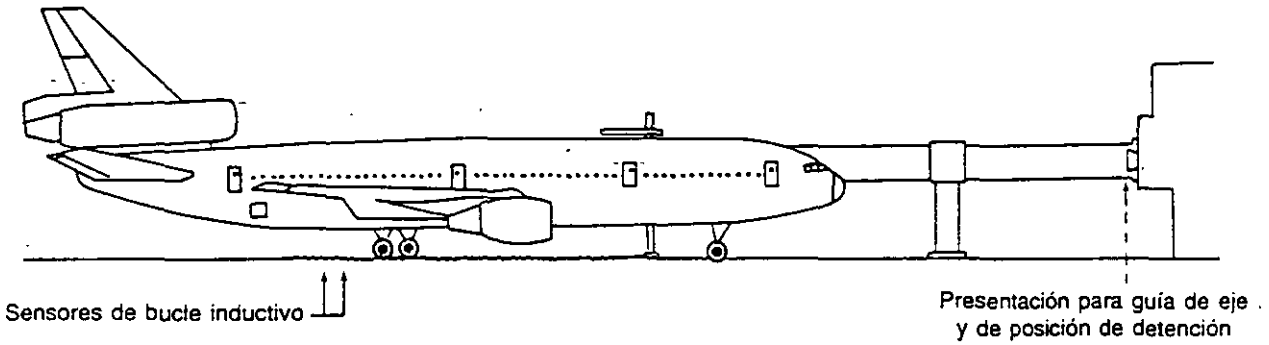
12.3.6 En la caja de control hay un conmutador de selección con una posición para cada tipo de aeronave — para 17 tipos distintos. Para que el personal de tierra active el conmutador de "en marcha" indicando que el puesto está preparado para recibir una determinada aeronave, debe seleccionarse la posición adecuada del conmutador. Después

de concluido el atraque de la aeronave, no es necesario volver a reglar todo el sistema puesto que los circuitos de control desactivan automáticamente la totalidad del sistema, aproximadamente 10 segundos después de que se activen las luces rojas. De esta forma, se prolonga la vida útil del equipo eléctrico y se anula la posibilidad de que una aeronave entre en un puesto de estacionamiento en el que se hayan activado los bucles erróneos de control.

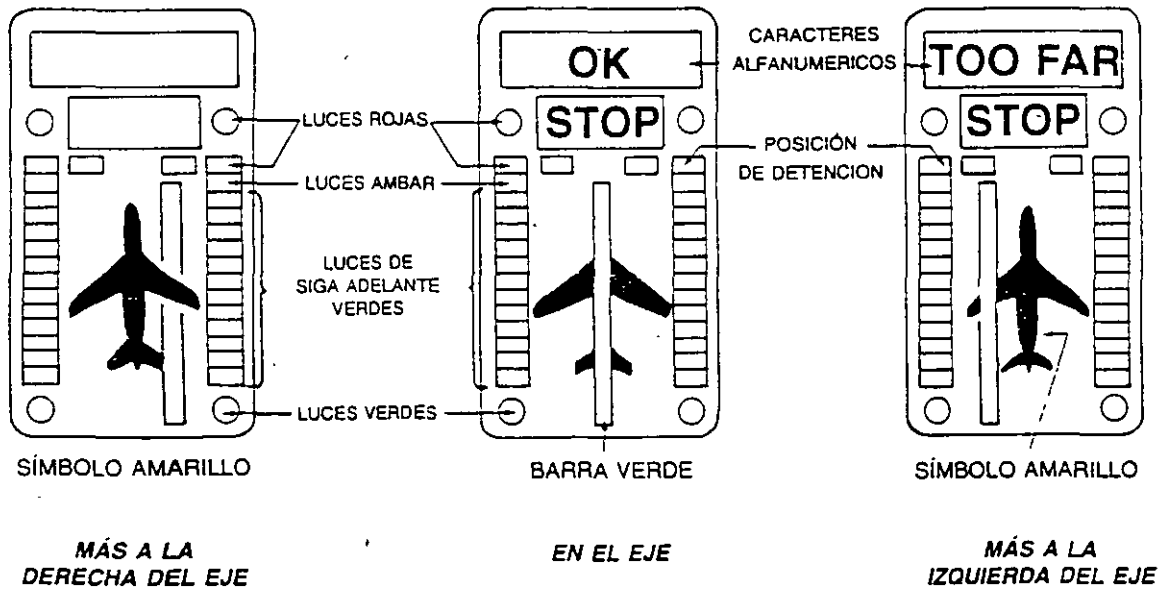
12.3.7 En la caja de control existe un conmutador de parada de emergencia, que se sobrepone al control de los circuitos activando las luces de detención de color rojo. Esto puede ser necesario cuando los vehículos de servicio obstruyen el camino de alguna aeronave hacia el puesto de estacionamiento, cuando se han retirado inadecuadamente las pasarelas telescópicas, etc. También se han incorporado otros dispositivos de "seguridad frente a fallas". Las lámparas incandescentes son dobles, a base de termistores y de voltaje reducido para prolongar la vida útil de las lámparas y para asegurar que por lo menos una estará encendida si la otra se funde. Se ha instalado un dispositivo de búsqueda que desactiva la totalidad del sistema, en caso de que fallen las dos lámparas. Los pilotos han recibido instrucciones de que esto significa "alto". Se ha incorporado un sistema de verificación de circuitos impresos, por el cual se comprueban automáticamente los controles del sistema, y se indica, mediante luces en el tablero de control, en qué condiciones se halla el sistema.

12.3.8 En la Figura 12-2 se describe otro sistema de guía visual para el atraque, a base de luces y de sensores de bucle inductivo, que proporcionan guía en *azimut* e información sobre la posición de detención. El sistema consta de bucles sensores, de una unidad de exploración, de un tablero de operador, de una pantalla de presentación visual con unidad central y de interfaces en serie que conectan las diversas unidades. Todos los elementos son resistentes a la intemperie, diseñados para funcionar a temperaturas que oscilan entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $+80^{\circ}\text{C}$  y capaces de intercomunicación mediante interfaces en serie a una velocidad de transferencia de 4 800 bits/seg. Los sensores son bucles de 1 000 x 3 000 mm empotrados en ranuras de 10 mm de anchura x 20 mm de profundidad en el hormigón de la plataforma. Están colocados a distancias de 500 mm entre sí, protegidos frente al peligro de ruptura, por movimientos del hormigón, mediante una junta flexible. Cada bucle está conectado con la unidad de exploración, mediante alambres de conexión embobinados de forma cerrada en sus ranuras para reducir a un mínimo la inductancia. Todas las ranuras se llenan de hormigón epóxico y se nivelan a ras de la plataforma.

12.3.9 La unidad de exploración es un microprocesador conectado con los bucles sensores y con la unidad central mediante un canal en serie. El objetivo es el de detectar fallas de los sensores y el de activar los bucles que se encuentren en la posición correcta. Cuando se selecciona en el tablero del operador un determinado tipo de aeronave, se activan los tres primeros bucles en el umbral del puesto de estacionamiento. A medida que avanza la aeronave, se activa un nuevo bucle en frente de la rueda de proa, de forma que siempre están



a) Vista lateral para instalación del sistema



b) Unidad de presentación

Figura 12-2. Sistema de guía visual para el atraque, a base de luces y de sensores de bucle inductivo que comprende una unidad de exploración, un tablero de operador, un tablero de presentación visual e interfaces en serie

utilizándose tres bucles hasta la posición de detención. Si ocurre una falla (p.ej., corte de un cable), esto se indica en la pantalla de presentación visual con el número del bucle en falla. Si la falla se produce cuando el sistema no está funcionando, no será posible activarlo hasta que se repare la falla. Si, por otro lado, la falla se presenta en el transcurso de un procedimiento de atraque, el sistema permite terminar la operación antes de dar la advertencia y luego queda bloqueado. Pueden conectarse con la unidad de exploración hasta un máximo de 56 bucles sensores. No es necesario ajustar los detectores, y no influyen en el sistema modificaciones del valor de la inductancia como consecuencia de lluvia, nieve o variaciones de la temperatura.

12.3.10 El sistema se controla desde el tablero del operador, mediante un conmutador con llave, un selector de posición y un botón de "alto" de emergencia. El conmutador con llave ha sido diseñado para que solamente tenga acceso al sistema personal autorizado. De las 24 posiciones del conmutador de selección, 23 se asignan a diversos tipos de aeronaves, en tanto que una se reserva para someter a prueba todas las lámparas de la pantalla de presentación. Al activar el botón de "alto" de emergencia, comienzan a emitir destellos todas las lámparas rojas y la señal de "alto". Pueden conectarse con el sistema un número ilimitado de tableros de operador, pero, por razones de seguridad, en un momento determinado sólo puede funcionar uno de ellos.

12.3.11 El material del tablero de presentación es de un compuesto de fibra de vidrio y está revestido de pintura negra no reflectante. Las dimensiones del tablero son de 1 850 mm de altura, 850 mm de anchura y 750 mm de profundidad; siendo la profundidad total, incluida la abrazadera de soporte del eje, de 2 200 mm. La parte superior del tablero, utilizada para indicar los tipos de aeronaves y los números de bucles en falla, consta de seis pantallas de presentación alfanumérica. En la parte inferior está situado un letrero fijo de "alto" de color rojo, entre dos luces rojas de detención. En la parte inferior del tablero hay dos luces verdes de "autorizada la entrada en el puesto". Cuando se conecta el sistema, las luces verdes emiten destellos para indicarle al piloto que el puesto está libre, pero pasan a ser de encendido permanente cuando la aeronave pasa por el umbral del puesto de estacionamiento de aeronave. Entre las luces rojas de la parte superior y las luces verdes de la parte inferior, 13 pares de lámparas forman dos columnas verticales que proporcionan al piloto la información sobre régimen de acercamiento. Once de los pares son de color verde, el doceavo par es de color ámbar y el decimotercero de color rojo. Además, otro par que está al mismo nivel que el decimotercero pero hacia el interior, es de color verde y sirve de referencia para la posición de detención. Este se apaga en el momento en que se encienden las luces rojas de detención.

12.3.12 La guía de eje es una barra vertical verde iluminada de 750 mm de longitud, colocada en el extremo de las abrazaderas que sobresalen 2 m de la caja de presentación. Desde el ángulo de visión del piloto, esta barra parece estar sobrepuesta a un símbolo de aeronave de color amarillo y,

debido al paralaje, indicará la dirección que debe seguir la aeronave para mantenerse a lo largo del eje.

12.3.13 Cuando el atraque se haya completado debidamente, las letras "OK" remplazan al número de tipo de aeronave de la parte superior. Si la aeronave se pasa del eje, aparecen en su lugar las palabras "too far" (demasiado apartada). La totalidad del sistema se desconecta 20 segundos después de que la aeronave haya llegado a la posición de detención.

12.3.14 Una célula fotoeléctrica controla automáticamente la intensidad luminosa de todas las lámparas. Las lámparas son todas dobles para fines de fiabilidad. La unidad central, que está dentro del tablero de presentación visual, es una microcomputadora que coordina y controla las comunicaciones con las otras partes del sistema. La información se verifica mediante bits de paridad, lo cual bloquea la aceptación de información incorrecta. La transmisión es posible hasta una distancia de 500 m. Se ha incorporado a la unidad un programa de interconexiones y de secuencia, diseñado para evaluar los bucles sensores y las señales del operador y para controlar las combinaciones de lámparas y de textos. Los programas se almacenan en memoria "E PROM" en la que se conserva la información incluso cuando se desconecta la fuente de energía eléctrica. El módulo E PROM puede reprogramarse fácilmente para incluir otros tipos de aeronaves, nuevas posiciones de detención y cualquier otro cambio que sea necesario. La capacidad es para un total de 99 tipos distintos de aeronaves. No se requiere mantenimiento ya que la unidad es de estado sólido.

#### Sistemas de uso exclusivo de luces

12.3.15 En las Figuras 12-3 y 12-4 se describe un sistema de guía visual para el atraque, que se sirve exclusivamente de luces para proporcionar orientación. El sistema consta de dos elementos: una unidad de guía en azimut y un indicador de posición de detención. La unidad de guía en azimut está instalada en la prolongación del eje del puesto de estacionamiento por delante de la aeronave (Figura 12-3). El indicador de la posición de detención está también instalado en la prolongación del eje del puesto de estacionamiento, pero no está en emplazamiento común con la unidad de guía en azimut (Figura 12-4).

12.3.16 La unidad de guía en azimut funciona del modo siguiente. Si se toma el eje del puesto de estacionamiento como origen y se consideran los ángulos situados a la izquierda del eje del puesto de estacionamiento como negativos y los situados a la derecha como positivos, el piloto situado en frente de la unidad obtiene las cinco indicaciones siguientes:

- a) desde  $-10^{\circ}37'$  hasta  $-6^{\circ}37'$ , el haz izquierdo es rojo y el haz derecho verde;



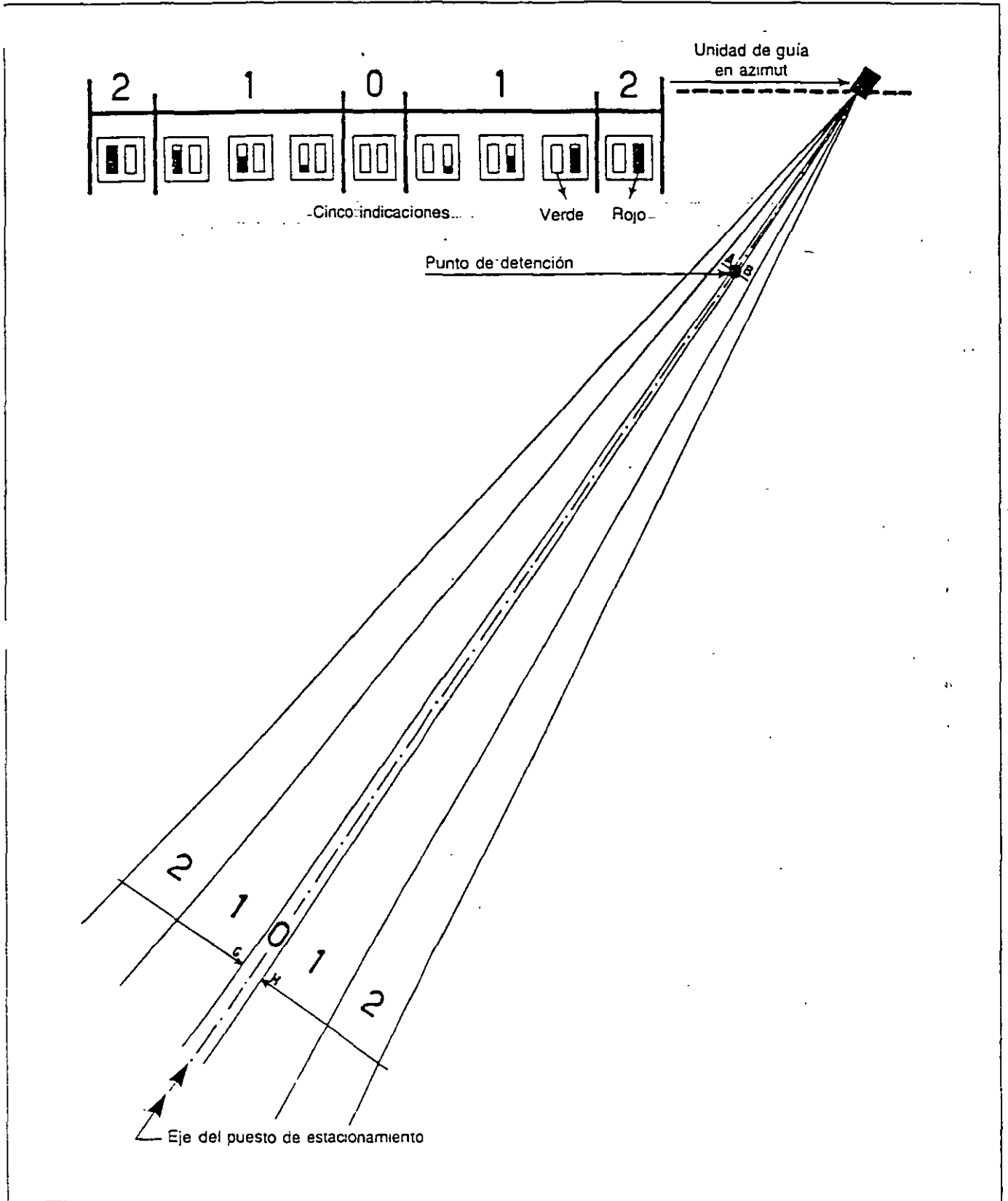


Figura 12-3. Unidad de guía en azimut del sistema de guía visual para el atraque a base de luces

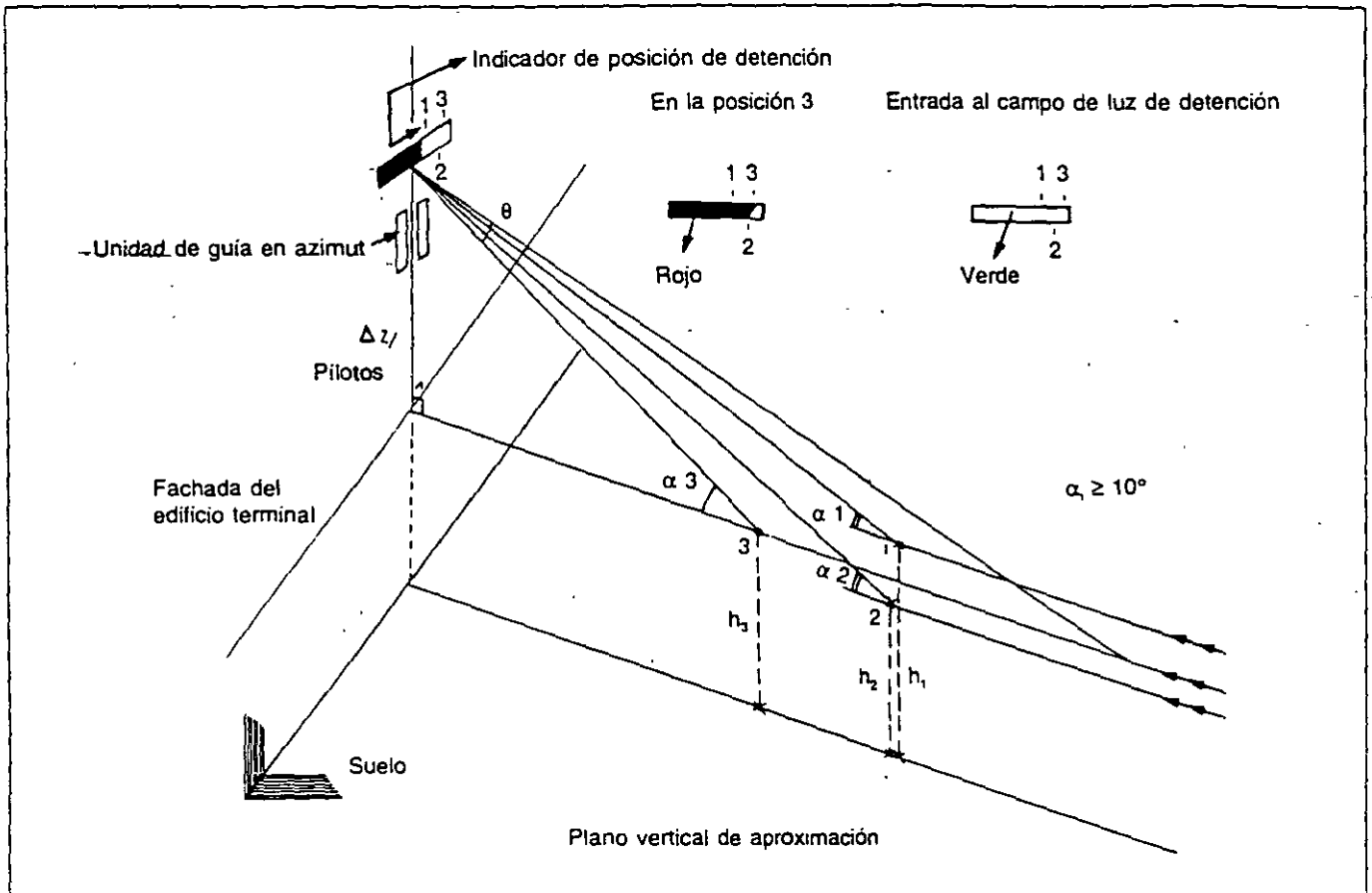


Figura 12-4. Indicador de posición de detención de un sistema de guía visual para el atraque a base de luces

b) entre  $-6^\circ 37'$  y  $-0^\circ 7'$ , el haz izquierdo que era rojo en toda su altura se vuelve gradualmente verde, mientras que el haz derecho permanece verde:

c) entre  $-0^\circ 7'$  y  $+0^\circ 7'$ , los dos haces son verdes:

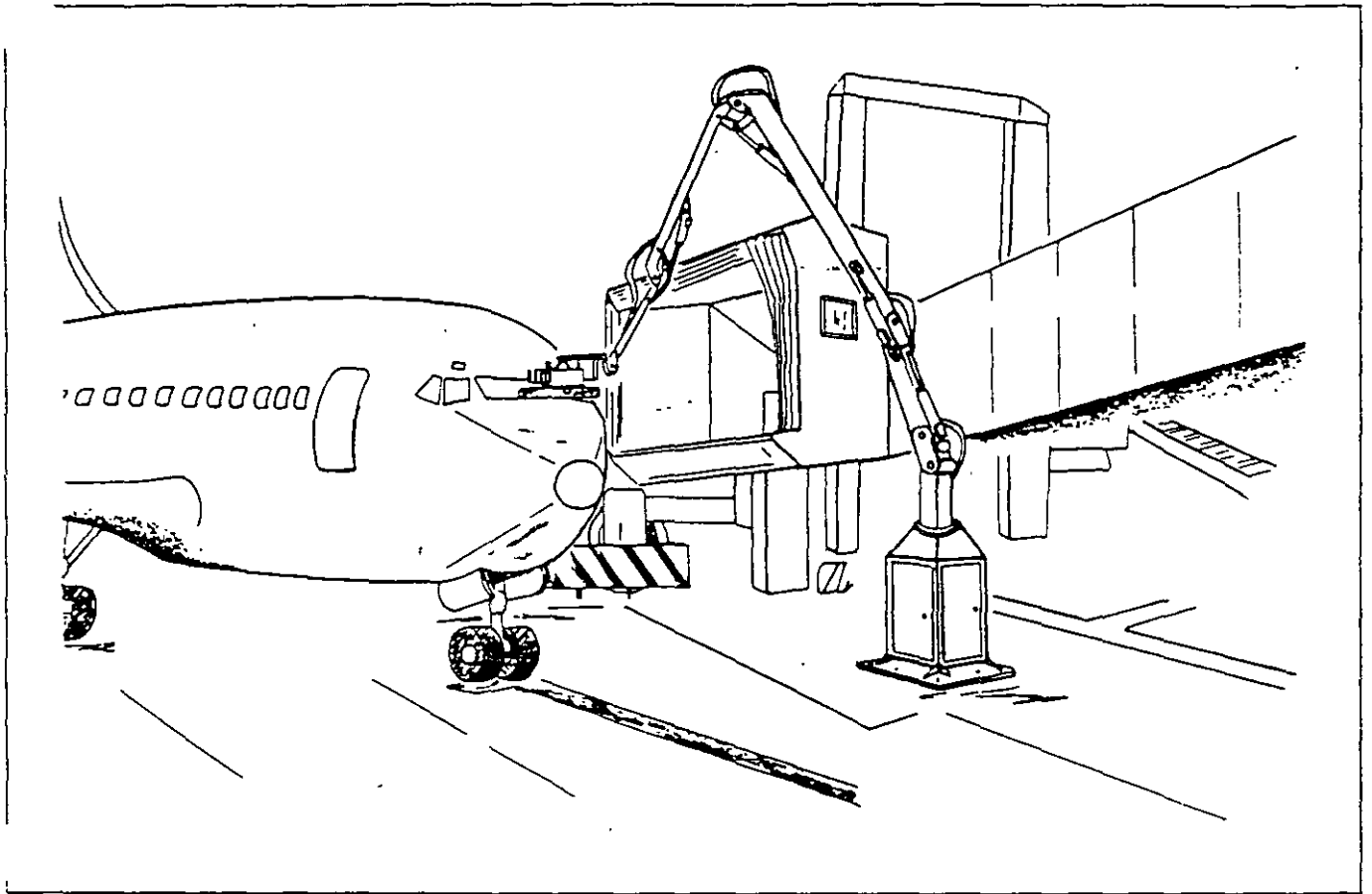
d) entre  $+0^\circ 7'$  y  $+6^\circ 37'$ , el haz izquierdo permanece verde, mientras que el haz derecho que era verde en toda su altura se vuelve gradualmente rojo:

e) entre  $+6^\circ 37'$  y  $+10^\circ 37'$ , el haz izquierdo es completamente verde y el haz derecho es completamente rojo.

12.3.17 De lo dicho se sigue que si el piloto ve dos haces verdes en toda su altura, la aeronave está sobre el eje o cerca del eje del puesto de estacionamiento. Si la aeronave está a la izquierda del eje del puesto de estacionamiento, el piloto verá el haz izquierdo parcial o totalmente rojo, dependiendo del grado de desviación y verá el haz derecho de color verde. El piloto debe entonces desplazarse hacia la derecha a fin de ver ambos haces verdes. Por otra parte, si la aeronave está a la derecha del eje del puesto de estacionamiento, el piloto verá el

haz derecho parcial o totalmente rojo y el haz izquierdo verde, el piloto debe entonces desplazarse hacia la izquierda, a fin de ver ambos haces verdes.

12.3.18 El indicador de posición de detención del sistema se vale de los colores verde y rojo para indicar las posiciones precisas de detención. El indicador está situado en frente del piloto y por encima de la altura de sus ojos según lo indicado en la Figura 12-4. La unidad consta de una ranura horizontal iluminada internamente, en la que están marcadas tres posiciones de detención. Cada posición de detención se identifica mediante el tipo de aeronave a la que corresponde. Cuando la aeronave entra en el puesto de estacionamiento, el piloto verá la totalidad de la ranura horizontal de color verde. Al desplazarse la aeronave hacia adelante, a lo largo del eje del puesto de estacionamiento, la parte izquierda de la ranura comienza a verse roja y, seguidamente, el sector rojo aumenta gradualmente de tamaño. La aeronave llega a la posición de detención cuando la interfaz entre los sectores rojo y verde está alineada con la marca de detención (en la ranura) correspondiente a ese tipo de aeronave.



**Figura 12-5. Indicador de posición de detención constituido por un robot de brazo articulado**

#### **Sistemas con un robot de brazo articulado**

12.3.19 En la Figura 12-5 se presenta un sistema de guía visual para el atraque a base de un robot con brazo articulado. El sistema consta de dos elementos, una unidad de guía en azimut y un indicador de la posición de detención. La unidad de guía en azimut puede instalarse en la prolongación del eje del puesto de estacionamiento de aeronave ya sea en la fachada del edificio terminal, ya sea en cualquier otro edificio. En este caso podría tratarse de cualquiera de los modelos actualmente utilizados en los que se aplica el principio de paralaje o una señal luminosa codificada por colores según lo recomendado en el Anexo 14, Volumen I, 5.3.22. La unidad de guía en azimut puede también tener emplazamiento común con el indicador de posición de detención. Este está constituido por una doble señal visible colocada a ambos lados de la varilla de detención, basándose en el principio de alidada por el que el piloto o el copiloto pueden colocar la aeronave a lo largo del eje del puesto de estacionamiento y la precisión en la guía aumenta a medida que la aeronave se acerca al

indicador de posición de detención. La fiabilidad del sistema aumenta por el hecho de que el piloto y el copiloto pueden utilizar simultáneamente la información relativa a la guía en azimut.

12.3.20 La precisión en la detención se obtiene mediante un robot (véase la Figura 12-5) con un brazo articulado que presenta en el espacio el indicador de posición de detención (y, dado el caso, un segundo blanco para guía en azimut). El indicador de la posición de detención tiene la forma de una minibarrera luminosa, o varilla de detención, con la que el piloto o el copiloto debe poner en contacto el parabrisas de la aeronave. La pieza de la unidad que se pone en contacto con la aeronave debe ser frangible y no debe ocasionar ningún daño a la aeronave sea cualquiera el punto en que ésta se detenga. La varilla de parada se sitúa en el espacio perpendicular al eje del puesto de estacionamiento de aeronave o a la altura de la parte inferior del parabrisas. El amortiguador está instalado en el extremo del brazo, mediante un dispositivo que lo mantiene en posición horizontal donde quiera que se coloquen los elementos de la barrera robótica.

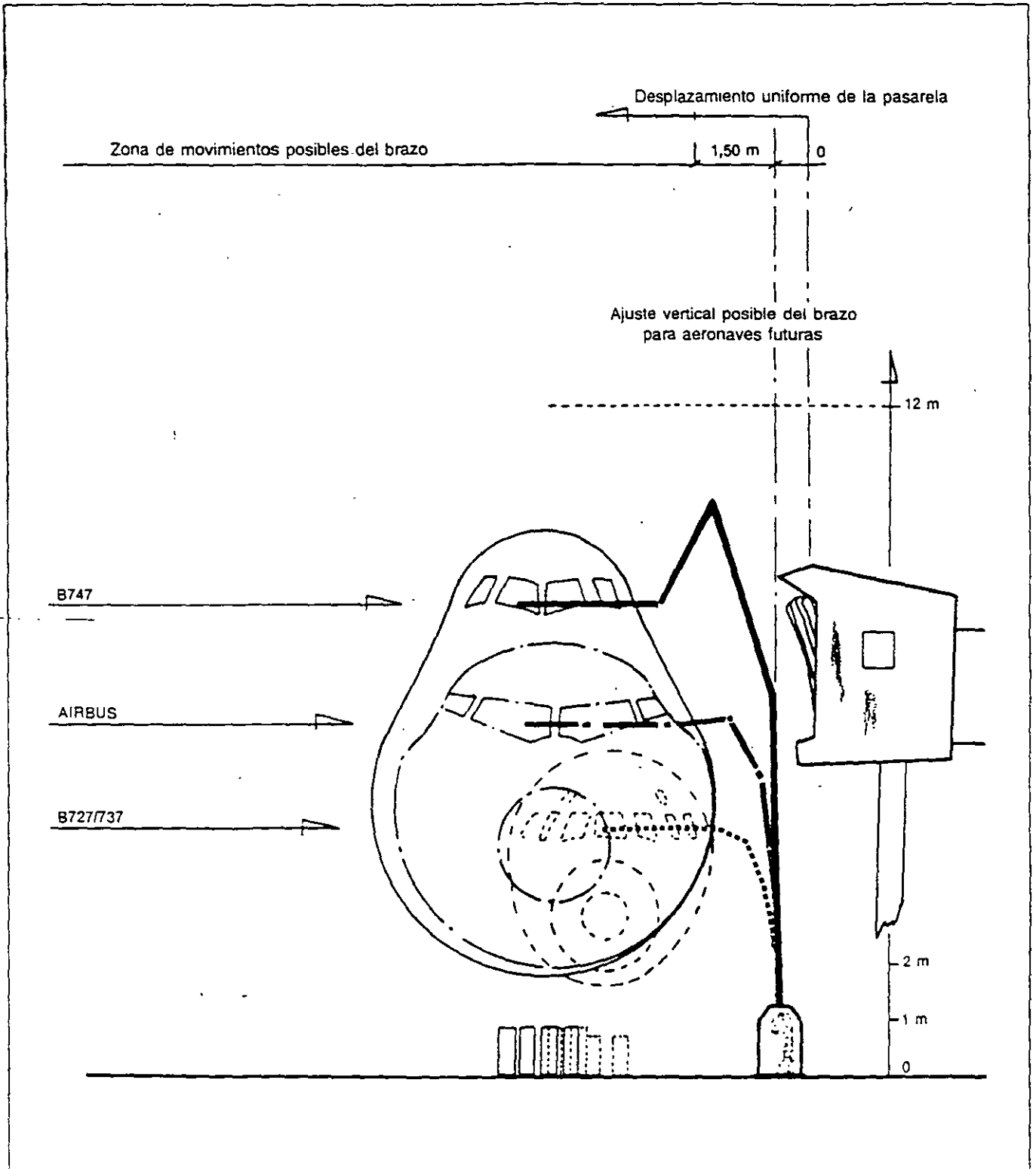


Figura 12-6. Ejemplos característicos de posiciones del brazo

12.3.21 En el robot articulado se aplican las técnicas industriales modernas de los robots. Un sistema de microcomputadora proporciona el telemando para los movimientos del robot mediante un dispositivo servomecánico hidráulico que lo hace actuar o dejar de actuar según una secuencia de movimientos cuidadosamente estudiados para evitar que se interfiera en otras actividades del puesto de estacionamiento de aeronave. En el sistema se almacenan los datos de la posición de detención de todos los tipos de aeronave que hayan sido incluidos en su memoria, sea cual fuere la geometría del puesto de estacionamiento de aeronave. La Figura 12-6 es un diagrama de los diversos movimientos del brazo articulado. Los programas para los correspondientes movimientos se almacenan en memoria de sola lectura con el fin de salvar la información y conservarla cuando se desconecta el sistema.

12.3.22 La seguridad del sistema se obtiene aplicando dos principios completamente independientes: seguridad pasiva basada en una comparación sistemática de dos valores correspondientes a un movimiento y sólo uno y la seguridad activa que se basa en bloquear instantáneamente el sistema en caso de falla de cualquier componente mecánico o hidráulico. Solamente si todas las partes y componentes del sistema están funcionando se puede volver a la posición de "descanso". Si se produjera cualquier daño de la estructura por choque, podría retirarse la barrera manualmente actuando sobre cada conexión por separado. Para comprobar que no ha habido ninguna deformación de la estructura, se pone la varilla de detención en el modo automático a la altura de un "punto de prueba" emplazado sobre el suelo.

12.3.23 El sistema se activa puntualmente o por telemando mediante un tablero alfanumérico equipado con un botón de detención de emergencia, que permite desplegar la barrera robótica oprimiendo teclas preseleccionadas de conformidad con el tipo de aeronave. El tipo de aeronave

que va a entrar en el puesto de estacionamiento se presenta en un indicador alfanumérico, según lo recomendado en el Anexo 14, Volumen I, 5.3.22. El indicador está instalado en la armadura de la varilla de detención o con una marca de visión en azimut, cuando el indicador está situado en la prolongación del eje del puesto de estacionamiento, en frente de la aeronave.

12.3.24 El sistema está basado en el principio de percibir directamente un límite indicado en el espacio, sin necesidad de proporcionar información codificada al piloto. La interpretación del sistema es inmediata y particularmente fiable, puesto que se basa en una evaluación de la distancia que queda entre la aeronave y el indicador de posición de detención así como en la velocidad de acercamiento. El sistema es completamente independiente de la altura de los ojos del piloto, o del copiloto, y puede ser utilizado por cualquiera de ellos independientemente de la carga de la aeronave.

12.3.25 El sistema puede utilizarse cualesquiera que sean las condiciones meteorológicas y a temperaturas comprendidas entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $+60^{\circ}\text{C}$ . El sistema permite detener la aeronave con gran precisión, de forma que puedan utilizarse pasarelas telescópicas fijas para diversos tipos de aeronaves. El sistema coloca el indicador de posición de detención en puntos de coordenadas anteriormente registradas. La precisión del sistema es del orden de 5 cm, por lo que las maniobras de atraque pueden realizarse en condiciones de máxima seguridad y comodidad. Es posible modificar los ejes del puesto de estacionamiento de aeronave, sin necesidad de que intervengan ingenieros civiles, mediante un proceso de reprogramación y trasladando meramente la unidad de guía en azimut, cuando no esté en emplazamiento común con el indicador de posición de detención. Tanto en lo que respecta a las características mecánicas, como a las posibilidades de programación de datos, la barrera robótica permite el atraque de todos los tipos actualmente conocidos de aeronaves comerciales a lo largo de un eje, o a lo largo de diversos ejes.

# Capítulo 13. ILUMINACIÓN DE LA PLATAFORMA CON PROYECTORES

## 13.1 INTRODUCCIÓN

13.1.1 En los textos siguientes se proporciona orientación sobre la aplicación de las disposiciones del Anexo 14, Volumen I, 5.3.21.

13.1.2 Una plataforma es un área definida, en un aeródromo terrestre, destinada a dar cabida a las aeronaves, para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento. Las aeronaves entran normalmente en estas áreas impulsadas por sus motores o remolcadas, y es necesario que estén suficientemente iluminadas para que en ellas puedan desarrollarse las actividades citadas, con seguridad y eficacia durante la noche.

13.1.3 La parte de la plataforma en la que se encuentran los puestos de estacionamiento de las aeronaves requiere un nivel de iluminación relativamente elevado. Las dimensiones de cada uno de los puestos de estacionamiento de aeronave están, en gran parte, determinadas por el tamaño de la aeronave y por el espacio libre necesario para las maniobras de entrada y de salida, en condiciones de seguridad, en dichos puestos de estacionamiento.

## 13.2 FUNCIONES DE LA ILUMINACIÓN DE LA PLATAFORMA CON PROYECTORES

13.2.1 Las funciones primarias de la iluminación de la plataforma con proyectores son las siguientes:

- a) ayudar al piloto en el rodaje de la aeronave para entrar y para salir del puesto definitivo de estacionamiento;
- b) proporcionar iluminación adecuada para el embarque y desembarque de pasajeros, para que el personal lleve a cabo las funciones de carga y de descarga de mercancías, reabastecimiento de combustible y cualesquiera otras para servicios en la plataforma; y
- c) mantener la seguridad del aeropuerto.

### Rodaje de las aeronaves

13.2.2 En las maniobras de rodaje de la aeronave en la plataforma, el piloto depende principalmente de la iluminación con proyectores. La iluminación uniforme del pavimento dentro del puesto de estacionamiento de la aeronave y la eliminación de resplandores son requisitos de gran importancia. En las calles de rodaje, adyacentes a los puestos de

estacionamiento de aeronave, es de desear que haya una iluminación de menor intensidad a fin de que se logre una transición gradual hacia la iluminación más intensa de los puestos de estacionamiento de aeronave.

### Funciones de servicio en la plataforma

13.2.3 Estas funciones requieren la iluminación uniforme del puesto de estacionamiento de aeronave, en grado suficiente para llevar a cabo la mayoría de las tareas. Allí donde se produzcan sombras inevitables, puede ser necesario contar con iluminación suplementaria para algunas tareas.

### Seguridad del aeropuerto

13.2.4 La iluminación debería ser suficiente para que pueda detectarse la presencia en la plataforma de personas no autorizadas y para identificar al personal que se encuentra en los puestos de estacionamiento de aeronaves o cerca de ellos.

## 13.3 REQUISITOS EN CUANTO A LA EFICACIA DE LOS SISTEMAS

### Selección de la fuente luminosa

13.3.1 Pueden emplearse diversas fuentes luminosas. La distribución espectral de las luces puede ser tal que puedan identificarse todos los colores utilizados para señales de aeronaves relacionados con los servicios ordinarios, así como las señales de superficie y de obstáculos. La experiencia ha demostrado que son adecuados para este fin las lámparas de halógeno incandescentes y las diversas lámparas de descarga de gas a alta presión. Las lámparas de descarga, por la índole de su distribución espectral, producirán desplazamiento de colores. Por lo tanto, es imprescindible comprobar los colores producidos por las lámparas tanto a la luz del día como con luz artificial, a fin de garantizar de forma inequívoca la identificación de los colores. A veces puede ser útil ajustar la combinación de colores utilizada para las señales de superficie y de obstáculos. Por razones económicas, se recomiendan las lámparas de sodio de alta presión o las lámparas de haluro de mercurio de alta presión.

### Luminancia

13.3.2 Para la perfección de los colores es necesario un nivel mínimo de 20 lux, y éste se considera ser el requisito mínimo para las tareas que deben llevarse a cabo en los

puestos de estacionamiento de aeronave. Para proporcionar la visibilidad óptima, es esencial que la luminancia en los puestos de estacionamiento de aeronave sea uniforme, dentro de una relación de 4 a 1 (de valor promedio a mínimo). En este contexto, el promedio de luminancia vertical a una altura de 2 m no debería ser inferior a 20 lux en las direcciones pertinentes.

13.3.3 Para mantener condiciones de visibilidad aceptables, el promedio de luminancia horizontal en la plataforma, salvo cuando se realizan funciones de servicio, no debería ser inferior al 50% del promedio de luminancia horizontal de los puestos de estacionamiento de aeronave, dentro de una relación de uniformidad de 4 a 1 (de valor promedio a mínimo) en esta zona.

13.3.4 Debe reconocerse que para algunas tareas visuales es necesario tener iluminación suplementaria, por ejemplo con luces portátiles. Sin embargo, debería evitarse el uso de los faros de los vehículos para fines que no sean el de conducirlos.

13.3.5 Por razones de seguridad, puede ser necesario recurrir a más iluminación que a la indicada anteriormente.

13.3.6 El área que se encuentra entre los puestos de estacionamiento de aeronave y los límites de la plataforma (equipo de servicio, zona de estacionamiento, carreteras de servicio) debería iluminarse con un promedio de luminancia horizontal de 10 lux. Si los proyectores montados a nivel más elevado no iluminan adecuadamente esta zona, podrían utilizarse faroles antideslumbrantes del tipo de alumbrado público. En las Figuras 13-1, 13-2, 13-3 y 13-4 se presentan algunos ejemplos de iluminación en las plataformas.

### Deslumbramiento

13.3.7 Debería evitarse la luz directa procedente de los proyectores en la dirección de la torre de control y de las aeronaves que aterrizan. El enfoque de la luz de los proyectores debería ser, en la medida de lo posible, hacia afuera de la torre de control o de las aeronaves que aterrizan. Debería restringirse a un mínimo el uso de la luz directa de los reflectores por encima del plano horizontal (véanse las Figuras 13-5 y 13-6.)

13.3.8 A fin de reducir al mínimo el deslumbramiento directo o indirecto:

- a) la altura de montaje de los proyectores debería ser por lo menos dos veces el máximo de la altura de los ojos de los pilotos de las aeronaves que utilizan habitualmente el aeropuerto (véase la Figura 13-6);
- b) el emplazamiento y altura de los postes debería ser tal que se reduzca a un mínimo el inconveniente de deslumbrar al personal de tierra.

Para satisfacer estos requisitos, será necesario enfocar cuidadosamente la luz de los proyectores, prestandose debida

atención a su distribución luminosa. Tal vez sea necesario adaptar la distribución luminosa mediante pantallas.

### Iluminación de emergencia

13.3.9 Para atender a la posibilidad que se interrumpa el suministro de energía eléctrica, se recomienda disponer de suficiente iluminación para seguridad de los pasajeros (véase también 13.4.3).

## 13.4 CRITERIOS DE DISEÑO

### Aspectos de la iluminación

13.4.1 Además de los criterios de diseño que corresponden a los requisitos en materia de eficiencia, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos al diseñar el sistema de iluminación con proyectores de la plataforma:

- a) la altura de los mástiles en los que vayan montados los proyectores debería conformarse a los requisitos de franqueamiento de obstáculos pertinentes que figuran en el Anexo 14, Volumen I, Capítulo 4;
- b) debería evitarse la obstrucción visual del personal de la torre de control. A este respecto, debería prestarse particular atención al emplazamiento y a la altura de las torres para iluminación con proyectores;
- c) la disposición y el enfoque de las luces con proyectores deberían ser tales que los puestos de estacionamiento de aeronaves reciban la luz de diversas direcciones para reducir a un mínimo las sombras. Se obtienen mejores resultados mediante la iluminación uniforme de toda el área y no dirigiendo las luces de diversos proyectores hacia las aeronaves (véanse las Figuras 13-7 y 13-8).

### Aspectos físicos

13.4.2 Durante la etapa de diseño de un aeropuerto, debe prestarse la debida atención a los aspectos físicos de la plataforma, a fin de proporcionar una iluminación eficiente de la misma con proyectores. La selección definitiva del emplazamiento y de la altura de los proyectores depende de lo siguiente:

- a) dimensiones de la plataforma;
- b) disposición de los puestos de estacionamiento de aeronave;
- c) disposición de las calles de rodaje y configuración del tráfico;
- d) áreas y edificios adyacentes, especialmente las torres de control; y
- e) emplazamiento y condición de las pistas y de las áreas de aterrizaje para helicópteros.

Nota.— En el Manual de proyecto de aeródromos. Doc 9157, Parte 2, se proporciona orientación relativa a las dimensiones de la plataforma y de los puestos de estacionamiento.

### Aspectos eléctricos

13.4.3 Si se utilizan lámparas de descarga, debería emplearse un sistema de alimentación de energía eléctrica trifásico, para evitar los efectos estroboscópicos. Si se utilizan lámparas de descarga de alta presión, puede disponerse de la iluminación de emergencia ya sea mediante lámparas incandescentes de halógeno, ya sea mediante circuitos especiales para algunas de las lámparas de descarga de alta presión.

### Aspectos de mantenimiento

13.4.4 El sistema de iluminación debería diseñarse de manera que los gastos de mantenimiento no sean excesivos. Si el acceso a las luces fuera difícil, resulta mucho más económico efectuar los cambios de lámparas por grupos. Puesto que el coste de la sustitución de las lámparas de las luces montadas a gran altura puede ser considerable, deberían utilizarse lámparas de larga vida útil. De ser posible, las luces deberían colocarse en un lugar de fácil acceso sin necesidad de equipo especial. Los postes altos podrían estar dotados de escalones o de dispositivos para subir o bajar las lámparas para fines de mantenimiento.

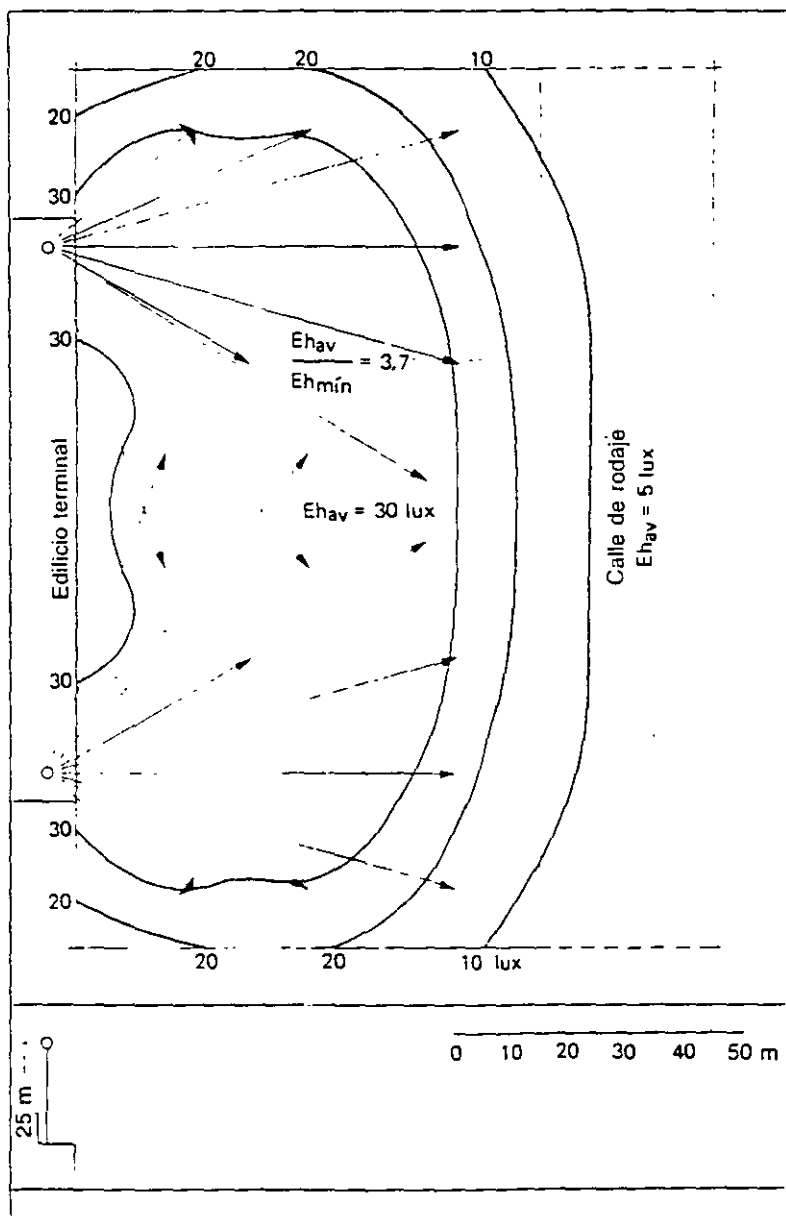


Figura 13-1. Curvas características de isolux para luminancia horizontal (Ejemplo A)



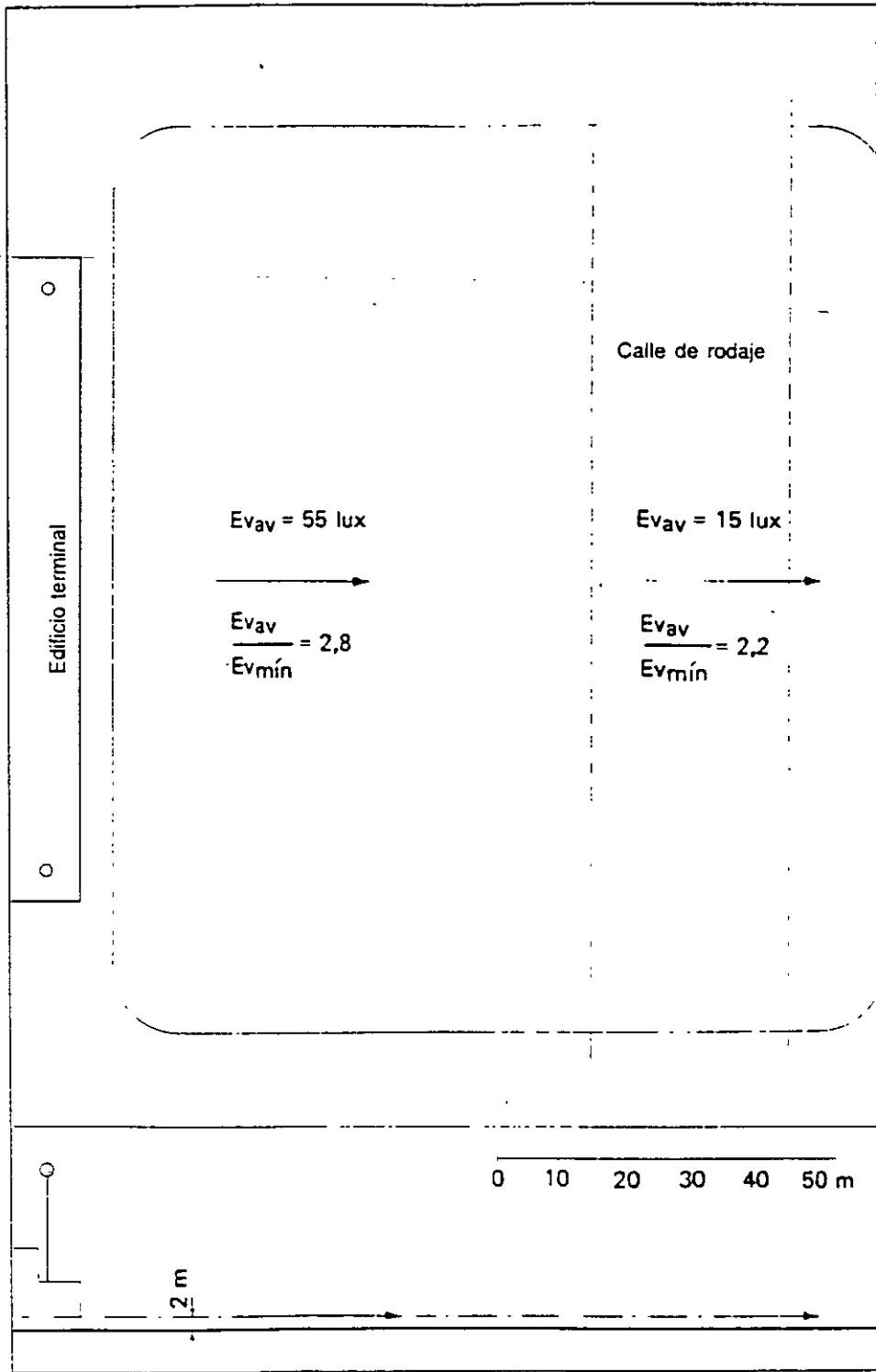


Figura 13-2. Promedio característico de luminancia vertical a 2 m de altura (Ejemplo A)

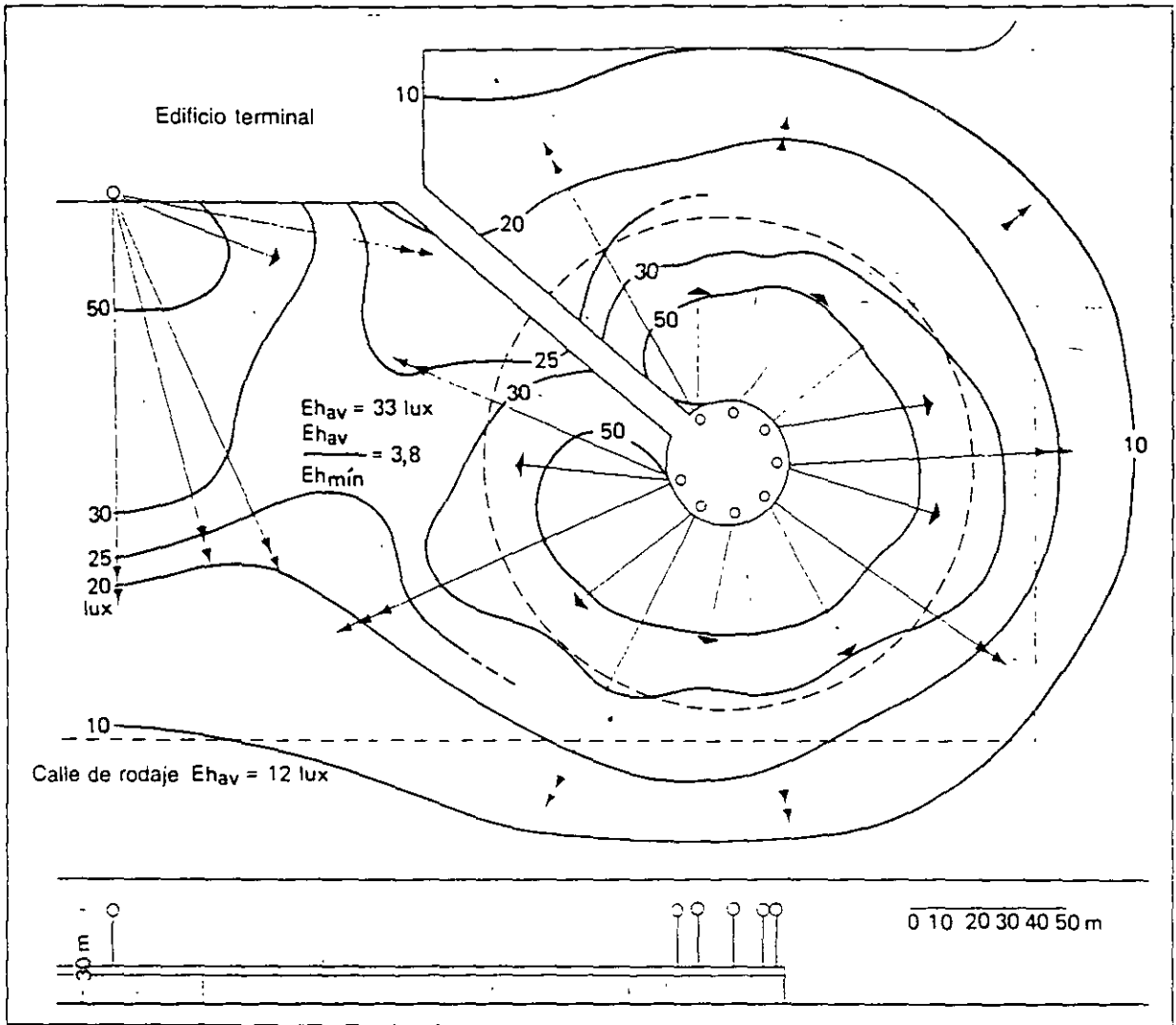


Figura 13-3. Curvas características de isolux para luminancia horizontal (Ejemplo B)

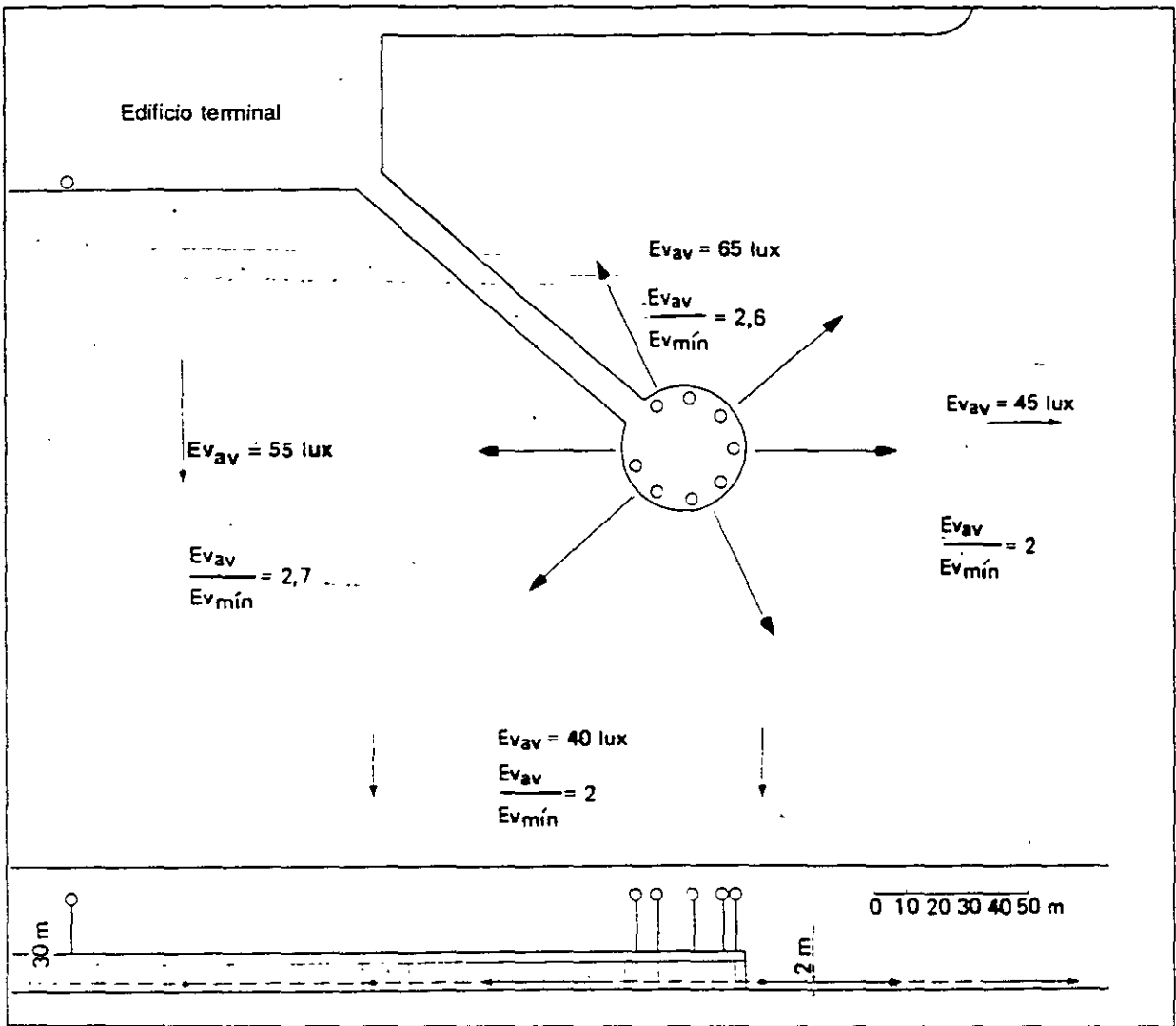


Figura 13-4. Promedio característico de luminancia vertical a 2 m de altura (Ejemplo B)

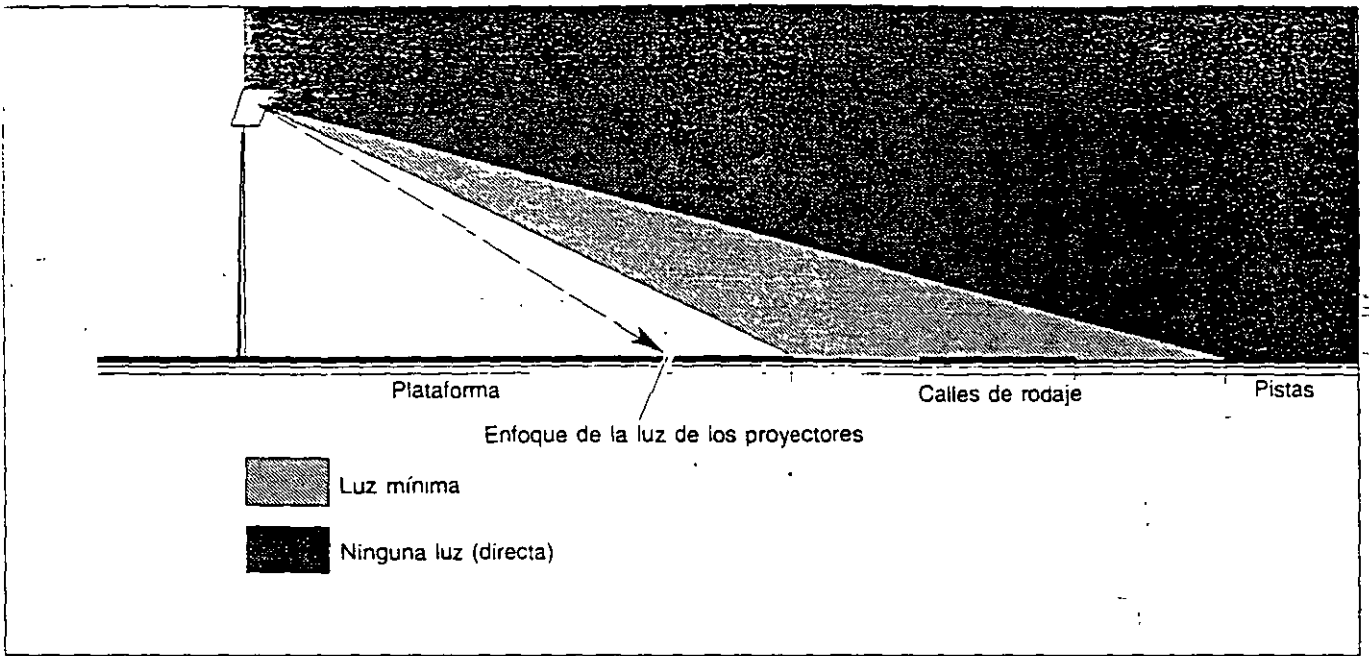


Figura 13-5. Enfoque de las luces para evitar el deslumbramiento

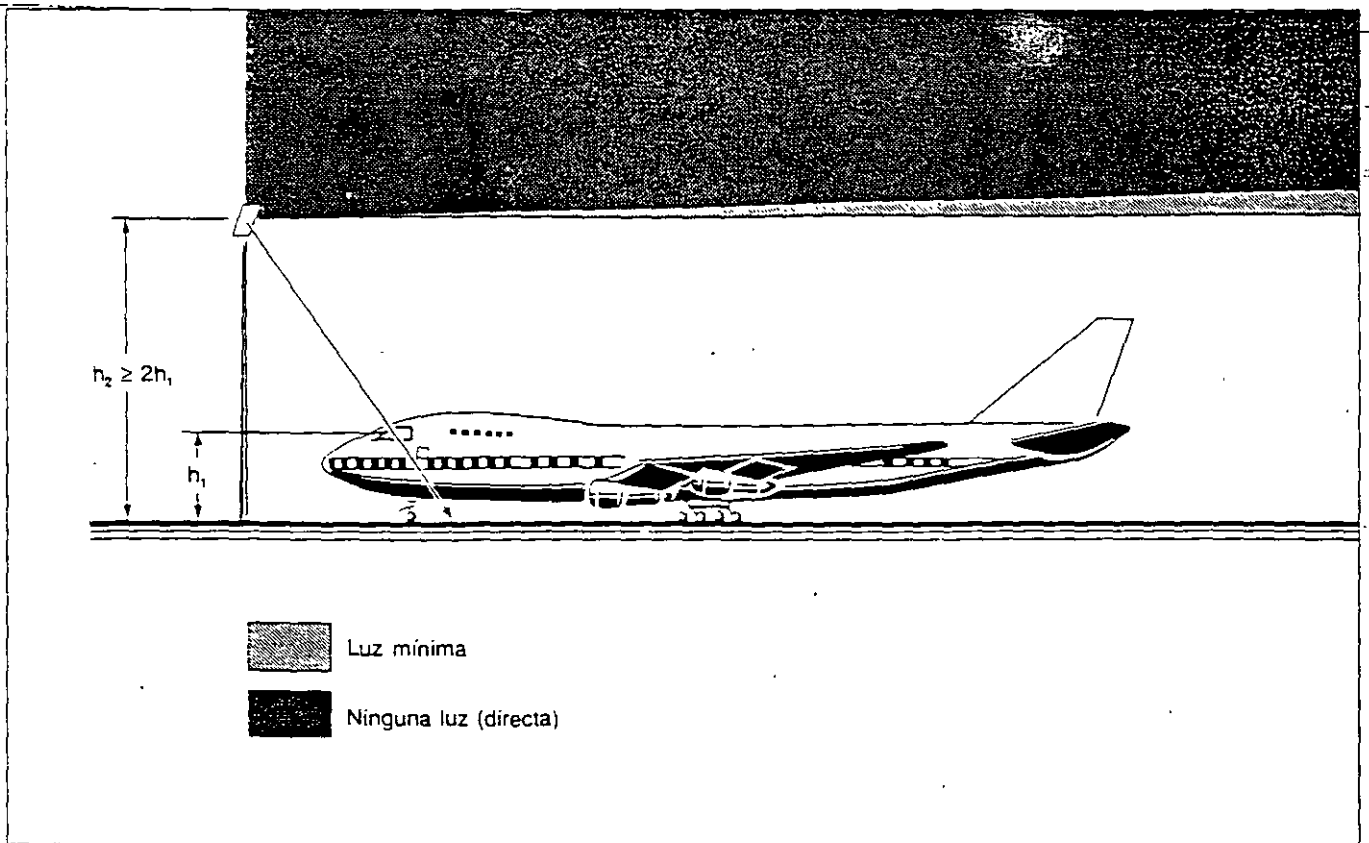


Figura 13-6. Altura de montaje para evitar el deslumbramiento

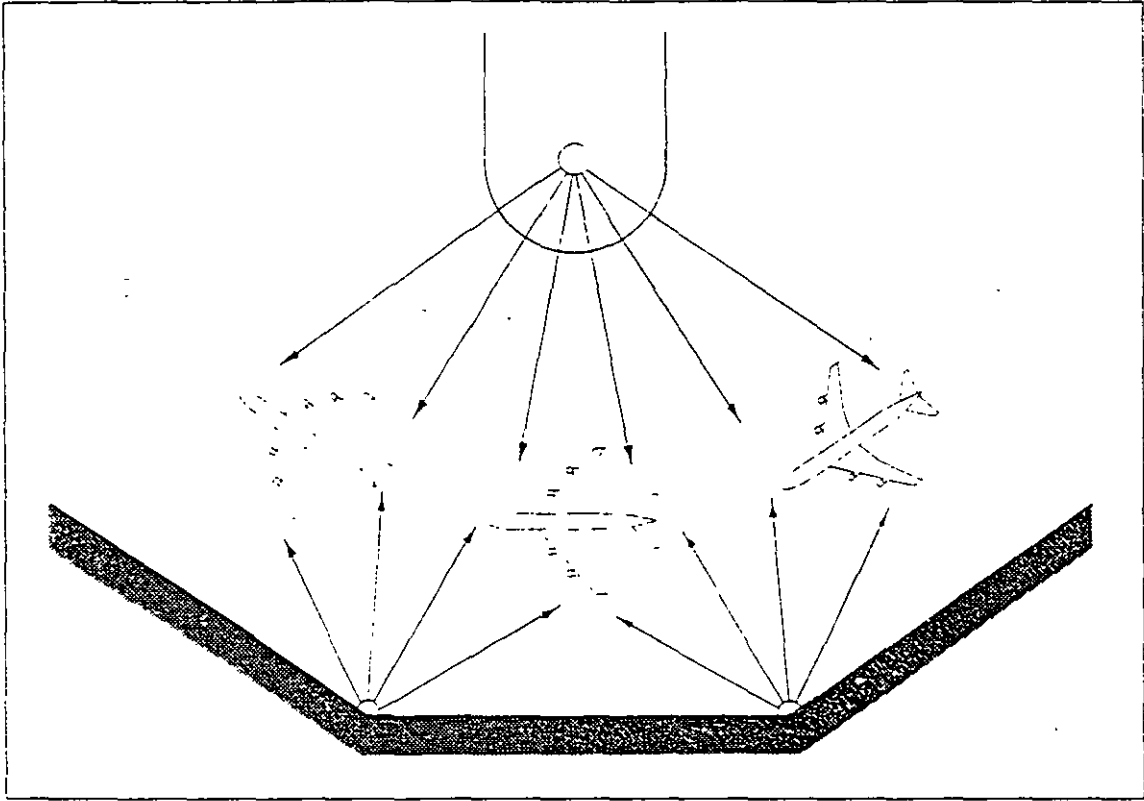


Figura 13-7. Disposición y enfoque característicos de las luces de reflectores para estacionamiento en paralelo

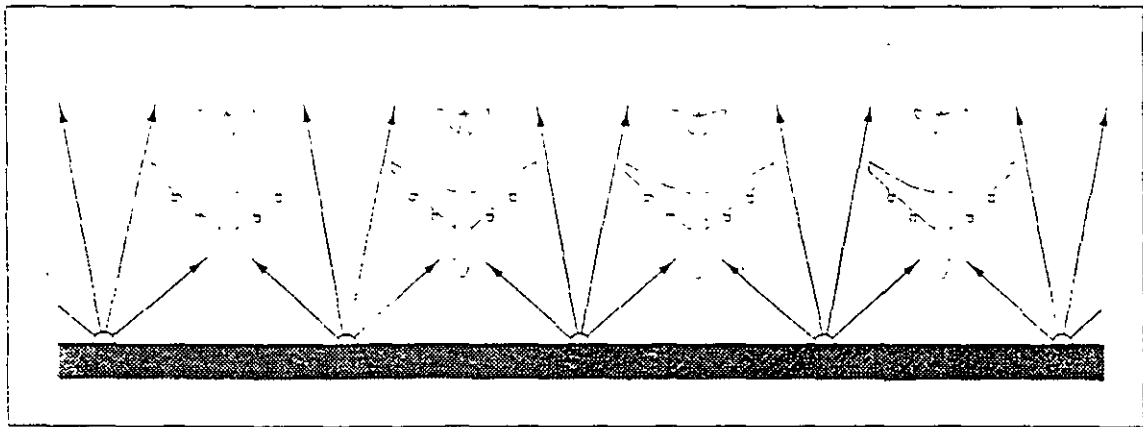


Figura 13-8. Disposición y enfoque característicos de las luces de proyectores para estacionamiento con la proa hacia adentro

# Capítulo 14. LUCES DE OBSTÁCULOS DE GRAN INTENSIDAD

## 14.1 INTRODUCCIÓN

14.1.1 Las luces blancas de obstáculos de gran intensidad se concibieron para contar con un medio perfeccionado, y hasta hoy el más eficaz, de indicar a los pilotos la presencia de obstáculos elevados durante las horas diurnas, de crepúsculo y de luz nocturna.

14.1.2 Las señales de obstáculos de franjas alternadas de color naranja y de color blanco han demostrado ser eficaces solamente durante el día, en condiciones meteorológicas despejadas, cuando el sol está por detrás del piloto, cuando este se mueve hacia el objeto y cuando las superficies pintadas están en buen estado, es decir, no están descoloridas, astilladas o desconchadas. Una estructura pintada con el sol por detrás parecerá totalmente gris para el piloto que se aproxima y puede incluso confundirse por completo con el fondo, de forma que sea difícil, e incluso imposible, localizarla. Lo mismo puede decirse de los cables para líneas de transmisión suspendidas, incluso cuando se hacen más conspicuos mediante balizas. Esto ocurre, en particular, durante las horas de crepúsculo y los periodos de visibilidad reducida.

14.1.3 Las luces blancas de obstáculo de elevada intensidad, se utilizan normalmente en estructuras elevadas tales como torres de antena de radio, torres de antena de televisión, chimeneas, torres de refrigeración (véanse las Figuras 14-1 y 14-2). Las luces, para que se distingan estas estructuras, emiten destellos simultáneamente. Las luces de obstáculo de elevada intensidad se utilizan también en las estructuras de soporte de las líneas de transmisión suspendidas (véase la Figura 14-3). En este caso, las luces emiten destellos según una secuencia característica, con codificación vertical, que sirve no sólo para identificar las torres y las líneas de transmisión sino también para advertir a los pilotos de que están aproximándose a un obstáculo complejo y no a uno aislado.

14.1.4 El uso de luces de obstáculo blancas de elevada intensidad permite con más facilidad identificar la estructura como obstáculo en condiciones de bruma, con pleno sol directamente por detrás de la estructura, en el crepúsculo y en condiciones nocturnas de utilización.

14.1.5 Durante el crepúsculo y durante la noche, las luces funcionan a intensidades progresivamente reducidas para evitar deslumbramiento.

14.1.6 Debería ser posible el ajuste angular de la intensidad máxima del haz luminoso, desde un valor de cero

grados hasta un valor de 8° por encima de la horizontal. Normalmente las luces deberían instalarse de forma que la intensidad máxima del haz se produzca a una elevación de 0°. Cuando lo exijan las condiciones topográficas, las zonas residenciales vecinas u otras situaciones, puede ser conveniente elevar el haz luminoso de los elementos más bajos uno o dos grados por encima de la horizontal. El haz luminoso proveniente de las luces a niveles inferiores no debería orientarse hacia un lugar del terreno situado a menos de 4,8 km de la estructura, para impedir molestias a los residentes de las cercanías.

14.1.7 Se requiere utilizar un haz relativamente estrecho en sentido vertical para proporcionar la intensidad máxima de la luz a altitudes en las que sería posible una colisión con el obstáculo, mientras que el personal de tierra, o el de a bordo a mucha altura sobre el obstáculo, reciben solamente una luz difusa.

14.1.8 Puede omitirse la señalización de estructuras con luces de obstáculo rojas, de mediana y de baja intensidad, y con pintura de color naranja y blanco, cuando se utilicen durante el día luces de obstáculo de gran intensidad.

## 14.2 OBSTÁCULOS AISLADOS

14.2.1 Entre los objetos aislados se incluyen las torres de antenas para radio y para televisión, las chimeneas, las torres de refrigeración y los edificios sobresalientes. Las luces de obstáculos blancas de gran intensidad, deberían tener durante el día una intensidad efectiva no inferior a 200 000 cd. La intensidad de las luces debería reducirse automáticamente a 20 000 cd ( $\pm 25\%$ ) durante el crepúsculo, mediante el empleo de fotocélulas, también automáticamente a una intensidad de 4 000 cd ( $\pm 25\%$ ) durante la noche, mediante el uso de una segunda fotocélula. Todas las luces instaladas sobre una estructura deberían emitir destellos simultáneos a un régimen de 40 destellos por minuto.

14.2.2 El número de niveles de luces necesario dependerá de la altura total de la estructura por encima del nivel del terreno. El nivel superior de luces debería colocarse entre 1,5 m y 3 m por debajo de la parte superior de la estructura. El nivel más bajo no debería estar a una altura inferior a 75 m por encima de la base, y preferiblemente a 90 m sobre la base. El espaciado vertical entre los niveles intermedios debería oscilar entre 75 m y 105 m. Las torres de refrigeración por debajo de una altura de 180 m sólo requieren un nivel de luces en la parte superior, debido a su gran diámetro.



Figura 14-1. Luces de obstáculo de elevada intensidad instaladas sobre una chimenea

14.2.3 El número de elementos luminosos necesario por nivel dependerá del promedio de diámetro exterior de la estructura de que se trate. Las cifras recomendadas para obtener la cobertura adecuada son las siguientes:

- a) estructuras de 6 m o menos — 3 elementos luminosos por nivel;
- b) estructuras de altura comprendida entre 6 m y 30 m — 4 elementos luminosos por nivel;
- c) estructuras de altura comprendida entre 30 m y 60 m — 6 elementos luminosos por nivel;
- d) estructuras de altura superior a 60 m — 8 elementos luminosos por nivel.

14.2.4 En el caso de torres o antenas affianzadas con tirantes, cuando no sea posible colocar en la parte superior una luz de obstáculo de elevada intensidad, dicha luz debería colocarse en el punto más alto posible, con otra luz de obstáculo de mediana intensidad que aparezca como blanca

instalada en la parte superior. La luz de mediana intensidad debería emitir destellos al unísono con las luces de elevada intensidad instaladas en la estructura, a un régimen de 40 destellos por minuto. La intensidad efectiva de los destellos debería ser de 20 000 cd ( $\pm 25\%$ ) durante el día o en condiciones crepusculares, y de 4 000 cd ( $\pm 25\%$ ) durante la noche. Durante el día, la luz de intensidad media identificaría particularmente la parte superior de la estructura después de que el piloto llegue a distinguirla mediante las luces de obstáculo de elevada intensidad (200 000 cd).

### 14.3 OBSTÁCULOS COMPLEJOS

14.3.1 Entre los obstáculos complejos se incluyen las estructuras de apoyo de cables suspendidos para transmisión de energía eléctrica. El objetivo de señalar la estructura de apoyo (torre) de las líneas de transmisión suspendidas, a base de un sistema de destellos exclusivo, en sentido vertical y en

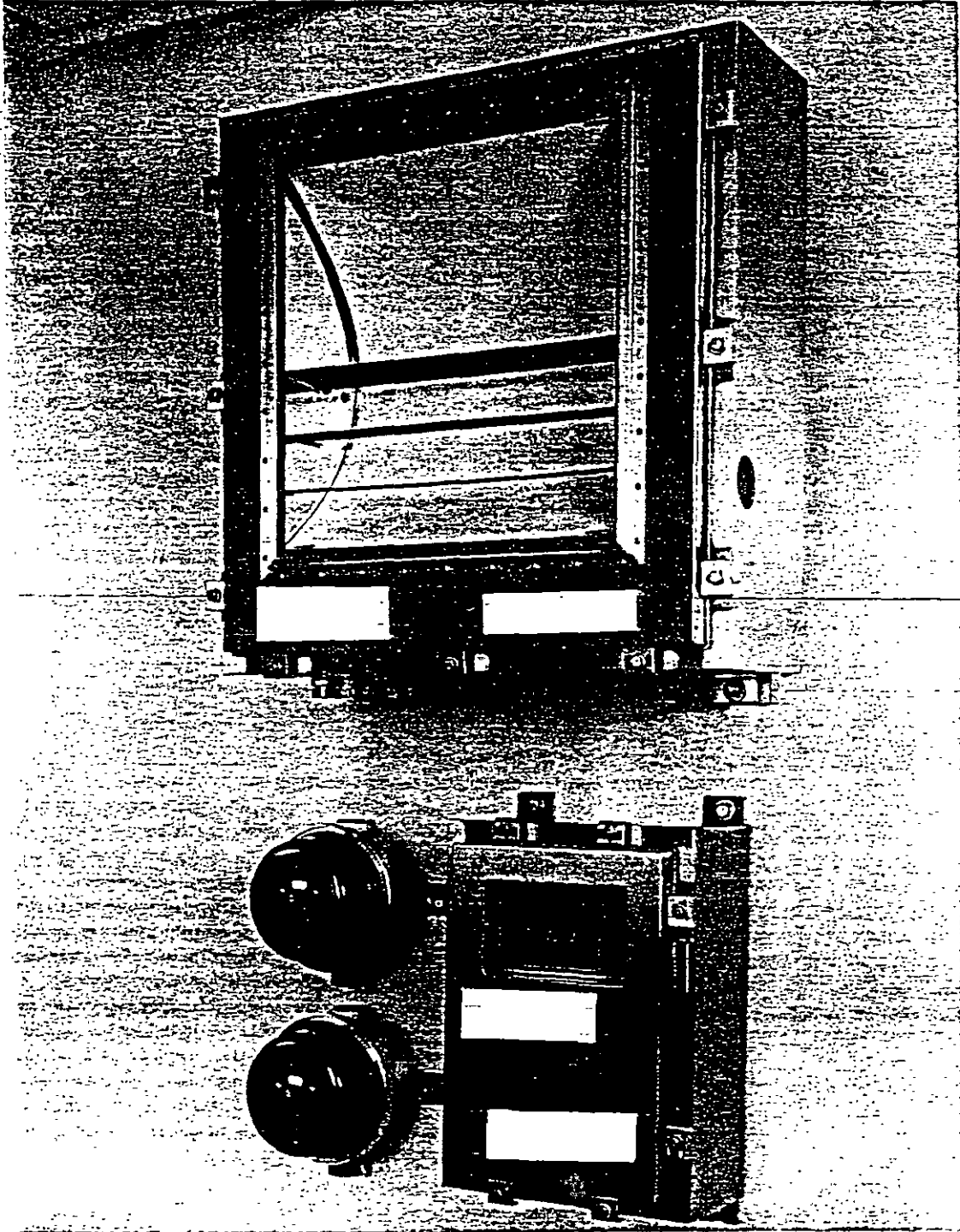


Figura 14-2. Elemento luminoso característico para luces de obstáculo de elevada intensidad



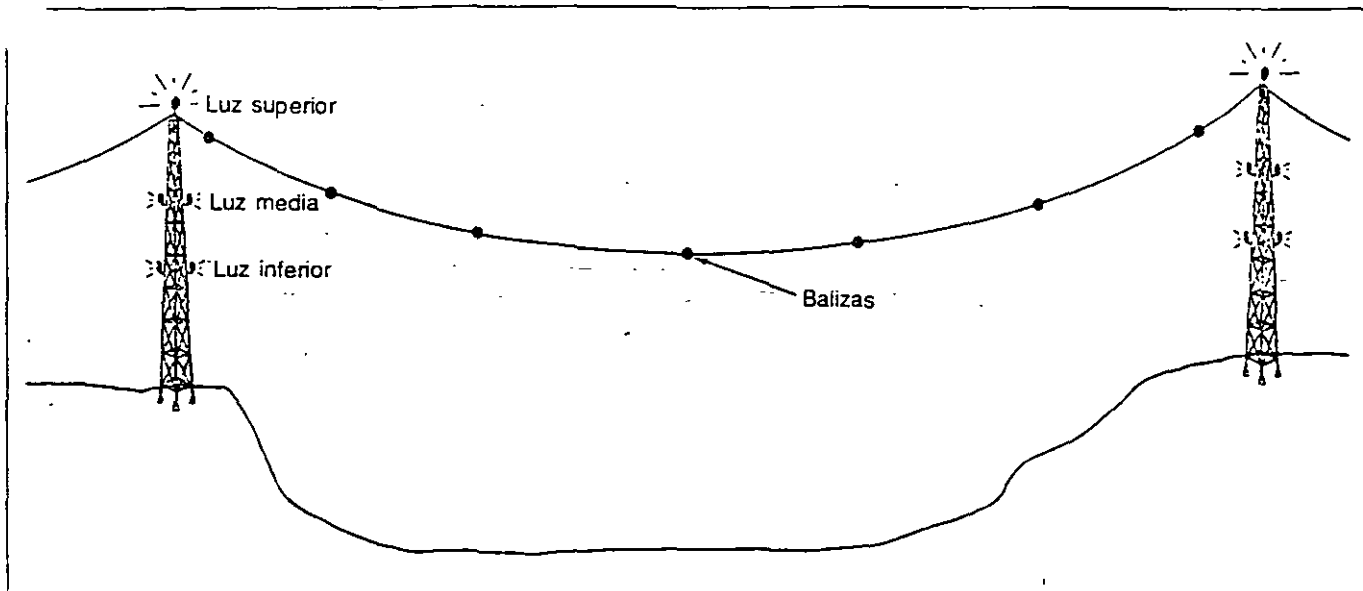


Figura 14-3. Emplazamiento de las luces de obstáculo de elevada intensidad en torres para soporte de cables suspendidos

secuencia, es el de advertir suficientemente a los pilotos acerca de la presencia tanto de las torres como de los cables suspendidos entre éstas. Los antiguos sistemas de señalización por la noche, consistentes en pintura y luces rojas de mediana intensidad, no proporcionaban ninguna indicación acerca de la presencia de líneas de transmisión; por lo que se recomienda este sistema exclusivo de iluminación de elevada intensidad. Este sistema de iluminación de elevada intensidad requiere la utilización de una secuencia de destellos exclusiva, fácilmente reconocible y codificada en sentido vertical, así como la señalización de dos o más estructuras a ambos lados de la trayectoria de vuelo, por ejemplo, río, valle, carretera principal, etc. Aunque no es absolutamente necesario, es conveniente que los destellos de todas las estructuras iluminadas se emitan de forma sincronizada.

14.3.2 Las luces de obstáculo de elevada intensidad, colocadas sobre un obstáculo complejo tal como torres de apoyo de cables suspendidos, deberían tener una intensidad efectiva durante el día no inferior a 100 000 cd. La intensidad de las luces debería reducirse automáticamente a 20 000 cd ( $\pm 25\%$ ) durante el crepúsculo, mediante el empleo de fotocélulas, y también automáticamente a una intensidad de 4 000 cd ( $\pm 25\%$ ) durante la noche, mediante el uso de una segunda fotocélula. Las luces sobre una estructura deberían emitir secuencialmente destellos a un régimen de 60 por minuto.

14.3.3 Independientemente de su altura, las estructuras de apoyo de cables suspendidos deben señalarse mediante luces en tres niveles. El nivel más elevado de las luces debería ser el de la parte superior de la estructura de apoyo. La altura real de montaje debería ajustarse a fin de proporcionar acceso seguro a las luces para fines de mantenimiento. El nivel más

bajo debería ser el del punto más bajo de la catenaria entre dos estructuras de apoyo. Si la base de la estructura de apoyo está a más altura que el punto más bajo de la catenaria (p.ej., al cruzar un cañón), el nivel más bajo debería instalarse en el terreno adyacente, de forma que pueda verse sin impedimentos. El nivel intermedio debería estar en el punto medio entre los niveles superior e inferior (Figura 14-3).

14.3.4 Primero debería emitir destellos el nivel medio, en segundo lugar el nivel superior y en último lugar el nivel inferior. El intervalo entre los destellos del nivel superior y del nivel inferior debería ser aproximadamente el doble del intervalo entre el nivel medio y el nivel superior. El intervalo entre el final de una secuencia y el principio de la siguiente debería ser aproximadamente diez veces el intervalo entre el nivel medio y el nivel superior.

14.3.5 En cada nivel de luces deberían instalarse dos o más elementos luminosos y su luz debería dirigirse en un plano horizontal, de modo que proporcione una cobertura de  $180^\circ$  con centro en la línea de transmisión. Cuando un cruce de catenanas esté situado cerca del codo de un río, cañón, etc., las luces deberían dirigirse de forma que proporcionen la cobertura luminosa más eficaz capaz de advertir, a los pilotos que se aproximen desde cualquier dirección, la presencia de las líneas de transmisión.

#### 14.4 CÁLCULOS DE POTENCIA ELÉCTRICA

Las luces ordinarias de obstáculo de elevada intensidad, requieren aproximadamente 200 vatios de potencia por luz y el coste de energía eléctrica puede basarse en esta cifra. El

calibre del cable conductor que conduce la energía hacia arriba de la estructura debería basarse en un promedio de 400 VA por luz. Si hay que emplear transformadores, deberían diseñarse para 600 VA para impedir la saturación del alma del cable durante períodos de demanda máxima. Las luces de obstáculo de elevada intensidad funcionan habitualmente a 240 V o 480 V C.A., para reducir al mínimo el tamaño de los cables y de los conductos, pero pueden también utilizarse voltajes de sólo 120-V. Se dispone de sistemas a 50 Hz y a 60 Hz.

#### 14.5 PERCEPCIÓN DE LOS OBSTÁCULOS

Mediante la ley de Allard puede calcularse la distancia a la que un piloto alcanza a ver un obstáculo, en función de parámetros tales como la intensidad de la luz, las condiciones meteorológicas y la hora del día. Por ejemplo, el requisito de la intensidad efectiva para que la luz de obstáculo sea visible a 4.8 km, en condiciones de visibilidad meteorológica de 4.8 km durante el día, es de 180 000 cd; mientras que para ser visible a una distancia de 2 km, en condiciones de visibilidad meteorológica de 1.6 km durante el día, el requisito sería una intensidad de 100 000 cd.

#### 14.6 VIGILANCIA Y MANTENIMIENTO

14.6.1 Debería vigilarse el funcionamiento de las luces de obstáculo de elevada intensidad ya sea por medios visuales una vez cada 24 horas, ya sea de forma continua mediante la utilización de un sistema automático de vigilancia, situado en la base de la estructura o en alguna estación central distante. Puede aplicarse una alarma sonora o visual para dar la advertencia de cualquier funcionamiento defectuoso.

14.6.2 Los componentes del equipo de iluminación de descarga, comprendidas las fuentes luminosas, se diseñarán de modo que sea fácil su mantenimiento y proporcionen la eficacia especificada, durante un período por lo menos de un año sin mantenimiento. Si se efectúa anualmente la función de mantenimiento preventivo, el tiempo medio entre fallas del sistema no debería ser inferior a seis meses.

#### 14.7 INSTALACIÓN DE LUCES DE OBSTÁCULO SOBRE CABLES SUSPENDIDOS DE ALTA TENSIÓN

14.7.1 Los cables suspendidos de alta tensión constituyen un peligro importante para las aeronaves que vuelan a poca altura. Además, cuanto más elevada sea la tensión, mayor será la separación entre las torres de apoyo. Por lo tanto, la anchura de tendido de los cables es frecuentemente una distancia muy grande. Algunas veces, los cables de alta tensión cruzan un valle, o un río, sin estructuras de apoyo intermedias, haciendo

inefectiva la iluminación de los postes con luces de intensidad baja y media. Un procedimiento posible y eficaz de iluminación en tales casos consiste en instalar las luces sobre los mismos cables.

14.7.2 Sin embargo, es a veces muy difícil colocar en los mismos cables las luces de obstáculo de baja intensidad especificadas en el Anexo 14, Volumen I, 6.3. En efecto, si el voltaje de la corriente es considerable, resulta extremadamente difícil aplicarlo directamente al encendido de lámparas convencionales, por razón de los problemas conexos de aislamiento y de transformación de corriente. Además, resulta en general considerable el coste de proporcionar una fuente de energía de baja tensión (110 ó 220 voltios) para tales lámparas. El dispositivo descrito a continuación ha sido especialmente diseñado para superar estas dificultades y para facilitar la instalación de luces de obstáculo que satisfagan las especificaciones relativas a los cables de alta tensión estipuladas en el Anexo 14, Volumen I, 6.3.

14.7.3 El sistema consta de:

- a) una fuente luminosa; y
- b) un conductor auxiliar por el que circula la energía eléctrica necesaria.

14.7.4 La fuente luminosa consiste en una lámpara de descarga en una atmósfera de gas neón a baja presión, que produce directamente la luz roja sin necesidad de un filtro de color. La lámpara proporciona de este modo la máxima eficacia y tiene una vida útil del orden de varias decenas de miles de horas, requisitos indispensables para un funcionamiento razonable sobre cables de alta tensión. El principio de desviación de energía implica una fuente eléctrica de baja intensidad de corriente y de alta tensión; la lámpara está constituida por un tubo largo de vidrio de pequeño diámetro con bobinado helicoidal y dos electrodos en frío. El elemento está alojado en una manga protectora del tipo de vidrio pyrex, de un diámetro aproximado de 50 mm. Los extremos del tubo protector están sellados herméticamente con tapones metálicos, lo que permite rellenar el espacio anterior con un líquido especial para eliminar los parásitos radioeléctricos. Existen dos modelos: uno para voltajes comprendidos entre 60 kV y 220 kV y otro para voltajes comprendidos entre 380 kV y 760 kV. La lámpara propiamente dicha cueiga de suspensiones flexibles, con un lado en la línea activa y el otro en los conductores auxiliares. Así instalado, el elemento no está sometido a las vibraciones transmitidas por el cable por lo que disminuye el riesgo de deterioro.

14.7.5 El conductor auxiliar es un tramo de cable metálico conductor, aislado del cable principal y destinado a producir, por efecto capacitativo, la energía eléctrica necesaria para funcionamiento de la lámpara. La geometría del conductor auxiliar depende de la línea activa y de su voltaje. El conductor consta de tubos de 4 m de longitud, de techos de aluminio de alta pureza; cuyo número y configuración están determinados por las condiciones de funcionamiento.

longitud del cable auxiliar es inversamente proporcional al voltaje del cable principal. El conductor auxiliar está suspendido mediante aislantes de vidrio de alta resistencia mecánica y por mordazas de aluminio para evitar problemas de acoplamiento eléctrico con los cables. Las mordazas se adaptan al diámetro exacto de los cables eléctricos. Se dispone de diámetros de cable comprendidos entre 16 mm y 34 mm. El voltaje para funcionamiento de la lámpara es de varios miles de voltios.

14.7.6 Se muestra el sistema en la Figura 14-4. Para funcionar con diversos voltajes existen dos configuraciones que responden a la doble necesidad de sencillez de voltaje y de no provocar perturbaciones suplementarias en las frecuencias radieléctricas, que no sean las emitidas naturalmente por los cables de alta tensión. De esta forma se logra, en condiciones de seguridad, el objetivo de iluminar los cables de alta tensión con luces de alta intensidad, lo mismo que para otros obstáculos, y ello de forma fiable y económica.

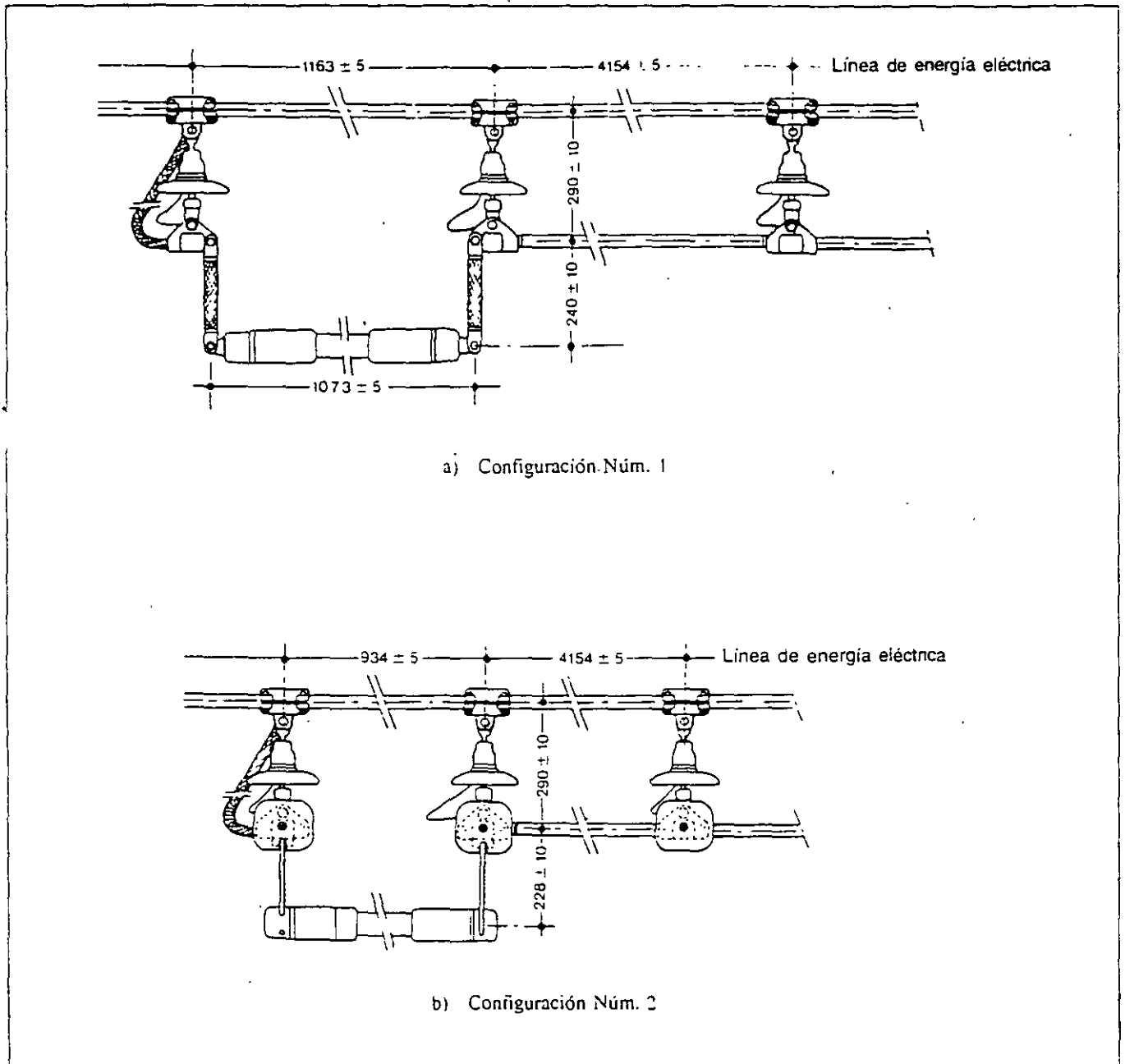


Figura 14.4. Instalación de luces de obstáculo sobre cables de alta tensión

# Capítulo 15. FRANGIBILIDAD DE LOS DISPOSITIVOS DE SUJECIÓN Y MONTAJE DE LAS AYUDAS VISUALES

## 15.1 GENERALIDADES

Son muchos los factores que hay que considerar al seleccionar los dispositivos de sujeción y de montaje de las ayudas visuales, para que se mantenga en todo momento la fiabilidad del sistema luminoso y para que las ayudas representen el mínimo peligro para las aeronaves, ya sea en vuelo o al maniobrar en tierra. Por lo tanto, es importante que se especifiquen las características adecuadas de frangibilidad de todas las ayudas visuales y que se publiquen como texto de orientación para las autoridades a cargo de su diseño. Las siguientes características son aplicables, independientemente de que la aeronave choque con el dispositivo al despegar o al aterrizar.

## 15.2 LUCES ELEVADAS DE BORDE DE PISTA, DE UMBRAL, DE EXTREMO DE PISTA, DE ZONA DE PARADA Y DE BORDE DE CALLE DE RODAJE

15.2.1 La altura de estas luces debería ser lo suficientemente reducida para asegurar que queda un margen libre de franqueamiento de las hélices y de las barquillas de los motores. La flexión de las alas y la compresión de los largueros, bajo cargas dinámicas, pueden hacer que las barquillas de los motores de algunas aeronaves se acerquen al nivel del suelo. Solamente puede tolerarse una pequeña altura y se propugna una altura máxima de 36 cm.

15.2.2 Estas ayudas deberían montarse sobre dispositivos frangibles. La carga de choque necesaria para provocar la falla en el punto de rotura no debería exceder de 5 kg y la carga estática necesaria para causar la falla no debería exceder de 230 kg, si se aplica horizontalmente a 30 cm por encima del punto de rotura del dispositivo de montaje. La altura máxima conveniente de los elementos luminosos y de su acoplamiento frangible es de 36 cm por encima del suelo. Los elementos cuya altura sobresalga de estos límites pueden requerir características de rotura más elevadas, en el dispositivo de montaje frangible, pero la frangibilidad debería ser tal, que si una aeronave chocara con el elemento luminoso, el impacto ocasionara solamente daños mínimos a la aeronave.

15.2.3 Además, todas las luces elevadas, instaladas en pistas cuyo número de clave sea 3 ó 4, deberían ser capaces de

resistir una velocidad de escape del chorro de los motores de reacción de 300 kt; y las luces instaladas en pistas cuyo número de clave sea 1 ó 2, una velocidad de escape inferior a 200 kt. Las luces elevadas de borde de calle de rodaje deberían ser capaces de resistir una velocidad de escape de 200 kt.

## 15.3 SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE APROXIMACIÓN

15.3.1 Resulta más difícil preparar las orientaciones sobre la frangibilidad de las luces de aproximación dado que su instalación está sometida a una gran variedad de condiciones. Las condiciones requeridas para la instalación cerca del umbral son distintas a las requeridas en las cercanías del principio del sistema: por ejemplo, las luces que están a menos de 90 m del umbral, o del extremo de la pista, deben ser capaces de resistir el efecto de un chorro de 200 kt, mientras que las luces que están más apartadas sólo es necesario que resistan a un chorro de 100 kt o a la fuerza natural del viento en condiciones ambientales. También se supone que el terreno cercano al umbral tiene aproximadamente la misma elevación que el umbral, de forma que las luces pueden montarse en estructuras de poca altura. A distancias más alejadas del umbral, pueden ser necesarias estructuras de apoyo de considerable altura.

15.3.2 Para reducir a un mínimo el peligro para las aeronaves, las luces de aproximación deberían tener un dispositivo frangible o deberían apoyarse en dispositivos de diseño frangible.

15.3.3 Cuando la topografía del terreno exija que la sujeción de las luces y su estructura de apoyo sean de una altura superior a 1,8 m aproximadamente, por lo que constituyen un peligro crítico, se considera que no es posible exigir que el dispositivo frangible de montaje se coloque en la base de la estructura. Puede limitarse el requisito a que la parte frangible sean los 1,8 m superiores de la estructura, salvo cuando sea frangible la misma estructura. Aunque se pone en duda que sea necesario exigir la frangibilidad de las luces de aproximación que estén instaladas a más de 300 m por delante del umbral (puesto que se exige que estas luces estén por debajo de la superficie de aproximación), se reconoce que es necesario proteger también a las aeronaves que pudieran

descender por debajo de las superficies de aproximación o de despegue. Se considera que la exigencia de que los 1.8 m superiores sean frangibles es la mínima aceptable y, siempre que sea posible, debería proporcionarse una parte superior frangible de mayor longitud.

15.3.4 En todos los casos, deberían romperse los elementos luminosos y los dispositivos de apoyo del sistema de iluminación de aproximación al aplicarse una carga de choque que no sea superior a 5 kg y una carga estática que no sea inferior a 230 kg, aplicadas horizontalmente a 30 cm por encima del punto de rotura de la estructura.

15.3.5 Donde sea necesario instalar luces de aproximación en las zonas de parada, éstas deberían estar empotradas en la superficie, si la zona de parada es pavimentada o, cuando no lo esté, las luces deberían estar empotradas o elevadas, en cuyo caso deberían conformarse a los criterios de frangibilidad especificados para las luces instaladas más allá del extremo de la pista.

## 15.4 OTRAS AYUDAS

15.4.1 Estas ayudas, por ejemplo VASIS, letreros y balizas, deberían emplazarse a la mayor distancia posible, que sea compatible con su función, de los bordes de pistas, calles de rodaje y plataformas. Debería procurarse lo más posible que las ayudas mantengan su integridad estructural en las condiciones ambientales más rigurosas. Sin embargo, cuando las ayudas reciban el choque de una aeronave con una fuerza que exceda de la correspondiente a las condiciones mencionadas, habrán de romperse o deformarse de forma que la aeronave no sufran ningún daño o que éstos sean mínimos.

15.4.2 Al instalar ayudas visuales en el área de movimiento, debe procurarse que la base de soporte de las luces no sobresalga por encima del terreno, sino que más bien quede por debajo del nivel del mismo, según lo requieran las condiciones ambientales, de modo que las aeronaves que pasen por encima de ellas no sufran daños o éstos sean mínimos. No obstante, el acoplamiento frangible debería estar siempre por encima del nivel del terreno.

## Apéndice 1. REQUISITOS OPERACIONALES APLICABLES A LOS SISTEMAS DE GUÍA VISUAL PARA EL ATRAQUE CON LA PROA HACIA ADENTRO

1. El sistema debe proporcionar guía visual positiva de entrada y, cuando se esté utilizando, debe ser visible para el piloto durante toda la maniobra de ataque.

2. La guía proporcionada debe ser fácilmente reconocible y debe poder interpretarse sin ambigüedades.

3. Debe haber continuidad entre el sistema de guía visual para el estacionamiento y el sistema de guía visual para el ataque.

4. Las presentaciones visuales deben ser fácilmente visibles para el piloto que se aproxima al sistema, cualesquiera sean las distracciones que ocurren en la zona.

5. El montaje de la unidad sobre el nivel de la plataforma o debería ser crítico en cuanto al ángulo de visión del piloto, a medida que la aeronave se acerca al puesto de estacionamiento.

6. El sistema debería proporcionar orientación hacia la izquierda o hacia la derecha mediante señales que sean claras por sí mismas para informar al piloto acerca de la posición de la aeronave respecto al eje de guía longitudinal.

7. La guía proporcionada por el sistema debe ser tal que el piloto pueda captar y mantener la orientación longitudinal y de detención sin necesidad de un control excesivo.

8. En el sistema deberían preverse ajustes correspondientes a variaciones de la altura de los ojos del piloto, incluidos los efectos de la carga de la aeronave.

9. El sistema que proporciona guía para orientación, hacia la izquierda o hacia la derecha, debería alinearse para ser utilizado por el piloto que ocupa el asiento de la izquierda.

10. La información sobre la velocidad de acercamiento en sentido longitudinal debería asociarse al sistema o incorporarse al mismo.

11. Debería asociarse al sistema una señal inequívoca de detención para cada tipo de avión, preferiblemente si se despliega permanentemente sin necesidad de que el personal de tierra haya de seleccionarla. Sería preferible que el método utilizado para indicar el punto de detención no exija que los pilotos tengan que girar la cabeza, y sería conveniente que pudiesen utilizarlo ambos pilotos.

12. La guía proporcionada no debería verse afectada por factores externos tales como las condiciones del pavimento, las condiciones meteorológicas, o las condiciones de iluminación, etc.

13. La precisión del sistema debería corresponder al tipo de pasarela de carga que haya de utilizarse.

### *Requisitos conexos para el atraque*

14. Debería proporcionarse información sobre las condiciones de servicio del sistema, es decir, si funciona o no, y en este último caso habría que indicar el punto en el que el piloto debe detener la aeronave.

15. Quizá sea necesaria la presencia de una persona que supervise la seguridad de las maniobras y que pueda indicar a la aeronave la necesidad de que se detenga en caso de emergencia.

## Apéndice 2. REQUISITOS OPERACIONALES APLICABLES A LOS SISTEMAS DE GUÍA VISUAL PARA EL ESTACIONAMIENTO

1. El sistema debe proporcionar una guía visual positiva de entrada y cuando se está utilizando debe ser visible para el piloto en todo momento.
2. La guía proporcionada debe ser fácilmente reconocible y debe poder interpretarse sin ambigüedades.
3. La identificación del puesto de estacionamiento debe ser claramente visible para el piloto mucho antes de que el avión haya llegado a una posición, en el curso del procedimiento de estacionamiento, más allá de la cual sea difícil cambiar con seguridad de dirección para dirigirse a otro puesto de estacionamiento.
4. Debería incorporarse al sistema un letrero para identificación uniforme de los puestos de estacionamiento de aeronave.
5. Debe asociarse al sistema una señal visual clara para indicar el principio del último viraje, cuando este viraje sea necesario para dirigirse al puesto de estacionamiento.
6. Es necesaria una orientación positiva para la alineación definitiva.
7. Debe asociarse a la guía de alineación definitiva una señal positiva de detención.
8. De ser posible, el método utilizado para indicar el punto preciso de detención no debería obligar a los pilotos a girar la cabeza.
9. El sistema debería instalarse tomando como base el principio de que la rueda de proa de la aeronave siga la línea de guía.
10. Cuando sea necesario indicar diversos puntos de detención para distintos tipos de avión, éstos deberían preferiblemente indicarse de forma permanente sin que sea necesaria la intervención de personas.
11. Podría ser necesario disponer de guía continua de salida, desde el punto en que el piloto asume el mando de la aeronave, hasta el punto en que pueda utilizarse la guía de las calles de rodaje.
12. Deberían utilizarse de preferencia luces empotradas en el pavimento, como complemento de las indicaciones pintadas de las líneas de guía, puntos de viraje, y puntos de parada. Debe preverse el funcionamiento selectivo cuando lo exijan las condiciones de las operaciones y las condiciones de visibilidad.
13. Debería haber una diferencia de color entre las luces empotradas y las luces de eje de calle de rodaje.

## Apéndice 3. SELECCIÓN, APLICACIÓN Y REMOCIÓN DE LAS PINTURAS

### GENERALIDADES

1. Para conseguir que las señales de pista y de calle de rodaje sean debidamente conspicuas y duraderas es necesario prestar particular atención a la selección y aplicación de las pinturas. En este apéndice se proporciona orientación sobre estos aspectos. Deben protegerse cuidadosamente las operaciones de renovación de la pintura y éstas deben coordinarse con las operaciones de tránsito aéreo, para seguridad de las aeronaves, del personal que efectúa la pintura, y del equipo.

### SELECCIÓN DE LAS PINTURAS

#### Tipos de pintura

2. Se han elaborado diversos tipos de pintura que han demostrado ser aceptables para las señales en los pavimentos. Algunas de estas pinturas se han clasificado como de base de aceite, de base de caucho, de base acrílica o de vinil, de base oleoresinosa y de base con agua como agente de emulsión. Recientemente se han modificado las proporciones de las bases y se han combinado diversos tipos de disolventes para mejorar algunas características de estas pinturas, con el fin de lograr una aplicación más fácil, un mejor almacenamiento, y mejores resultados. Puesto que el tiempo de secado es muy importante en la aplicación de señales de pavimento sobre algunas superficies, estas pinturas pueden también clasificarse según el tiempo necesario de secado:

- a) secado estándar (convencional) — 7 minutos o más;
- b) secado semirápido — de 2 a 7 minutos;
- c) secado rápido — de 30 a 120 segundos; y
- d) secado instantáneo — menos de 30 segundos.

3. Para las señales de aeródromo se han elaborado específicamente dos tipos de pinturas. Un tipo es una pintura a base de aceite (alkyd) y el otro es una pintura a base de agua como agente de emulsión. Se exige que ambos tipos de pinturas satisfagan en los ensayos determinados criterios respecto a características físicas y de idoneidad. Se dispone de ambos tipos de pinturas en el color blanco o el color amarillo y pueden utilizarse por sí solas, o para unirse a cuentas de vidrio retrorreflectoras. Se utilizan también pinturas negras con base de aceite en algunos aeródromos con pavimento de color ligero, como borde alrededor de las señales para que resalten

mejor. Habitualmente es aceptable un tiempo de secado de 30 minutos o menos, antes de que se permita reanudar el tráfico de vehículos por encima de las señales recién pintadas, sin peligro de que la pintura se desprege del pavimento, se adhiera a los neumáticos, o se transfiera a otros lugares del pavimento. El tiempo permisible requerido para que la pintura de un espesor indicado se seque totalmente puede llegar a ser hasta de dos horas.

4. Otros tipos de pinturas de señalización del tráfico pueden ser convenientes para las señales de aeródromo, pero deberían evaluarse atentamente los resultados de estas pinturas, en las condiciones particulares de las operaciones, antes de que sean utilizadas. En algunos lugares, quizá sea necesario utilizar pinturas de características especiales, poco resistentes a factores desacostumbrados, que influyen en la vida útil de las señales. Entre las condiciones que pueden exigir la aplicación de tipos especiales de pintura, pueden citarse las zonas muy frías en las que las temperaturas no llegan frecuentemente a valores suficientemente altos para efectuar la pintura, algunas zonas de precipitaciones o humedad anormales, zonas en las que los microorganismos o las plantas atacan a la pintura ordinaria, y otras condiciones poco comunes. Si no puede disponerse de pinturas especiales para señales de aeródromo, puede ser conveniente utilizar otro tipo de pinturas, tales como las de señales de tráfico de autopistas, aunque los resultados y la vida útil de las señales puede que no sean tan satisfactorios.

#### Tipo de pavimento

5. Ambos tipos de pinturas para señales de aeródromo son ordinariamente apropiados para superficies de pavimento de hormigón de cemento portland (rígido), de hormigón de cemento astáltico bituminoso (flexible) y para las áreas previamente pintadas de esas superficies. La pintura a base de agua como agente de emulsión quizá sea preferible en superficies pavimentadas que no se han curado completamente, especialmente de asfalto, porque dan mejores resultados frente al sangrado. Es posible que algunos tipos de pinturas den resultados satisfactorios en una superficie y no en otras.

#### Tipo de servicio

6. Ordinariamente las señales de pistas y calles de rodaje no sufren desgaste debido a la abrasión como ocurre en el caso de las señales de autopistas. En lugar de ese desgaste, el



deterioro de las señales de umbral, de zona de toma de contacto, y de eje de pista proviene de depósitos de caucho que se producen al patinar las ruedas de las aeronaves durante el aterrizaje. El deterioro de las otras señales, particularmente de las señales de faja lateral, proviene habitualmente del influjo de las condiciones meteorológicas y de la acumulación de suciedad. Por lo tanto, la resistencia a la abrasión no es un elemento que se considere como primario al seleccionar los materiales que hayan de utilizarse para las señales de pavimento-de-aeródromo. Una selección más-conveniente de materiales-para las señales es que la pintura sea compatible con el tipo de pavimento, se mantenga conspicua y pueda fácilmente aplicarse con el espesor deseado. Se ha comprobado que en la mayoría de las instalaciones basta con aplicar una película de pintura de un espesor de 0,4 mm.

#### Coefficiente de rozamiento

7. Ambos tipos de pinturas estándar para señales de aeródromo proporcionan coeficientes de rozamiento buenos, ya sea sobre hormigón de cemento portland, ya sea sobre hormigón de cemento bituminoso y, en general, dan lugar a una buena eficacia de frenado. Si se requiere que en las áreas con señales se cuente con mejores características antideslizantes, se ha demostrado que son eficaces el óxido de aluminio calcinado y trozos de vidrio angulosos de un tamaño que pase por cribas con una malla de 150 micrometros y, con tal de que menos del 5% sea retenido por cribas cuya malla sea de 45 micrometros. Deberían seguirse las instrucciones del fabricante de la pintura respecto a la cantidad de aditivo que haya de utilizarse y a los procedimientos para preparar la mezcla.

#### Especificación de las pinturas

8. Pequeñas modificaciones en la composición de las pinturas pueden influir considerablemente en los resultados obtenidos. Para asegurarse de que la calidad de la pintura sea la adecuada, es preferible especificar los resultados que han de obtenerse en ensayos de idoneidad que especificar la fórmula de los componentes de la mezcla. Sin embargo, tienen que seleccionarse cuidadosamente los ensayos, los cuales deben servir para evaluar todas las características esenciales de señales aceptables, deben ser fáciles de realizar y deben facilitar la distinción fiable entre idoneidad adecuada e idoneidad no satisfactoria. Los requisitos básicos, en cuanto a los pigmentos, son su color, su opacidad y su durabilidad. Pueden utilizarse agentes de suspensión y de dispersión, para impedir excesos de sedimentación y aglutinamiento. El vehículo, o base de la pintura, proporciona muchas de las características deseadas en cuanto a almacenamiento, mezcla, aplicación y adhesión. Pueden incluirse en la base agentes que se oponen a que la pintura se pele o se sedimente. El disolvente o el barniz determinan el tiempo de secado, influyen en la aplicación, flexibilidad, adhesión, sangrado, resistencia al deslizamiento y concentración volumétrica de los pigmentos. Para algunos tipos de pinturas, puede ser necesario especificar las

cantidades mínimas, o máximas, de determinados componentes de las sustancias disolventes.

### SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS RETRORREFLECTANTES (PERLITAS O CUENTAS DE VIDRIO)

#### Condiciones para utilizar las señales retrorreflectantes

9. Las señales retrorreflectantes de aeródromo se utilizan para mejorar de noche la eficacia de las señales, especialmente cuando están mojadas. Debido a su coste más elevado, algunas autoridades de aeródromo utilizan señales retrorreflectantes únicamente en aquellos aeródromos que requieren ese grado de eficacia. Los aeródromos que funcionan únicamente durante el día, o que sólo los utilizan aeronaves que no necesitan luces de aterrizaje ni de rodaje, no tienen que proporcionar señales retrorreflectantes. Las señales retrorreflectantes quizá no sean necesarias en pistas equipadas con luces de eje de pista y con luces de zona de toma de contacto; no obstante, las señales retrorreflectantes pueden ser útiles en operaciones nocturnas que se realizan en mejores condiciones de visibilidad, cuando las luces de eje y las luces de zona de toma de contacto están apagadas.

#### Especificaciones respecto a las perlitas o cuentas de vidrio

10. Las características primarias de las perlitas retrorreflectantes (esferitas de vidrio) que han de tenerse en cuenta al seleccionarlas para señales de aeródromo son su composición, su índice de refracción, su gradación y las impurezas. Las esferitas de vidrio libres de plomo, sin recubrir, con un índice de refracción de 1,90 o superior, de tamaño comprendido entre 0,40 mm y 1,3 mm de diámetro, han sido consideradas como las más apropiadas para señales de aeródromo.

11. Puesto que la abrasión de las señales de pistas y de calles de rodaje es limitada, no es muy eficaz la operación de mezclar previamente las cuentas con la pintura. Da mejores resultados el método de aplicar las perlitas dejándolas caer directamente sobre la pintura fresca antes de que se seque. Es necesario que las perlitas se dejen caer inmediatamente sobre la pintura recién aplicada, especialmente cuando se trata de pinturas de secado instantáneo, para que pueda obtenerse la adhesión deseada.

### APLICACIÓN DE LAS PINTURAS

#### Generalidades

12. Antes de que se inicien los trabajos de pintura, todos los materiales y todo el equipo, incluso el necesario para limpiar debidamente las superficies, deben ser aprobados por el ingeniero que esté a cargo del proyecto.

### Preparación de la superficie del pavimento

13. Antes de la primera pintura, y antes de cualquier renovación de la pintura, debe limpiarse adecuadamente la superficie del pavimento. La superficie que haya de pintarse debe estar seca, y libre de suciedad, grasa, aceite, lechada de cemento, acumulaciones de caucho suelto o de otras materias extrañas que puedan disminuir la adhesión entre la pintura y el pavimento.

14. Las pinturas frías (temperatura normal) no deberían aplicarse cuando la temperatura de la superficie sea inferior a 5°C. Las condiciones meteorológicas no deben ser ni de niebla ni de viento. A temperaturas ambientes inferiores puede utilizarse el método de rociado en caliente o de pintura calentada, por el cual la pintura se calienta a una temperatura de 50°C o superior.

15. Para el tratamiento de la superficie deberían utilizarse los procedimientos siguientes:

a) *Pavimentos nuevos (comprendidos los de nuevo revestimiento)*. Para impedir que la pintura se pele o se aglutine, puede esperarse un tiempo suficiente para que haya fraguado el cemento. Se recomienda un período de 30 días de fraguado antes de aplicar pinturas con base de aceite.

1) *Hormigón de cemento portland*. Debe limpiarse completamente la superficie de restos de fraguado utilizándose para ello arena a presión o agua a alta presión. A veces puede ser necesario aplicar una solución de ácido para contrarrestar la liposivación de las sales alcalinas y carbonatadas, a fin de mejorar la adhesión a partículas de agregado suave y vítreo. Puede utilizarse una solución de aceite de linaza para mejorar la adhesión.

2) *Hormigón asfáltico*. Veinticuatro horas después de esparcido el pavimento bituminoso pueden aplicarse algunas pinturas de base combinada. Puede aplicarse una primera capa para disminuir el sangrado de estas superficies, especialmente cuando se acorta el período de fraguado. Puede aplicarse al pavimento nuevo una capa de base, con pintura corriente de señales, en aproximadamente un 50% del espesor normal. Las señales deben pintarse de nuevo tan pronto como haya fraguado el asfalto. En las instalaciones en las que existen problemas serios de sangrado del asfalto, y con pinturas de menos resistencia al sangrado, puede aplicarse una capa especial de pintura, de base de aluminio, con un espesor aproximado de pintura mojada de 0,5 mm.

b) *Pavimentos viejos (señales nuevas)*. Deben eliminarse las señales que ya no sean aplicables mediante los procedimientos descritos en la sección 5 y luego debe limpiarse la superficie.

c) *Pintura aplicada sobre señales existentes*. Deben eliminarse de las señales existentes las marcas de los

neumáticos y las acumulaciones de caucho, utilizándose para ello fosfato trisódico y seguidamente debe lavarse y enjuagarse la superficie con agua a baja presión. Límpiense las señales de toda materia extraña que pueda dificultar la adhesión a la pintura existente.

*Nota.*— No conviene utilizar soluciones que tengan más del 1% o del 2% de jabón o detergentes, porque para eliminar después la película de jabón pueden ser necesarias excesivas operaciones de enjuague.

### Equipo para aplicación de la pintura

16. El equipo mínimo para aplicar la pintura debería comprender un marcador mecánico, un aparato para limpiar la superficie y equipo auxiliar de pintura a mano. El marcador mecánico debería consistir en un atomizador apropiado para el tipo de pintura que haya de utilizarse. Debería producirse una película de espesor uniforme con la cobertura especificada y que proporcione bordes nítidos sin corrimientos, salpicones, ni pulverización excesiva. La pintura debería prestarse a la aplicación adecuada de perlititas o cuentas de vidrio, cuando las señales hayan de ser retroreflectantes.

### Procedimientos para la aplicación

17. Después de que el pavimento haya fraguado debidamente y de que se hayan tratado y limpiado las superficies, según el tipo de pintura que haya de utilizarse, es necesario delinear de forma conveniente las señales.

18. Antes de que se aplique la pintura deben someterse a la aprobación del ingeniero a cargo del proyecto la disposición de las áreas de señales, la condición de la superficie, el equipo y los materiales que hayan de utilizarse, así como los procedimientos de aplicación de la pintura.

19. Para aplicar la pintura debería seguirse un procedimiento similar al siguiente:

a) Hacer los arreglos necesarios con el control de tránsito aéreo para que se sigan los procedimientos de seguridad y de comunicaciones, conducentes a proteger las aeronaves, los obreros encargados de la pintura y su equipo, así como las superficies recién pintadas.

b) Mezclar la pintura de conformidad con las instrucciones del fabricante.

c) Aplicar uniformemente a máquina la pintura de las señales, al régimen de cobertura especificado, sin corrimientos, salpicaduras, ni pulverización excesiva. Se considera satisfactorio un régimen de cobertura de 2.25 a 2.5 m<sup>2</sup> por litro para obtener un espesor de pintura mojada de 0.4 mm aproximadamente.

d) Asegurarse de que los bordes de las señales no se apartan de la línea recta, en más de 12 mm a lo largo de 15 m, y de que la tolerancia en cuanto a las dimensiones es de  $\pm 5\%$ .

- e) Si las señales han de ser retrorreflectantes, aplicar las cuentas de vidrio (perlitas) sobre la pintura fresca, a un régimen especificado, con distribuidores mecánicos en el momento y con la presión oportunos para lograr una buena adhesión. Se consideran satisfactorios los regímenes de aplicación de 0.7 a 1.2 kg por litro de pintura.
- f) Tan pronto como la pintura se haya secado lo suficiente para permitir el tráfico de peatones, deben inspeccionarse las áreas con señales en cuanto a su cobertura, apariencia, uniformidad, dimensiones y defectos. También debe comprobarse que en las áreas en las que no hay señales, no ha habido derrames, salpicones o gotas de pintura.
- g) Si hay partes sin cubrir, puntos con capas de pintura demasiado fina, descoloraciones, desviaciones de los límites de tolerancia o defectos de apariencia deben retocarse dichas partes para lograr la uniformidad deseada.
- h) Proteger las superficies recientemente pintadas hasta que estén lo suficientemente secas para dar cabida al tráfico.

## REMOCIÓN DE LAS SEÑALES PINTADAS

20. Cuando se modifican la configuración de las señales, la dimensión de las áreas o los procedimientos operacionales, o cuando es excesivo el espesor de las capas de pintura, puede ser necesario eliminar las señales existentes. No es aconsejable cubrir las señales existentes pintando por encima de ellas, excepto como medida temporal, porque la capa superficial de pintura se gasta o desaparece fácilmente y vuelven a ser visibles las capas inferiores que pueden dar lugar a confusión.

### Remoción por medios mecánicos

21. Aplicar un chorro de arena es eficaz y apenas daña la superficie del pavimento. A medida que progresa el trabajo debería retirarse la arena depositada sobre el pavimento para impedir que se acumule. Para retirar determinadas señales puede aplicarse con éxito agua a alta presión o chorros hidráulicos. No son aconsejables sistemas de abrasión por los daños que ocasionan a la superficie del pavimento y porque es posible reducir la eficacia de frenado.

### Remoción mediante productos químicos

22. Cuando se utilizan productos químicos para sacar la pintura, se necesita generalmente una gran cantidad de agua para dañar lo menos posible la superficie del pavimento y diluir los productos químicos que van a parar al sistema de drenaje o de canalización.

## Remoción mediante la llama

23. Se utiliza con frecuencia la aplicación de una llama para sacar la pintura, sin embargo, es posible que los métodos que requieren el empleo de quemadores a base de aire y de butano, propano o mezclas de gases líquidos derivados del petróleo, actúan a un régimen lento de quemado, por lo que el calor se aplica por períodos prolongados a la superficie del pavimento y puede dañarla. El exceso de calor funde el hormigón-asfáltico y puede descantillar el hormigón de cemento portland. Recientemente se han elaborado quemadores que funcionan a base de propano y de oxígeno puro y que producen llamas de calor más intenso. Los excesos de oxígeno queman rápidamente la pintura y transfieren menos calor a la superficie del pavimento. Mediante esos quemadores pueden quemarse rápidamente varias capas de pintura sin causar daños a la superficie del pavimento. En una sola pasada pueden eliminarse capas de pintura de un espesor aproximado de 0.5 mm. Si el espesor de la pintura es mayor, se necesitarían posiblemente varias pasadas con la llama. Una vez quemada la pintura, es necesario eliminar los residuos que queden sobre la superficie del pavimento con un cepillo, con un aspirador hidráulico o con chorros de arena.

## CONSIDERACIONES ESPECIALES

### Señales estriadas

24. Para reducir el efecto de las heladas en zonas de temperatura bajas, especialmente en señales anchas tales como las de umbral, las de designación de pista, las de zona de toma de contacto y las de distancia fija, pueden utilizarse señales estriadas. Las señales estriadas consisten en rayas alternadas pintadas y sin pintar, habitualmente de una anchura idéntica, que no exceda de 15 cm. en toda la extensión especificada de la señal. Sin embargo, las señales estriadas no son tan conspicuas cuando se ven desde grandes distancias durante la aproximación a la pista, puesto que el brillo de la señal corresponde al promedio de las rayas pintadas y de las no pintadas. Por lo tanto, solamente deberían utilizarse señales estriadas cuando sea absolutamente necesario.

### Señales con bordes negros

25. Puede ser que las señales blancas de pista y las señales amarillas de calle de rodaje no proporcionen gran contraste respecto al pavimento de color claro. Puede mejorarse la conspicuidad de las señales pintando un borde negro alrededor de la señal. Preferiblemente, el borde debería ser de color negro mate y de una anchura mínima de 15 cm con una pintura de tráfico de buena calidad. Bordes negros de mayor anchura que la mínima aumentarán la conspicuidad de las señales. Puede ser que los bordes negros no hayan de pintarse con tanta frecuencia como las señales propiamente dichas.

## Apéndice 4. PROCEDIMIENTOS DE REGLAJE DIURNO DE LA INTENSIDAD LUMINOSA

1. Aterrizando en condiciones de poca visibilidad, el piloto generalmente necesita ver por lo menos un tramo de 150 m de las luces de aproximación y de pista. En operaciones de las Categorías I y II el piloto necesita ver continuamente este tramo desde el momento en que llega a la altura de decisión; en las operaciones de Categoría III es también necesario alcanzar a ver un tramo análogo de luces a alturas por debajo de los 30 m.

2. En la Figura A4-1 se representa geoméricamente la forma de determinar este tramo visual de 150 m teniendo en cuenta la trayectoria de vuelo de la aeronave desde una altura determinada.

3. Para el cálculo se ha supuesto que:

- a) la pendiente de planeo es de 3°;
- b) los ojos del piloto están 13 m por encima y 28 m por delante del tren de aterrizaje principal (dimensiones normales para una aeronave de gran tamaño);

c) la altura del avión se mide desde el tren de aterrizaje principal;

d) el punto de visada para la toma de contacto (tren de aterrizaje principal) se encuentra 300 m más allá del umbral.

e) el ángulo de ocultamiento del puesto de pilotaje, mediante el cual se determina el punto más cercano del tramo visual de 150 m es de 15°.

No se ha tenido en cuenta el tiempo de decisión, teóricamente de 3 segundos, que obligaría en cada cálculo a añadir a la altura de decisión la distancia vertical recorrida durante esos 3 segundos.

4. De la Figura A4-1 se deduce que para un tramo visual de 150 m la distancia  $R$  a la que las luces deben ser todavía visibles es:

$$R = \sqrt{h^2 + (150 + h/\tan 15^\circ)^2} \quad (1)$$

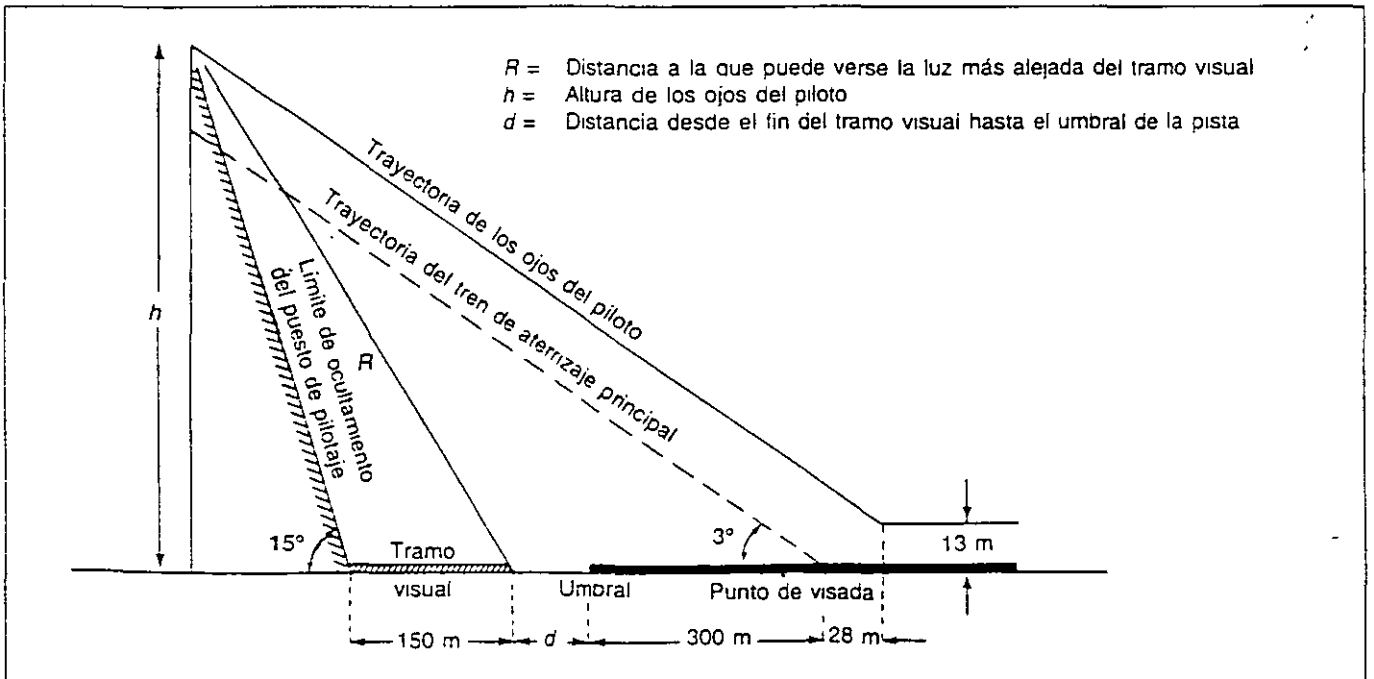


Figura A4-1. Esquema geométrico de la aproximación final

De la Figura A4-1 se deduce también que la distancia  $d$ , desde el fin del tramo visual hasta el umbral de la pista es:

$$d = h \left( \frac{1}{\tan 3} - \frac{1}{\tan 15} \right) - \left( \frac{13}{\tan 3} + 300 + 28 + 150 \right) \quad (2)$$

5. Las ecuaciones (1) y (2) demuestran que a una altura de decisión de 60 m correspondiente a operaciones de la Categoría I, en el tramo visual están comprendidas solamente las luces de aproximación. Al acercarse el avión a tierra el valor de  $d$  disminuye progresivamente hasta llegar a cero. Se supone que a la altura a que esto ocurre, el valor obtenido para  $R$  define la distancia a la que deben ser visibles las luces de umbral y las luces de borde de pista. En lo que respecta a las luces de zona de toma de contacto y a las luces de eje de pista, se supone que en el momento de la toma de contacto, es decir:  $h = 13$  m, el tramo en el que dichas luces deben ser visibles debe ser de 150 m.

6. En el caso de operaciones de la Categoría II, cuando la altura de decisión es de 30 m, las ecuaciones (1) y (2) demuestran que dentro del tramo visual inicial están comprendidas tanto las luces de aproximación como las luces de pista. Por consiguiente, las luces de aproximación, las de umbral y las de borde de pista deben todas alcanzar a verse a la misma distancia. En el momento del aterrizaje las luces de zona de toma de contacto y las luces de pista deben ser de tal intensidad que alcancen a verse a una distancia igual a la correspondiente a las operaciones de aterrizaje de la Categoría I.

7. En las operaciones de Categoría IIIA solamente es necesario que se disponga de un tramo visual mínimo de 150 m, a partir de la zona de toma de contacto y a lo largo del eje de la pista, para el aterrizaje propiamente dicho y para el recorrido en tierra.

8. En la Tabla A4-1 figura un sumario de las distancias a las cuales las luces deben ser visibles y éstas han sido obtenidas a partir de las ecuaciones (1) y (2) para las diversas categorías de operaciones.

9. Después de calculadas las distancias mínimas, a las cuales deben ser visibles las distintas luces del sistema de iluminación para poder contar con el tramo visual necesario de 150 m (Tabla A4-1), en la etapa siguiente del procedimiento deben calcularse las intensidades luminosas que basten para satisfacer estos requisitos.

10. La fórmula utilizada es una versión modificada de la Ley de Allard:

$$E_{in} = [(1 - L_{\infty}A) e^{-\sigma A}] R^{-2} \quad (3)$$

siendo:

$E_{in}$  = Umbral de luminancia del ojo a una distancia  $R$

$I$  = intensidad de la luz

$L_{\infty}$  = luminancia de fondo de la luz y

$A$  = área de la fuente luminosa

Esta modificación es necesaria solamente si el valor medio de la luminancia de la luz, dado por  $I/A$ , se aproxima a  $L_{\infty}$ , es decir durante el día. Durante la noche puede utilizarse sin modificaciones la Ley de Allard.

$$E_{in} = \frac{I}{R^2} e^{-\sigma A}$$

11. En condiciones diurnas se supone que el valor medio de la luminancia de fondo  $L$  es de 10 000 cd/m<sup>2</sup>.

**Tabla A4-1. Distancias a las cuales deben ser visibles las luces para satisfacer los requisitos operacionales mínimos: tramo visual de 150 m**

Categorías	Altura de decisión (m)	RVR (m)	Coeficiente de extinción	Distancia R (m) a la que deben ser visibles las luces de:		
				Aproximación	Umbral; borde de pista	Zona de toma de contacto; eje de pista
I	60	800	0,0063	430	330	200
II	30	400	0,016	310	310	200
IIIA	0	200	0,039	-	-	200

12. Si el factor de luminancia para la superficie de la pista es 0,35 y suponiendo que pueda despreciarse en comparación con  $L_n$  el valor de la luminancia de las luces sin encender, entonces puede obtenerse  $L_n$  de la relación  $L_n = 0,35 L$ .

13. Se supone que  $A$  tiene un valor de  $0,13 \text{ m}^2$  (0,4 m de diámetro) en el caso de luces de aproximación y  $0,018 \text{ m}^2$  (0,15 m de diámetro) para las demás luces.

14. En condiciones diurnas se supone que

$$E_{in} = 2 \times 10^{-7} \times L \text{ lux}$$

Introduciendo estos valores en la ecuación 3 se obtiene:

$$I = L (2 \times 10^{-7} \times R^2 e^{\sigma R} + 0,05)$$

para las luces de aproximación

$$I = L (2 \times 10^{-7} \times R^2 e^{\sigma R} + 0,006)$$

para las luces de pista

15. Estas relaciones se ilustran en la Figura A4-2, suponiendo que  $L = 10\,000 \text{ cd/m}^2$ . Es evidente que, después de un pronunciado aumento inicial, la distancia a la que las luces son visibles depende muy poco de su intensidad. Por ejemplo, para compensar por una reducción del RVR a la mitad, sería

necesario multiplicar dicha intensidad por un factor superior a 10. Por otra parte, la indeterminación correspondiente a los valores de la intensidad, como consecuencia de la indeterminación, por ejemplo, de los valores de la luminancia de fondo, no influiría mucho en el valor de la distancia a la cual las luces deben ser visibles.

16. En la Tabla A4-2 se resumen los valores necesarios de las intensidades para satisfacer los requisitos de la Tabla A4-1. En esta Tabla A4-2 los valores de las distancias a las cuales las luces deben ser visibles están entre paréntesis debajo de las intensidades correspondientes. Los símbolos  $A$ ,  $E$  y  $C$  corresponden a las luces de aproximación, a las luces de borde de pista y a las luces de eje de pista, respectivamente. Se supone que las intensidades de las luces de umbral son las mismas que las de las luces de borde de pista y que las intensidades de las luces de toma de contacto son las mismas que las luces de eje de pista.

17. Comparando los valores de la Tabla A4-2 con los valores mínimos del promedio de intensidades correspondientes a las luces indicadas en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, puede observarse que algunas de las intensidades de la Tabla A4-2 son muy superiores a las que en realidad han de aplicarse. Esto significa que es imposible llevar a la práctica algunas de las combinaciones RVR calculado/tramo visual.

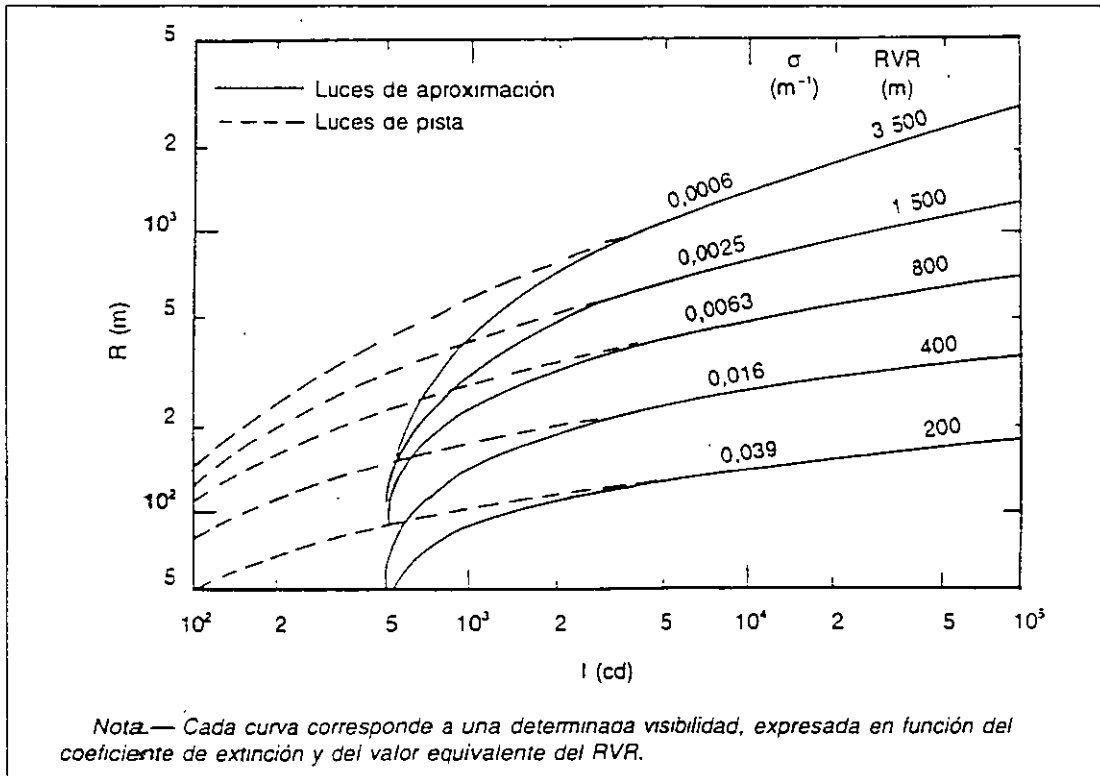


Figura A4-2. Distancia  $R$ , a la que las luces son visibles en función de la intensidad luminosa  $I$ , para una luminancia de fondo  $L = 10\,000 \text{ cd/m}^2$

Tabla A4-2. ---Valores de la intensidad luminosa necesarios para satisfacer los requisitos de la Tabla A4-1

RVR (m)	$\sigma$ ( $m^{-1}$ )	Intensidad (candelas)		
		A	E	C
200	0,039	—	—	$2,0 \times 10^5$ (200)
400	0,016	28 000 (310)	27 000 (310)	2 000 (200)
800	0,0063	6 100 (430)	1 800 (330)	340 (200)
1 500	0,0025	1 600 (430)	560 (330)	190 (200)
2 500 ( $V_m = 5\ 000$ )	0,0011	1 100 (430)	370 (330)	160 (200)
5 000 ( $V_m = 10\ 000$ )	0,00030	920 (430)	300 (330)	140 (200)

$V_m$  = visibilidad meteorológica

Tramo visual = 150 m

Tabla A4-3. Multiplicadores de luminancia, LM, que han de utilizarse en el cálculo de las intensidades de luz necesarias para diversas luminancias de fondo durante el día

Altura del sol (grados)	Multiplicador de luminancia (LM)			
	Cielo cubierto		Cielo claro	
	Ligeramente (cirrus)	Densamente (stratus)	Aproximación hacia el sol	Aproximación desde el sol
5	0,1	0,1	1	0,25
10	0,25	0,1	2	0,5
20	0,5	0,25	4	1
40	2,0	0,5	4	2
60	2,0	0,5	4	4

18. Después de elaborar para la Tabla A4-2 los valores teóricos de intensidad que garantizan que el piloto alcanza a ver un tramo visual de 150 m, es necesario avanzar un paso más en el cálculo antes de poder definir los valores recomendados de la intensidad que han de incluirse en la tabla. Esto se ha efectuado en la Tabla A4-3 en la que se ha tenido en cuenta el efecto variable de la luminancia de fondo, en función de la altura del sol y de la nubosidad, utilizándose los denominados multiplicadores de luminancia ( $LM$ ). Los valores  $LM$  se obtienen de la forma siguiente:

- a) para un coeficiente de absorción meteorológica  $\sigma$  y a una distancia  $R$ , a la que la luz debe ser visible, la intensidad necesaria  $I$  es proporcional a la luminancia de fondo  $L$ . Esto significa que puede calcularse el valor de  $I$  para cualquier  $L$  a partir del valor de  $I$  correspondiente a  $L = 10\ 000\ \text{cd/m}^2$ , mediante la relación:

$$I(L) = I \times 10^4 \times L \times 10^{-4}$$

- b) a fin de incorporar los diversos valores diurnos de  $L$  de forma relativamente sencilla, se definen los multiplicadores de luminancia  $LM$ , de la Tabla A4-3, que han de ser aplicados para obtener los valores  $I$  de la Tabla A4-2, en la forma siguiente:

- $LM$  es aproximadamente igual a  $L \times 10^4$  dentro de un factor  $\sqrt{2}$ .
- Si  $L \times 10^4$  es inferior a 0.1 (en el caso relativamente raro de niebla de día)  $LM = 0.1$ .

19. En la Tabla A4-3 la nubosidad se refiere a las nubes por encima de la altura de decisión. Si la niebla se extiende desde el nivel del suelo hasta una altura por encima de la altura de decisión es necesario disminuir consecuentemente los valores de  $LM$ .

20. Como valor aproximado, puede utilizarse el  $LM$  para "aproximación desde el sol" en todas las direcciones cuyo ángulo azimutal sea superior a  $60^\circ$  respecto a la dirección del sol. Para ángulos menores se recomienda utilizar el  $LM$  correspondiente a la "aproximación hacia el sol".

21. Una vez calculados los valores  $LM$  indicados en la Tabla A4-3, es posible completar la tabla de reglajes de intensidad teniendo en cuenta que el tramo visual debe ser por lo menos de 150 m y que poco se ganaría si fuera de una longitud de 600 m.

22. La Tabla A4-2 indica que muchas de las intensidades necesarias son superiores a los valores mínimos del promedio de intensidades indicados en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2, especialmente si se aplican multiplicadores de luminancia superiores a 1. Esto tiene dos consecuencias para la Tabla A4-4. En primer lugar, se especifican las intensidades máximas ( $I_{\text{máx}}$ ) que son superiores a las del Anexo. Y en segundo lugar, si el  $I_{\text{máx}}$  no es suficiente para proporcionar un tramo visual de 150 m en una combinación de condiciones

RVR y  $LM$ , se calculan  $RVR_{\text{mín}}$ , es decir, el valor RVR más bajo para el cual es posible aterrizar con un segmento visual de 150 m. Esto puede hacerse mediante interpolación en la Figura A4-2, tomando de la Tabla A4-2 el valor  $R$  necesario para un tramo visual de 50 m y tomando en la abscisa de la Figura A4-2 el valor de  $I_{\text{máx}}/LM$  a fin de introducir una corrección por el hecho de que la Figura A4-2 da la relación de  $I$  vs.  $R$  para  $L = 10\ 000\ \text{cd/m}^2$ . Si el  $I_{\text{máx}}$  de cada grupo de luces es suficiente para un tramo visual de 150 m, pero  $1/2\ I_{\text{máx}}$  no lo es, entonces se utiliza  $I_{\text{máx}}$ .

23. Si  $1/2\ I_{\text{máx}}$  de cada grupo de luces es suficiente para un tramo visual de por lo menos 150 m, entonces la intensidad recomendada no será superior a  $1/2\ I_{\text{máx}}$ . Esta forma se aplica porque si tomamos  $1/2\ I_{\text{máx}}$  en vez de  $I_{\text{máx}}$  ello no repercutiría notablemente en el tramo visual, mientras que la vida útil de la lámpara se prolongaría más de diez veces. Si un reglaje de intensidad inferior a  $1/2\ I_{\text{máx}}$  proporcionará un tramo visual de por lo menos 600 m para todos los grupos de luces, entonces se utilizaría este bajo reglaje de intensidad.

24. Se utiliza otro criterio para garantizar que se mantiene un sistema equilibrado de luces. Las relaciones de intensidad utilizadas para lograr este equilibrio son las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Aproximación: umbral: borde: zona de toma} \\ \text{de contacto: borde: eje de pista} \\ = 2 : 1 : 0.33 \end{aligned}$$

Estas relaciones no se salen de los límites establecidos en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2. Se utilizan valores de la intensidad que se aproximen a los valores calculados, de forma que los escalones de intensidad no sean inferiores a un factor de 2.

25. Se aplican otras cuatro reglas para preparar la tabla definitiva de reglajes de intensidad:

- a) Para cada gama de valores RVR, con respecto a la cual se ha evaluado un reglaje de intensidad, se toma como base de cada cálculo el valor RVR ( $\delta\ \sigma$ ) de la Tabla A4-2 correspondiente al RVR mínimo de la gama.
- b) Para RVR = 200 a 399 m, las luces de aproximación, de umbral y de borde de pista tendrán la intensidad máxima pero esta gama de valores RVR corresponde a las operaciones de la Categoría IIIA en las que no es necesaria la guía visual proporcionada por estas luces. Sin embargo, las luces de zona de toma de contacto y de eje tendrán la intensidad máxima para poder proporcionar un tramo visual de 150 m.
- c) Para RVR = 2 500 a 4 999 m, las intensidades de todos los grupos de luces pueden ser 0, salvo para la "aproximación hacia el sol" a alturas del sol inferiores a  $40^\circ$  ("sol bajo"). La razón es que en dichas condiciones se ven suficientemente las señales de pista. De la Tabla A4-3 se sigue que para las aproximaciones hacia sol bajo, los valores  $LM$  son de 1, 2 ó 4.



**Tabla A4-4. Reglajes de intensidad recomendados,  $I^*$  (cd), en función de la extinción meteorológica (expresada como RVR) y de la luminancia de fondo (expresada mediante el multiplicador de luminancia,  $LM$ , de la Tabla A4-3)**

	Categoría IIIA	Categoría II	Categoría I			
	RVR 200 a 399 m	RVR 400 a 799 m	RVR 800 a 1 499 m	RVR 1 500 a 2 499 m	RVR 2 500 a 4 999 m	RVR > 5 000 m $V_m > 10 000$ m
$LM = 0,1$	( $RVR_{min} = 220$ m)					
A	30 000	15 000	15 000	3 000	0	0
T, E	15 000	7 500	7 500	1 500	0	0
TD, C	5 000	2 500	2 500	500	0	0
$LM = 0,25$	( $RVR_{min} = 250$ m)					
A	30 000	15 000	15 000	6 000	0	0
T, E	15 000	7 500	7 500	3 000	0	0
TD, C	5 000	2 500	2 500	1 000	0	0
$LM = 0,5$	( $RVR_{min} = 300$ m)					
A	30 000	30 000	15 000	15 000	0	0
T, E	15 000	15 000	7 500	7 500	0	0
TD, C	5 000	5 500	2 500	2 500	0	0
$LM = 1$	( $RVR_{min} = 350$ m)	( $RVR_{min} = 450$ m)				
A	30 000	30 000	15 000	15 000	15 000	0
T, E	15 000	15 000	7 500	7 500	7 500	0
TD, C	5 000	5 000	2 500	2 500	2 500	0
$LM = 2$	( $RVR_{min} = 400$ m)	( $RVR_{min} = 500$ m)				
A	30 000	30 000	15 000	15 000	15 000	0
T, E	15 000	15 000	7 500	7 500	7 500	0
TD, C	5 000	5 000	2 500	2 500	2 500	0
$LM = 4$	( $RVR_{min} = 450$ m)	( $RVR_{min} = 600$ m)				
A	30 000	30 000	30 000	15 000	15 000	0
T, E	15 000	15 000	15 000	7 500	7 500	0
TD, C	5 000	5 000	5 000	2 500	2 500	0

A = luces de eje de aproximación  
T = luces de umbral y barra de ala  
E = luces de borde de pista  
TD = luces de zona de toma de contacto  
C = luces de eje de pista

Si no puede alcanzarse a verse un tramo visual de 150 m a la intensidad máxima, se proporciona el RVR al cual un tramo visual de 150 m es justamente visible, es decir  $RVR_{min}$ .

Notas:

1. Para  $RVR = 2 500$  a  $4 999$  las luces deben encenderse solamente para aproximaciones hacia un sol bajo (es decir, ángulo de azimut respecto al sol  $\leq 60^\circ$ ; altura del sol  $\leq 40^\circ$ ).
2. Las intensidades recomendadas son las más bajas que se consideran aceptables, en aras de prolongar la vida útil de la lámpara y economizar energía.
3. Si los pilotos de los aviones que se aproximan solicitan un reglaje de mayor intensidad, utilícese la intensidad máxima. Durante el día, el deslumbramiento no constituye jamás un problema.
4. Las luces de fila lateral para la aproximación deberían preferentemente tener una intensidad igual a aquella recomendada para las luces de eje de aproximación. Esto es difícil técnicamente debido a la absorción de la luz por el filtro rojo. Se recomienda, por lo tanto, que las luces de fila lateral para la aproximación tengan una intensidad tan alta como sea posible, en una relación fija con respecto a las luces del eje de aproximación.
5. Las luces de extremo de pista deberían preferentemente tener las mismas intensidades que las luces de borde de pista. Si ello no fuera técnicamente posible debido a un montaje a ras del suelo, deberían por lo menos tener una intensidad igual a las luces de eje de pista.

d) Para  $RVR \geq 5\ 000$ , las intensidades de todas las luces pueden ser 0, debido a que las señales de pista son siempre visibles, aún en el caso de aproximaciones hacia sol bajo.

26. Como resumen de los párrafos precedentes, las reglas para determinar los reglajes recomendados de intensidad  $I^*$  son las siguientes:

a) Se elige entre los siguientes reglajes de intensidad (cd):

	Aproximación	Umbral; borde de pista	Zona de toma de contacto; eje de pista
$I_{máx}$	30 000	15 000	5 000
	15 000	7 500	2 500
	6 000	3 000	1 000
Escalones de oscurecimiento	3 000	1 500	500
	1 500	750	250

b) Para  $RVR = 200$  a  $399$  m,  $I^* = I_{máx}$  para luces de aproximación, de umbral y de borde de pista.

c) Para  $RVR = 2\ 500$  a  $4\ 999$  m,  $I^* = 0$  para  $LM = 0.1; 0.25$  y  $0.5$ .

d) Para  $RVR \geq 5\ 000$  m,  $I^* = 0$ .

e)  $I^*$  se acerca lo más posible (dentro de estas normas) a los valores  $I$  de la Tabla A4-2, siendo  $RVR$  el valor más bajo de la gama para un tramo visual cuya longitud, aún por seleccionar, esté comprendida entre  $150$  y  $600$  m, y multiplicado por el valor  $LM$  correspondiente. Estos valores de  $I$  corregidos se indican a continuación mediante  $I_{150}$  e  $I_{(RX)}$ .

f) Calcúlese  $I_{150}$  para cada uno de los grupos de luces:

— si para cualquier grupo  $I_{150} \geq I_{máx}$ , entonces  $I^* = I_{máx}$ ; calcúlese el mayor  $RVR_{mín}$  de todos los grupos;

— si para todos los grupos  $I_{150} \leq I_{máx}$  y si para cualquier grupo  $I_{150} \geq 1/2 I_{máx}$ , entonces  $I^* = I_{máx}$ ;

— si para todos los grupos  $I_{150} \leq 1/2 I_{máx}$ , entonces véase g).

g) Calcúlese  $I_{(RX)}$  para cada grupo de luces:

— si para cualquier grupo  $I_{(RX)} \geq I_{máx}$ , entonces  $I^* = 1/2 I_{máx}$ ;

— si para todos los grupos  $I_{(RX)} \leq I_{máx}$ , entonces selecciónese el escalón de oscurecimiento más bajo para el cual  $I^* \geq I_{(RX)}$ , respecto a todas las luces.

## Apéndice 5. MÉTODO UTILIZADO PARA LAS PRESENTACIONES GRÁFICAS DE LAS FIGURAS 5-1 A 5-3

1. Es útil, tanto para el usuario como para el que diseña el sistema de iluminación de aeródromo, que el texto de orientación sobre control de las luces minimice las limitaciones impuestas por un control escalonado y por los incrementos de visibilidad fijos que se indican en las Tablas 5-1 a 5-3. Es útil asimismo disponer de algún medio para tener en cuenta la gran diversidad de valores de luminancia de fondo y, por ende, las intensidades necesarias comprendidas en la clasificación general de condiciones de día, crepúsculo y noche. Las Figuras 5-1 a 5-3 son un medio de lograr este objetivo.

2. Las figuras se basan en el contenido de las tablas. Cuatro líneas paralelas delimitan las tres bandas correspondientes a las condiciones diurnas, crepusculares y nocturnas. La línea de la parte superior (plena luz) corresponde a una luminancia de fondo ( $B_L$ ) de 40 000  $\text{cd}/\text{m}^2$  y un umbral de luminancia del ojo ( $E_T$ ) de  $10^{-3}$  lux. La línea siguiente (límite día/crepúsculo) corresponde a una  $B_L$  de 1 000  $\text{cd}/\text{m}^2$  y  $E_T$  de  $10^{-4}$  lux. La tercera línea (límite crepúsculo/noche) corresponde a una  $B_L$  de 15  $\text{cd}/\text{m}^2$  y un  $E_T$  de  $10^{-6}$  lux, mientras que la línea de la parte inferior corresponde a un  $B_L$  de 0.3  $\text{cd}/\text{m}^2$  y un  $E_T$  de  $10^{-7.5}$  lux (noche oscura).

3. Al considerar las cifras se observará que los datos se rigen por dos relaciones generales:

- a) Todas las líneas de todas las figuras tienen la misma pendiente, de tal modo que la intensidad necesaria con una visibilidad = 10 km es 1/30 de la necesaria con una visibilidad = 0 km, es decir:

$$I_{(10)} = \frac{I_{(0)}}{30}$$

Así pues, las líneas pueden trazarse para cualquier tipo de luz y de condiciones conocidas, siempre que se conozca la intensidad apropiada para visibilidad cero.

La única ligera excepción a esta regla son las condiciones diurnas máximas, cuando en condiciones de poca visibilidad la intensidad máxima disponible especificada en el Anexo 14, Volumen I, Apéndice 2 no es óptimo. Por consiguiente, en la práctica, la línea límite de la luminancia diurna máxima no termina a un alcance visual de 0 km sino en el punto en el que la visibilidad es igual a 1.5 km, pero la pendiente de la línea se conforma al caso general.

- b) La separación vertical entre las líneas (anchura de las bandas diurna, crepuscular y nocturna de las figuras) es constante para todos los tipos de iluminación, según la relación de los valores  $E_T$  cubiertos por dicha banda, es decir:

$$E_T \text{ día} = 10^{-3} - 10^{-4} \text{ lux} = 1 \text{ unidad}$$

$$E_T \text{ crepúsculo} = 10^{-3} - 10^{-6} \text{ lux} = 2 \text{ unidades}$$

$$E_T \text{ noche} = 10^{-6} - 10^{-7.5} \text{ lux} = 1.5 \text{ unidades}$$

así pues,

$$\text{Banda nocturna} = 1.5 \times \text{anchura de la banda diurna}$$

$$\text{Banda crepuscular} = 2 \times \text{anchura de la banda diurna}$$

En esta figura se mantiene el concepto de equilibrio entre los valores de iluminación, es decir, si la visibilidad es de 0 km y las condiciones corresponden al límite crepúsculo/noche, los tres diagramas recomiendan una intensidad del 10% (en la escala semidécada). Análogamente, si la visibilidad es de 4 km en el límite día/crepúsculo la intensidad recomendada sería del 20% (en la escala 5:1).

## Apéndice 6. DISTANCIAS VERTICALES DE LOS OJOS DEL PILOTO A LAS RUEDAS Y DE LOS OJOS DEL PILOTO A LA ANTENA EN DIVERSOS AVIONES

Este apéndice consiste de las siguientes tablas:

Tabla A6-1. Distancias verticales entre puntos críticos de la aeronave a la actitud máxima de cabeceo (aproximación a la velocidad VREF) (ILS)

Tabla A6-2. Distancias verticales entre puntos críticos de la aeronave a la actitud mínima de cabeceo (aproximación a velocidad VREF + 20) (ILS)

Tabla A6-3. Distancias verticales entre puntos críticos de la aeronave a la actitud máxima de cabeceo (aproximación a velocidad VREF) (MLS)

Tabla A6-4. Distancias verticales entre puntos críticos de la aeronave a la actitud mínima de cabeceo (aproximación a velocidad VREF + 20) (MLS)

**Tabla A6-1. Distancias verticales entre puntos críticos de la aeronave a la actitud máxima de cabeceo (aproximación a la velocidad VREF) (I.L.S)**

Modelo de aeronave	Pendiente de planeo 2.5'						Pendiente de planeo 3.0'					
	Actitud de cabeceo (grados) Reglaje de los flaps Masa bruta (kg)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4	Actitud de cabeceo (grados)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4
A300 B2, B4	5,3 25 130 000	9,1	22,9	32,0	19,6	28,7	4,9	9,1	22,9	32,0	18,9	28,1
A300 600	5,9 40/30 139 000	9,1	23,4	32,5	20,1	29,2	5,4	9,1	23,4	32,6	19,5	28,6
A310 300	5,5 40/30 118 000	9,1	20,7	29,8	17,9	27,0	5,0	9,1	20,8	29,9	17,4	26,5
A320	5,0 -	6,0	17,3	23,3	15,0	21,2	5,0	6,0	17,8	23,8	15,0	21,2
B702-120/220	1,9 50 60 782	1,0	19,4	20,4	16,5	17,7	1,4	1,0	19,4	20,4	15,9	17,2
B707 120B	3,0 40 64 865	1,0	20,6	21,6	17,8	18,9	2,5	1,0	20,6	21,6	17,2	18,4
B707-138	3,0 40 58 968	1,0	20,1	20,1	17,5	18,6	2,5	1,0	20,1	21,1	17,0	18,2
B707-138B	3,0 40 63 050	1,0	20,1	20,1	17,5	18,6	2,5	1,0	20,1	21,1	17,0	18,2
B707-320/420	1,8 50 73 030	1,0	19,9	21,0	16,8	18,0	1,3	1,0	19,9	21,0	16,1	17,4

Modelo de aeronave	Pendiente de planeo 2,5°						Pendiente de planeo 3,0°					
	Actitud de cabeceo (grados) Reglaje de los flaps Masa bruta (kg)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4	Actitud de cabeceo (grados)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4
B707-320B/C (ADV)	3,9 40 112 039	0,9	22,5	23,4	19,4	20,5	3,4	0,9	22,6	23,5	18,9	20,0
B707-320B (NO ADV)	2,6 40 81 648	1,0	20,9	21,9	17,8	18,9	2,1	1,0	20,9	21,9	17,1	18,4
B720	3,6 50 79 380	0,9	21,1	22,0	18,2	19,4	3,1	0,9	21,1	22,0	17,7	18,8
B720B	2,5 50 79 380	1,0	19,9	20,9	17,0	18,2	2,0	1,0	19,9	20,9	16,4	17,6
B727-100	4,5 30 43 772	0,8	21,4	22,3	18,6	19,7	4,0	0,8	21,4	22,3	18,1	19,2
B727-100 CON CAMBIO DELANTERO EXTERNO	4,3 30 43 772	0,9	21,2	22,0	18,4	19,5	3,8	0,9	21,2	22,1	17,9	19,0
B727-200	4,3 30 49 216	0,9	22,4	23,2	19,2	20,2	3,8	0,9	22,4	23,2	18,5	19,6
B737-100	4,3 25 36 288	0,9	17,5	18,3	15,6	16,7	3,8	0,9	17,5	18,3	15,2	16,3
B737-200	4,65 25 34 020	0,8	18,1	18,9	16,1	17,1	4,1	0,8	18,1	18,9	15,7	16,7
B737-200 (ADV)	7,0 15 36 288	0,6	19,9	20,6	18,0	18,9	6,45	0,6	19,9	20,5	17,5	18,4

Modelo de aeronave	Pendiente de planeo 2,5'						Pendiente de planeo 3,0'					
	Actitud de cabeceo (grados) Reglaje de los llaps Masa bruta (kg)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4	Actitud de cabeceo (grados)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4
B737-300	7,1 15 39 463	0,6	20,5	21,2	18,4	19,2	6,6	0,6	20,5	21,2	18,8	18,9
B737-400	6,1 15 41 504	0,7	20,7	21,4	18,3	19,2	5,6	0,7	20,7	21,4	17,8	18,7
B737-500	7,5 15 38 556	0,6	20,1	20,7	18,2	19,0	7,0	0,6	20,1	20,7	17,8	18,6
B747-100/200 (TREN DE ALA)	5,05 25 170 100	20,4	24,1	44,6	20,6	40,9	4,6	20,4	24,2	44,7	19,9	40,2
B747-100/200 (TREN DE FUSELAJE)	5,05 25 170 100	20,4	24,1	44,5	20,0	40,3	4,6	20,4	24,2	44,6	19,3	39,6
B747SP (TREN DE ALA)	5,2 30 156 492	20,4	21,8	42,2	18,9	39,3	4,7	20,4	21,8	42,2	18,3	38,6
B747SP (TREN DE FUSELAJE)	5,2 30 156 492	20,4	21,9	42,3	18,6	38,9	4,7	20,4	21,9	42,3	17,8	38,1
B747-300* (TREN DE ALA)	5,5 25 190 512	20,9	24,4	45,3	20,8	41,6	5,0	21,0	24,4	45,3	20,1	40,9
B757-200	5,9 25 70 762	6,1	22,4	28,5	19,0	25,3	5,4	6,1	22,4	28,5	18,4	24,7
B767-200 B767-200ER	5,25 25 102 786	6,6	23,5	30,2	20,4	27,2	4,75	6,6	23,5	30,2	19,7	26,6

Modelo de aeronave	Pendiente de planeo 2,5'						Pendiente de planeo 3,0'					
	Actitud de cabeceo (grados) Reglaje de los laps Masa bruta (kg)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H1	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4	Actitud de cabeceo (grados)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H1	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4
B767-300	4,6 25 107 503	6,7	24,0	30,7	20,3	27,2	4,1	6,7	24,0	30,7	19,6	26,5
B767-300ER	3,9 25 109 771	6,8	23,0	29,7	19,3	26,3	3,4	6,8	23,0	29,7	18,6	25,6
DC B 51/5	2,6 35 108 864	6,5	17,0	23,5	13,8	20,7	2,6	6,5	17,0	23,5	13,2	20,1
DC-8 61/7	-0,7 35 108 864	6,9	13,6	20,6	9,6	16,8	-0,7	6,9	13,6	20,6	8,8	16,1
DC-8 62/7	2,3 35 108 864	6,5	16,9	23,5	13,6	20,5	2,3	6,5	16,9	23,5	13,0	19,9
DC-8 63/7	2,3 35 124 740	6,5	18,5	25,0	14,4	21,3	2,3	6,5	18,5	25,0	13,6	20,6
DC-9-10	-1,3 50 37 059	6,6	7,7	14,3	5,6	12,5	-1,3	6,6	7,7	14,3	5,2	12,1
DC-9-20	7,0 25 42 366	5,4	14,7	20,2	12,6	18,4	7,0	5,4	14,7	20,2	12,2	18,1
DC 9-30	6,9 25 46 267	5,5	16,3	21,7	13,8	19,6	6,9	5,5	16,3	21,7	13,3	19,1
DC-9-33/3	5,9 25 46 267	5,6	15,5	21,1	13,0	19,0	5,9	5,6	15,5	21,1	12,5	18,5



Modelo de aeronave	Pendiente de planeo 2,5'						Pendiente de planeo 3,0'					
	Actitud de cabeceo (grados) Flejlaje de los flaps Masa bruta (kg)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4	Actitud de cabeceo (grados)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4
DC 9 40	5,9 25 46 267	5,6	16,0	21,6	13,4	19,3	5,9	5,6	16,0	21,6	12,9	18,9
DC-9-50	6,8 25 49 896	5,5	17,8	23,3	15,0	20,8	6,8	5,5	17,8	23,3	14,4	20,3
DC 10-10	5,3 35 164 657	6,5	29,6	36,1	25,3	32,0	5,3	6,5	29,6	36,1	24,5	31,2
DC-10 30	6,1 35 195 048	6,4	31,0	37,4	26,7	33,3	6,1	6,4	31,0	37,4	25,8	32,5
DC-10 40	7,0 35 181 440	6,3	32,5	38,8	28,2	34,8	7,0	6,3	32,5	38,8	27,4	34,0
Fokker 50	0,4 26,5 15 075	1,9	9,8	11,7	8,3	10,5	0,0	1,8	9,9	11,8	8,0	10,3
Fokker 100	4,5 25 36 000	2,7	16,4	19,1	14,0	16,9	4,0	2,7	16,4	19,1	13,5	16,5
MD 80	6,5 28 58 968	5,9	20,3	26,1	16,9	23,1	6,5	5,9	20,3	26,1	16,3	22,6
MD 87	6,6 28 58 968	5,5	18,8	24,3	15,9	21,7	6,6	5,5	18,8	24,3	15,3	21,2

\* El tren de ala es la parte más baja del avión hasta el momento en que la actitud de cabeceo pasa de 8°.

**Tabla A6-2. Distancias verticales entre puntos críticos de la aeronave a la actitud mínima de cabeceo (aproximación a velocidad VREF + 20) (ILS)**

Modelo de aeronave	Pendiente de planeo 2,5°						Pendiente de planeo 3,0°					
	Actitud de cabeceo (grados) Reglaje de los flaps Masa bruta (kg)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4	Actitud de cabeceo (grados)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4
A300-B2, B4	1,4 25 130 000	9,2	17,7	26,9	14,4	23,5	0,9	9,2	17,8	26,9	13,7	22,9
A300-600	1,9 40/30 139 000	9,2	18,1	27,3	14,8	23,9	1,4	9,2	18,2	27,3	14,1	23,3
A310-300	1,2 40/30 118 000	9,2	15,9	25,1	13,0	22,2	0,8	9,2	16,0	25,1	12,5	21,7
A320	2,0	6,3	14,5	20,8	12,1	18,7	2,0	6,3	15,0	21,3	12,1	18,6
B702-120/220	-1,9 50 60 782	1,3	15,0	16,4	12,1	13,6	-2,4	1,3	15,0	16,4	11,5	13,1
B707-120B	-1,6 50 64 865	1,3	15,4	16,7	12,5	14,0	-2,1	1,3	15,4	16,7	11,9	13,4
B707-138	-1,7 50 58 968	1,3	15,2	16,5	12,5	14,0	-2,2	1,3	15,2	16,5	12,0	13,5
B707-138B	-1,5 50 63 050	1,3	15,4	16,7	12,7	14,2	-2,0	1,3	15,4	16,7	12,2	13,7
B707-320/420	-2,1 50 73 030	1,3	15,0	16,4	11,8	13,4	-2,5	1,4	15,0	16,4	11,2	12,8

Modelo de aeronave	Pendiente de planeo 2,5°						Pendiente de planeo 3,0°					
	Actitud de cabeceo (grados) Reglaje de los ILS Masa bruta (kg)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4	Actitud de cabeceo (grados)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4
B707-320B/C (ADV)	-0,9 50 71 669	1,3	16,5	17,8	13,3	14,8	-1,4	1,3	16,5	17,8	12,7	14,2
B707-320B (NO ADV)	-1,7 50 69 401	1,3	15,5	16,8	12,3	13,8	-2,2	1,3	15,5	16,8	11,7	13,2
B720	-0,3 50 57 607	1,2	16,7	17,9	13,8	15,2	-0,8	1,2	16,7	17,9	13,2	14,6
B720B	-1,3 50 59 875	1,3	15,5	16,8	12,6	14,1	-1,8	1,3	15,5	16,0	12,0	13,5
B727-100	-2,3 40 43 772	1,4	13,8	15,2	11,0	12,6	-2,9	1,4	13,7	15,1	10,3	11,9
B727-100 CON CAMBIO DELANTERO EXTERNO	-2,3 40 43 772	1,4	13,8	15,2	11,1	12,6	-2,0	1,4	13,9	15,2	10,4	12,0
B727-200	-2,0 40 48 989	1,3	14,3	15,6	11,0	12,5	-2,5	1,4	14,3	15,6	10,3	11,9
B737-100	-3,0 40 44 906	1,4	12,0	13,4	10,1	11,7	-3,5	1,4	12,0	13,4	9,7	11,3
B737-200	-2,5 40 34 020	1,4	12,4	13,8	10,3	11,9	-3,0	1,4	12,4	13,8	9,9	11,5
B737-200 (ADV)	-1,0 40 34 020	1,3	13,6	14,9	11,6	13,0	-1,5	1,3	13,6	14,9	11,2	12,6

Modelo de aeronave	Pendiente de planeo 2,5'						Pendiente de planeo 3,0'					
	Acititud de cabeceo (grados) Reglaje de los llaps Masa bruta (kg)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4	Acititud de cabeceo (grados)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4
B737-300	-0,6 40 51 710	1,2	14,0	15,2	11,8	13,2	-1,1	1,2	14,0	15,2	11,8	13,2
B737-400	-0,8 40 54 886	1,3	14,0	15,3	11,6	13,0	-1,3	1,3	14,0	15,3	11,1	12,6
B737-500	0,5 40 49 896	1,2	13,9	15,1	11,9	13,3	-1,0	1,2	13,9	15,1	11,5	12,9
B747-100/200 (TREN DE ALA)	-0,75 30 170 100	20,2	15,8	36,0	12,1	32,1	-1,25	20,2	15,8	36,0	11,4	31,4
B747-100/200 (TREN DE FUSELAJE)	-0,75 30 170 100	20,2	14,6	34,8	10,5	30,5	-1,25	20,2	14,6	34,8	9,6	29,6
B747SP (TREN DE ALA)	1,4 30 156 492	20,3	17,5	37,8	14,6	34,7	0,9	20,3	17,5	37,8	14,0	34,1
B747SP (TREN DE FUSELAJE)	1,4 30 156 492	20,3	16,8	37,1	13,5	33,6	0,9	20,3	16,8	37,2	12,8	32,9
B747-300 (TREN DE ALA)	0,5 30 255 830	20,8	17,2	38,0	13,5	34,2	0,0	20,8	17,2	38,0	12,8	33,4
B757-200	-0,3 30 89 813	6,5	14,1	20,7	10,7	17,4	-0,8	6,6	14,1	20,7	10,0	16,8
B767 200	-0,2 30 123 379	7,1	16,6	23,7	13,3	20,6	-0,7	7,1	16,6	23,7	12,7	20,0

Modelo de aeronave	Pendiente de planeo 2,5'						Pendiente de planeo 3,0'					
	Aclitud de cabeceo (grados) Reglaje de los laps Masa bruta (kg)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4	Aclitud de cabeceo (grados)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4
B767-200ER	0,2 30 129 276	7,1	16,6	23,7	13,3	20,6	-0,7	7,1	16,6	23,7	12,7	20,0
B767-300	0,2 30 136 080	7,1	17,6	24,6	13,9	21,1	-0,3	7,1	17,6	24,7	13,2	20,4
B767-300ER	0,1 30 145 152	7,0	17,4	24,5	13,7	21,0	-0,4	7,1	17,4	24,5	13,0	20,3
DC 8-51/5	-1,1 35 108 864	7,0	12,3	19,3	9,2	16,4	-1,1	7,0	12,3	19,3	8,5	15,9
DC-8 61/7	3,2 35 108 864	7,3	9,6	16,8	5,5	13,1	-3,2	7,3	9,6	16,9	4,7	12,3
DC 8 62/7	-1,0 35 108 864	7,0	12,6	19,6	9,2	16,5	-1,0	7,0	12,6	19,6	8,6	15,9
DC-8 63/7	-0,8 35 124 740	6,9	13,5	20,4	9,4	16,7	-0,8	6,9	13,5	20,4	8,6	15,9
DC 9-10	-5,1 50 37 059	7,0	4,5	11,5	2,3	9,7	-5,1	7,0	4,5	11,5	1,9	9,3
DC-9-20	3,0 25 42 366	6,0	11,4	17,4	9,3	15,6	3,0	6,0	11,4	17,4	8,8	15,2
DC-9-30	3,1 25 46 267	6,0	12,5	18,5	9,9	16,3	3,1	6,0	12,5	18,5	9,4	15,8

Modelo de aeronave	Pendiente de plano 2,5°						Pendiente de plano 3,0°					
	Actitud de cabeceo (grados) Reglaje de los flaps Masa bruta (kg)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H1	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4	Actitud de cabeceo (grados)	De trayectoria de los ojos a haz ILS (pies) H2	De haz ILS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena ILS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4
DC-9 33/3	2,0 25 46 267	6,1	11,6	17,8	9,1	15,6	2,0	6,1	11,7	17,8	8,6	15,1
DC-9 40	2,2 25 46 267	6,1	12,1	18,2	9,5	15,9	2,2	6,1	12,1	18,2	8,9	15,4
DC 9 50	2,7 25 49 896	6,0	13,1	19,2	10,3	16,6	2,7	6,0	13,1	19,2	9,7	16,1
DC-10 10	2,6 35 164 657	6,7	25,0	31,7	20,7	27,6	2,6	6,7	25,0	31,7	19,8	26,8
DC 10 30	1,7 35 195 048	6,8	23,5	30,2	19,1	26,1	1,7	6,8	23,5	30,3	18,2	25,3
DC 10-40	3,5 35 181 440	6,6	26,5	33,2	22,2	29,1	3,5	6,6	26,6	33,2	21,4	28,2
Fokker 50	6,1 35 14 200	2,8	5,7	8,5	4,1	7,3	-6,5	2,8	5,8	8,6	3,9	7,1
Fokker 100	2,5 42 29 000	3,4	9,6	13,0	7,2	10,8	-3,0	3,4	9,6	13,0	6,7	10,4
MD-80	1,9 28 58 968	6,5	14,1	20,7	10,8	17,6	1,9	6,5	14,1	20,7	10,1	17,0
MD 87	2,0 28 58 968	6,1	13,4	19,6	10,5	18,9	2,0	6,1	13,4	19,6	9,9	16,4

\* El tren de ala es la parte más baja del avión hasta el momento en que la actitud de cabeceo pasa de 8°.

**Tabla A6-3. Distancias verticales entre puntos críticos de la aeronave a la actitud máxima de cabeceo (aproximación a velocidad VREF) (MLS)**

Modelo de aeronave	Pendiente de planeo 2,5'						Pendiente de planeo 3,0'					
	Actitud de cabeceo (grados) Reglaje de los flaps Masa bruta (kg)	De trayectoria de los ojos a haz MLS (pies) H2	De haz MLS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena MLS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4	Actitud de cabeceo (grados)	De trayectoria de los ojos a haz MLS (pies) H2	De haz MLS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena MLS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4
A320	5 - -	7,2	16,2	23,3	13,8	21,2	5,0	7,2	16,6	23,8	13,8	21,2
Fokker 100	4,5 25 36 000	-2,4	21,5	19,1	19,5	16,9	4,0	-2,4	21,6	19,1	19,1	16,5

**Tabla A6-4. Distancias verticales entre puntos críticos de la aeronave a la actitud mínima de cabeceo (aproximación a velocidad VREF + 20) (MLS)**

Modelo de aeronave	Pendiente de planeo 2,5'						Pendiente de planeo 3,0'					
	Actitud de cabeceo (grados) Reglaje de los flaps Masa bruta (kg)	De trayectoria de los ojos a haz MLS (pies) H2	De haz MLS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena MLS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4	Actitud de cabeceo (grados)	De trayectoria de los ojos a haz MLS (pies) H2	De haz MLS a trayectoria de las ruedas (pies) H	De trayectoria de los ojos a trayectoria de las ruedas (pies) H1	Antena MLS sobre las ruedas (pies) H3	Ojos del piloto sobre las ruedas (pies) H4
A320	2 - -	7,5	13,4	20,8	11,0	18,7	2,0	7,4	13,9	21,3	11,0	18,6
Fokker 100	-2,5 42 29 000	-2,8	15,8	13,0	13,7	10,8	-3,0	-2,8	15,8	13,0	13,3	10,4

— FIN —

## PUBLICACIONES TÉCNICAS DE LA OACI

*Este resumen explica el carácter, a la vez que describe, en términos generales, el contenido de las distintas series de publicaciones técnicas editadas por la Organización de Aviación Civil Internacional. No incluye las publicaciones especializadas que no encajan específicamente en una de las series, como por ejemplo el Catálogo de cartas aeronáuticas, o las Tablas meteorológicas para la navegación aérea internacional.*

**Normas y métodos recomendados internacionales.** El Consejo los adopta de conformidad con los Artículos 54, 37 y 90 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, y por conveniencia se han designado como Anexos al citado Convenio. Para conseguir la seguridad o regularidad de la navegación aérea internacional, se considera que los Estados contratantes deben aplicar uniformemente las especificaciones de las normas internacionales. Para conseguir la seguridad, regularidad o eficiencia, también se considera conveniente que los propios Estados se ajusten a los métodos recomendados internacionales. Si se desea lograr la seguridad y regularidad de la navegación aérea internacional, es esencial tener conocimiento de cualesquier diferencias que puedan existir entre los reglamentos y métodos nacionales de cada uno de los Estados y las normas internacionales. Si, por algún motivo, un Estado no puede ajustarse, en todo o en parte, a determinada norma internacional, tiene de hecho la obligación, según el Artículo 38 del Convenio, de notificar al Consejo toda diferencia o discrepancia. Las diferencias que puedan existir con un método recomendado internacional también pueden ser significativas para la seguridad de la navegación aérea, y si bien el Convenio no impone obligación alguna al respecto, el Consejo ha invitado a los Estados contratantes a que notifiquen toda diferencia además de aquellas que atañan directamente, como se deja apuntado, a las normas internacionales.

**Procedimientos para los servicios de navegación aérea (PANS).** El Consejo los aprueba para su aplicación mundial. Comprenden, en su mayor parte, procedimientos de operación cuyo grado de desarrollo no se estima suficiente para su adopción como normas o métodos recomendados internacionales, así como también materias de un carácter más permanente que se consideran demasiado

detalladas para su inclusión en un Anexo, o que son susceptibles de frecuentes enmiendas, por lo que los procedimientos previstos en el Convenio resultarían demasiado complejos.

**Procedimientos suplementarios regionales (SUPPS).** Tienen carácter similar al de los procedimientos para los servicios de navegación aérea ya que han de ser aprobados por el Consejo, pero únicamente para su aplicación en las respectivas regiones. Se publican englobados en un mismo volumen, puesto que algunos de estos procedimientos afectan a regiones con áreas comunes, o se siguen en dos o más regiones.

---

*Las publicaciones que se indican a continuación se preparan bajo la responsabilidad del Secretario General, de acuerdo con los principios y criterios previamente aprobados por el Consejo.*

**Manuales técnicos.** Proporcionan orientación e información más detallada sobre las normas, métodos recomendados y procedimientos internacionales para los servicios de navegación aérea, para facilitar su aplicación.

**Planes de navegación aérea.** Detallan las instalaciones y servicios que se requieren para los vuelos internacionales en las distintas regiones de navegación aérea establecidas por la OACI. Se preparan por decisión del Secretario General, a base de las recomendaciones formuladas por las conferencias regionales de navegación aérea y de las decisiones tomadas por el Consejo acerca de dichas recomendaciones. Los planes se enmiendan periódicamente para que reflejen todo cambio en cuanto a los requisitos, así como al estado de ejecución de las instalaciones y servicios recomendados.

**Circulares de la OACI.** Facilitan información especializada de interés para los Estados contratantes. Comprenden estudios de carácter técnico.





FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES  
XXVI CURSO INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍA DE AEROPUERTOS

Del 31 de agosto al 30 de octubre.

Módulo III

CONSTRUCCION DE AEROPUERTOS

*Tema: Manual de Construcción para estabilización con Cal.  
Propiedades deseables de las Mezclas Asfálticas.*

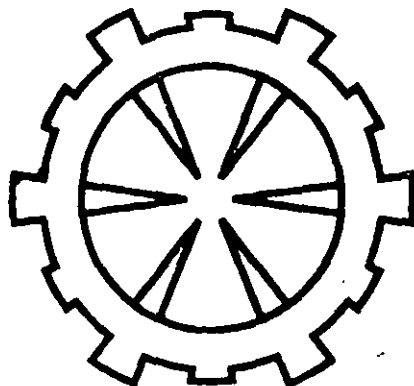
Palacio de Minería  
1998.

# **MANUAL DE CONSTRUCCION PARA ESTABILIZACION CON CAL**

PUBLICACION DE LA  
NATIONAL LIME ASSOCIATION

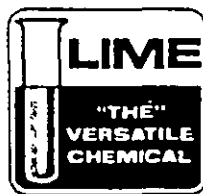
CORTESIA DE

**anfaca**



ASOCIACION NACIONAL DE FABRICANTES DE CAL

# **MANUAL DE CONSTRUCCION PARA ESTABILIZACION CON CAL**



PUBLICACION DE LA  
**NATIONAL LIME ASSOCIATION**  
3601 North Fairfax Drive  
Arlington, VA. 22201

## **RECONOCIMIENTO**

---

EL PRESENTE MANUAL FUE TRADUCIDO BAJO EL PATROCINIO DE CALERAS BERTRAN, S. A. DE C. V., CON LA AUTORIZACION DE LA NATIONAL LIME ASSOCIATION, Y PUESTO A LA DISPOSICION DE LA ASOCIACION NACIONAL DE FABRICANTES DE CAL, A.C., COMO UNA APORTACION EN BENEFICIO DE LA INDUSTRIA CALERA MEXICANA

# Índice

## CAPITULO I—INTRODUCCION

	PAGINA
Definición de Estabilización con Cal.....	5
Efectos de la Cal Sobre Suelos Arcillosos.....	7

## CAPITULO II—PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS PARA LA CONSTRUCCION

Bosquejo del Procedimiento de Construcción.....	10
A. Estabilización de la Sub-base.....	11
1. Escarificación y Pulverización.....	11
2. Esparcido de Cal.....	11
3. Mezclado y Mojado Preliminares.....	13
4. Curado Preliminar.....	13
5. Mezclado y Pulverización Final.....	14
6. Compactación.....	14
7. Curado Final.....	15
B. Estabilización de la Base.....	15
1. Escarificación y Pulverización.....	16
2. Esparcido de la Cal.....	16
3. Mezclado y Humedecimiento.....	16
4. Compactación.....	16
5. Curado.....	17
1. Mezclado Central.....	17
2. Colocación del Material.....	17
3. Compactación.....	18
4. Curado.....	18
C. Modificaciones de la Cal.....	18

## CAPITULO III—ELABORACION DETALLADA DE LOS PASOS DE CONSTRUCCION

Escarificación y Pulverización.....	19
Esparcido de Cal.....	19
Cal Seca en Bolsas.....	19
Cal Seca a Granel.....	22
Método de Lechada.....	24
Pros y Contras del Método Seco Contra el de Lechada.....	27
Doble Aplicación de la Cal.....	28
Mezclado y Humedecimiento.....	28
Mezclado de la Sub-base.....	28
Mezcla de la Base.....	29
Mezclado Centralizado.....	30
Compactación.....	31
Curado.....	34

## CAPITULO IV—CONSIDERACIONES VARIAS

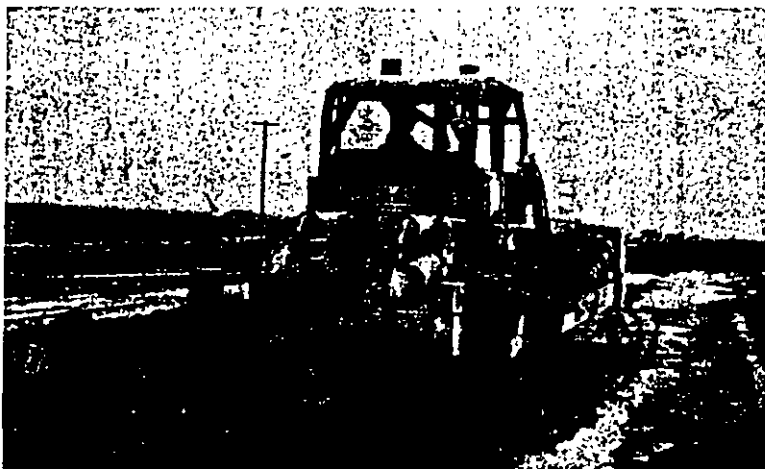
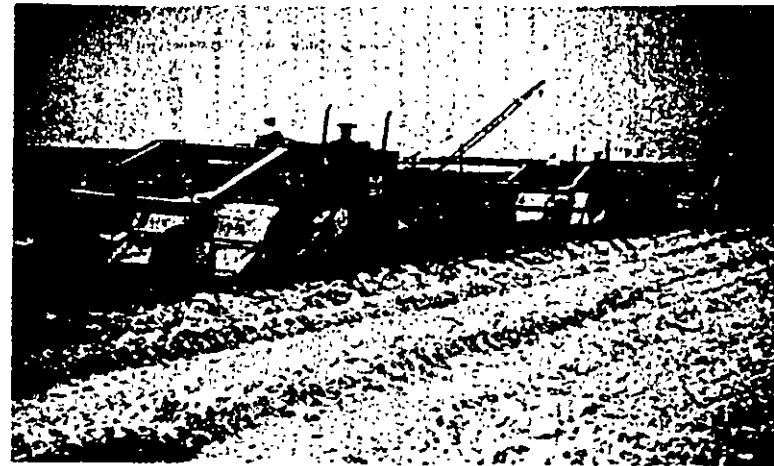
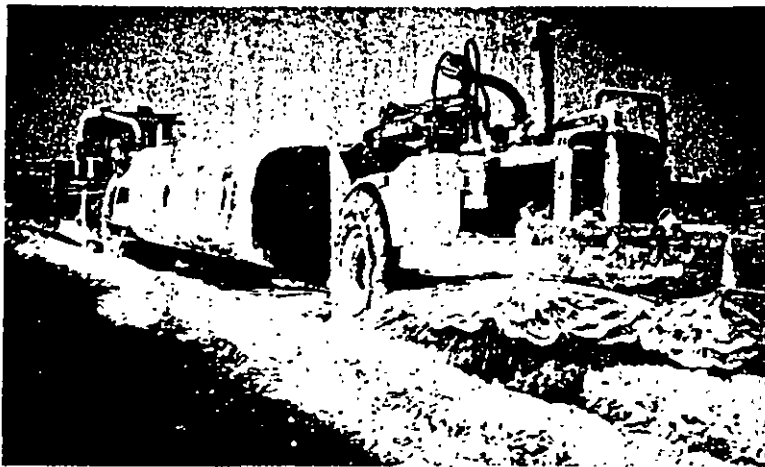
Cómo mantener el Tráfico.....	35
Necesidad de una Superficie de Uso.....	35
Limitaciones Climatológicas.....	35
Contingencias por Congelamiento.....	37
Comienzo anticipado de la Primavera.....	38
La lluvia No es Obstáculo.....	38
Precauciones de Seguridad para el Manejo de la Cal.....	39
Ropa.....	39
Cremas Protectoras.....	40
Protección de Ojos.....	40
Protección de Boca y Nariz.....	40
Después del Trabajo.....	40
Primeros Auxilios.....	40
Densidad de la Cal a Granel.....	41
Uso de la Cal Viva para la Estabilización.....	41
Uso de Otros Estabilizadores con Cal.....	44

## ANEXO "A"

Especificaciones sobre el uso de Cal Hidratada en la Estabilización y Modificación de Suelos.....	45
--	----

## ANEXO "B"

Otras Referencias de Especificaciones sobre la Estabilización con Cal.....	45
Comentarios acerca del Editor.....	46



*Escenas de estabilización en el Aeropuerto Dallas Fort Worth, el proyecto más grande de estabilización con cal del mundo. Las fotos muestran el esparcido de lechada de cal, la escarificación con un grado de raíces, el mezclado con una mezcladora rotatoria, y la compactación con un rodillo de patas de cabra.*

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

Naturalmente, antes de empezar la construcción o reparación de cualquier carretera es necesario un detallado diseño, incluyendo las especificaciones de los trabajos y tomando en cuenta las condiciones climatológicas, de tráfico, de suelos y materiales. Esta publicación sólo abarca los pasos del procedimiento para la construcción, y presupone que toda la planeación necesaria, pruebas y diseños en sitio ya están hechos. Así mismo, presupone que se han realizado algunas pruebas de suelo, encontrándose que reaccionan con la cal, (para ser usada en sitio o con material prestado).

#### *Definición de Estabilización con Cal*

La estabilización aplicada en la construcción de super carreteras puede definir-

se como un medio de consolidación permanente de suelos y materiales de base, por el marcado incremento de su resistencia y su capacidad de apoyo, así como la disminución de su sensibilidad al agua y a cambios de volumen durante los ciclos humedad-sequía. Para alcanzar la estabilidad debe incorporarse un aditivo al suelo, y uno de los métodos que más rápido está creciendo en estabilización de suelos involucra el uso de cal. Este aditivo es particularmente efectivo con suelos de asentamientos de arcilla y agregados, con los cuales reacciona tanto química como físicamente para producir materiales de calidad para la construcción de carreteras.

Se ha abusado mucho de la palabra "cal" implicando muchas veces cualquier tipo de material calcáreo. Sin embargo, de acuerdo con el diccionario Webster y su

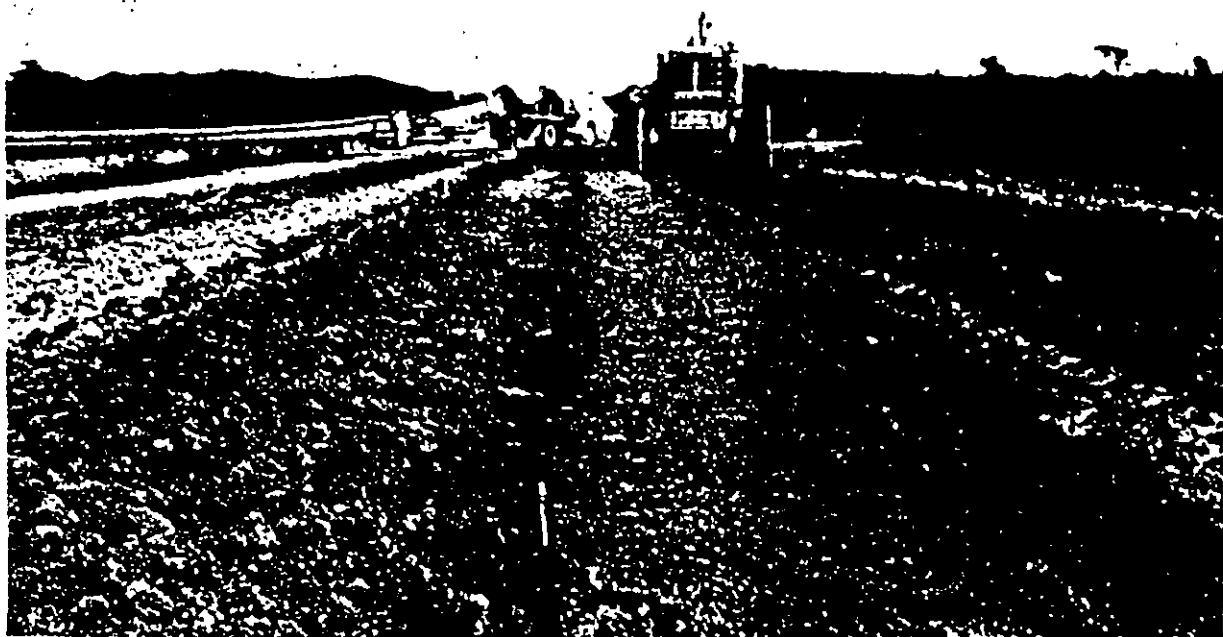


FIG. 1. Aquí se muestra la acción suavizante de la cal después de pasar una mezcladora rotatoria sobre la sub-base en un proyecto en Kansas. El carril justo a la izquierda del centro, representa la arcilla sin tratar, mientras que el carril de la derecha fue tratado con cal y usado durante dos días.



FIG. 2. Estas secuencias fotográficas muestran la trituración de arcilla pesada en un proyecto con cal en Florida. A la izquierda, las condiciones de la arcilla después del esparcido con cal y de la primera pasada con una rastra de disco (nótese el tamaño de los terrones). Al centro, las condiciones de quebrado después de dos pasadas con una mezcladora rotatoria; y derecha, después de varias pasadas, la arcilla ha sido transformada a una condición de desmenuzamiento, para facilitar la compactación.

precisa definición, sólo se puede referir a cal "viva" (óxido de calcio) o a cal hidratada (hidróxido de calcio), las cuales son formas de piedra caliza calcinadas (carbonato de calcio). La estabilización con cal sólo abarca los productos de cal calcinada, no la piedra caliza pulverizada. Hay sólo dos tipos fundamentales de cal: de alto contenido de calcio, y dolomítica (alta en magnesio). Existe muy poca diferencia (si no es que ninguna) en la efectividad de esos dos tipos de cal para estabilización,

ya que ambas se han usado con éxito.

La reacción química de cal con suelos arcillosos tiene dos aspectos. El primero, que aglomera las partículas finas de arcilla en partículas gruesas desmenuzables (tamaños de arena y sedimentos) a través de un fenómeno llamado intercambio de base. Segundo, produce una definitiva "cementación" o acción de endurecimiento, en la cual la cal reacciona químicamente con la sílice disponible y alguna alúmina en el suelo raso (o con aditivos puzolánicos como el Fly ash) formando silicatos de calcio y aluminatos. Los productos de la reacción son permanentes y la resistencia impartida a la capa estabilizada ayuda a promover la durabilidad y una mayor vida del pavimento.

En general, las reacciones de cal se facilitan en la mayoría de los suelos plásticos que contienen arcilla, ya sean arcillas de grano fino o de arcillas tipo grava. El rango de índice de plasticidad de dichos suelos (P.I.) es de 10 a 50+. La única excepción podría ser los suelos orgánicos. Suelos con un P.I. menor a 10 no reaccionan fácilmente con la cal, si bien hay varias excepciones. En suelos con bajo P.I. es imperativo que al menos esté presente el 15% del material menor a una malla del No. 200.

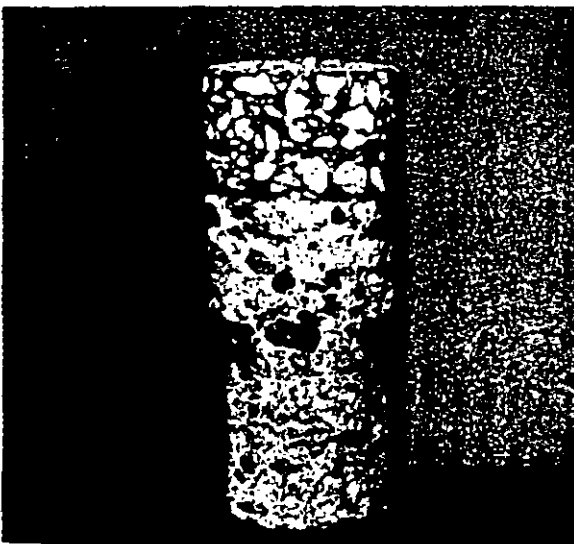


FIG. 3. Un corazón de 4 pulgadas tomado de una carretera estabilizada con cal, de 14 años de uso en Texas. La resistencia original de la grava de arcilla se aumentó en cerca de 500 p.s.i.





FIG. 4. Estabilización con cal formando mesas de trabajo. Los surcos hechos en la arcilla sin tratar después de llover son profundos, en tanto que apenas se perciben en la sección adjunta estabilizada con cal.

Para suelos no plásticos y bajos en P.I., que no responden a la cal, se requiere un segundo aditivo puzolánico, para producir la necesaria reacción cal-silice. El Fly ash, material de desecho de las plantas de calcinación de carbón, es la puzolana más comúnmente usada para este propósito. Asimismo se han usado con éxito otros materiales como cenizas de volcán y arcilla fina expandida. Bajo ciertas circunstancias algunas arcillas reactivas también pueden ser empleadas.

#### *Efectos de la Cal Sobre Suelos Arcillosos*

La cal cambia las características físicas de la mayoría de los suelos arcillosos, en distintos grados como sigue:

1.- El índice de plasticidad decae bruscamente (más de cuatro veces en algunos casos). Esto generalmente se debe a que el límite de líquidos disminuye, y el límite plástico se incrementa.

2.- El suelo se aglomera, disminuyendo substancialmente el contenido de la mezcla del suelo (partículas menores a una malla del No. 40)

3.- La cal (y el agua) aceleran la desintegración (rompimiento) de los nódulos de arcilla durante el mezclado. Como un

resultado del 2 y 3, el suelo se vuelve desmenuzable y puede trabajarse fácilmente (Figs. 1 y 2)

4.- La cal ayuda al secado rápido de la tierra, acelerando así la compactación.

5.- La contracción y el grosor característico de los suelos arcillosos se reducen notablemente.

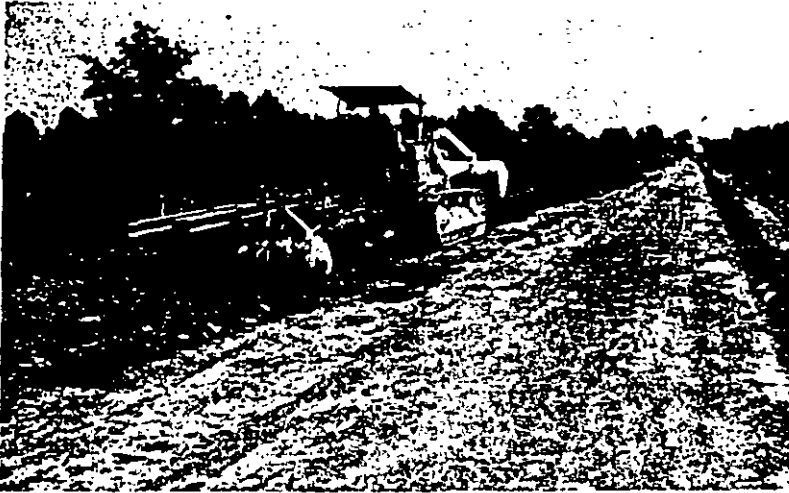
6.- Después del curado, la resistencia a la compresión no confinada, se desarrolla considerablemente, en algunos casos tanto como 40 veces (Fig. 3).

7.- Los valores de soporte-carga, medidos a través de varias pruebas (CBR, R-Value, Texas triaxial, placa de asiento o valor-K) aumentan substancialmente.

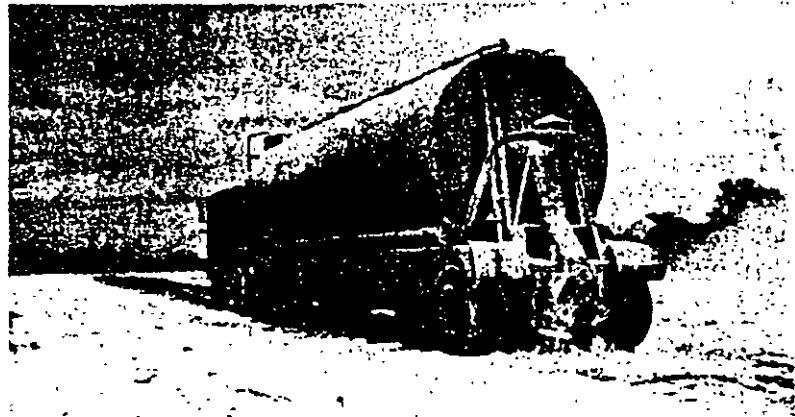
8.- La resistencia a tensión y flexión, medida a través de diferentes pruebas (medición a la cohesión, tensión de cuarteaduras, etc.) aumenta notoriamente.

La capa estabilizadora de cal forma una barrera resistente al agua, la cual impide su paso por gravedad de la parte de arriba, y de humedad capilar de abajo. Por tanto, esta capa se convierte en una firme mesa de trabajo, rechazando el agua de lluvia y manteniéndose estable, por lo que se reducen las demoras de la construcción (Fig. 4).

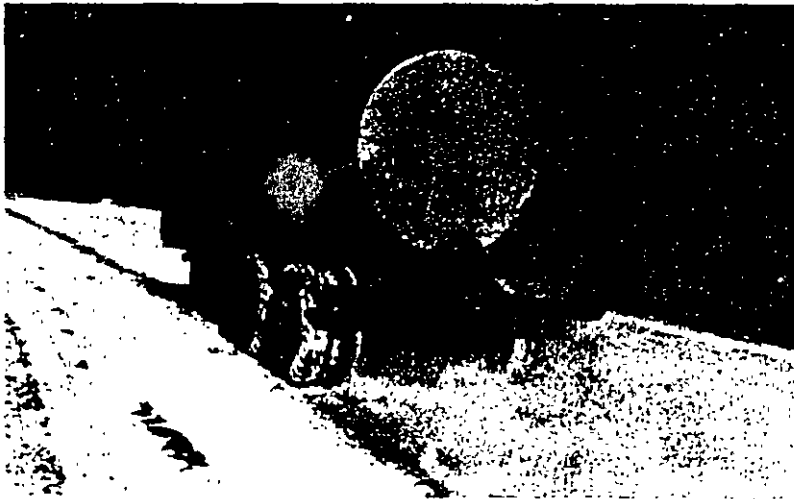
*Manual de Construcción para Estabilización con Cal*



*(a) Escarificación de una sub-base de arcilla con una rastra de disco.*



*(b) Esparcido de cal a granel desde un camión-tanque neumático, a través de un esparcidor de ciclones.*

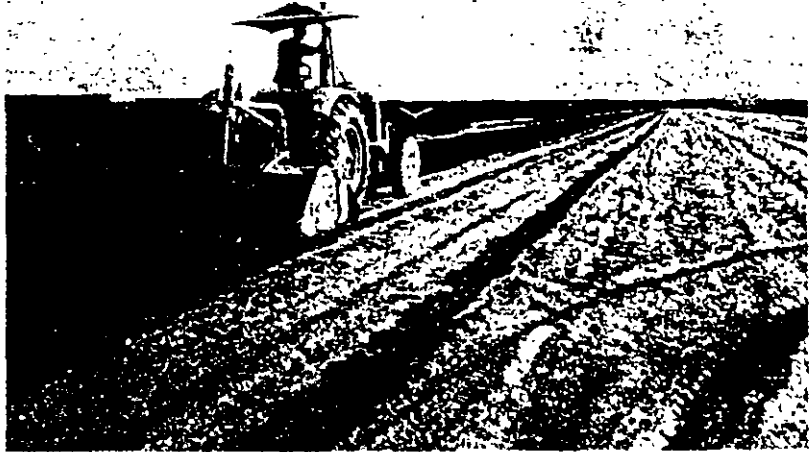


*(c) Rociado de agua después del esparcido de la cal.*

*FIG. 5. Pasos básicos en construcción*

*Manual de Construcción para Estabilización con Cal*

*(d) Mezclado y pulverizado de la cal con el suelo, mediante una mezcladora rotatoria.*



*(e) Compactación inicial de la mezcla cal-suelo, con un rodillo de patas de cabra.*

*(f) Curado y rodamiento de una sub-base estabilizada con cal.*



*con estabilización con cal.*

## CAPITULO II

### PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS PARA LA CONSTRUCCION

Las siguientes recomendaciones se aplican al uso de cal hidratada en la estabilización o modificación de sub-bases o capas de asiento, y su fin es el de servir como guía general en la planeación de especificaciones. Para estabilización con cal viva, ver página 41. Por lo general, la base estabilizadora no debe trabajarse a una altura mayor de 6 pulgadas cada vez. Existen 3 clases de tratamiento con cal:

A. *Estabilización de sub-bases.* Esta categoría incluye la estabilización de tierra granular en sitio (sub-base) o materiales prestados que sean utilizados como sub-bases, como arcillas hidráulicas para relleno, o cualquier otra arcilla de baja calidad y material sedimentado obtenido de excavaciones o fosas prestadas. Ya sea que se utilice material en sitio o prestado, se requiere de una capa de asiento sobrepuesta, cuyo grosor puede variar. Esta categoría, que incluye el mezclado en sitio, presupone una adición del 3 al 6% de cal por peso de tierra seca.

B. *Estabilización de bases.* Esto incluye materiales plásticos como cal-grava, grava "sucia" y piedra caliza, caliche, etc. (materiales de base submarginados) que contengan por lo menos 50% de material grueso retenido en una malla No. 40. Esta categoría, que se aplica tanto a caminos nuevos, como para la reconstrucción de caminos desgastados, presupone una adición de cal del 2 al 4% por peso. La mezcla hecha en sitio es la más común para la estabilización de bases, aunque también se usa mezclar en la planta de origen.

C. *Modificación de cal.* Esta categoría incluye el mejoramiento tanto de tierra de grano fino, como de materiales granulares de base con pequeñas cantidades de cal, ej. de ½ a 3% por peso. Dada la pequeña cantidad que se usa de cal, los materiales no se estabilizan completamente como sucede en los puntos A y B, pero a pesar de ello decididamente se mejoran. Por

ejemplo, en el caso de materiales de base granular pequeña como de ½ a 1% se puede usar la cal sola para reducción del P.I. (o posiblemente para reducir la cantidad que pueda pasar por una malla No. 200) y con esto concordar con las especificaciones. Con tierras arcillosas más pesadas un poquito de cal como del 2 al 3% puede usarse para lo siguiente: ayudar a la compactación con el secado de áreas mojadas, ayudar a unir a través de un subsuelo esponjoso adyacente, creando así una mesa de sujeción para una construcción posterior, o para condicionar la tierra (hacerla funcional) para una estabilización futura con cemento portland o para trabajar el asfalto. La diferencia principal entre modificación y estabilización es que por lo general no se le otorga crédito a la capa con cal modificada en el diseño de carreteras, como por ejemplo reducir el espesor del pavimento.

#### *Bosquejo del Procedimiento de Construcción.*

Los pasos de construcción relacionados con la estabilización y modificación son similares, difiriendo sólo en pequeños detalles. Generalmente, la estabilización requiere de un proceso más delicado y un mayor control del trabajo de obra, que la modificación. Los pasos básicos incluyen escarificación y pulverización parcial, esparcido de cal, mezclado, compactación a la máxima densidad práctica y curado, antes de la colocación de una capa subsiguiente de desgaste (Fig. 5). Para alcanzar una completa estabilización, es esencial una adecuada pulverización de las fracciones de arcilla. Consecuentemente, en donde se esté estabilizando la arcilla, por lo general es necesario mezclar la capa de cal-arcilla en dos etapas, dando lugar a un intervalo de 24 a 48 horas para el curado. Durante este periodo de curado inicial, la

arcilla se "afloja" al grado de que puede obtenerse fácilmente la pulverización durante el mezclado final.

Por otro lado, con la modificación de cal y la estabilización de la base, una simple etapa de mezclado es suficiente, y la compactación puede proseguir inmediatamente después del mezclado.

Cuando se use el mezclado en planta en lugar de en sitio, ya sea en estabilización o modificación de bases, obviamente sólo podrá aplicarse uno de los tres ejemplos arriba mencionados, ejem.: esparcido de la mezcla completa de cal-agregado-agua, compactación y curado.

Desde el punto de vista de obtener la más alta calidad de construcción a un mínimo costo, se enumeran a continuación en secuencia los pasos de construcción y prácticas recomendables.:

## **A. ESTABILIZACION DE LA SUB-BASE**

### **1. Escarificación y Pulverización.**

Cuando la tierra se haya llevado a nivel y alineación como se muestra en las seccio-

nes típicas, la sub-base debe escarificarse a la profundidad y ancho de estabilización y entonces pulverizarla parcialmente. Todo el material deletéreo como tocones, raíces, césped, etc, y agregados más largos de 3 pulgadas deben removerse.

Equipo: Escarificador-nivelador y/o escarificador de disco para escarificación final, seguido de escarificador de disco y/o mezcladora rotatoria de velocidades para pulverización.

### **2. Esparcido de Cal.**

La cal hidratada, de acuerdo con los requerimientos citados en el Apéndice A, debe ser esparcida uniformemente en un porcentaje específico, utilizando los métodos seco o de lechada (mojado). Las aplicaciones en seco abarcan ya sea la colocación de bolsas de papel para cal en la cama del camino (Fig. 6), o la aplicación de lechada de cal desde camiones apropiadamente equipados con auto-descarga. Un esparcidor apropiado es preferible para una distribución uniforme.

Si se emplea cal seca, ésta debe rociarse ligeramente para reducir el levantamiento



FIG. 6. Aplicación de cal envasada en un camino de acceso en Chicago.

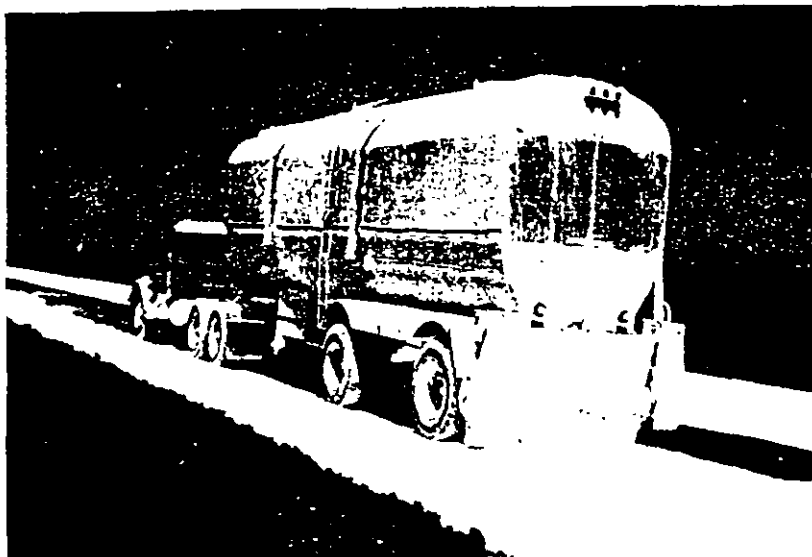


FIG. 7. Esparcidor mecánico adaptado a un camión-tanque de cal hidratada a granel, en un proyecto interestatal en California. El esparcidor tiene incorporado un alimentador de paletas.

de polvo. Si se emplea cal en bolsa, las pilas de cal deben nivelarse con un rastrillo de mano por medio de una rastra, antes de comenzar el mezclado, pero nunca con un nivelador.

La cal seca nunca debe esparcirse cuando hay viento, para evitar el levantamiento de polvo. Bajo estas condiciones, o en lugares muy poblados, se sugiere la aplicación de lechada pues es menos polvosa. La cal debe aplicarse solamente en aquellas áreas en donde pueda mezclarse con la tierra durante el mismo día de su aplicación. Para prevenir la pérdida provocada por el viento y minimizar la carbonatación, la cal debe cubrirse y mezclarse dentro de la tierra cuando mucho 6 horas después de su aplicación.

Si se emplea lechada, las instalaciones en donde se prepara deben ser autorizadas por el ingeniero. Se deben tomar previsiones en cuanto a la agitación del camión distribuidor para prevenir el asentamiento de los sólidos de cal.

Una relación de lechada de cal es 1 tonelada de cal x 895 litros de agua.

Equipo para aplicación en seco: Para envíos por camión, los camiones tanque de auto-descarga de granel son los más eficientes para transportar y esparcir la cal, ya que con ello se evita mayor manipulación del material. La descarga se lleva

a cabo neumáticamente o por un transportador de tornillo sinfin integrado. El esparcido puede realizarse por un esparcidor mecánico adjunto a la parte trasera (Fig. 7); por un tubo de bajada o por botas de hule flexible extendiéndose de cada transportador o línea aérea.

Para embarques de cal a granel por ferrocarril, se deben utilizar carros tolva cubiertos, y se requiere de transportadores de tornillo sinfin de alta capacidad para descargar los carros de ferrocarril hacia el camión o tanque de volteo (Fig. 8). Si se emplea camión de volteo, la caja debe cubrirse con una lona para evitar el levantamiento de polvo en el camino hacia la obra y durante el esparcido. El esparcido desde un camión de volteo debe realizarse a través de un esparcidor mecánico adjunto a la parte trasera. No es recomendable esparcir a través de una compuerta trasera ni emparejar con una niveladora.

Para las aplicaciones con bolsas, los camiones de volteo o de plataforma transportan la cal hacia la obra, y las bolsas se colocan manualmente sobre la cama del camino. Las bolsas se abren con un cuchillo y se vacían en pilas, estas pilas se nivelan en forma uniforme con una rastra jalada por un camión o tractor.

Equipo para la aplicación de lechada: La lechada se puede preparar en un tan-



FIG. 8. Dos transportadores de gusano de alta velocidad transfiriendo la cal de una tolva de ferrocarril cerrada a un camión de colteo cubierto, en un proyecto en Dakota del Norte.

que central, con una apropiada agitación para el mezclado de cal y agua. El mezclado se realiza con paletas, aire comprimido, y/o una bomba de recirculación. El segundo método requiere de agregar una cantidad específica de agua y cal a los camiones tanque, con un mezclado que se lleva a cabo en tránsito con bomba de recirculación. El método más reciente consiste de una mezcladora surtidora de lechada, la cual produce la lechada instantánea y constantemente (Fig. 20).

Se puede emplear agua estándar o camiones tanque para asfalto, con o sin distribuidores de presión (Fig. 9). Se prefiere utilizar distribuidores de presión ya que proporcionan una aplicación más uniforme. Dado que la cal aplicada en lechada es menos concentrada que las aplicaciones de cal seca, usualmente se requiere de dos o más pasadas para proveer la cantidad específica de sólidos de cal.

**Precauciones de Seguridad:** sin importar cómo se aplique la cal, hay ciertas precauciones de seguridad que deben seguirse; para mayores detalles ver Capítulo 4.

### **3. Mezclado y Mojado Preliminares**

Se requiere un mezclado preliminar para distribuir la cal uniformemente a

través de la tierra a la profundidad y ancho adecuado y para pulverizar la tierra a un mínimo de 2 pulgadas. Durante esta etapa debe agregarse agua para aumentar la humedad de la mezcla tierra-cal a por lo menos 5% arriba del contenido óptimo de humedad. Es conveniente que se realice un mezclado rotatorio de cal, tierra y agua (Fig. 10). Después de un mezclado inicial, la capa tratada con cal debe moldearse a la próxima sección y compactarse ligeramente antes del curado, con el fin de minimizar la pérdida de evaporación, carbonatación de la cal, y para prevenir que la lluvia pueda mojarla excesivamente.

**Equipo:** Mezcladora rotatoria de velocidades simple o de paso múltiple o escarificador de disco; camión con agua y un rodillo neumático ligero.

### **4. Curado preliminar**

La mezcla de cal-tierra debe curarse de 0 a 48 horas para permitir que el agua y la cal rompa o ablande los trozos de arcilla. La duración del período de curado debe basarse en el juicio de un ingeniero. (Para arcilla extremadamente pesada el período de curado debe extenderse hasta 7 días o más si es necesario).

### 5. Mezclado y Pulverización Final.

El mezclado y la pulverización debe continuar hasta que todos los pedazos grandes se rompan y pasen por una malla de una pulgada, y por lo menos el 60% por una malla No. 4 (exclusiva para fracciones sin desmenuzar). Puede necesitarse agua adicional para elevar la mezcla al óptimo contenido de humedad antes de la compactación. El mezclado rotatorio es obligatorio para esta operación.

*Excepción:* si la pulverización requerida se alcanza durante el mezclado preliminar, entonces el curado preliminar y los pasos de mezclado finales (No. 4 y No. 5) se pueden eliminar.

Equipo: Escarificador-nivelador para aflojar la capa, y mezclador rotatorio de velocidades, de paso simple o múltiple para la pulverización.

### 6. Compactación

La mezcla de cal y tierra debe ser compactada a por lo menos 95% de la densidad obtenida en la prueba AASHO T 99.

El valor de la densidad debe basarse en muestras de campo representativas de la mezcla de cal-suelo, y no en la tierra sin tratar (cruda). La compactación final debe empezar inmediatamente después del mezclado final, pero en ningún caso debe tardarse más de una semana.

*Excepción:* En el caso de una capa estabilizada de 12 pulgadas (o más gruesa), construida en varias pasadas, el 95% del requerimiento de compactación para la parte inferior de 6 pulgadas de altura puede descartarse. Sin embargo, la capa de 6 pulgadas para la parte superior debe siempre coincidir con el 95% de la compactación requerida.

Equipo: la compactación se puede realizar en una sola pasada usando rodillos neumáticos pesados o vibradores, o una combinación de rodillo pata de cabra y rodillos neumáticos ligeros. En ningún caso se debe permitir que un rodillo neumático ligero compacte toda la capa de 6 pulgadas en una sola pasada. Si se usa un rodillo neumático ligero solo la compactación adecuada se debe realizar en niveles delgados (1 ó 2 pulgadas cada uno).

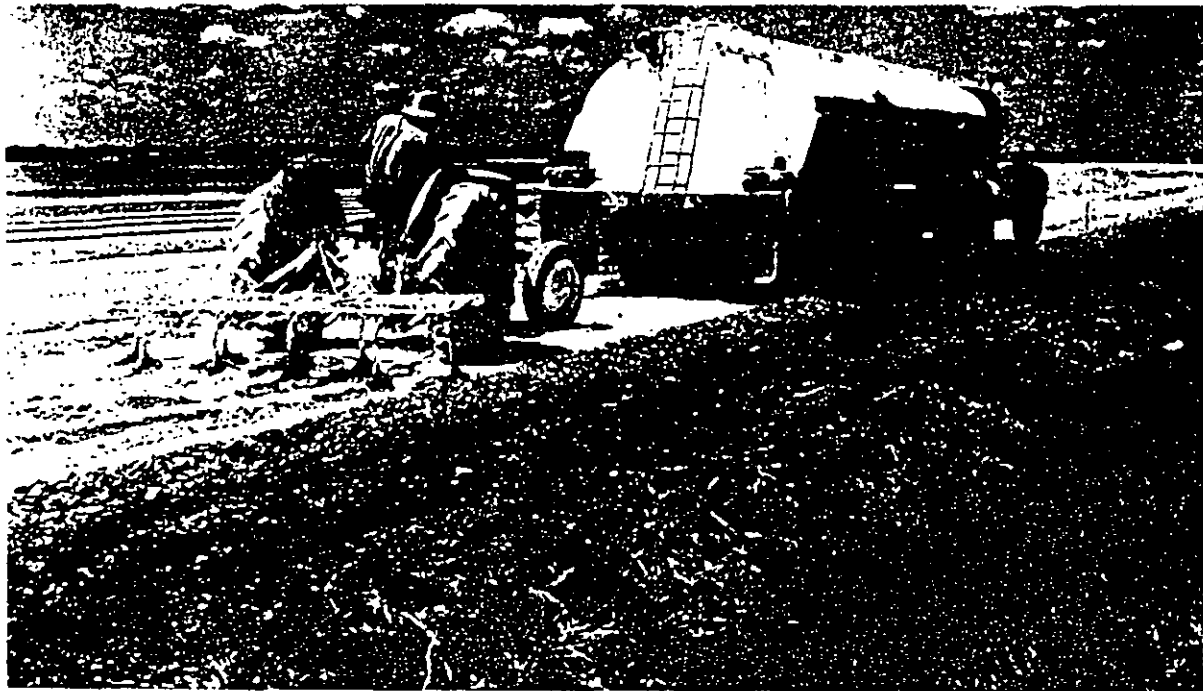


FIG. 9. Un enorme camión-tanque esparce lechada de cal en un proyecto de un Aeropuerto de Texas. Para prevenir que la lechada se seque, una grada de dientes sigue de cerca la operación.



## 7. Curado final

La sub-base compactada debe entonces curarse de 3 a 7 días para permitir que la capa se endurezca antes de colocar la capa subsecuente de sub-base (o capa de asiento); el tiempo exacto de curado debe basarse en el juicio de un ingeniero. El curado comprende cualquiera de los siguientes tipos: (a) curado a base de humedad, el cual consiste en mantener la superficie húmeda por medio de un ligero rocío y un rodillo cuando ello sea necesario; y (b), curado de membrana, lo que requiere de sellar la capa compactada con una primera capa bituminosa, ya sea en una o varias aplicaciones.

*Excepción:* si la capa se ha compactado a la densidad requerida con rodillos pesados (25 toneladas o más) el período de curado final puede descartarse, y la siguiente capa aplicarse inmediatamente. Esta capa sirve como un medio de curado (Fig. 11).

## B. ESTABILIZACION DE LA BASE

La estabilización con cal de bases de asiento abarca la reconstrucción de caminos desgastados (y mantenimiento), así como construcciones nuevas. Generalmente, los materiales de base en sitio se utilizan para proyectos de reconstrucción, y materiales prestados para construcciones nuevas; en algunos casos se estila una combinación de ambos. Sin embargo, sin importar qué material se use, los procedimientos de construcción son esencialmente los mismos.

Para construcción de bases, la cal y puzolanas, de las cuales la más común es el Fly-ash, también se mezclan con tierra en sitio, materiales prestados o combinados.

I. El siguiente procedimiento para estabilización de base se aplica a aquellos proyectos en donde el mezclado se lleva a cabo en sitio.

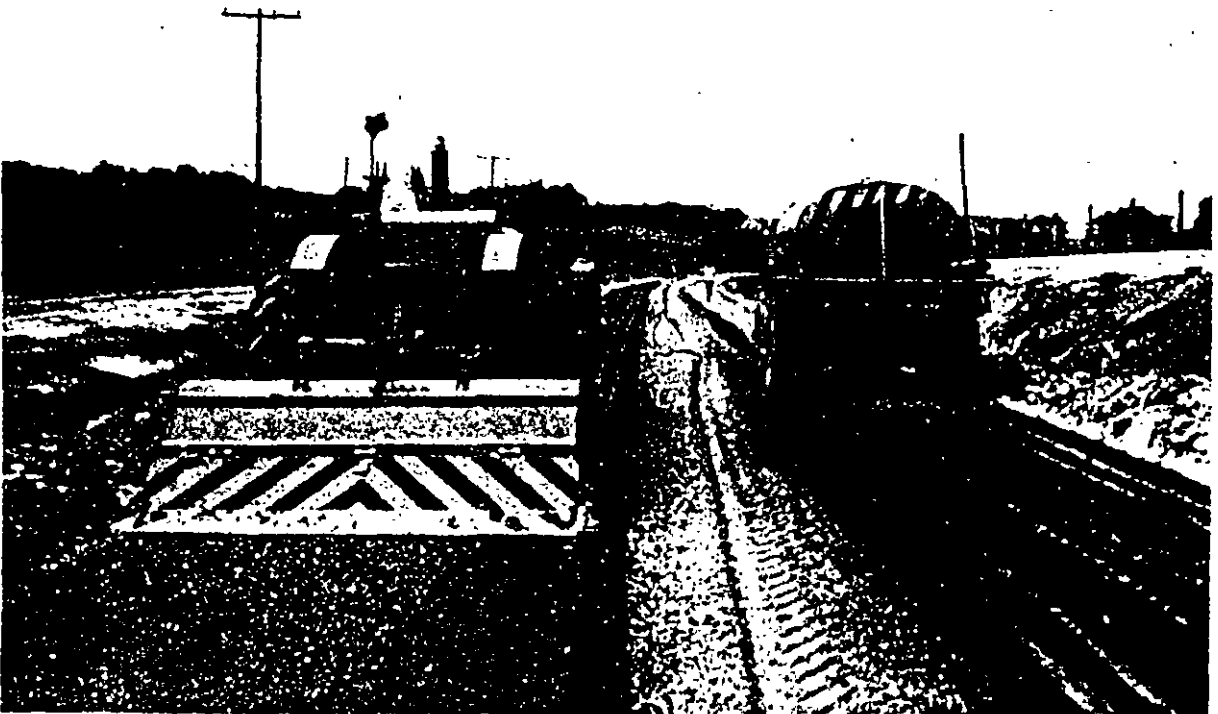


FIG. 10. Humedecido y mezclado preliminares de cal y arcilla, en un proyecto de un camino secundario en Virginia.



FIG. 11. *Aplanadora de 50 tons. con bomba surtidora para la compactación final de la sub-base de arcilla-cal, en una carretera.*

### **1.- Escarificación y pulverización**

El mismo procedimiento general que se dio arriba A(1) es aplicable para implantar la estabilización de la base. En la reconstrucción de asfaltos deteriorados de carreteras, el asfalto de la superficie debe escarificarse, rompiéndose hasta pasar una pantalla de 2 pulgadas, y revolverse con el material de base existente. En la construcción de carreteras nuevas usando material de base transportado, este paso es inaplicable.

Equipo: Igual que en A(1), excepto que puede requerirse un tractor escarificador o rompedor de caminos, para desprender el viejo asfalto.

### **2.- Esparcido de la Cal**

Ver procedimiento en A(2), el cual es igualmente aplicable.

Equipo: El mismo que en A(2).

### **3.- Mezclado y Humedecimiento**

En contraste con la estabilización de la sub-base, todo lo relacionado con el mezclado y pulverización ocurren durante

esta etapa. El agua sólo debe agregarse o mantenerse arriba del contenido óptimo de humedad.

Los mismos requerimientos de pulverización para la fracción "sin aflojar" se aplican aquí: 100% pasando 1 pulgada y al menos 60% pasando una malla No. 4.

Es recomendable remover todo el agregado mayor a 2 pulgadas, y los terrones de asfalto de la capa de la base.

Equipo: Si se usan materiales de base transportados o si el suelo facilita la pulverización de la mezcla, entonces el mezclado puede efectuarse con un nivelador de motor por medio de camellones, viendo que al menos se den 3 pases; Sin embargo, generalmente es preferible una revoladora rotatoria, como en la estabilización de la sub-base.

### **4. Compactación**

En general, deben tomarse las mismas prevenciones que en A(6), excepto que la compactación debe ser al menos 98% de la máxima de unidad obtenida en la prueba AASHTO T99.

Un ligero rociado puede ser necesario para mantener la humedad al óptimo de

contenido de humedad.

Durante la compactación final, la base debe tener un acabado con las líneas y niveles requeridos, como se muestra en las secciones típicas, y todas las irregularidades deben nivelarse hasta confirmar una densa y suave superficie.

### 5. Curado

La línea de la base compactada debe curarse por 5 a 7 días, usando cualquiera de dos métodos; humedecimiento, o membrana de asfalto, según se describe en A(7). Durante el curado debe eliminarse de ser posible un tráfico pesado, y la superficie debe mantenerse tersa aplanándola con un rodillo cada que sea necesario.

Antes de aplicar una capa de rodadura bituminosa, la base debe ser barrida, limpiada y humedecida. Con pavimentos de concreto de cemento portland esto no es necesario.

II El siguiente procedimiento se aplica a los proyectos con mezclado centralizado:

### 1.- Mezclado Central

La cal y los agregados (y puzolanas aditivas, si son requeridas), deben ser alimentadas a un paso determinado y uniforme, a un mezclador tipo de molino de arcilla; agregar agua hasta el óptimo de humedad contenida; y un concienzudo mezclado de los materiales (Fig. 12). Las instalaciones de la planta central de mezclado deben ser aprobadas por el ingeniero en jefe y debe verificarse periódicamente la eficiencia de la alimentación.

### 2.- Colocación del Material

Todo el material de la capa de la base debe extenderse uniformemente sobre toda la superficie de la carretera, de acuerdo al grueso especificado, y con un esparci-

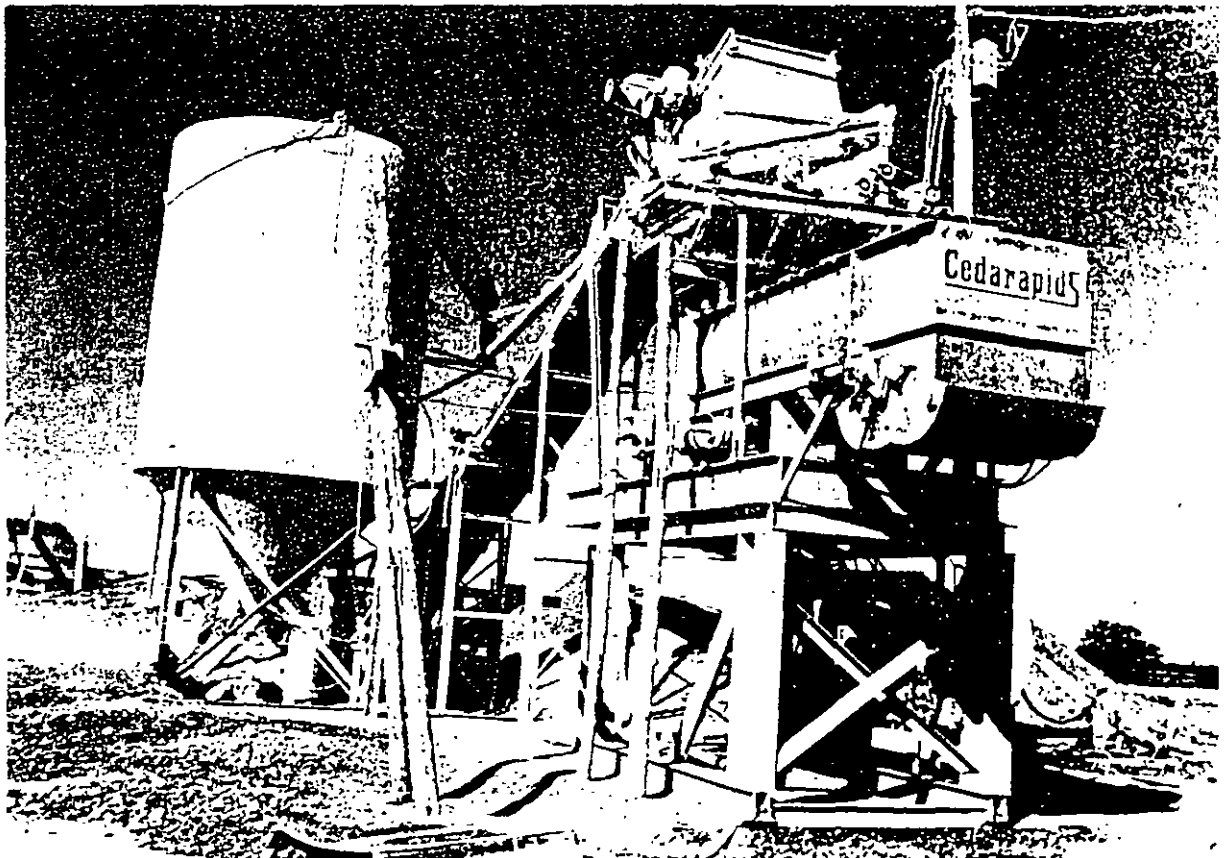


FIG. 12. Planta central para la estabilización de la base de un proyecto. La cal es alimentada de una tolva (a la izquierda) a un transportador de banda, siendo mezclados los materiales y el agua en dos molinos de arcilla gemelos.

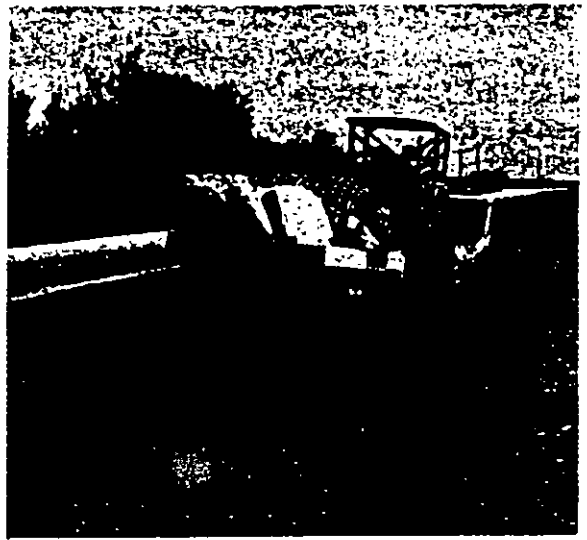
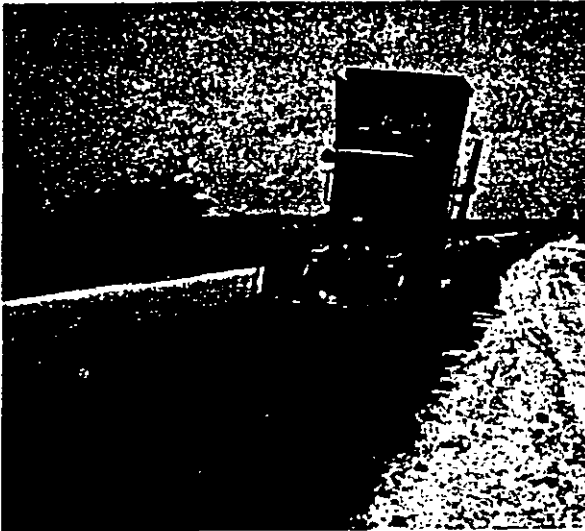


FIG. 13. Escarificación del viejo asfalto de la superficie en un camino estatal, seguido de la pulverización con una aplanadora pesada de cuadrícula, antes de aplicar la cal para la estabilización de la nueva base.

dor de caja plenamente aprobado. No es recomendable un esparcidor de puerta trasera humedeciendo y esparciendo, remolcado por una unidad de motor o bulldozer.

### 3.- Compactación

Los mismos requerimientos y equipo que se aplican para B(4).

### 4.- Curado

Los mismos requerimientos de curado que en B(5).

## C. MODIFICACIONES DE LA CAL

Generalmente esta categoría involucra un mezclado centralizado en el caso de materiales de base granulares, y un mezclado en sitio en el caso de materiales de sub-base finamente molidos.

*Materiales de Base*—Cuando se usa un mezclado central, se aplican los mismos pasos descritos en BII, principalmente la distribución de la mezcla cal-agregados, con un esparcidor de caja, la compactación y el curado. En el caso de mezclado en sitio, se aplican los cinco pasos del punto BI.

Sin embargo, el periodo de curado para la modificación de bases con cal puede

acortarse a dos días, dado que no es imprescindible que la capa tratada desarrolle una gran resistencia, como con la estabilización convencional de bases.

*Materiales de Sub-base*—Los mismos pasos de construcción antes señalados en el punto A, se aplican aquí, con excepción de que la compactación puede seguir inmediatamente después del mezclado. La eliminación del paso inicial de curado es posible dado que el grado de finura de la pulverización que se requiere en la estabilización convencional, no es esencial con la modificación. Debido a este hecho, el uso de un solo escarificador de disco puede ser apropiado para el mezclado, así como son preferibles las mezcladoras rotatorias para suelos pesados. Los requerimientos de compactación también pueden ser abajo de la densidad del 95%, sujetos a la aprobación del ingeniero en jefe. Esto es particularmente cierto donde la modificación con cal es empleada para producir una mesa de trabajo; y en este caso, sólo puede que se requiera una prueba con un rodillo aplanador.

Cuando se usa la cal para acondicionar un suelo pesado para su estabilización con cemento o asfalto, el procedimiento general es revolver la cal con el suelo, sellar la capa, curarla por 24-48 horas, volver a mezclar, compactar, y curar por siete días.

## CAPITULO III

### ELABORACION DETALLADA DE LOS PASOS DE CONSTRUCCION

Las siguientes discusiones están elaboradas sobre las mejores experiencias en la práctica de la estabilización con cal, con las variaciones entre proyectos de sub-base y base, analizados apropiadamente por secciones. También están incluidos pros y contras sobre métodos alternativos de construcción.

#### *Escarificación y Pulverización*

El esscarificador-nivelador y el esscarificador de disco generalmente son usados para un esscarificado inicial, y el esscarificador de disco y el mezclador rotatorio para pulverizar. Cuando el suelo está demasiado seco, se agrega agua para apoyar la pulverización; y si está demasiado mojado, la mezcladora rotatoria y el esscarificador de disco pueden usarse para airear y secar el suelo, especialmente en suelos pesados.

En la reconstrucción de carreteras deterioradas, particularmente aquellas que tienen una gruesa capa de asfalto, puede necesitarse un tractor rompedor de caminos, un rodillo de patas de cabra, o un tractor de oruga, para romper la vieja superficie (Fig. 13). La mayoría de las especificaciones requieren que la capa de la superficie asfáltica se pulverice, de tal manera que el 100% pase una malla de 2 pulgadas; para lo cual es necesario el uso de un mezclador rotatorio enseguida del esscarificado inicial.

Asimismo, la práctica común es esscarificar antes de esparcir la cal, aunque en algunas partes recomiendan este procedimiento al revés o sea, primero el uso de la cal para facilitar la pulverización inicial. Los camiones con cal también pueden negociar el contar con un camino más apropiado si está compactado, que si está esscarificado, principalmente en suelos húmedos. Sin embargo, la principal desven-

taja de este procedimiento radica en las condiciones del tiempo. Cuando la cal es puesta sobre una superficie suave, hay el peligro de pérdida por viento y lluvia, principalmente si el mezclado no se comienza de inmediato. Para eliminar pérdidas a los lados, se recomienda construir un camellón a lo largo de cada lado, usando material de la cama del camino.

#### *Esparcido de Cal*

Ambos métodos, el seco (incluyendo bolsas o a granel) y en la lechada, han sido usados con éxito para la aplicación de la cal. En el primer método, es aconsejable rociar ligeramente el camino del esparcido, para reducir el polvo.

#### *Cal Seca en Bolsas*

El uso del método de cal en bolsas es generalmente el más simple, pero también el más costoso. Los sacos son entregados en camiones de volteo o de plataforma, y colocados a mano para su requerida distribución. Para facilitar los cálculos de su colocación, referirse a las Figuras 14 y 15. Un ejemplo hipotético ilustrativo de lo fácil que es usar dichas gráficas es el siguiente: Supóngase que el proyecto involucra 6 pulgadas de estabilización (bien compactadas), 4% de cal, un suelo con una densidad de compactación de 110 lb/cu.ft., y un camino de 16 ft. de ancho. Usando la Fig. 14, puede verse que se requieren aproximadamente 19 lb. de cal hidratada por yarda<sup>2</sup>. Usando la información de la Fig. 15, puede apreciarse que los sacos de 50 lb. deben ser espaciados a 18 pulgadas de los centros que se encuentran en una línea a lo largo del camino (o dos líneas, con los sacos espaciados a 36 pulgadas de los centros longitudinales). Generalmente al mezclarse los camello-

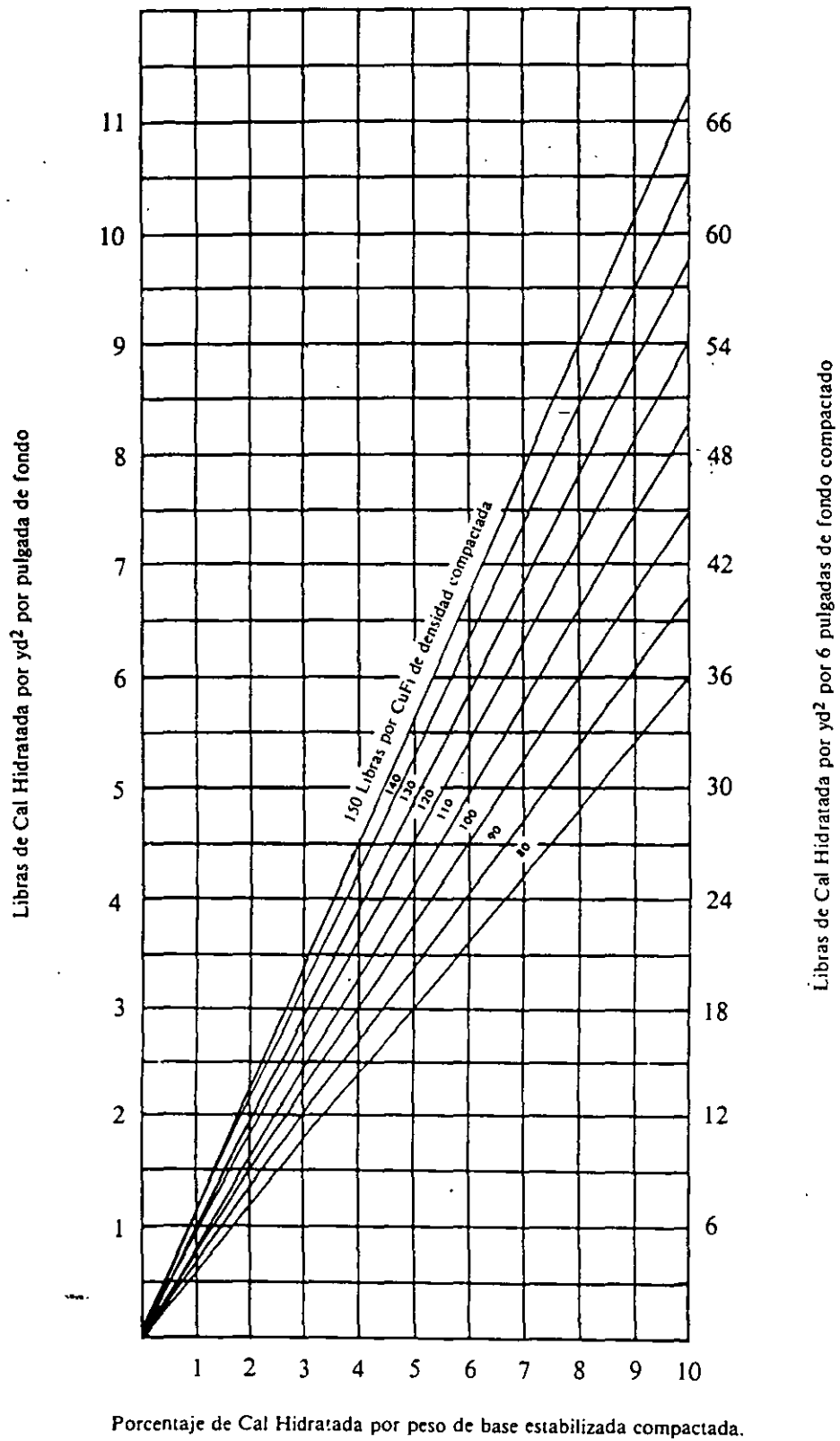


FIG. 14. Gráfica de conversión de la estabilización con cal hidratada, para determinar la relación de aplicación.

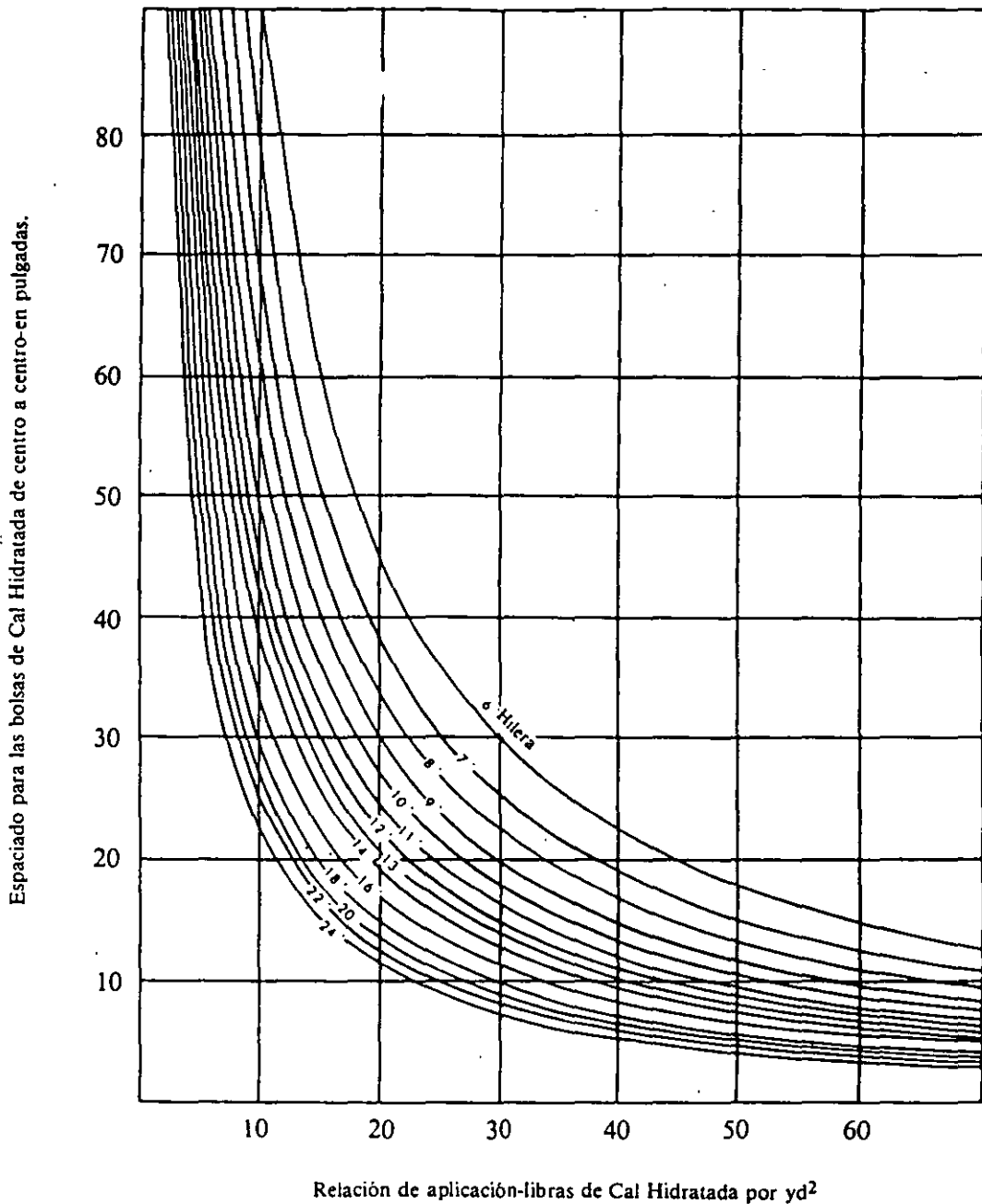


FIG. 15. Gráfica de colocación de los sacos de cal hidratada.

nes con un nivelador, son usadas una o dos líneas de sacos; y con un mezclador rotatorio se emplean varias líneas, ver Fig. 6. Como una regla de oro, con la mayoría de suelos y para una capa estabilizadora de 6 pulgadas, 1% de cal corresponde a cerca de 5 lb/yarda<sup>2</sup>; 2%, 10 lb; etc. (Sin embargo puede variar de 4 a 7 lb/yarda<sup>2</sup> por 1% de aplicación, dependiendo del suelo).

Después de que las bolsas han sido colocadas apropiadamente, son abiertas con

una navaja o una pala, y la cal se amontona en pilas o en camellones transversales a través del camino. Entonces, la cal es nivelada a mano o por medio de una grada de dientes o rastra tirada por un tractor o camión. Generalmente se requieren dos pases para nivelar la cal, e inmediatamente después se rocía con agua para reducir el polvo. Las bolsas vacías usualmente se queman a lo largo del camino, de preferencia en cajas de lámina o metal, para una mayor seguridad. El resto puede ser

### Cal Seca a Granel

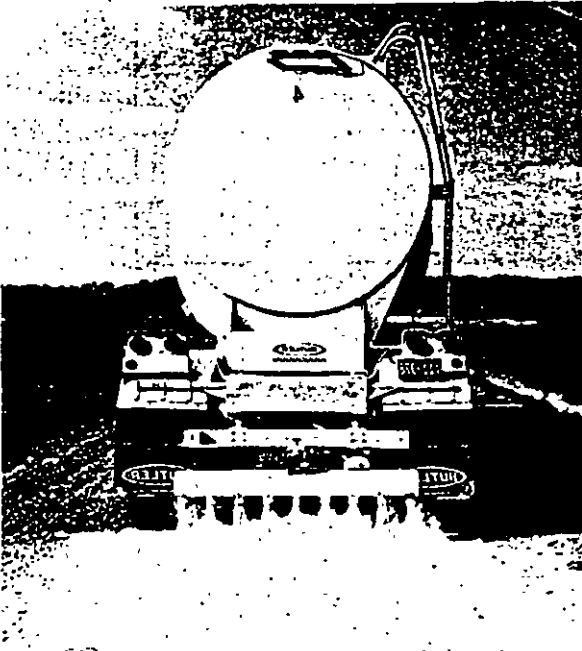


FIG. 16a. Un esparcidor de barra con surtidores múltiples, distribuye la cal en forma uniforme desde un camión tanque neumático, en un proyecto en Mississippi.

montado sobre largueros conforme avanza el proceso de rociado.

Las desventajas del método de bolsas sobre el de granel y el de lechada son: un costo más alto (debido al costo de las bolsas), mayor costo laboral debido al considerable manejo físico extra, y lo lento de la operación. Sin embargo, no obstante esas desventajas, la cal en sacos parece ser más práctico para proyectos chicos, como calles de ciudades, carreteras secundarias y mantenimiento (bacheo).

Para proyectos importantes de estabilización, particularmente donde el polvo puede ser un verdadero problema, el uso de cal a granel ha sido una práctica común. La cal es entregada en el proyecto ya sea en camiones auto-descargables o en camiones de volteo. A estos últimos, generalmente se les hace una prolongación de su costado, con el fin de incrementar su capacidad en un 10% o más. (Fig. 8). Comúnmente las unidades de 4 ejes son capaces de cargar 3 a 4 toneladas de cal, y con un remolque doble, 9 a 10 toneladas; y para evitar el polvo y la pérdida de cal durante el trayecto, se requiere una cubierta de lona impermeable.

Los camiones auto-descargables son considerablemente más grandes y más eficientes, capaces de contener 15 a 24 toneladas. Un tipo que se usa ocasionalmente es uno equipado con uno o dos transportadores de gusano que descargan por la parte posterior del camión. En los últimos años ha crecido la popularidad por los camiones neumáticos, y son preferidos sobre los viejos transportes del tipo barrenador.

Con los camiones barrenadores, el esparcido se hace a través de un esparcidor de tipo mecánico colocado en la parte trasera, a través de tubos de metal de descenso, o bien de manguitos de hule. Los

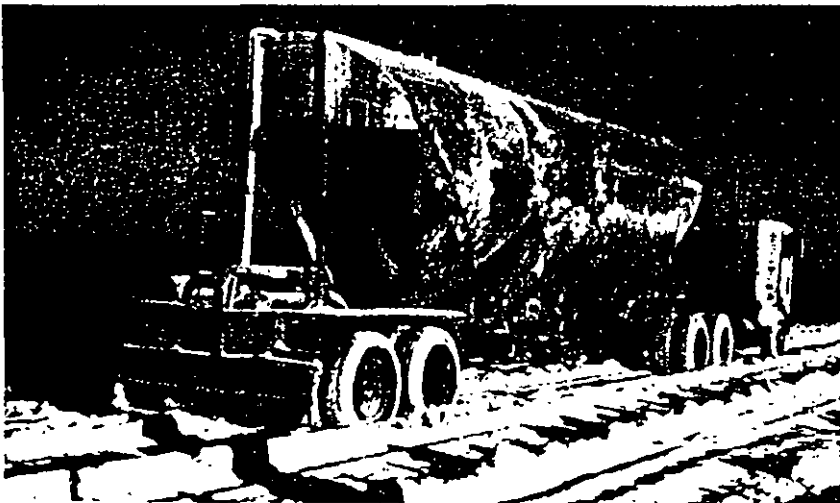


FIG. 16b. Otro tipo de camión neumático para distribuir cal, en el proyecto del aeropuerto de Dallas Fort Worth. La cubierta sobre el rociador minimiza el polvo.



esparcidores mecánicos están integrados por una banda, gusano, paleta rotatoria, o transportador de cadenas, para distribuir la cal en forma uniforme a través de lo ancho del esparcidor.

El volumen de aplicación de cal puede regularse variando la llave de apertura del esparcidor, con la velocidad del esparcidor o la velocidad del camión, de tal manera que la cantidad de cal pueda ser aplicada en una o dos pasadas.

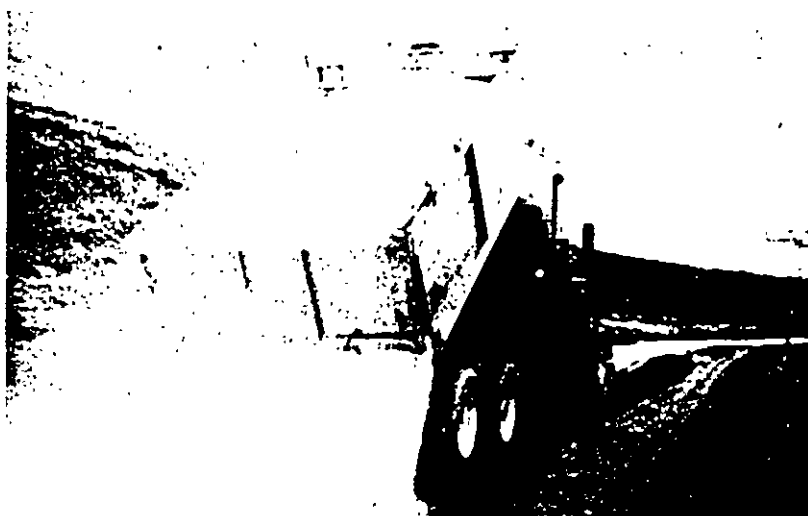
Con los camiones neumáticos, el esparcido generalmente se maneja con un esparcidor de ciclón montado en la parte trasera, el cual distribuye la cal a través de un tubo dividido en las salidas (Fig. 5b) o con esparcidor equipado con una barra con varios tubos de salida (Fig. 16a y b). Controles de botón en la cabina del camión permiten al operador variar el ancho del esparcido, ajustando la presión del aire. Los choferes experimentados pueden ajustar la presión y la velocidad del camión, de tal manera que pueda obtenerse una adecuada distribución en una o dos pasadas. Otro tipo de camión neumático se puede apreciar en la Fig. 18.

El esparcido de cal hidratada a través de una puerta trasera colocada en los camiones de volteo también se ha usado, con el riesgo del control sobre la cantidad de cal que se esparce sobre el camino, ajustando la apertura de la compuerta.

Debido a la dificultad de obtener un flujo uniforme en la descarga, este método nunca debe usarse. Sin embargo, el esparcido con cal "viva" granular o en terrones, puede hacerse con una puerta trasera, dado que la cal viva fluye más fácilmente (Fig. 17). Con la cal hidratada, los camiones esparcidores agrícolas no son prácticos, por su extremada lentitud de descarga (generalmente se necesitan 10 o más pases para esparcir la cal necesaria). Tampoco son recomendables los esparcidores de agregados para la cal hidratada, debido a su inexactitud con materiales finos. Sin embargo se han usado con éxito camiones esparcidores de agregados, y encaladores agrícolas para cal viva granulada o cal en terrones, respectivamente.

Cuando la cal a granel es entregada por ferrocarril, pueden usarse una variedad de transportadores para trasladar la cal a los camiones, lo cual incluye gusano, banda, o transportador de arrastre de cadena, elevadores de canchales y elevadores de tornillo. Los transportadores del tipo de gusano o tornillo, son los más comúnmente usados, con unidades de amplio diámetro (10-12 pulgadas), recomendadas para descargar a alta velocidad. Para reducir el polvo, todo tipo de transportador debe recubrirse. La descarga de tolvas de ferrocarril generalmente se facilita por medio de balancines y vibradores, ya sean

FIG. 17. Camión de volteo esparciendo cal viva granular sobre el trazo para estabilizar un canal de irrigación en un proyecto en California.



del tipo mecánico o de aire.

La cal también se ha manejado a través de plantas dosificadoras, fijas o portátiles, en cuyo caso la cal es pesada y dosificada antes de descargarse. Generalmente puede ser práctico instalar una planta dosificadora para proyectos muy grandes, particularmente si puede usarse en forma intercambiable con cemento, como por ejemplo en un proyecto de una supercarretera, que incluya pavimento de concreto.

Obviamente, el camión-tanque auto descargable es el método menos costoso sobre manejo de esparcir cal, dado que no hay sobre manejo de material y pueden transportarse grandes cargas, así como efectuar un rápido esparcido.

### *Método de Lechada*

En este método, la cal hidratada y el agua son mezcladas, ya sea en un tanque central de mezclado o en un camión tanque. En cualquier caso, la lechada se esparce sobre la cama escarificada del camino, por medio de un camión esparcidor de barras. La lechada es distribuida en

una o más pasadas sobre un área previamente medida, hasta que se obtenga el porcentaje especificado (basado en el contenido de sólidos de la cal). Para prevenir fugas, y como consecuencia una falta de uniformidad en la distribución de la cal, la lechada se revuelve inmediatamente después de cada pasada.

Una típica mezcla de lechada contiene 1 tonelada de cal por cada 1895 litros de agua (cerca de 31% de suspensión de cal), la cual produce aproximadamente 2275 litros de lechada. A concentraciones más altas, se presentan dificultades en el bombeo y en el manejo de la lechada a través de las barras esparcidoras. Un 40% de sólidos es el máximo para un adecuado bombeo de la lechada.

La verdadera proporción que se use depende del porcentaje de cal especificado, el tipo de suelo, y las condiciones de humedad. Cuando se requieren pequeños porcentajes de cal, la combinación puede reducirse a 1 tonelada de cal por 2650 a 3030 litros de agua. Asimismo, cuando los suelos están cerca de su óptimo, se necesita una concentración más fuerte de cal.

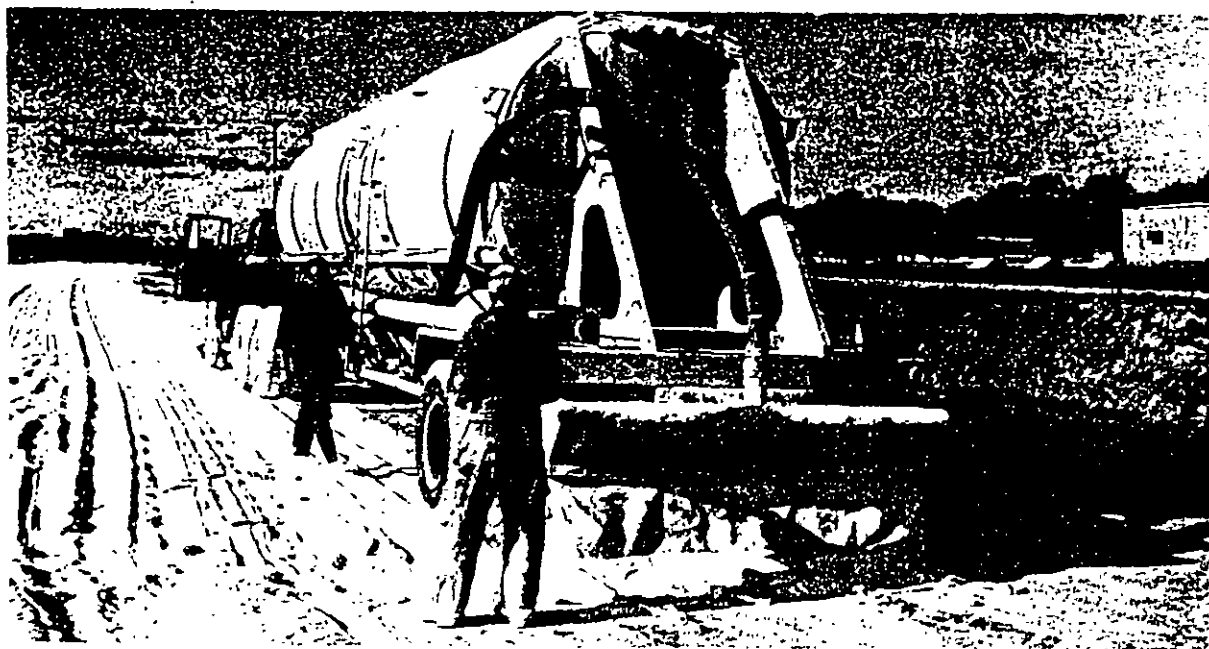


FIG. 18. Camión neumático con un compartimiento esparcidor en la parte posterior, distribuye en forma uniforme la cal en un proyecto cerca de Green Bay, Wisc. Nótese la cubierta para reducir el polvo.

## PROPIEDADES DESEABLES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

- 1.- ESTABILIDAD
- 2.- DURABILIDAD
- 3.- FLEXIBILIDAD
- 4.- RESISTENCIA A LA FATIGA
- 5.- RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO
- 6.- IMPERMEABILIDAD
- 7.- TRABAJABILIDAD.

## BAJA ESTABILIDAD

## C A U S A S

## E F E C T O S

EXCESO DE ASFALTO

CORRUGACIONES, RODERAS Y LLORADO DE ASFALTO

EXCESO DE ARENA

POCA RESISTENCIA DURANTE LA COMPACTACION Y DESPUES DE LA CONSTRUCCION, DIFICULTAD PARA COMPACTARSE

AGREGADOS REDONDEADOS Y LISOS, POCO O NINGUN EFECTO DE TRITURACION

RODERAS Y CANALIZACIONES

## POCA DURABILIDAD

### C A U S A S

### E F E C T O S

BAJO CONTENIDO DE ASFALTO

RESEQUEDAD Y DESGRANAMIENTO

ALTO CONTENIDO DE VACIOS POR  
DISEÑO O DEFICIENTE COMPACTA  
CION

ENDURECIMIENTO PREMATURO DEL AS  
FALTO SEGUIDO DE AGRIETAMIENTOS  
Y DESGRANAMIENTO

AGREGADOS HIDROFILICOS EN LA  
MEZCLA

DESPRENDIMIENTO DEL ASFALTO EN  
LOS AGREGADOS, DESGRANAMIENTO O  
INESTABILIDAD

PROPUESTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL  
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE TERRAPLEN

CARACTERISTICA	C A L I D A D		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Granulometría (mm)	80% mín < 76 y 95% mín < 200	80% mín < 750	
Tamaño Máximo (mm)	- - -	1000 ó 1/2 es-- pesor del cuer- po.	1500 ó 1/2 es-- pesor del cuer- po.
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	30 máx	40 máx	40 máx
Límite Líquido (LL) (%)	40 máx	50 máx	60 máx
Índice Plástico (IP) (%)	15 máx	20 máx	25 máx
Compactación (%) (AASHTO Est.)	95 mín	95 ± 2	95 ± 2
V.R.S. (%) (Compactación dinámica)	10 mín	10 mín	5 mín
Expansión (%)	3 máx	3 máx	3 máx

TABLA 2

PROPUESTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL  
 INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE LA CAPA SUBRASANTE

CARACTERISTICA	C A L I D A D		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Granulometría Tamaño Máximo (mm)	75	75	75
% Finos (Mat. < 0.075 mm)	25 máx	35 máx	40 máx
Límite Líquido (LL) (%)	30 máx	40 máx	50 máx
Índice Plástico (IP) (%)	10 máx	20 máx	25 máx
Compactación (%) (AASHTO Est.)	100 mín	100 ± 2	100 ± 2
V.R.S. (%) (Compactación dinámica)	30 mín	20 mín	15 mín

TABLA 3

## BAJA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO

### C A U S A S

### E F E C T O S

EXCESO DE ASFALTO

BAJA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO,  
LLORADO DE ASFALTO

DEFICIENCIAS EN LA TEXTURA  
O GRANULOMETRIA DE LOS ---  
AGREGADOS

SUPERFICIE DE RODAMIENTO LISA, TEN  
DENCIA AL ACUAPLANEO

AGREGADOS POCO RESISTENTES  
A LA ABRASION

BAJA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO



# ALTA PERMEABILIDAD

## C A U S A S

## E F E C T O S

BAJO CONTENIDO DE ASFALTO

PELICULA DELGADA DE ASFALTO PUEDE PROVOCAR ENVEJECIMIENTO PREMATURO Y DESPRENDIMIENTO

ALTO CONTENIDO DE VACIOS

OXIDACION Y DESINTEGRACION

COMPACTACION DEFICIENTE

INFILTRACION DE AGUA Y BAJA RESISTENCIA.

PROPUESTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL  
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE SUB-BASE Y REVESTIMIENTO

CARACTERISTICA	C A L I D A D		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Granulometría Zona Granulométrica	1 - 2	1 - 3	1 - 3
Tamaño Máximo (mm)	51	51	76
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	15 máx	25 máx	10 mín 20 máx
Límite Líquido (LL) (%)	25 máx	30 máx	40 máx
Índice Plástico (IP) (%)	6 máx	10 máx	15 máx
Compactación (%) (AASHTO Mod.)	100 mín	100 mín	95 mín (AASHTO Est.)
Equivalente de Arena (%)	40 mín	30 mín	---
V.R.S. (%) (Compactación dinámica)	40 mín	30 mín	30 mín
Desgaste Los Angeles (%)	40 máx	---	---

TABLA 4

PROPUESTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL  
 INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE BASE

CARACTERISTICA	C A L I D A D	
	DESEABLE	ADECUADA
Granulometria Zona Granulométrica	1 - 2	1 - 3
Tamaño Máximo (mm)	38	51
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	10 máx	15 máx
Límite Líquido (LL) (%)	25 máx	30 máx
Índice Plástico (IP) (%)	6 máx	6 máx
Equivalente de Arena (%)	50 min	40 min
Compactación (%) (AASHTO Mod.)	100 min	100 min
V.R.S. (%) (Compactación dinámica)	100 min	80 min
Desgaste Los Angeles (%)	40 máx	40 máx

TABLA 5

## BAJA RESISTENCIA A LA FATIGA

## C A U S A S

## E F E C T O S

BAJO CONTENIDO DE ASFALTO

AGRIETAMIENTO POR FATIGA

ALTO CONTENIDO DE VACIOS

ENVEJECIMIENTO PREMATURO SEGUIDO  
DE AGRIETAMIENTO POR FATIGA

COMPACTACION DEFICIENTE

ENVEJECIMIENTO PREMATURO SEGUIDO  
DE AGRIETAMIENTO POR FATIGAESPESOR INSUFICIENTE DEL  
PAVIMENTOFLEXION EXCESIVA SEGUIDA DEL AGRIE  
TAMIENTO POR FATIGA

# TRABAJABILIDAD DEFICIENTE

## C A U S A S

## E F E C T O S

PARTICULAS MUY GRANDES

DIFICULTAD PARA TENDER,  
SUPERFICIE ASPERA

EXCESIVO CONTENIDO DE AGREGADOS  
GRUESOS

DIFICULTAD PARA COMPACTAR

BAJA TEMPERATURA DE LA MEZCLA

DEFICIENTE CUBRIMIENTO DE AGREGADOS  
SUPERFICIE ASPERA, DIFICULTAD PARA  
COMPACTAR, VIDA CORTA

EXCESO DE ARENA

LA MEZCLA SE DESPLAZA BAJO EL RODI  
LLO, Y NO ADQUIERE RESISTENCIA

CARENCIA DE FINOS (FILLER)

ALTA PERMEABILIDAD, MEZCLA POCO RE  
SISTENTE

EXCESO DE FINOS (FILLER)

MEZCLA RESECA O PEGAJOSA, DIFICIL  
MANEJAR, POCO DURABLE

PROPOSTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL  
 INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

VALORES DE CALIDAD PARA  
 MATERIALES PETREOS DE CARPETA ASFALTICA

CARACTERISTICA	C A L I D A D	
	DESEABLE	ADECUADA
Granulometria Zona Granulométrica	Area entre las curvas	
Tamaño Máximo (mm)	38	38
X Finos (Mat. < 0.074 mm)	0 - 4 máx	0 - 8 máx
Humedad Natural (W %)	0	1 máx
Indice Plástico (IP %)	0	5 máx
Equivalente de Arena (X)	60 min	55 min
Desgaste Los Angeles (X)	30 máx	40 máx
Partículas alargadas (X)	25 máx	50 máx

TABLA 6

**PROPUESTA DE MODIFICACION A LAS NORMAS SCT, POR PARTE DEL  
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**GUIA DE ALGUNAS SECCIONES ESTRUCTURALES  
RECOMENDABLES PARA CARRETERAS**

SUBRASANTE		SUB-BASE		BASE		CARPETA ASFALTICA	
ESPESOR	CALIDAD	ESPESOR	CALIDAD	ESPESOR	CALIDAD	ESPESOR	CALIDAD

**OBRAS VIALES ESPECIALES  
QUEDAN FUERA DE ESPECIFICACIONES GENERALES**

40	cm	Deseable	15	cm	Deseable	20 cm	Deseable	7-10 cm	Deseable
<b>OBRA VIAL TIPO I</b>									
40	cm	Adecuada	15	cm	Deseable	20 cm	Deseable	5 cm	Adecuada
<b>OBRA VIAL TIPO II</b>									
40	cm	Tolerable	15	cm	Tolerable	20 cm	Tolerable	Tratamiento con riesgos.	
<b>OBRA VIAL TIPO III</b>									
30	cm	Tolerable	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	Revestimiento 15 cm	
<b>OBRA VIAL TIPO IV</b>									

TABLA 7