



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

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE  
MAYO.  
MEXICO, D. F.

PROYECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RIGIDOS

ING. FRANCISCO JIMENEZ ZUÑIGA.

- d) Estudio de las características de drenaje del terreno, para comprobar si han de tomarse medidas correctivas antes de emprender cualquier trabajo de reparación.
- e) Deberá emprenderse un análisis de los antecedentes del tránsito en el aeropuerto, tanto por lo que se refiere al peso de las aeronaves como al número de operaciones asociadas con la densidad del tránsito en la zona que se estudia, relacionándolo debidamente con la actuación del pavimento.
- f) Deberán evaluarse la calidad de los materiales del pavimento y la bondad de los métodos y procedimientos de construcción, para determinar el grado de conformidad con las normas y especificaciones.

4.4.2.2 El estudio del terreno no se limita a los terrenos descubiertos por los trabajos de nivelación, ni forzosamente a la zona del aeropuerto. Deberían investigarse también los lugares de origen de los materiales disponibles en la zona, tales como las canteras de préstamo o la fuente de los agregados áridos.

4.4.2.3 Deberían obtenerse y ensayarse en laboratorio las muestras representativas de las diferentes capas de los suelos encontrados y de los diferentes materiales de construcción descubiertos, con el propósito de determinar sus propiedades físicas y técnicas. Como los resultados de un ensayo han de ser tan buenos como la muestra, reviste suma importancia que cada muestra sea representativa de un tipo particular de material de terreno y no una mezcla descuidada e indiscriminada de diferentes materiales.

4.4.2.4 Puede ser necesario hacer perforaciones y cortes a cielo abierto para efectuar ensayos de resistencia *in situ*, para tomar muestras no perturbadas, para registrar los diferentes estratos del terreno, etc. Este tipo de investigación complementaria del terreno se recomienda para las situaciones que justifican un alto grado de precisión, o bien cuando las condiciones locales son complejas y exigen una investigación amplia.

#### 4.4.3 Ensayos de terrenos

4.4.3.1 Propiedades físicas de los terrenos. Para determinar las propiedades físicas del terreno y para proporcionar una estimación de comportamiento bajo diferentes condiciones es preciso llevar a cabo ciertos ensayos. Se han preparado y normalizado varios ensayos en el lugar mismo y en laboratorio. En las publicaciones de la American Society for Testing of Materials se encuentran métodos completos y detallados para realizar ensayos de terrenos.

4.4.3.2 Requisitos de los ensayos. Los ensayos de los terrenos se identifican generalmente mediante términos que indican las características del terreno que los ensayos han de revelar. A continuación se indican los términos que identifican los ensayos que se consideran como requisito mínimo o básico para el pavimento de los aeropuertos, con sus designaciones ASTM y una breve explicación:

- a) Preparación en seco de muestras de terrenos para análisis granulométrico y determinación de las constantes del terreno (ASTM D-421) o preparación en húmedo de muestras de terreno para análisis granulométrico y determinación de las constantes del terreno (ASTM D-2217). El método en seco (D-421) debería utilizarse únicamente para materiales granulares limpios y sin cohesión. El método en húmedo (D-2217) debería utilizarse para todos los materiales coherentes o los casos límite. En caso de duda, debería utilizarse el método en húmedo.



- b) Análisis granulométrico de los terrenos (ASTM C-422). Este análisis proporciona una determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de partículas en los terrenos.
- c) Límite de plasticidad de los terrenos (ASTM D-424). El límite de plasticidad de un terreno se define con el contenido mínimo de humedad al cual un terreno pasará del estado semisólido al estado plástico. Cuando el contenido de humedad es superior al límite plástico, se presenta una caída brusca en la estabilidad de los terrenos.
- d) Límite líquido de los terrenos (ASTM D-423). El límite líquido de un terreno se define como el contenido mínimo de humedad al cual un terreno pasa del estado plástico al estado líquido. El estado líquido se define como el estado en el cual la resistencia al cizallamiento del terreno es tan escasa que una fuerza pequeña lo hará fluir.
- e) Índice de plasticidad de los terrenos (ASTM D-424). El índice de plasticidad es la diferencia numérica entre el límite de plasticidad y el límite líquido. Indica la gama de contenido de humedad sobre la cual un terreno queda en estado plástico antes de pasar al estado líquido.
- f) Relaciones de humedad-densidad de los terrenos (ASTM D-698, D-1557). Para los fines del control de compactación durante la construcción, deberían llevarse a cabo ensayos para determinar las relaciones humedad-densidad de los diferentes tipos de terrenos.
- 1) Para los pavimentos previstos para servir a las aeronaves cuyo peso sea de 30 000 lb (13 000 kg) o más, utilícese el método ASTM D-1557.
  - 2) Para los pavimentos previstos para servir a las aeronaves con un peso inferior a 30 000 lb (13 000 kg), utilícese el método ASTM D-698.

4.4.3.3 Ensayos complementarios. En muchos casos se requerirán otros ensayos del terreno, aparte de los que figuren en 4.4.3.2. No es posible citar todos los ensayos adicionales que puedan requerirse; con todo, a continuación se presentan algunos ejemplos. Esta lista no ha de considerarse en modo alguno como completa.

- a) Factores de contracción de los terrenos (ASTM D-427). Puede requerirse este ensayo en las zonas en que pudieran encontrarse suelos sometidos a hinchamiento.
- b) Permeabilidad de los terrenos granulares (ASTM D-2434). Puede ser necesario efectuar este ensayo para contribuir al cálculo del avenamiento subterráneo.
- c) Determinación del material orgánico en los terrenos por combustión en húmedo (AASHTO T-194). Puede ser necesario efectuar este ensayo en las zonas en que se encuentren o se sospeche la existencia de bolsones profundos de material orgánico.

4.4.4.6 La Tabla 4-8 detalla las características pertinentes de los suelos utilizados para los cimientos del pavimento. Estas características se han de considerar como aproximadas y los valores que allí figuran son generalizaciones que no deben utilizarse en remplazo de los ensayos.

#### 4.4.5 Ejemplos de clasificación de suelos

4.4.5.1 En los ejemplos siguientes se ilustra la clasificación de los suelos según el sistema unificado. El proceso de clasificación avanza de acuerdo con el organigrama de la Figura 4-34.

##### Ejemplo 1

Supongamos una muestra de suelo que tenga las características siguientes y que se clasifique de acuerdo con el sistema unificado.

Porcentaje que pasa la criba Núm. 200 - 98%.

Límite líquido en el material menos 40 - 30%.

Límite plástico en el material menos 40 - 10%.

##### Solución

Sobre la línea "A", véase la Figura 4-33. El suelo se clasificaría como CL, arcilla pobre o de plasticidad baja a mediana. La Tabla 4-8 indica que el material sería de valor aceptable e insuficiente, como cimiento, sin estar sujeto al efecto de las heladas. La posibilidad del efecto de la helada es de mediana a alta.

##### Ejemplo 2

Supongamos una muestra de suelo con las características siguientes que ha de clasificarse según el sistema unificado.

Porcentaje que pasa la criba Núm. 200 - 48%.

Porcentaje de fracción gruesa retenida en la criba Núm. 4 - 70%.

Límite líquido en la fracción menos 40 - 60%.

Límite plástico en la fracción menos 40 - 20%.

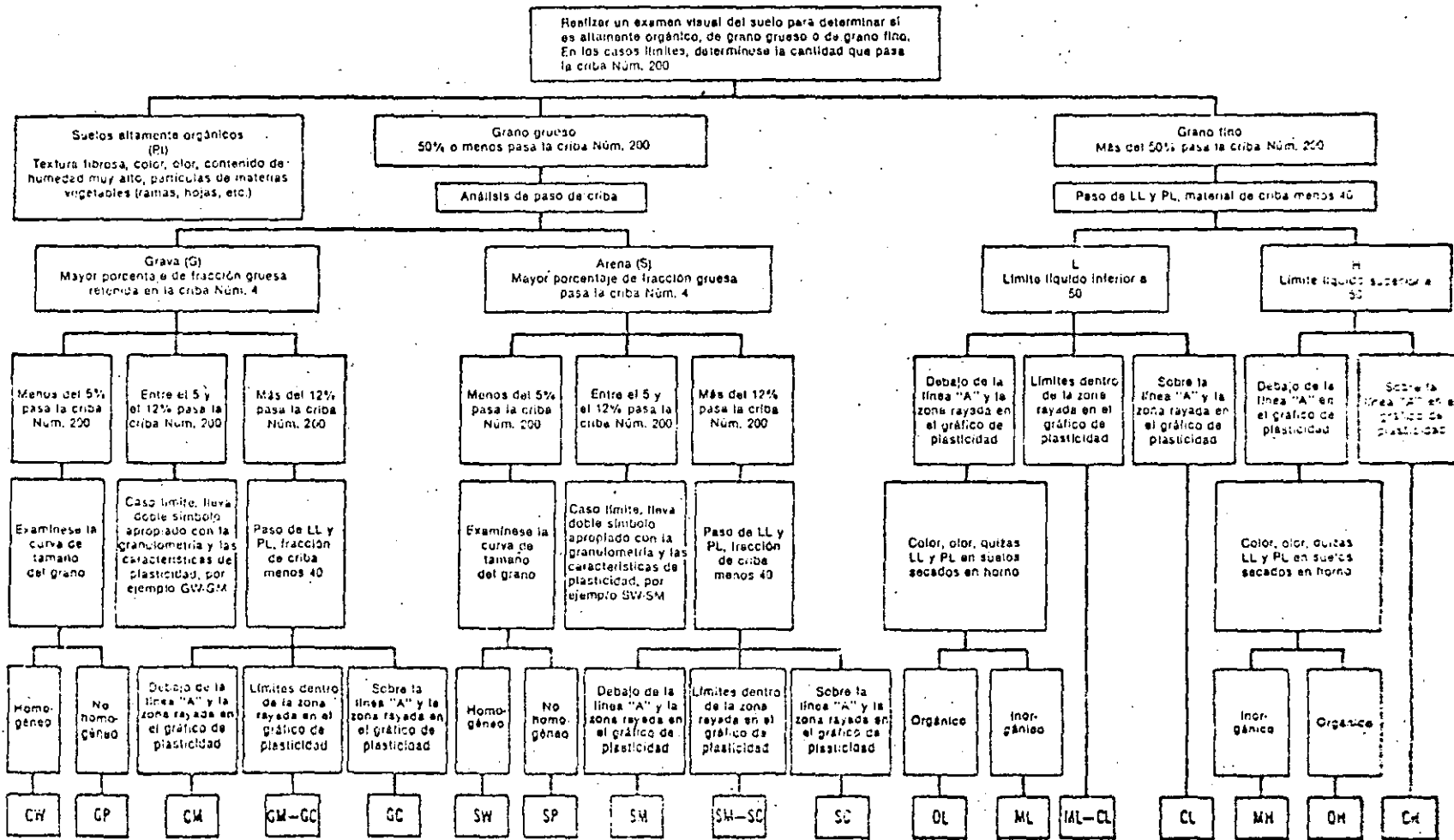
4.4.4

4.4.4.1  
la norma  
sistema  
se comp  
en esta  
revelar  
aeropu  
terreno  
terreno  
guía en  
cabo el  
riormer  
present

4.4.4.2  
la separ  
orgánico  
la canti  
subdivi  
Núm. 4  
de mate  
líquido  
materi

Tabla 4-8. Características de los cimientos de los pavimentos

Divisiones principales (1)	Letras (3)	Nombre (4)	Valor como cemento, no sujeto al efecto de la humedad (5)	Valor como firme orgánico, luminosa decoloración (6)	Posible efecto de la humedad (7)	Compresibilidad y dilatación (8)	Características de asentamiento (9)	Equipo de compactación (10)	Peso seco unitario (lb/ft <sup>3</sup> ) (11)	CBR del mejor (12)	Módulo del terreno de base (13)	
Suelo total o parcialmente hecho de grava	GW	Grava o grava arenosa, uniforme	Excelente	Buena	Nula hasta muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de ancha con equipo sobre neumáticos, rodillo con ruedas de acero	125-140	60-80	300 o más	
	GP	Grava o grava arenosa, no uniforme	Buena hasta excelente	Mala hasta aceptable	Nula hasta muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de ancha con equipo sobre neumáticos, rodillo	120-130	35-60	300 o más	
	GU	Grava o grava arenosa, granulación uniforme	Buena	Mala	Nula hasta muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de ancha, equipo sobre neumáticos	115-125	25-50	300 o más	
	GN	Grava limosa o grava arenosa limosa	Buena hasta excelente	Aceptable hasta buena	Ligera hasta mediana	Muy ligera	Aceptable hasta mala	Equipo sobre neumáticos, rodillo para de cabra, control estirado de la humedad	130-143	40-60	300 o más	
Suelos de grano grueso	GC	Grava arcillosa o grava arenosa arcillosa	Buena	Mala	Ligera hasta mediana	Ligera	Mala hasta prácticamente impermeable	Equipo sobre neumáticos, rodillo para de cabra	120-140	20-40	200-300	
	SW	Arena o arena con grava, homogénea	Buena	Mala	Nula hasta muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de ancha, equipo sobre neumáticos	110-130	20-40	200-300	
	SP	Arena o arena con grava, no homogénea	Aceptable hasta buena	Mala hasta inadecuado	Nula hasta muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de ancha, equipo sobre neumáticos	105-120	15-25	200-300	
	SU	Arena o arena con grava, granulación uniforme	Buena hasta buena	Inadecuado hasta buena	Nula hasta muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de ancha, equipo sobre neumáticos	100-115	10-20	200-300	
Suelos de arena	SM	Arena limosa o arena con grava limosa	Buena	Mala	Ligera hasta alta	Muy ligera	Aceptable hasta mala	Equipo sobre neumáticos, rodillo para de cabra, control estirado de la humedad	120-135	20-40	200-300	
	SC	Arena arcillosa o arena con grava arcillosa	Aceptable hasta buena	Inadecuado	Ligera hasta alta	Ligera hasta mediana	Mala hasta prácticamente impermeable	Equipo sobre neumáticos, rodillo para de cabra	105-130	10-20	200-300	
Suelos de grano fino	ML	Limo, limo arenoso, limo arcilloso o suelos diastróficos	Aceptable hasta malo	Inadecuado	Mediana hasta muy alta	Ligera hasta mediana	Aceptable hasta mala	Equipo sobre neumáticos, rodillo para de cabra, control estirado de la humedad	100-125	5-15	100-200	
	CL	Arcillas pobres, arcillas arenosas o arcillas con grava	Aceptable hasta malo	Inadecuado	Mediana hasta alta	Mediana	Prácticamente impermeable	Equipo sobre neumáticos, rodillo para de cabra	100-125	5-15	100-200	
Suelos de arcilla orgánica pobre	OL	Limo orgánico o arcilla orgánica pobre	Mala	Inadecuado	Mediana hasta alta	Mediana hasta mediana	Mala	Equipo sobre neumáticos, rodillo para de cabra	90-105	4-8	100-200	
	Alta compresibilidad LL > 50	MH	Arcillas micáceas o suelos diastróficos	Mala	Inadecuado	Mediana hasta muy alta	Alta	Aceptable hasta mala	Equipo sobre neumáticos, rodillo para de cabra	80-100	4-8	100-200
		CH	Arcillas grasas	Mala hasta muy mala	Inadecuado	Mediana	Alta	Prácticamente impermeable	Equipo sobre neumáticos, rodillo para de cabra	90-100	3-5	50-100
Baja compresibilidad LL < 50	OH	Arcillas orgánicas grasas	Mala hasta muy mala	Inadecuado	Mediana	Alta	Prácticamente impermeable	Equipo sobre neumáticos, rodillo para de cabra	80-105	3-5	50-100	
Turba y otros suelos orgánicos fibrosos	PT	Turba, humus y otros	Inadecuado	Inadecuado	Ligera	Muy alta	Aceptable hasta mala	La compactación no es práctica				



Nota: Los tamaños de criba son norma de los Estados Unidos.  
 \* Si los finos interfirieran con las propiedades de arenamiento libre, utilícese un símbolo doble, tal como GW-GM, etc.

Figura 4-34. Nomograma para el sistema unificado de clasificación de suelos

## Solución

Calcúlese el índice de plasticidad LL-PL - 40%.

Sobre la línea "A", véase la Figura 4-33.

Esta muestra se clasifica como CC, grava arcillosa. La Tabla 4-8 indica que el material es bueno para el uso como cimiento de pavimento si no está sometido al efecto de la helada. La posibilidad de efecto de la helada es de ligera a mediana.

### 4.4.6 Heladas y suelos perennigélidos

4.4.6.1 El cálculo de pavimentos en zonas sometidas al efecto de las heladas o en zonas de terrenos perennigélidos es un problema complejo que requiere un estudio detallado. El efecto perjudicial de las heladas puede manifestarse en el empuje o deformación de los terrenos o en la pérdida del apoyo del cimiento debido a la fusión del hielo.

4.4.6.2 El cálculo de pavimentos para condiciones de helada estacional puede llevarse a cabo de cuatro maneras diferentes:

- a) El método de protección total comprende la eliminación del material susceptible de helarse hasta la profundidad de penetración de la helada y su remplazo por materiales no susceptibles de helarse.
- b) El método de penetración limitada de la helada en el terreno de fundación permite que la helada penetre hasta cierta profundidad en el terreno de fundación susceptible de helarse. Este método limita las deformaciones a valores pequeños y aceptables.
- c) El método de resistencia reducida del terreno de fundación usualmente permite un espesor de pavimento inferior a los dos métodos tratados anteriormente y debería aplicarse a los pavimentos en los cuales las velocidades de las aeronaves son bajas y los efectos de la deformación por las heladas son menos objetables. El objetivo principal de este método consiste en proporcionar una capacidad estructural suficiente para el pavimento durante el período de deshielo. En este método, la deformación debida a la helada no es la consideración principal.
- d) El método de protección reducida del terreno de fundación contra la helada proporciona al calculista un método de tratar estadísticamente el cálculo de la helada. Este método sólo debería utilizarse en los casos en que las velocidades de las aeronaves son bajas y puede tolerarse cierta deformación debida a la helada. El método estadístico permite que el calculista tenga más libertad que en los otros tres métodos tratados anteriormente.

4.4.6.3 El cálculo de pavimentos en las zonas perennigélidas exige esfuerzos para restringir la profundidad del deshielo. El deshielo del suelo helado puede tener como consecuencia una disminución de la resistencia. Si el suelo helado descongelado volviera a congelarse, podría producir deformaciones y provocar rugosidades y agrietamientos en el pavimento. Existen dos métodos de cálculo disponibles para la construcción en las zonas perennigélidas, que son el método de protección total y el método de resistencia reducida del terreno de fundación. Estos métodos son algo similares a los métodos tratados en 4.4.6.2, para el cálculo de las heladas estacionales.

4.4.6.4 La profundidad de penetración de la helada puede calcularse utilizando la ecuación de Berggren modificada. Esta ecuación necesita la introducción de varios datos relativos al estado del terreno local y a los datos de la temperatura del lugar. Las compañías de servicios públicos cercanas al lugar pueden también proporcionar datos valiosos relativos a la profundidad de la helada. El proyectista debería tener en cuenta que las profundidades de la cobertura necesarias para proteger las líneas de los servicios son prudentes y en general exceden las profundidades de penetración de la helada.

4.4.6.5 Los procedimientos de cálculo de la helada que se tratan aquí pueden encontrarse en el Research Report FAA-RD-74-30, *Design of civil airfield pavement for seasonal frost and permafrost conditions*. Otra referencia valiosa para el cálculo de la helada y de las zonas heladas es el Army Corps of Engineers Technical Manual TM 5-818-2, *Pavement design for frost conditions*, de los Estados Unidos.

#### 4.4.7 Ensayos de resistencia del terreno

4.4.7.1 La clasificación de los terrenos para fines técnicos proporciona un indicio del comportamiento probable del terreno como fundación para el pavimento. Sin embargo, esta indicación del comportamiento es aproximada. El comportamiento puede ser diferente del previsto debido a varias razones, tales como grado de compactación, grado de saturación, altura del terreno de recubrimiento, etc. La posibilidad de predecir incorrectamente el comportamiento del terreno de fundación puede eliminarse ampliamente midiendo la resistencia del terreno. La resistencia de los materiales previstos para utilizar en las estructuras de pavimentos flexibles se mide según el índice de penetración California (CBR). Los materiales previstos para utilizar en las estructuras de pavimentos rígidos se ensayan según el método de placa de carga. Cada uno de estos ensayos se trata con mayor detalle en los párrafos siguientes.

4.4.7.2 Índice de penetración California. El ensayo CBR es básicamente un ensayo de penetración llevado a cabo con un régimen de tensión uniforme. La fuerza necesaria para producir una penetración dada en el material que se ensaya se compara con la fuerza requerida para producir la misma penetración en una caliza machacada normalizada. El resultado se expresa como relación de las dos fuerzas. Por lo tanto, un material con un valor CBR de 15 significa que el material en cuestión ofrece un 15% de la resistencia a la penetración, comparada con la que ofrece la piedra machacada normalizada. Los ensayos CBR en laboratorio deberían llevarse a cabo de acuerdo con la norma ASTM D-1853, *Bearing ratio of laboratory-compacted soils*. Los ensayos CBR realizados en el terreno deberían llevarse a cabo de acuerdo con los procedimientos indicados en Manual Series No. 10 (MS-10), por The Asphalt Institute.

- a) Los ensayos CBR en laboratorio se llevan a cabo con materiales extraídos del lugar y remoldeados a la densidad que se obtendrá durante la construcción. Las muestras se impregnan durante cuatro días para permitir que el material alcance la saturación. Se utiliza un ensayo CBR saturado para simular las condiciones que es probable que ocurran en un pavimento que ha estado en servicio durante cierto tiempo. Los cimientos del pavimento tienden a alcanzar una saturación prácticamente completa después de unos tres años. Los cambios estacionales en la humedad también determinan el uso de un valor de cálculo CBR saturado, ya que debe soportarse el tráfico durante períodos de alta humedad, tales como en la estación primaveral.
- b) Los ensayos CBR realizados en el campo pueden proporcionar información valiosa sobre los cimientos que se encuentran tendidos desde hace varios años. Los materiales deberían estar en el lugar durante un tiempo suficiente para permitir que la humedad alcance un estado de equilibrio. Un ejemplo de este estado es un terraplén que se haya construido y sobrecargado durante un período prolongado de tiempo antes de la construcción del pavimento.

- c) Los ensayos CBR sobre materiales de grava son difíciles de interpretar. Los ensayos CBR en laboratorio sobre grava con frecuencia producen resultados CBR que son demasiado altos, debido a los efectos limitadores del molde. La asignación de valores CBR a los materiales de grava para el terreno de fundación pueden basarse en el criterio y la experiencia. La información que se ofrece en la Tabla 4-8 puede proporcionar una guía útil para seleccionar un valor CBR para el cálculo, en el caso de un suelo de grava. Sin embargo, la Tabla 4-8 no debería utilizarse en forma indiscriminada como la única fuente de datos. Se recomienda que el CBR máximo para el terreno de fundación de grava no estabilizada sea de 50.
- d) El número de ensayos CBR necesario para establecer correctamente un valor de cálculo; no puede determinarse sencillamente. La variabilidad de las condiciones del terreno encontradas en el lugar ejercerán la mayor influencia sobre el número de pruebas necesarias. Como regla práctica aproximada, debería considerarse la realización de tres ensayos CBR en cada tipo principal de terreno. El estudio preliminar del terreno revelará los tipos diferentes de terrenos que se han de encontrar. El valor CBR de cálculo debería seleccionarse con un criterio prudente. La práctica técnica usual para pavimentos consiste en seleccionar un valor que sea una diferencia normal por debajo de la media.

4.4.7.3 Ensayos con placa de carga. Como el nombre indica, el ensayo con placa de carga mide la capacidad de resistencia del cimiento del pavimento. El resultado de este ensayo se expresa como un valor k con las unidades de presión sobre la longitud. El valor k puede considerarse como la presión requerida para producir una deformación unitaria de una placa de carga en el cimiento del pavimento. Los ensayos con placa de carga deberían llevarse a cabo de acuerdo con los procedimientos establecidos en la norma AASHTO T 222.

- a) El cálculo de pavimentos rígidos no es demasiado sensible al valor k. Un error en el establecimiento del valor k no tendrá ninguna repercusión seria sobre el espesor nominal del pavimento rígido. Los ensayos con placa de carga deben llevarse a cabo en el terreno mismo y lo más adecuado es realizarlos sobre secciones que se hayan construido según las condiciones de compactación y de humedad de cálculo. Se requiere una corrección del valor k para tener en cuenta la saturación, con el propósito de simular las condiciones de humedad que es probable encontrar en el pavimento en uso.
- b) Los ensayos con placa de carga son relativamente costosos y, en consecuencia, es limitado el número de ensayos que puede llevarse a cabo para establecer un valor de cálculo. Por lo general, sólo pueden llevarse a cabo dos o tres ensayos para cada característica del pavimento. El valor k de cálculo debería seleccionarse con un criterio prudente.
- c) Las curvas de cálculo y evaluación de un pavimento rígido que se presentan aquí, se basan en un valor k determinado por un ensayo con carga de placa estática, utilizando una placa de 30 pulg (762 mm) de diámetro. La utilización de una placa de diámetro menor tendrá como consecuencia un valor k superior, que se representa en las curvas de cálculo y de evaluación.

- d) Se recomienda llevar a cabo los ensayos con placa de carga en el terreno de fundación y ajustar los resultados para tener en cuenta el efecto de la capa de cimentación. La Figura 4-35 muestra el aumento del valor  $k$  para diferentes espesores de la capa de cimentación, sobre un terreno de fundación  $k$  dado. Los ensayos con placa de carga llevados a cabo en la parte superior de las capas de cimentación, pueden a veces producir resultados erróneos ya que la profundidad de influencia, debajo de una placa de carga de 30 pulg (762 mm), no es tan grande como la profundidad de influencia debajo de una losa cargada por el tren de aterrizaje de una aeronave. En este caso, una capa de fundación puede influir la respuesta de una placa de carga más que la respuesta de un pavimento cargado.
- e) La determinación del valor  $k$  para las capas estabilizadas es un problema dificultoso. Normalmente, hay que estimar el valor  $k$ . Se recomienda que el valor  $k$  se estime del modo siguiente. El espesor de la capa estabilizada debería multiplicarse por un factor que vaya desde 1,2 a 1,6, para determinar el espesor equivalente del agregado árido machacado homogéneo. El valor real se encuentra en la gama de 1,2 a 1,6, y debería basarse en la calidad de la capa estabilizada y en el espesor de la losa con relación al espesor de la capa estabilizada. A los materiales de alta calidad que se estabilizan con altos porcentajes de estabilizadores, se les debería asignar un factor equivalente que es mayor que en el caso de un material estabilizado de baja calidad. Para un espesor dado de pavimento rígido, una capa estabilizada de mayor espesor ejercerá una mayor influencia sobre el comportamiento del pavimento que una capa estabilizada delgada y en consecuencia se le debería asignar un factor de equivalencia mayor.
- f) Se recomienda no exceder en ningún cimiento el valor  $k$  de cálculo de 500 lb/pulg<sup>3</sup> (136 NM/m<sup>3</sup>). La información que se presenta en la Tabla 4-8 ofrece una orientación general en cuanto a los valores  $k$  probables para varios tipos de terreno.

#### 4.4.8 Principio de cálculo de pavimentos

4.4.8.1 El criterio de la FAA, de tratar el cálculo de trenes de aterrizaje de aeronaves y el cálculo y evaluación de los pavimentos de aeropuertos como tres unidades separadas, se describe en 4.4.1 de este documento. El cálculo de pavimentos de aeropuertos es un problema técnico complejo que abarca un gran número de variables interdependientes. Las curvas de cálculo que se presentan en esta sección se basan en el método CBR de cálculo de pavimentos flexibles y un análisis de tensiones en los bordes de las juntas, para los pavimentos rígidos. Estos procedimientos representan una modificación de los métodos de cálculo anteriores de la FAA y tendrán como consecuencia un pavimento de espesor ligeramente diferente. Debido a las variaciones de espesor, la evaluación de los pavimentos actuales debería llevarse a cabo empleando el mismo método que en el cálculo. A continuación se dan detalles del modo en que se prepararon los nuevos métodos de cálculo de la FAA:



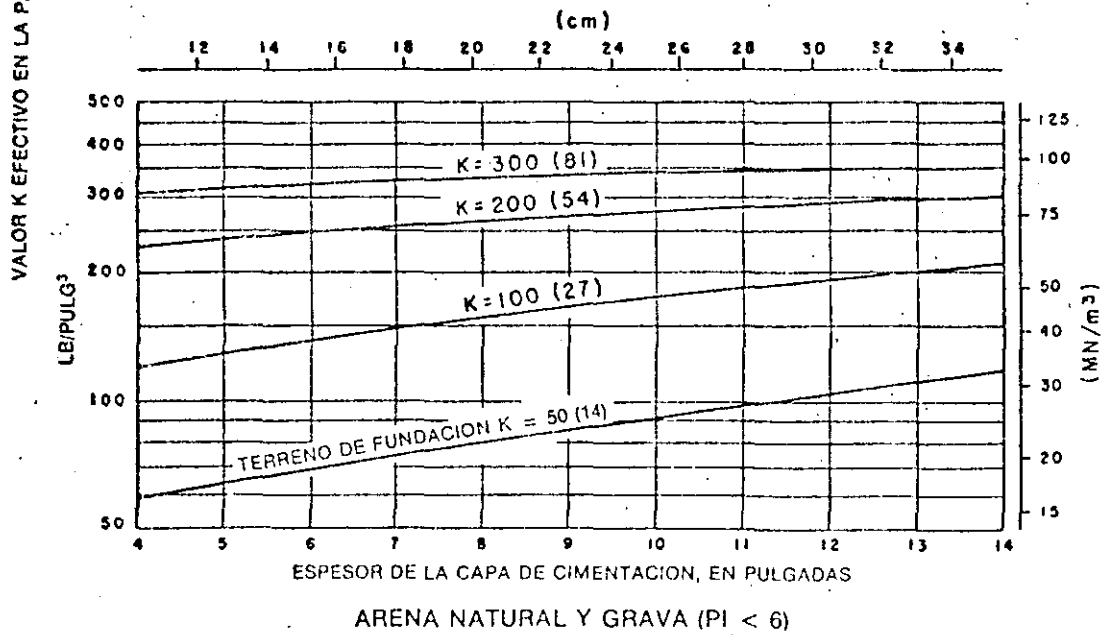
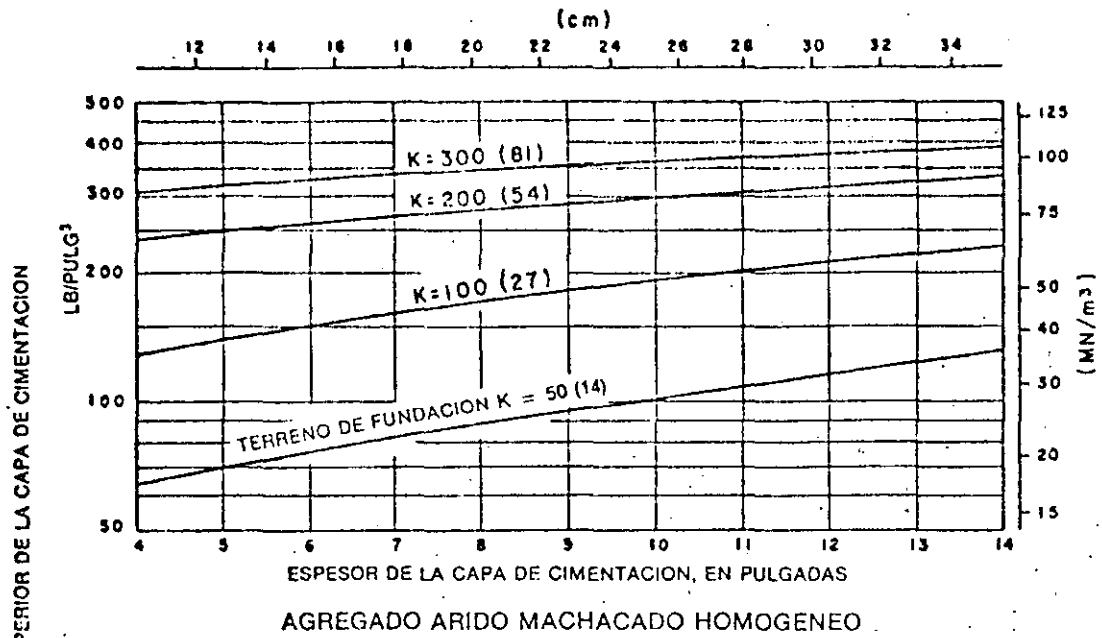


Figura 4-35. Efecto de la capa de cimentación sobre el módulo de reacción del terreno de fundación

4.4.8.2 Pavimentos flexibles. Las curvas de cálculo del pavimento flexible que se presentan en esta sección se basa en el índice de penetración California (CBR). El método de cálculo CBR es básicamente empírico; con todo, el método ha sido objeto de numerosas investigaciones y se han preparado correlaciones fiables. Las configuraciones de los trenes se relacionan utilizando conceptos teóricos e igualmente datos preparados empíricamente. Las curvas de cálculo proporcionan el espesor total requerido de los pavimentos flexibles (superficie, firme y capa de cimentación) necesarios para soportar un peso dado de aeronave sobre un terreno de fundación dado. Las curvas muestran asimismo los espesores de superficie requeridos. Los espesores mínimos de la capa del firme se indican en una curva separada. En el Apéndice 4 se presenta una discusión más detallada del cálculo CBR.

4.4.8.3 Pavimentos rígidos. Las curvas de cálculo de pavimentos rígidos en esta sección se basan en el análisis Westergaard de cargas en los bordes. El análisis de cargas en los bordes se ha modificado para simular una condición de borde de junta. Las curvas de cálculo se proporcionan para las zonas en las cuales el tráfico sigue una dirección predominantemente paralela a las juntas y para las áreas en las cuales es probable que el tráfico cruce las juntas con un ángulo aproximadamente agudo. Los criterios anteriores sobre pavimentos rígidos de la FAA se basaban en una hipótesis de carga interior. Las tensiones de los pavimentos son mayores en los bordes de juntas que en el interior de las losas. Las convalidaciones del ensayo y el comportamiento en el campo indican que prácticamente todas las grietas producidas por carga se producen en el borde de la junta y se propagan hacia el interior de la losa. Por estas razones, la base del diseño se modificó desde el interior hasta el borde de la junta. En las curvas de cálculo se encuentran líneas para cinco volúmenes diferentes de tráfico anual. El espesor del pavimento determinado a partir de estas curvas se refiere únicamente al espesor de la losa. El espesor de la capa de cimentación se determina por separado. En el Apéndice 4 se encuentra una discusión más detallada de la base para el cálculo de pavimentos rígidos.

#### 4.4.9 Antecedentes

4.4.9.1 El pavimento de un aeropuerto y las aeronaves que en él operan representan un sistema interrelacionado que puede reconocerse en el proceso de cálculo del pavimento. Con el fin de producir un diseño satisfactorio, hay que cumplir con las consideraciones de cálculo relacionadas tanto con la aeronave como con el pavimento. Se requerirá un control esmerado de la construcción y cierto grado de mantenimiento, para producir un pavimento que llegue a la vida útil nominal prevista. Los pavimentos se calculan para proporcionar una vida útil finita y se prevén las fallas por fatiga. Una construcción deficiente y una ausencia de mantenimiento preventivo con frecuencia tendrán como consecuencia que aún el pavimento mejor calculado presente un comportamiento decepcionante.

4.4.9.2 La determinación de los requisitos de espesor del pavimento es un problema técnico complejo. Los pavimentos se encuentran sometidos a una amplia variedad de cargas y defectos climáticos. El proceso de cálculo comprende un gran número de variables interrelacionadas que con frecuencia resulta difícil cuantificar. Aunque se han llevado a cabo numerosas investigaciones y algunas otras se realizan actualmente, ha sido imposible llegar a una solución matemática directa de los requisitos relativos al espesor. Por esta razón, la determinación del espesor del pavimento debe basarse en el análisis teórico de distribución de las cargas por los pavimentos y los terrenos. En el análisis de los datos experimentales relativos al pavimento y en un estudio del comportamiento de los pavimentos en condiciones de servicio real. Las curvas de espesores de pavimentos que se presentan en esta sección se han preparado mediante correlación de los datos obtenidos de estas fuentes. Los pavimentos calculados de acuerdo con estas normas están previstos para proporcionar una vida útil estructural de 20 años, libres de grandes obras de mantenimiento, salvo que ocurran modificaciones de magnitud en el tráfico previsto. Es probable que el reacondicionamiento de la superficie y la renovación de las propiedades de resistencia al resbalamiento sean necesarios antes de los 20 años, debido a los efectos climáticos destructivos y a los efectos del deterioro causado por el uso normal.

4.4.9.3 El cálculo estructural de los pavimentos de los aeropuertos consiste en determinar tanto el espesor general del pavimento como el espesor de las partes componentes del mismo. Hay varios factores que ejercen influencia sobre el espesor del pavimento requerido para proporcionar un servicio satisfactorio. Estos factores son la magnitud y el carácter de las cargas de la aeronave que han de soportarse, el volumen del tráfico, la concentración del tráfico en ciertas zonas y la calidad del terreno de fundación de los materiales que constituyen la estructura del pavimento.

#### 4.4.10 Consideraciones relativas a la aeronave

4.4.10.1 Carga. El método de cálculo del pavimento se basa en el peso bruto de la aeronave. Para fines de cálculo del pavimento, debería praverse el peso máximo de despegue de la aeronave. El procedimiento de cálculo supone que el 95% del peso bruto es soportado por los trenes de aterrizaje principales y el 5% por el tren de nariz. El peso máximo de despegue debería utilizarse en el cálculo del espesor del pavimento requerido. Se recomienda utilizar el peso máximo de despegue para proporcionar cierto grado de prudencia en el cálculo, justificado por el hecho de que pueden presentarse cambios en el uso operacional y reconociendo el hecho de que el tráfico previsto es a lo sumo aproximado. Si no se tiene en cuenta el tráfico de llegada, se anula una parte de la prudencia.

#### 4.4.10.2 Tipo y geometría del tren de aterrizaje

- a) El tipo de tren de aterrizaje y su configuración determinan de qué modo se distribuye el peso de la aeronave en el pavimento y establecen la respuesta del pavimento a las cargas producidas por la aeronave. No habría sido práctico preparar curvas de cálculo para cada tipo de aeronave. Sin embargo, como el espesor de los pavimentos, tanto rígidos como flexibles, depende de las dimensiones y del tipo del tren de aterrizaje, sería necesario trazar curvas de cálculo separadas a menos que pudieran plantearse hipótesis válidas para reducir el número de variables. El examen de la configuración del tren, las zonas de contacto de los neumáticos y la presión de los mismos en uso común, indican que se sigue una tendencia determinada relacionada con el peso bruto de la aeronave. En consecuencia, podrían plantearse hipótesis razonables y trazarse curvas de cálculo a partir de los datos supuestos. Estos datos supuestos son los siguientes:
- 1) Aeronave-de-tren simple. No se requiere ninguna hipótesis especial.
  - 2) Aeronave de ruedas gemelas. Un estudio del espacio entre las ruedas gemelas para estas aeronaves indicaba que una dimensión de 20 pulg (0,51 m) entre el eje de los neumáticos, parecía razonable para las aeronaves ligeras y una dimensión de 34 pulg (086 m) entre el eje de los neumáticos, parecía razonable para las aeronaves más pesadas.
  - 3) Aeronave con bogie de cuatro ruedas. El estudio indicaba que un espaciado entre ruedas gemelas de 20 pulg (0,51 m) y un espaciado entre bogies de 45 pulg (1,14 m) para las aeronaves ligeras y un espacio entre ruedas gemelas de 30 pulg (0,76 m) y un espaciado entre bogies de 55 pulg (1,40 m) para las aeronaves más pesadas, eran valores apropiados para el cálculo.

## APENDICE 1.

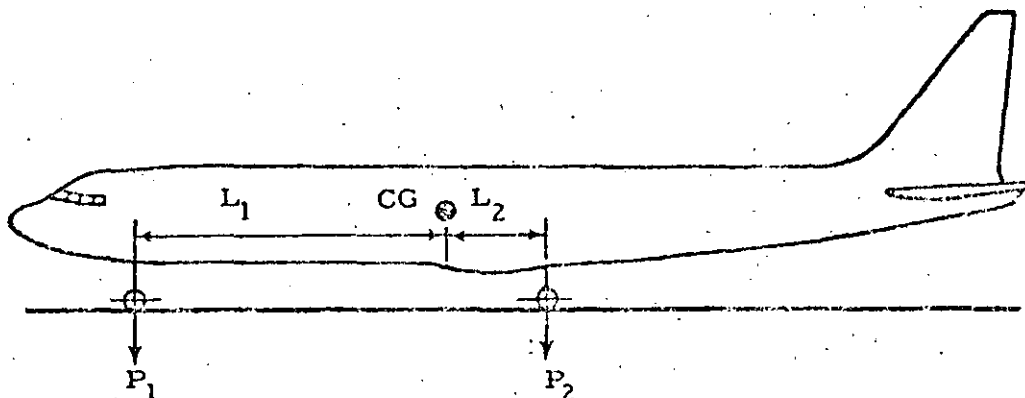
### CARACTERISTICAS DE AERONAVES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO

#### 1. Generalidades

1.1 Este Apéndice describe las características de aeronaves que afectan al cálculo de la resistencia de los pavimentos, a saber: peso de la aeronave, porcentaje de carga sobre la rueda de proa, disposición de ruedas, carga sobre la pata principal, presión de neumáticos y área de contacto de cada uno. La Tabla A1-1 contiene estos datos para la mayor parte de los aviones corrientemente utilizados.

1.2 Las cargas de los aviones se transmiten al pavimento a través del tren de aterrizaje, que normalmente consta de dos patas principales y una auxiliar, estando esta última cerca de la proa (disposición más frecuente hoy día) o cerca de la cola (sistema antiguo).

1.3 La parte de la carga impuesta por cada pata depende de la posición del centro de gravedad respecto a los tres puntos de apoyo. La distribución estática de la carga entre las diferentes patas puede ilustrarse en la forma siguiente:



donde  $W$  es el peso bruto del avión,  $P_1$  la carga transmitida por la pata auxiliar,  $P_2$  la carga transmitida por ambas patas principales,  $L_1$  y  $L_2$  la distancia, medida a lo largo del eje de simetría, desde el centro de gravedad hasta  $P_1$  y  $P_2$  respectivamente. Así:

$$W = P_1 + P_2$$

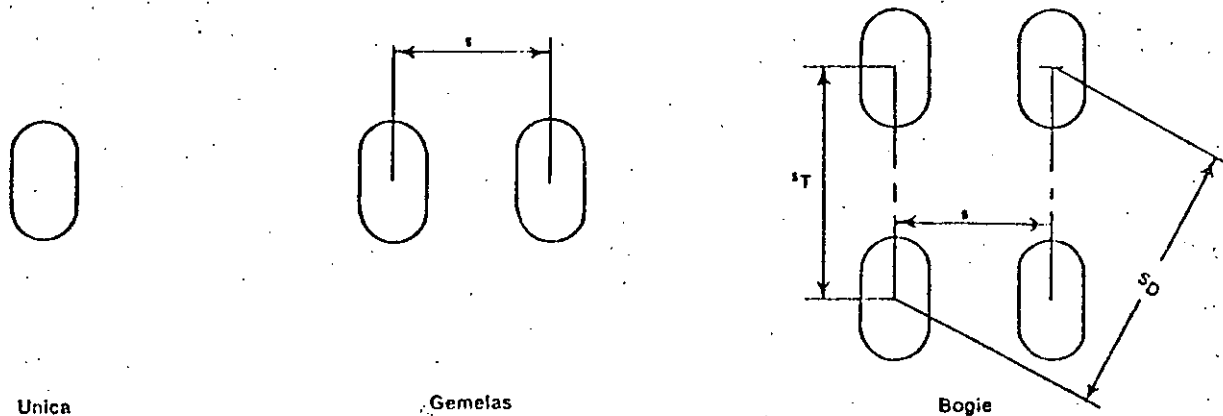
$$P_1 L_1 = P_2 L_2$$

Por lo tanto 
$$P_2 = P_1 \frac{L_1}{L_2}$$

1.4 Usualmente la relación  $L_1/L_2$  es aproximadamente 9, es decir, la pata auxiliar soporta alrededor del 10% del peso bruto del avión. Por lo tanto, cada pata principal impone una carga de un 45% de ese peso. No se han incluido la distancia entre ejes ni el ancho de vía, ya que por la magnitud de estas dimensiones no existe la posibilidad de que haya acción mutua de los esfuerzos impuestos por las distintas patas del tren de aterrizaje.

1.5 Por lo anterior, se verá que las características de cada pata principal proporcionan suficiente información para evaluar los requisitos que en cuanto a resistencia deben satisfacer los pavimentos. En consecuencia, dicha tabla se limita a dar datos sobre aquéllas.

1.6 La carga que soporta cada pata se transmite al pavimento por una o varias ruedas provistas de neumáticos de caucho. En los trenes de aterrizaje de las aeronaves actualmente en servicio, o que lo estarán pronto, se usan generalmente los siguientes sistemas de patas principales.



1.7 Para fines de proyecto y evaluación del pavimento, son importantes los siguientes espaciados entre ruedas y, por lo tanto, se indican en la tabla:

- $S$  - distancia entre centros de figura de las huellas de los neumáticos de ruedas gemelas
- $S_T$  - distancia entre ejes del bogie
- $S_D$  - distancia entre centros de figura de las huellas de las ruedas diagonales, que viene dada por la fórmula

$$S_D = \sqrt{(S^2 + S_T^2)}$$

Las presiones de neumáticos dadas son las internas o de inflación.

1.8 Debe observarse que las cifras en toda la tabla se refieren al avión con su máximo peso bruto. Para las operaciones con pesos menores, las cifras indicadas respecto a "carga en cada pata", "presión de neumático" o "huella de contacto", o ambas, deben reducirse proporcionalmente.

TABLA CARACTERISTICAS DE LAS AERONAVES USUALES  
EN EL DISEÑO O EVALUACION DE PAVIMENTOS

AERONAVE TIPO	PESO BRUTO (t)	PIERNAS DEL TREN DE ATERRIZAJE						
		DISPOSICION Y NUMERO DE RUEDAS	CARGA POR PIERNA (t)	PRESION DE NEUMATICOS (kg/cm <sup>2</sup> )	AREA DE CONTACTO POR RUEDA (cm <sup>2</sup> )	SEPARACION DE RUEDAS (cm)		
						S	S <sub>t</sub>	S <sub>d</sub>
DC-3	11.4	2, sencilla	5.35	3.2	1672	-	-	-
DC-6A/B	48.5	4, gemelas	21.35	7.4	1443	78	-	-
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	-	-
DC-9-81	64.0	4, gemelas	30.57	12.0	1088	71	-	-
B-727-100	77.1	4, gemelas	34.85	11.5	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
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	167	180
DC-10-10	196.4	8, bogie	96.61	13.0	1781	137	163	213
B-747-100B	334.7	16, bogie	77.33	15.9	1217	112	147	185
B-747-200B	352.9	16, bogie	83.28	13.9	1497	112	147	185

20173

4) Aeronaves de fuselaje ancho. Las aeronaves de fuselaje ancho, por ejemplo, el B-747, el DC-10 y el L-1011, representan una diferencia radical con respecto a la geometría supuesta para las aeronaves de tren en bogie que se describe en 3). Debido a las grandes diferencias en peso bruto y en geometría de tren de aterrizaje, se han preparado curvas de cálculo separadas para las aeronaves de fuselaje ancho.

b) La presión de los neumáticos varía entre 75 y 200 lb/pulg<sup>2</sup> (0,52 a 1,38 MPa), en función de la configuración del tren y del peso bruto. Debería tomarse nota de que la presión de los neumáticos ejerce menos influencia sobre las tensiones de los pavimentos a medida que aumenta el peso bruto y que el máximo supuesto de 200 lb/pulg<sup>2</sup> (1,38 MPa) puede excederse en condiciones de seguridad, siempre que no se excedan los demás parámetros.

4.4.10.3 Volumen de tráfico. Es necesario disponer de pronósticos de salidas anuales por tipo de aeronave, para el diseño del pavimento. La información sobre las operaciones de aeronaves está disponible en los planos principales de aeródromo, en los pronósticos de área terminal, en el plan nacional de sistema de aeropuertos, en las estadísticas de actividad aeroportuaria y en la actividad de tráfico aéreo de la FAA. Deberían consultarse estas publicaciones para la preparación de pronósticos de salidas anuales por tipo de aeronave.

4.4.11 Determinación de la aeronave de cálculo.

4.4.11.1 El pronóstico de salidas anuales por tipo de aeronave da por resultado una lista de varias aeronaves diferentes. La aeronave de cálculo debería seleccionarse a base de la que requiera el mayor espesor de pavimento. Debería verificarse cada tipo de aeronave del pronóstico para determinar el espesor de pavimento requerido, utilizando la curva de cálculo apropiada, con el número de pronósticos de salidas anuales para cada aeronave. El tipo de aeronave que determine el espesor mayor de pavimento, es la aeronave de cálculo. La aeronave de cálculo no es necesariamente la aeronave más pesada del pronóstico.

4.4.12 Determinación de las salidas anuales equivalentes de la aeronave de cálculo

4.4.12.1 Como el pronóstico de tráfico es una mezcla de diferentes aeronaves que poseen diferentes tipos de trenes de aterrizaje y diferentes pesos, hay que tener en cuenta los efectos de todo el tráfico en lo tocante a la aeronave de cálculo. En primer lugar deben convertirse todas las aeronaves al mismo tipo de tren de aterrizaje que la aeronave de cálculo. Deberían utilizarse los siguientes factores de conversión para pasar de un tipo de tren a otro:

<u>Para convertir de</u>	<u>A</u>	<u>Multiplíquense las salidas por</u>
rueda simple	ruedas gemelas	0,8
rueda simple	bogie	0,5
ruedas gemelas	bogie	0,6
bogie doble	bogie	1,0
bogie	rueda simple	2,0
bogie	ruedas gemelas	1,7
ruedas gemelas	rueda simple	1,3
bogie doble	ruedas gemelas	1,7

En segundo lugar, una vez que se han agrupado las aeronaves en la misma configuración de tren de aterrizaje, la conversión a salidas anuales equivalentes de la aeronave de cálculo, debería determinarse según la fórmula siguiente:

$$\log R_1 = \log R_2 \times \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

donde  $R_1$  = salidas anuales equivalentes de la aeronave de cálculo

$R_2$  = salidas anuales expresadas en el tren de aterrizaje de la aeronave de cálculo

$W_1$  = carga sobre la rueda de la aeronave de cálculo

$W_2$  = carga sobre la rueda de la aeronave en cuestión

Para este cálculo se supone que el 95% del peso bruto de la aeronave ha de ser soportado por el tren de aterrizaje principal. En este cálculo, las aeronaves de fuselaje ancho requieren una atención especial. El procedimiento tratado anteriormente representa una norma relativa que compara diferentes aeronaves con una aeronave común de cálculo. Como las aeronaves de fuselaje ancho poseen trenes de aterrizaje radicalmente diferentes de las otras aeronaves, es preciso considerarlas especialmente para mantener los efectos relativos. Esto se lleva a cabo tratando cada fuselaje ancho como una aeronave con bogie de cuatro ruedas, de 300 000 lb (136 100 kg), al calcular las salidas anuales equivalentes. Esto debería efectuarse en todos los casos, aun cuando la aeronave de cálculo sea de fuselaje ancho. Una vez determinadas las salidas anuales equivalentes, el cálculo debería proseguir utilizando la curva de cálculo apropiada para la aeronave de cálculo. Por ejemplo, si el fuselaje ancho corresponde a la aeronave de cálculo, todas las salidas equivalentes deberían calcularse como se describe anteriormente; entonces, la curva de cálculo para el fuselaje ancho debería utilizarse con las salidas anuales equivalentes calculadas.

4.4.12.2 Ejemplo: Se supone un pavimento de aeropuerto calculado para el siguiente tráfico previsto:

Aeronave	Tipo de tren	Salidas anuales previstas	Peso máximo de despegue (lb)	(kg)
727-100	ruedas gemelas	3 760	160 000	(72 600)
727-200	ruedas gemelas	9 080	190 500	(86 500)
707-320B	bogie de cuatro ruedas	3 050	327 000	(148 500)
DC-9-30	ruedas gemelas	5 800	108 000	(49 000)
CV-880	bogie de cuatro ruedas	400	184 500	(83 948)
737-200	ruedas gemelas	2 650	115 500	(52 440)
L-1011-100	bogie de cuatro ruedas	1 710	450 000	(204 120)
747-100	bogie doble	85	700 000	(317 800)

#### Solución

- a) Determinación de la aeronave de cálculo. En el pronóstico, se determina el espesor del pavimento para cada aeronave, utilizando las curvas de cálculo pertinentes. Los datos de entrada del pavimento, que son CBR, valor k, resistencia a la flexión, etc., deberían ser iguales para todas las aeronaves. Los pesos de las aeronaves y los niveles de salida deben corresponder a la aeronave particular del pronóstico. En este caso, el 727-200 exige el espesor máximo de pavimento y por lo tanto es la aeronave de cálculo.



- b) Tráfico previsto por grupos en el tren de aterrizaje de la aeronave de cálculo. En este ejemplo, la aeronave de cálculo está equipada con un tren de aterrizaje de ruedas gemelas, de manera que todo el tráfico debe agruparse en la configuración de ruedas gemelas.
- c) Conversión de la aeronave a salidas anuales equivalentes de la aeronave de cálculo. Una vez que la diversidad de aeronaves se ha agrupado en una configuración común del tren de aterrizaje, se calculan las salidas anuales equivalentes de la aeronave de cálculo.

Aeronave	Salidas con tren gemelo	Carga por rueda		Carga por rueda de la aeronave de cálculo		Salidas anuales equivalentes de la aeronave de cálculo
		(lb)	(kg)	(lb)	(kg)	
727-100	3 760	38 000	(17 240)	45 240	(20 520)	1 891
727-200	9 080	45 240	(20 520)	45 240	(20 520)	9 080
707-320B	5 185	38 830	(17 610)	45 240	(20 520)	2 764
DC-9-30	5 800	25 650	(11 630)	45 240	(20 520)	682
CV-880	680	21 910	(9 940)	45 240	(20 520)	94
737-200	2 650	27 430	(12 440)	45 240	(20 520)	463
747-100	145	35 625*	(16 160)	45 240	(20 520)	83
L-1011-100	2 907	35 625*	(16 160)	45 240	(20 520)	1 184
Total						16 241

\* Las cargas por rueda en las aeronaves de fuselaje ancho se considerarán como la carga por rueda de una aeronave de 300 000 lb (136 100 kg), para el cálculo de las salidas anuales equivalentes.

- d) Para este ejemplo, el pavimento se calculará para 16 000 salidas anuales de una aeronave con ruedas gemelas cuyo peso sea de 190 500 lb (86 500 kg). Sin embargo, el cálculo debería prever la aeronave más pesada en la mezcla de tráfico, al considerar la profundidad de compactación, el espesor de la superficie asfáltica, las estructuras de avenamiento, etc.

#### 4.4.13 Cálculo de pavimentos flexibles

4.4.13.1 Los pavimentos flexibles consisten en una capa de rodadura asfáltica colocada sobre una capa de firme y, cuando lo requieran las condiciones del terreno de fundación, una capa de cimentación. Toda la estructura del pavimento flexible en último término está soportada por el terreno de fundación. Las definiciones de la función de los diferentes componentes se indican en los párrafos siguientes. En algunas aeronaves, tanto el firme como el cemento tienen que construirse con materiales estabilizados. En 4.4.15 se trata de los requisitos para el firme y la cimentación estabilizados.

4.4.13.2 La utilización de las curvas de cálculo para los pavimentos flexibles requiere un valor para el material del terreno de fundación, un valor CBR para el material del cemento, el peso bruto de la aeronave de cálculo y el número de salidas anuales de la misma aeronave. Las curvas de cálculo que se presentan en las Figuras 4-36 a 4-44, indican el espesor total del pavimento requerido y el espesor del revestimiento asfáltico. En la Figura 4-45 se indica el espesor mínimo de la capa de firme para los espesores totales dados del pavimento y los valores CBR. Para un total de salidas anuales superiores a 25 000, el espesor total del pavimento debería aumentarse de acuerdo con 4.4.24 y el revestimiento asfáltico en 1 pulg (3 cm).

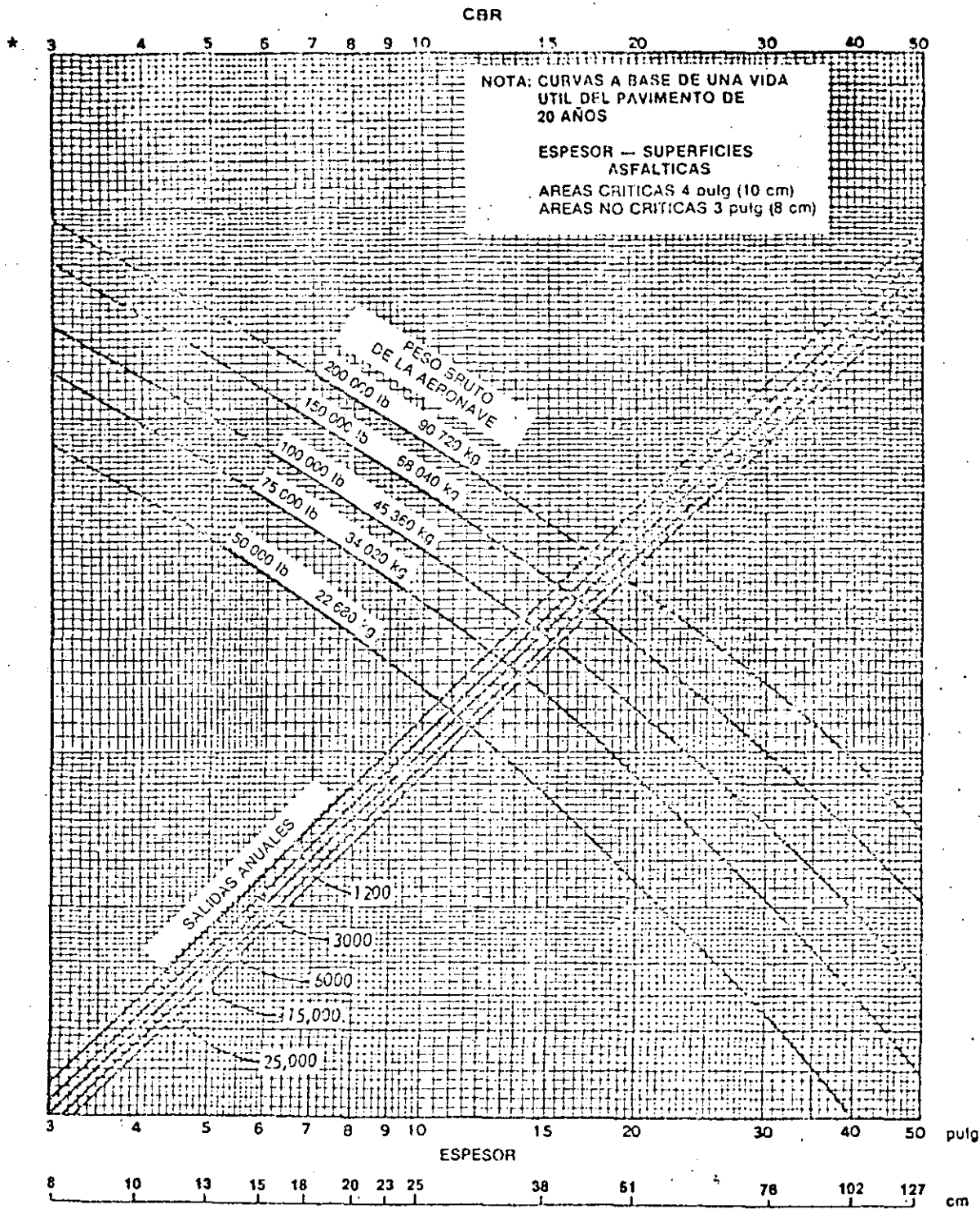
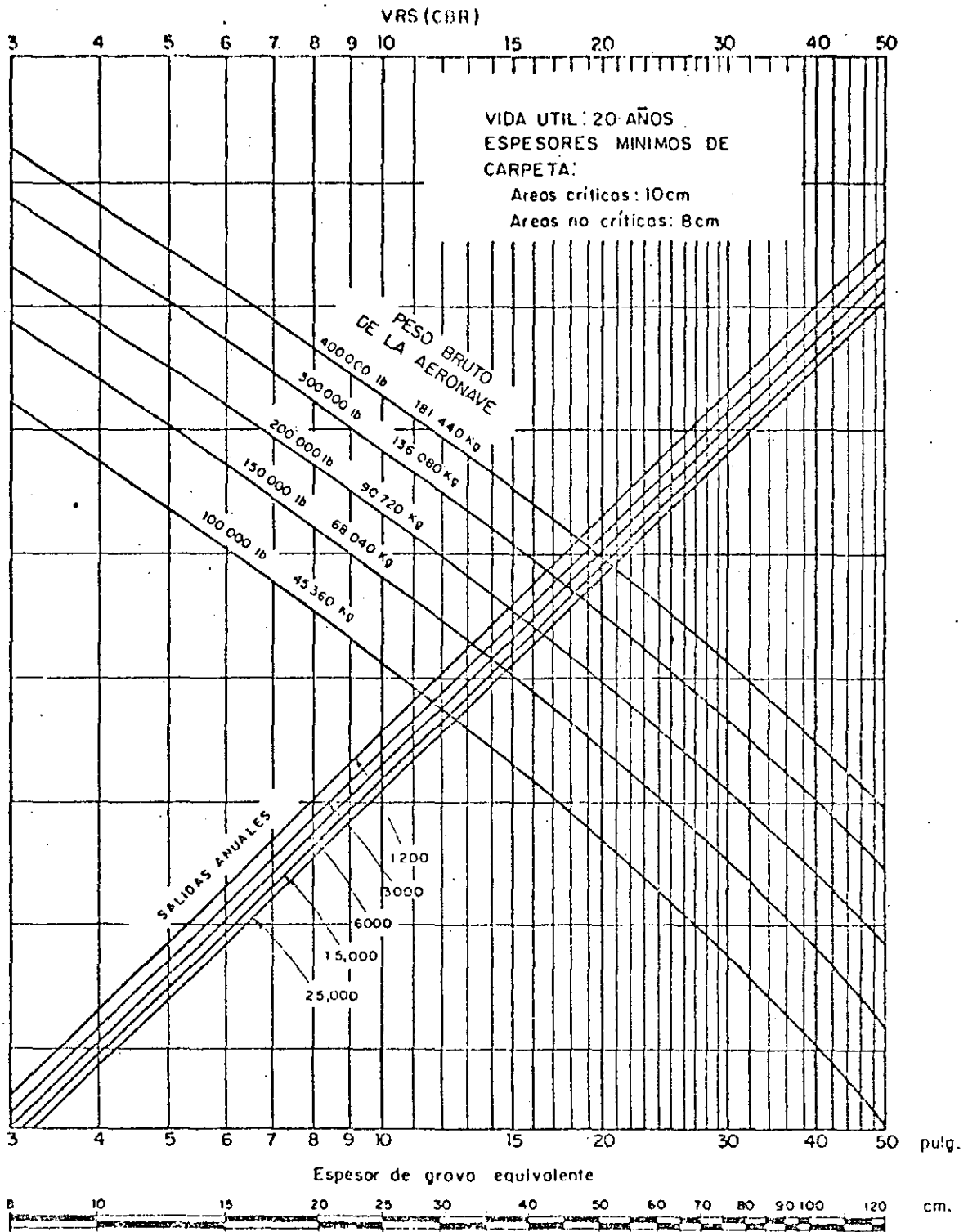
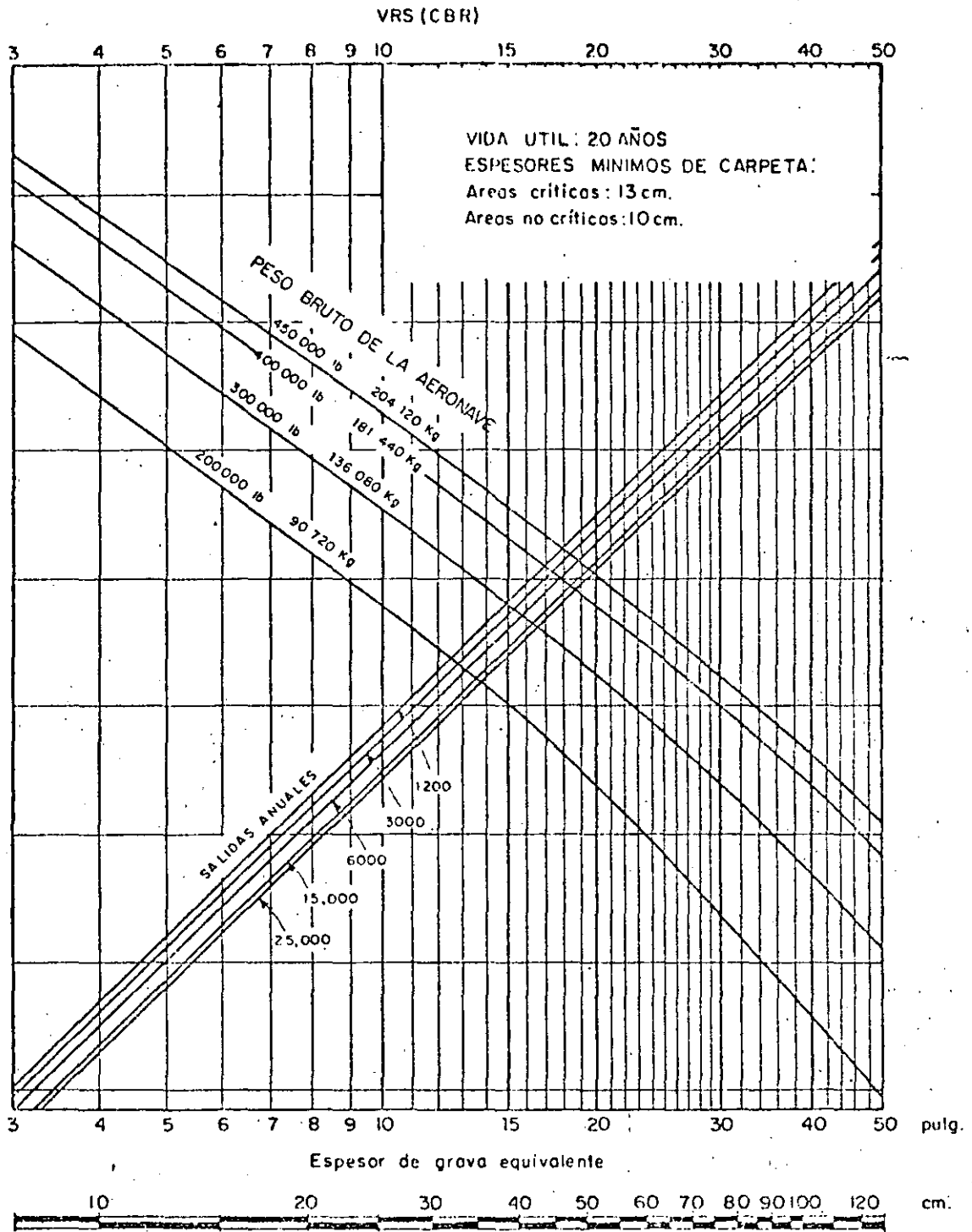


Figura 4-37. Curvas de cálculo de pavimentos flexibles para áreas críticas, tren de ruedas gemelas



Curvas de cálculo de pavimentos flexibles para áreas críticas, tren de aterrizaje con bogie



Curvas de cálculo de pavimentos flexibles para áreas críticas, DC 10-10, 10CF

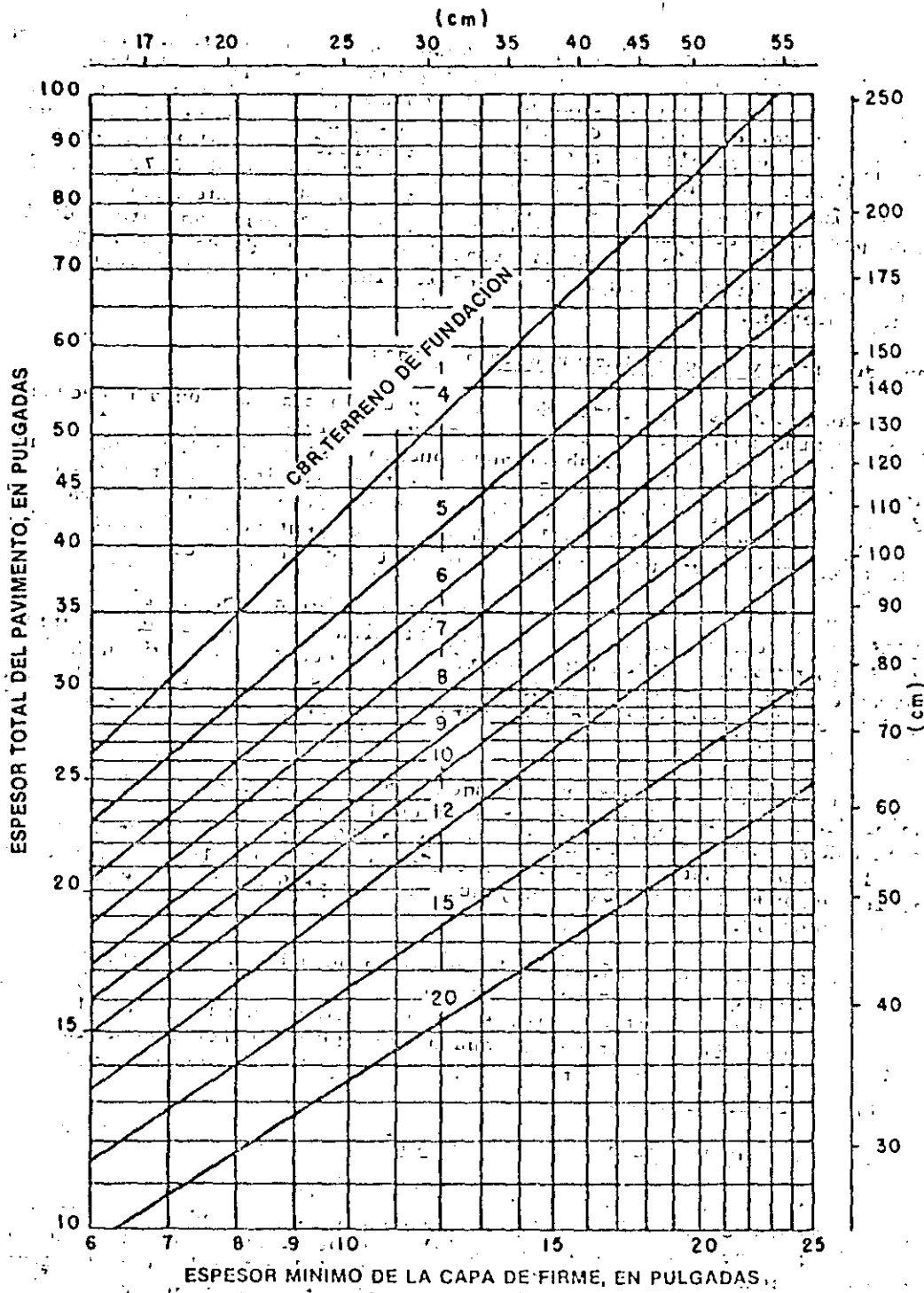


Figura 4-45. Requisitos mínimos de espesor de la capa de firme

4.4.18.6 Utilización de las curvas de cálculo. - Las curvas de cálculo del pavimento rígido se trazan de manera que se registren los datos de cálculo en el mismo orden que se trató anteriormente. El primer dato se refiere a la resistencia del hormigón a la flexión. La ordenada izquierda de la curva de cálculo se registra con la resistencia del hormigón a la flexión. Se traza una proyección horizontal hasta intersectar la línea del módulo de fundación pertinente. Se traza una proyección vertical a partir del punto de intersección hasta el peso bruto pertinente de la aeronave de cálculo. Se traza una proyección horizontal hasta la ordenada derecha, que indica las salidas anuales. Se lee el espesor del pavimento a partir de la línea de salida anual pertinente. El espesor del pavimento indicado se refiere únicamente al espesor del pavimento de hormigón, sin tener en cuenta el de la capa de cimentación.

4.4.19 Requisitos de la capa de cimentación

4.4.19.1 El objeto de una capa de cimentación debajo de un pavimento rígido es el de proporcionar un apoyo estable y uniforme para las losas del pavimento. Se requiere un espesor mínimo de 4 pulg (10 cm) de cemento, debajo de todos los pavimentos rígidos, excepto lo que se indica en la Tabla 4-11:

Tabla 4-11. Condiciones en que no se requiere capa de cimentación

Clasificación del suelo	Buen avenamiento		Mal avenamiento	
	Sin heladas	Con heladas	Sin heladas	Con heladas
GW	X	X	X	X
GP	X	X	X	
GM	X			
GC	X			
SW	X			

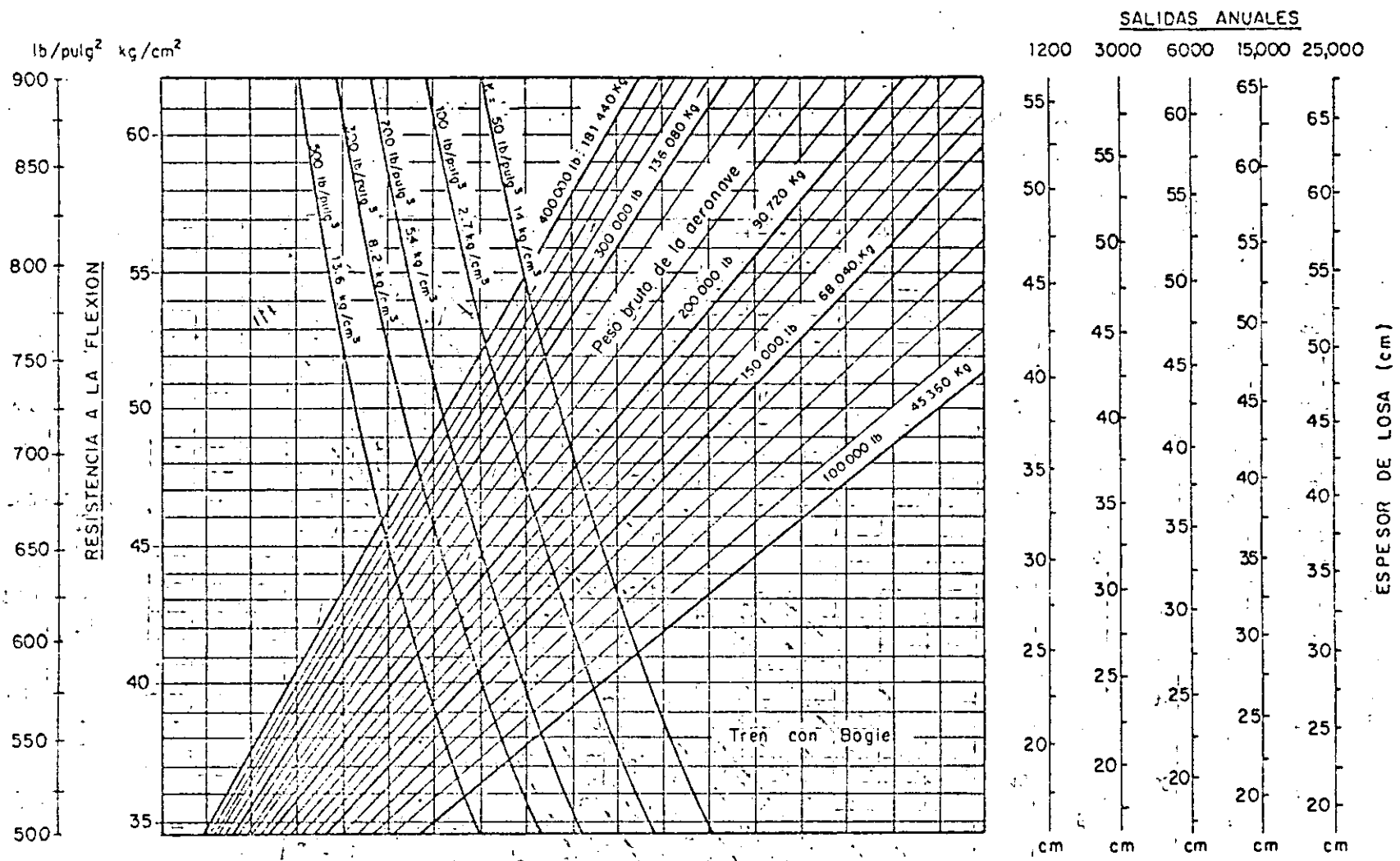
4.4.19.2 Puede utilizarse una capa de cimentación con un espesor superior a 4 pulg (10 cm) para aumentar el módulo de reacción del terreno y reducir el espesor requerido del concreto necesario, si resultara económico. Los costes de utilización del espesor extra de la capa de cimentación deberían ponderarse en función del ahorro en el espesor de hormigón. A continuación se da una lista de materiales adecuados para capas de cimentación debajo de pavimentos rígidos:

- Capa de cimentación de grava
- Capa de firme asfáltico
- Capa de firme de árido
- Capa de firme de árido machacado
- Capa de firme de cemento sobre el terreno
- Capa de firme tratada de cemento

4.4.19.3 Determinación del valor k de los cimientos granulares. El aumento probable del valor k relacionado con los diferentes espesores de los materiales de la capa de cimentación se indica en la Figura 4-35. La Figura 4-35 está destinada para emplear cuando la capa de cimentación se compone de materiales granulares no estabilizados. Los valores indicados en la Figura 4-35 se han de considerar como directrices y pueden ser atenuados por la experiencia local.

30

33



Gráficas de diseño para pavimentos de concreto-tren bogie

### Parte 3.- Pavimentos

#### 4.4.24 Gran volumen de tráfico

4.4.24.1 Existen varios aeropuertos que experimentan intensidades de tráfico muy en exceso de las que se indica en las curvas del proyecto. En estas situaciones el mantenimiento es prácticamente imposible debido a la intensidad del tráfico, por lo cual la construcción inicial reviste aún mayor importancia. Lamentablemente no existe mucha información acerca del comportamiento de los pavimentos con tráfico muy intenso, salvo la experiencia adquirida mediante observación de los pavimentos en servicio. Los pavimentos rígidos calculados para situaciones de gran intensidad de tráfico, deberían observar las consideraciones siguientes.

4.4.24.2 Cimiento. El cimiento del pavimento proporciona el apoyo definitivo de la estructura. Deben hacerse todos los esfuerzos posibles para proporcionar un cimiento estable, ya que los problemas que surjan posteriormente debido a la insuficiencia del cimiento, en la práctica no pueden corregirse una vez construido el pavimento. La utilización de una capa de cimentación estabilizada contribuirá mucho a proporcionar un cimiento uniforme y estable. En general, la combinación más eficaz de espesor de pavimento rígido y de espesor de la capa de cimentación estabilizada, en cuanto a la capacidad estructural, es una relación de 1:1.

4.4.24.3 Espesor. Los pavimentos sometidos a intensidades de tráfico superiores al nivel de 25 000 salidas anuales que se indican en las curvas de cálculo, requerirán un espesor mayor para recibir ese volumen de tráfico. Pueden agregarse otros espesores aumentando el espesor del pavimento de acuerdo con la Tabla 4-12:

Tabla 4-12. Espesor del pavimento para altos niveles de salida, expresado como porcentaje del espesor necesario para 25 000 salidas

<u>Nivel anual de salidas</u>	<u>Porcentaje de espesor de 25 000 salidas</u>
50 000	104
100 000	108
150 000	110
200 000	112

Los valores que se indican en la Tabla 4-12 se basan en extrapolaciones de datos de investigaciones y de observaciones de pavimentos en servicio. Se preparó la Tabla 4-12 suponiendo una relación logarítmica entre el porcentaje de espesor y las salidas.

4.4.24.4 Dimensiones del panel. Los paneles de losa deberían construirse previendo el movimiento mínimo entre juntas. Un pequeño movimiento entre las juntas tiende a asegurar una mejor transferencia de cargas a través de las mismas y reduce el alargamiento al cual tienen que adaptarse los materiales de sellado de juntas cuando las losas se dilatan y contraen. Deberían especificarse materiales de sellado para juntas de alta calidad para asegurar el mejor comportamiento posible.

#### 4.4.25 Pavimento de hormigón armado

4.4.25.1 La ventaja principal de la armadura de acero es que aunque no evita el resquebrajamiento, mantiene las grietas formadas bien cerradas de manera que la trabazón de las caras irregulares asegura la integridad de la estructura y, por lo general, mejora la actuación del pavimento. Al mantener las grietas estrechamente unidas, el acero reduce al mínimo la infiltración de desechos entre las mismas. Los requisitos de espesor para los pavimentos de hormigón armado son los mismos que para el hormigón sin armadura y están determinados por las curvas de cálculo pertinentes. La armadura de acero permite un espaciado mayor entre las juntas y, en consecuencia, la ventaja en cuanto a costes, debida a la menor cantidad de juntas, es un factor que ha de determinarse en la decisión de utilizar hormigón simple o armado para el pavimento.

4.4.25.2 Tipo y espaciado de la armadura. La armadura puede ser tela de alambre soldada o bien esteras formadas por barras, con puntas y costados solapados para proporcionar un refuerzo total en el cuerpo del panel de la losa. Las superposiciones de los extremos



deberían ser como mínimo de 12 pulg (31 cm) pero no menos de 30 veces al diámetro del alambre o barra longitudinal. Las superposiciones laterales deberían ser como mínimo de 6 pulg (15 cm) pero no menos de 20 veces el diámetro del alambre o barra transversal. Los espaciados finales y laterales deberían ser como máximo de 6 pulg (15 cm) y como mínimo de 2 pulg (5 cm) para permitir un refuerzo prácticamente completo sin dejar de cubrir suficientemente con el hormigón. Los miembros longitudinales deberían espaciarse a no menos de 4 pulg (10 cm) ni más de 12 pulg (31 cm); los miembros transversales deberían espaciarse no menos de 4 pulg (10 cm) ni más de 24 pulg (61 cm).

#### 4.4.25.3 Cantidad de material de armadura

- a) La zona de acero requerida para un pavimento de hormigón armado está determinada por la fórmula de resistencia del terreno de fundación y el coeficiente de la fórmula de fricción combinados. La fórmula resultante se expresa del modo siguiente:

$$A_s = \frac{3,7 L \sqrt{Lt}}{f_s}$$

donde:

$A_s$  = área de acero por pie de ancho o de largo, en pulgadas cuadradas

$L$  = longitud o anchura de la losa, en pies

$T$  = espesor de la losa, en pulgadas

$f_s$  = fuerza de tracción admisible del acero, en lb/pulg<sup>2</sup>.

*Nota.* - Para determinar el área de acero en unidades métricas:

$L$  - debería expresarse en metros

$t$  - debería expresarse en milímetros

$f_s$  - debería expresarse en meganewtons por metro cuadrado

La constante 3,7 debería cambiarse a 0,64

$A_s$  - estará entonces en términos de centímetros cuadrados por metro.

- b) En esta fórmula, se supone que el peso de la losa es de 12,5 lb/ft<sup>2</sup>, por pulgada de espesor (23,6 NM/m<sup>2</sup>). La carga de tracción admisible será diferente según el tipo y la calidad del acero. Se recomienda adoptar la carga de tracción admisible como de 2/3 de la resistencia a la deformación del acero. A base de las especificaciones actuales, las resistencias a la deformación y las tensiones de cálculo correspondientes ( $f_s$ ) son las que figuran en la Tabla 4-13.

Tabla 4-13. Resistencias a la deformación de varios tipos de acero para hormigón

Designación ASTM	Tipo y calidad del acero	Resistencia a la deformación en		$f_s$	
		lb/pulg <sup>2</sup>	(NM/m <sup>2</sup> )	lb/pulg <sup>2</sup>	(NM/m <sup>2</sup> )
A 615	Tocho de acero deformado, calidad 40	40 000	(300)	27 000	(200)
A 616	Riel de acero deformado, calidad 50	50 000	(370)	33 000	(240)
A 616	Riel de acero deformado, calidad 60	60 000	(440)	40 000	(300)
A 615	Tocho de acero deformado, calidad 60	60 000	(440)	40 000	(300)
A 185	Tela de alambre de acero soldado, estirado en frío	65 000	(480)	43 000	(320)
A 497	Alambre de acero deformado, soldado y estirado en frío	70 000	(520)	47 000	(350)

### Parte 3.- Pavimentos

- c) La cantidad mínima de armadura de acero debería ser del 0,05%. El porcentaje de acero se calcula dividiendo el área de acero,  $A_s$ , por el área de hormigón por unidad de longitud (o de anchura) y multiplicando por 100. El porcentaje de acero que se considera como el mínimo que puede instalarse económicamente, es del 0,05%. La armadura de acero permite losas de mayor tamaño y, en consecuencia, disminuye el número de juntas transversales de dilatación. Los costos relacionados con la fabricación de un pavimento de hormigón armado deben compararse con los ahorros realizados en la eliminación de algunas de las juntas de dilatación transversal, para determinar el porcentaje de acero más económico. La longitud máxima admisible de losa, sin tener en cuenta el porcentaje de acero, es de 75 ft (23 m).

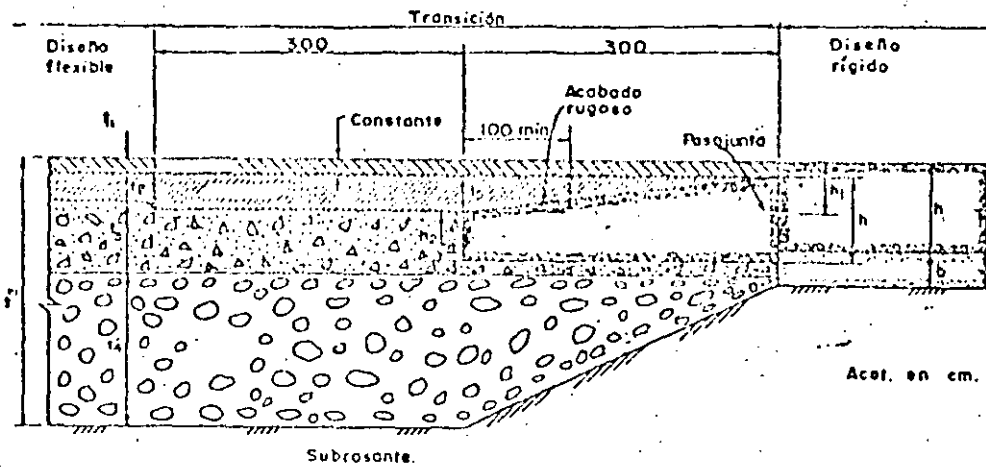
#### 4.4.26 Recrecimiento en los pavimentos de aeropuertos

##### 4.4.26.1 Generalidades

- a) Por varias razones pueden requerirse recrecimientos sobre los pavimentos de aeropuertos. Un pavimento puede haber sido dañado por sobrecargas, de manera que no se lo pueda mantener satisfactoriamente a un nivel de servicio. De modo similar, un pavimento en buen estado puede requerir refuerzos para servir a aeronaves más pesadas que aquéllas para las cuales se lo calculó originalmente. El pavimento puede también requerir un recrecimiento simplemente porque el pavimento original ya ha cumplido su vida útil prevista y está desgastado. En general, los recrecimientos de los pavimentos de aeropuertos consisten en hormigón de cemento Portland o en hormigón asfáltico.
- b) Definiciones aplicables a los pavimentos con recrecimiento:
- 1) Pavimento con recrecimiento. Pavimento que se ha construido sobre la parte superior de un pavimento anterior.
  - 2) Recrecimiento asfáltico. Pavimento de hormigón asfáltico colocado sobre un pavimento anterior.
  - 3) Recrecimiento de hormigón. Pavimento de hormigón de cemento Portland colocado sobre un pavimento anterior.
  - 4) Pavimento sandwich. Pavimento con recrecimiento que contiene una capa de separación granular.

4.4.26.2 Cálculo de recrecimientos asfálticos. Pueden aplicarse recrecimientos asfálticos a los pavimentos flexibles o rígidos. Hay ciertos criterios aplicables al cálculo de recrecimientos asfálticos que hayan de aplicarse sobre pavimentos anteriores, rígidos o flexibles.

- a) No se admiten los pavimentos con recrecimiento que tienen una capa de separación granular entre la superficie antigua y nueva. Los pavimentos con recrecimiento que tienen capas de separación granular se consideran



Pavimento de concreto

- $h$  = espesor de diseño
- $h_1 = \frac{h+t}{2}$
- $h_2 = h - 10$ , pero no menor de 15 ó 10
- $b$  = sub-base

Pavimento asfáltico

- $t$  = espesor de diseño
- $t_1$  = carpeta de textura media o cerrada
- $t_2$  = carpeta de textura abierta
- $t_3$  = base
- $t_4$  = sub-base
- $t_5 = h - h_2$ , pero no menor de  $t_2$

Fig. 41 Junta de transición entre pavimento asfáltico y de concreto.

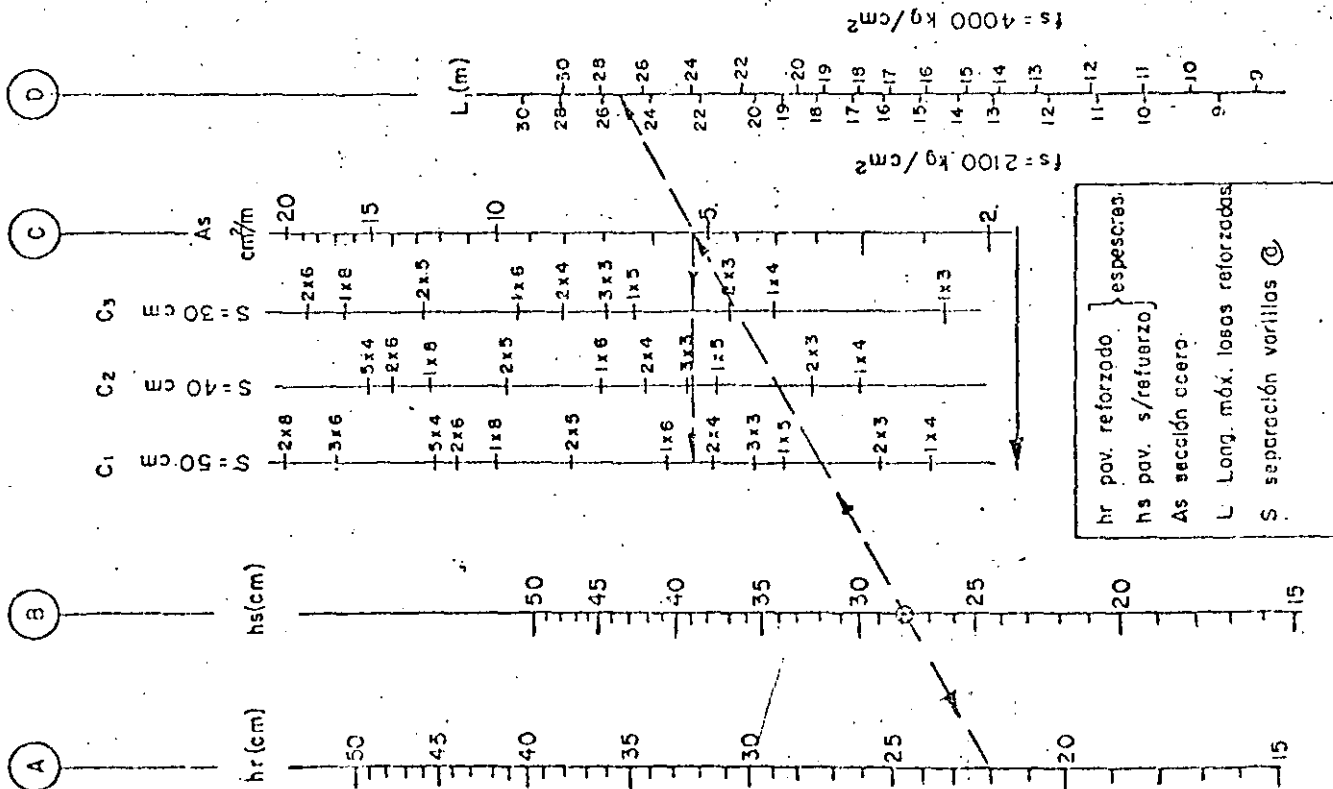
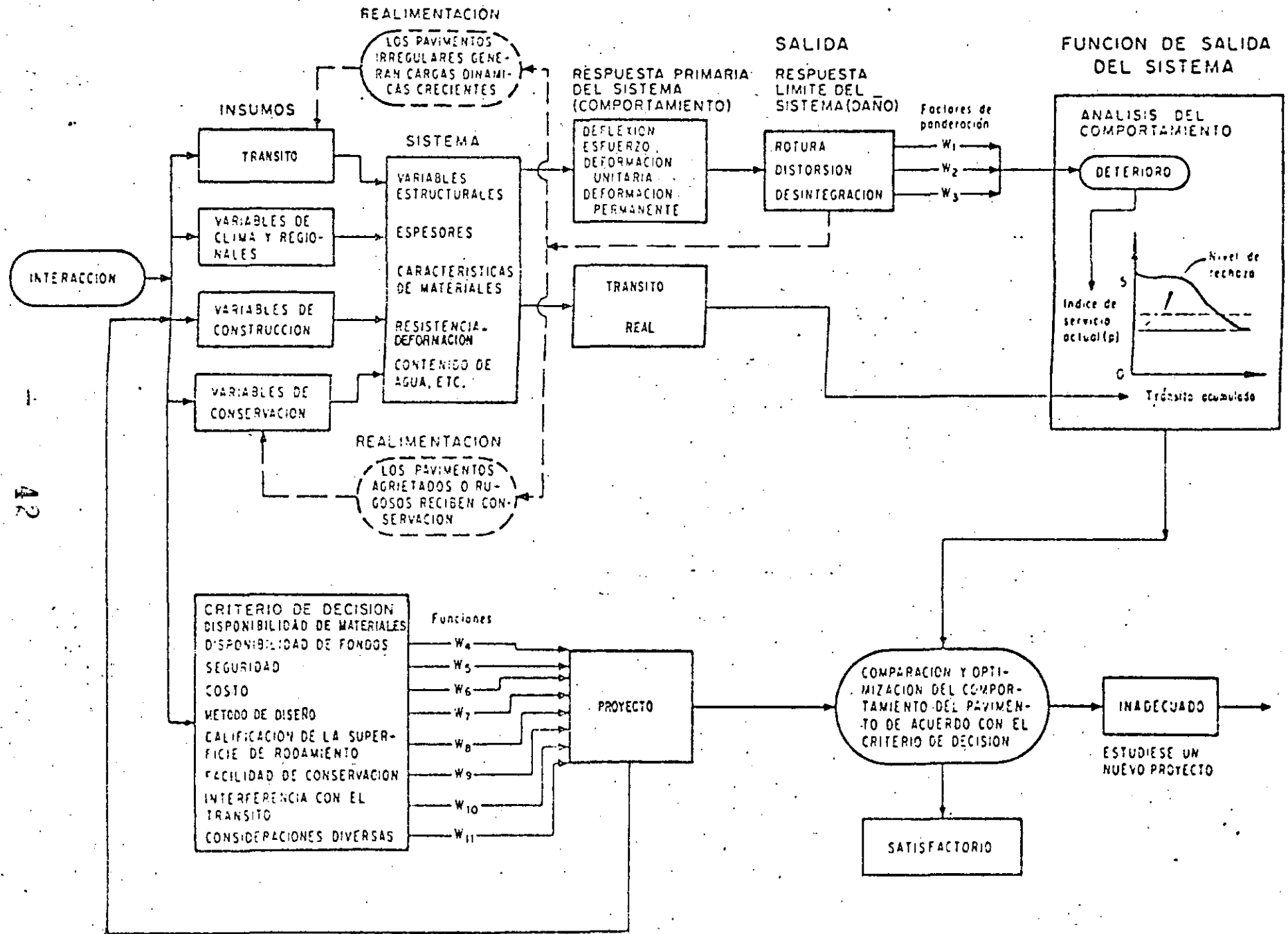


Fig.42 Nomograma para el diseño de pavimentos de concreto reforzado.

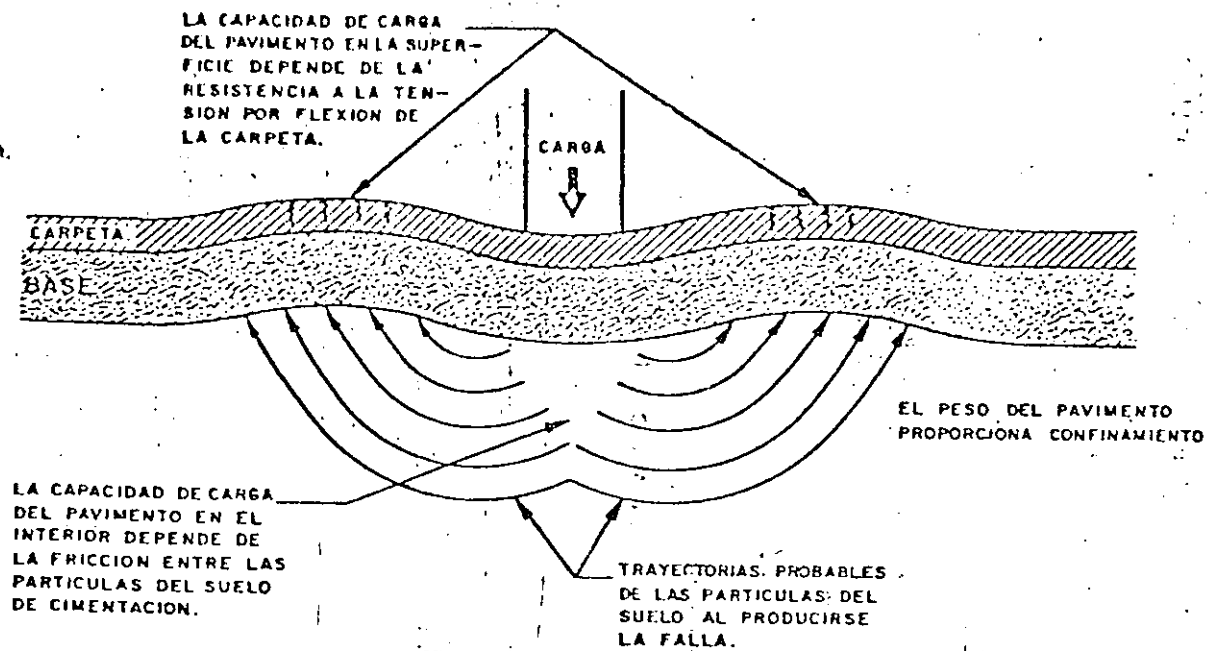
FIG. 1 EL SISTEMA



42

# TIPOS DE FALLA EN PAVIMENTOS ASFALTICOS

FIG. 3 DEFORMACION PLASTICA PARA SUELOS BAJO UN PAVIMENTO.



## FALLA ESTRUCTURAL

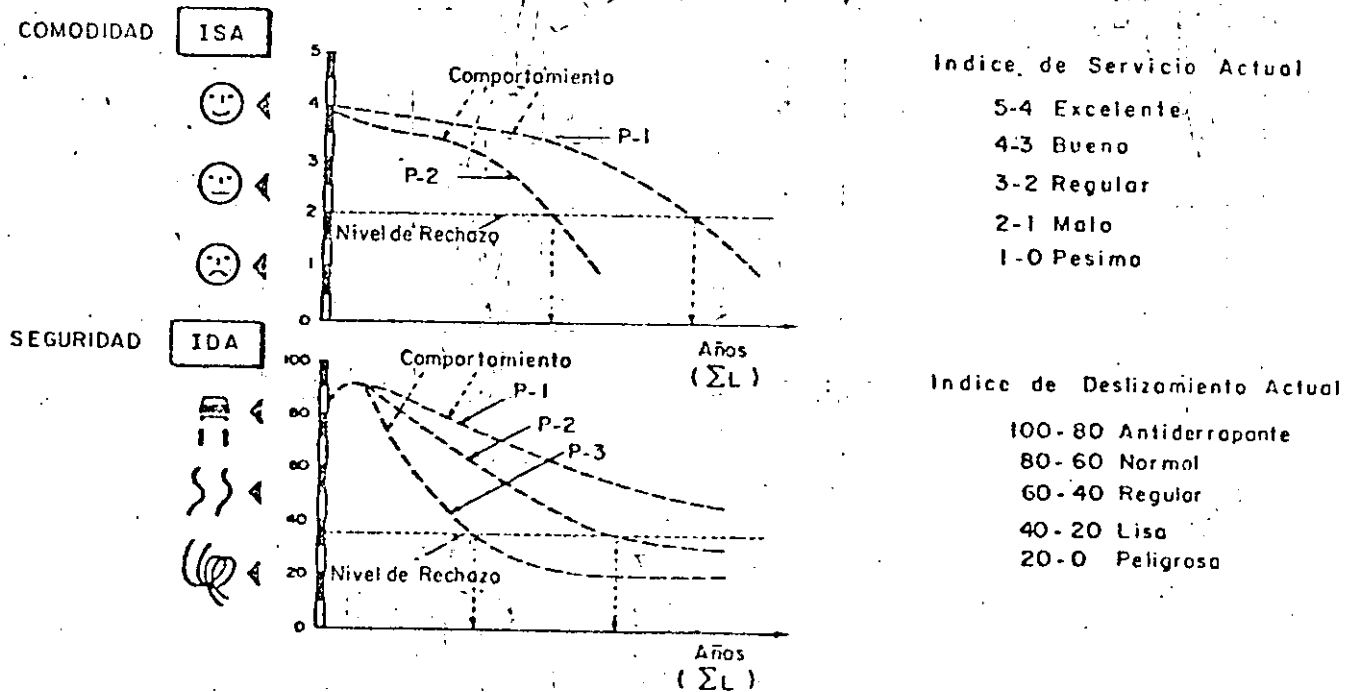


Fig. 4 Análisis del comportamiento de un pavimento. (FALLA FUNCIONAL) (Condiciones de la superficie)

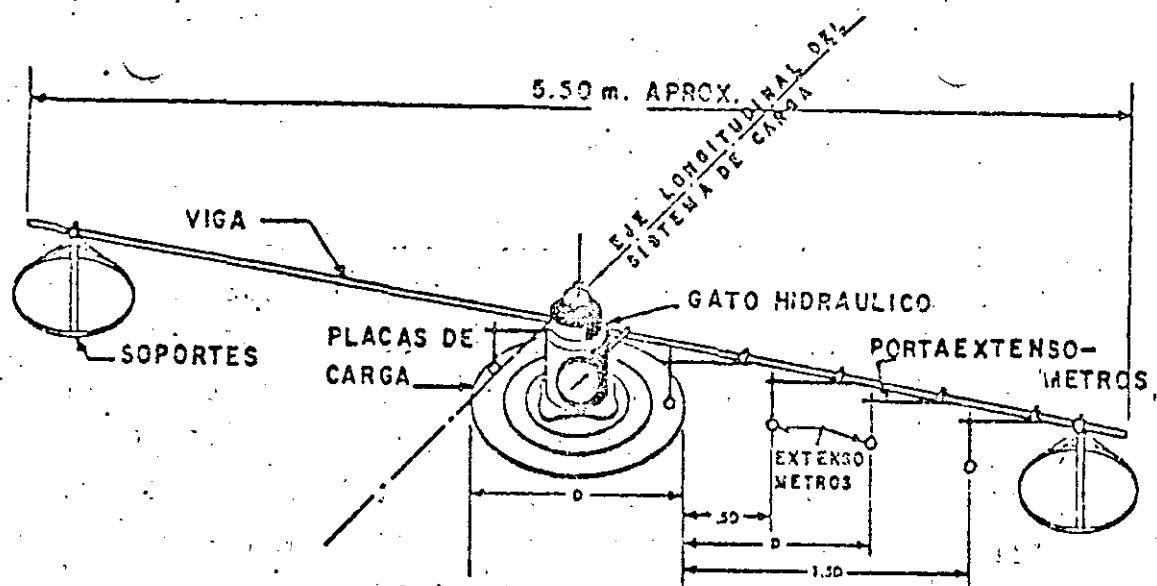


Fig.6

ESQUEMA DEL SISTEMA PARA LAS PRUEBAS DE PLACA

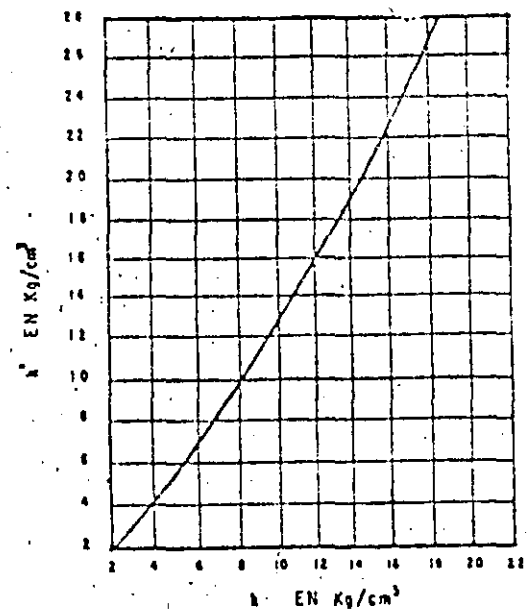


Fig.8

CORRECCION POR FLEXION DE PLACAS

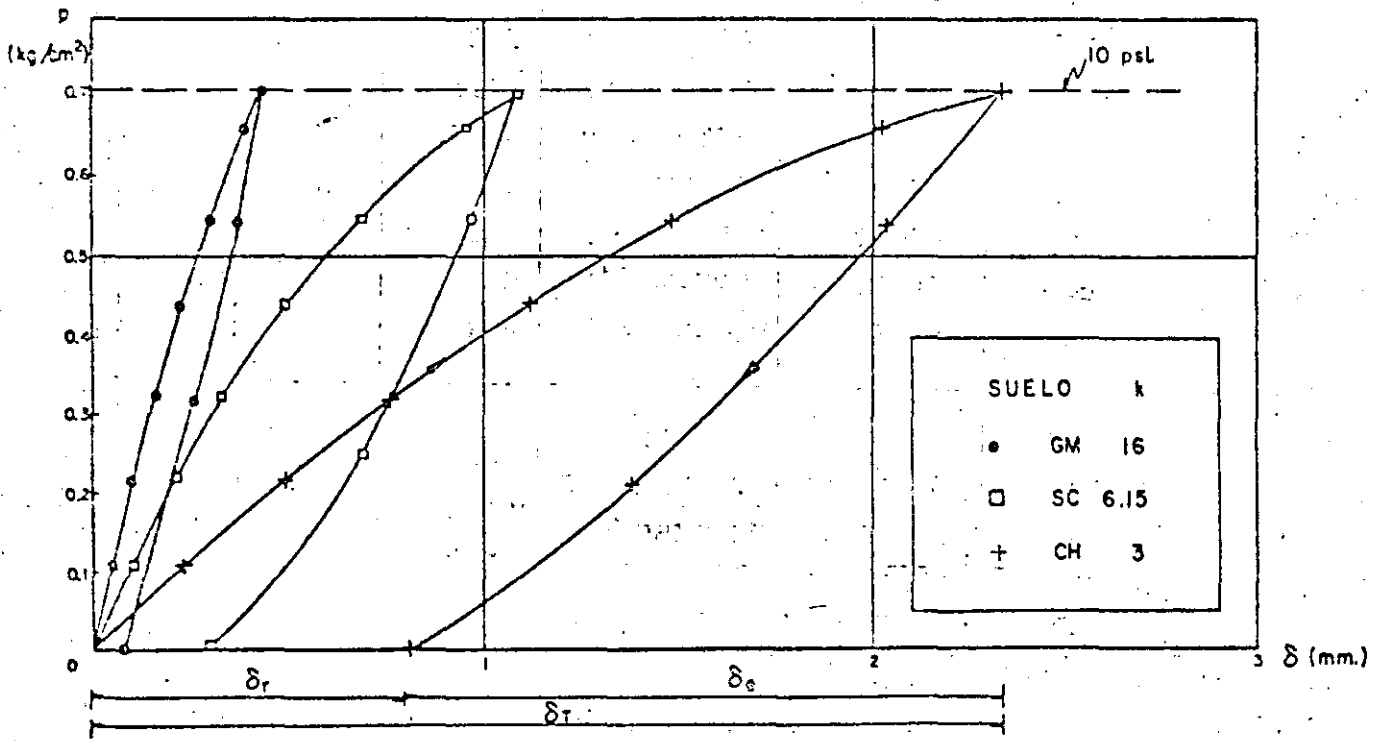


FIG.7 RESULTADOS DE PRUEBA DE PLACA NO

RE... (AS... 1...)

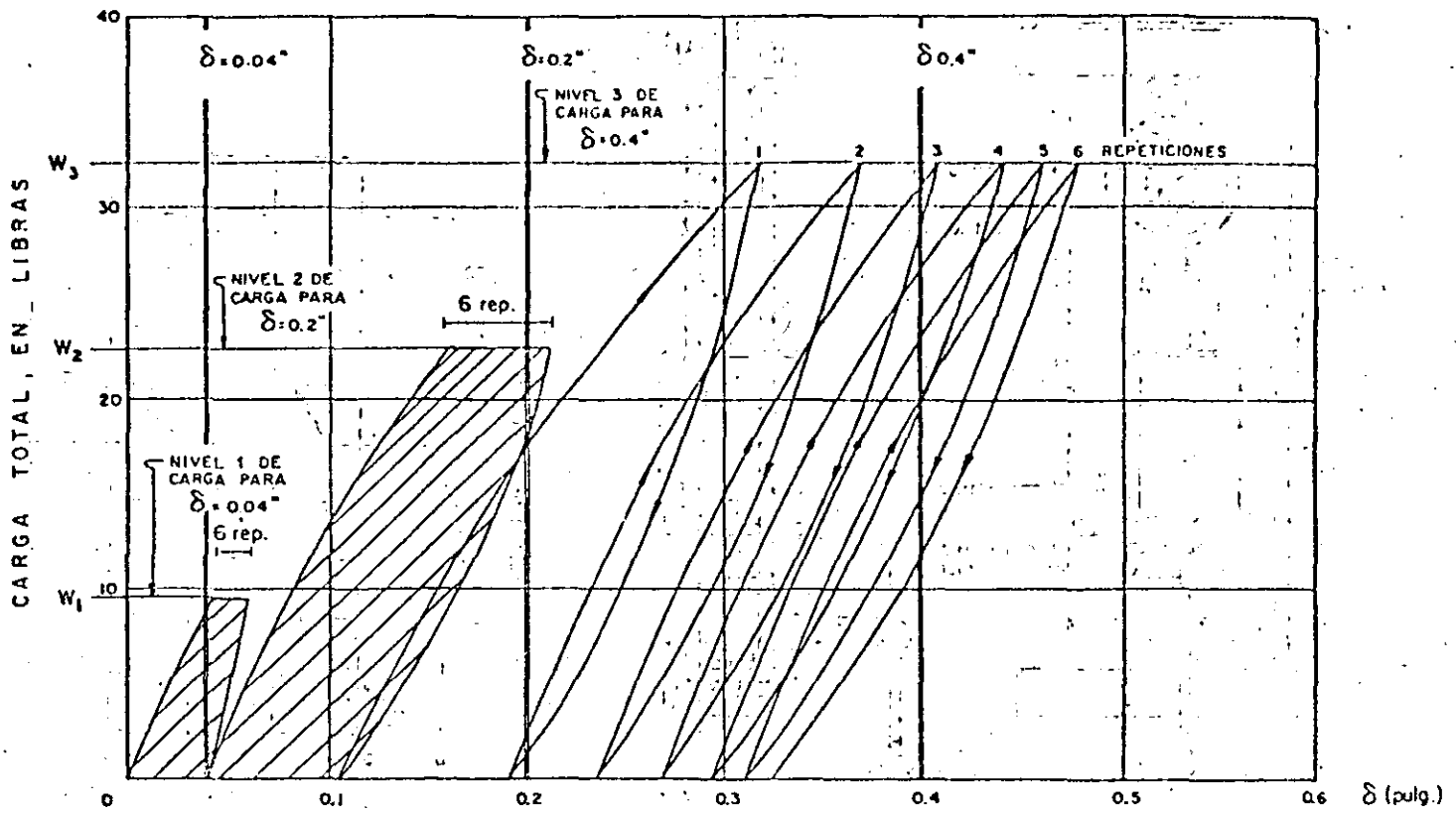


FIG. 9 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PLACA REPETITIVA ( Mc Leod )

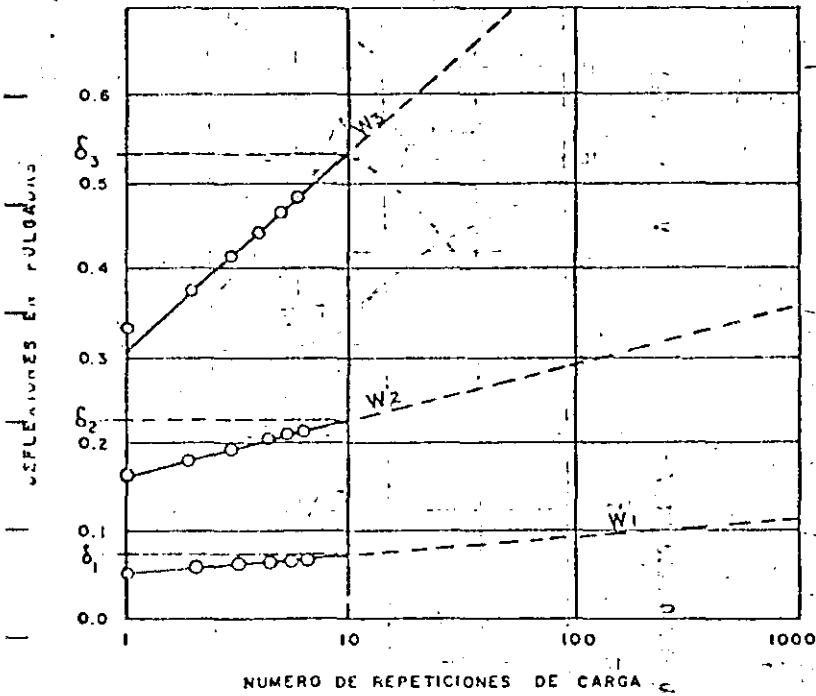


FIG. 10 GRAFICA TIPICA DE DEFLEXIONES - NUMERO DE REPETICIONES EN LA PRUEBA DE Mc Leod.

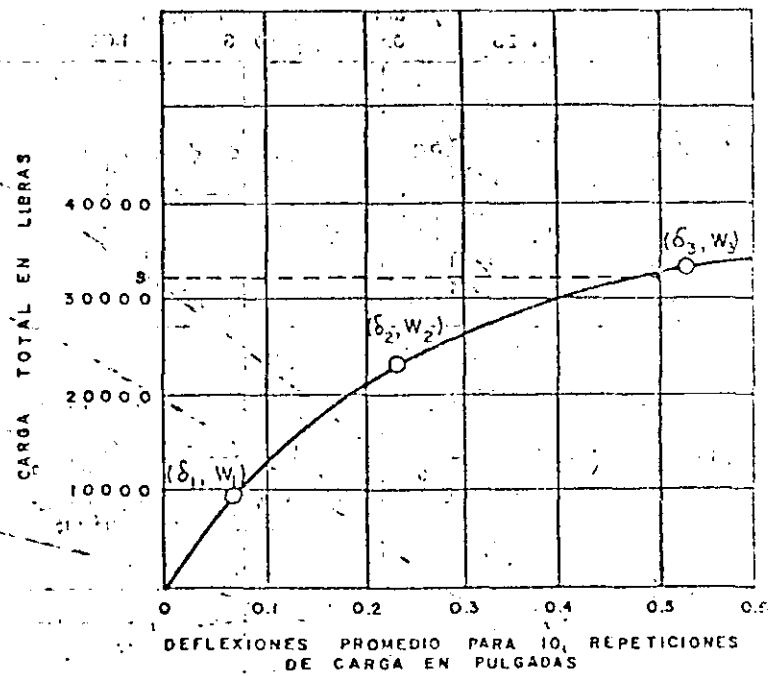


FIG. 11 GRAFICA TIPICA DE CARGA - DEFORMACION EN LA PRUEBA DE Mc Leod.

FIG. 21 CRITERIO DEL BUREAU OF RECLAMATION PARA LA IDENTIFICACION DE SUELOS EXPANSIVOS Y COLAPSABLES

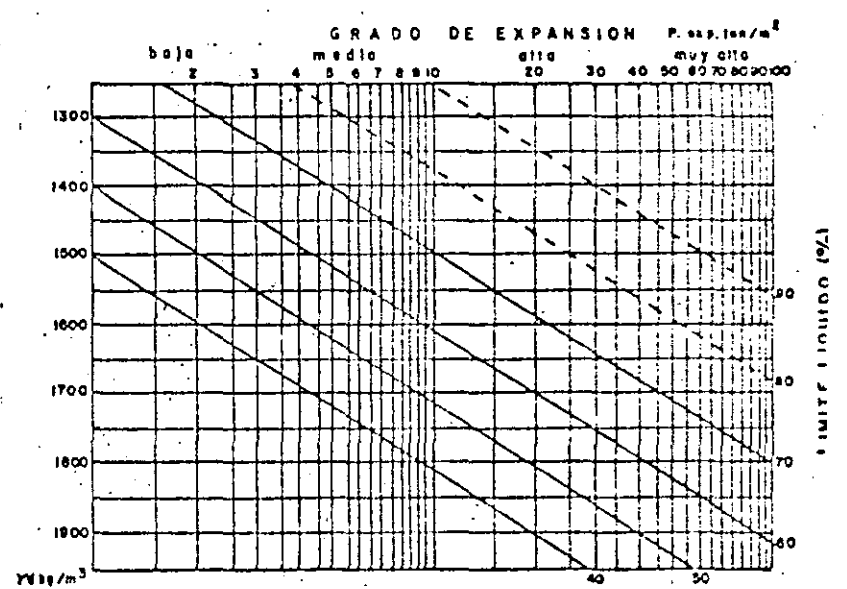
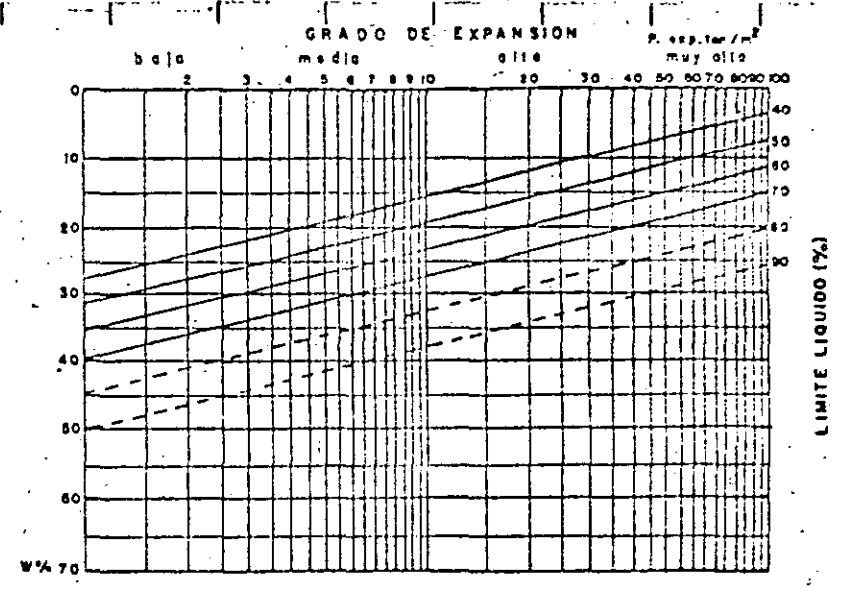
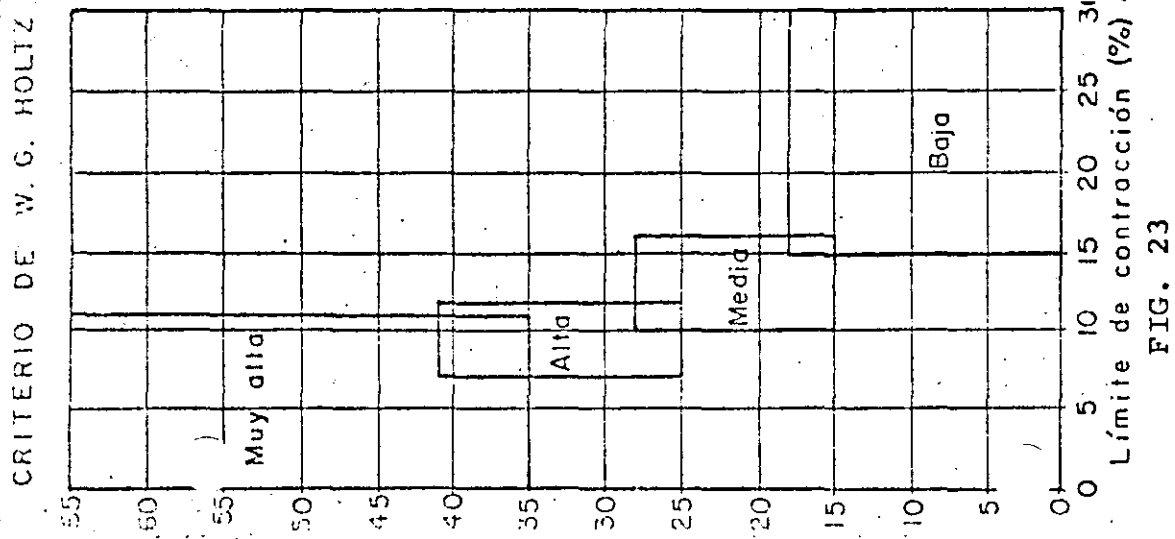
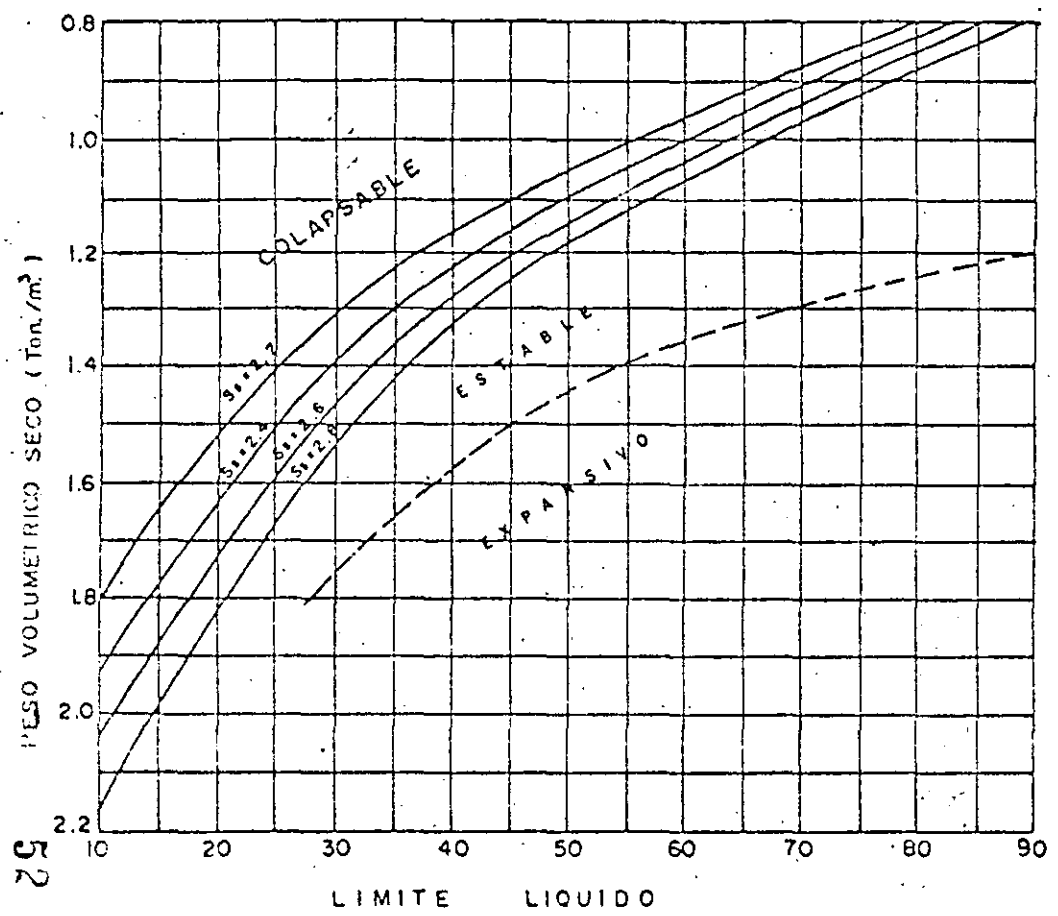
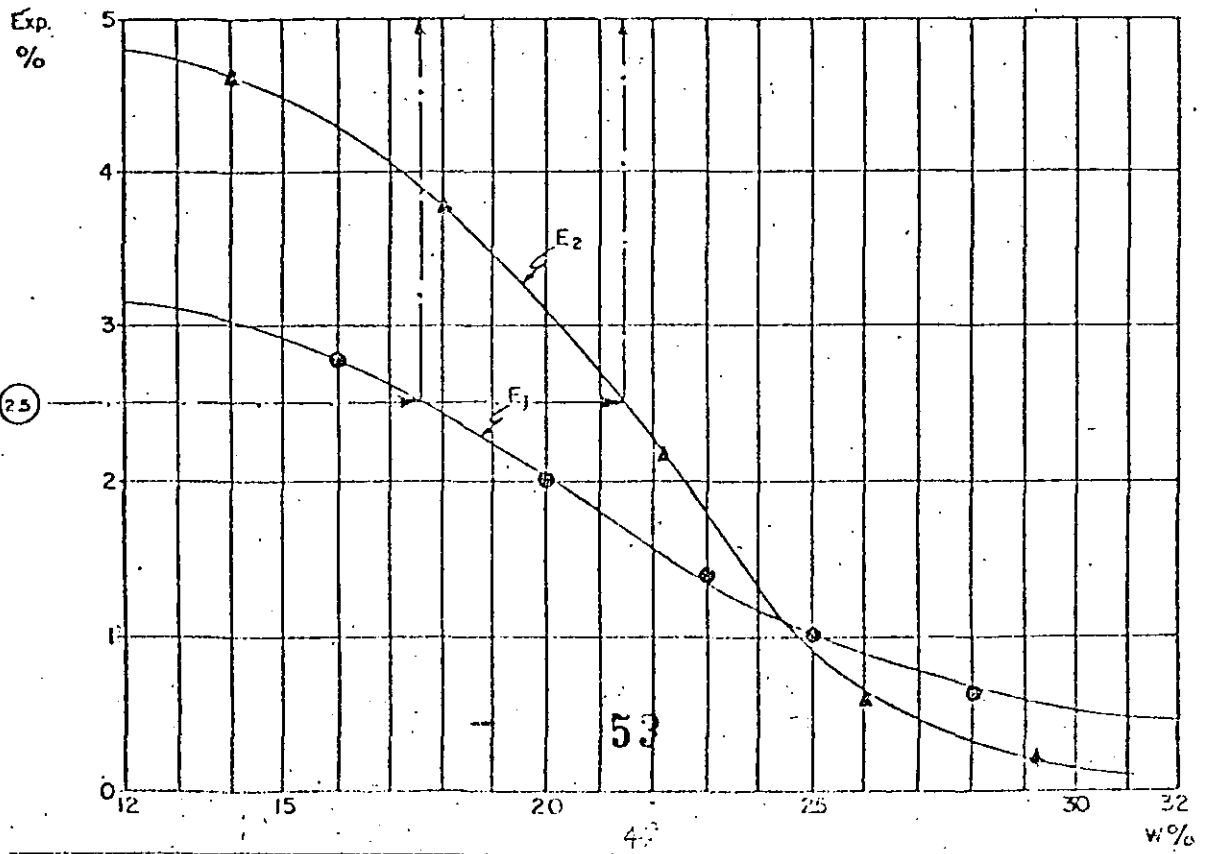
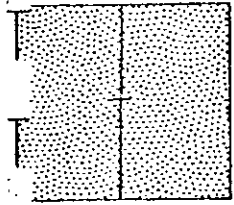
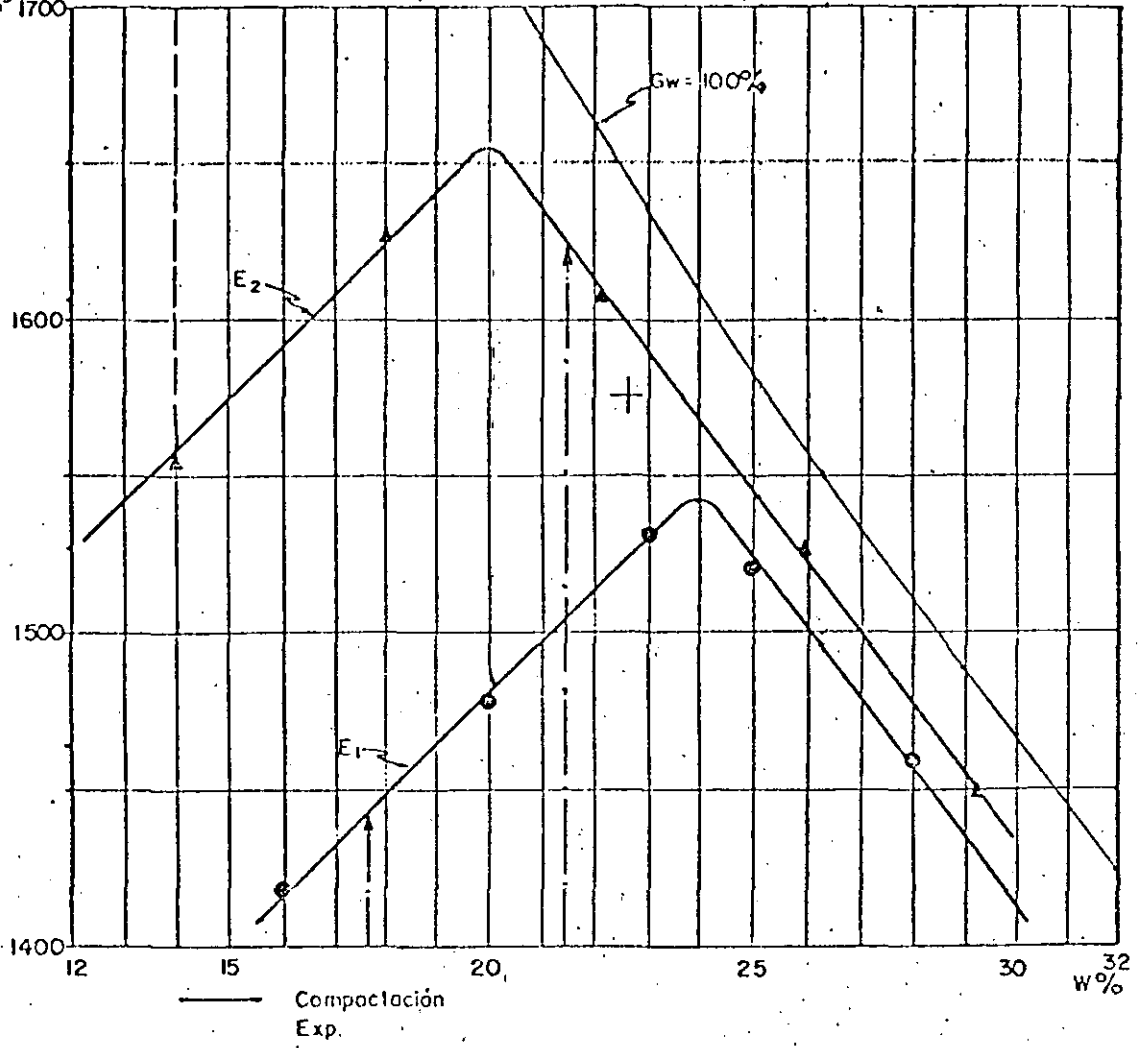


FIG. 22 CRITERIOS DE GHAZZALY Y VIJAYVERGIYA PARA LA PREDICCION DEL POTENCIAL DE EXPANSION EN ARCILL

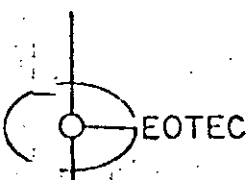
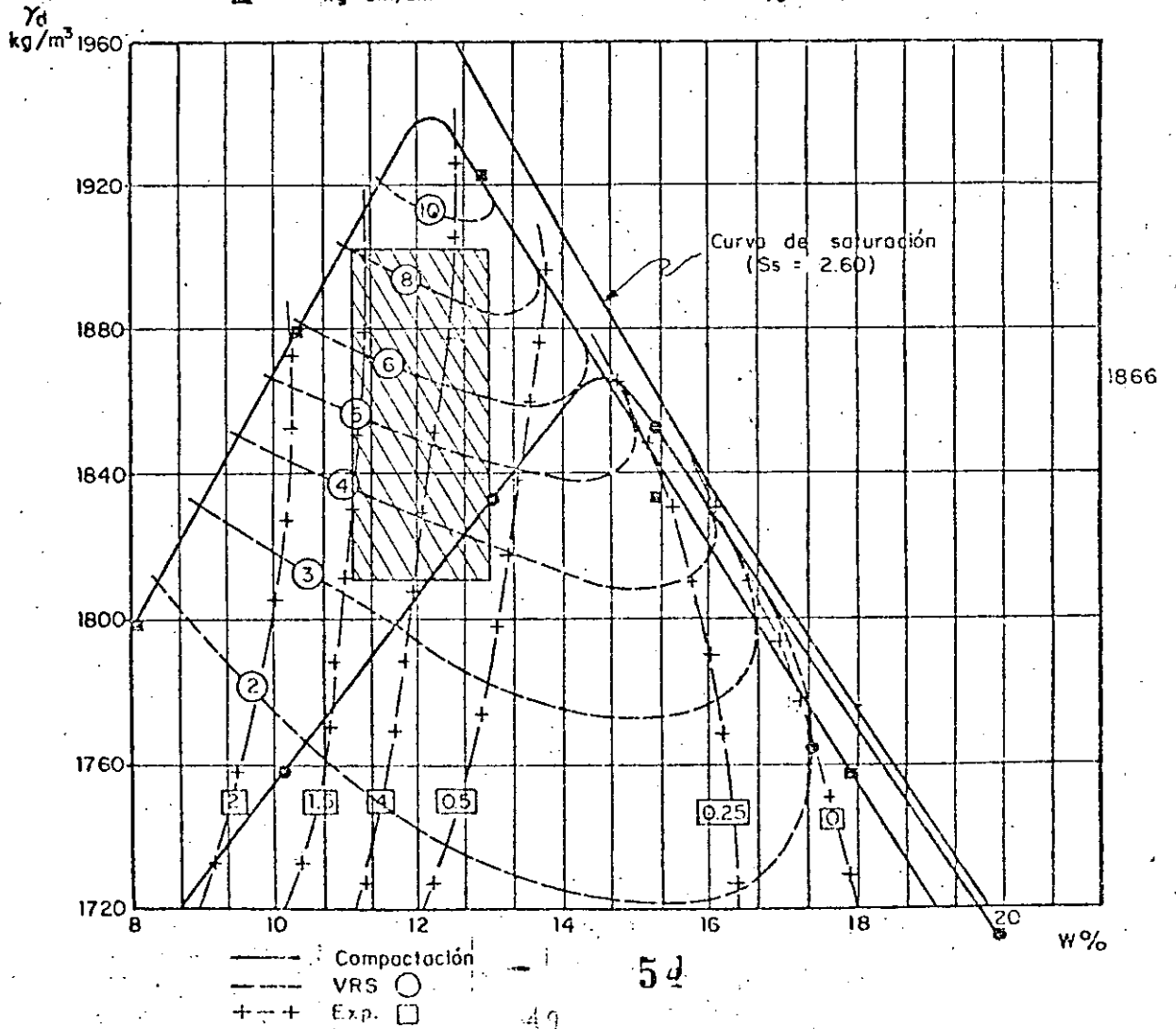
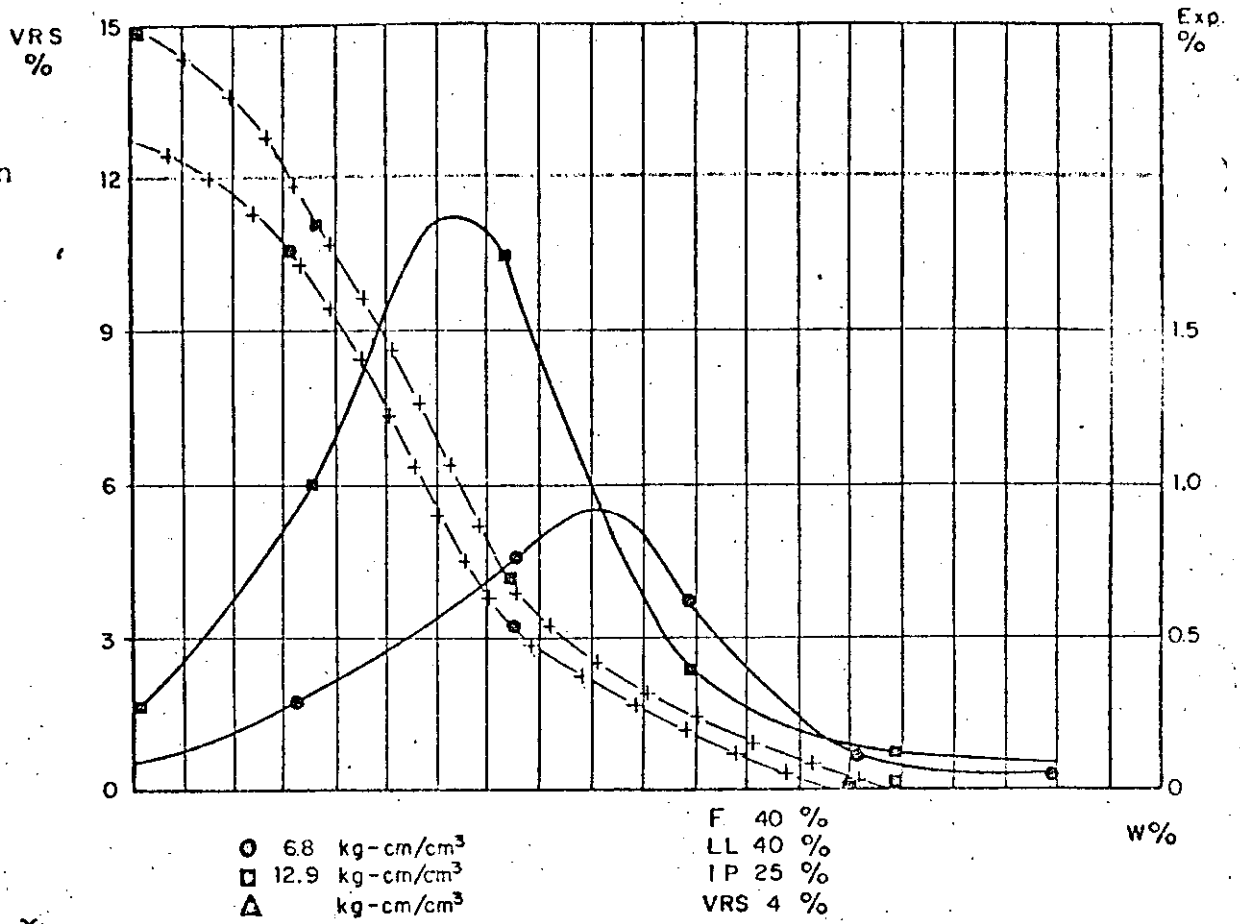


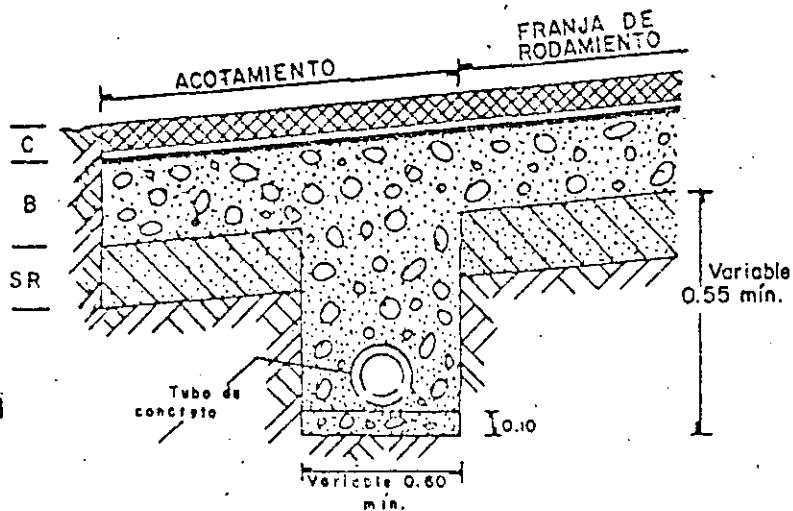
para suelos expansibles

$\gamma_d$   
kg/m<sup>3</sup> 1700



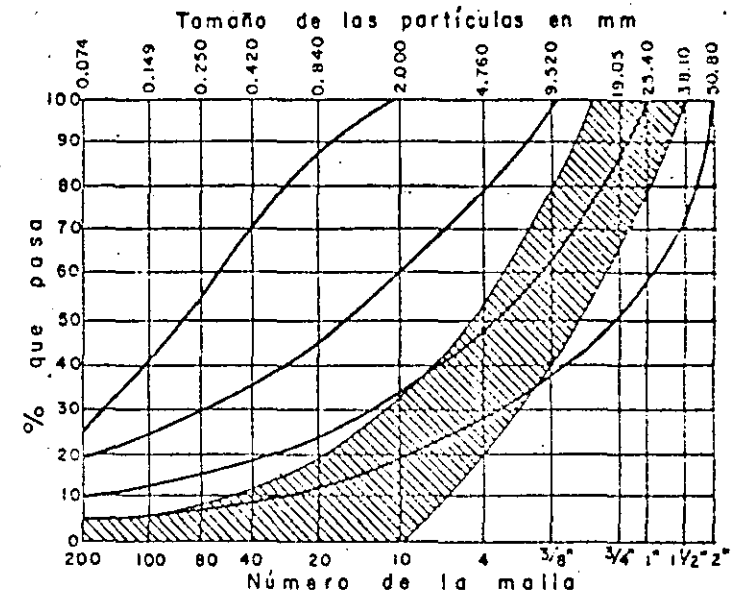
Terreno de cimentación (-1+400)





PROYECTO DE SUB-DREN TIPO

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



NOTAS:

1. Para el material filtrante podrán emplearse
2. La curva granulométrica del material filtrante deberá estar en la zona sombreada de la gráfica de composición granulométrica. Este material deberá cumplir además:  $LL < 25\%$   $IP < 6\%$ .
3. La plantilla donde descansa el tubo perforada deberá formarse en todos los casos, con el mismo material filtrante del subdren dándole un apisonado enérgico.
4. El tubo de concreto será de 0.15 m de diámetro interior mínima con perforaciones de 9.5 mm (3/8") separadas 0.10 m centro a centro, según el detalle del tubo
5. Pendiente mínima del tubo será de %
6. El material filtrante se colocará en capas de 0.20 m de espesor aproximado, un poco húmedo y apisonado ligeramente para lograr su acomodo.
7. Se deberá prever la colocación de registros, a cada 50 m para la inspección y limpieza del sistema.
8. Acotaciones en metros. Min. significa dimensiones mínimas.

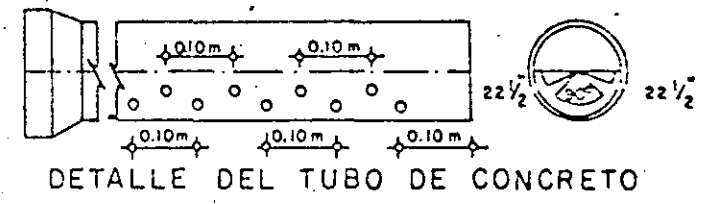
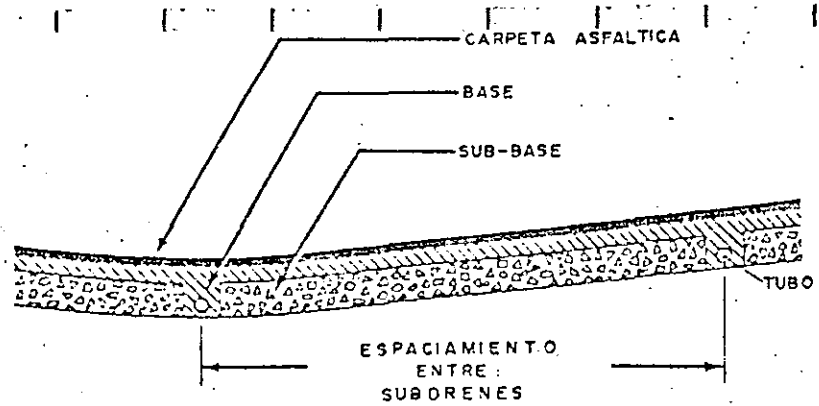
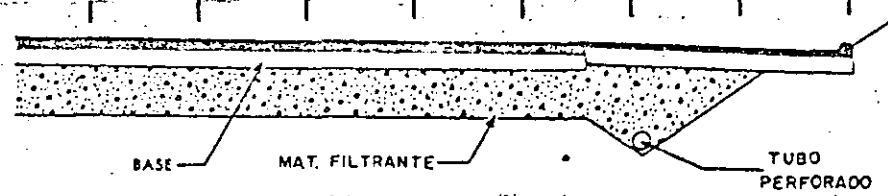


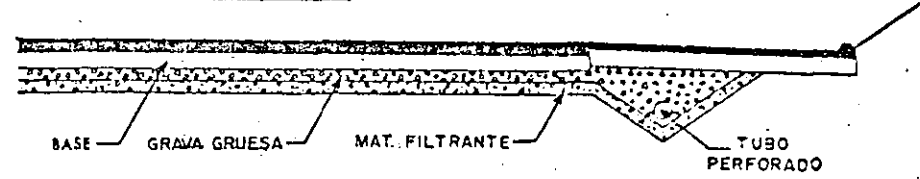
FIG.27  
SUB-DREN  
PROYECTO TIPO



SUBDRENAJE LONGITUDINAL EN CARPETA ASFALTICA PERMEABLE



SISTEMA DE UNA CAPA



SISTEMA DE DOS CAPAS

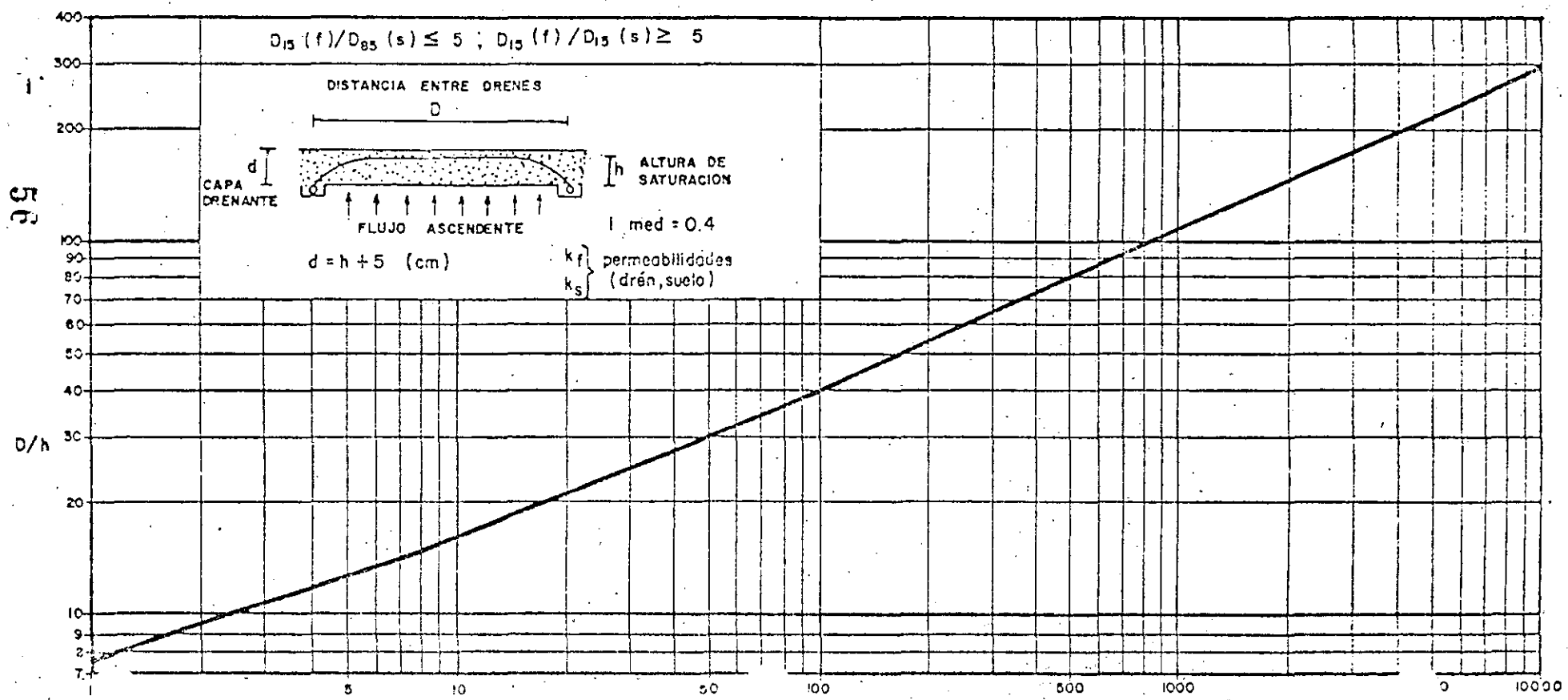
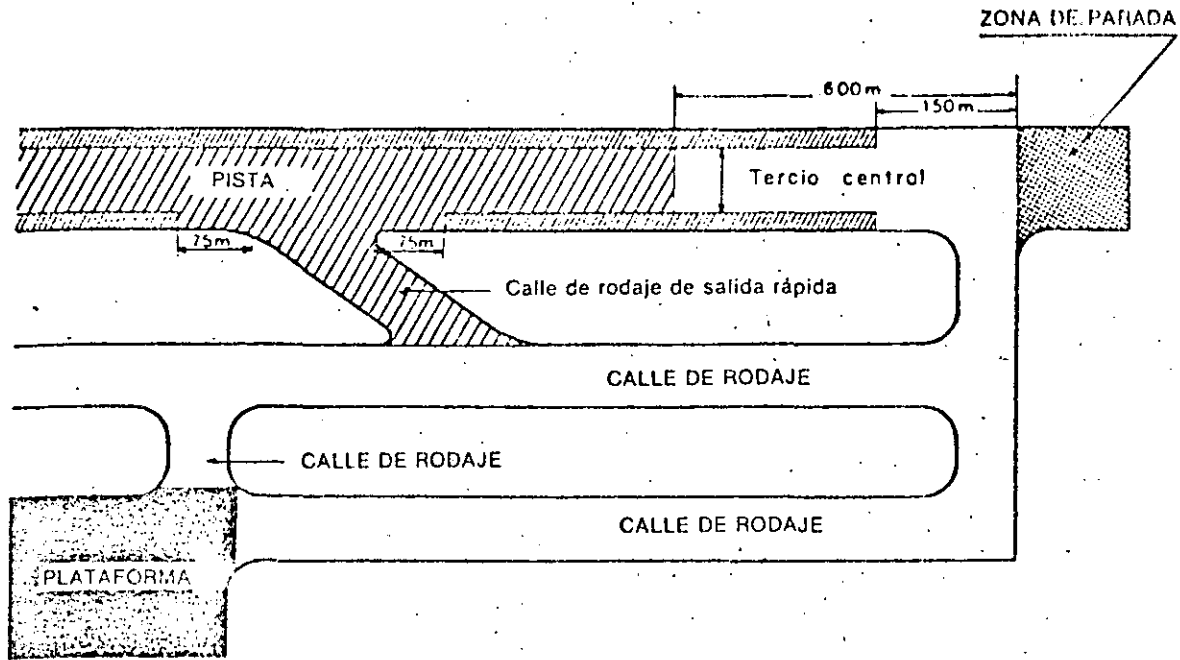
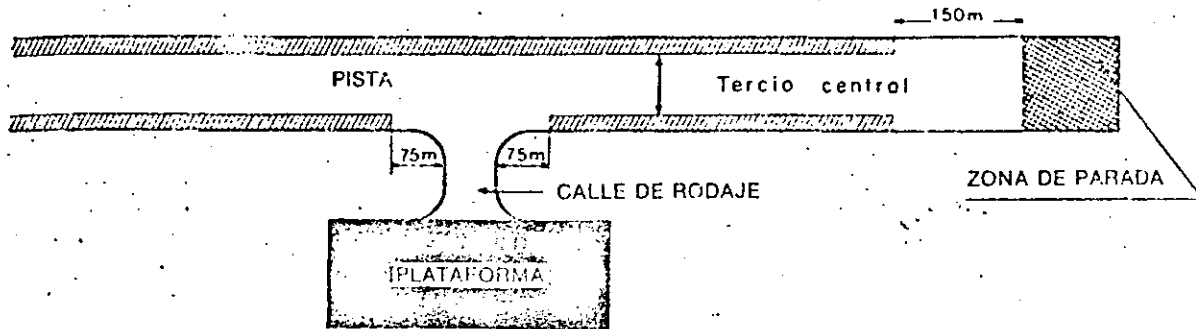


Fig. 28 Gráfica para el diseño de capas rompedoras de capilaridad

$k_f/k_s$



a) Ejemplo de pista con calle de rodaje paralela



b) Ejemplo de pista sin calle de rodaje paralela

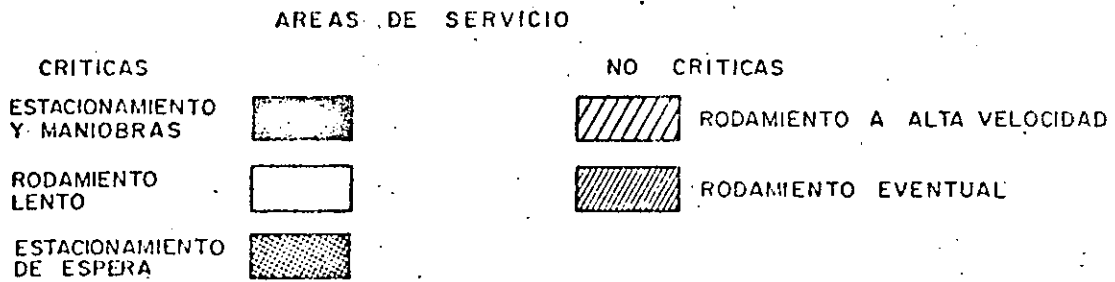


Fig. 29 Areas pavimentadas de una aeropista

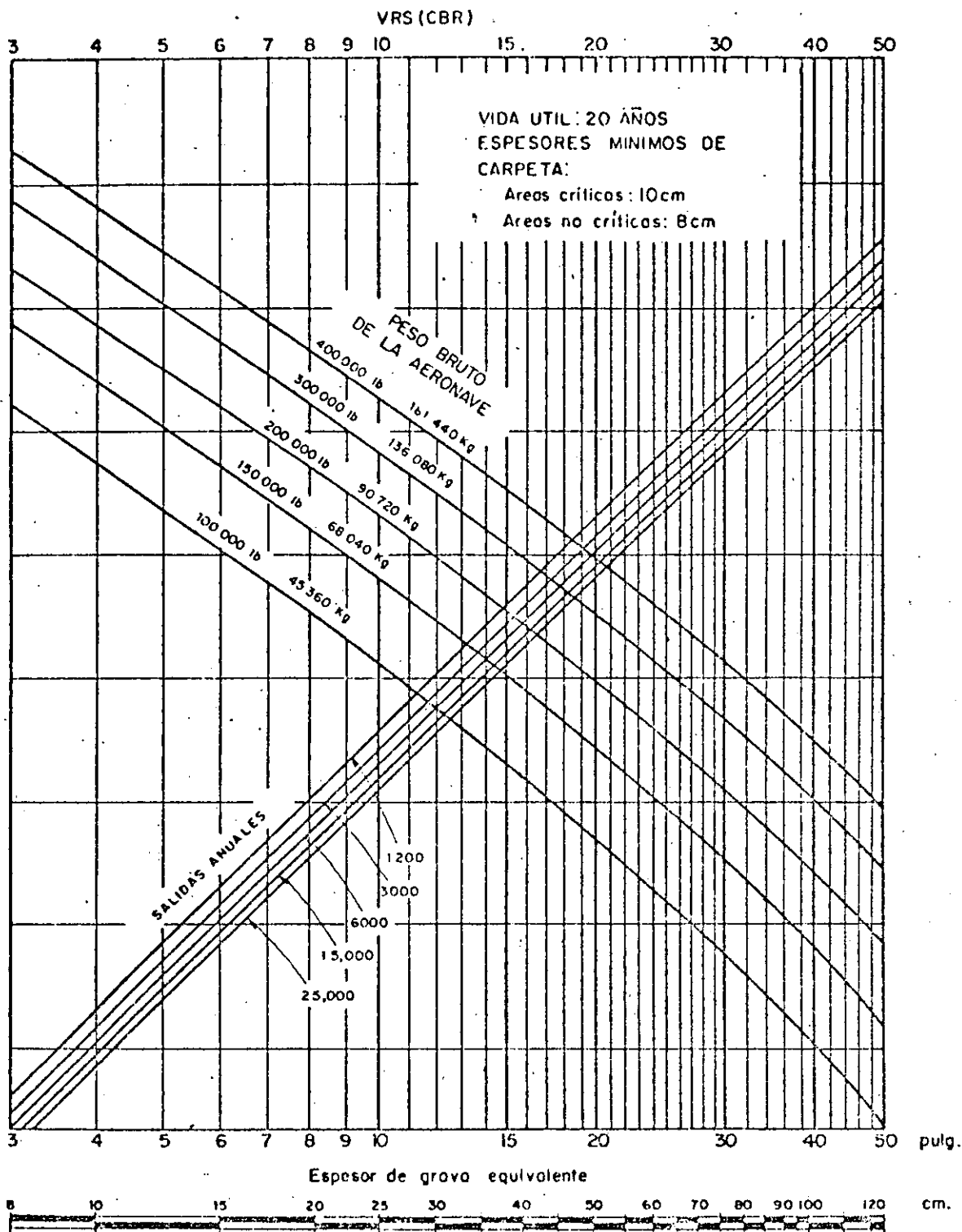


FIG. 30 Curvas de cálculo de pavimentos asfálticos para áreas criticas, tren de aterrizaje con bogie

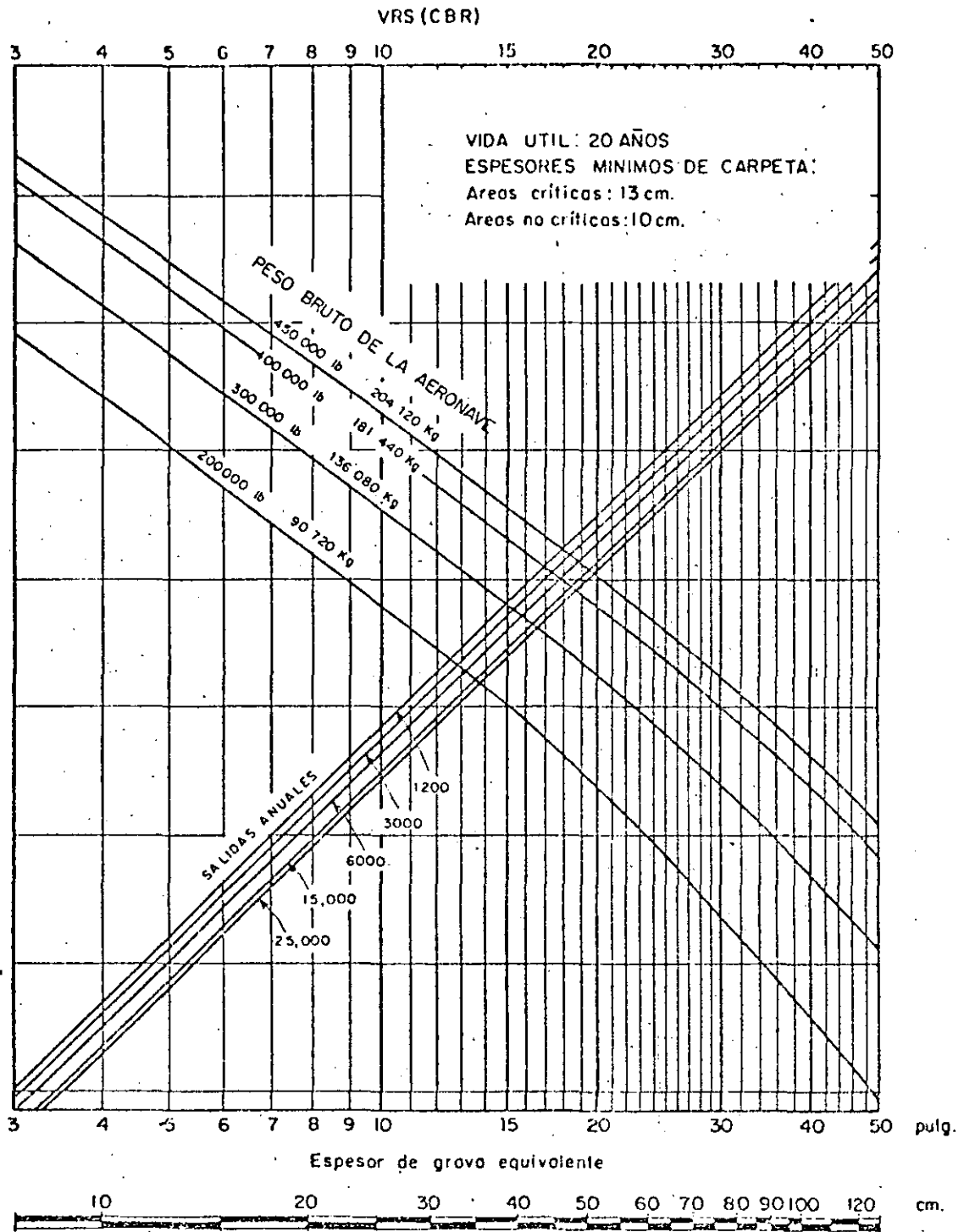


FIG.31 Curvas de cálculo de pavimentos asfálticos para áreas críticas, DC 10-10, 10CF

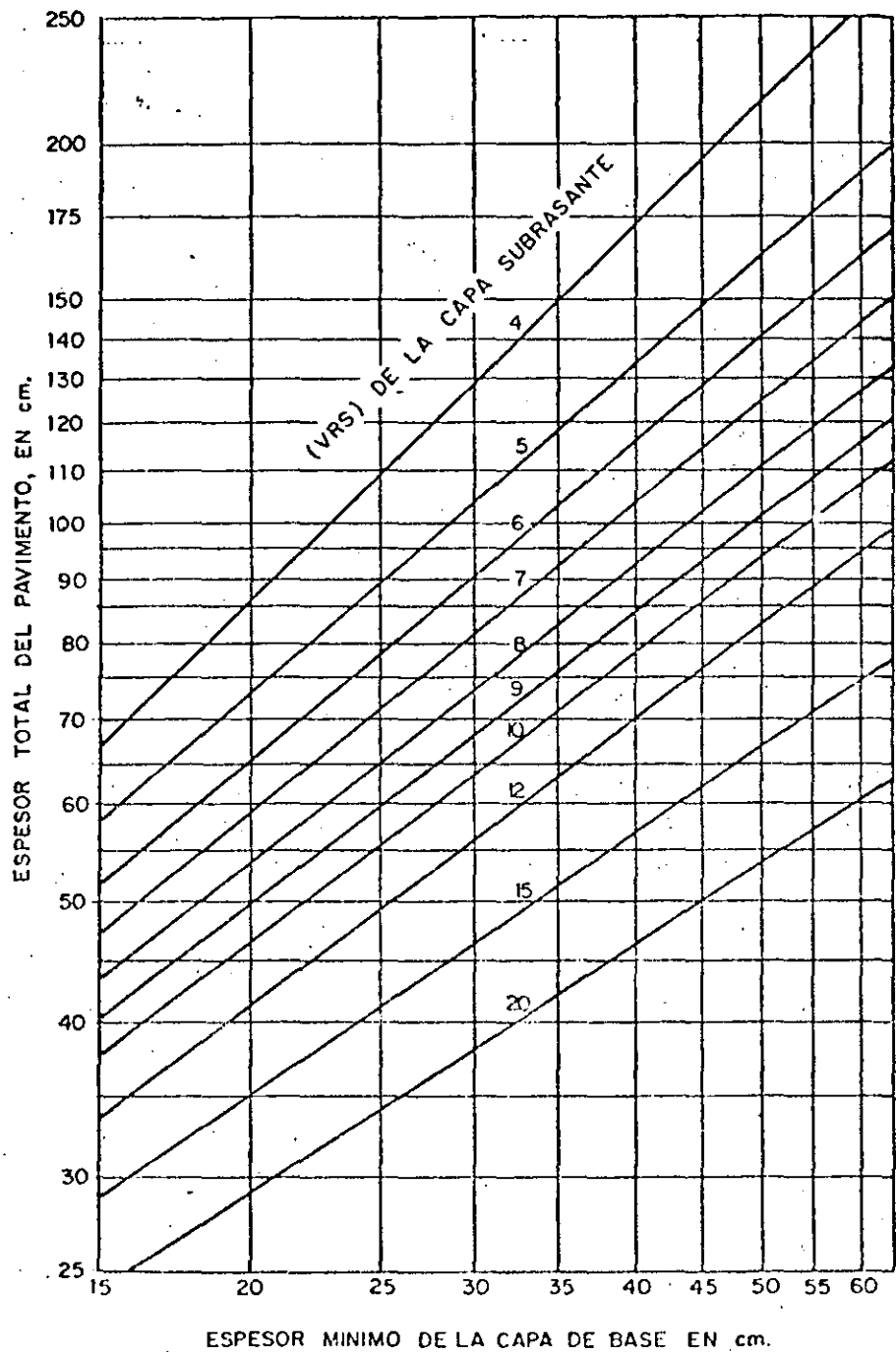
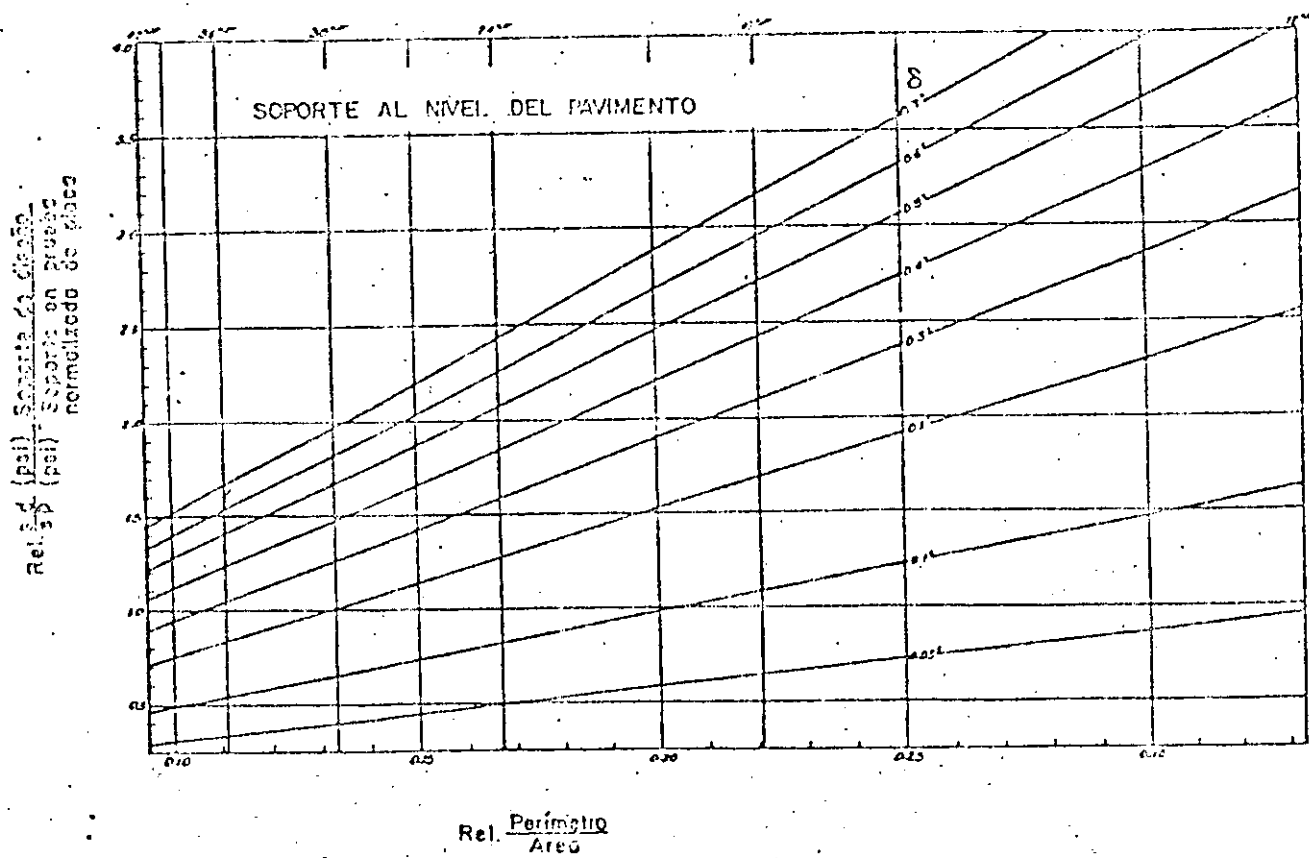
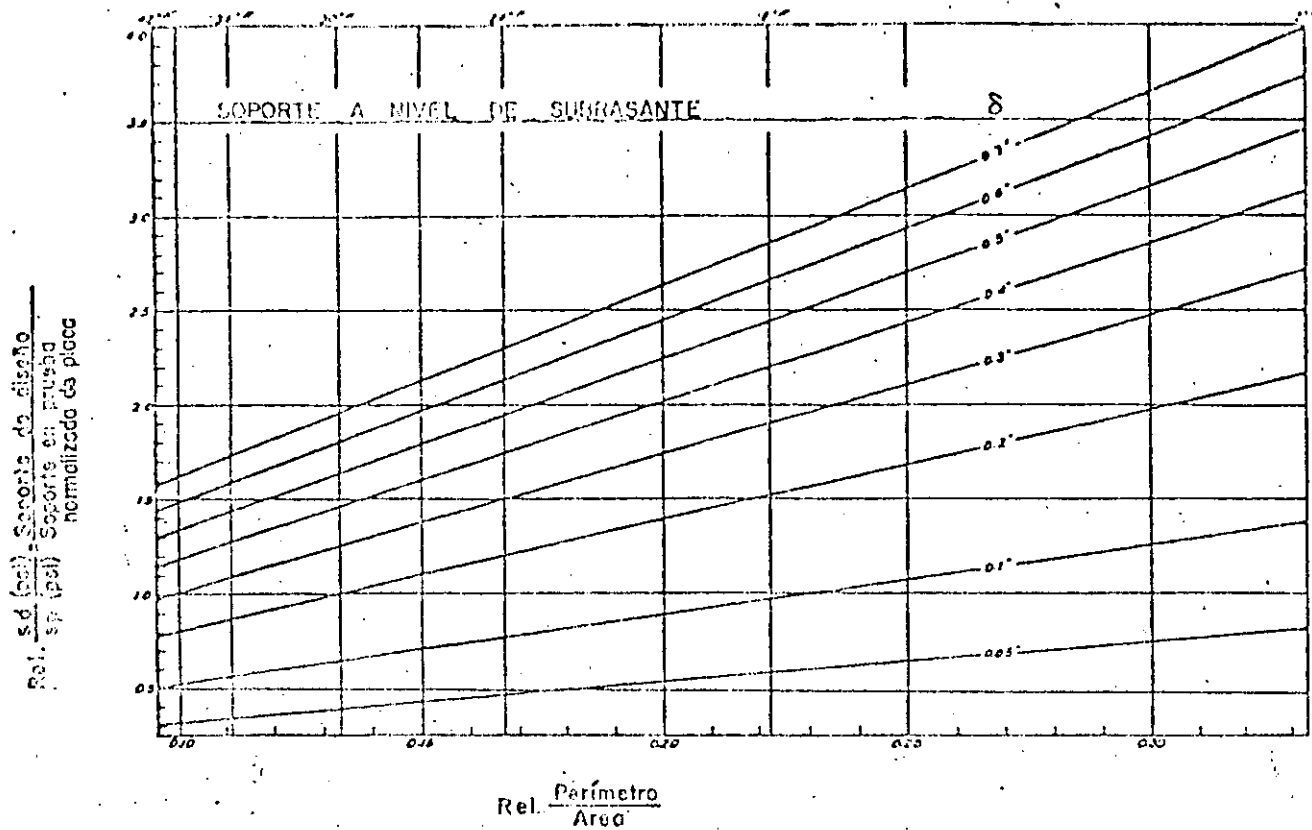


Fig. 32 Espesores mínimos de base granular en pavimentos asfálticos para aeropistas



# FIG. 33 GRÁFICAS PARA DISEÑO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EN AEROPISTAS



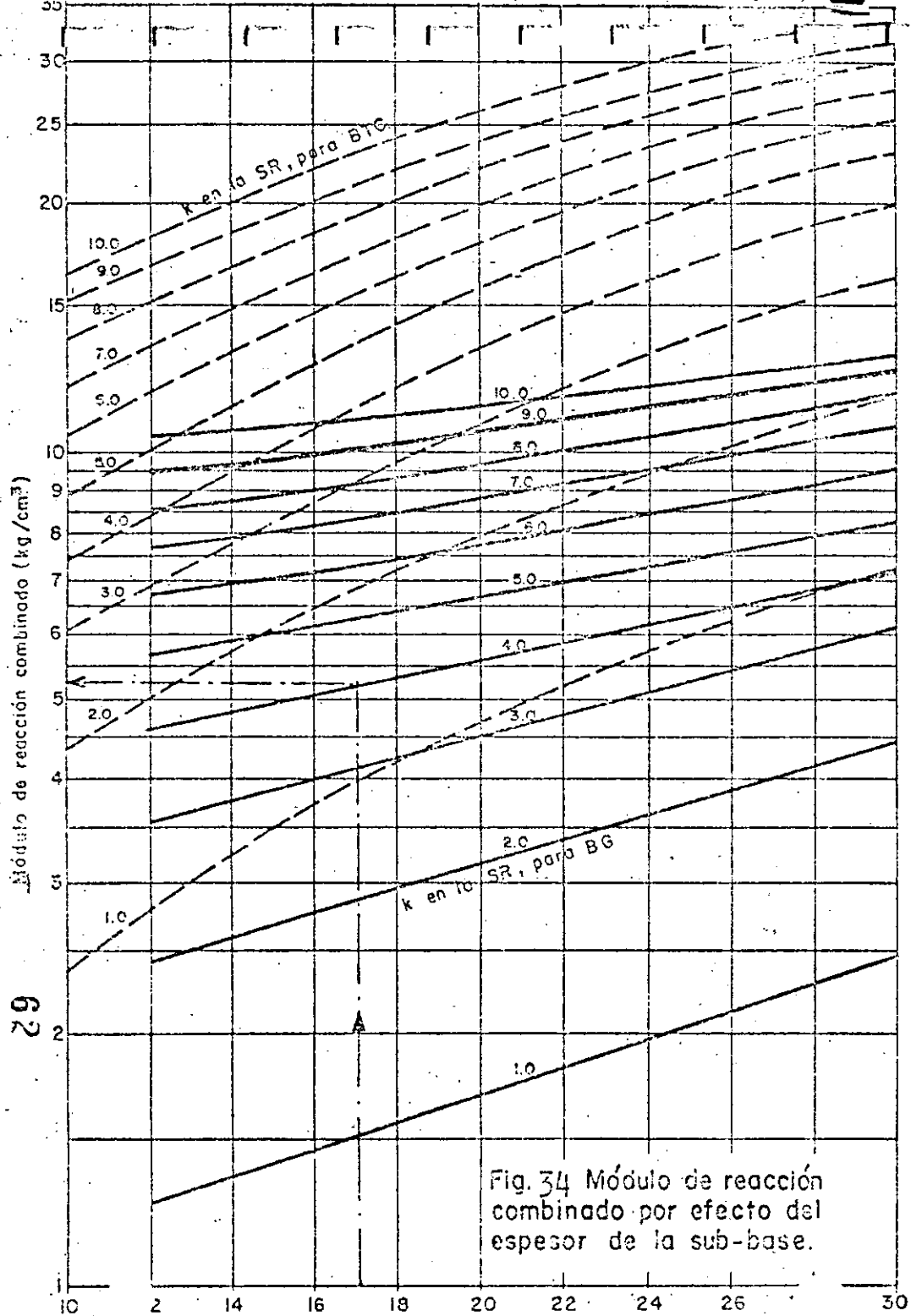
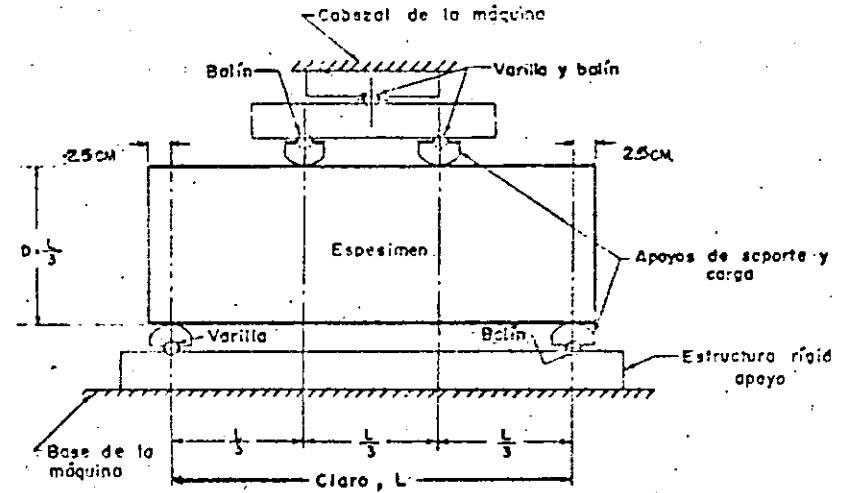


Fig. 35 ENSAYE PARA DETERMINAR EL MÓDULO A LA TENSION POR FLEXION DEL CONCRETO (Método de carga en el tercio medio ASTM C 633-76)



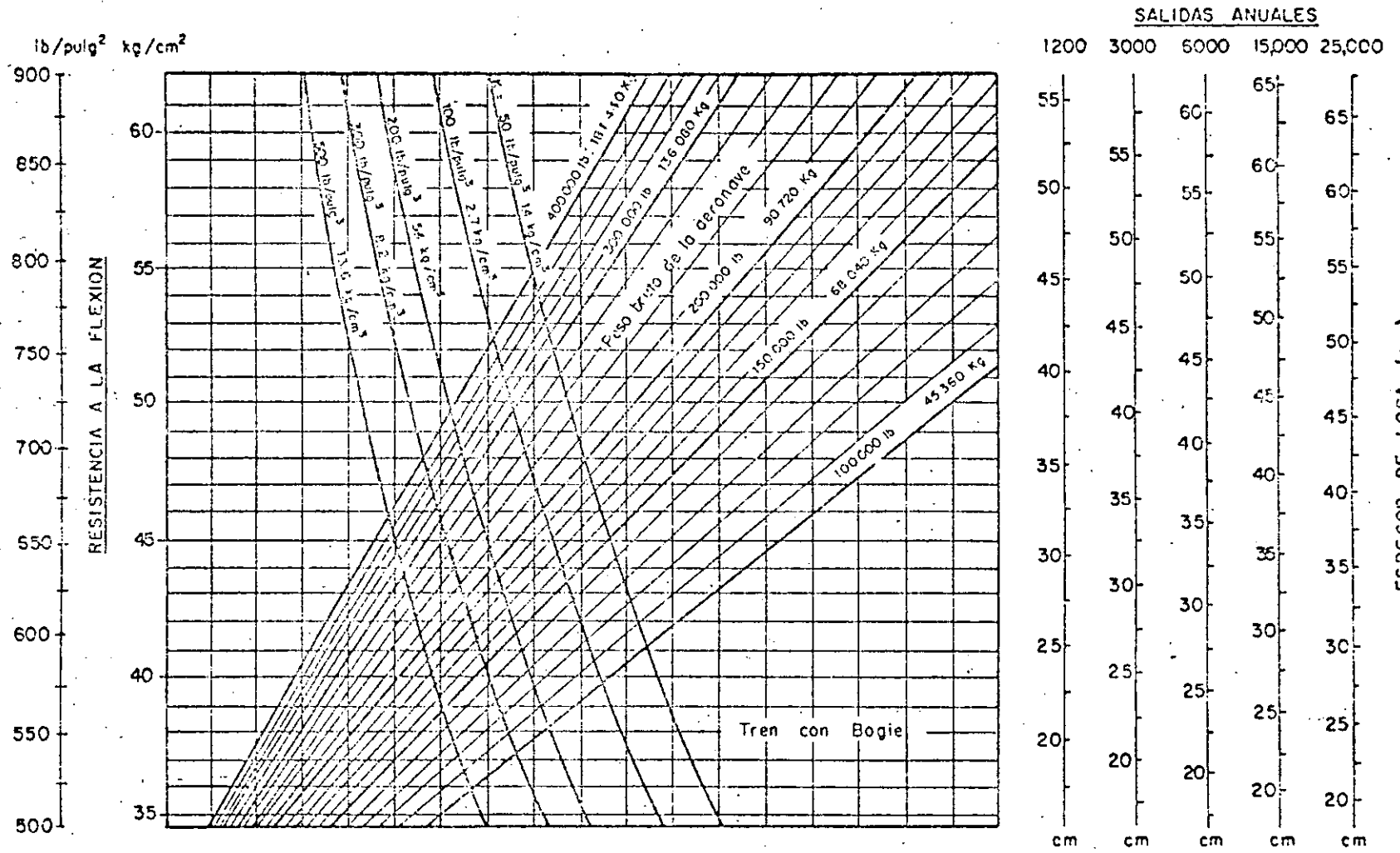


FIG. 36 Gráficas de diseño para pavimentos de concreto-tren bogie

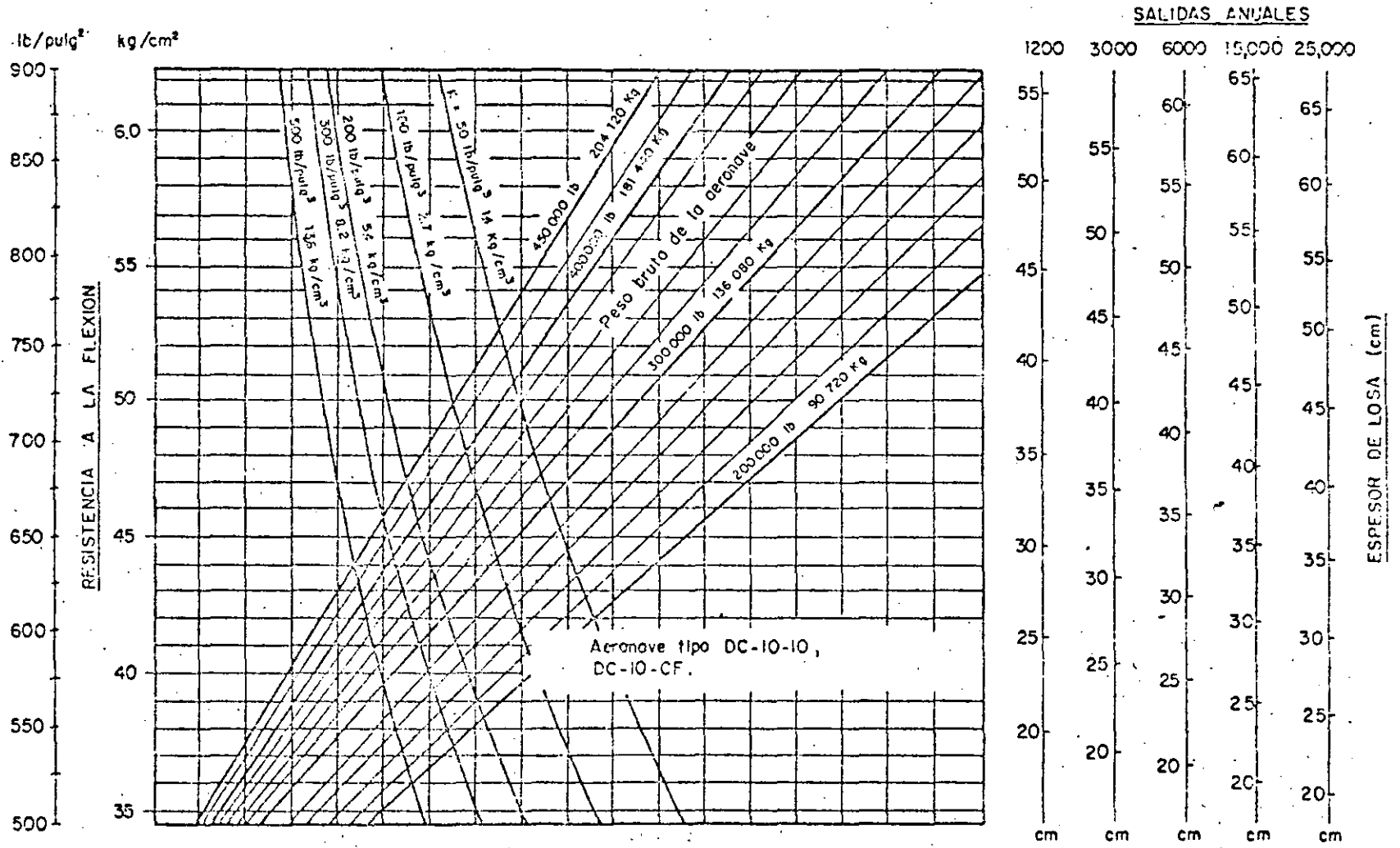
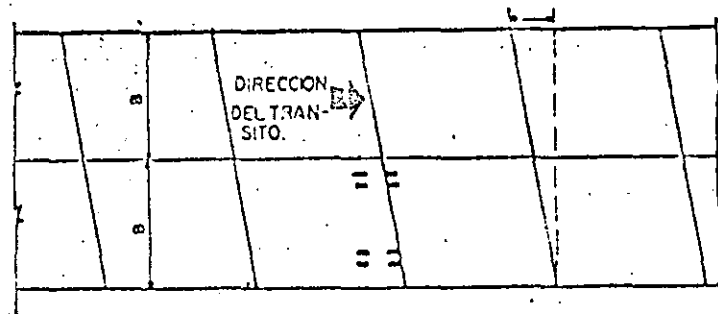
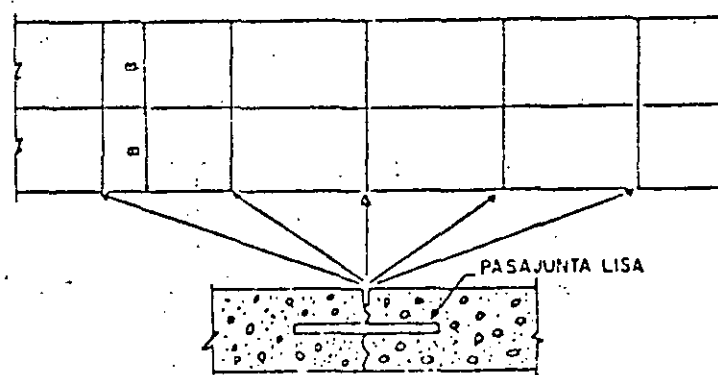


FIG.37 Gráficas de diseño para pavimentos de concreto -DC-10

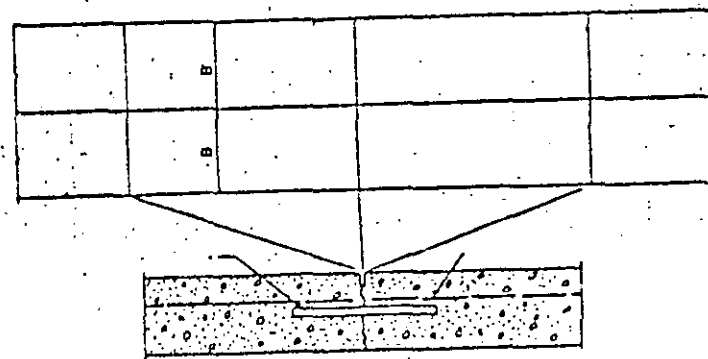
JUNTAS ESIVAJADAS.



JUNTAS NORMALES.

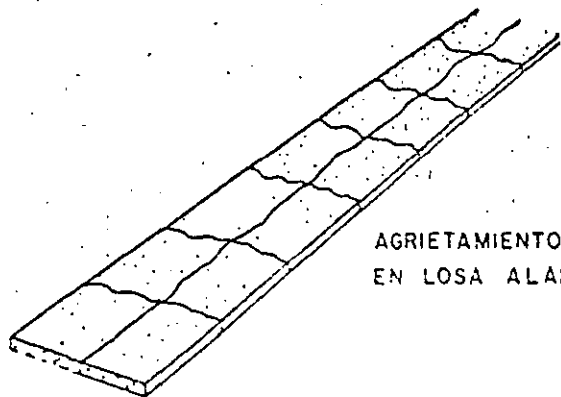


JUNTAS DE CONTRACCION CON PASAJUNTA

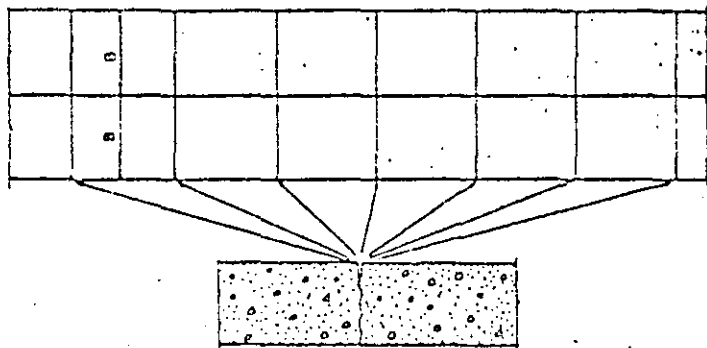


PAVIMENTO CON REFUERZO POR TEMPERATURA

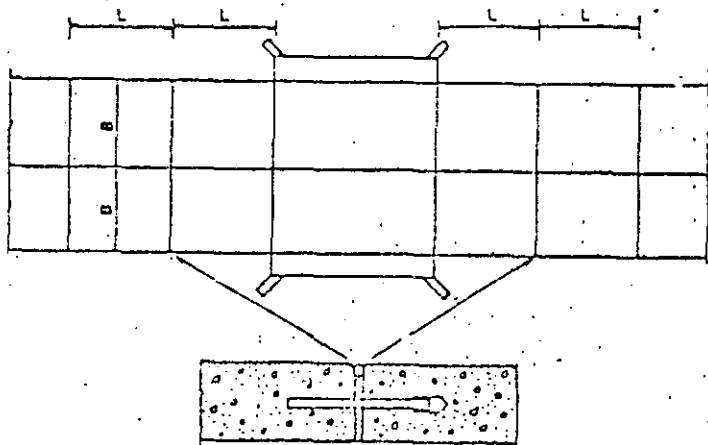
AGRIETAMIENTO POR CONTRACCION EN LOSA ALARGADA



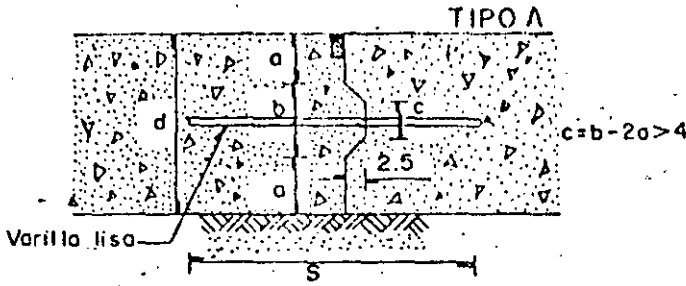
JUNTAS DE CONTRACCION



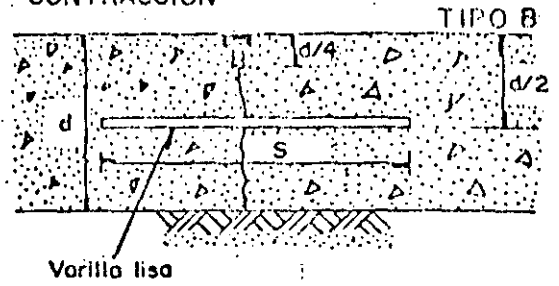
JUNTAS DE EXPANSION EN OBRAS DE ARTE



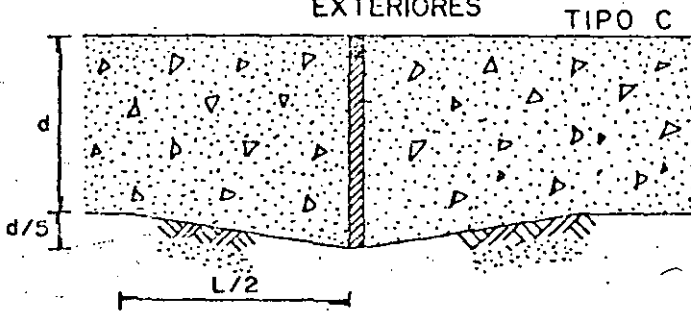
JUNTAS LONGITUDINALES



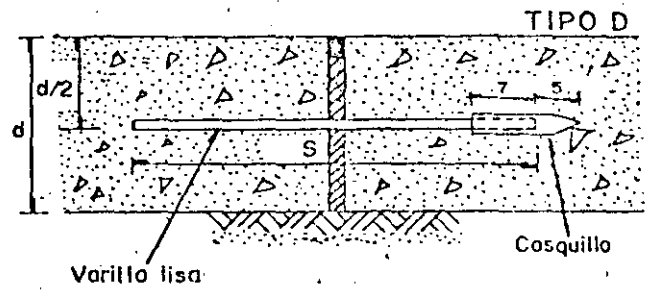
JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCION



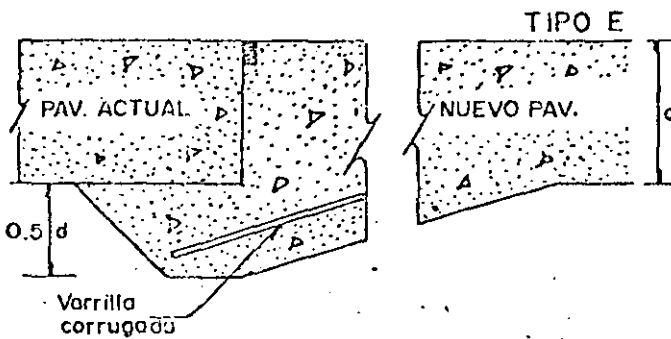
JUNTAS DE EXPANSION EXTERIORES



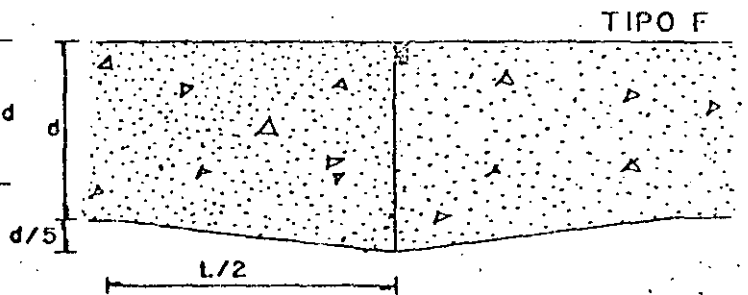
JUNTAS DE EXPANSION INTERIORES



JUNTA EN AMPLIACIONES



JUNTA DE DESLIZAMIENTO



SIMBOLOGIA DE JUNTAS PARA LA PLANTA DE DISTRIBUCION DE LOSAS

	con pasajunta	sin pasajunta
TIPO A	— — — —	—————
TIPO B	- - -  - - -  - - -	- - - - -
TIPO C-D	== == == ==	=====
TIPO E	==== ====	=====
TIPO F	=====	=====

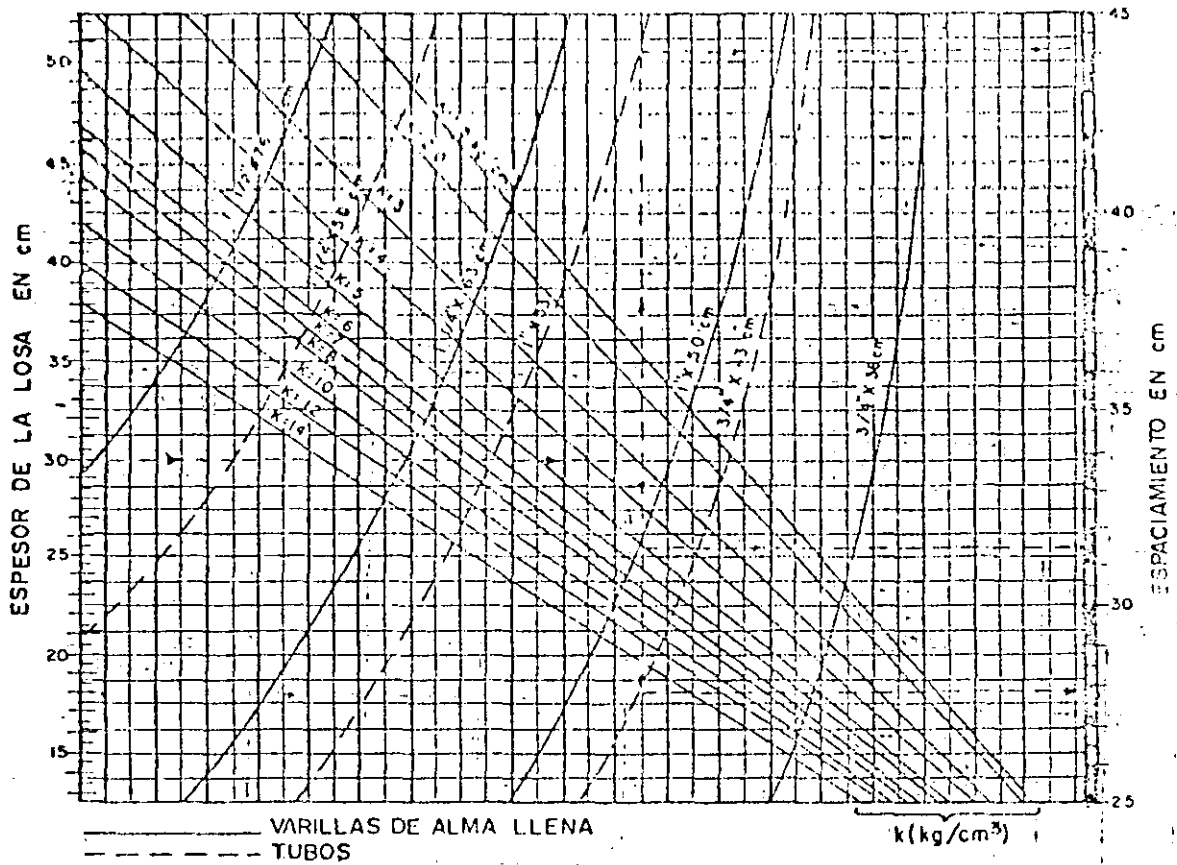
- Sello de material elástico tipo Sika Igas o cemento asfáltico N° 6.
- Sello de material elástico tipo Sika Igas o cemento asfáltico N° 6
- Fibra impregnada de asfalto celotex o similar.

NOTAS:

Todos las dimensiones están acotadas en centímetros excepto los que se especifican en otras unidades. Los dibujos están fuera de escala. Los juntas tipo B se construirán cuando el colado de las losas se suspenda durante un lapso mayor de 30 minutos. El ancho de la ranura de las juntas deberá ser de 1.5 cm. Todas las losas perimetrales tendrán el borde exterior engrosada con las dimensiones y forma de la junta tipo C. Las juntas tipo A y B podrán diseñarse con o sin pasajunta, según se requiera en cada proyecto en particular. L = Longitud mínima de la losa. Todo los pasajuntas lisas tendrán uno de sus extremos engrosado

FIG.39 JUNTAS TIPO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

# JUNTAS DE CONSTRUCCION Y CONTRACCION



# JUNTAS DE EXPANSION

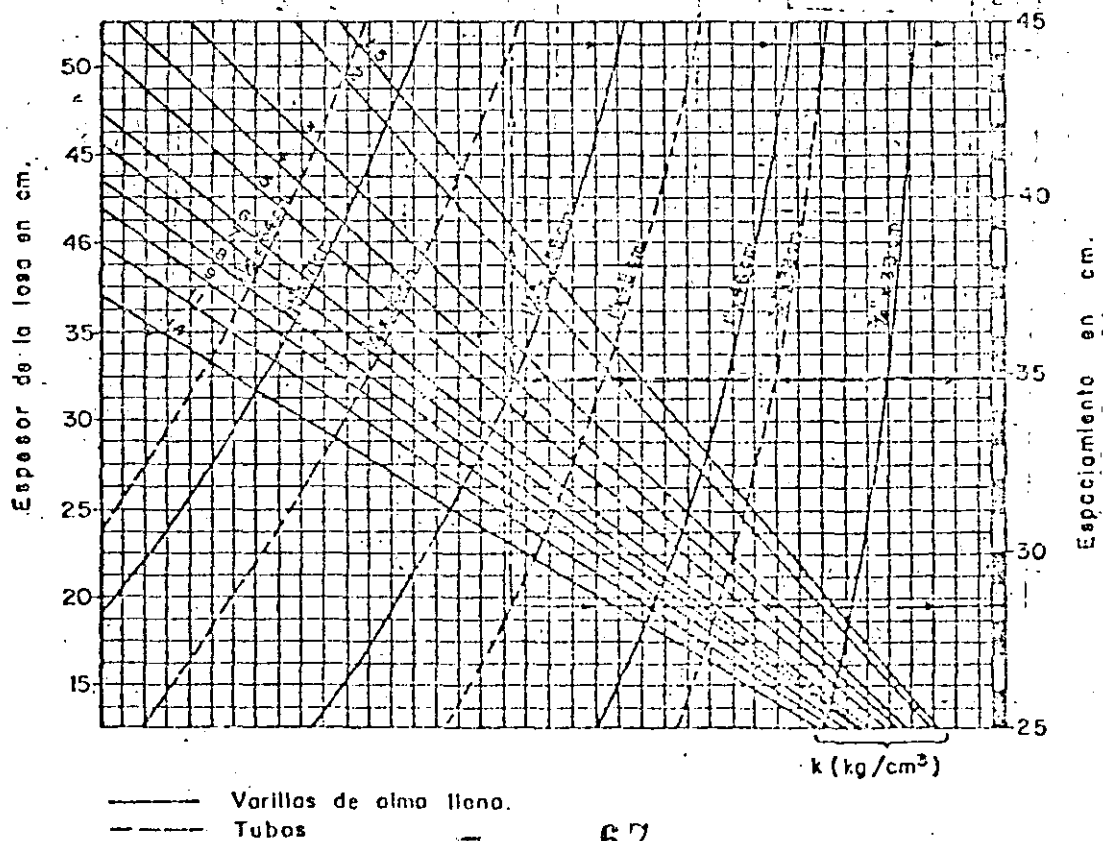


Fig.40 Gráficas de diseño para pasajuntas de acero liso engrasado

que vale 72,200kg por lo que la carga por pierna es de -----  
36,100kg y la presión de contacto es de 11.81kg/cm<sup>2</sup>.

La carga por rueda es de:

$$W_r = \frac{36100}{2} = 18500 \text{ kg}$$

El área de contacto por rueda es:

$$A_c = \frac{18500}{11.81} = 1566.5 \text{ cm}^2$$

Se obtendrá la carga máxima de rueda equivalente sencilla a profundidades de tres y cuatro veces el radio del área de contacto de cada rueda, (supongamos que el área de contacto de la llanta es un círculo).

El radio del área de contacto es:

$$r = \sqrt{\frac{A_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{1566.5}{3.1415}} = 22.33 \text{ cm}$$

$$y: 3r = 3(22.33) = 66.99 \approx 67 \text{ cm}$$

$$4r = 4(22.33) = 89.32 \approx 90 \text{ cm}$$

$$e_A = \frac{s_d}{r} = \frac{86}{22.33} = 3.851$$

$$e_B = \frac{s_d}{2r} = \frac{86}{2(22.33)} = 1.926$$

La localización de la máxima deflexión a las profundidades antes mencionadas, que para este caso particular se localiza en cualquiera de los dos puntos indicados en la -----  
Figura N°19 como "A" y "B".

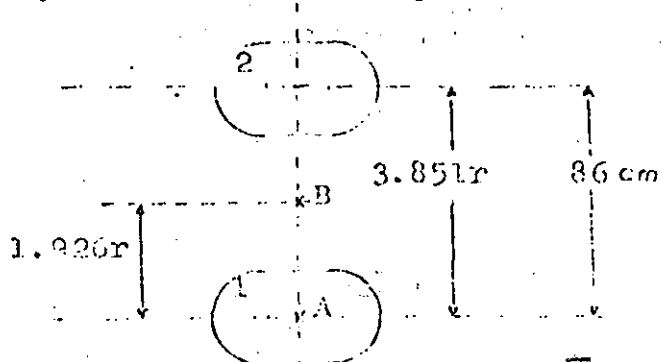


Figura ~~19~~ XIX



En un medio elástico la deflexión "w" está dada por la --  
ecuación:

$$w = \frac{P r F}{E_m}$$

En donde: P = presión

$E_m$  = módulo de elasticidad

F = factor de deflexión (obtenido de la Figura 20)

r = radio del área de contacto

Utilizando los subíndices "s" para rueda sencilla y "d" --  
para rueda doble se tiene:

$$w_s = \frac{r_s P_s F_s}{E_m} \quad \text{y} \quad w_d = \frac{r_d P_d F_d}{E_m}$$

como  $w_s = w_d$  y  $r_s = r_d$

se tiene:  $\frac{P_s}{P_d} = \frac{F_d}{F_s}$  Ec. 17-1

El área de contacto de la rueda sencilla es igual al área  
de contacto de una de las ruedas dobles, entonces:

$$\frac{P_s}{P_d} = \frac{F_d}{F_s}$$

en donde:  $P_s$  = carga de rueda sencilla.

$P_d$  = carga de una de las ruedas dobles.

Lo que significa que la relación entre la carga equivalen-  
te de rueda sencilla y la carga de una de las ruedas dobles  
es igual a la inversa de los máximos factores de deflexión.

Los factores de deflexión se obtienen de la Figura 20 y  
se indican en la Tabla 216. Los factores de deflexión críti-  
cos se han resumido en la Tabla 217.

La carga equivalente de rueda sencilla a la profundidad  
de 67cm (con base a la ecuación 17-1) es:

$$18,500 \times 1.431 = 26,474 \text{ kg.}$$

Relación de  
Cargas.

$$e = \left(\frac{D}{r}\right)r$$

$e$  = Excentricidad. Es la distancia del punto en estudio a la llanta en función del radio.  
 $D$  = Distancia entre el punto en estudio y el centro de la llanta.

Factores de deflexión para pierna con tandem

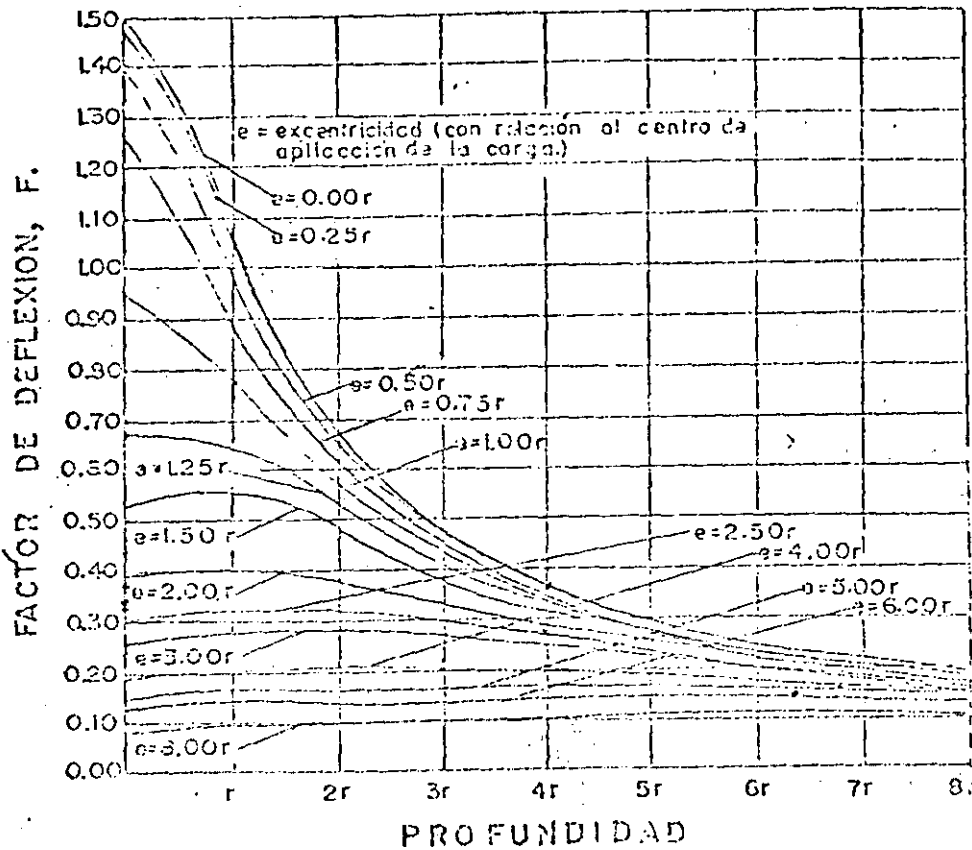
Profundidad	Rueda	Punto A		Punto B	
		Excentricidad	F	Excentricidad	F
3r (67 cm)	1	0.00r	0.475 *	1.926r	0.335
3r (67 cm)	2	3.85r	0.205	1.926r	0.335
$\Sigma$			0.680 **		0.670
4r (90 cm)	1	0.00r	0.362 □	1.926r	0.285
4r (90 cm)	2	3.85r	0.200	1.926r	0.235
$\Sigma$			0.562		0.570 □ □

TABLA ~~XVI~~ XVI

$r$  = Radio del área de contacto.

Profundidad	Factor de deflexión crítico		Relación de cargas
	Rueda sencillo	Rueda tandem	Ruedas tandem ÷ Rueda sencillo
3r (67 cm)	0.475 *	0.680 **	1.431
4r (90 cm)	0.362 □	0.570 □ □	1.575

TABLA ~~XVII~~ XVII



$$w = \frac{prF}{E_m}$$

w = deflexión vertical (pulg)

r = radio del area circular de carga (pulg)

$E_m$  = modulo de elasticidad (lb/pulg<sup>2</sup>)

F = factor de deflexión

Z = profundidad (pulg)

p = presión en la superficie de contacto (lb/pulg<sup>2</sup>)

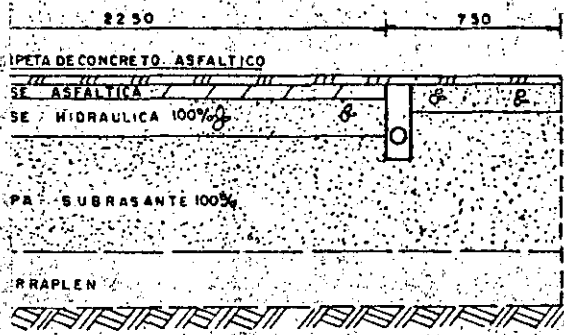
NOTA: Para puntos bajo el centro del área circular

$$(\text{excentricidad} = 0.00r): F = \frac{3r}{2\sqrt{2+z^2}}$$

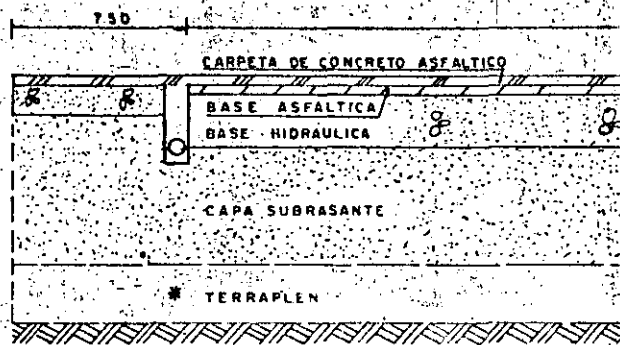
FIG XX

FACTORES DE DEFLEXION PARA UNA CARGA UNIFORME DE RADIO "r"  
RELACION DE POISSON=0.5. (Cuerpo de Ingenieros, Estacion experimental)

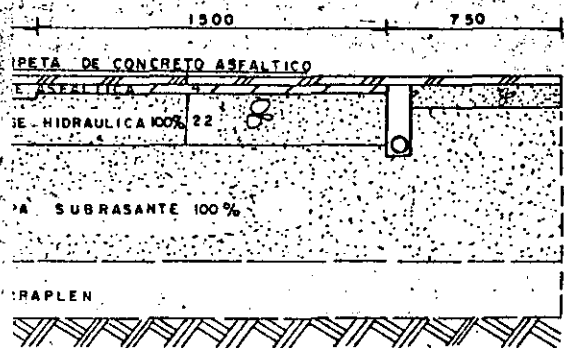
C C I O N E S E S T



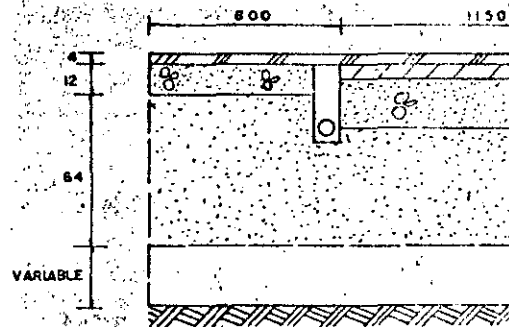
AS 07-25



SECCION D-D' DE LA PLATA



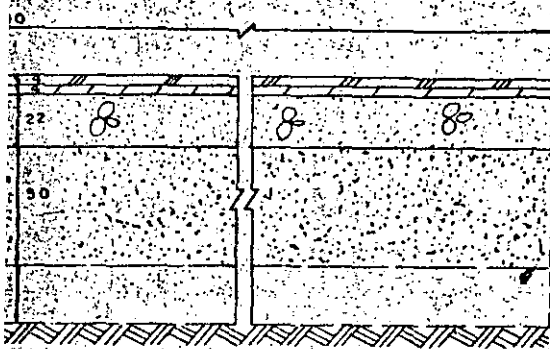
07-25



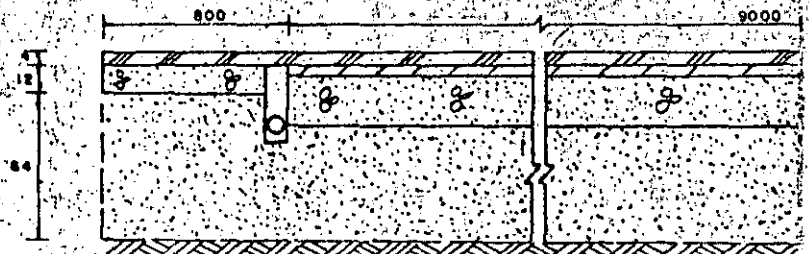
SECCION C-C' DE LA PLATA

OS

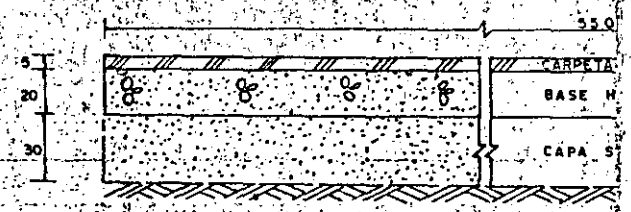
# R U C T U R A L E S



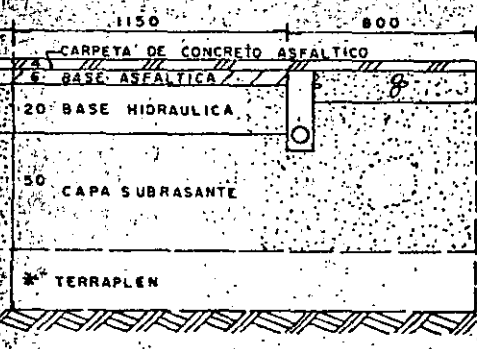
MA DE OPERACIONES



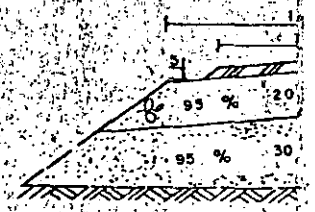
SECCION E-E' DE LA PLATAFO



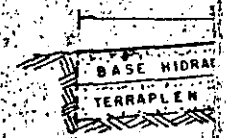
SECCIO F-F' DE ESTACIONAMIE



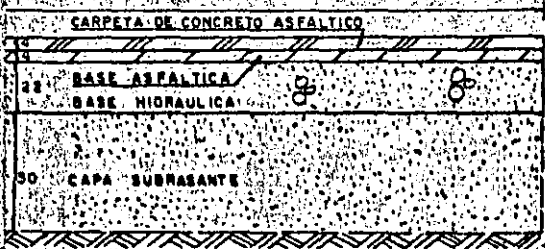
CALLE DE RODAJE 1Y2



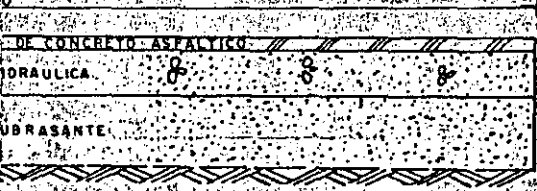
SECCION G-G' DEL



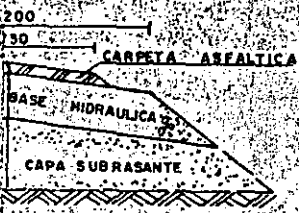
SECCION H-H' DEL (



FORMA DE AVIONETAS



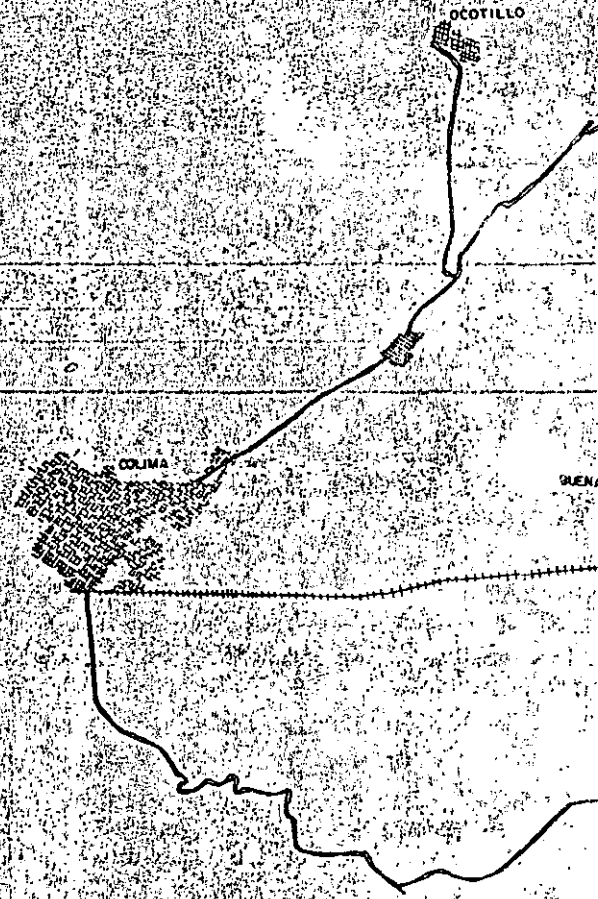
SENTO PARA AUTOMOVILES



CAMINO DE ACCESO



CAMINO PERIMETRAL

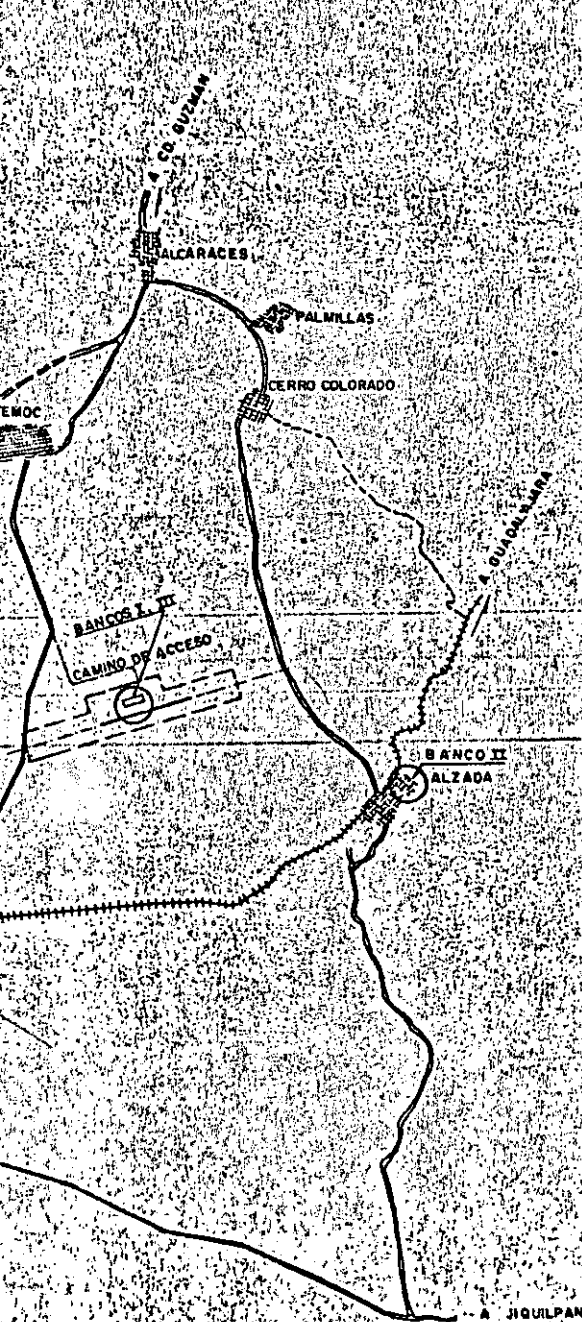


F	A



LOCALIZACION

BANCOS DE M



BANCO	CLASIFICACION GEOLOGICA Y/O SUCS	CLASIFICACION PRESUPUESTO			VOLUMEN m <sup>3</sup>	DM ACARRI (km)
		A	B	C		
PRODUCTO DE LOS CORTES DE CALLES DE MOAJE, PLATAFORMAS, EDIFICIOS Y ESTACIONAMIENTO.	ARGIL LA ARENOSA CON FRAGMENTOS CHICOS Y MEDIANOS DE ROCA BASALTICA CS, FC Y FM				SUFICIENTE	1 km
ESTRATO 0.5 - 1.5 m	MATERIAL QUE PASA LA MALLA DE 75 mm				SUFICIENTE	1 km
ESTRATO 1.5 - 1.8 m	MATERIAL QUE NO PASA LA MALLA DE 75 mm					1 km
II LA ALZADA	ARENAS ARCILLOSAS Y GRAVAS, SC - G				100,000 m <sup>3</sup>	23 km (6 km)
III BANCO DE AGUA	H <sub>2</sub> O				SUFICIENTE	A 175 m DEL DE LA PISTA BRE ALCANTALLA LAS ALNAS

83

FORMO	DIBUJO	MODIFICACION	MODIFICO	Vo	Bo

VO. BO. EL JEFE DE LA OFI

*Francisco Jimenez*

ING. FRANCISCO JIMENEZ ZU

*Francisco Jimenez*

PROYECTO: ING. FRANCISCO JIMENEZ Z

*Jesue Botello*

FORMO: ING. JESUE BOTELLO CO

*Hermenegildo Cruz*

DIBUJO: HERMENEGILDO CRUZ HI

# MATERIALES

UTILIZACIÓN	TRATAMIENTO	OBSERVACIONES
TERRAPLEN Y FRANJAS DE SEGURIDAD	NINGUNO	
TERRAPLEN Y CAPA SUBRASANTE	NINGUNO	MATERIAL QUE PASA LA MALLA DE 75 mm
BASE HIDRAULICA	LA ROCA BASALTICA SE TRITURARA TOTALMENTE A UN TAMAÑO MAXIMO DE:	MATERIAL QUE PASA LA MALLA DE 75 mm
BASE ASFALTICA	38 mm	
CARPEA ASFALTICA	25 mm	
CONCRETO HIDRAULICO	19 mm	
	50 mm	
BASE HIDRAULICA	PARCIALMENTE TRITURADO A TAMAÑO DE: 38 mm	
EJE COMPACTADO TERRAPLEN, SUBRASANTE Y BASE HIDRAULICA	NINGUNO	

**Notas:**

Las acotaciones están en cm, excepto las indicadas en otra unidad.

Este plano anula a los planos anteriores.

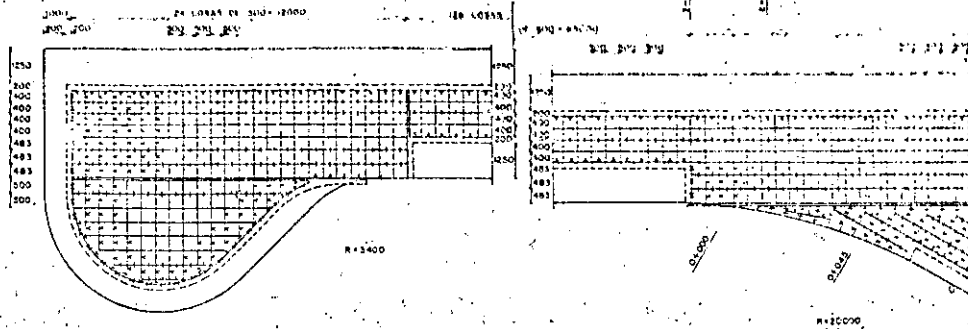
\* \* Este banco no se utilizó.

84

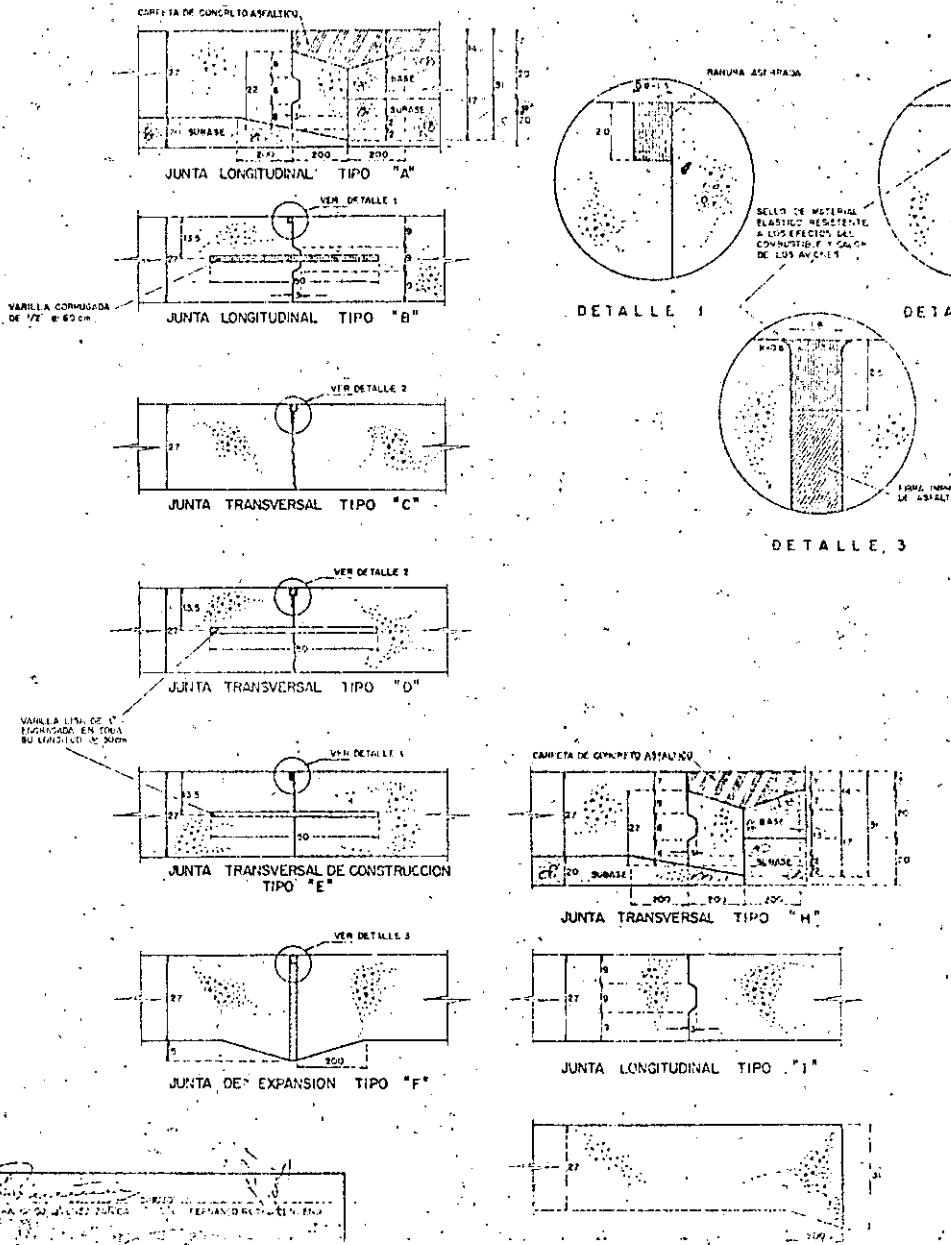
APROBADO FIRMA FIRMA FIRMA FIRMA FIRMA	PROPUSO: EL JEFE DEL DEPARTAMENTO  ING. ALFONSO M. ELIZONDO RAMIREZ VO BO: EL SUBDIRECTOR DE PROYECTOS  ING. HECTOR RODRIGUEZ REGUERO APROBO EL DIRECTOR DE AREA  ING. LUIS A. MARTIN CHAVEZ	 <p style="font-size: small;">SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION SUBDIRECCION DE PROYECTOS DEPARTAMENTO DE PROYECTOS CIVILES OFICINA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS</p>	<p style="font-size: large; font-weight: bold;">AEROPUERTO DE COLIMA COL.</p> <p style="font-weight: bold;">ZONIFICACION, SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS, Y BANCOS DE MATERIALES</p>
MEXICO, D.F. ENERO DE 1985		N° de hoja: 1-1	N° A-

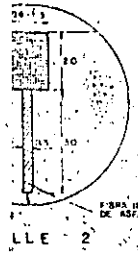
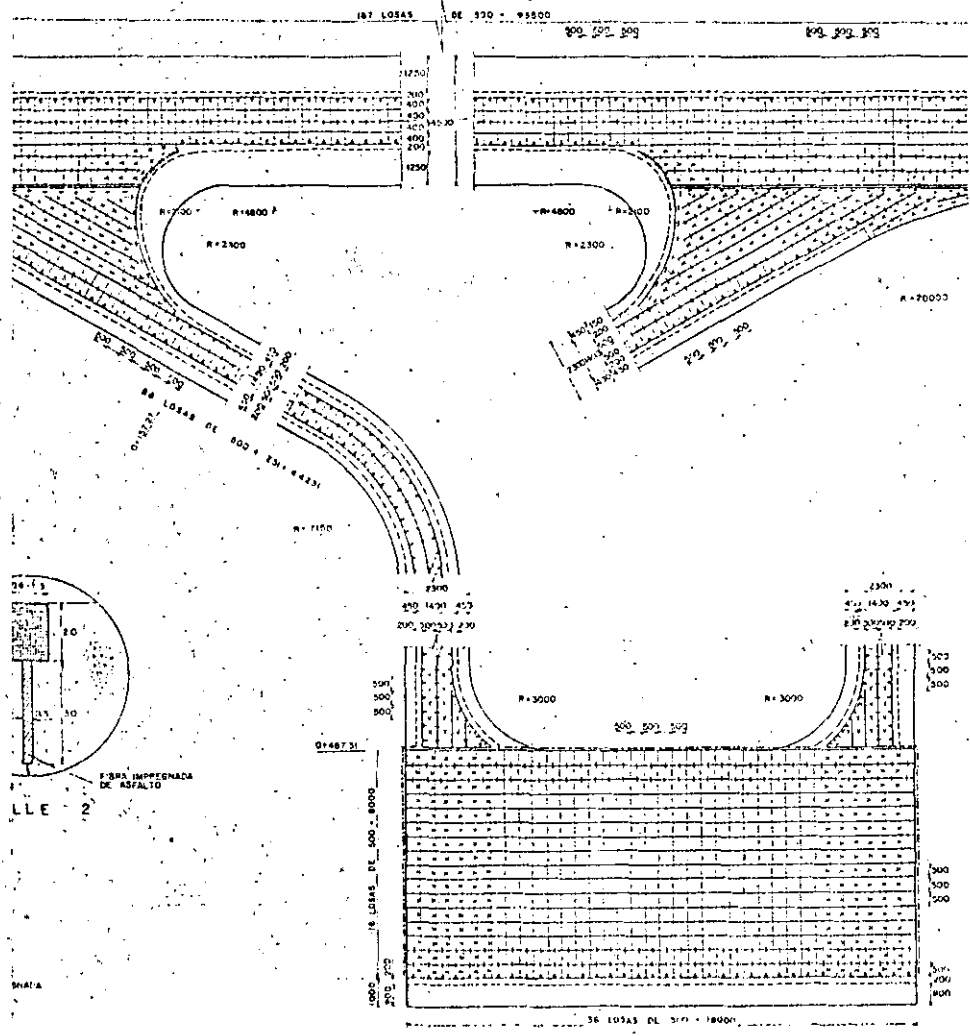


CABECERA 27

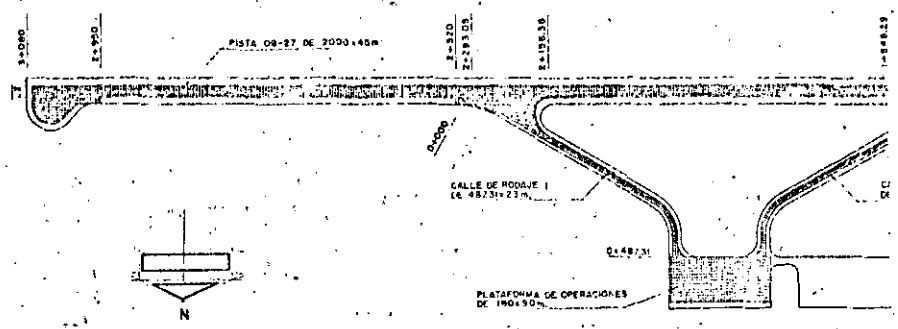


JUNTAS Y DETALLES TIPO

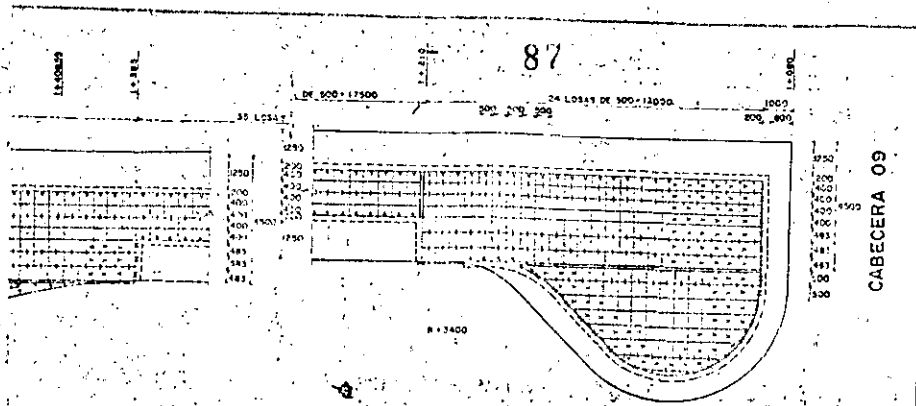




ACOTACIONES EN CENTIMETROS



ZONIFICACION DE PAVIMENTOS

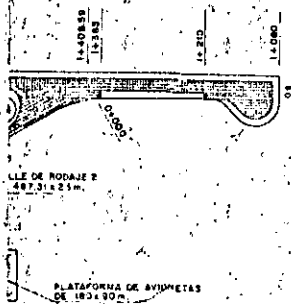


### SIMBOLOS

	JUNTA LONGITUDINAL TIPO A
	JUNTA LONGITUDINAL TIPO B
	JUNTA LONGITUDINAL TIPO C
	JUNTA TRANSVERSAL TIPO D
	JUNTA DE EXPANSION TIPO E
	JUNTA TRANSVERSAL TIPO H
	JUNTA LONGITUDINAL TIPO I
	BORDE ENGROSADO
	ZONA DE TRANSICION
	LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO DE 27cm SOBRE UNA S/B. BASE HIDRAULICA DE 20cm DE ESPESOR
	CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO DE 7cm DE ESPESOR SOBRE UNA BASE HIDRAULICA DE 20cm DE ESPESOR, SOBRE UNA SUB-BASE HIDRAULICA DE 20cm DE ESPESOR
	ESTACIONAMIENTO Y CAMINO DE ACCESO CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO DE 7cm SOBRE UNA BASE HIDRAULICA DE 24cm DE ESPESOR

### NOTAS:

- 1.- DIMENSIONES EN CENTIMETROS, EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
- 2.- EL ANCHO DE LAS RAMAS DE LAS JUNTAS DEBE SER PREFERENTEMENTE DE 08 CM, SIEMPRE Y CUANDO SE GARANTICE LA PERFECTA COLOCACION DEL MATERIAL Y SELLO, EN CASO CONTRARIO DEBE SER DE 1.5 CM.
- 3.- TODAS LAS LOSAS PERIMETRALES DEBEN TENER EL BORDO DE EXTERIOR ENGROSADO.
- 4.- LAS JUNTAS DEBEN SER PERPENDICULARES A LA ORILLA DEL PAVIMENTO Y POR NINGUN MOTIVO SE ACEPTAN ANGULOS ACUADOS EN LAS ESTUMAS DE LAS LOSAS.
- 5.- LAS JUNTAS TIPO "E" SE CONSTRUIRAN CUANDO EL COLADO DE LAS LOSAS SE SUSPENDA DURANTE UN LAPSO MAYOR QUE 30 MINUTOS.
- 6.- LOS NIVELES DE LA PLATAFORMA EN LA ORILLA CERCANA AL EDIFICIO DEBEN SER TALES QUE NO MODIFIQUEN LOS NIVELES DEL COLECTOR DE REJILLA.
- 7.- ESTE PLANO SE COMPLEMENTA CON LOS REGISTRADOS CON EL N° A-7054 Y EL N° A-7055.



S.A.H.O.P.  
DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS  
DISEÑO DE ESTUDIOS SOCIOECONOMICOS

AEROPUERTO NORTE DE SINALOA, SIN.  
DISTRIBUCION DE LOSAS



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

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE  
MAYO.  
MEXICO, D. F.

ESTUDIO GEOTECNICO Y DE MECANICA DE SUELOS DEL  
AEROPUERTO PARA LA CIUDAD DE LAZARO CARDENAS, MICH.  
SITIO "PLAYA AZUL"

ING. FRANCISCO JIMÉNEZ ZUÑIGA

ESTUDIO GEOTECNICO Y DE MECANICA DE SUELOS DEL  
AEROPUERTO PARA LA CIUDAD DE LAZARO CARDENAS, MICH.  
SITIO "PLAYA AZUL"

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES

- 1.1.- Generalidades
- 1.2.- Localización
- 1.3.- Topografía
- 1.4.- Datos del Proyecto
- 1.5.- Geología

2. ESTUDIOS DE CAMPO Y LABORATORIO

- 2.1.- Sondeos en la zona del Aeropuerto
- 2.2.- Sondeos en los bancos de materiales
- 2.3.- Pruebas de Laboratorio

3. RESULTADOS OBTENIDOS

- 3.1.- Camino de acceso y plataforma de estacionamiento
- 3.2.- Pista principal
- 3.3.- Calles de rodaje y plataforma de operaciones
- 3.4.- Bancos de materiales
- 3.5.- Parámetros estructurales de materiales

4. PROYECTO DEL PAVIMENTO

- 4.1.- Camino de Acceso
- 4.2.- Pista principal
- 4.3.- Calles de rodaje y plataforma de operaciones

5. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- 5.1.- Bancos de base
- 5.2.- Bancos de Sub-rasante
- 5.3.- Base Estabilizada
- 5.4.- Bancos de Agua

6. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION

- 6.1.- Camino de acceso
- 6.2.- Pista principal
- 6.3.- Calles de rodaje y plataforma de operaciones

7. NORMAS DE CONSTRUCCION

- 7.1.- Materiales para concreto hidráulico
- 7.2.- Elaboración y colocación de concreto

8. ANEXOS

- 8.1.- Croquis de ubicación de sondeos, bancos y perfil estratigráfico
- 8.2.- Ensayes de laboratorio.

EXPOSITOR: ING. FRANCISCO JIMENEZ ZUÑIGA

# RIECCO S.A.

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Generalidades

Se pretende construir un nuevo aeropuerto en la ciudad de Lázaro Cárdenas, Mich., por lo que la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, por conducto de la Dirección General de Aeropuertos, encomendó a RIECCO, S.A. el estudio con este objeto.

### 1.2 Localización

El nuevo aeropuerto está localizado en la zona del poblado El Bordonal, aproximadamente a 12 km al Oeste de la ciudad de Lázaro Cárdenas a la altura del km 116+289.21 con 3 km de desviación izquierda sobre camino Zahuatanéjo-La Mira.

### 1.3 Topografía

En general, el aeropuerto está localizado en una zona de loma, exceptuando la parte comprendida entre las estaciones 1+300 a 2+500 de la pista principal, donde el terreno es plano.

### 1.4 Datos del Proyecto

- Tipo de aerolínea para el diseño: BOEING 727 con peso total de 73 toneladas, con 5,000 cubrimientos.
- dos calles de rodaje de 437.21 m de longitud cada una con 23 m de ancho.



- c) Pista de 2,500 m de longitud por 45 m de ancho con orientación 05-23.
- d) Plataforma de operaciones de 180 m por 90 m.
- e) Camino de acceso de 3,261.89 m de longitud.
- f) Estacionamiento de automóviles.

1.5 Geología:

En las partes planas, la zona se caracteriza por depósitos de arcillas de baja y alta plasticidad y en las zonas de lomerío por gravas y arenas arcillosas.

2. ESTUDIOS DE CAMPO Y LABORATORIO

2.1 Sondeos en la zona del aeropuerto

Con objeto de conocer la estratigrafía en los ejes de la pista, calles de rodaje, plataforma de operaciones, camino de acceso y estacionamiento de automóviles, se efectuaron sondeos a ciclo abierto, obteniéndose muestras alteradas para su estudio en el laboratorio; asimismo, se determinó en el campo la humedad y peso volumétrico. La distribución y profundidad de dichos sondeos se menciona a continuación:

a) Pista principal	13	a	1.60 m
b) Calle de rodaje No. 1	2	a	1.50 m
c) Calle de rodaje No. 2	2	a	1.50 m
d) Plataforma de operaciones	6	a	1.50 m
e) Camino de acceso	8	a	1.70 m
f) Estacionamiento de automóviles	2	a	1.00 m
Total de sondeos	33		



## 2.2 Sondeos en los bancos de materiales

Con objeto de determinar las características físicas y mecánicas, así como la capacidad de los bancos probables a utilizar en la construcción del aeropuerto en las etapas de subrasante, sub-base, base-hidráulica, base-asfáltica, carpeta-asfáltica y concreto-hidráulico, se realizaron 24 sondeos de tipo cielo abierto en las zonas de posible explotación, extra-yéndose muestras para su ensayo en el Laboratorio.

De los bancos estudiados los No. 1, 3, 7 y 8 no han sido empleados, y el resto ya han sido aprovechados en ocasiones anteriores e inclusive los identificados con los No. 4, 5 y 6 se continúan atacando.

## 2.3 Pruebas de laboratorio

Con las muestras de terreno natural se efectuaron en laboratorio las siguientes pruebas:

- a) Granulometría
- b) Límites de Atterberg
- c) Contracción lineal
- d) Peso volumétrico seco, suelto y máximo
- e) Valor relativo de soporte estándar y expansión
- f) Valor relativo de soporte modificado a 90 y 95 %

Así mismo se les clasificó con objeto de determinar su calidad y comportamiento en el terreno.

Con las muestras obtenidas de los bancos de materiales para pavimento se realizaron las siguientes pruebas:

IOBCO S.A

-4-

- a) Granulometría
- b) Límites de Atterberg
- c) Contracción lineal
- d) Peso volumétrico seco, suelto y máximo
- e) Valor relativo de soporte estandar y expansión
- f) Valor cementante
- g) Equivalente de arena
- h) Densidad y absorción

Además se determinó el tipo de tratamiento adecuado, capacidad clasificación y se efectuaron los diseños de concreto hidráulico y asfáltico necesarios.

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS

#### 3.1 Camino de acceso y plataforma de estacionamiento

Las pruebas de laboratorio de las muestras obtenidas para el camino de acceso y plataforma de estacionamiento proporcionaron los siguientes resultados:

	de	a	
Humedad Natural	5.4%	22.6%	15.4
% De Compactación	70	91	36
% De Grava	40	60	
% De Arena	17	55	
% De Fines	13	77	
Límite Líquido	34.0%	68.5%	42
Índice Plastico	13.7	46.4%	27
Contracción Lineal	6.9	15.2	10
P.V. (kg/m <sup>3</sup> )	1630	2110	1
Hum. y Absorción	9.4%	22.5%	17.4

	de	a	
V.R.S. estandar	2.6%	55.0	16.20
V.R.S. modificado a 90%	3.6%	38.3	7.8
V.R.S. modificado a 95%	5.6%	73.5	11.1
Expansión	0.6%	5.2	2
Clasificación	SUCS,	GC,	SC, CI, Y CH-1

3.2 Pista principal.

Para la pista principal se obtuvieron los siguientes resultados:

	de	a	
Humedad natural	8.6%	40.6	14.53
% de compactación	8%	97	91
% de grava	0	74	
% de arena	16	76	
% de fino	9	84	
Límite líquido	28.1%	64.4	41.76
Índice plástico	9.8%	32.7	26.9
Contracción lineal	3.8%	19.3	9.32
P.V.S.M. kg/m <sup>3</sup>	1235	2130	1786
Humedad óptima	11.5%	39.6	19
V.R.S. estandar	3.5%	30.0	5.12
V.R.S. modificado a 99%	6.0%	16.9	10.25
V.R.S. modificado a 95%	10.0%	48.0	15.73
Expansión	0.5%	7.3	5.01
Clasificación	SUCS,	GC,	SC, CI, CH-1

3.3 Calle de tráfico y plataforma de operación

De la misma manera, para las calles de tráfico y plataforma de operación se obtuvieron los siguientes resultados:

RIODORO S.A.

-6-

	de	a	
Humedad natural	12.0	23.4	16.2
% Compactación	82.0	92.0	87.1
% de grava	0	51	
% de arena	23	66	
% de finos	10	69	
Límite líquido	32.4	43.7	37.4
Índice plástico	14.5	21.0	16.7
Contracción lineal	6.0	8.5	7.2
P.V.M. Kg/m <sup>3</sup>	1590	2020	1839
Humedad óptima	12.6	21.0	16.5
V.R.S. estándar	3.8	22.0	7
V.R.S. modificado a 90	6.6	23.1	11.2
V.R.S. modificado a 95	10.0	46.0	25.1
Expansión	2.0	8.2	6
Clasificación	SUCS,	GC,	SC, Y CL.

3.4 Bancos de materiales

De acuerdo a las características necesarias de calidad y a los volúmenes que se requieren para la construcción del aeropuerto, se describen los bancos ensayados.

a) "Banco No. 1. "PFCC"

Ubicación

Rm. 113+690 Camino Zihuatanejo-La Grana con 400 m de desviación a la izquierda.

Clasificación

grava arena Arcillosa (GC).

Clasificación para presubstrato

60-40-00

Coefficiente de variación volumétrica  
 Compactación 90 % 1.05 (Banco a Compacto)  
 Compactación 95 % 1.0 (Banco a Compacto)  
 Compactación 100 % 0.95 (Banco a Compacto)  
 Volumen Aproximado 100,000 m<sup>3</sup>  
 Distancia media de acarreo 8.2 Km  
 Utilización: sub-rasante y terraplén  
 Despalme 40 cm

b) Banco No. 2 "La Mira"  
 Ubicación Km. 335+500 Camino Cuatro Caminos Playa Azul con 300 m de desviación a la izquierda

Clasificación Arena arcillosa (SC)  
 Clasificación para presupuestos 80-20-00  
 Coeficiente de variación volumétrica  
 90 % comp. 0.99 (Banco a compacto)  
 95 % comp. 0.94 (Banco a compacto)  
 100 % comp. 0.89 (Banco a compacto)  
 Volumen aproximado 20,000 m<sup>3</sup>  
 Distancia media de acarreo 10.5 Km  
 Utilización sub-rasante y terraplén  
 Despalme 60 cm

c) Banco No. 3 "El Bordonal"  
 Ubicación Km 4+800 punto principal con 400 m de desv. derecha  
 Clasificación Arena arcillosa (SC)  
 Clasificación para presupuestos 80-20-00



RIODOO S.A.

-8-

## Coeficiente de variación volumétrica:

Compactación 90 % 10.96 (Banco a compacto)

Compactación 95 % 0.91 (Banco a compacto)

Compactación 100 % 0.86 (Banco a compacto)

Volumen aproximado 50,000 m<sup>3</sup>

Distancia media de acarreo 3.0 km

Utilización Sub-rasante

Despalme 0.70 m

## d) Banco No. 4 "Río Balsas"

Ubicación Km. 105+000 con 700 m-  
desviación a 79. Camino  
Zibuntanejo-La Mira.

Clasificación Grava arena de río (GR)

Clasif. para presupuesto 70-30-00.

## Coeficiente de variación volumétrica:

Compactación 90 % 1.06 (Banco a suelto)

Compactación 100 % 0.82 (Suelto a compacto)

Compactación 100 % 0.87 (Banco a compacto)

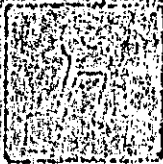
Volumen aproximado 300,000 m<sup>3</sup>

Distancia media de acarreo 16.0 km

Utilización sub-base, base hidráulica, base asfáltica, carpeta y agregados de concreto hidráulico

Despalme 0.00 m

Tratamiento Tratamiento parcial y  
criado



c)	Banco No. 5 "Río El Carrizo"	
	Ubicación	Km 1+000 Carretera Playa Azul-Coahuayana con 600 m desv. derecha.
	Clasificación	Grava arena de río (G)
	Clasif. para presupuestos	60-10-00
	Coefficiente de variación volumétrica	1.16 (Banco a suelto)
	Compactación 100 %	0.74 (Suelto a compacto)
	Compactación 100 %	0.86 (Banco a compacto)
	Volumen aproximado	300,000 m <sup>3</sup>
	Distancia media de acarreo	10.0 km
	Utilización	sub-base, base hidráulica, base asfáltica carpeta, agregados de concreto hidráulico
	Despalme	0.00 m
	Tratamiento	Trituración parcial y base
f)	Banco No. 6	
	Ubicación	Km 202+600 Camino Cuernavaca-Campos Viejos con 200 desviación derecha
	Clasificación	Grava granítica
	Clasif. para presupuestos	00-00-100
	Despalme	0.70 m
	Volumen aproximado	500,000 m <sup>3</sup>
	Distancia media de acarreo	61.0 km
	Utilización	1.5 drapiza mas postes (eventual) con base hidráulica



ROBOO S.A

-10-

Ubicación Km 100+00 Camino Iruña  
 Nejo-La Mirá con 1,500  
 desv. azq. marg. azq.  
 (Río Nalgás)

Clasificación Liro (ME)

Clasif. para presupuestos 100-00-00

Coefficiente de variación volumétrica 1.13 (Banco a suelto)

Compactación 100% 0.72 (Suelto a compacto)

Compactación 100% 0.81 (Banco a compacto)

Volumen aproximado 5,000 m<sup>3</sup>

Distancia media de acarreo 22.0 km

Utilización Cementante de base hidr.  
 lica y firos de car. asfáltica

Despalme 0.20 m<sup>3</sup>

h) Banco No. 8

Ubicación Km 119+600 Camino de  
 tanejo-La Mirá con 1,900  
 desv. azq.

Clasificación Arena limosa S.M.

Clasificación para presupe-  
 to 100-00-00

Coefficiente de variación volumétrica 1.16 (Banco a suelto)

Compactación 100% 0.64 (Suelto a compacto)

Compactación 100% 0.75 (Banco a compacto)

Despalme 3.00 m<sup>3</sup>

Volumen aproximado 5,000 m<sup>3</sup>

Distancia media de acarreo 9.5 km



RIOBOO S.A

Utilización: Cemento para base hidráulica y finis de asfáltica

3.5 Parámetros estructurales de materiales

- a) Valor relativo de soporte a las terracerías del camino de acceso:
  - 90% de Compactación: 6.7
  - 95% de Compactación: 11.3
- b) Valor relativo de soporte en terracerías de pista principal:
  - 90 % de Compactación: 8.6
  - 95 % de Compactación: 10.8
- c) Valor relativo de soporte en terracerías de calles de rodaje y plataforma de operaciones:
  - 90 % de Compactación: 7.1
  - 95 % de Compactación: 10.8
- d) Módulo de reacción de la terracería en ranuras de rodaje y plataforma de operación, el tenido por compactación:
  - a 90% de compactación:  $R=5.7 \text{ kg/cm}^2$
  - a 95% de compactación:  $R=5.5 \text{ kg/cm}^2$
- e) Valor relativo de soporte con subrasante del banco de la 103+000 del Camino Zimutunogo:
  - a 95% de compactación: 11.3
  - a 100% de compactación: 10.8
- f) Valor relativo de soporte de la 103+000 con cambio:
  - a 90% de compactación: 12.5
  - a 95% de compactación: 12.5

RIORDO S.A.

- a) a 95% de compactación 10.4 %
- a 100% de compactación 15.4 %
- g) Valor relativo de soporte del Banco del km. 1+500, pista principal, Banco No. 3, Aeropuerto
  - a 95% de compactación 16.4 %
  - a 100% de compactación 22.4 %
- h) Módulo de reacción de la Sub-base Eco. km. 113+000 Camino Zihuatanejo-La Miraflores obtenidos por correlación
  - a 95% de compactación  $R=6.2 \text{ kg/cm}^3$
  - a 100% de compactación  $R=6.9 \text{ kg/cm}^3$
- i) Módulo de resistencia a la tensión por tracción del concreto hidráulico a los 28 días de edad
  - MR = 45 kg/cm<sup>2</sup>

4. DISEÑO DEL PAVIMENTO

4.1 Camino de acceso y plataforma de estacionamiento de automóviles

- a) Datos de proyecto
  - 1) Tipo de pavimento Flexible
  - 2) compactación de terreno cerca 90%
  - 3) compactación de Sub-base cerca 95%
  - 4) compactación de Superficie 100%
  - 5) compactación de Banco de arena 100%

Vida útil	10 años
T.P.D.A.	4,000 vehículos diario
3 Vehículo pesados	20 %
T.C.A.	10 %
Peso máximo de vehículos	12.3 ton
Peso máximo por eje	8.2 ton
Tránsito en ambas direcciones	
Valor relativo de soporte de la terracería	6.7 %
Valor relativo de soporte de la Sub-rasante	14.3 %

b) Criterio de diseño. Para el diseño se utilizaron los métodos del Instituto de Ingeniería (II) e Instituto de Asfalto (IA)

c) Resultados obtenidos	II	IA
Sub-rasante	30	30
Base hidráulica	20	20
Carpetas de concreto asfáltico	5	5

d) Diseño	
Sub-rasante	30 cm compactos a 95
Base hidráulica	20 cm compactos a 100
Carpetas de concreto asfáltico	5 cm compactos a 95

4.2 Umbra principal

a) Datos de proyecto	
Tipo de pavimento	Flexible




 INIOBOO S.A.

-14-

% Compactación de terracería	95 %
% Compactación de Sub-rasante	100 %
% Compactación de Sub-base	100 %
% Compactación de la base estabilizada	100 %
% Compactación de la base asfáltica	95 %
% Compactación de Carpeta	95 %

Vida útil	5,000 cubrimientos
Tipo de aeronave	Boeing 727
Peso de aeronave	73 toneladas
Valor relativo de soporte de la terracería	10.0
Valor relativo de soporte de la Sub-Rasante	19.5

b) Criterio de Diseño:

Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A.

## c) Resultados obtenidos

Sub-Rasante	50 cm
Sub-base hidráulica	15 cm
Base estabilizada con cemento Portland	15 cm
Carpeta asfáltica	10 cm

## Transformación de Base asfáltica

Sub-rasante	50 cm
Sub-base hidráulica	20 cm

RIOBCO SA

-15-

Base Asfáltica	10 cm
Carpeta	7 cm

#### 4.3 Calle de rodaje y plataforma de operaciones

##### a) Datos de proyecto

Tipo de pavimento	Rígido
% Compactación de Sub-rasante	100 %
% Compactación de la Sub-base	100 %
Vida útil	5,000 operaciones
Tipo de aeronave	Boeing 727
Peso de aeronave	73 ton
Valor relativo de soporte de las terracerías	9.0 %
Valor relativo de soporte de la Sub-rasante	19.5 %
Valor "k" de la Sub-rasante	6.9 kg/cm <sup>3</sup>
Valor "k" combinado	8.3 kg/cm <sup>3</sup>

b) Criterio de Diseño. Se utilizó el método de diseño de la P.C.A para pavimento rígido en aeropuertos.

##### c) Resultados obtenidos

Losa de concreto hidráulico	28 cm de espesor
Sub-base compactada al 100 %	20 cm de espesor
Sub-rasante compactada al 100 %	30 cm de espesor

## 5. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Bancos de arena

Los bancos de materiales del Río Balaz y del Carrizo son muy

FIODOO SA

-16-

res. Se recomienda utilizar los Bancos No. 1 y No. 3, si bien éste último es el más cercano.

### 5.2 Bancos de Subrasante

De los bancos para Sub-rasante, se recomienda utilizar el Banco No. 3.

### 5.3 Base estabilizada

El material de los bancos de base con trituración parcial, no cumple el valor relativo de soporte ni mezclándolo con los cementos encontrados; por tanto se recomienda estabilizar la base de la pista con cemento Portland al 3 % con objeto de elevar el valor relativo de soporte.

### 5.4 Bancos de agua

El banco de agua para compactación y concreto hidráulico se encuentra localizado sobre el Río El Carrizo, en el km 1+000 del Camino Playa Azul-Coahuayana, con 9.5 km de distancia media de acarreo a la obra.

## 6. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION

### 6.1 Camino de Acceso

a) Sobre el terreno natural compactado al 90 % de su peso volumétrico seco máximo, se colocará una capa de Sub-rasante de 20 cm de espesor con material procedente de los bancos Nos 1 ó 3, compactándolo al 95 % de su peso volumétrico seco máximo.

b) Se construirá una base hidráulica de 20 cm de espesor, compactada al 100 % de su peso volumétrico seco máximo, con material Banco El Carrizo (Banco No. 5) en 20 % y 20 % de arena para cu-

RIOBOO, S.A.

-17-

montante del banco del Km 119+600. (Banco No. 8)

- c) Se aplicará un riego de impregnación con asfalto rebajado tipo F M-1, a razón de 1.3 a 1.5 litros por metro cuadrado, dependiendo de la textura de la base.
- d) Se aplicará un riego de liga con asfalto rebajado tipo F R-3, a razón de 0.5 litros por metro cuadrado.
- e) Se construirá una carpeta asfáltica de 5 cm compactada con material triturado parcial del banco El Carrizo (Banco No. 5), de mezclas en planta con cemento asfáltico No. 6 a razón de 6.3 % en peso, con relación al material petreo de 3/4" de tamaño máximo.
- f) Si la textura de la carpeta es abierta, se aplicará un riego de sello con material petreo 3M del Banco El Carrizo, a razón de 10 a 12 litros por metro cuadrado y asfalto rebajado FR-3, a razón de 1.2 litros por metro cuadrado.

### 6.2 Pista principal

- a) En las zonas de corte se deberá abrir una caja de 50 cm abajo del nivel de la sub-rasante y compactar la superficie descubierta hasta alcanzar el 95 % de su peso volumétrico seco máximo en un espesor de 15 cm.
- b) En las zonas de terraplén se deberá compactar por capas con espesores no mayores de 30 cm, compactándose al 95 % de su peso volumétrico seco máximo, hasta 50 cm abajo del nivel de sub-rasante.

RIOBOO SA

-18-

- c) Se construirá una capa de sub-rasante de 50 cm de espesor, con materiales de los bancos No. 2 ó No. 3, en dos capas, compactándose al 100 % de su peso volumétrico seco máximo.
- d) Sobre la sub-rasante terminada se construirá una sub-base de 15 cm de espesor, compactándose al 100 % de su peso volumétrico seco máximo, con mezcla de materiales: 90 % triturado parcial a 1 1/2" del banco El Carrizo y 10 % de arena arcillosa del Banco No. 2.
- e) Se construirá una base hidráulica de 15 cm de espesor, estabilizada con cemento Portland al 3 % y compactada al 100 % de su peso volumétrico seco máximo, utilizando materiales del Banco El Carrizo con triturado parcial a 1 1/2".
- f) Sobre la base terminada y barrida se aplicará un riego de impregnación con asfalto rebajado tipo F R-1, a razón de 1.3 a 1.5 litros por metro cuadrado, dependiendo de la textura de la base.
- g) Se aplicará un riego de liga a razón de 0.5 litros por metro cuadrado con asfalto rebajado tipo F R-3.
- h) Se colocará una carpeta de mezcla asfáltica en planta con cemento asfáltico No. 6, a razón de 6.3 % en peso del material por el cual será triturado parcial del banco El Carrizo con tamaño máximo de 3/4" y con un espesor de 10 cm en capas, debiendo separar en frío la grava y la arena para proporcionar la curva granulométrica.

En caso de que se optara por la variante de base asfáltica, se eliminará la base hidráulica y se aplicarán los riegos de impregnación y liga sobre la sub-base que será de 20 cm y se colocará una base asfáltica de mezcla en planta de tamaño máximo de 1 1/2".





RICBOO SA

21

-19-

utilizando material triturado parcial del Banco El Carrizo y cemento asfáltico núm. 6, a razón de 5.7 % en peso del material petreo, compactado al 95 % de su peso volumétrico MARSHALL. Sobre esta capa se construirá la carpeta de mezcla en planta de 7 cm compactos de las características del punto "h".

### 6.3 Calles de rodaje y plataforma de operaciones

- a) En las zonas de corte se deberá abrir una caja de 30 cm abajo del nivel de la Sub-rasante y se compactará la superficie descubierta al 95 % de su peso volumétrico seco máximo, en un espesor de 15 cm.
- b) En las zonas de terraplén se deberá compactar por capas en espesores no mayores de 30 cm, compactándolos al 95 % de su peso volumétrico seco máximo hasta 30 cm abajo del nivel de Sub-rasante.
- c) Se construirá una capa de Sub-rasante de 30 cm de espesor, compactada al 100 % de su peso volumétrico seco máximo con material de los Bancos núm. 1 ó núm. 3.
- d) Sobre la capa Sub-rasante se construirá una sub-base hidráulica de 20 cm compactada al 100 % de su peso volumétrico seco máximo con material triturado parcial del Banco El Carrizo (Banco No. 5) en 80 % y 20 % de arena para cementante del Banco No 2.
- e) Sobre la base terminada y larrida se aplicará un riego de impregnación a razón de 1.3 a 1.5 litros por metro cuadrado con asfalto rebajado tipo F.M-1.
- f) Sobre la base impregnada se construirá en las zonas de concreto hidráulico de 25 cm de espesor con concreto de módulo a la ruptura a la flexión de 45 kg/cm<sup>2</sup>, con agregados del Banco El Carrizo

RIOBOD. SA

-20-

(Banco No. 5) y tamaño máximo de la grava de 2", revonimiento de 2 a 4 en utilizando inclusor de aire para dar más fluidez a la mezcla.

## NORMAS DE CONSTRUCCION

### 7.1 Materiales para concreto hidráulico

Los materiales que se emplearán en la elaboración de las losas de concreto hidráulico, se sujetarán a las siguientes especificaciones:

- a) Agregado grueso. Debe provenir del Banco El Carrizo, con tamaño máximo de 50.8 mm (2"), de resistencia estructural superior a la resistencia de proyecto del concreto y que cumpla lo dispuesto en el inciso 96-05.3 de la parte octava de las Especificaciones Generales de Construcción de la SAHOP, edición 1970. Para evitar la segregación deberá separarse en dos tamaños, uno del tamaño máximo a 19 mm (3/4") y el otro de 6 mm (1/4") retenido en la malla No. 4.
- b) Agregado fino. Deberá ser del Banco El Carrizo y su densidad no deberá ser menor de dos puntos cinco (2.5), su contenido de finos no mayor del tres por ciento (3%) y cumplará con lo dispuesto en el inciso 96-05.2, de la parte Octava de las Especificaciones Generales de Construcción de la SAHOP, edición 1970.
- c) Cemento Portland. Por sus cualidades, se emplearán preferentemente los tipos I ó III que cumplan con lo dispuesto en los incisos 96-02.1 al 96-02.9 inclusive, de la parte Octava de las Especificaciones Generales de Construcción de la SAHOP, edición 1970. Debe entenderse que aunque se especifique el empleo de cemento tipo III, la resistencia final de las probetas deberán obtenerse

RICOBO S.A.

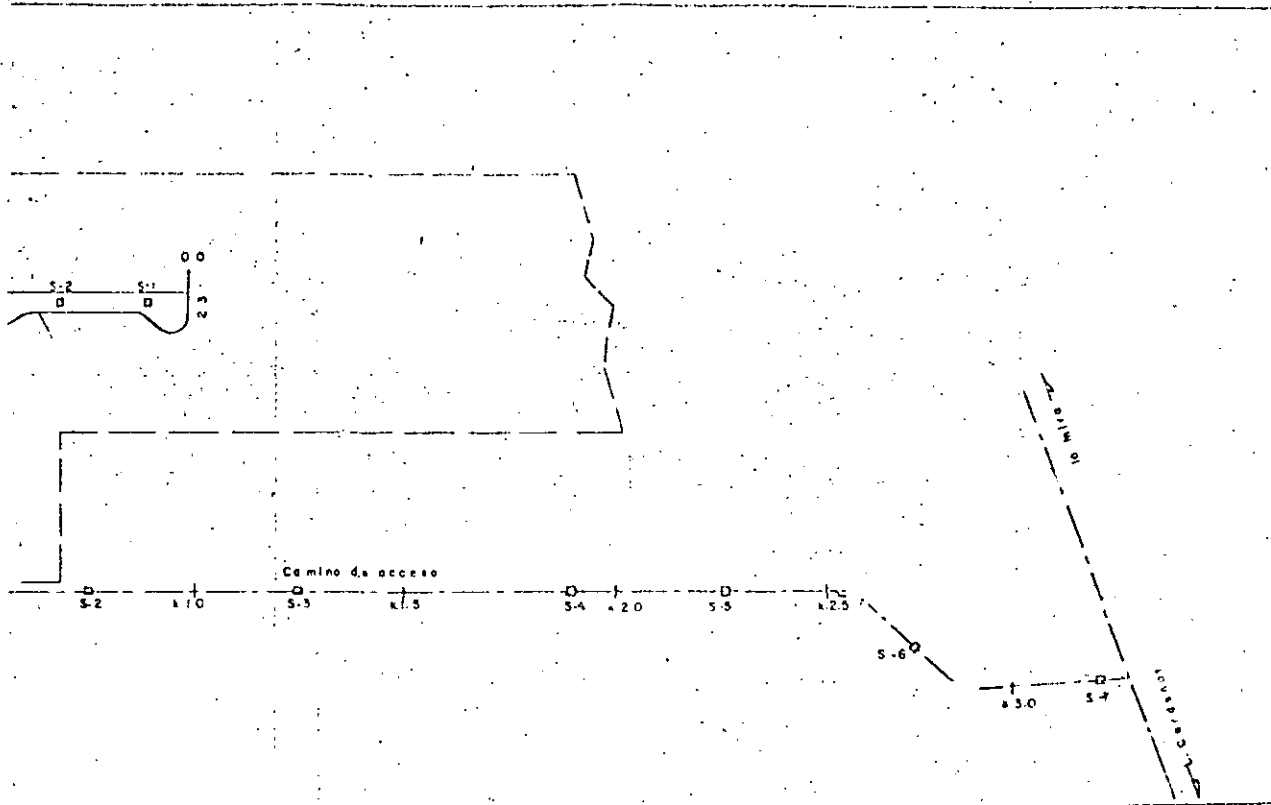
-21-

a. la edad de 28 días. El cemento usado en la elaboración del concreto deberá ser de una sola marca y tipo para evitar las variaciones de las características de calidad.

- d) Agua. El agua que se emplee en la fabricación del concreto deberá cumplir con lo dispuesto en los incisos 96-07.2 al 96-07.7 inclusive, de la parte Octava de las Especificaciones Generales de Construcción SANOP, edición 1970.
- e) Aditivo. Se deberá emplear un agente inclusor de aire que satisfaga la especificación C-260 ASTM, a fin de dar mayor plasticidad y trabajabilidad al concreto y evitar la segregación y el sangrado; incluir 3% de aire como mínimo y 5% como máximo. Dichos aditivos se usarán en las proporciones recomendadas por la SANOP, haciendo en cada caso las pruebas preliminares necesarias para su empleo. El aditivo deberá agregarse al concreto disuelto en el agua de mezclado, para lo cual diariamente se preparará una solución del mismo con la concentración adecuada. Al terminar el día se desechará la solución sobrante, debiéndose lavar el recipiente para evitar en el futuro concentraciones mayores en la solución por usar. Para la selección del aditivo, la Secretaría efectuará pruebas comparativas de los productos propuestos y elegirá el más apropiado.

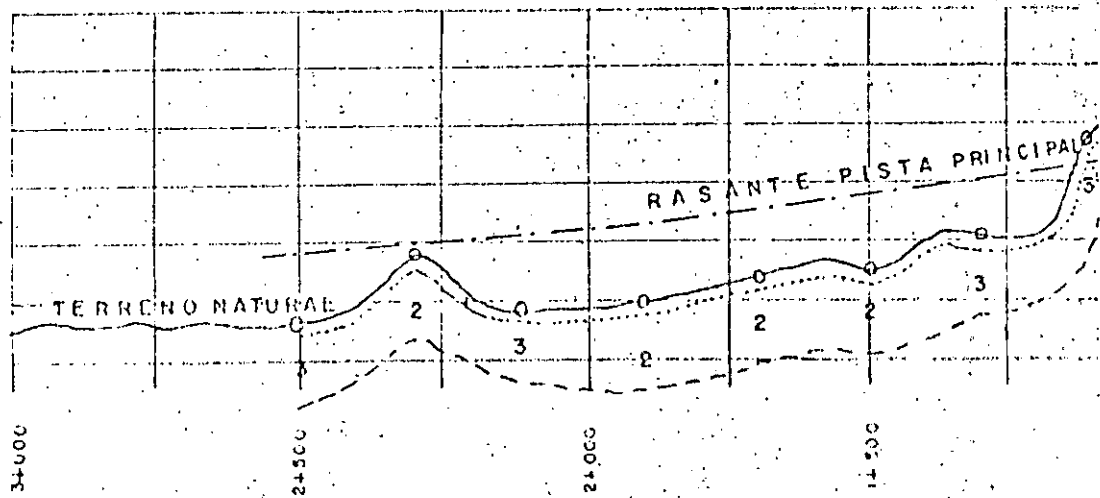
#### 7.2. Elaboración y colocación del concreto

- a) Sellado de las juntas. El material para el sellado de las juntas deberá ser elástico, resistente a los efectos del combustible y calor de los aviones, además de adherirse al concreto y permitir las dilataciones y contracciones de éste sin agrietarse. El producto deberá ser previamente aprobado por la Secretaría.
- b) Características del concreto. El concreto deberá tener una densidad



PRINCIPAL  
 Y PLATAFORMA  
 EDIFICIOS  
 ACCESO

SAHOP DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS		
AEROPUERTO LAZARO CARDENAS		
CROQUIS DE UBICACION DE SONDEOS		
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS	OFICINA DE PAVIMENTOS	EJECUCIONAL MICHUQUAN
ESCALA	1:25,000	MEX.D.F. DICIEMBRE DE 1977

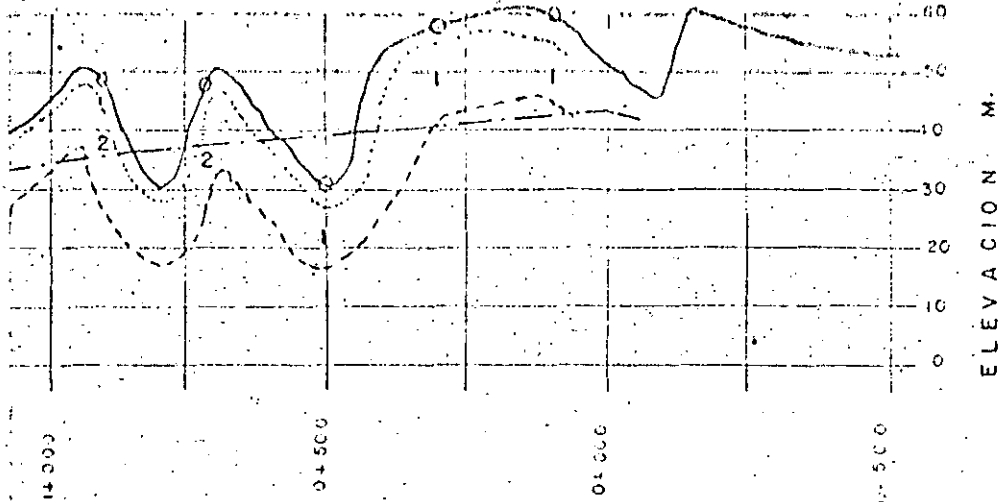


ESCALA  
 HORIZONTAL 1:100,000  
 VERTICAL 1:1,000  
 ESTRATIGRAFICO 1:100

- despalmado capa vegetal
- 1 grava arena arcilla
- 2 arenas arcillosas
- 3 arcillas media a alta

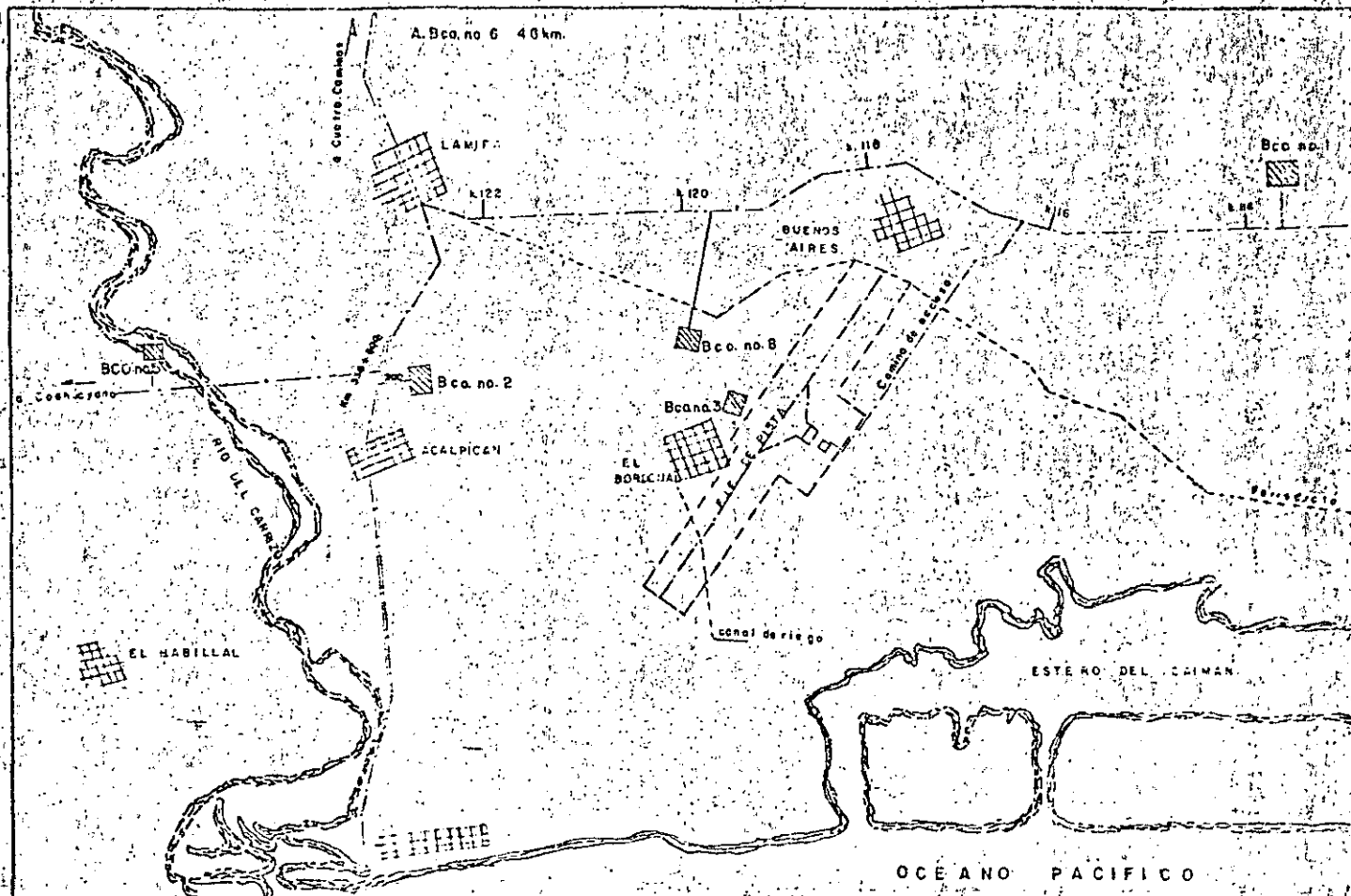
RIOBOO S.A.	
REVISO	APROBO:

30



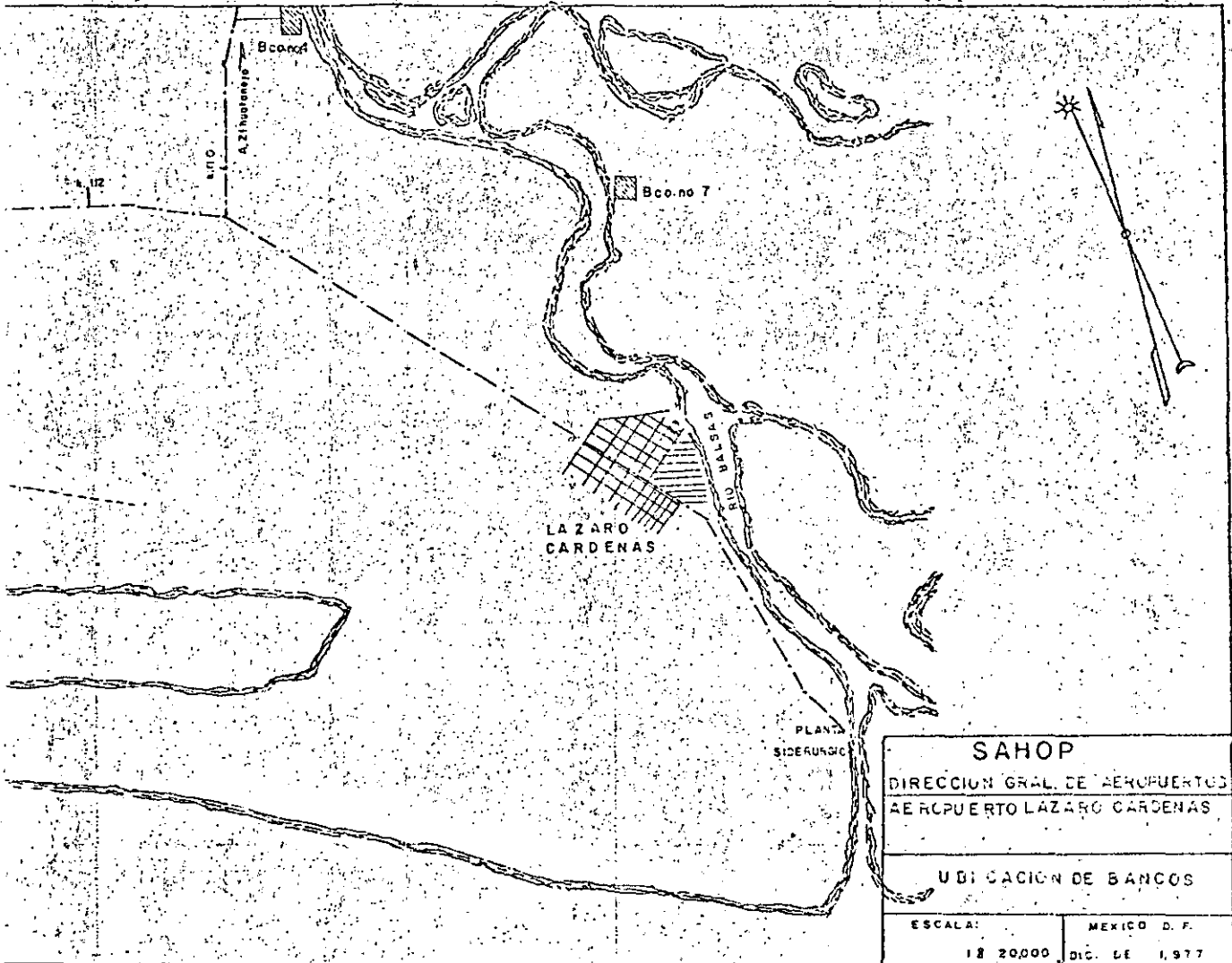
etal  
 lloso "G C"  
 "S C"  
 a plasticidad "CL y CH-1"

SAHOP DIRECCION GRAL. DE AEROPUERTOS	
AEROPUERTO LAZARO CARDENAS	
PERFIL ESTRATIGRAFICO	
DEPARTAMENTO	OFICINA DE
DE PROYECTOS	PAVIMENTOS
MEXICO D.F.	DIC. DE 1977



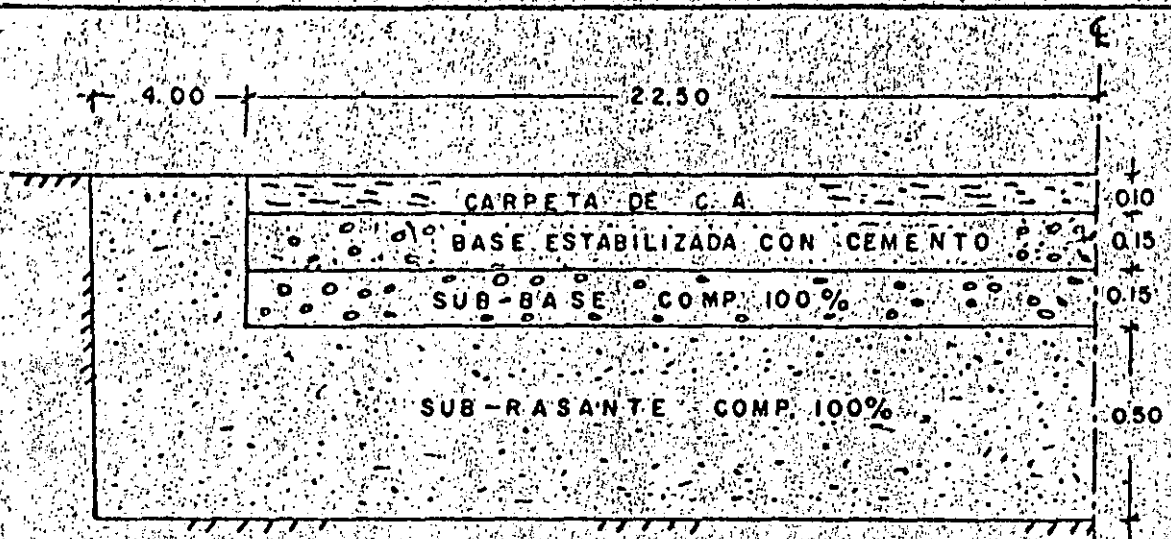
RIOBOO S.A.

REVISO:	A PROBO:
---------	----------

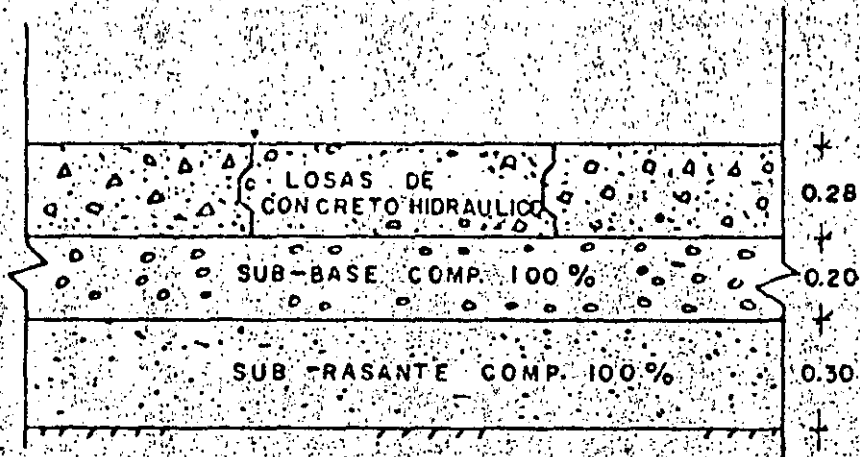


<b>SAHOP</b>	
DIRECCION GRAL. DE AEROPUERTOS	
AEROPUERTO LAZARO CARDENAS	
UBICACION DE BANCOS	
ESCALA:	MEXICO D.F.
1:20,000	DIC. DE 1977





SECCION PISTA 05-23  
CASO "A" CON BASE ESTABILIZADA

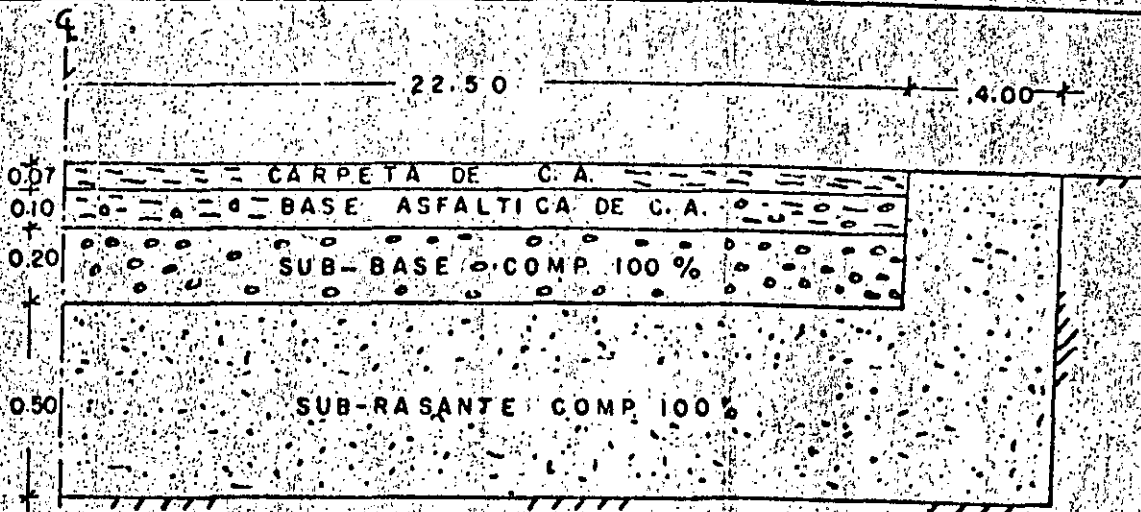


PAVIMENTO RIGIDO  
PLATAFORMA Y RODAJES

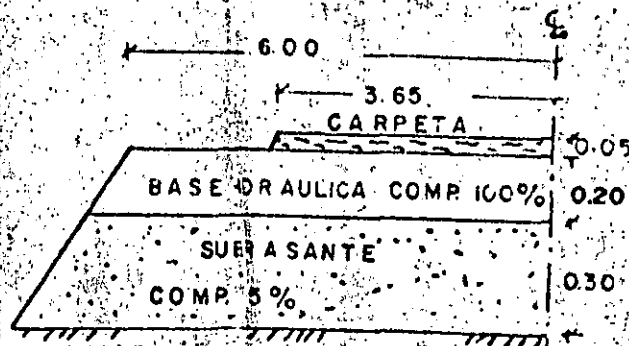
RIOBOO S.A

REVISO:

APROBO:



SECCION PISTA 05-23  
CASO "B" CON BASE ASFALTICA



SECCION CAMINO DE ACCESO

SAHOP DIRECCION GRAL DE AEROPUERTO

AEROPUERTO CAZARO CARDENAS

SECCIONES DE PAVIMENTO

DEPARTAMENTO  
DE PROYECTOS

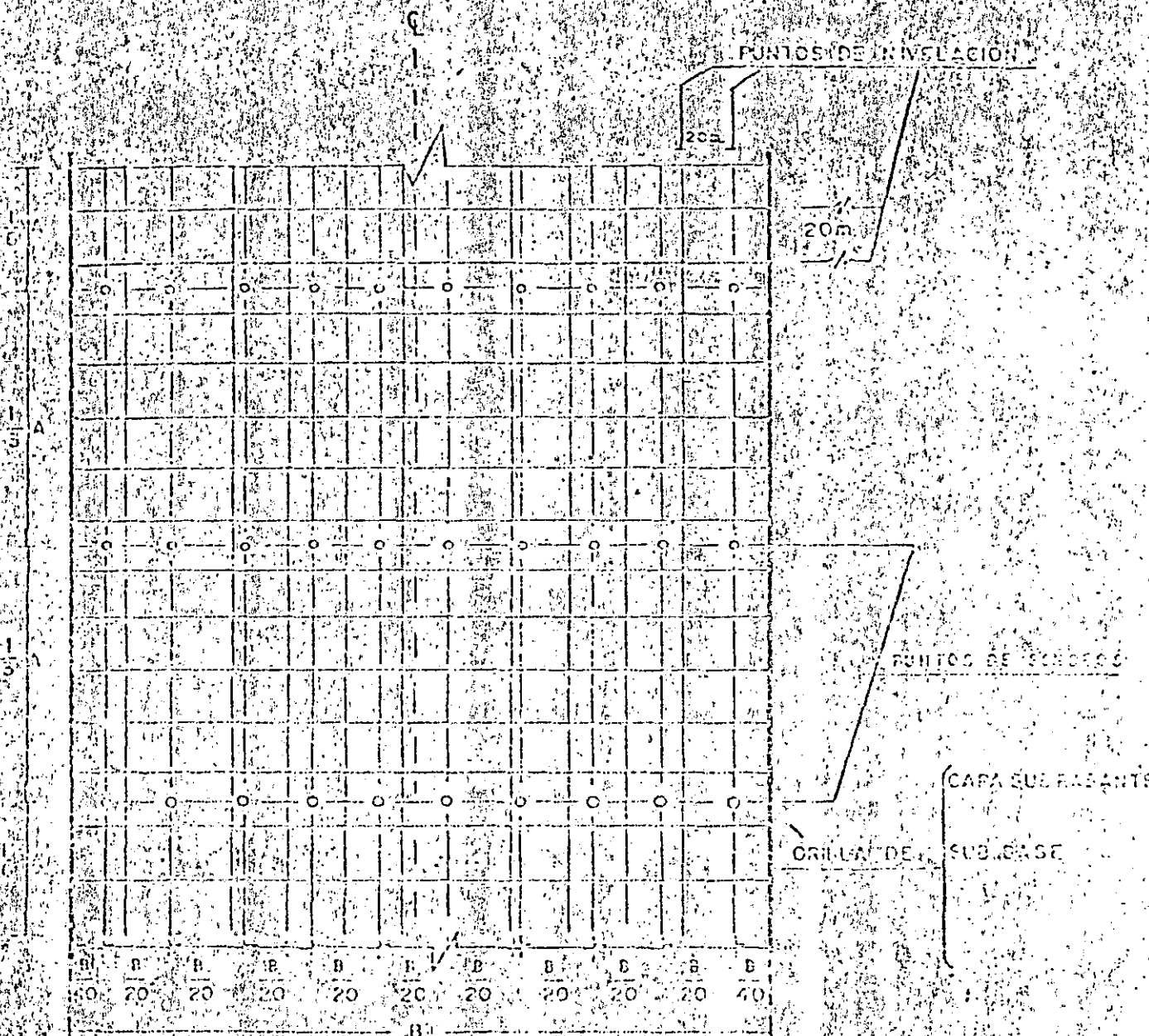
OFICINA DE  
PAVIMENTOS

MEXICO D.F.

DIC. DE 1977

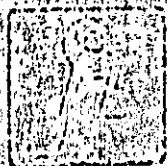


# PLATAFORMA



UBICACION DE SONDEOS





RIOBOO SA

8.2 Ensayes de Laboratorio

ENSAJE DE MATERIALES  
PARA SUB-CASES Y BASES.



RIODOO S.A.

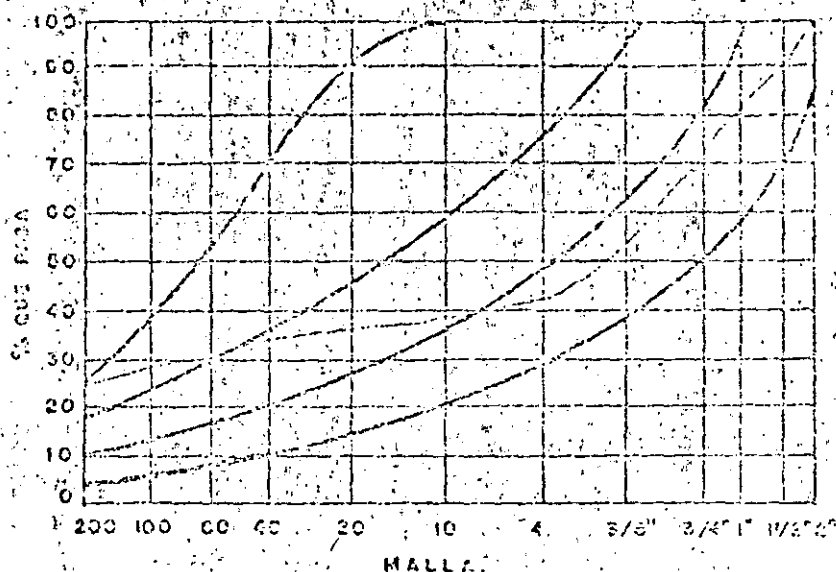
Firma: D.C.A. S.A. H.O.P.  
CARGO: AERQUELINO LAZARO CARDENAS MICHA

Procedencia: Bco. No. 1 para Sub-casante  
Descripción: Bco. Ubicaco en el Km. 115160  
Del camino Zihuatanejo la mira 400 mts. Izq. Desv.

Muestras Numero: 557, A, B, C y D  
Fecha Recibo: 21-11-77

Composicion Granulometrica	
MALLA	% pasando
2"	100
1 1/2"	90
1"	81
3/4"	72
3/8"	54
Nº 4	42
Nº 10	39
Nº 20	36
Nº 40	34
Nº 60	30
Nº 100	28
Nº 200	25
Retenido 2"	%

GRACA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Peso Vol. Suelto 1490 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Máximo 1950 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua Optimo 15.1 %
Valor Relativo de Soporte (CBR) Estándar 8.9 % Del Lugar	Expansión 4.2 %	Valor Cementante 2.8 kg/cm <sup>2</sup>
Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40		Equivalentes Arena 17.5 %
Limite Líquido 40.7	Indice Plástico 20.4	Absorción Mat. Mayor 1/4" 3.8 %
Limite Plástico 20.3	Contracción Línea 6.6	Mat. Menor Núm. 4 %
Clasificación Petrográfica Grava arena Arcillosa	Tipo de Suelo (SUCS) G.C	

Observaciones:				
Elaborado por: R. L. B. L.	5	Diciembre 1977	110-1	



RIODOO S.A.

TERRAGERIA CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.  
 OBRA: AEROPUERTO LEZARO CARDENAS, MICH.

Procedencia: Eco. #1 Para Sub-rasante	Fecha de Extracción: 14-XI-77
Descripción: Eco. Ubicado en el Km. 113+600 de la mira con 400mts. Dsv. Izquierda	Fecha Recibo: 21-XI-77

IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo:	557.A	557.B
Estación:	5.1	5.2
Profundidad del Sonda:	1.00	1.00
Nº de Compresión:	---	---
Contenido de Agua en %:	---	---

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo:	3"	3"
Peso Malla Núm. 4:	40	42
Peso Malla Núm. 40:	33	36
Peso Malla Núm. 200:	24	26
Peso Volumétrico Sucho:	1500	1480
Peso Volumétrico Húmedo:	1965	1950
Humedad Óptima:	15.2	15.4
Límite Líquido:	42.1	40.7
Índice Plástico:	20.2	19.7
Contracción Líquid.	6.4	6.3
Clasificación S.H.C.S.	G.C	G.C
M.R.S. Estándar:	11.7	8.7
Espansión %:	4.0	4.2

ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación:	95	95
Humedad de Frueba:	16.7	16.7
Valor Relativo Soprito:	18.1	17.9
% Compactación:		
Humedad de Frueba:		
Valor Relativo Soprito:		

Observaciones:



**RIOBOO S.A.**

**40 ENSAYE DE MATERIALES PARA SUBBASES Y BASES**  
 Para: D.C.A. S.A. III-10-77  
 Obrd. AEROPUERTO LAZARO CARDENAS, MICH.

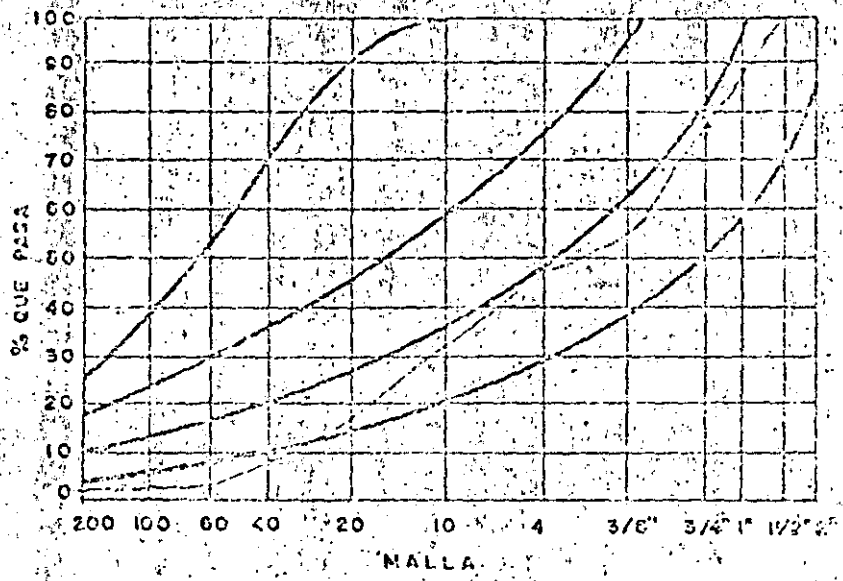
Procedencia: Río Balsas Bco. No. 4  
 Descripción: Bco. ubicado en Zona de depósito  
 Camino Río y Balsas

Muestras: 510  
 Fecha Recibo: 16-VI-77

Composición Granulométrica

MALLA	% Pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	88
3/4"	78
3/8"	55
Nº 4	48
Nº 10	34
Nº 20	17
Nº 40	9
Nº 60	4
Nº 100	3
Nº 200	2
Retenido 2"	%

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Peso Vol. Suelto: 1730 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Máximo: 2180 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua Optimo: 6.1 %
Valor Relativo de Soporte (CBR): 66.0 % Del Lugar	Expansión: 0.0 %	Valor Cementante: 0.6 kg/cm <sup>2</sup>
Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40		Equivalente Arena: 76 %
Limite Líquido: 18.2	Índice Plástico: N.P.	Absorción Mat. Mayor 1/4": 2.7 %
Limite Plástico: 0.3	Contracción Lineal: 0.3	Mat. Menor Núm. 4: %
Clasificación Petrográfica: Grava arena de río	Tipo de Suelo (SUCS): G.M.	

Observaciones: Material Triturado Parcialmente en Laboratorio  
 % Material Triturado: 20 %





**RIOBDO S.A.**

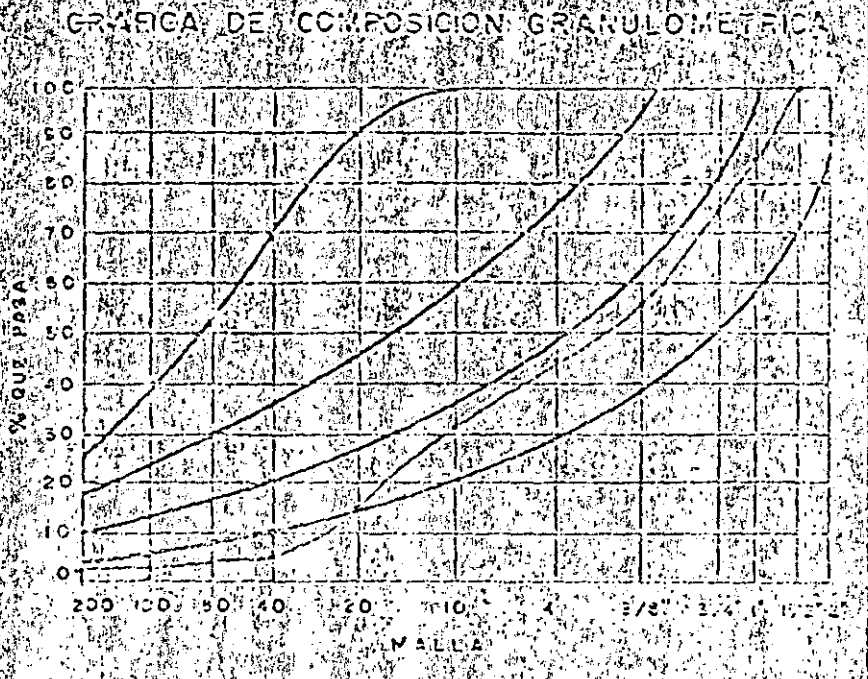
**41 ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUBBASES Y BASES**  
Foro D.G.A., S.A.H.O.P.  
C.C.C. AEROPUERTO LAZARO CARDENAS, MICH.

Procedencia: Bco. EL Carrizo Bco. No. 5  
Descripción: Material para Base Hidráulica ubc  
Km. 1+000 Cam. Playa Azul Coahuayana 600 mts. Desv. Der.

Resistencia Número: 533  
Fecha: FCS 50  
15-XI-77

Composición Granulométrica

MALLA	Porcentaje
2"	
1 1/2"	100
1"	85
3/4"	75
3/8"	57
Nº 4	44
Nº 10	31
Nº 20	14
Nº 40	5
Nº 50	4
Nº 100	3
Nº 200	2



Retenido 2" %  
Peso Vol. 1570 Ton/m<sup>3</sup>  
Valor Relativo de Soporte (CSR) Estándar 83 % Del Lugar

Peso Vol. Máxima 2120 Ton/m<sup>3</sup>  
Expansión 0.0 %

Cont. Agua 4.3 %  
Gr. Fino 0.0 %  
Ecuivalente Arena 74 %

Pruebas en Material Temizado For. Ho. Mollo Num. 40

Adición: Mol. Mayor 1/4" 1.7 Mol. Menor Num 4

Límite Líquido 20.5  
Límite Plástico ---

Índice Plástico N.P.  
Compresión Lineal 0.6

Densidad Mol. Mayor 1/4" 2.55 Mol. Menor Num 4

Clasificación Internacional Grava arena Tipo de Suelo (SUCS) GCW

Observaciones

N.C.L. R.M.L.L. 2 Diciembre 77 110



**RIOBOO S.A.**

**42**

**ENSAJE DE MATERIALES  
PARA SUBBASES Y BASES**

Para: D.C.A., S.A.H.O.P. - C

Obra: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS, MICH.

Procedencia: Edo. de Piedra Edo. No. 6	Muestras: Numero 508
Descripcion: Edo. ubicado en el Km 28 del camino cuatro caminos, la mira con 200 mts. a desv. Der.	Fecha Recibo: 21-11-77

Composicion Granometrica

MALLA	% pasando
2"	100
1 1/2"	100
1"	75
3/4"	52
3/8"	32
Nº 4	20
Nº 10	12
Nº 20	7
Nº 40	5
Nº 60	4
Nº 100	3
Nº 200	2

**GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA**



Peso Vol. Suelto: 1500 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Maximo: 2130 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua Cotimo: 5.6 %
Valor Relativo de Soporte (CER): Estandar 1030 % Del Lugar	Expansion: 0.0 %	Valor Cementante: 0.0 kg/cm <sup>2</sup>
Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Num. 40		Equivalente Arena: 75 %
Limite Liquido: 19.5	Indice Plastico: N.P.	Absorcion Mat. Mayor 1/4": 1.4 %
Limite Plastico: ---	Contraccion Lineal: 0.0	Mat. Menor Num. 4: --- %
Clasificacion Psicografica: Grava arena Triturada	tipo de Suelo (SUCS): G.M.	Densidad Mat. Mayor 1/4": 2.55
		Mat. Menor Num. 4: --- %

Observaciones: Material Triturado, Totalmente en Laboratorio (Granito sano)

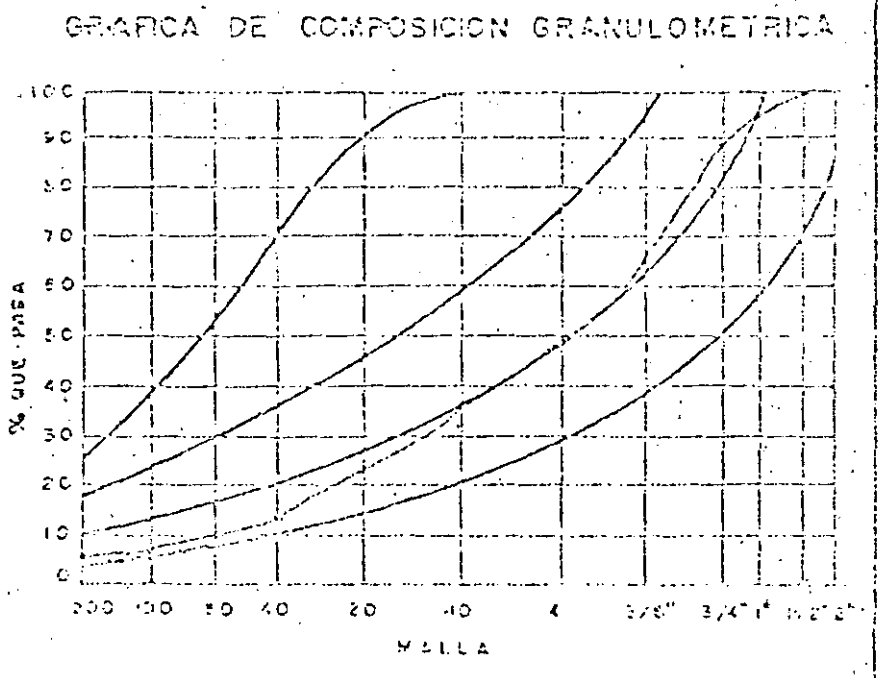


**RIOBDO S.A.**

**43 ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUS BASES Y BASES**  
Para: D.G.A., S.A.H.O.P.  
Cbra: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS NICH.

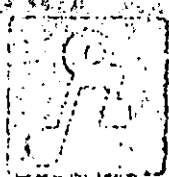
Procesado en	Bco. El Carrizo No. 5	Muestras Número	1- Ens. 585
Descripción	Base Estabilizada 3 % Cemento	Fecha Recibo	10- XII- 77

Composición Granulométrica	
MALLA	% Pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	95
3/4"	89
3/8"	65
Nº 4	50
Nº 10	36
Nº 20	22
Nº 40	13
Nº 60	10
Nº 100	7
Nº 200	6
Retenido 2"	%



Peso Vol. Suelto	1790 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Máxima	2190 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua Óptimo	5.4 %
Valor Relativo de Soporte (CBR)	Estándar 132 % Del lugar	Expansión	0.0 %	Valor Cementante	4.7 %/ton/2
Pruebas en Material Terminado Por la Malla Núm. 20				Absorción	
Límite Líquido	21.2 %	Índice Plástico	---	Mét. Mayor 1/4"	1.7 %
Límite Plástico	---	Contracción Líquid.	0.2	Mét. Menor Núm. 4	%
Clasificación Petrográfica	Grav. arena de Río	Tipo de Suelo (SUCS)		Densidad	
				Mét. Mayor 1/4"	2.55 %
				Mét. Menor Núm. 4	%

Observaciones: Material Triturado parcial Estabilizado con Cemento Portland.



RIOBOO S.A

ENSAYE DE MATERIALES PARA

44 BASE ASFALTICA EN PLANTA

Para: D.C.A., S.A.H.O.P.

Obra: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS NICH.

Procedencia Material para Base Asfáltica Bco. 5

Muestra Número

Descripción Bco. ubicado en el Km. 1-000 del Cami-  
no Playa Azul Coahuayana con 600 mts. Desv. Der.

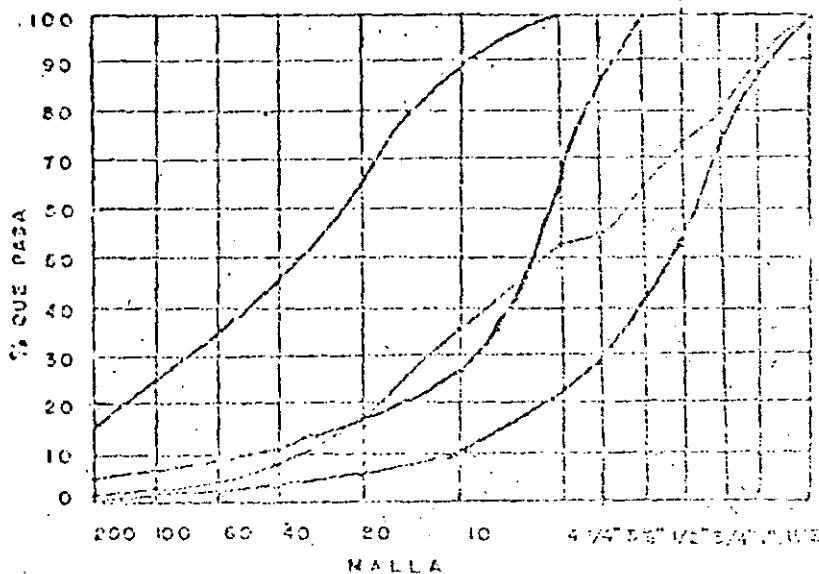
333, 334, 335 y 336

Fecha Recibo  
15-XI-77

Composición Granulométrica

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% que pasa
1 1/2"	100
1"	90
3/4"	80
1/2"	72
3/8"	65
1/4"	56
Nº 4	52
Nº 10	37
Nº 20	18
Nº 40	8
Nº 60	4
Nº 100	3
Nº 200	2



Referido en Mollo

CARACTERISTICAS MATERIAL PIEDRO		CARACTERISTICAS DEL ASFALTO		CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA	
CLASIFICACION	Grava arena	TIPO	No. 6	VACIOS	5.0 %
RETROGRANICA	de Pío	ADHERENCIA	nodular	ESTABILIDAD	1190 %
TIPO de SUELO (SUCS)	S W	S. OPT. ASFALTO	5.7 %	FLUJO	3.4 %
% DESGASTE	24.2	% ASFALTO MEZCLA	5.7	VACIOS MAX. PIEDRO V A M.	16.8 %
EQ. DE ARENA	78 %	% VOL. MEZCLA		VACIOS ASFALTO	71 %
DENSIDAD	2.57 %		2260 kg/m <sup>3</sup>		
ABSORCION	1.5 %	DENS. TECNICA MAXIMA	2375 kg/m <sup>3</sup>	L.L. 20.0%	LPN P % 0.3 %

OBSERVACIONES

P.U.S.S. = 1545 kg/m<sup>3</sup>

Material Triturado Parcialmente en Laboratorio

Material Triturado 20 %

Bco. al Carrizo

FORMA

N.C.L.

FORMA

F.N.L.

FORMA

F.A.L.L.

FORMA

2

FORMA

1817

FORMA DE LA MUESTRA 110-27



RIOBOO S.A.

REPORTE DE CONTROL DE CARPETA  
POR MEDIO DE PASTILLAS MARSHAL

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS, MICH.

ENSAJE Nº	DESCRIPCION	% ASFALTO	PESO VOLUM.	% VACIOS	ESTABILIDAD	FLUJO M.M.
1	3 Especímenes	4.5	2220	8.1	870	2.7
2	6 "	5.0	2235	6.9	1040	3.0
3	" "	5.5	2250	5.7	1170	3.3
4	" "	6.0	2270	4.0	1200	3.6
5	" "	6.5	2275	3.8	1140	3.9
6	" "	7.0	2270	2.9	990	4.1
Diseño 1 de Base Asfáltica						
Banco el Carrizo						

VALORES MARSHALL DE PROYECTO

% Optimo Cemento Asfalto	5.7	%	% Vacios	5.0	%
Tipo de Asfalto	Nº 6		Vacios Llanos C.A.	71	%
Densidad Teórica Máxima	2375	Ton/m <sup>3</sup>	Estabilidad	1100	kg
Densidad de Proyecto	2260	Ton/m <sup>3</sup>	Flujo	3.4	mm

Observaciones

ELABORADO N.C.L.	APROBADO R.A.H.L.	10	Diciembre	1972	8110-291
---------------------	----------------------	----	-----------	------	----------



RIODOO S.A.

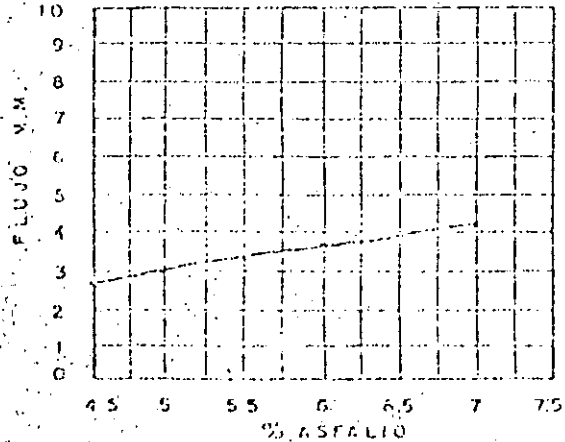
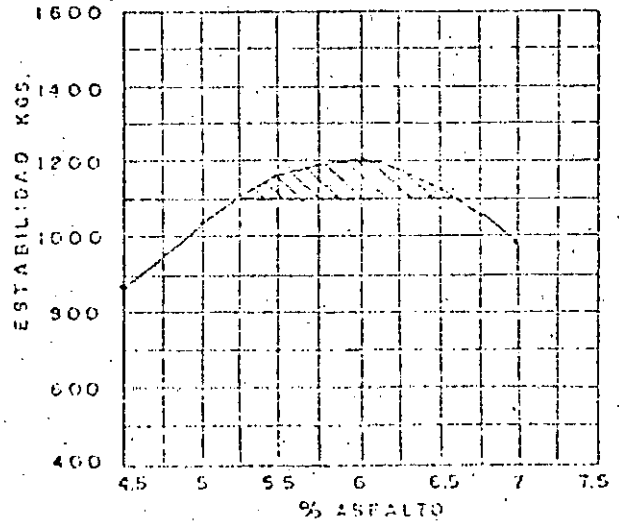
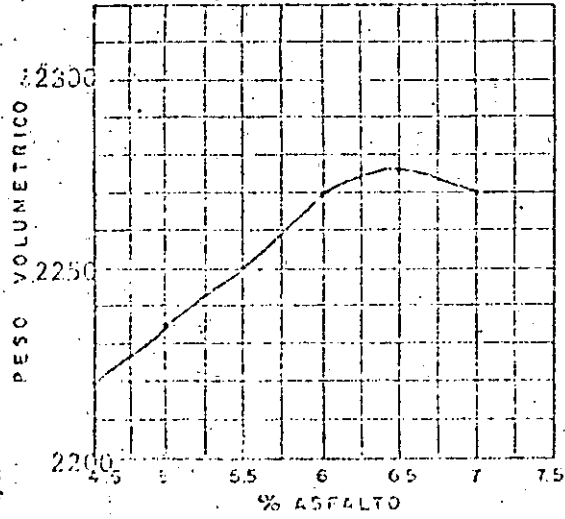
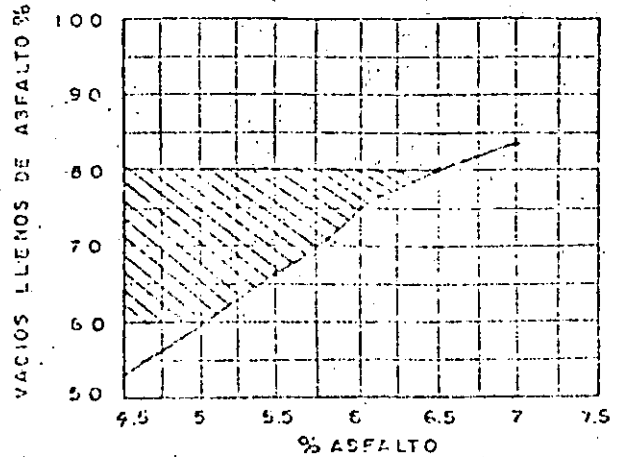
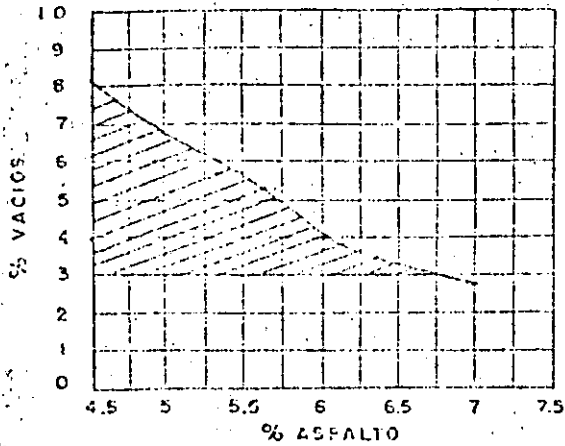
ANALISIS MARSHALL DE ESTUDIO

46

DE MEZCLA ASFALTICA

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.



VALORES OPTIMOS

% VACIOS	MIN 4.6	MAX 6.7	OPT 5.7
VACIOS ASFALTO	5.0	6.5	5.7
ESTABILIDAD	5.3	6.3	5.8
FLUJO	4.5	6.2	5.5

% OPTIMO DE ASFALTO 5.7

FIGURA H.C.I.

FIGURA R.A.I.L.

10

Diciembre 1977

110-29 R.





**RIOBOO SA**

# ENSAYE DE MATERIALES PARA 4<sup>a</sup> MEZCLA ASFALTICA EN PLANTA

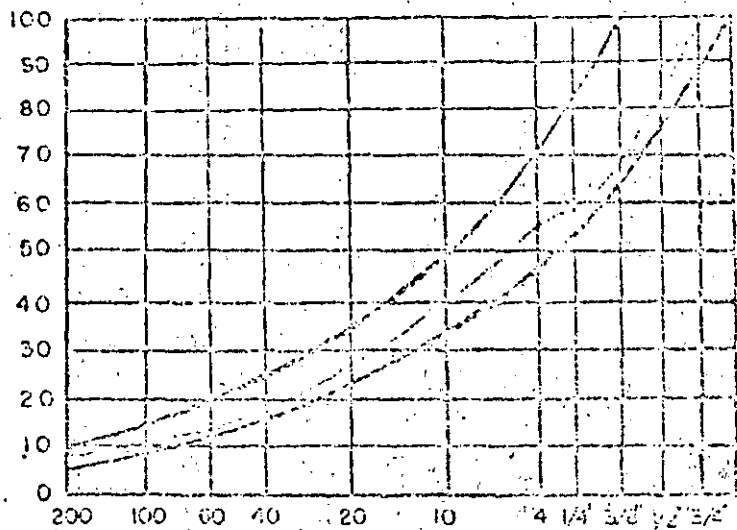
PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH. /

Procedencia Mezcla para l. Carpetas	Mostra Número
Descripcion 8% Limo Río Balsas Bco. 6	Mezcla de Carpetas 1
92% Grava arena Trifurada río Balsas	Fecha Recibo
	16 y 21- XI- 77

Composicion Granulométrica	
MALLA	% que pasa
1"	
3/4"	100
1/2"	83
3/8"	68
1/4"	58
Núm. 4	55
Núm. 10	40
Núm. 20	27
Núm. 40	17
Núm. 60	13
Núm. 100	10
Núm. 200	8

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



CARACTERISTICAS MATERIAL PETREO		CARACTERISTICAS DEL ASFALTO		CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA	
CLASIFICACION PETROGRAFICA	Grava arena	TIPO	No. 6	VACIOS	4,1 %
TIPO de SUELO (SUCS)	G W	ACHERENCIA	regular a buena	ESTABILIDAD	1469 hrs.
% DEGRASTE	18.6	C. OPT. ASFALTO	6.1 %	FLUJO	3.1 mm.
EQ. DE ARENA	57.0	% ASFALTO MEZCLA	6.1 %	VACIOS MAT. PETREO	16.8 %
DENSIDAD	2.55	% P. VOL. MEZCLA		VACIOS ASFALTO	16.8 % 75 %
ABSORCION	2.4	DENS. TEORICA MAXIMA	2255 kgs/m <sup>3</sup>	V. A. M.	16.8 %
			2350 kgs/m <sup>3</sup>		

OBSERVACIONES

L.L. = 25.9 %  
I.P. = 4.5 %  
C.L. = 1.3 %  
P.U.S.S. = 1565 kgs/m<sup>3</sup>

FORMA O	DE USO	10	Noviembre	1977	110-32
N.C.L.	N.C.L.				



RIODO SA

PRUEBAS FISICAS DE AGREGADOS

50

PARA CONCRETO

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia Río Balsas Eco. No. 4

Muestras Número

510, 511, 512 y 513

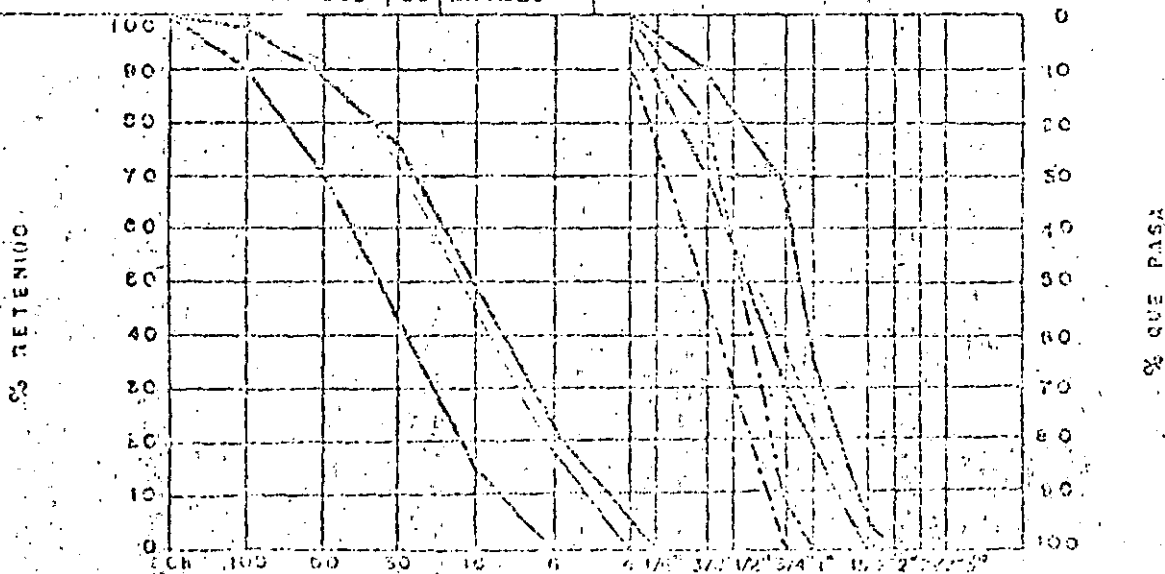
Descripción Grava arena de Río para Concreto

Fecha Recibo

Promedio

16- XI- 77

Concepto	Arena 1	Arena 2	Concepto	Grava 1	Grava 2
Retenido en malla 4"	46		Retenido en malla 2"		
" " " 6"	18		" " " 1/2"		
" " " 16"	28		" " " 3/4"	38	
" " " 30"	27		" " " 3/8"	32	
" " " 50"	18		" " " 4"	30	
" " " 100"	7		Pasa la Malla 4"	54	
Peso Malla Núm. 100	2		Densidad	2.59	
Modulo de Fisura	3.18		Absorción	2.0	
Densidad	2.54		Peso Volumetrico Cuarta	1500	
Absorción	3.0		Peso Volumetrico Verificada	1660	
Peso Volumetrico Suelto	1545		Int. Acelerado	4.7	
Peso Volumetrico Verificado	1710		Pérdida Abrasión	18.6	
Intemperismo Acelerado	---		Observaciones		
Pérdida por Abrasión	---		Eq. de Arena 72 %		
Materia Organica (Color)	1 Cumple		Ret. en 2" 11%		
Pasa Malla Núm. 200	6.3 por lavado				



Formulario

H.C.L.

Aprobado

R.A.L.L.

10

Diciembre

1977

Norma

110-36





RICECO S.A.

PROPORCIONAMIENTO DE UNA  
51 MEZCLA DE CONCRETO

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS NICH.

Procedencia Eco. Río Balsas No. 4

Muestras Número: 510, 511, 512 y 513

Descripción Proporcionamiento para Losas de Concreto

Fecha Recibo 10- XI- 77

DATOS DE PROYECTO

MATERIALES

f'c 350 kg/cm<sup>2</sup>

Cemento Normal Tipo I

Revenimiento 2-4 cm

Arena 1 Río Balsas

M.R. kg/cm<sup>2</sup>

Arena 2

Tamaño Máximo 1 1/2"

Grava 1 Río Balsas

Aditivo Injector de Aire

Grava 2

MEZCLA PROPUESTA

MATERIALES	Proporción Unitaria en Peso	Proporción Unitaria en Volumen	Proporción en Peso Por/saco de cém.	Proporción en Vol./saco de cemento	Cantidad Por m. <sup>3</sup> de concreto
Cemento	1.00 kg.	1.00 t	50.0 kg.	33.0 t	390 kg.
Arena 1	1.82 kg.	1.70 t	94.0 kg.	56.0 t	710 kg.
Arena 2	kg.	t	kg.	t	kg.
Grava 1	2.74 kg.	2.63 t	137.2 kg.	80.8 t	1070 kg.
Grava 2	kg.	t	kg.	t	kg.
Agua	0.37 kg.	0.56 t	18.6 kg.	18.6 t	145 kg.
Sumas	kg.	t	kg.	t	2315 kg.

Revenimiento Obtenido 3.0 cm

Agua Utilizada Potable

Características de la Mezcla

Buena, manejable

Resistencia a X Compresión X Flexión

2 Vigas a 14 días 39.2 kg/cm<sup>2</sup>

2 Vigas a 28 días 48.7 kg/cm<sup>2</sup>

2 Cilindros a 28 días 346 kg/cm<sup>2</sup>

Observaciones:

Se utilizó Silica Aire 50 cms<sup>3</sup> por saco de  
Cemento aire incluido 4.4 %

FORMULO

N.C.L.

ATENCION

R.A.L.L.

14

Diciembre

1977

10-37



RIOBOO S.A.

# 52 TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia. Camino de Acceso	Fecha de Entrega.
Descripción. Material de Terracería ( Terreno Natural)	8-XI-77 Fecha Recibo. 16-XI-77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	512	513
Estación.	0+300	0+750
Profundidad del Sonda.	1.00mts.	1.30 mts.
% de Compactación.	91.0	81.0
Contenido de Agua en %	17.1	11.0

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	3"	1 1/2"
Pasa Malla Núm. 4	54	97
Pasa Malla Núm. 40	41	85
Pasa Malla Núm. 200	27	51
Peso Volumétrico Suelto.	1360	1100
Peso Volumétrico Máximo.	1650	1660
Humedad Óptima.	22.0	20.0
Límite Líquido	34.0	36.5
Índice Plástico	13.7	19.2
Contracción Líquid.	6.9	7.4
Clasificación S.U.C.S.	C.C	C.L
V.R.S. Estándar.	55.0	12.6
Expansión %	1.0	1.0

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	25.0	23.0
Valor Relativo Secante.	11.3	3.6
% Compactación	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	23.5	21.5
Valor Relativo Secante.	23.7	5.6

Observaciones:

Elaborado por: A.P.C.L.	Revisado por: S.A.L.L.	9	Diciembre 1977	Esc. No. 112-1
-------------------------	------------------------	---	----------------	----------------



RIODOO SA

**53 TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES**

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: ALPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Precedencia. B. lataforma de Extra concreto

Fecha de Extracción:

10- XI- 77

Descripción. Material de Terracería.  
(Terreno Natural)

Fecha Recibo:

16- XI- 77

**IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR**

Núm. Ensayo	520	521
Estación.	0+760	0+820
Profundidad del Sonda.	0.80 mts.	0.80mts.
% de Compactación.	88.0	78.0
Contenido de Agua en %	17.8	13.8

**CARACTERISTICAS DEL MATERIAL**

Tamaño Máximo.	4"	4"
Paso Malla Núm. 4	57	52
Paso Malla Núm. 40	41	39
Paso Malla Núm. 200	31	32
Peso Volumétrico Suave.	1390	1350
Peso Volumétrico Máximo.	1930	1970
Humedad Óptima.	14.0	14.0
Límite Líquido	47.3	45.6
Índice Plástico	23.2	23.2
Contracción Lineal	11.8	11.8
Clasificación S.U.C.S.	G.C.	G.C.
M.R.S. Estándar.	4.6	3.6
Expansión %	1.2	5.1

**ESTUDIO DE PAVIMENTO**

% Compactación	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	17.0	17.0
Valor Relativo Soporte.	24.0	12.0
% Compactación	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	15.5	15.5
Valor Relativo Soporte.	40.7	26.7

Observaciones:

PROYECTO. N.C.L.	AÑO R.A.L.L.	9	Diciembre	1977	REP. MICH. 111-5
---------------------	-----------------	---	-----------	------	---------------------



**RIOBOO SA**

### 54 TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.C.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia: Pista Principal	Fecha de Extracción: 12-XI-77
Descripción: Material de Terracería (Terreno Natural)	Fecha Recibo: 21-XI-77

#### IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensaye.	544	545
Estación.	0+100	0+300
Profundidad del Sonda.	1.40 Mts.	1.60 Mts.
% de Compactación.	91.0	91.0
Contenido de Agua en %	17.5	12.1

#### CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	3"	3"
Peso Malla Núm. 4	45	31
Peso Malla Núm. 40	33	17
Peso Malla Núm. 200	22	10
Peso Volumétrico Suelto.	1440	1655
Peso Volumétrico Máximo.	1815	2060
Humedad Óptima.	18.7	10.9
Límite Líquido	47.4	50.2
Índice Plástico	22.6	32.7
Contracción Líneal.	9.5	12.6
Clasificación S.U.C.S.	G.C	G.C
V.R.S. Estándar.	4.6	10.2
Expansión %	3.3	3.0

#### ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Fructa.	21.7	13.9
Valor Relativo Soporta.	16.9	10.6
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Fructa.	20.2	12.4
Valor Relativo Soporta.	26.7	31.3

Observaciones:

Elaborado: N.C.L.	Aprobado: R.A.L.	7	Diciembre	1977	112-1
-------------------	------------------	---	-----------	------	-------


 RICOBO, S.A.

## MEMORIA DE CALCULO

## AEROPUERTO DE LAZARO CARDENAS MICH.

Camino de Acceso y Plataforma de Estacionamiento de Vehículos.Datos de Diseño.

Tránsito mezclado en ambos sentidos	=	4,000 V.R.D.A.
% De Vehículos Pesados	=	20 %
Tasa de Crecimiento Anual	=	10 %
Peso Promedio de Vehículos pesados	=	12.3 tons.
Peso Máximo por Eje	=	8.2 tons
Valor Relativo de Soporte de la Terracería al 90 % de la Comp.		6.7
Valor Relativo de Soporte de la Sub-rasante al 95 % de Comp.		14.3

Criterio de diseño del Instituto de Ingenieros (U.N.A.M.)

En los anexos No. 1 a 4 aparecen detallados los procedimientos de cálculo y gráficas de proyecto empleados, de donde se obtuvieron los siguientes datos:

Tránsito acumulado. 1'803,630

De acuerdo con el V.R.S. de diseño de las terracerías y el tránsito acumulado se obtiene un índice de espesor de 48 cm.

Ahora, de acuerdo con los datos de la Sub-rasante se obtiene un índice de espesor de 30 cm.

Tomando en consideración los datos obtenidos se propone la siguiente estructuración del pavimento, la cual cubre los requerimientos tanto de las terracerías como de la capa Sub-rasante.



RIODOO SA

56

(2)

Sub-rasante	=	30 cm.
Base Hidráulica	=	20 cm.
Carpeta	=	5 cm.

Criterio del Instituto del Asfalto.

Tomando como base para el proyecto del pavimento los datos de diseño anotados inicialmente, se procedió a efectuar el cálculo que aparece en los anexos Nos. 5 a 7, de donde se obtuvo la estructuración que se anota a continuación, y que cubre de manera equilibrada las necesidades tanto de las terracerías como de la capa Sub-rasante.

Capa Sub-rasante	30 cm.
Base Hidráulica	20 cm.
Carpeta de Concreto Asfáltico	5 cm.

La estructuración obtenida por ambos métodos, resultó igual por lo cual la proposición al respecto es la antes anotada.



PISTA PRINCIPAL

Datos de Diseño.

Tipo de Pavimento	Flexible
Vida Util	5,000 Cubrimientos
Tipo de Aeronave	Boeing 727
Peso de Aeronave	73 Toneladas
Valor Relativo de Soporte de la Terracería	10
Valor Relativo de Soporte de la Sub-rasante	19.5

Criterio de Diseño

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.

De acuerdo con el V.R.S. de proyecto de las terracerías, el peso de la aeronave y el número de cubrimientos se requiere un espesor total de pavimento de 66 cm

Ahora, al analizar el espesor requerido sobre la capa sub-rasante, obtenemos un espesor total de pavimento necesario de 49 cm.

Tomando en consideración para el tipo de Aeropuerto en proyecto, se recomienda construir una capa sub-rasante de 50 cm, quedaría ampliamente cubierto el espesor requerido por el material de las terracerías, el espesor del pavimento queda gobernado por el espesor determinado para la capa sub-rasante, quedando entonces la estructuración de la siguiente manera.



RIOBOO SA

60

- 6 -

Del análisis de los datos anteriores, se obtiene la estructuración siguiente:

Sub-rasante Compactada al 100 % 30 cm.

Sub-base Compactada al 100 % 20 cm.

Losa de Concreto Hidráulico con  
resistencia a la Flexión por tensión  
45 kgs/cm<sup>2</sup>. 28 cm.

Nota.- Las gráficas utilizadas para obtener la estructuración anterior, aparecen en los anexos 10 y 11.



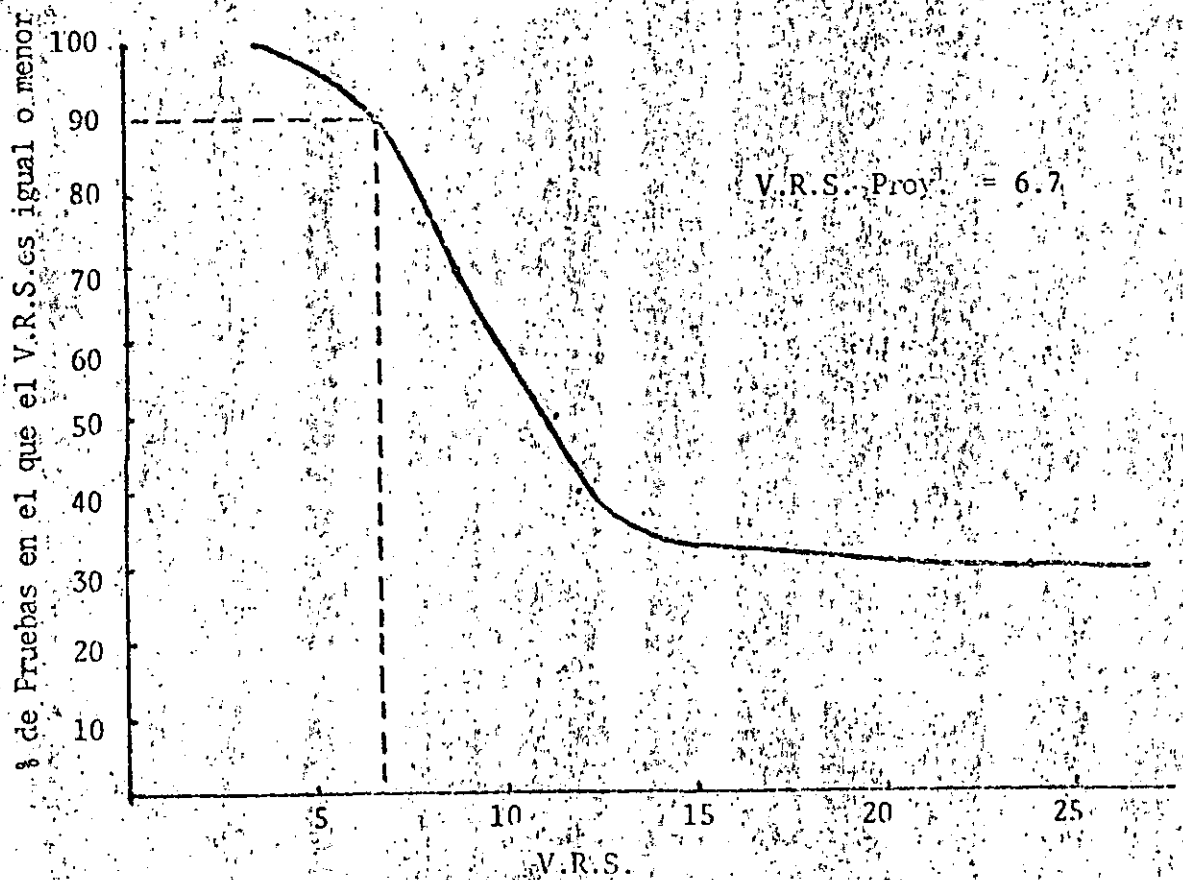


RIOBOO S.A

Obtención de los V.R.S. de diseño.

V.R.S. de las Terracerías al 90 % de Compactación.

11.3, 3.6, 7.0, 10.0, 38.3, 8.7, 35.8, 6.7, 24.0, 12.0



V.R.S. de la capa Sub-rasante.

Banco No. 1

18.1, 17.9, 16.1, 14.3

Banco No. 3

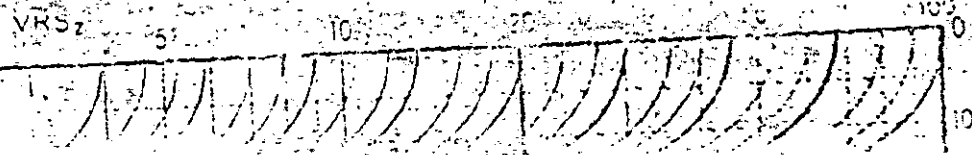
18.4, 16.4, 16.4, 18.5

Los datos obtenidos en ambos bancos recomendados son semejantes, considerandose conveniente adoptar como V.R.S. de diseño de la capa Sub-rasante al 95 % de compactación el valor de 14.3.

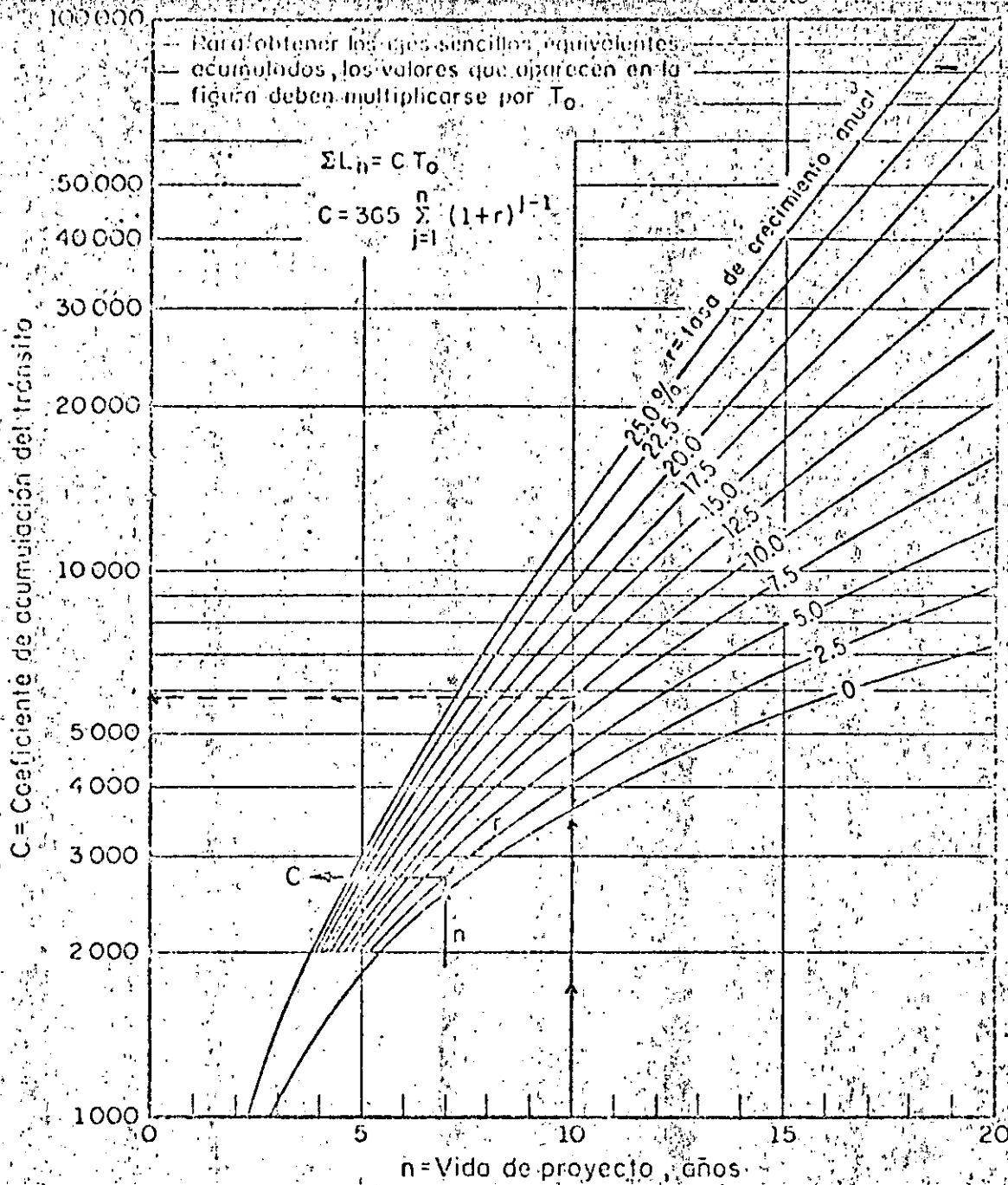
TIPO DE VEHICULO	Número de vehículos en las secciones	Coeficiente de distribución	Número de vehículos en el carril de proyecto	Coeficiente de vehículos cargados o vacíos	Número de vehículos cargados o vacíos por carril N/V	Coeficientes de daño por tránsito (F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> )		Número de ejes equivalentes de 8.2 ton (N <sub>F1</sub> , N <sub>F2</sub> )	
						7.0 cm	2.15 cm	2.40 cm	2.25 cm
A <sub>D</sub>	4,000	0.	1,600	C=		0.005	0		
				V=		0.005	0		
A <sub>C</sub>				C=		0.34	0.042		
				V=		0.34	0.001		
B			150	C=	100	2.0	1.150		115.0
				V=	50	2.0	0.640		52.0
C2				C=		0.88	0.465		
				V=		0.88	0.027		
C3			150	C=	100	0.88	0.675		67.5
				V=	50	0.88	0.044		2.2
T2-S1				C=		3.0	1.740		
				V=		3.0	0.140		
T2-S2			100	C=	50	4.0	1.570		78.5
				V=	50	4.0	0.210		10.5
T3-S2				C=		5.0	1.300		
				V=		5.0	0.150		
Total			2,000			T <sub>0</sub> , T <sub>0</sub> = Transito equivalente inicial		305.7	

Años de servicio, n = 10 Tasa de crecimiento anual, r = 10 %  
 Coeficiente de acumulación del tránsito, C = 5,900  
 Transito acumulado,  $\sum L_n = CT_0 = 1,803,650$   $\sum L_n = CT_0$

Fig. A.4. Tabla para cálculo del tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton



Anexo 2  
62



$\sum L_n$  tránsito acumulado al cabo de n años de servicio, ejes equivalentes de 8.2 ton

C coeficiente de acumulación del tránsito, para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r.

$T_0$  tránsito medio diario por carril en el primer año de servicio, ejes equivalentes de 8.2 ton

$$T_0 = \sum N_i F_i + \sum N_j F_j$$

$N_i, N_j$  promedio diario por carril de vehículos tipo i (cargados o descargados, respectivamente), durante el primer año de servicio

$F_i, F_j$  coeficiente de daño relativo producido por cada viaje del vehículo i (cargado o descargado, respectivamente), ejes equivalentes de 8.2 ton

Fig. A.3. Gráfica para estimar el tránsito equivalente acumulado

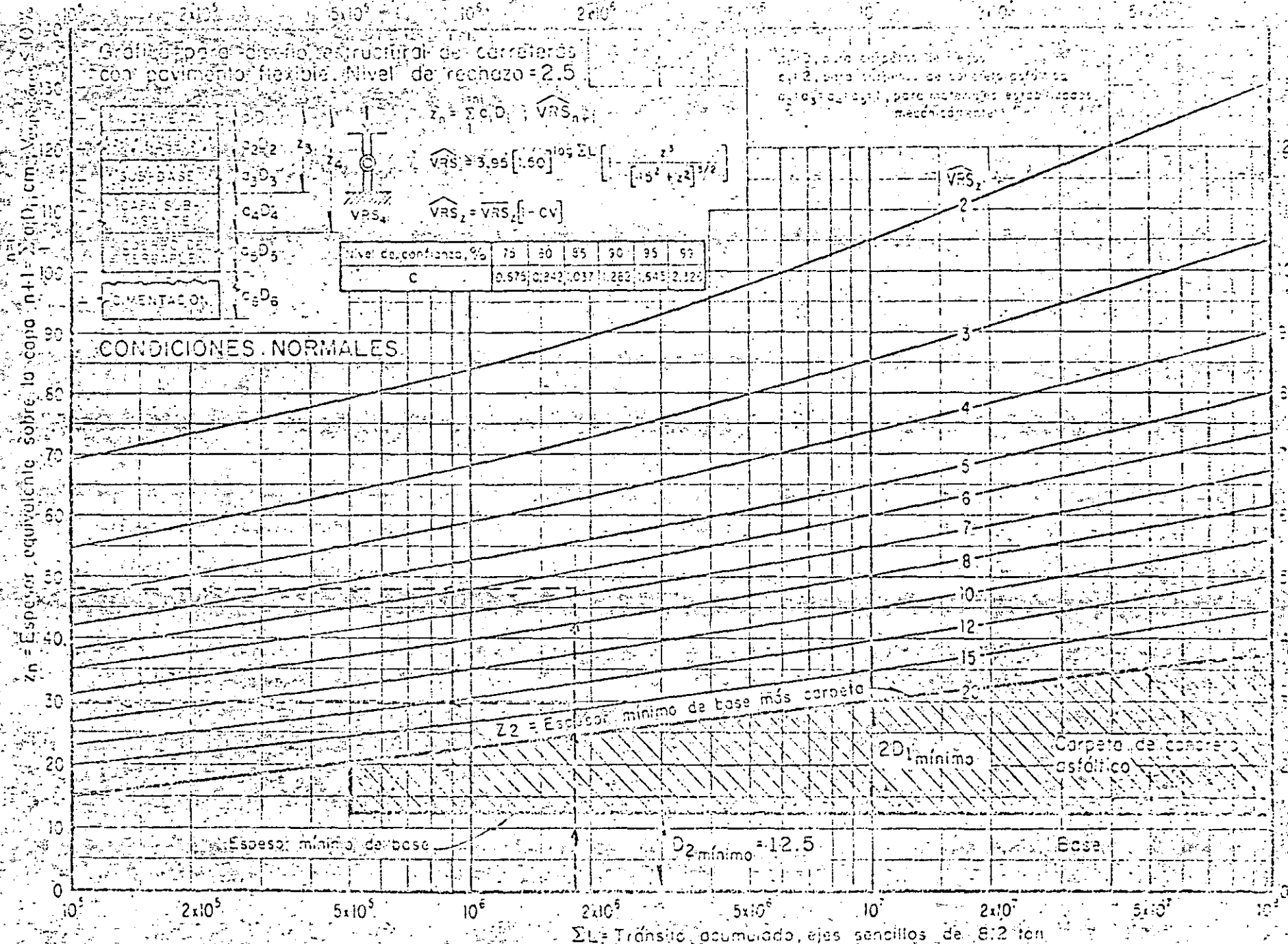


Fig. A.6. Gráfica de diseño para condiciones normales

64 Anexo 4

$\widehat{RS}_2$  5 10 20 50 100



RIOBOO SA

CALCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO

ESTADO: GUERRERO U. CARRERA: Aeropuerto Lázaro Cárdenas Mich. FECHA:

T. R. A. M. O.: Camino de Acceso.

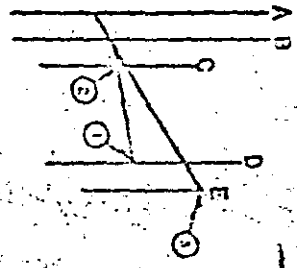
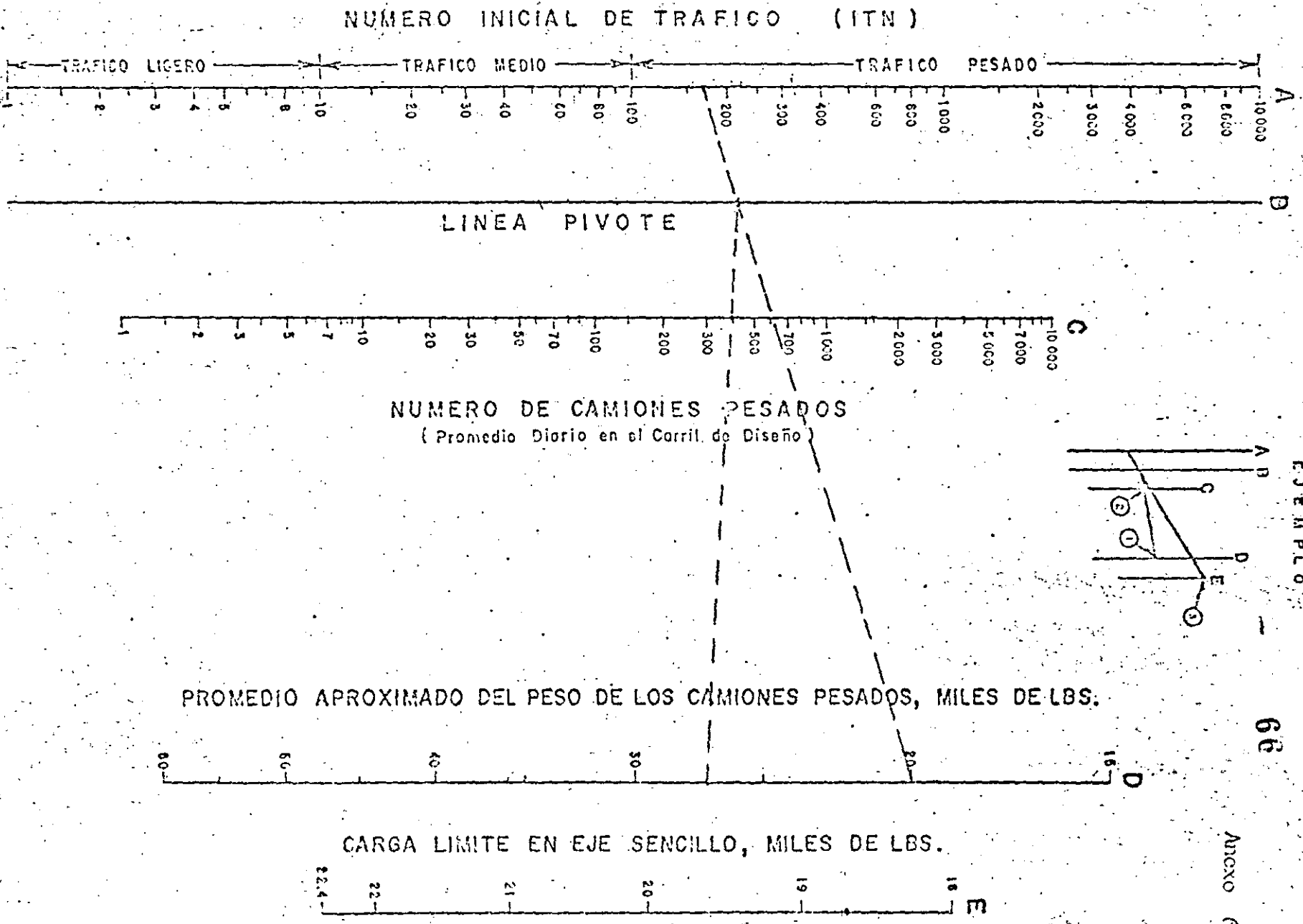
CONTRATO:

DATOS DE PROYECTO	ALTERNATIVAS DE DISEÑO		
	I	II	III
1.- Tránsito diario inicial en ambas direcciones (DDI)	4,000		
2.- Porcentaje de camiones pesados en ambas direcciones:	20		
Porcentaje de camiones pesados en el carril de diseño.	50		
No. de camiones pesados en el carril de diseño.	400		
3.- Carga límite permisible por eje simple (Ton).	8.2		
4.- Peso promedio aproximado del camión pesado (Ton).	12.3		
5.- Número de tránsito inicial (NTI).	170		
6.- Período de diseño (años).	10		
7.- Tasa de crecimiento anual (%).	10		
Factor de corrección.	0.8		
8.- Número de tránsito de diseño (NTD).	136		
9.- VRS de diseño de capa subrasante.	14.3		
10.- Espesor de CA (CA) desde capa subrasante.	15.5		
11.- Estructuración del pavimento CARPETA DE C.A. en espesores reales (cm):	5		
BASE (BH)	20		
SUB-BASE (SB)	--		
12.- VRS de diseño de capa subyacente a la capa SR.	6.7		
13.- Espesor de CA (CA) desde capa subyacente a la capa SR.	20.8		
14.- Estructuración del pavimento CARPETA DE C.A. en espesores reales (cm):	5		
BASE (BH)	20		
SUB-BASE (SB)	--		
SUBRASANTE (SR)	30		

CAPA	ESPESORES RECOMENDADOS EN CM.		
	EQUIVALENTES A ESPESOR DE CA	FACTOR DE EQUIVALENCIA	REALES
C.A. (CA)	5	1	5
BH (BH)	10	2	20
SB (SB)	--	--	--
SR (SR)	60	5	30
SR (SR)	21.0		55

CA = Concreto asfáltico.  
 BH = Base hidráulica en el 100%  
 BH = Base hidráulica.  
 SB = Sub-base hidráulica.  
 SR = Subrasante.

CARTA DE ANALISIS DE TRAFICO



EJEMPLO

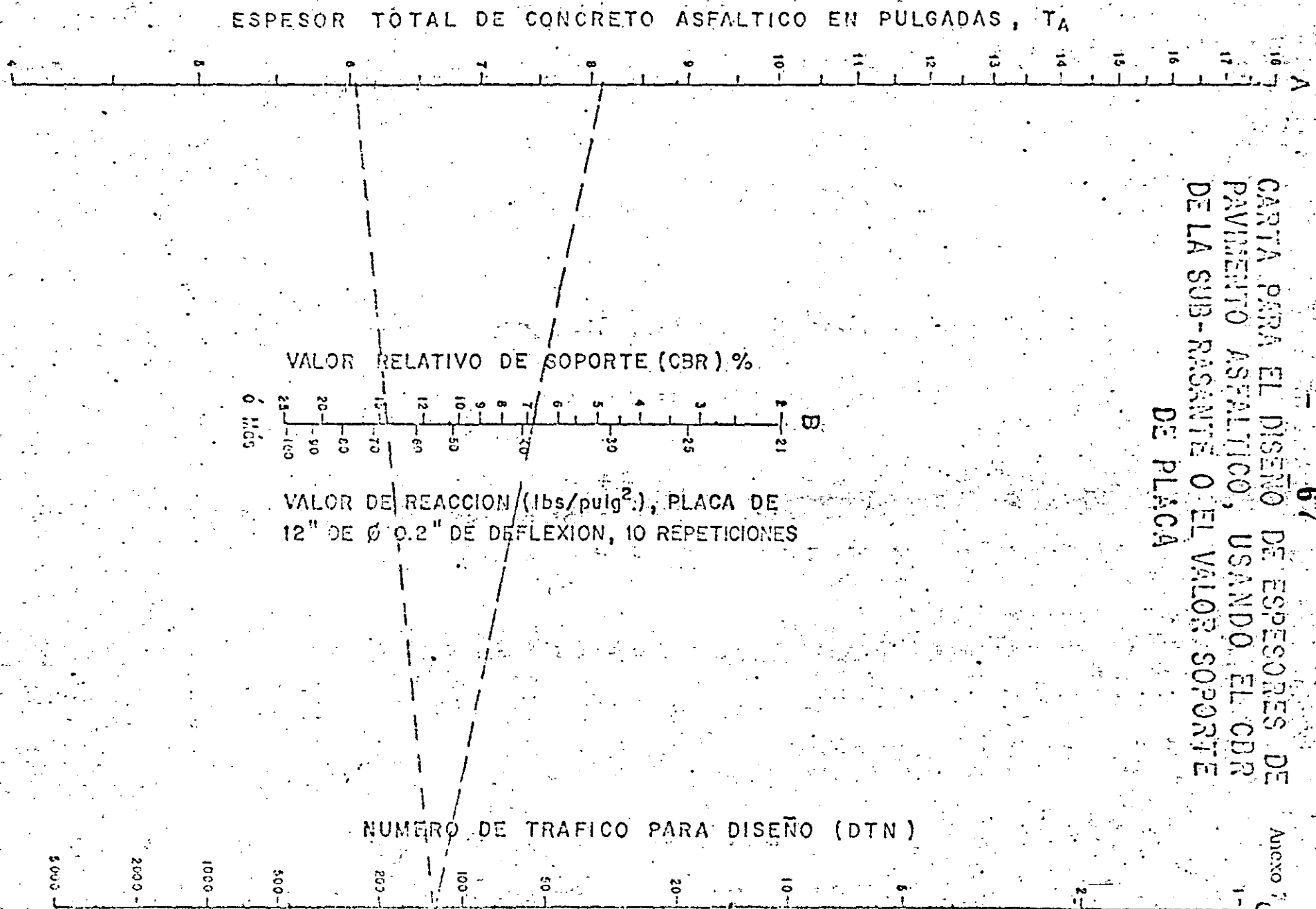
66

Anexo 6

67

CARTA PARA EL DISEÑO DE ESPESORES DE  
PAVIMENTO ASFALTICO, USANDO EL CBR  
DE LA SUB-RASANTE O EL VALOR SOPORTE  
DE PLACA

Ancexo 70





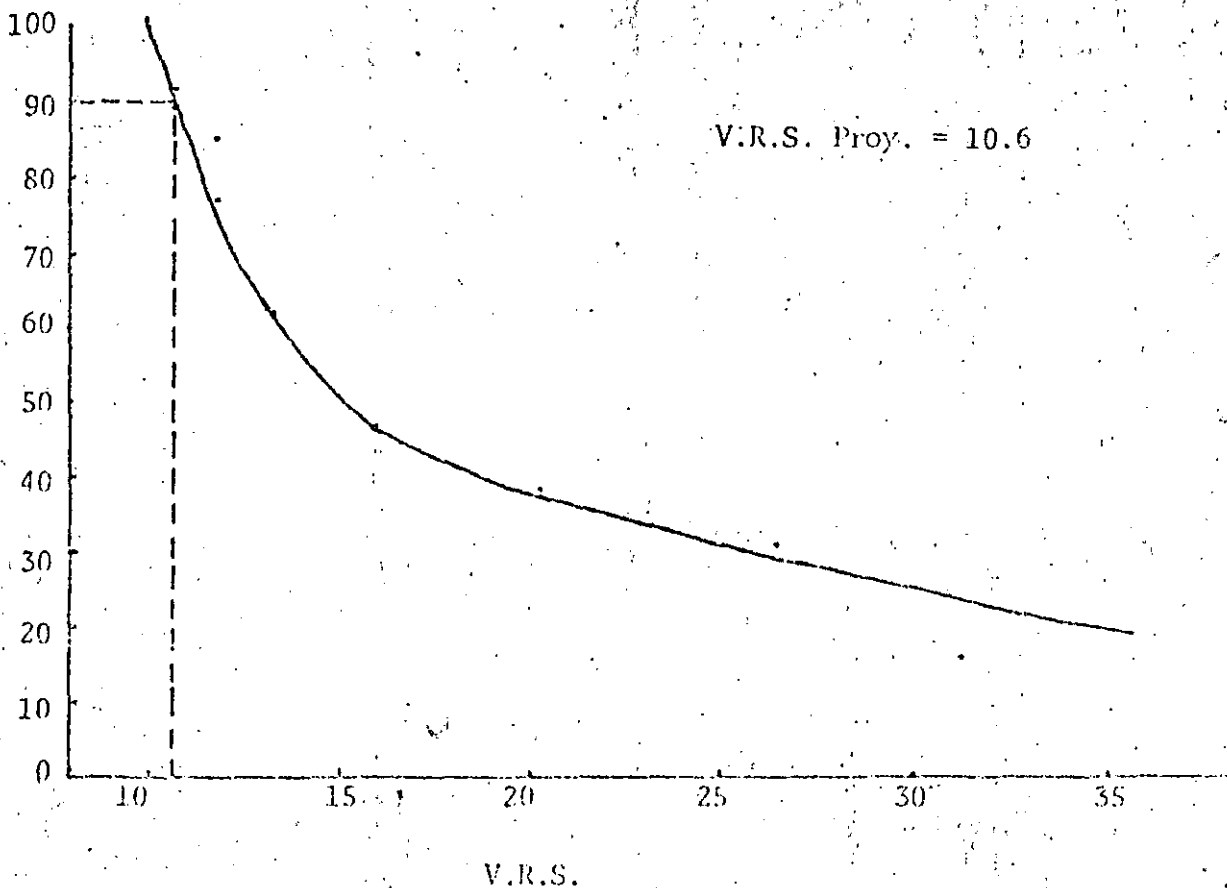
Determinación del V.R.S. de proyecto para la Pista Principal

Terracerías.

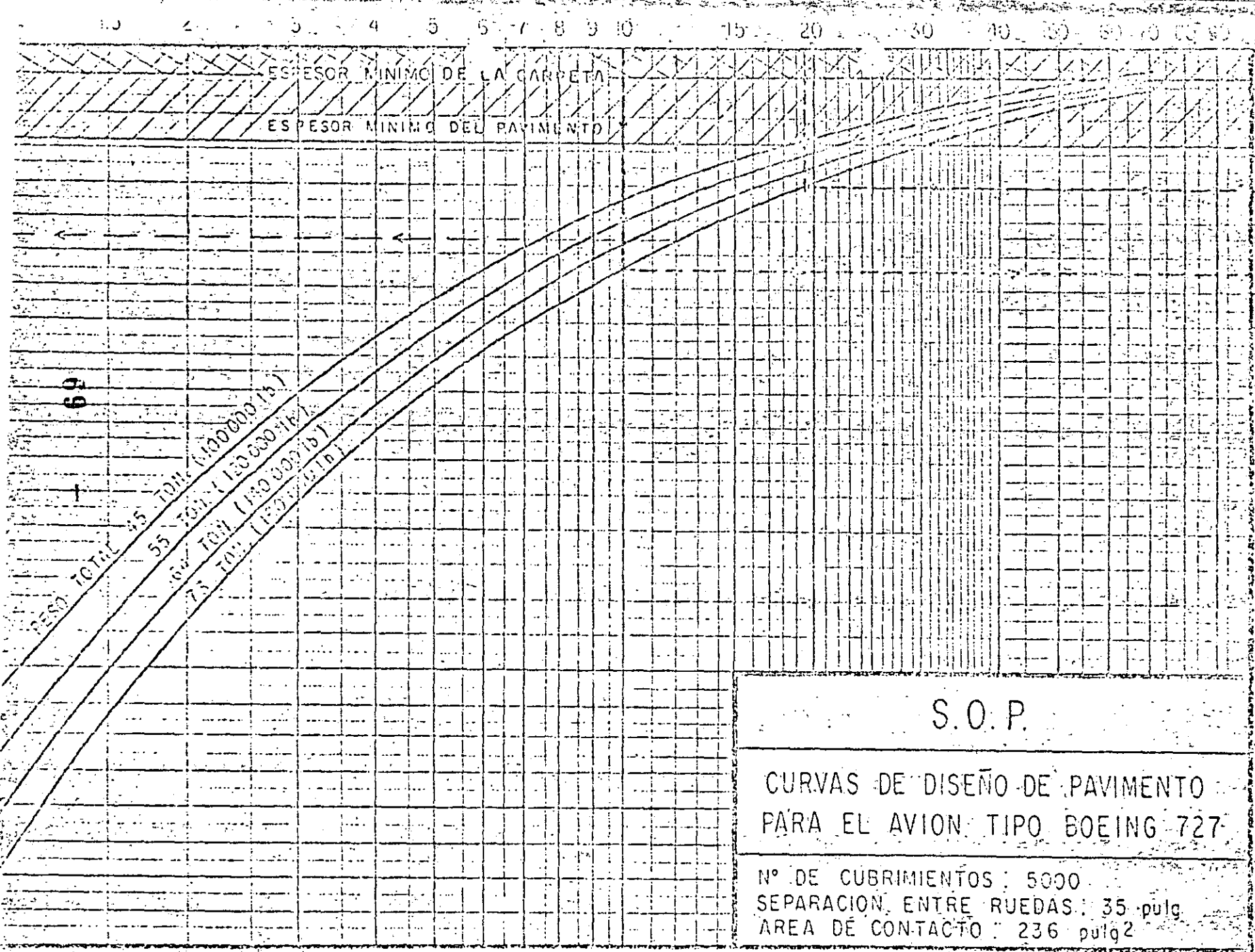
V.R.S. al 95 %

26.7, 31.3, 48.0, 16.0, 11.9, 13.3, 10.8, 26.7, 11.8,  
20.3, 12.2, 13.3, 10.0.

% De Pruebas en el que el V.R.S. es igual o menor







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  
100

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  
100

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  
100

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  
100



Diseño de pavimentos rígidos 211

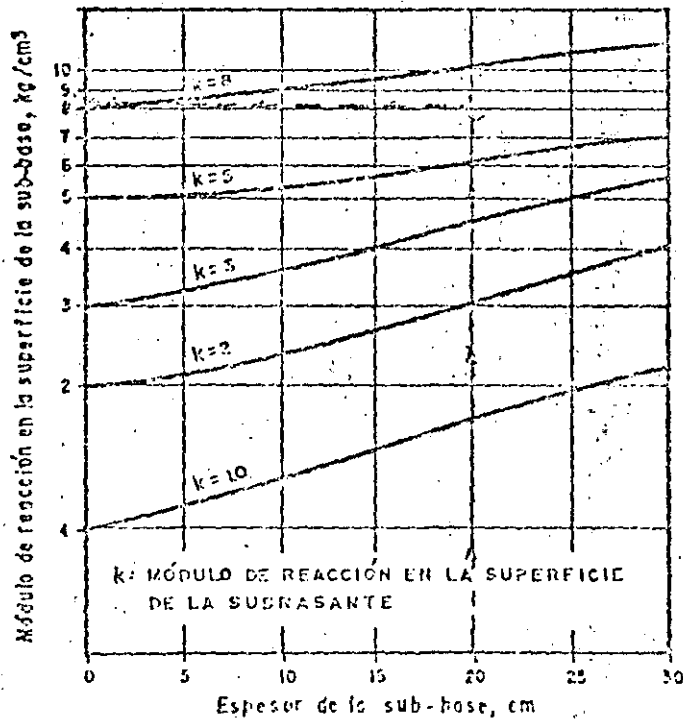


Figura X-3. Gráfica para obtener el valor de  $k$  sobre la sub-base conocido el mismo sobre la subrasante. Sub-bases no estabilizadas (Ref. 5).

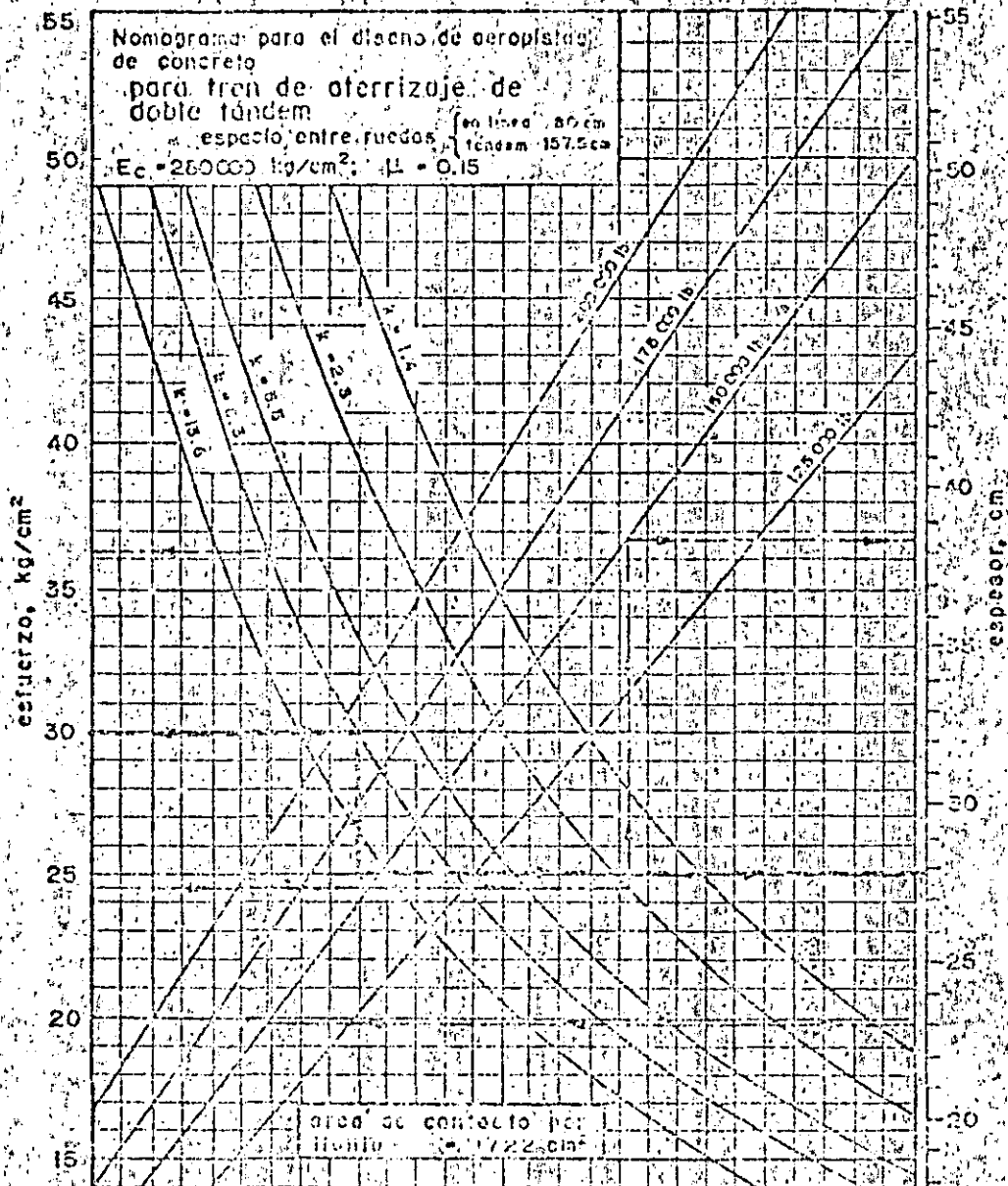


Fig. A.102 (c)\*

Para trenes de aterrizaje de doble tandem, únicamente se aplican los factores de corrección dados en la Fig. A.102 (c). Si los espaciamientos cambian considerablemente será necesario elaborar una gráfica especial de diseño.

72  
RICO S.A.

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS RURALES

Y OBRAS PUBLICAS

DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS

ESTUDIO GEOTECNICO Y DE MECANICA DE SUELOS DEL  
AEROPUERTO PARA LA CD. DE LAZARO CARDENAS, QUICHU

SECTOR "PLAYA AZUL"

CONTRATO N.º 03/A-437-77

RICO S.A.

DICIEMBRE DE 1977



RIODOO S.A.

### TERRAJERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D. G. A. S. A. H. O. P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS, MICH.

Procedencia: Bco. No. 1 Para Subrasante

Fecha de Emisión:

14-XI-77

Descripción: (Bco. ubicado en el Km. 113-600)

Fecha Recibo:

Camino: Zihuatanejo a la mira 400 Mts. Desv. Izq.

21-VI-77

#### IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Dim. Encoche	557-C		557-D	
Cotación	5-3		5-3	
Profundidad del Sello	1.00		1.00	
% de Compactación	---		---	
Contenido de Agua en %	---		---	

#### CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo	3"		3"	
Pasa Malla Num. 4	38		40	
Pasa Malla Num. 40	34		35	
Pasa Malla Num. 200	25		27	
Peso Volumétrico Suelto	1470		1520	
Peso Volumétrico Líquido	1940		1955	
Humedad Óptima	15.0		15.0	
Límite Líquido	40.4		39.6	
Índice Plástico	18.7		23.2	
Contracción Líquida	7.1		6.4	
Clasificación S.U.C.S.	G.C.		G.C.	
V.F.S. Estándar	6.9		8.14	
Expansión %	4.7		4.0	

#### ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación	95		95	
Humedad de Prueba	16.5		16.5	
Valor Relativo Soporte	16.1		17.3	
% Compactación				
Humedad de Fructificación				
Valor Relativo Soporte				

Observaciones:

Auto	Art. 5			
N.C. 1	E.A.L.I.	5	7	10-3





RICOBO S.A.

# 74 ENSAYE DE MATERIALES PARA SUBBASES Y BASES

Por: D.G.A. S.A.H.O.P.

Obra: AEROPUERTO LAZARO CÁRDENAS MICH.

Procedencia: Bco. No. 2 para Sub-base

Muestras Número

559 A, B, C y D

Descripción: Bco. Ubicado en el 336+500 camino

Fecha Recibo

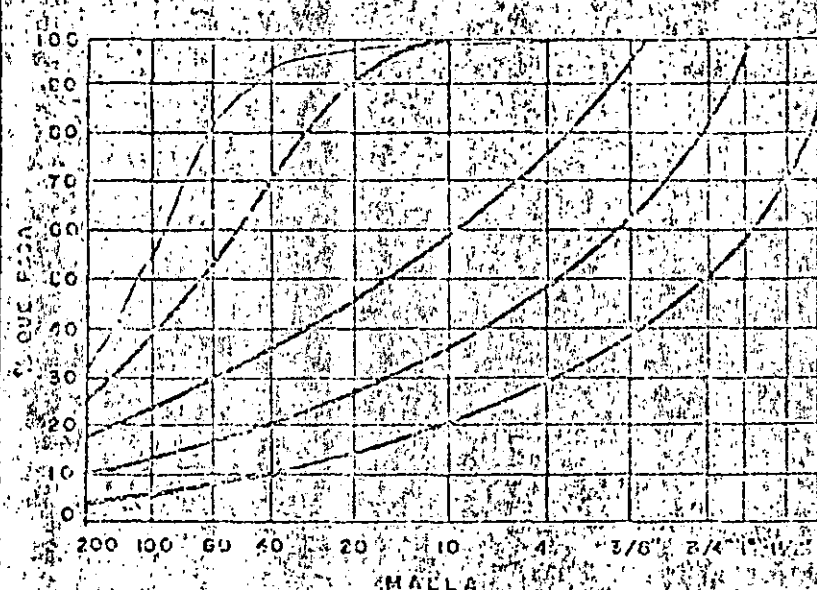
cuatro caminos Playa Azul con 300 Mts. Desv. Top.

21-XI-77

Composición Granulométrica

### GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% pasando
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
3/8"	
Nº 40	100
Nº 100	99
Nº 200	97
Nº 400	94
Nº 600	81
Nº 1000	56
Nº 2000	33



Retenido 2" %

Peso Vol. Suelo 1100 Ton/m<sup>3</sup>

Peso Vol. Máximo 1795 Ton/m<sup>3</sup>

Cont. Óptimo 17.8 %

Valor Relativo de Soporte (CBR) Estándar 21.5 % Del Lugar %

Expansión 0.7 %

Valor Cimentante 1.6 kg/cm<sup>2</sup>

Equivalente Arena 8.9 %

Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40

Absorción Mat. Mayor Núm. 4 8.1 %

Límite Líquido 39.8

Índice Plástico 11.4

Densidad Mat. Mayor Núm. 4 2.00 %

Límite Plástico 28

Contracción Línea 44.5

Mat. Menor Núm. 4 %

Clasificación Petrográfica: Arenas arcillosas Tipo de Suelo (SUCS) SUC

Observaciones:

Trabajo en: R.A. 5 Diciembre 1977



RIOBOO SA

75

## TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUESTO LAZARO CARDENAS-MICH.

Procedencia: Bco. No. 2 para Sub-rasante

Fecha de Extracción,

Descripción: Bco. ubicado en el km. 336+500

19 - XI - 77

del camino Playa Azul con 300 mts. Desv. Izo.

Fecha Recibo,

21 - XI - 77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	559 A	559 B
Estación.	5-1	5-2
Profundidad del Sonda.	1.00mts.	1.00 mts.
% de Compactación.	-----	-----
Contenido de Agua en %		

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	No. 4	No. 4
Peso Malla Núm. 4	100	100
Peso Malla Núm. 40	96	97
Peso Malla Núm. 200	34	36
Peso Volumétrico Sucho.	1085	1070
Peso Volumétrico Húmedo.	1800	1790
Humedad Óptima.	18.1	18.2
Límite Líquido	40.7	38.5
Índice Plástico	11.0	11.4
Contracción Lineal.	4.1	4.4
Clasificación S.U.C.S.	S C	S C
V.R.S. Estándar.	24.0	22.5
Espección %	0.6	0.7

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	95	95
Humedad de Prueba.	19.6	19.6
Valor Relativo Soporta.	11.0	12.1
% Compactación.		
Humedad de Prueba.		
Valor Relativo Soporta.		

Observaciones.

REVISADO  
N.C.L.T.

Aprobado

R.A.L.L.

MS

Diciembre

1977

110-5



RIOBOO S.A.

76

TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.C.A.; S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia: Bco. No. 2 para Sub-rasante

Fecha de Extracción:

19- XI- 77

Descripción: Bco. ubicado en el km. 336+500

Fecha Recibo:

camino cuatro caminos Playa Azul con Des. Iza. 300 mts.

21- XI- 77

IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Encayo.	559-C		559-D
Estación.	5-3		5-4
Profundidad del Sando.	1.00 mts.		1.00 mts.
% de Compactación.	-----		-----
Contenido de Agua en %	-----		-----

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	No. 4		No. 4
Peso Malla Núm. 4	100		100
Peso Malla Núm. 40	91		94
Peso Malla Núm. 200	32		30
Peso Volumétrico Suelto.	1130		1115
Peso Volumétrico Máximo.	1830		1780
Humedad Optima.	17.1		18.0
Límite Líquido	40.0		39.8
Índice Plástico	11.3		12.0
Contracción Lineal.	4.1		5.3
Clasificación S.U.C.S.	S C		S C
M.R.S. Estándar.	20.4		19.2
Expansión %	1.0		0.4

ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación	95		95
Humedad de Prueba.	18.6		19.5
Valor Relativo Soporta.	13.1		10.4
% Compactación.			
Humedad de Prueba.			
Valor Relativo Soporta.			

Observaciones.

Elaborado por: H.C.L.      Revisado por: R.A.L.L.      5      Diciembre      1977      No. 110-6





RIOBOO S.A

77

ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUB BASES Y BASES

Para: D.G.A., S.A. II.O.P.

Obró: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS, MICH.

Procedencia Banco No. 3 para Sub-rasante

Muestras Número

Descripción Banco ubicado en el km. 1+500 de

558, A, B, C y D

la Pista Principal con 400 mts. Desv. Derecha

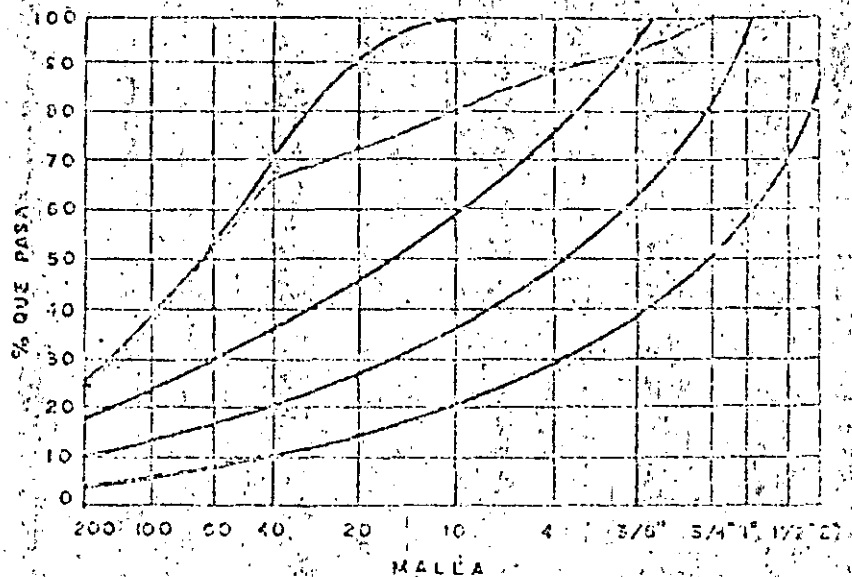
Fecha Recibo

21- XI- 77

Composicion Granulometrica

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% pasando
2"	
1 1/2"	
1"	100
3/4"	93
3/8"	89
Nº 4	80
Nº 10	74
Nº 20	72
Nº 40	68
Nº 60	54
Nº 100	40
Nº 200	25



Retenido 2" %

Peso Vol. Suelto 1320 Ton/m<sup>3</sup>

Peso Vol. Máximo 2010 Ton/m<sup>3</sup>

Cont. Agua Óptimo 13.7 %

Valor Relativo de Soporte (CBR)

Expansión 0.6 %

Valor Cementante 6.1 kg/cm<sup>2</sup>

Estándar 26.0 % Del Lugar %

Ecuivalente Arena 13.6 %

Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40

Absorción Mat. Mayor 1/4" 8.6 %

Mat. Menor Núm. 4 %

Límite Líquido 30.1

Índice Plástico 10.0

Densidad Mat. Mayor 1/4" 2.14 g/cm<sup>3</sup>

Límite Plástico 20.1

Contracción Línea 3.9

Mat. Menor Núm. 4 %

Clasificación Petrográfica Arena arcilla

Tipo de Suelo (SUCS) s.c.

Observaciones:

Elaborado por: R.A.L.L. 5 Diciembre 1977 No. 110-77



78

RICOBO S.A.

TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia: Bco. No. 3 Sub-rasante

Fecha de Extracción:

Descripción: Bco. ubicada en el km 1+800 de la Vista Principal con 400 mss. desv. der.

18- XI- 77

Fecha Recibo:

21- XI- 77

IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	558 A	558 B
Estación.	5-1	5-2
Profundidad del Sándalo.	1.00 mts	1.00 mts.
% de Compactación.	---	---
Contenido de Agua en %	---	---

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	1"	1"
Peso Malla Núm. 4	95	95
Peso Malla Núm. 40	74	75
Peso Malla Núm. 200	22	23
Peso Volumétrico Suelto.	1300	1280
Peso Volumétrico Máximo.	1980	1990
Humedad Óptima.	14.5	14.6
Límite Líquido	29.5	29.4
Índice Plástico	10.0	9.7
Contracción Líqal.	3.5	3.6
Clasificación S.U.C.S.	S-C	S-C
V.R.S. Estándar.	24.5	25.0
Expansión %	0.6	0.3

ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	95	95
Humedad de Prueba.	16.0	16.1
Valor Relativo Soporta.	18.4	16.4
% Compactación.		
Humedad de Prueba.		
Valor Relativo Soporta.		

Observaciones:

ELABORADO N.C.L.	REVISADO R.A.M.L.	5	Diciembre	1977	110-8
---------------------	----------------------	---	-----------	------	-------



79

RIOBOO SA

## TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CárDENAS NICH.

Precedencia. Eco. 3 par Sub-rasante

Fecha de Extracción.

18-XI-77

Descripción. Eco. ubicado en el km 1+800 de la

Fecha Recibo.

Pista Principal con 300 Mts. Desv. Der

21-XI-77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	558 C	558 D
Estación.	5-1	5-2
Profundidad del Sonda.	1.00	1.00
% de Compactación.	---	---
Contenido de Agua en %	---	==

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	1"	1"
Peso Malla Núm. 4	88	83
Peso Malla Núm. 40	70	63
Peso Malla Núm. 200	30	27
Peso Volumétrico Suelto.	1340	1380
Peso Volumétrico Máximo.	1990	2080
Humedad Óptima.	13.1	12.6
Límite Líquido	31.4	30.0
Índice Plástico	9.6	10.6
Contracción Línea.	3.8	4.5
Clasificación S.U.C.S.	S C	S C
V.R.S. Estandar.	26.4	28.1
Expansión %	0.5	1.0

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	95	95
Número de Prueba.	14.6	14.1
Valor Relativo Soporte.	16.4	18.5
% Compactación.		
Número de Prueba.		
Valor Relativo Soporte.		

Observaciones.

Instituto  
R.C.L.Instituto  
R.A.L.L.

5

Diciembre

1977

00.

110-9



80  
RIOBOO S.A.

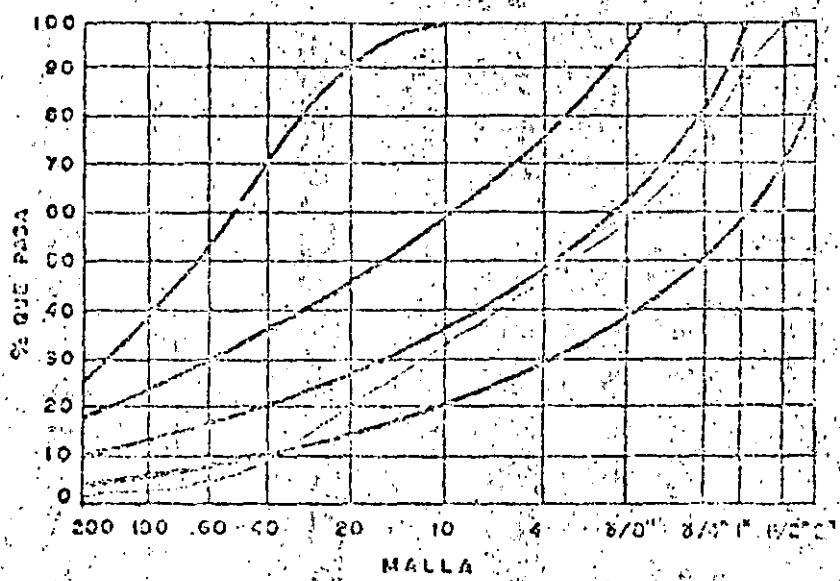
ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUB BASES Y BASES

Para: D.G.A., S.A.H.O.P.  
Obra: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS NICH.

Procedencia	Río Balsas No. 4	Muestras Número	53
Descripción	Beo. Ubicado en Zona de Depósito Camino del Río Balsas	Fecha Recibo	16- XI- 77

Composición Granulométrica	
MALLA	% Pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	88
3/4"	76
3/8"	58
Nº 4	47
Nº 10	34
Nº 20	20
Nº 40	9
Nº 60	5
Nº 100	3
Nº 200	2
Retenido 2"	%

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Peso Vol. Suélt. 1700 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Máximo 2170 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua. Óptimo 6.0 %
Valor Relativo de Soporte (CDR) Estándar 73.0 % Del Lugar	Expansión 0.0 %	Valor Cementante 0.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Pruebas en Material Temizado Por 1h Malla Núm. 40		Equivalente Arena 72 %
Límite Líquido 19.5	Índice Plástico N.P.	Absorción Mat. Mayor 1/4" 1.8 %
Límite Plástico ---	Contracción Lineal 0.2	Mat. Menor Núm. 4 %
Clasificación Petrográfica Grava arena de Río	Tipo de Suelo (SUCS) G W	
Densidad Mat. Mayor 1/4" 2.62 % Mat. Menor Núm. 4 %		

Observaciones: Material Triturado Parcialmente en Laboratorio  
% Material Triturado 20 %

Fecha	21 Noviembre 1977	Nº. 110511
Asesor	R.A.L.L.	
Revisado	N.C.L.	



81

RICBOO S.A.

ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUB BASES Y BASES

Para: D.C.A., S.A.H.O.P.

Obra: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia Río Balsas Eco. No.4

Muestras Número

Descripción Ben. Ubicado en Zona de depósito

512

Fecha Recibo

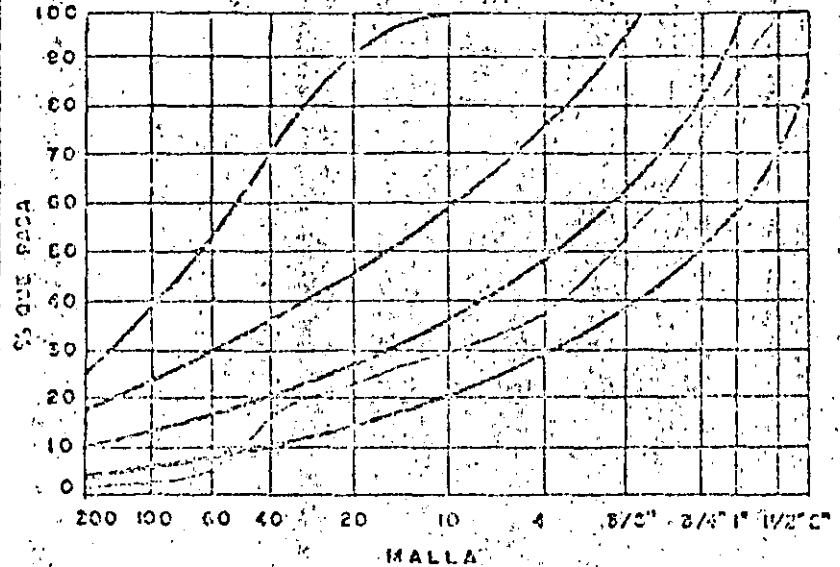
Camino Río Balsas

16-XI-77

Composición Granulométrica

GRABCA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	%pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	86
3/4"	73
3/8"	53
Nº 4	37
Nº 10	30
Nº 20	24
Nº 40	17
Nº 60	5
Nº 100	3
Nº 200	2



Retenido 2" %

Peso Vol. Suelo 1800 Ton/m<sup>3</sup>

Peso Vol. Máximo 2180 Ton/m<sup>3</sup>

Cont. Agua Optimo: 6.0 %

Valor Relativo de Soporte (CBR)

Expansión

Valor Cementante 0.0 kg/cm<sup>2</sup>

Estándar 65.0 % Del Lugar %

0.0 %

Equivalente Arena 87 %

Pruebas en Material Tamizado  
Por la Malla Núm. 40

Absorción  
Mat. Mayor 1/4" 1.1 %  
Mat. Menor Núm. 4 %

Límite Líquido 16.8

Indice Plástico N.P.

Densidad

Límite Plástico ---

Contracción Lineal 0.2

Mat. Mayor 1/4" 2.54 %  
Mat. Menor Núm. 4 %

Clasificación Petrográfica  
Grava arena de río

Tipo de Suelo (SUOS) C.W.

Observaciones

ENCARGO N.C.L.

ANALISIS R.A.H.L.L.

22

Noviembre 1977

Nº 110-12



82

ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUBBASES Y BASES

RICOBO S.A.

Para: D.G.A., S.A.H.O.P.

Obra: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

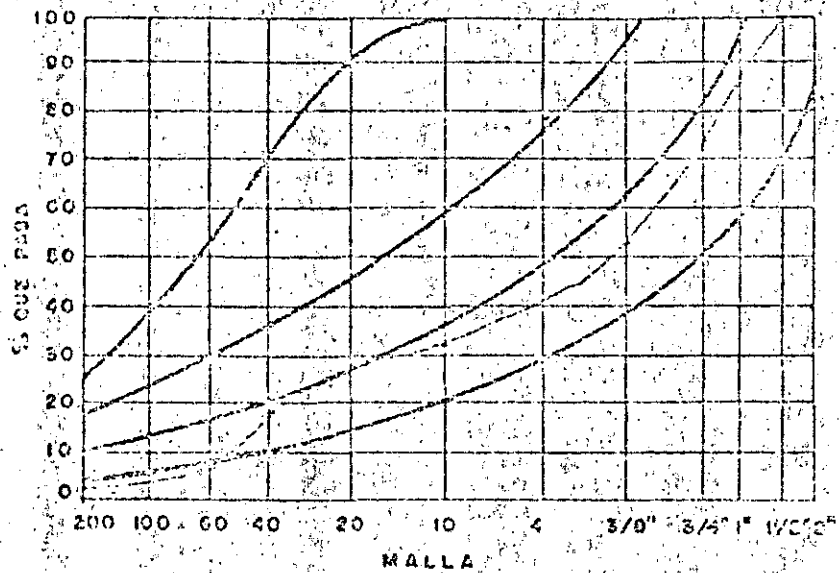
Procedencia: Río Balsas Eco. No.4  
Descripción: Y Eco. Ubicado en zona de Depósito  
Camino del Río Balsas

Muestras Número: 513  
Fecha Recibo: 16-XI-77

Composición Granulométrica

MALLA	% pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	86
3/4"	72
3/8"	53
Nº 4	41
Nº 10	33
Nº 20	28
Nº 40	19
Nº 60	7
Nº 100	4
Nº 200	3
Retenido 2"	%

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Peso Vol. Suelto: 1840 Tón/m<sup>3</sup>      Peso Vol. Máximo: 2120 Tón/m<sup>3</sup>      Cont. Agua Óptimo: 7.0 %

Valor Relativo de Soporte (CER): Estándar 20.0 % Del Lugar %      Expansión: 0.0 %      Valor Cimentante: 0.0 kg/cm<sup>2</sup>      Equivalente Arena: 92 %

Pruebas en Material Tamizado  
Por la Malla Núm. 40

Absorción Mat. Mayor 1/4": 1.2 %  
Mat. Menor Núm. 4: %

Límite Líquido: 19.8      Índice Plástico: N.P.      Densidad Mat. Mayor 1/4": 2.60 %  
Límite Plástico: ---      Contracción Líquid: 0.0      Mat. Menor Núm. 4: %

Clasificación Petrográfica: Grava arcuosa de Río      Tipo de Suelo (SUCS)

Observaciones: Material Triturado Parcialmente en Lab.  
% Material Triturado: 20.2

FORMA: R.A.L.L.      22      Noviembre 1977      1170-13



83

RIOBOO S.A

ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUBBASES Y BASES

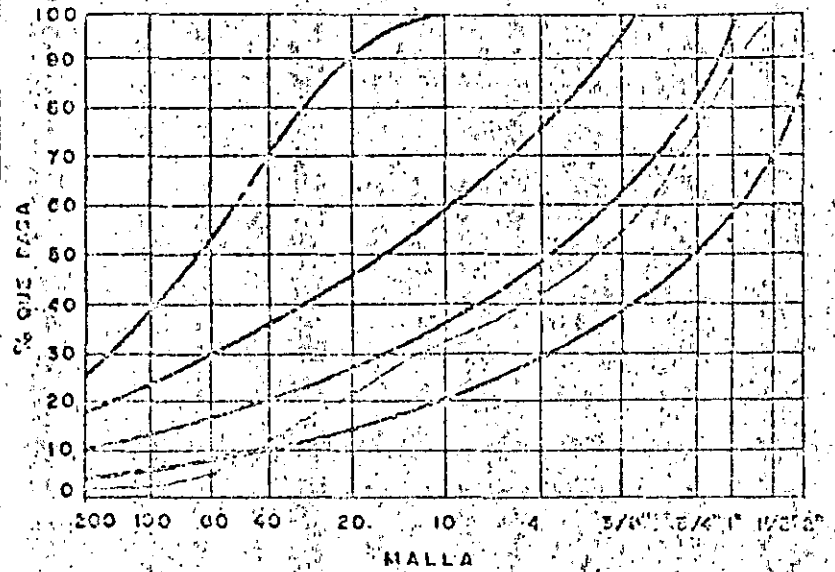
Para: D.G.A., S.A.H.O.P.

Obra: ANOPUERTO LAZARO CARDENAS, MICH.

Procedencia	Río Balsas Eco. 4	Muestras Número	510, 511, 512 y 513
Descripción	Banco Ubicado en zona de Depósito Camino del Río Balsas	Fecha Recibo	16-XI-77

Composición Granulométrica	
MALLA	% pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	87
3/4"	75
3/8"	55
Nº 4	43
Nº 10	33
Nº 20	22
Nº 40	13
Nº 60	5
Nº 100	3
Nº 200	2
Retenido 2"	%

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Peso Vol. Suelto	1770 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Máximo	2165 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua Optimo	6.3 %
Valor Relativo de Soporte (CER)	Estándar 69 % Del Lugar	Expansión	0.0 %	Valor Constante	0.0 kg/cm <sup>2</sup>
Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40				Equivalente Arena	82 %

Limite Líquido	18.6	Indice Plástico	N.P.	Absorción	Mot. Mayor 1/4" 1.7 % Mot. Menor Núm. 4 %
Limite Plástico	---	Contracción Lineal	0.2	Densidad	Mot. Mayor 1/4" 2.58 g/cm <sup>3</sup> Mot. Menor Núm. 4 %
Clasificación Petrográfica	Grava, arena de Río	Tipo de Suelo (SUCS)		G.V.	

Observaciones: Material Triturado Parcialmente en Laboratorio  
2% Material Triturado 20 %

Forma	N.C.E.	Marca	R.A.E.L.	Nº	21	Revista	1/77	Nº	110-14
-------	--------	-------	----------	----	----	---------	------	----	--------



84

RIOBOO SA

ENSAJE DE MATERIALES  
PARA SUB BASES Y BASES

Por: D.G.A., S.A.H.O.P.

Ciudad: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia Eco. El Carrizo Eco No. 5

Módulo Número

534

Descripción Eco. ubicado en el Km. 1+000 del  
Camino Playa Azul Coahuayana con 600 mts. Desv.

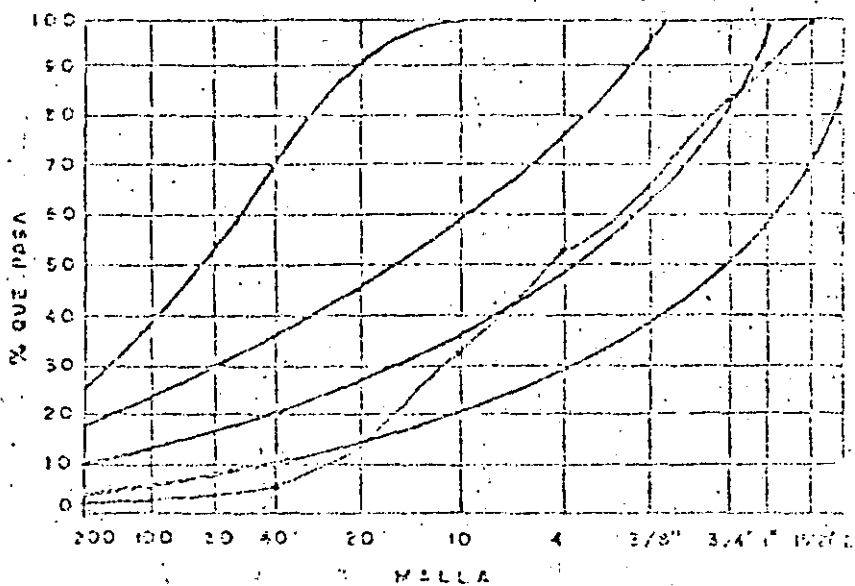
Fecha Recibo

15- XI- 77

Composición Granométrica

MAILLA	% pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	90
3/4"	83
3/8"	66
Nº 4	52
Nº 10	32
Nº 20	14
Nº 40	5
Nº 60	4
Nº 100	3
Nº 200	2

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Retenido 2" %

Peso Vol. Suelto 1560 Ton/m<sup>3</sup>

Peso Vol. Máximo 2120 Ton/m<sup>3</sup>

Cont. Agua Óptimo 4.6 %

Valor Relativo de Superficie (CBR)

Expansión

Valor Cementante 0.0 %

Estándar 84 % Del Lugar %

0.6 %

Ecuivalente Arena 73 %

Pruebas en Material Tamizado  
Por la Malla Núm. 40

Absorción  
Mat. Mayor 1/4" 1.4 %  
Mat. Menor Núm. 4 %

Límite Líquido 21.0

Índice Plástico N P

Densidad  
Mat. Mayor 1/4" 2.58  
Mat. Menor Núm. 4

Límite Plástico ---

Contracción Lineal 0.3

Clasificación Petrográfica Grava arena de Río

Tipo de Suelo (SUCS) S W

Observaciones

Material Triturado Parcialmente en Laboratorio  
% Material Triturado 20 %

N.C.I.

R.A.L.I.

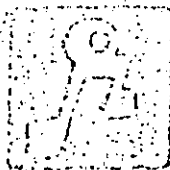
2

Diciembre

1977

110-16





85

ENSAJE DE MATERIALES  
PARA SUB BASES Y BASES

RIOBCO S.A.

Perú: D.G.A., S.A.H.O.P.  
Circ: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia Bco. El Carrizo Bco. No. 5

Muestras Número  
535

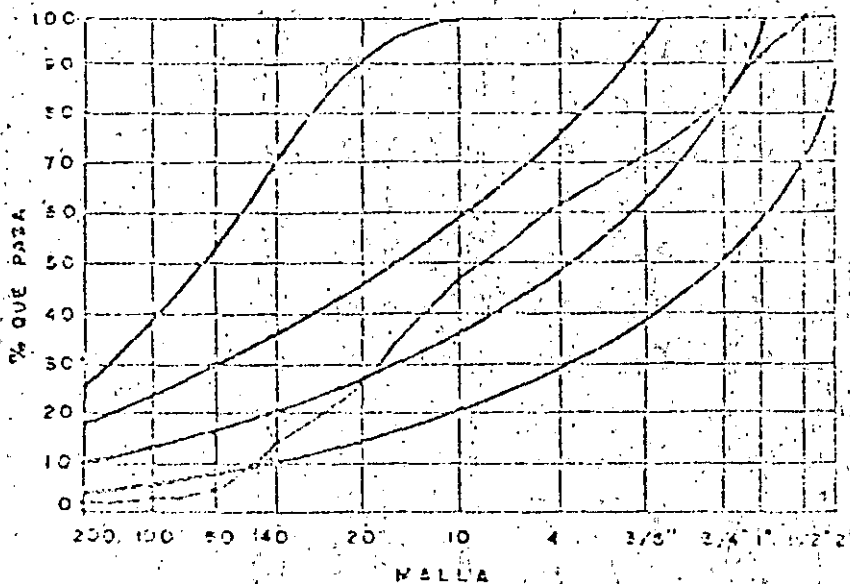
Descripción Bco. ubicado en el Km. 1+000 del  
Der. camino Playa Azul Cochuyana con 600 mts. Desv.

Fecha Recibo  
D 15- XI- 77

Composicion Granometrica

MALLA	% pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	91
3/4"	83
3/8"	71
Nº 4	61
Nº 10	47
Nº 20	27
Nº 40	13
Nº 60	4
Nº 100	3
Nº 200	2
Retenido 2"	%

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Peso Vol. Suelo 1510 Ton/m<sup>3</sup>  
 Valor Relativo de Soporte (CBR) Estándar 73 % Del Lugar

Peso Vol. Máximo 2030 Ton/m<sup>3</sup>  
 Expansión 0.0 %

Cont. Agua Capilar 4.3 %  
 Valor Cemente 0.0 %  
 Equivalente Arena 82 %

Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40

Límite Líquido 19.0  
 Límite Plástico ---

Índice Plástico N.P.  
 Contracción Lineal 0.2

Absorción Mat. Mayor 1/4" 1.6 %  
 Mat. Menor Núm. 4  
 Densidad Mat. Mayor 1/4" 2.57  
 Mat. Menor Núm. 4

Clasificación Petrográfica Grava arena de Río

Tipo de Suelo (SUCS) S.W

Observaciones

Material Triturado Parcialmente en Laboratorio  
% Material Triturado 18 %

N.C.L. R.A.L.L. 2 Diciembre 1977 110-17



86

RICOBO SA

ENSAYE DE MATERIALES PARA SUBBASES Y BASES

Para: D.G.A., S.A.B.O.P.

Cbra: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia Bco. El Carrizo Bco. No. 5

Muestras Número

336

Descripcion Bco. ubicado en el Km. 1+000 en el Camino Playa Azul Coahuayana con 600 mts. Desv.

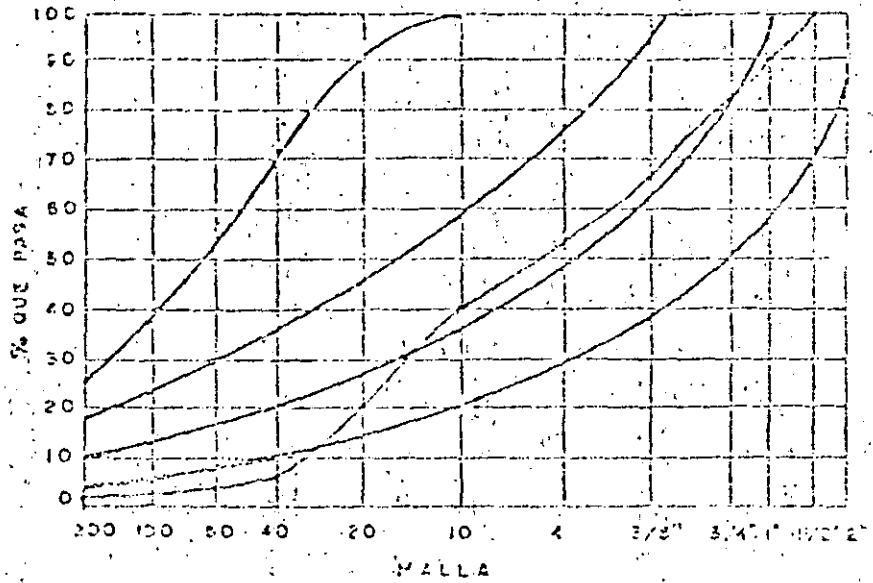
Fecha Recibo

15- XI- 77

Composicion Granulometrica

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	90
3/4"	82
3/8"	67
Nº 4	52
Nº 10	40
Nº 20	20
Nº 40	7
Nº 60	4
Nº 100	3
Nº 200	2
Retenido 2"	%



Peso Vol. Suelto 1540 Ton/m3

Peso Vol. Máximo 2090 Ton/m3

Cont. Agua Optimo 4.4 %

Valor Relativo de Soporte (CBR)

Expansión

Valor Cimentante 0.0 %/cm2

Estándar 78.0 % Del Lugar %

0.0 %

Equivalente Arenoso 81 %

Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40

Absorción Mat. Mayor 1/4" 1.4 %  
Mat. Menor Núm. 4 %

Límite Líquido 19.3

Índice Plástico N.P

Densidad

Límite Plástico ---

Contracción Lineal 0.2

Mat. Mayor 1/4" 2.56 %  
Mat. Menor Núm. 4 %

Clasificación Patrográfica Grava arena de Río

Tipo de Suelo (SUCS) S.W

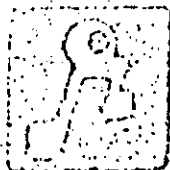
Observaciones Material Triturado Parcialmente en Laboratorio % Material Triturado 15 %

Revisado N.E.L.

Aprobado R.A.L.E.

Fecha 21 Diciembre 1977

Nº 110-10



87

RICBOO SA

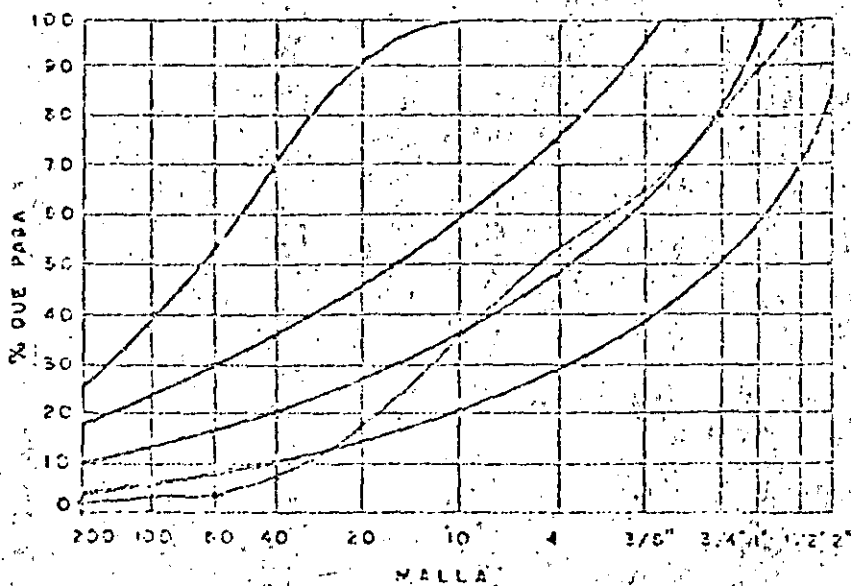
ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUB BASES Y BASES

Para: D.G.A., S.A.H.O.P.  
Cdo: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS, MICH.

Procedencia	Bco. El Carrizo No. 5	Muestras Número	333, 334, 335 y 336
Descripción	Bco. ubicado en el Km. 1+000 del camino Playa Azul Coahuayana 600 mts. Desv. Der.	Fecha Recibo	15- XI -87

Composición Granulométrica	
MALLA	% pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	89
3/4"	80
3/8"	65
Nº 4	52
Nº 10	37
Nº 20	18
Nº 40	8
Nº 60	4
Nº 100	3
Nº 200	2
Retenido 2"	%

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Peso Vol. Suelto	1545 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Máximo	2090 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua Óptimo	4.4 %
Valor Relativo de Soporte (CBR)	Estándar 80.0 % Del Lugar	Expansión	0.0 %	Valor Cementante	0.0 %/cm <sup>2</sup>
Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40				Equivalente Arenoso	78 %

Limite Líquido	20.0	Indice Plástico	Nº 1	Absorción	Mot. Mayor 1/4" 1.5 %
Limite Plástico	---	Contracción Lineal	0.3	Densidad	Mot. Mayor 1/4" 2.57 %
				Mot. Menor Núm. 4	

Clasificación Petrográfica: Grava arena de Río. Tipo de Suelo (SI/CS):

Observaciones: Material Triturado Parcialmente en Laboratorio. % Material Triturado: 20 %

Fecha	N.C.L.	RA.A.L.E.	2	Diciembre	1977	Nº 110-19
-------	--------	-----------	---	-----------	------	-----------



88  
RIOBOO SA

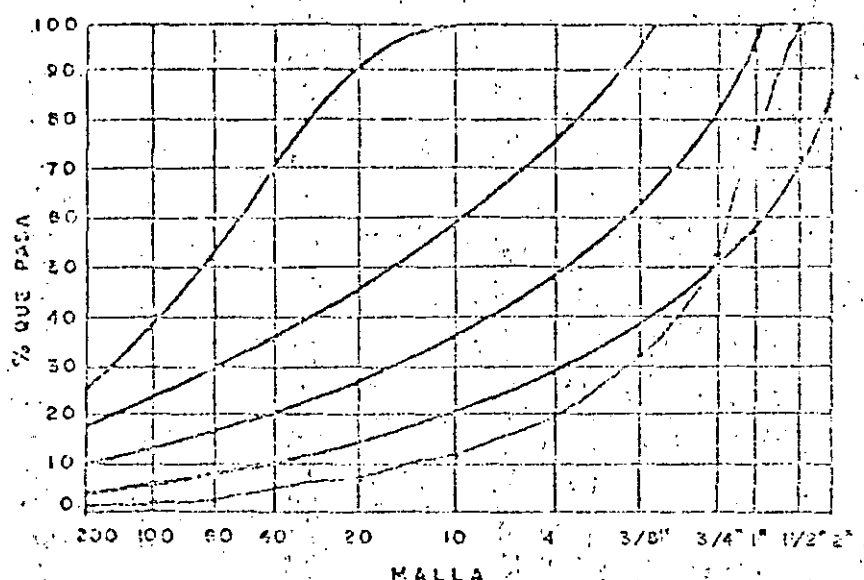
ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUB BASES Y BASES

Para: D.C.A., S.A.H.O.P.  
Obra: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia Bco. de Piedra Bco. No. 6      Muestras Número 568  
Descripción Bco. ubicado en el Km 28 del camino      Fecha Recibo 21-XI-77  
cuatro caminos la mira con 200 mts. desv. Der.

Composicion Granulometrica	
MAILLA	% pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	75
3/4"	52
3/8"	32
Nº 4	20
Nº 10	12
Nº 20	7
Nº 40	5
Nº 60	4
Nº 100	3
Nº 200	2
Retenido 2"	%

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Peso Vol. Suelto 1500 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Máxima 2130 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua Optimo 5.6 %
Valor Relativo de Soporte (CBR) Estándar 1030 % Del Lugar	Expansión 0.0 %	Valor Cementante 0.0 kg/cm <sup>2</sup>
		Equivalente Arena 75 %

Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40		Absorción Mat. Mayor 1/4" 1.4 %
		Mat. Menor Núm. 4 %

Límite Líquido 19.5	Índice Plástico N.P.	Densidad Mat. Mayor 1/4" 2.55 %
Límite Plástico ---	Contracción Líquid 0.0	Mat. Menor Núm. 4 %

Clasificación Petrográfica Grava arena Triturada      Tipo de Suelo (SUCS) G.W

Observaciones: Material Triturado Totalmente en Laboratorio. Granito sano!-

Elaborado N.C.L.      Revisado R.A.L.L.      5      Diciembre 1977      No. 110-20



89

ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUB BASES Y BASES

RIOBOO S.A.

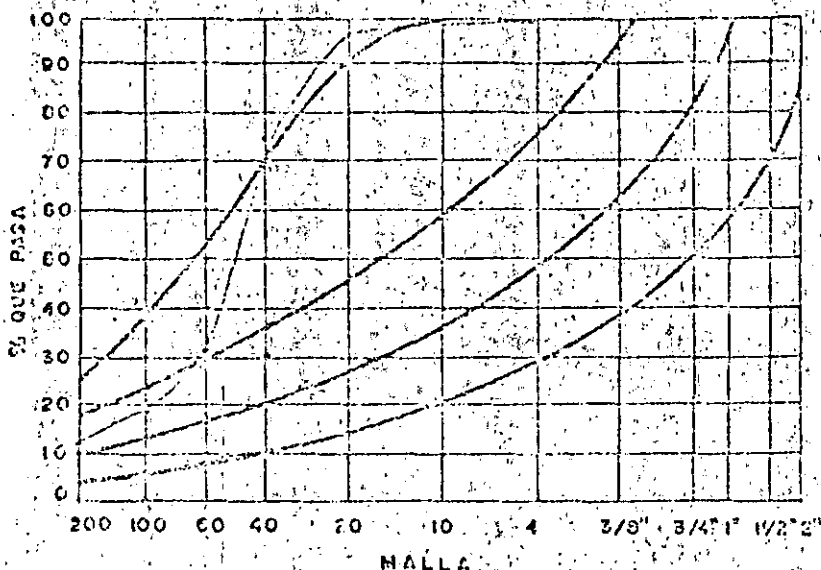
Para: D.G.A., S.A.H.O.P.

Cbra: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS, MICH.

Procedencia	Bco. km 119+600 Bco. No. 8	Muestras Número	561
Descripción	Bco. ubicado en el Km. 119+600 Carretera Zihuatanejo-La Mira con Desv. m 129, 1900	Fecha Recibo	21-XI-77

Composición Granulométrica	
MAILLA	% pasando
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
3/8"	
Nº 4	100
Nº 10	99
Nº 20	97
Nº 40	75
Nº 60	31
Nº 100	19
Nº 200	12

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Retenido 2"		%				
Peso Vol. Suelto	1290 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Máximo	1990 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua Óptimo	11.5 %	
Valor Relativo de Soporte (CBR)	Estándar 55.0 % Del Lugar	Expansión	0.0 %	Valor Cementante	4.0 kg/cm <sup>2</sup>	
Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40			Equivalente Arena			21.5 %
Límite Líquido	22.5	Índice Plástico	N.P.	Absorción Mat. Mayor 1/4"	4.0 %	
Límite Plástico		Contracción Lineal	0.4	Absorción Mat. Menor Núm. 4	%	
Densidad Mat. Mayor 1/4"			2.40 %			
Densidad Mat. Menor Núm. 4			%			
Clasificación Patrográfica Arena L			Tipo de Suelo (SUCS)			S N

Observaciones					
TECNILO	ASISTENTE	FECHA	HORA	LABORATORIO	NUMERO
N.C.V.L.	R.A.L.L.	5	Diciembre	1977	310-22



**90**  
**RICOBO SA**

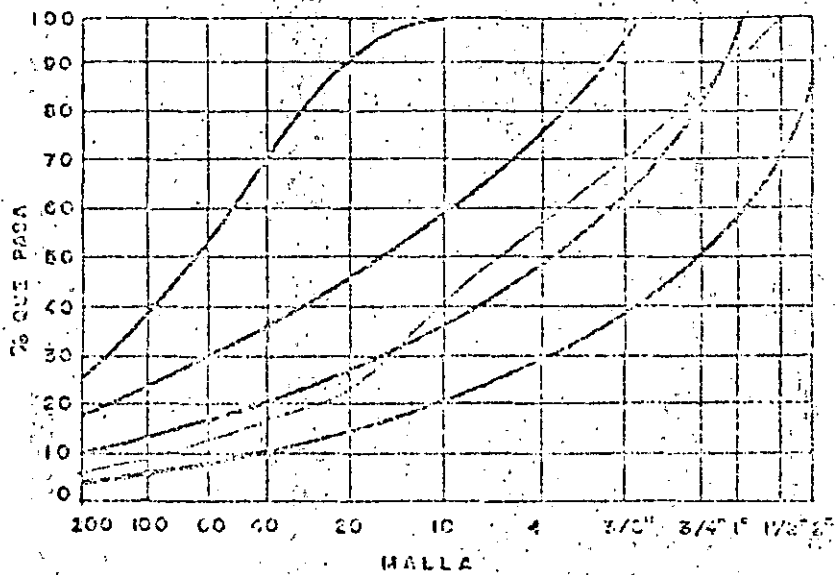
**ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUB BASES Y BASES**

Para: D.C.A., S.A.H.O.P.  
Obro: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia	Bco. el Carrizo	Módulo Número	
Descripción	Mezcla de Sub-base	Mazola No. 1	
		Fecha Recibo	16-VI-75

Composición Granulométrica	
MALLA	% pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	90
3/4"	85
3/8"	70
Nº 4	57
Nº 10	40
Nº 20	24
Nº 40	17
Nº 60	13
Nº 100	9
Nº 200	6
Retenido 2"	%

**GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA**



Peso Vol. Suelto	1710 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Máximo	2248 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua Óptimo	6.3 %
------------------	-------------------------	------------------	-------------------------	-------------------	-------

Valor Relativo de Soporte (CBR)	Estándar 86.0 % Del Lugar	Expansión	0.3 %	Valor Cementante	3.1 %	Equivalente Arena	37 %
---------------------------------	---------------------------	-----------	-------	------------------	-------	-------------------	------

Pruebas en Material Tamizado			Absorción	
Per la Malla Núm. 40			Mol. Mayor 1/4"	1.8 %
			Mol. Menor Núm. 4	%

Límite Líquido	30.1	Índice Plástico	9.7	Densidad	
Límite Plástico	20.4	Contracción Líquida	4.4	Mol. Mayor 1/4"	2.55 %
				Mol. Menor Núm. 4	%

Clasificación Petrográfica	Grava arena de Río	Tipo de Suelo (SUCS)	GW
----------------------------	--------------------	----------------------	----

Observaciones

90 % Triturado Parcial Banco el Carrizo #5

10 % Limo Blanco km. 536+509 # 2

FORMADO	ANALIZADO				
N.C.L.	R.A.L.L.	9	Diciembre	1977	110-23



91

ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUB BASES Y BASES

RIOBOO S.A.

Para: D.G.A., S.A.R.O.P.

Cbra: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia: Hco. Río Balsas

Muestras Número

Descripción

Mezcla de Base Hidráulica

Muestra 2

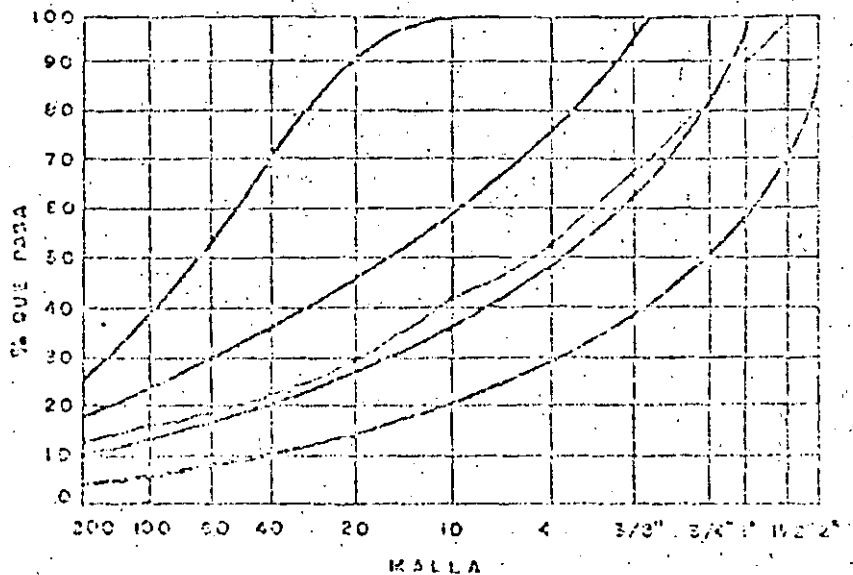
Fecha Recibo

16- XI- 77

Composición Granulométrica

MALLA	% pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	90
3/4"	81
3/8"	68
Nº 4	52
Nº 10	42
Nº 20	30
Nº 40	22
Nº 60	19
Nº 100	17
Nº 200	14

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Retenido 2" %

Peso Vol. Suelto 1710 Ton/m<sup>3</sup>

Peso Vol. Máximo 2170 Ton/m<sup>3</sup>

Cont. Agua Óptimo 7.6 %

Valor Relativo de Soporte (CBR) Estándar 110.0 % Del Lugar

Expansión 0.1 %

Valor Cementante 3.4 kg/cm<sup>2</sup>

Equivalente Arena 46 %

Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40

Absorción Mat. Mayor 1/4" 1.5 %  
Mat. Menor Núm. 4 %

Límite Líquido 25.1

Índice Plástico 5.9

Densidad Mat. Mayor 1/4" 2.58 %  
Mat. Menor Núm. 4 %

Límite Plástico 19.2

Contracción Líquida 1.9

Clasificación Petrográfica

Grava arena Ligeramente

Tipo de Suelo (SUCS) CW

Observaciones

85 % Triturado Parcial Río Balsas 4

15 % Lino Río Balsas 6

1200-10

10000

R.O.L.

F.A.L.L.

9

Diciembre

1977

1000

110-24



92

RIOBOO S.A.

ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUB BASES Y BASES

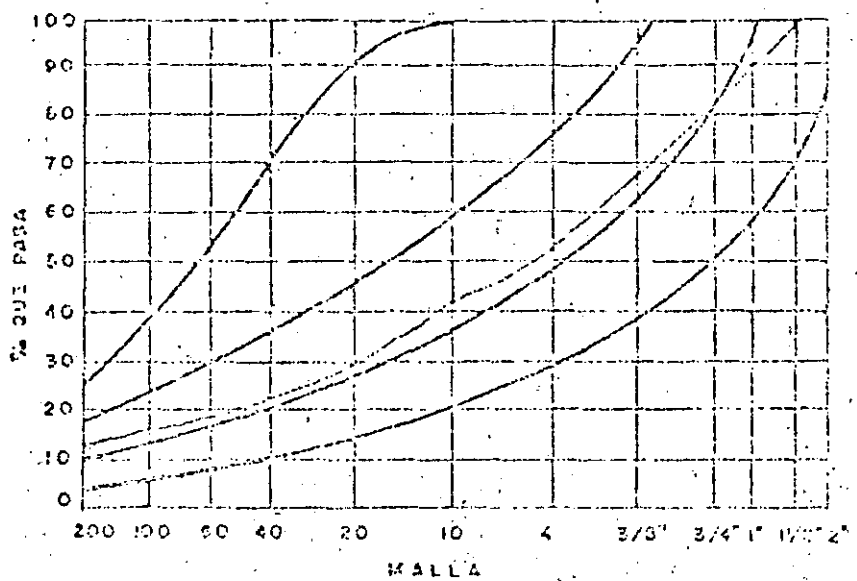
Para: D.G.A., S.A.H.O.P.  
Obra: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedimiento	Geo. Río Balsas	Muestras Número
Descripción	Mezcla de Base Hidráulica	Muestra 2
		Fecha Recibo
		16- XI- 77

Composición Granulométrica

MALLA	% pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	90
3/4"	81
3/8"	68
Nº 4	52
Nº 10	42
Nº 20	30
Nº 40	22
Nº 60	19
Nº 100	17
Nº 200	14
Retenido 2"	%

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Peso Vol. Suelo	1710 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Máxima	2170 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua Óptimo	7.6 %
Valor Relativo de Soporte (CBR)	Estándar 110.0 % Del Lugar	Expansión	0.1 %	Valor Cementante	3.4 kg/cm <sup>2</sup>
Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40				Equivalente Arena	46 %
Límite Líquido	25.1	Índice Plástico	5.9	Absorción Mat. Mayor 1/4"	1.5 %
Límite Plástico	19.2	Contracción Lineal	1.9	Mat. Menor Núm. 4	%
Clasificación Petrográfica		Grava arena Limonosa	Tipo de Suelo (SUCS)		
			G.W		

Observaciones:

85 % Triturado Parcial Río Balsas 4  
15 % Limo Río Balsas 6

Interno	N.C.L.	Apellido	R. A. P. L. E.	Nº	9	Diciembre	1977	Nº	110-26
---------	--------	----------	----------------	----	---	-----------	------	----	--------





93

RIOBOO SA

ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUS BASES Y BASES

Para: D.G.A., S.A.H.O.P.

Ciudad: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia Bco. El Carrizo No. 5

Muestras Número

Descripción Mezcla para Base Estabilizada al 4%  
de Cemento

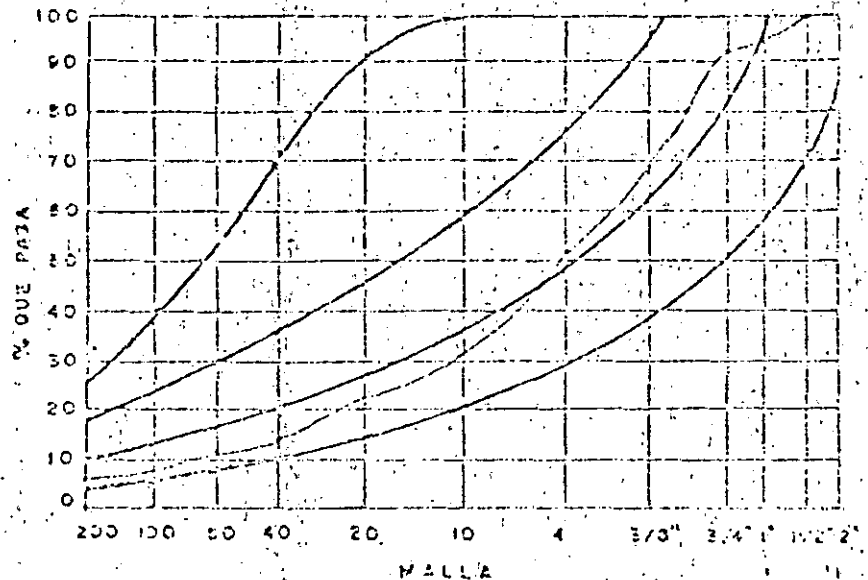
2- Ens. 585

Fecha Recibo  
10- XII- 77

Composicion Granulometrica

MALLA	% Pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	94
3/4"	92
3/8"	68
Nº 4	51
Nº 10	31
Nº 20	22
Nº 40	14
Nº 60	11
Nº 100	8
Nº 200	7

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Retenido 2" %

Peso Vol. Suelto 1800 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Máximo 2170 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua Óptimo 6.1 %
------------------------------------------	------------------------------------------	-------------------------

Valor Relativo de Soporte (CBR) Estándar 225 % Del Lugar	Expansión 0% %	Valor Cementante 6.3 kg/cm <sup>2</sup>
		Equivalente Arena 71 %

Pruebas en Material Tamizado  
Por la Malla Núm. 40

Límite Líquido 22.0	Índice Plástico ----	Absorción Mat. Mayor 1/4" 1.7 %
Límite Plástico ----	Contracción Línea 0.0	Mat. Mayor Núm. 4 %
		Densidad Mat. Mayor 1/4" 2.55 %
		Mat. Mayor Núm. 4 %

Clasificación Petrográfica Grava arena de Río Tipo de Suelo (SUCS) G H

Observaciones Material Triturado Parcial Estabilizado con Cemento Portland.

N.C.L. R.A.L.L. 12 Diciembre 1977 110-27



94  
RIOBOO S.A.

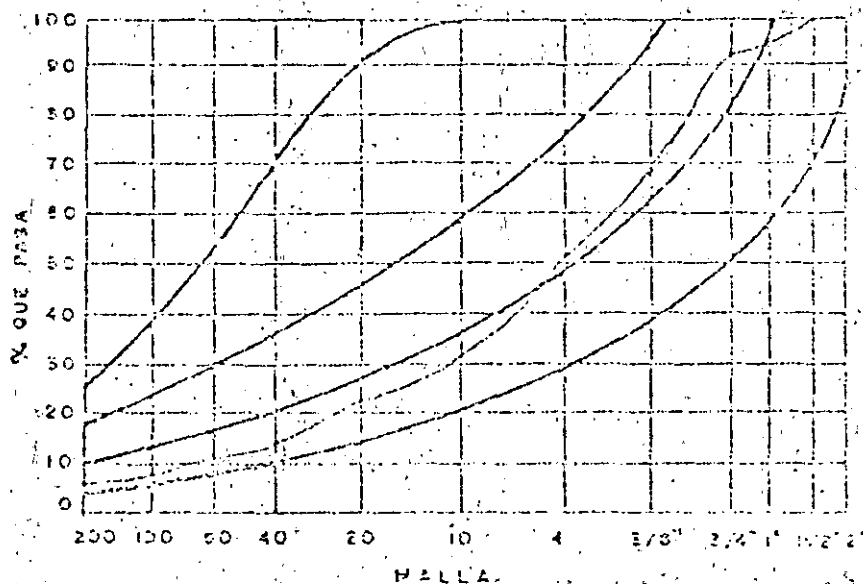
ENSAYE DE MATERIALES  
PARA SUB BASES Y BASES

Fono: D.G.A., S.A.H.O.P.  
Cdra: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia	Reo. El Carrizo No. 5	Muestras Número	2- Ens. 586
Descripción	Mezcla para Base Estabilizada al 4% de Cemento	Fecha Recibo	10- XII- 77

Composición Granulométrica	
MALLA	% pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	94
3/4"	92
3/8"	68
Nº 4	51
Nº 10	31
Nº 20	22
Nº 40	14
Nº 60	11
Nº 100	8
Nº 200	7

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Retenido 2"	%		
Peso Vol. Esp. 1800 Ton/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Máximo 2170 Ton/m <sup>3</sup>	Cont. Agua Óptimo 6.1 %	
Valor Relativo de Soporta (CBR) Estándar: 225 % Del Lugar	Expansión 0.0 %	Valor Cementante 6.3 %/cm <sup>2</sup>	Ecuivalente Arena 71 %
Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40		Absorción	
Limite Líquido 22.0	Índice Plástico ---	Maf. Mayor 1/4" 1.7 %	Maf. Menor Núm. 4 %
Limite Plástico ---	Contracción Lineal 0.0	Densidad	
Clasificación Petrográfico Grava arena de Río	Tipo de Suelo (SUCS) G.M.	Maf. Mayor 1/4" 2.55 %	Maf. Menor Núm. 4 %

Observaciones: Material Triturado Parcial Estabilizado con Cemento Portland.



95

ENSAJE DE MATERIALES  
PARA SUBBASES Y BASES

RICOBO S.A.

Para: D.G.A., S.A.H.O.P.

Ciudad: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia: Bco. El Carrizo No. 5

Muestras Número:

Descripción: Mezcla para Base Estabilizada  
5 % de Cemento

3 - Ens. 507

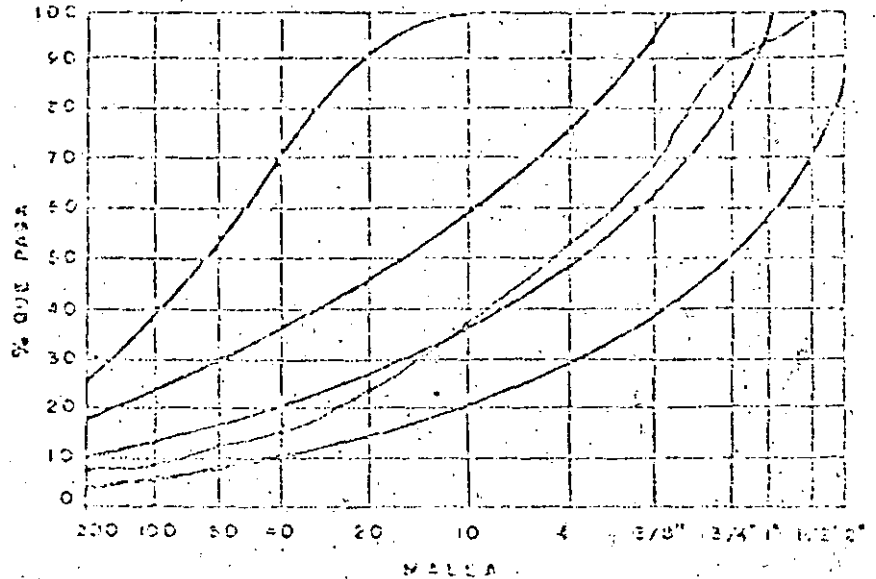
Fecha Recibo:

10- XII-77

Composición Granulométrica

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% pasando
2"	
1 1/2"	100
1"	94
3/4"	90
5/8"	69
Nº 4	52
Nº 10	38
Nº 20	24
Nº 40	15
Nº 60	12
Nº 100	9
Nº 200	8
Retenido 2"	%



Peso Vol. Suelto 1790 Ton/m<sup>3</sup>

Peso Vol. Máximo 2155 Ton/m<sup>3</sup>

Cont. Agua Óptimo 6.4 %

Valor Relativo de Soporta (CBR) Estándar 287 % Del Lugar

Expansión 0.0 %

Valor Cementante 7.1 %/cm<sup>2</sup>  
Ecuivalente Arena 70 %

Pruebas en Material Tamizado Por la Malla Núm. 40

Absorción Mol. Mayor 1/4" 1.7 %  
Mol. Menor Núm. 4 5 %

Límite Líquido 20.7

Índice Plástico ---

Densidad Mol. Mayor 1/4" 2.55 %

Límite Plástico ---

Contracción Líquida 0.0

Mol. Menor Núm. 4

Clasificación Petrográfica Grava arena de Río

Tipo de Suelo (SUCS) G M

Observaciones: Material Triturado Parcial Estabilizado con Cemento Portland.

N.C.L.

R.A.L.L.

11 Diciembre 1977

110-33



98  
RIOBOO SA

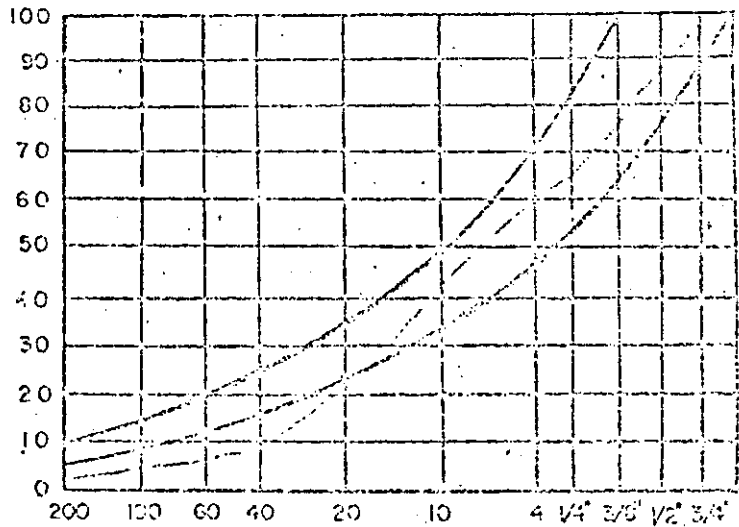
ENSAYE DE MATERIALES PARA  
MEZCLA ASFALTICA EN PLANTA

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.  
OPERA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS, MICH.

Procedencia	Beo. 5 El Carrizo	Muestra Número	533, 534, 535 y 536
Descripción	Material Triturado Parcial para Carpetas	Fecha Recibo	16- XI- 77
	% Material Triturado 25 %		

Composición Granulométrica	
MALLA	% que pasa
1"	
3/4"	100
1/2"	86
3/8"	75
1/4"	64
Núm. 4	60
Núm. 10	43
Núm. 20	21
Núm. 40	9
Núm. 60	4
Núm. 100	3
Núm. 200	2
Retenido en malla %	

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



CARACTERISTICAS MATERIAL PÉTRICO	CARACTERISTICAS DEL ASFALTO	CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA
CLASIFICACION PETROGRAFICA	TIPO	VACIOS
Arena y Grava de río	ADHESION regular a buena	ESTABILIDAD
TIPO de SUELO (SUCE)	OPT. ASFALTO	FLUJO
S W	% ASFALTO MEZCLA	VACIOS MAT. PÉTRICO
% DESGASTE 24.2 %	% P. VOL. MEZCLA	VACIOS ASFALTO
EO. DE ARENA 72	DENS. TEORICA MAXIMA	V. A. M.
DENSIDAD 2.55 %		
ABSORCION 1.5 %		

OBSERVACIONES

L.L. = 20 %  
I.P. = N.P.  
C.L. = 0.3 %  
P.U.S.S. = 1540 kg/m<sup>3</sup>

FÓRMULA	APROBADO	FECHA	REVISADO
N.C.L.	R.A.L.L.	10 Diciembre 1977	REVISADO 110-35



RIODOO SA

# ENSAYE DE MATERIALES PARA MEZCLA ASFALTICA EN PLANTA

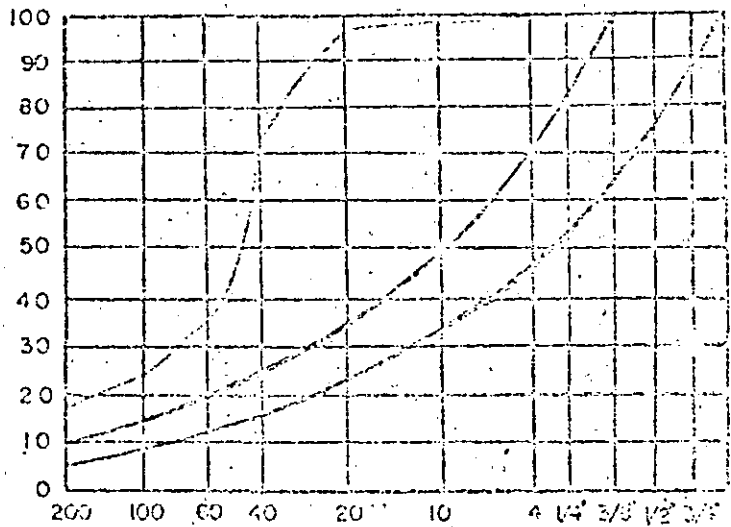
PARA: D.C.A., S.A.H.O.F.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS. NICH.

Procedencia	Bco. No. 7	Muestra Número	561
Descripcion	Arena para finos de Mezcla Asfáltica		Fecha Recibo
Km. 119+600 Zihuatanejo la mira 1990 mts. Desv. Izq.		21- VI- 77	

Composicion Granulométrica.	
MALLA	% que pasa
1"	
3/4"	
1/2"	
3/8"	
1/4"	
Núm. 4	100
Núm. 10	99
Núm. 20	97
Núm. 40	75
Núm. 60	37
Núm. 100	24
Núm. 200	18

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



CARACTERÍSTICAS MATERIAL PETREO		CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO		CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA	
CLASIFICACION PETROGRAFICA	Arena 1: rosa	TIPO		VACIOS	
TIPO de SUELO (SUOS)	S M	ADHERENCIA		ESTABILIDAD	
% DESGASTE		C. OPT. ASFALTO		FLUJO	
EQ. DE ARENA	29.5	% ASFALTO MEZCLA		VACIOS MAT. PETREO	
DENSIDAD	2.40	% P. VOL. MEZCLA		VACIOS ASFALTO	
ABSORCION	4.0	DENS. TEORICA MAXIMA		V. A. M.	

OBSERVACIONES

L.L. = 22.5 %  
 I.P. = N P  
 C.L. = 0.4 %  
 P.U.S.S. = 1280.

FORMA	116030				
N.C.L.	R.A.L.L.	10	Diciembre	1977	110-34



100

RIOBOO S.A.

ENSAYE DE MATERIALES PARA MEZCLA ASFALTICA EN PLANTA

PARA: D.C.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Presentación Mezcla de Carpeta

Muestra Número

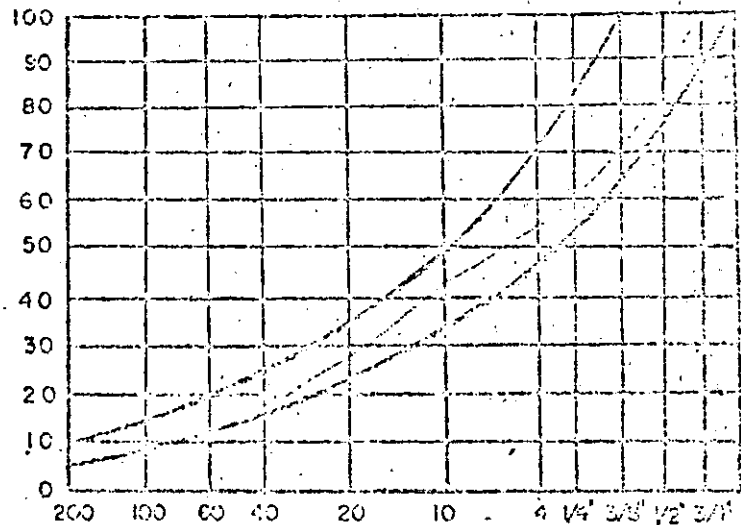
Descripción 15% Arena Bco. No. 7 Km. 119+600  
40% Arena Bco. NO. 5 El Carrizo  
45% Grava Bco. No. 5 El Carrizo

Mezcla 2.ª de Carpeta  
Fecha Recibo  
21-XI-77

Composición Granulométrica.

BALLA	% Cmo. peso
1"	
3/4"	100
1/2"	85
3/8"	72
1/4"	60
Núm. 4	55
Núm. 10	44
Núm. 20	29
Núm. 40	18
Núm. 60	12
Núm. 100	9
Núm. 200	5

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



Referido a malla. %

CARACTERISTICAS MATERIAL PETREO	CARACTERISTICAS DEL ASFALTO	CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA
CLASIFICACION PETROGRAFICA: Arena y grav.	TIPO: No. 6	VACIOS: 3.8 %
TIPO de SUELO (SUCS): S W	ADHERENCIA: Regular a buena	ESTABILIDAD: 1140 kgs.
% DESGASTE: 24.2	C. OPT. ASFALTO: 6.5 %	FLUJO: 3.0 m m
EQ. DE ARENA: 60.0	% ASFALTO MEZCLA: 6.5 %	VACIOS MAT. PETREO: 17.0 %
DENSIDAD: 2.52	% P. VOL. MEZCLA: 2225 kgs/cm <sup>3</sup>	VACIOS ASFALTO: 78 %
ABSORCION: 1.9	DENS. TEORICA MAXIMA: 2315 kgs/m <sup>3</sup>	V. A. M.: 17.0 %

OBSERVACIONES

L.L. = 21.5 %  
L.P. = N.P.  
C.L. = 0.4 %  
P.U.S.S. = 1550 kgs/m<sup>3</sup>

FORMULO	APROBO				
R.C.I.	R.A.L.L.	10	Diciembre	1977	110-35



107

RIODOO S.A.

REPORTE DE CONTROL DE CARPETA  
POR MEDIO DE PASTILLAS MARSHAL

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

ENSAYE Nº	DESCRIPCION	% ASFALTO	PESO VOLUM.	% VACIOS	ESTABILIDAD	FLUJO N.º
1	Promedio de 3 Especímenes	4.5	2135	10.0	760	1.8
2	" " "	5.0	2165	8.0	890	2.0
3	" " "	5.5	2180	6.8	990	2.3
4	" " "	6.0	2210	5.0	1100	2.5
5	" " "	6.5	2225	3.8	1140	3.0
6	" " "	7.0	2240	2.8	1090	3.6
7	" " "	7.5	2240	2.3	890	4.0
Diseño No. 2 de Carpeta						
45 % Grava Bco. No. 5 El Carrizo						
40 % Arena Bco. No. 5 El Carrizo						
15 % Arena Bco. No. 7 Km. 119+600.						

VALORES MARSHALL DE PROYECTO

% Optimo Cemento Asfalto	6.5	%	% Vacíos	3.8	%
Tipo de Asfalto	No. 6		Vacíos Llenos C.A.	78	%
Densidad Teórica Máxima	2315	Ton/m <sup>3</sup>	Estabilidad	1140	kg
Densidad de Proyecto	2225	Ton/m <sup>3</sup>	Flujo	3.0	mm

Observaciones

FORMULO

N.C.E.

APROBO

R.A.L.L.

10

Diciembre

1978

INE

110-35 A

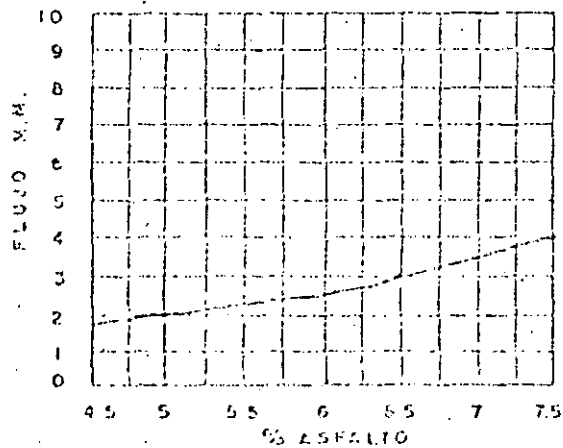
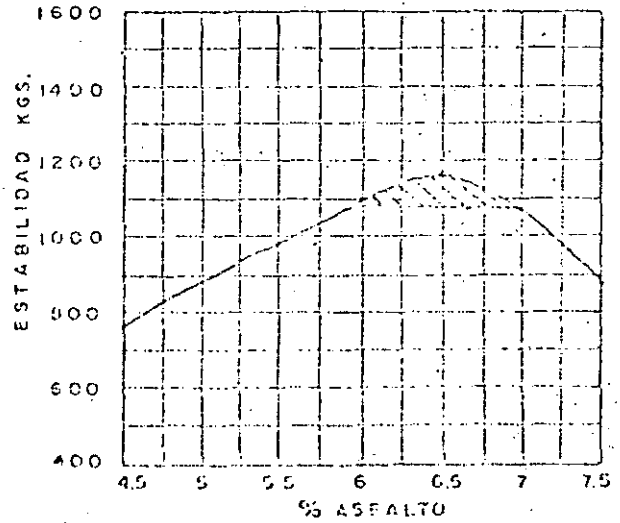
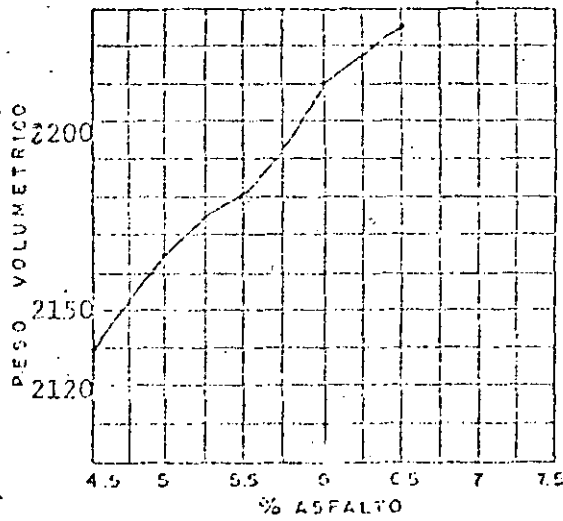
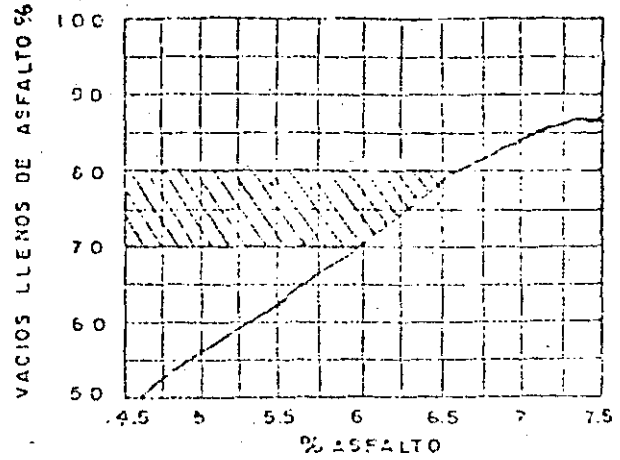
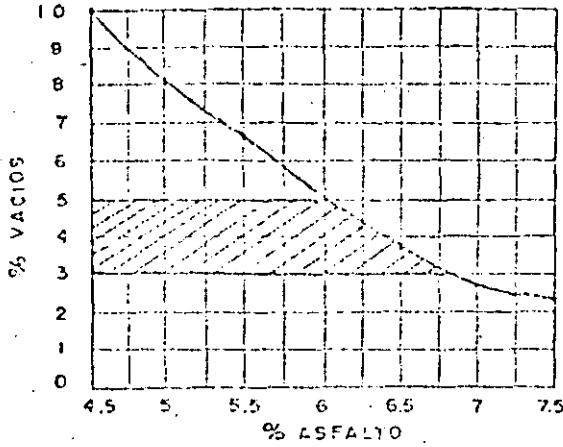


102  
RIOBOO SA

ANALISIS MARSHALL DE ESTUDIO  
DE MEZCLA ASFALTICA

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MECH.



Diseño de Carpeta

VALORES OPTIMOS

% VACIOS	MIN 6.0	MAX 6.8	OPT 6.4
VACIOS ASFALTO	5.9	6.7	6.3
ESTABILIDAD	5.0	6.9	6.4
FLUJO	5.0	7.5	6.5
% OPTIMO DE ASFALTO 6.5			

ELABORADO

N.C.L.

APROBADO

R.A.L.L.

10

Diciembre

197

Nº

110-35 B





103

RIOBO SA

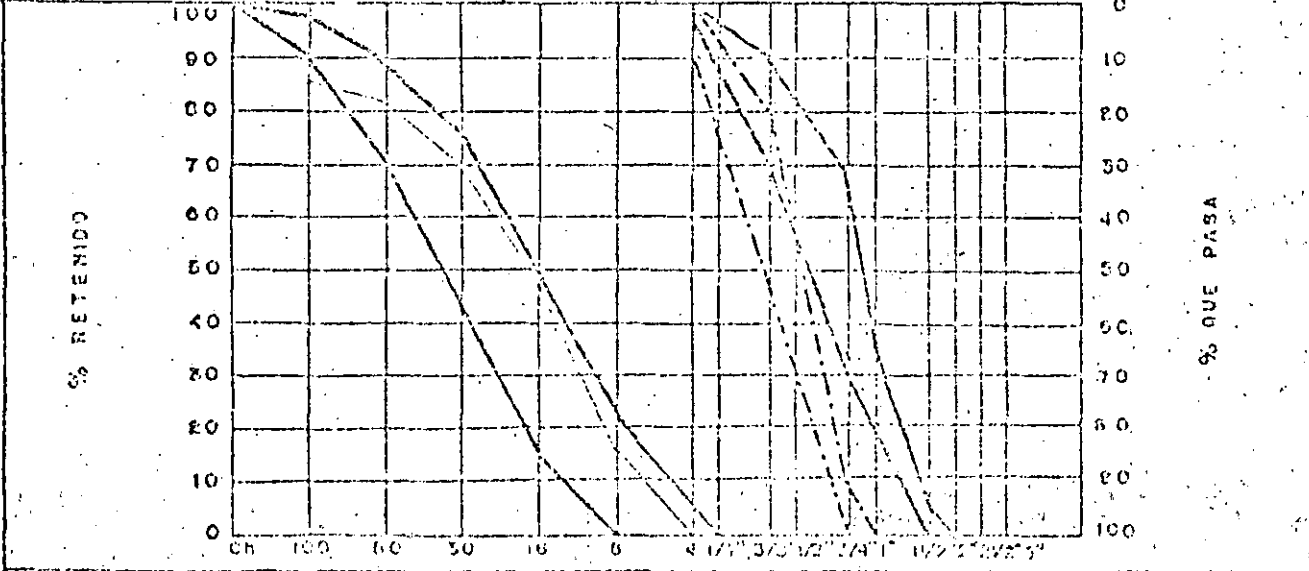
PRUEBAS FISICAS DE AGREGADOS  
PARA CONCRETO

PARA: D.C.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Presidencia	Río El Carrizo Eco. No. 5	Muestras Número	533, 534, 535, 536 y 537
Descripción Grava y Arena de Río para Concreto		Fecha Recibo	21- XI- 77
Hidráulico			

Concepto	Arena 1	Arena 2	Concepto	Grava 1	Grava 2
Retenido en malla 4	47		Retenido en malla 2		
" " " 8	16		" " 1/2"		
" " " 16	32		" " 3/4"	32	
" " " 30	22		" " 3/8"	37	
" " " 50	11		" " 4"	31	
" " " 100	5		Pasa la Malla 4	53	
Pasa Malla Núm. 100	3		Densidad	2.55	
Modulo de Flujo	3.34		Absorción	1.6	
Densidad	2.61		Peso Volumetrico Suelto	1535	
Absorción	2.7		Peso Volumetrico Variado	1635	
Peso Volumetrico Suelto	1605		Int. Acelerado	5.1	
Peso Volumetrico Variado	1720		Pérdida Abrasión	24.2	
Intemperismo Acelerado	---		Observaciones Eq. de Arena 74 % Ret. en 2" 10 %		
Pérdida por Abrasión	---				
Materia Organica (Color)	1 Cumple				
Pasa Malla Num. 200	2.6 por lavado				



TORALDO	APROBO	FECHA	NUM.
N.C.L.	R.A.I.L.	10 Diciembre 1977	110-38



104

RIOBOO S.A.

PROPORCIONAMIENTO DE UNA  
MEZCLA DE CONCRETO

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS NICH.

Procedencia	Río El Carrizo Sec. No. 5	Muestras Número	533, 534, 535, 536 y 537
Descripcion	Proporcionamiento para Losas de "Concreto Hidráulico"	Fecha Recibo	12- XI- 77

DATOS DE PROYECTO		MATERIALES	
f'c	350 kg/cm <sup>2</sup>	Cemento	Normal Tipo I
Revenimiento	2-4 cm.	Arena 1	Río El Carrizo
M.R.	45 kg/cm <sup>2</sup>	Arena 2	
Tamaño Máximo	1 1/2"	Grava 1	Río El Carrizo
Aditivo	Inclusor de Aire	Grava 2	

## MEZCLA PROPUESTA

MATERIALES	Proporción Unitaria en Faso	Proporción Unitaria en Volumen	Proporción en Peso Por saco de cam.	Proporción en Vol. P/saco de cemento	Cantidad Por m. <sup>3</sup> de concreto
Cemento	1.00 kg.	1.00 t	50.0 kg.	33.0 t	380 kg.
Arena 1	1.88 kg.	1.72 t	94.0 kg.	56.7 t	715 kg.
Arena 2	kg.	t	kg.	t	kg.
Grava 1	2.79 kg.	2.67 t	139.5 kg.	88.0 t	1060 kg.
Grava 2	kg.	t	kg.	t	kg.
Agua	0.37 kg.	0.56 t	18.4 kg.	18.4 t	140 kg.
Sumas	6.04 kg.	5.95 t	301.9 kg.	196.1 t	2295 kg.

Revenimiento Obtenido	4.0 cm.	Agua Utilizada	Potable
-----------------------	---------	----------------	---------

Características de la Mezcla	Buena, Manejable
------------------------------	------------------

Resistencia a X	Compresión X	Flexión	
2 Vigas	0 14 días	41.9	kg/cm <sup>2</sup>
2 Vigas	0 28 días	51.3	kg/cm <sup>2</sup>
2 Cilindros	0 28 días	304.0	kg/cm <sup>2</sup>

Observaciones.	Se utilizó Sika Aire 50 cms <sup>3</sup> por saco de cemento aire incluido 4.6 %
----------------	----------------------------------------------------------------------------------

FORMA	RECIBO				
M.C.I.	R.A.H.L.	14	Diciembre	1977	INSTR. 110-33



105

RIOBOO SA

## TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO GARDENAS MICH.

Procedencia.	Camino de Acceso	Fecha de Extracción.
Descripción.	Material de Terracería ( Terreno Natural )	8- XI- 77 Fecha Recibo. 16- XI- 77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	514	515
Elevación.	14250	14950
Profundidad del Sonda.	1.00mts.	1.000mts.
% de Compactación.	70.0	88.0
Contenido de Agua en %	15.3	22.6

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	2"	1"
Peso Malla Núm. 4	49	94
Peso Malla Núm. 40	35	90
Peso Malla Núm. 200	25	77
Peso Volumétrico Suelto.	1390	1150
Peso Volumétrico Máximo.	1865	1630
Humedad Óptima.	17.6	22.5
Límite Líquido	44.4	68.5
Índice Plástico	23.8	46.4
Contracción Línea.	8.0	15.2
Clasificación S.U.C.S.	G C	CH 1
V.R.S. Estándar.	3.9	2.6
Espansión %	5.2	3.2

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	20.6	25.5
Valor Relativo Soporta.	7.0	10.0
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	19.1	26.0
Valor Relativo Soporta.	17.0	11.3

Observaciones.

ISSUE	21330					
N.C.L.		R.A.M.I.	2	Diciembre	1977	111-2



- 106  
RIODOO SA

TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL  
MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia.	Camino de Acceso	Fecha de Extracción.
Descripción.	Material de Terracería (Terreno Natural)	9- XI- 77
		Fecha Recibo.
		16- XI- 77

IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	516	517
Estación.	2+250	2+750
Profundidad del Sonda.	1.70 mts.	0.60 mts.
% de Compactación.	88.0	89.0
Contenido de Agua en %	11.2	18.8

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	2 1/2"	3/4"
Peso Malla Núm. 4	40	95
Peso Malla Núm. 40	25	82
Peso Malla Núm. 200	13	40
Peso Volumétrico Suelto.	1600	1350
Peso Volumétrico Máximo.	1865	1700
Humedad Óptima.	13.2	19.0
Límite Líquido	50.1	50.4
Índice Plástico	22.3	32.3
Contracción Líquida.	10.1	13.1
Clasificación S.U.C.S.	CH 1	G C.
V.P.S. Estándar.	30.0	5.9
Expansión %	0.6	1.7

ESTUDIO DE PAVIMENTO.

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	16.2	22.0
Valor Relativo Soporte.	38.3	8.7
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	14.7	20.5
Valor Relativo Soporte.	47.0	16.0

Observaciones.

FORMA	R.C.L.	TIPO	P.A.L.L.	2	Diciembre	1977	INSTR. 111-3
-------	--------	------	----------	---	-----------	------	--------------



107

RIOBOC SA

TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia. Camino de Acceso	Fecha de Extracción.
Descripción. Material de Terracería	9- XI- 77
	Fecha Recibo. 16- XI- 77

IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Encoyo.	518	519
Estación.	2+750	3+250
Profundidad del Sondeo.	1.70 mts.	1.70 mts.
% de Compactación.	91.0	90.0
Contenido de Agua en %	5.4	21.5

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	4"	No. 4
Pasa Malla Núm. 4	40	100
Pasa Malla Núm. 40	30	91
Pasa Malla Núm. 200	14	69
Peso Volumétrico Suelto.	1665	1120
Peso Volumétrico Máximo.	2110	1720
Humedad Óptima.	9.4	13.5
Límite Líquido	62.8	39.8
Índice Plástico	38.7	22.0
Contracción Líquid.	14.8	11.3
Clasificación S.U.C.S.	G.C.	C.I.
V.R.S. Estándar.	7.8	4.2
Expansión %	1.7	1.4

ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	13.4	21.5
Valor Relativo Superior.	95.8	6.7
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	10.9	20.0
Valor Relativo Superior.	15.9	15.3

Observaciones.

Revisó	Medio				
R.C.L.	R.A.L.E.	2	Diciembre	1977	NOV 21 11-4



108

RIOBOO SA

## TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS NICH.

Procedencia. Pista Principal	Fecha de Extracción. 12- XI- 77
Descripción. Material de Terracería ( Terreno Natural )	Fecha Recibo. 21- XI- 77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR.

Núm. Ensayo.	546	547
Estación.	0+500	0+700
Profundidad del Sondeo.	1.20 Mts.	1.40 Mts.
% de Compactación.	88.0	97.0
Contenido de Agua en %	12.0	21.0

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	4"	No. 4
Pasa Malla Núm. 4	26	100
Pasa Malla Núm. 40	16	59
Pasa Malla Núm. 200	9	42
Peso Volumétrico Suelto.	1595	1075
Peso Volumétrico Máximo.	2045	1595
Humedad Óptima.	11.4	21.4
Límite Líquido	48.8	36.4
Índice Plástico.	21.5	15.5
Contracción Líquid.	9.5	6.2
Clasificación S.U.C.S.	G C	S C
M.R.S. Estándar.	6.9	3.6
Expansión %	3.9	6.8

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	14.4	24.4
Valor Relativo Superior.	16.0	10.0
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	12.9	22.9
Valor Relativo Superior.	48.0	16.0

Observaciones.

Elaborado D.C.L.	Aprobado R.A.L.L.	7	Diciembre	1977	Nº. 112-2
---------------------	----------------------	---	-----------	------	-----------



109

RIOBOO SA

## TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS

Procedencia: Pista Principal	Fecha de Extracción: 12- XI- 77
Descripción: Material de Terracería ( Terreno Natural )	Fecha Recibo: 21- XI- 77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	548	549
Estación.	0+900	1+100
Profundidad del Sonda.	1.60 Mts.	1.40 Mts.
% de Compactación.	95.0	93.0
Contenido de Agua en %	18.0	15.7

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	No. 4	No. 4
Pasa Malla Núm. 4	100	100
Pasa Malla Núm. 40	95	96
Pasa Malla Núm. 200	36	80
Peso Volumétrico Suelto.	1115	1155
Peso Volumétrico Máximo.	1640	1670
Humedad Óptima.	21.8	20.0
Límite Líquido	39.0	45.8
Índice Plástico	15.7	29.8
Contracción Líquid.	7.2	12.7
Clasificación S.U.C.S.	S. C.	C.I.
V.R.S. Estándar.	5.7	3.3
Expansión %	4.3	2.8

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	24.8	23.0
Valor Relativo Superior.	80.0	8.6
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	23.3	21.5
Valor Relativo Superior.	11.9	13.3

Observaciones.

100000

R.G.L.

100000

R.A.L.L.

9

Diciembre

1977

100

FMA 112-3



110  
RIOBOO S.A.

TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia.	Pista Principal	Fecha de Extracción.	13- XI- 77
Descripción.	Material de Terracería (Terreno Natural )	Fecha Recibo.	21- XI- 77

IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	550	551
Estación.	1+300	1+500
Profundidad del Sondéo.	1.40 Mts.	1.40 Mts.
% de Compactación.	93.0	84.0
Contenido de Agua en %	13.4	12.2

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	No. 4	1"
Peso Malla Núm. 4	100	83
Peso Malla Núm. 40	94	54
Peso Malla Núm. 200	77	33
Peso Volumétrico Suelto.	1145	1440
Peso Volumétrico Máximo.	1705	2130
Humedad Óptima.	19.8	11.5
Límite Líquido	38.2	33.3
Índice Plástico	19.1	12.6
Contracción Lineal.	8.2	5.0
Clasificación S.U.C.S.	C.L	S.C
V.R.S. Estándar.	3.9	30.0
Expansión %	7.3	1.6

ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	22.8	14.5
Valor Relativo Soporta.	8.6	16.9
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	21.3	13.0
Valor Relativo Soporta.	10.8	24.7

Observaciones.

Elaborado	Revisado	Fecha	Hoja
R.C.L.L.	R.A.L.L.	9 Diciembre 1977	112-4





117

RIOBOO SA

## TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia.	Pista Principal	Fecha de Extracción.	13- XI- 77
Descripción.	Material de Terracería ( Terreno Natural)	Fecha Recibo.	21- XI- 77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	552	553
Estación.	14700	14900
Profundidad del Sendeo.	1.50 Mts.	1.50 Mts.
% de Compactación.	87.0	93.0
Contenido de Agua en %	10.8	8.6

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	2" .	1"
Pasa Malla Núm. 4	67	95
Pasa Malla Núm. 40	31	76
Pasa Malla Núm. 200	15	23
Peso Volumétrico Suelto.	1460	1300
Peso Volumétrico Máximo.	2040	1920
Humedad Óptima.	13.6	14.6
Límite Líquido	31.9	28.1
Índice Plástico	9.9	8.8
Contracción Línea.	4.4	3.8
Clasificación S.U.C.S.	S C	S C
V.R.S. Estándar.	28.4	24.7
Expansión %	0.7	0.4

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	16.6	17.6
Valor Relativo Soporta.	6.3	10.0
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	15.1	16.1
Valor Relativo Soporta.	11.8	20.3

Observaciones.

FECHA	PROYECTO	DI. NÚM.
11-11-77	R.A.H.L.	117-5



112

RIOBOO SA

## TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.I.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia.	Pista Principal	Fecha de Extracción.
Descripción.	Material de Terracería (Terreno Natural)	18- XI- 77
		Fecha Recibo. 21- XI- 77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	554	555
Estación.	2+100	2+300
Profundidad del Sondoo.	1.30 Mts	1.50 Mts.
% de Compactación.	94.0	90.0
Contenido de Agua en %	17.5	40.6

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	No. 4	No. 4
Peso Malla Núm. 4	100	100
Peso Malla Núm. 40	97	62
Peso Malla Núm. 200	84	24
Peso Volumétrico Suelto.	1145	950
Peso Volumétrico Máximo.	1670	1235
Humedad Óptima.	21.0	39.6
Límite Líquido	53.0	64.4
Índice Plástico	34.1	31.9
Contracción Lineal.	15.0	19.3
Clasificación S.U.C.S.	CH-1	S C
V.R.S. Esfonder.	4.0	4.0
Espansión %	3.2	4.8

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	24.0	42.6
Valor Relativo Soporte.	10.7	9.3
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	22.5	41.1
Valor Relativo Soporte.	12.2	23.2

Observaciones.

Formulario	N.C.L.	Revisado	R.A.H.L.	9	Diciembre	1977	Núm. 112-6
------------	--------	----------	----------	---	-----------	------	------------



113

RIOBOO SA

TERRACERIAS CARACTERISTICAS D  
MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESOR

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia.	Pista Principal	Fecha de Extracción.
Descripción.	Material de Terracería (Terreno Natural )	15- XI- 77
		Fecha Recibo. 21- XI- 77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Ítem. Ensayo.	556			
Estación.	2+500			
Profundidad del Sondeo.	1.50 Mts			
% de Compactación.	89.0			
Contenido de Agua en %	25.6			

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	No 4			
Peso Malla Núm. 4	100			
Peso Malla Núm. 40	97			
Peso Malla Núm. 200	84			
Peso Volumétrico Suelto.	1075			
Peso Volumétrico Máximo.	1630			
Humedad Óptima.	23.2			
Límite Líquido	26.4			
Índice Plástico	17.2			
Contracción Líquid.	8.4			
Clasificación S.U.C.S.	C L			
V.R.S. Estándar.	5.1			
Expansión %	3.8			

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90			
Humedad de Prueba.	26.2			
Valor Relativo Separía.	6.0			
% Compactación.	95.0			
Humedad de Prueba.	24.7			
Valor Relativo Separía.	10.0			

Observaciones.

FORMA	ANEXO	9	Diciembre	1977	inf. 112-7
R.C.T.	R.A.H.				



114

RIOBOO SA

TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia.	Calce de Rodaje No. 1	Fecha de Extracción.	11-XI-77
Descripción.	Material de Terracería	Fecha Recibo.	21-XI-77

IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	522	523
Estación.	0+150	0+350
Profundidad del Sondeo.	1.50 mts.	1.40 mts.
% de Compactación.	87.0	89.0
Contenido de Agua en %	23.4	12.0

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	No. 4	4"
Peso Malla Núm. 4	100	56
Peso Malla Núm. 40	90	44
Peso Malla Núm. 200	69	29
Peso Volumétrico Suelto.	1190	1490
Peso Volumétrico Máximo.	1670	2020
Humedad Óptima.	20.0	12.6
Límite Líquido	36.8	39.0
Índice Plástico	17.8	17.2
Contracción Lineal.	7.9	7.5
Clasificación S.U.C.S.	C L	C C
V.R.S. Estándar.	4.6	6.0
Expansión . %	7.1	6.3

ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	23.0	15.6
Valor Relativo Superior.	8.0	16.7
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	21.5	14.1
Valor Relativo Superior.	12.6	37.4

Observaciones.

FORMA	ALICADO	R.A.I.L.	9	Diciembre	1977	NO. 112-8
R.C.I.L.						



115

RIQBOO SA

## TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia.	Calle de Rodaje NO. 2	Fecha de Extracción.	11-XI-77
Descripción.	Material de Terracería (Terreno Natural)	Fecha Recibo.	21-XI-77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	524	525
Estación.	0+150	0+350
Profundidad del Sonda.	1.50 Mts.	1.50 Mts.
% de Compactación.	86.0	87.0
Contenido de Agua en %	16.3	14.8

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	3"	2 1/2"
Peso Malla Núm. 4	67	57
Peso Malla Núm. 40	44	41
Peso Malla Núm. 200	28	27
Peso Volumétrico Suelto.	1260	1450
Peso Volumétrico Máximo.	1930	1940
Humedad Óptima.	14.6	14.6
Límite Líquido	36.4	32.4
Índice Plástico	21.0	14.9
Contracción Líquid.	8.5	6.8
Clasificación S.U.C.S.	SC	GC
M.R.S. Estándar.	16.6	4.8
Expansión %	1.9	5.0

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	17.6	17.6
Valor Relativo Soporta.	10.2	15.3
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	16.1	16.1
Valor Relativo Soporta.	35.0	41.3

Observaciones.

Elaborado	Revisado	Fecha	Hoja	Total
H.C.L.	R.A.J.B.	9 Diciembre 1977	1	112-9



116

RIOBOO SA

## TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPEORES.

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia.	Plata forma de Operaciones	Fecha de Extracción.
Descripción.	Material de Terracería ( Terreno Natural )	10- XI- 77
		Fecha Recibo. 21- XI- 77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	538	539
Estación.	Sondeo 1	Sondeo 2
Profundidad del Sondeo.	1.20 Mts.	1.20Mts.
% de Compactación.	92.0	89.0
Contenido de Agua en %	21.0	15.0

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	3/8"	3"
Peso Malla Núm. 4	98	39
Peso Malla Núm. 40	94	23
Peso Malla Núm. 200	54	10
Peso Volumétrico Suelto.	1125	1555
Peso Volumétrico Máximo.	1590	1950
Humedad Óptima.	21.0	15.0
Límite Líquido	36.6	40.0
Índice Plástico	14.7	16.1
Contracción Líquid.	6.6	6.1
Clasificación S.U.C.S.	C L	G C
V.R.S. Estándar.	4.0	22.0
Expansión %	8.2	2.2

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	24.0	18.0
Valor Relativo Superior.	15.4	6.6
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	22.5	16.5
Valor Relativo Superior.	22.0	10.0

Observaciones.

Elaborado	Revisado				
N.C.L.	R.A.L.L.	9	Diciembre	1977	06. MCA 112-10



117

RIOBOO S.A.

## TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.G.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia.	Plataforma de de operaciones	Fecha de Extracción.
Descripción.	Material de Terracería ( Terreno Natural)	10- XI- 77
		Fecha Recibo. 21- XI- 77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	540	541
Estación.	Sondeo 3	Sondeo 4
Profundidad del Sondeo.	1.40 mts.	1.50 mts.
% de Compactación.	82.0	84.0
Contenido de Agua en %	15.7	19.0

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	2"	No. 4
Peso Malla Núm. 4	85	100
Peso Malla Núm. 40	51	96
Peso Malla Núm. 200	19	54
Peso Volumétrico Susko.	1205	1075
Peso Volumétrico Máximo.	1900	1700
Humedad Óptima.	15.5	20.0
Límite Líquido	41.0	36.2
Índice Plástico	17.0	15.7
Contracción Lícal.	7.5	6.8
Clasificación S.U.C.S.	S C	C 1.
V.R.S. Estándar.	10.7	3.8
Expansión %	2.0	8.2

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	18.5	23.0
Valor Relativo Soporta.	8.0	14.0
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	17.0	21.5
Valor Relativo Soporta.	11.9	23.4

Observaciones.

FORMA	PROYECTO	FECHA	NO.	ESTADO	PROYECTO
R.C.I.	R.A.L.I.	9	Diciembre	1977	112-11



118

RICBOO SA

TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL  
MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES

PARA: D.C.A., S.A.H.O.P.

OBRA: AEROPUERTO LAZARO CARDENAS MICH.

Procedencia. Plataforma de Operaciones	Fecha de Extracción: 10- XI- 77
Descripción. Material de Terracería (Terreno Natural )	Fecha Recibo: 21- XI- 77

## IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR

Núm. Ensayo.	542	543
Estación.	Sondeo 5	Sondeo 6
Profundidad del Sondeo.	1.30 mts.	1.30 mts.
% de Compactación.	87.0	88.0
Contenido de Agua en %	12.6	14.0

## CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Tamaño Máximo.	3"	2"
Peso Malla Núm. 4	49	50
Peso Malla Núm. 40	37	39
Peso Malla Núm. 200	21	27
Peso Volumétrico Suelto.	1480	1300
Peso Volumétrico Máximo.	1820	1870
Humedad Óptima.	17.0	14.8
Límite Líquido	32.4	43.7
Índice Plástico	14.5	19.6
Contracción Línea.	6.0	8.4
Clasificación S.U.C.S.	G C	G C
M.R.S. Estándar.	8.2	4.9
Expansión %	2.7	6.5

## ESTUDIO DE PAVIMENTO

% Compactación.	90.0	90.0
Humedad de Prueba.	20.0	17.8
Valor Relativo Soporte.	7.4	23.1
% Compactación.	95.0	95.0
Humedad de Prueba.	18.5	16.3
Valor Relativo Soporte.	10.5	46.0

Observaciones.

ELABORADO H.C.A.	ANALIZADO R.A.L.L.	9	Diciembre	1977	PÁG. 113-12
---------------------	-----------------------	---	-----------	------	----------------





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

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE  
MAYO.  
MEXICO, D. F.

"PROYECTO DE INSTALACIONES EXTERIORES"  
(almacenamiento y Distribución de Combustible)

ARQ. B. ROCIO GONZALEZ BORBOLLA

CURSO DE INGENIERIA DE AEROPUERTOS

TEMA: "PROYECTO DE INSTALACIONES EXTERIORES" ✓  
(Almacenamiento y Distribución de Combustibles)

EXPOSITOR: ARQ. B. ROCIO GONZALEZ BORBOLLA

16 horas

I N D I C E

- I.- Combustibles más usados por la aviación en México.
- II.- Demandas de combustible.
- III.- Formas de suministrar combustible a la zona de almacenamiento.
- IV.- Formas de suministrar combustible a las aeronaves.
- V.- Localización de la zona para almacenamiento.
- VI.- Dimensiones de la zona para almacenamiento.
- VII.- Necesidades de protección de la zona para almacenamiento.
- VIII.- Necesidades de manejo y mantenimiento de la zona para almacenamiento.
- IX.- Diámetro de las tuberías.
- X.- Cálculo de la potencia de bombeo.
- XI.- Selección de las bombas.
- XII.- Selección de equipo.
- XIII.- Tablas y Nomogramas.
- XIV.- Memoria de cálculo. ( ejemplo )
- XV.- Combustible para plantas de emergencia.
- XVI.- Red Contra-incendio.- zona de combustibles.

I.- Combustibles más usados por la aviación en México.

Combustibles para aeronaves con motor de pistón.

Gas avión 80-87 ( octanos )

A V G A S 80/87

Identificación: Azul cielo.

Peso específico: 0.666 a 0.722 a 20° C.

Poder calorífico mínimo neto es de: 1040 Cal/Kg. ( 18,720 BTU/lb.)

Punto de congelación: - 60° C.

Máximo de agua: 20 partes por millón en peso.

Viscosidad cinemática: 15 centistokes.

Presión de vapor a la temperatura de bombeo, varía de:

5.5 a 7 lb./in<sup>2</sup> ( manométrico ).

Usos: Generalmente se usa en avionetas de tipo pequeño, - en México muy abundantes.

Gas avión 91-98 ( octanos )

A V G A S 91/98

Identificación: azul agua.

Mismas características que el 80/87

Consumo: Aviones particulares y aviones del tipo DC-3, DC-4 y C-47. Tiende a desaparecer.

Gas avión 100-130 ( octanos )

Identificación: verde esmeralda.

Mismas características que el 80-87.

Consumo: Avionetas, DC-6, DC-6B, tiende a aumentar.

Combustible para aeronaves tipo Jets.

Turbosina ( Jet A-1 )

Identificación: negro.

Destilado primario del petróleo del tipo de las Kerosinas.

Peso específico: 0.772 a 0.827 a 15°C.

Calor específico neto mínimo: 1,022 Cal./Kg. - - - - -

( 18,400 BTU/lb.)

Viscosidad cinemática: 15 centistokes como máximo.

Punto de congelación: - 50° C.

Tolerancia máxima de agua: 30 partes por millón.

Punto de inflamación: de 38° a 66° C.

I.1.- Contaminantes.

Para normas generales podemos decir que los combustibles de aviación deberán estar libres de contaminación, por lo que, al proyectar las instalaciones para almacenamiento y distribución en aeropuertos, se deben conocer los contaminantes y la fuente de donde provienen, la clasificación general es:

a).- Sólidos:

- Oxido, ( Moho ) y/o costras.
- Arena y polvo.
- Metal ( desgastes de equipo )
- Hilos y materiales fibrosos.
- Hule ó elásticos.

b).- Líquidos: principalmente el agua:

- Disuelta y
- en gotas.

II.- Demandas de combustible.

II.1.- Consumos actuales y anteriores.

En lugares en que se pueda obtener los datos de consumo se tabulará en la siguiente forma:

Consumo en millones de litros

Año	Turbosina	100-130	80-87
-----	-----------	---------	-------

67	196.32	41.20	0.52
68	218.10	41.95	0.59
69	239.01	41.75	0.68
70	268.68	42.20	0.81
71	307.26	42.85	0.90

**II.2.- Demandas futuras.**

Para encontrar una relación entre consumos y demandas futuras, se determina el porcentaje de crecimiento - que sufrirá el número de operaciones, esto es, relacionar operaciones futuras con operaciones actuales. Con éste factor podemos afectar ( extra polando ) -- volúmenes de demanda y almacenamiento.

a).- Número de operaciones actuales: 73,348

b).- Número de operaciones probables: 156,600

$$\text{Incrementos de vuelos} = \frac{156,600}{73,348} = 2.13$$

**II.2.a).- Número de operaciones.**

Año	Nacionales	Internacionales	Total
1967	30,834	22,580	53,414
1968	33,017	24,612	57,689
1969	36,759	26,673	63,432
1970	32,771	35,843	68,614
1971	35,384	37,964	73,348

**II.2.b).- Número de operaciones probables.**

Año	Nacionales	Internacionales	Total
1976	45,100	39,500	84,600
1981	55,500	42,200	97,700
1986	68,100	55,400	123,500
1991	84,600	72,000	156,600

412

Consumo actual de turbosina ( 1970 ) =  $239.01 \times 10^6$  lts.

Consumo probable ( 1975 ) =  $239.01 \times 10^6 \times 2.13 = 510 \times 10^6$  lts.

Demanda pico.

II.3.- Número de posiciones simultáneas en plataforma.

Se deben considerar tanto las actuales como las futuras.

II.4.- Factores que intervienen en el cálculo de demanda máxima de turbosina.

El cálculo del número de posiciones simultáneas en la plataforma es de mucha importancia; ya que con esto se puede diseñar en primer término las pistas de aterrizaje calles de rodaje y plataformas de operación.

Una vez localizadas en ella las posiciones de las aeronaves, se estudiará si se opta porque el suministro de combustible a las aeronaves sea directamente por tubería ( desde la zona de almacenamiento ), y se localizan las posiciones donde deberán ubicarse los hidrantes.

La demanda máxima de turbosina ( picos ) en un momento dado está en relación directa con el número de aeronaves estacionadas en ese momento en la plataforma y que requieren de éste servicio:

II.4.a).- No todas las posiciones simultáneas requieren el suministro al mismo tiempo.

II.4.b).- Tiempo necesario para cargar combustible.

El tiempo de estacionamiento de las aeronaves en la plataforma varía de 45 minutos para vuelos internacionales a 30 minutos para vuelos nacionales. En ese lapso se debe realizar múltiples operaciones como bajar y subir pa-

saje, bajar y subir carga, etc.

El tiempo estimado para carga de combustible de las aeronaves varía de 20 a 30 minutos máximo.

II.4.c).- La mayoría de las naves no cargan el 100% de la capacidad de sus tanques de almacenamiento. Por observaciones directas se ha visto que las aeronaves con rutas internacionales cargan un promedio de 12,000 litros mientras que las aeronaves con rutas nacionales cargan un promedio de 4,000 litros.

II.4.d).- Hay que tomar en cuenta el tipo de aeronaves a las que hay que suministrarle combustible; no todas tienen la misma capacidad de carga ni tampoco el mismo consumo por kilómetro recorrido.

II.4.e).- El lapso transcurrido entre demandas máximas, es un factor importante que hay que tomar en cuenta para el cálculo de la capacidad de almacenamiento de los tanques, en virtud de que el combustible debe estar reposado y -- limpio de contaminación. Este tiempo, entre una demanda máxima y otra, es de 24 horas.

II.5.- Cálculo de la demanda máxima.

Suponiendo que para 1980 se tuvieran 26 aeronaves cargando simultáneamente y para ese mismo año se han calculado 44 -- posiciones simultáneas, con lo cual se debe calcular un -- factor que sea aplicable al número y tipo de aeronaves.

Factor de corrección por carga de combustible.

F.C. =  $\frac{\text{No. de aeronaves que requiere el servicio}}{\text{No. de posiciones simultáneas en plataforma 44}} = \frac{26}{44} = 0.59$



44 aeronaves x 0.59 = 26

De éstas 26 aeronaves, 13 son nacionales y 13 para vuelos internacionales.

Recordando que para vuelos internacionales se carga un promedio de 12,000 lbs. y para vuelos nacionales la carga es de 4,000 lbs. aproximadamente. Se tiene:

12,000 X 13 = 156,000 lbs.

4,000 X 13 = 52,000 lbs.

Por lo que, en un momento dado se tendrá un consumo pico de 208,000 lbs. en un lapso de 30 minutos.

### III.- Formas de suministrar combustible a la zona de almacenamiento.

El proyecto deberá iniciarse a partir de las demandas de combustible actuales y futuras, tanto para la capacidad de almacenamiento, como para el equipo de suministro a aeronaves. Con respecto a la capacidad de almacenamiento es necesario el estudio de la forma de suministro a la zona de almacenamiento.

- 1.- Por medio de auto-tanques (pipas)
- 2.- Por medio de carro-tanques (ferrocarril)
- 3.- Por medio de barco-tanque.
- 4.- Por medio de transporte aéreo.
- 5.- Por medio de oleoducto.

### IV.- Formas de suministrar combustible a las aeronaves.

#### IV.1.- Por medio de auto-tanques.

El auto-tanque es un vehículo de propulsión propia, que tiene montado un tanque, el cual es cargado de combustible en la planta y se traslada a la plataforma de opera-

ciones para ubicarse debajo del ala del avión para de ahí alimentarlo.

Este auto-tanque deberá llevar su equipo de bombeo, el cual funciona con el motor del vehículo, llevará equipos de filtración y medición, así como equipos de control de presión y de flujo.

En aeropuertos donde el movimiento de aeronaves es muy intenso y la carga pico bastante alta, es necesario -- gran cantidad de estos vehículos, además de que las necesidades de demanda de combustible de las aeronaves -- esta por encima de la capacidad de almacenamiento de -- estos vehículos, por lo que en muchas ocasiones son necesarios 2 auto-tanques para surtir un aparato.

#### IV.2.- Por medio de hidrantes.

Por este medio el combustible es enviado a presión a través de una tubería fija que llega hasta una válvula ( hidrante ) localizada en posiciones fijadas para las aeronaves en plataforma.

Cuando se tiene espacio apropiado cerca de la plataforma, se puede pensar en un sistema de almacenamiento que tenga los tanques principales de almacenamiento en la zona y tanques auxiliares de demandas máximas localizadas cerca de la plataforma de operaciones.

Este sistema puede ser el más económico cuando la zona de almacenamiento está bastante retirada de la -- plataforma y el ahorro en tuberías y equipos de bombeo es bastante aceptable, aunque el costo de mantenimiento y operación sean un poco más altos que el ejemplo -- anterior. Este sistema puede utilizar una ó varias bom

bas de baja presión para el llenado de los tanques auxiliares y las tuberías para alimentar estos tanques - serían de menor diámetro.

IV.3.- Por medio de estaciones tipo gasolinería.

Este sistema consiste en instalar en la " isleta" que está entre las plataformas ( de operaciones y avio netas ) una estación del tipo de las gasolinerías, con un almacenamiento calculado en función de las operaciones y volúmenes de carga cuyos tanques pueden ser subterráneos ó atmosféricos. Estas estaciones dan servicio exclusivamente a aeronaves pequeñas ( avionetas ).

Cada uno de los casos señalados anteriormente, deberán ser estudiados individualmente, para determinar en cuanto a su operación y costo, cuál resulta ser el más conveniente para cubrir las necesidades.

Básicamente los sistemas móviles ( auto-tanques ) tienen una considerable ventaja: que pueden cargar combustible a un avión en cualquier parte del aeropuerto, ó pueden ser trasladados a otro aeropuerto cuando sus servicios sean necesarios, mientras que con el sistema fijo no existe esta flexibilidad.

El sistema de hidrantes presenta la ventaja de - continuidad en el abastecimiento, ya que si en la zona de almacenamiento se tienen suficientes reservas, el - servicio puede ser continuo, cosa que no sucede utilizando los auto-tanques.

V.- Localización de la zona para almacenamiento. <sup>IV</sup>

Los principales factores que intervienen en la localización de una zona para almacenar combustible son los siguientes:

- V.1.- Especificaciones para la operación de las aeronaves en un aeropuerto, ya que no deben ser obstáculos para el movimiento de las aeronaves.
- V.2.- Deben permitirse ampliaciones futuras. El constante aumentar del consumo de combustible debe permitir que la zona de almacenamiento no tenga restricciones futuras en cuanto a su ampliación en general.
- V.3.- Debe estudiarse la localización en cuanto a la forma de suministro de combustible a la zona, pues puede resultar más económico que esté localizada cerca de un camino, una vía de ferrocarril, un muelle ó un oleducto.
- V.4.- Para la ubicación de la zona, hay que tomar en cuenta la topografía del terreno, ya que un terreno alto con respecto a las plataformas nos ahorra energía en los motores de las bombas, así como también el drenaje pluvial de la zona no presentaría problemas.
- V.5.- Ubicar la zona lo más cercana posible de la plataforma de operaciones.
- V.6.- Que la zona esté del lado de la plataforma de avionetas.
- V.7.- La zona de almacenamiento no deberá situarse cerca de un foco de posible incendio.
- V.8.- Tratar de no interferir con los drenajes del aeropuerto

VI.- Dimensiones de la zona de almacenamiento.

- 1.- Número y tamaño de los tanques para el almacenamiento de combustible.
- 2.- Tipo ó forma de éstos.
- 3.- Forma de suministro de combustible a la zona.
- 4.- Manera de alimentar el combustible a las aeronaves.
- 5.- Necesidades futuras.

VI.1.- Factores que determinan la capacidad y número de tanques.

VI.1.a).- Frecuencia y volúmen de llenado.

VI.1.b).- Distribución de llenados.

VI.1.c).- Demanda promedio diario y demanda pico.

VI.1.d).- Tiempo de asentamiento del combustible. Se ha observado que para la turbosina la velocidad de asentamiento de los contaminantes es de 0.31 m/hr. y para las gasolinas de aviación esta velocidad es de 1.22 m/hr.

VI.1.e).- Distancia del centro productor al aeropuerto.

VI.1.f).- Posibilidad de interrupción en el suministro de combustible al aeropuerto.

VI.2.- Tipo de tanques para almacenamiento.

Estos pueden ser: cilíndricos verticales ( de techo fijo o flotante ), cilíndrico horizontal, esférico, cúbicos, etc., además los tanques pueden estar instalados en forma subterránea ó bien sobre el piso.

VI.2.a).- Tanques subterráneos.

Sus ventajas:

Riesgo mínimo de incendio y explosión, no necesitan

bomba para descarga de auto-tanques, no requiere diques para el caso de derrame, no requiere pasillos, escaleras, tienen menos pérdidas por evaporación, menos riesgos de descargas eléctricas atmosféricas.

Sus desventajas:

Mayor costo por excavación, si existen aguas freáticas se tiene problema de corrosión, es necesario instalar bomba especial para el drenado de éstos tanques, no se localizan fácilmente las fugas si las hay.

VI.2.b).- Tanques montados sobre el piso.

Sus ventajas:

Se requiere un mínimo de excavación y cimentación, menos pérdidas por carga de succión, fácil inspección y mantenimiento, escurrimiento de agua hacia adentro no es probable, las fugas de combustible son visibles, su drenado es mejor, se requiere un mínimo de protección contra la corrosión, facilidad para ejecutar sus reparaciones, su renovación y recuperación.

Sus desventajas:

Se tiene mayor riesgo de incendio y explosión, se requiere diques para derrames, mayores pérdidas por evaporación, se tiene el riesgo por las descargas atmosféricas, si se utiliza techo flotante puede haber depósitos de sólidos en las paredes.

VI.2.c).- Cálculo del espesor de placa para tanques horizontales.

Formulas:

$$T_w = \frac{P d}{2e} \quad e = \frac{P d}{2 T_w}$$

Siendo:

P = presión sobre la sección longitudinal ( Kg/cm<sup>2</sup> ).

d = diámetro del tanque ( cm. )

T<sub>w</sub> = esfuerzo de trabajo del material ( Kg/cm<sup>2</sup> ). (Para placa de acero ).

e = espesor de la pared ( cm. )

Por especificación el espesor mínimo de placa deberá ser de 0.64 cm. ( 1/4" ).

VI.2.d).- Cálculo del espesor de placa de los anillos para tanques verticales.

Formulas:

$$t = 0.004 D ( H-0.3 )$$

Siendo:

t = espesor mínimo ( cm. )

D = diámetro interior del tanque ( m. )

H = altura ( en m. ) del punto inferior del anillo que se está considerando hasta la altura máxima del tanque.

Por especificación ( A.P.I. ) , el espesor mínimo de placa deberá ser de 0.6 cm. ( 1/4" ) en tanques de 15.24 m. de diámetro ó mayores, ni menor de 0.5 cm. ( 3/16" ) en tanques de diámetros menores de 15.24.

VII.- Necesidades de protección de la zona para almacenamiento.

Estas pueden ser:

VII.1.- Para atacar incendios.- Estas instalaciones constan de un tanque para almacenamiento de agua, una red de tubería e hidrantes, así como también un equipo a base de espuma que es inyectada a los tanques y diques por me-

dio de tuberías para contrarrestar un posible incendio.

VII.2.- Equipos para prevenir descargas eléctricas sobre la zona.

VII.3.- Cercado perimetral de malla ciclónica.

VIII.- Necesidades de manejo y mantenimiento de la zona para almacenamiento.

VIII.1.- Equipos para el manejo de combustible.

VIII.1.a).- Equipos de filtración.

Para eliminar impurezas en el combustible, - se pueden utilizar dos tipos de filtros: coladores filtros canastas de malla de alambre, que por especificación no puede ser más abierta que el No. 40. Estos filtros canastas se instalan antes del equipo de bombeo. - Con esto se evita que la bomba sufra desgastos por el - arrastre de costras de metal. Otro filtro que debe usarse es el llamado filtro separador, el cual a través de sus elementos elimina el agua que traiga el combustible, además de retener pequeñas partículas sólidas en suspensión. Por especificación debe detener partículas de 10 micrones ó mayores. Este filtro separador deberá instalarse antes de la entrada de los tanques, así como también antes de surtir combustible a los auto-tanques, -- también a la salida de los tanques.

VIII.1.b).- Equipos de bombeo.

Las bombas deberán estar localizadas lo más cerca posible de los tanques de almacenamiento ó de las tomas de descarga de los auto-tanques, con el objeto de que la carga neta positiva de succión se conserve lo --



más alta posible y así evitar un mal funcionamiento de la bomba. El uso de una casa de máquinas no es recomendable, por los líquidos que se manejan, las bombas y motores serán a prueba de intemperie.

VIII.1.c).- Equipos de medición.

Pueden ser medidores de gasto; éste equipo deberá contar con un medidor, totalizador, así también, antes del medidor llevará un filtro colador y deaireador. Otro equipo de medición sería un manómetro, éste, se instalará sobre la tubería de descarga de la bomba.

VIII.1.d).- Equipos para distribución.

Podemos considerar como equipo de distribución; tuberías y válvulas. Las válvulas a utilizar pueden ser de compuerta, macho, retención, mariposa, válvulas adaptaras ( hidrantes ) y boquillas ó válvulas de nariz.

VIII.1.e).- Las válvulas de compuerta.

Generalmente son usadas para el bloqueo de líneas, se utilizan en la entrada y salida de los tanques de almacenamiento para bloquear al tanque en caso de algún desperfecto en las líneas ó en el mismo tanque. También son de utilidad en las tuberías de purga ó drenado por requerirse pequeños diámetros.

VIII.1.f).- Válvulas de tipo macho.

Se instalan en donde es necesaria una acción rápida de apertura o de cierre. Generalmente estas válvulas son con las que se va a dirigir el flujo de las tuberías -

Por su sencilla operación. También estas válvulas pueden servir de válvulas reguladoras de flujo.

VIII.1.g) Válvulas de retención.

Generalmente son usadas las de tipo columpio, se instalan en donde el fluido tenga tendencia a regresar - y también para protección de los equipos.

VIII.1.h) Válvula mariposa.

Se usa generalmente como válvula reguladora de flujo. Se puede emplear donde las dimensiones son reducidas.

VIII.1.i) Equipo de almacenamiento.

Son los tanques de almacenamiento que ya se han descrito.

VIII.1.j) Equipos de protección y de control.

Acumuladores o amortiguadores de golpe de ariete. Son instalados posteriormente a las válvulas de retención o a los filtros separados que hacen las veces de estas válvulas. Estos aparatos sirven para amortiguar las ondas de choque producidas por el cierre rápido de alguna válvula. La presencia del golpe de ariete en la línea generalmente viene acompañado de ondas de sonido en la misma y se presenta cuando se tienen válvulas de cierre rápido en el sistema. Para reducir estos choques en las líneas se utiliza un aparato denominado acumulador o amortiguador.

Fórmulas: Para calcular Amortiguadores.

$$P_1 = \frac{w}{10,000 \text{ g}} \times V_p (V - v) \text{ (Kg./cm}^2\text{) } \delta$$

$$P_2 = \frac{w}{144 \text{ g}} \times V_p (V - v) \text{ (Lb/pulg}^2\text{)}$$

Donde:

$P_1$  = incremento de la presión de golpe de ariete.

$g$  = Aceleración de la gravedad (9.81 m/seg<sup>2</sup>) - -  
(32.2 pies/seg.)

$V_p$  = velocidad de propagación de las ondas de presión del líquido = 1,219 m/seg. (4,000 pies/seg.)

$V$  = velocidad del fluido antes de cerrar la válvula.

$v$  = velocidad del fluido en un intervalo igual al -- que se tardan las ondas de presión en viajar de uno a otro extremo de la tubería y regresar -- (m/seg.), (pies/seg.)

$w$  = peso específico del líquido.

gas avión: 700 Kg/m<sup>3</sup>, (44.5 lb/pies<sup>3</sup>).

turbosina: 800 Kg/m<sup>3</sup>, (51.5 lb/pies<sup>3</sup>).

$P_2$  = presión total por cierre de válvulas = presión - de trabajo de la línea +  $P_1$  .

Finalmente:

$$A = \frac{0.004 \times R \times P_2 (0.005 L - T)}{P_2 - P_1}$$

$A$  = capacidad requerida del acumulador (galones).

$R$  = rango de flujo de la tubería (galones).

T = tiempo normal de cerrado de la válvula (seg.), si el cierre es instantáneo: T = 0 seg.

L = longitud de la tubería ( pies )

P<sub>1</sub> = presión de trabajo ( Lb/pulg.2 )

P<sub>2</sub> = presión total cierre de válvula ( Lb/pulg.2 )

Como equipos de control tenemos los hidrantes, ya que su mecanismo lleva unos aditamentos para el control del flujo y de la presión.

El tubo Venturi, instalado en el carro dispensador nos sirve para censar cualquier variación en la presión del fluido.

VIII.2.- Subestación eléctrica.

VIII.3.- Edificio para oficinas, control de bombeo, laboratorios y sanitarios.

VIII.4.- Zona para carga y descarga de combustible para autotanques.

IX.- Diámetro de las tuberías.

Los diámetros de las tuberías están en función del gasto ó demanda máxima que en un momento dado deba fluir por dicha tubería, ésta demanda máxima también está en función del tiempo que se requiere para surtir a las aeronaves, ó la velocidad del fluido. La velocidad de flujo de éstos combustibles tienen un límite máximo de 4.57 m/seg.

$$A = \frac{Q}{V}$$

Donde:

A = área de la sección del tubo ( m<sup>2</sup> )

Q = gasto ( lts/seg. )

V = velocidad ( m/seg. )

X.- Cálculo de la potencia de bombeo.

Para calcular la potencia de bombeo es necesario co  
nocer los siguientes datos:

- Capacidad de bombeo  $Q = ( \text{lt/seg.} ), ( \text{G.P.M.} )$
- Gravedad específica del combustible. Para turbosi  
na varía de 0.722 a 0.827; para el cálculo se puee  
de tomar 0.8.
- Velocidad máxima de flujo.  
 $V = 4.57 \text{ m/seg. } ( 15 \text{ pies/seg. } )$
- Presión de descarga, Presión atmosférica = ( mm.  
de mercurio ), ( pies  $H_2$  ).
- Viscosidad cinemática del fluido a la temperatura  
de bombeo ( centistokes ).
- Presión del vapor a la temperatura de bombeo ( Kg/  
cm. ), ( lb/pulg<sup>2</sup> ).
- Temperatura de bombeo ( °C ) ( °F )
- Diámetro de tuberías.

X.1.- Carga neta positiva de succión.

La carga neta positiva de succión ( NPSH ) es la pre  
sión absoluta disponible en la brida de succión de -  
la bomba.

$$NPSH = H_a - H_{vpa} - H_f + H_s$$

En donde:

$H_a$  y  $H_{vpa}$  deben estar en lb/pulg<sup>2</sup>,  $H_s$  y  $H_f$  en pies.

= gravedad específica del líquido.

$H_a$  = presión absoluta en la superficie del líquido

$H_{vpa}$  = presión de vapor del líquido a la temperatura  
del bombeo .

Hs = altura del líquido en el tanque de succión  
( + Hs, - Hs dependiendo del arreglo en la  
succión, bomba con respecto al tanque ).

Hf = pérdidas totales por fricción en la línea de  
succión.

$$H_f = F \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

F = coeficiente de razonamiento de la tubería.

l = longitud de tubería.

d = diámetro interior de la tubería.

v = velocidad del fluido.

g = aceleración de la gravedad.

Por otra parte se puede utilizar la gráfica que se anexa. Por ejemplo: entrando con una Q = 200 G.P.M. y diámetro = a 3 pulgadas, encontramos las pérdidas por fricción en la tubería, los cuales son de: 3.5 lb/pulg.2 por c/100 pies de longitud, en estas pérdidas ya se tomo en cuenta el factor gravedad específica del líquido, otro que hay que tomar en cuenta es el factor viscosidad cinemática, para éste caso de 15 centistokes. Con éste factor y con la velocidad del fluido encontramos un factor de corrección por viscosidad de 1.7.

Por lo tanto las pérdidas de la tubería será de 3.5 x 1.7 = a 5.95 lb/pulg2.

Suponiendo una longitud de tubería y manguera de 2 m.  
( 6.57 pies ).

$$H_f = \frac{5.95 \times 6.57}{100} = 0.391 \text{ lb/pulg.}^2.$$

enseguida se procede a calcular las pérdidas por fricción en las válvulas y equipos empleando la siguiente fórmula:

$$H_d = K_e \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$K_e$  = constante correspondiente a cada elemento de que se trate ( codos, válvulas, etc. ). O sea puede recurrir a nomogramas proporcionados por los fabricantes de equipos.

Una vez reunidos todos los datos anteriores se procede a calcular el NPSH.

En función de los resultados del NPSH calculado, se buscará que éste sea siempre positivo, con esto se evitará tener problemas en la succión.

#### X.2.- Cálculo de la potencia de bombeo a tanques.

Para esto se requiere saber en forma detallada como está instalado el equipo, los diámetros de las tuberías y la altura manométrica. Esta altura es igual a la altura real de descarga más las pérdidas por fricción en las tuberías y equipo.

$H_m$  = pérdidas por fricción + altura geométrica de bombeo + ( presión de salida en el ala del avión, en el caso de bombeo a plataforma ).

#### X.2.a).- Potencia del motor.

$$P = \frac{Q \cdot H_m}{3960 \cdot \eta}$$

Q = en galones por minuto.

H<sub>m</sub> = en pies.

$\eta$  = eficiencia (%), (decimales).

P = (en Hp).

#### XI.- Selección de las bombas.

Existen básicamente cinco pasos:

- 1.- Diálogo de la disposición de la bomba y tubería.
- 2.- Capacidad de la bomba.
- 3.- Altura manométrica de bombeo.
- 4.- Condiciones del líquido.
- 5.- Elección de la clase y tipo de bomba.

Clasificación de las bombas por movimientos del líquido:

Para nuestro caso tenemos:

- a) Necesidad de un flujo continuo.
- b) No se tiene problema en la descarga de succión.
- c) El líquido manejado se le puede considerar limpio y sin materias abrasivas.
- d) La presión de bombeo se puede considerar baja.
- e) Se puede considerar que la altura manométrica permanece constante, durante la operación.

Por lo anteriormente descrito, podemos ver que caemos dentro del rango centrífugas.

Posteriormente pasamos a las gráficas de funcionamiento de las bombas y se selecciona la más adecuada en función de su rendimiento.



XII.- Selección de equipo.

Tubería.

Se usa tubería de acero sin costura con designación ASTM - 120 - 54 para diámetros de 2 a 14".

Bridas.

Se usan bridas de acero, de cuello soldable ASTM - A 181 Gr. 1 cédula 40.

Válvulas. Las válvulas que están cerca de los tanques son de acero fundido con asientos y vástagos de acero.

Filtros canasta.

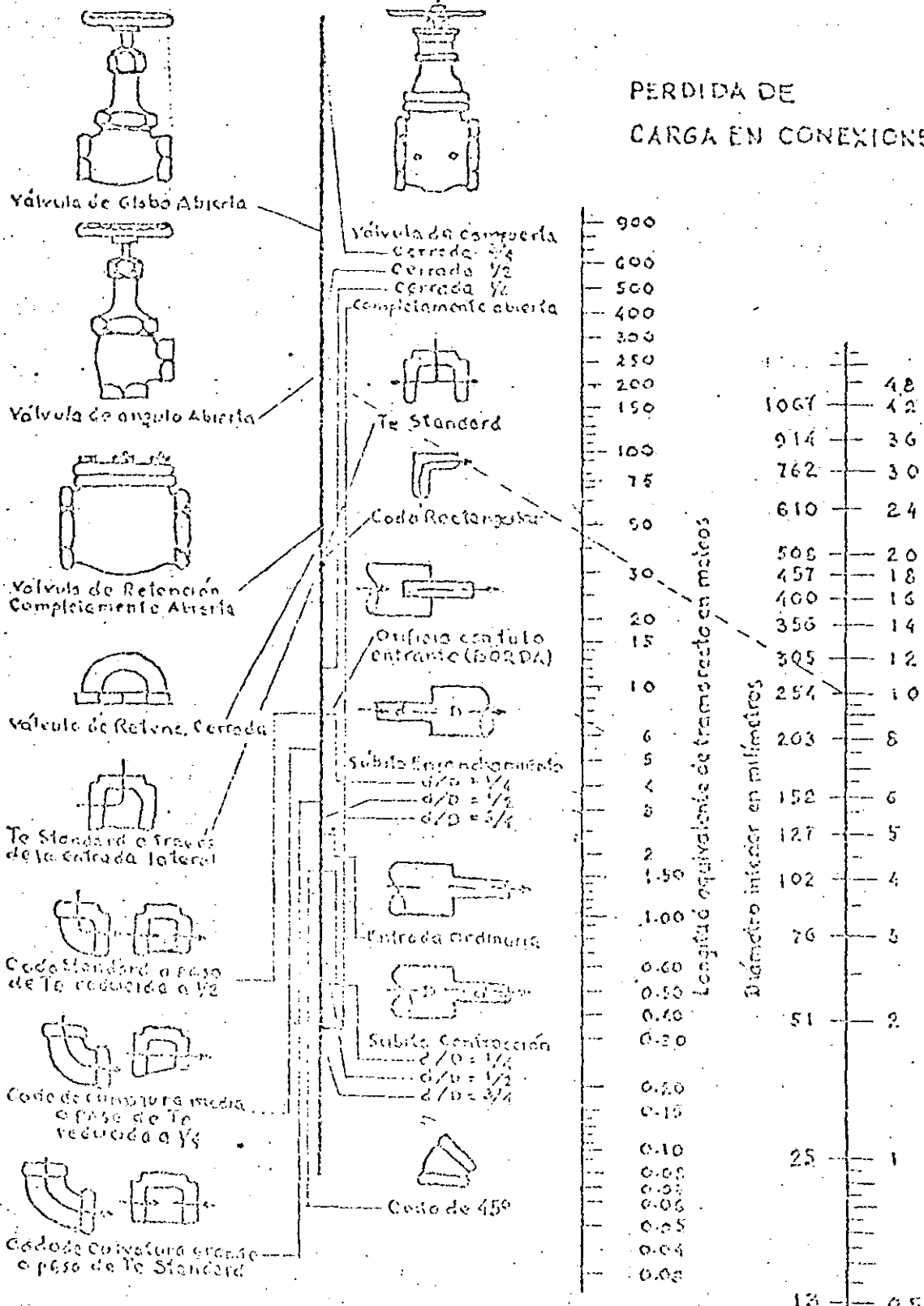
Carcaza de fierro fundido y malla de acero inoxidable No. 90.

Filtro separador.

Se utilizan del tipo vertical en las instalaciones fijas y horizontal en los carros dispensadores.

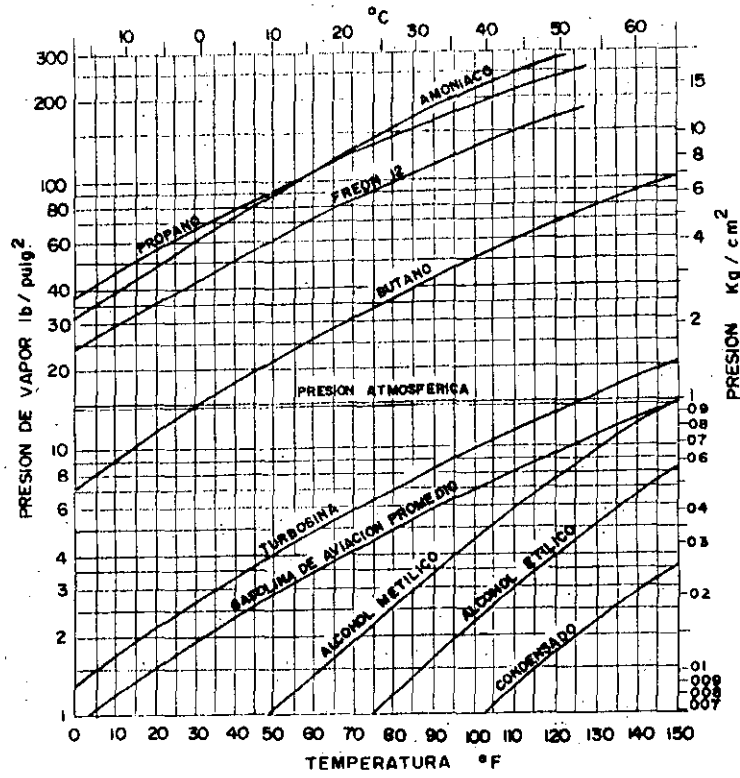
XIII.- TABLAS Y NOMOGRAMAS.

PERDIDA DE CARGA EN CONEXIONES

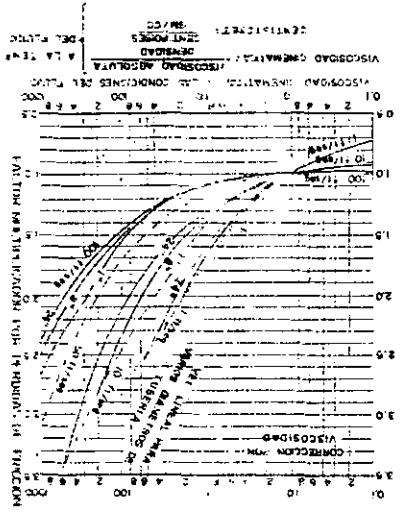


Ejemplo: La línea punteada muestra que la fricción en una válvula de ángulo completamente abierta, de 10 pulgadas es equivalente a la de 46 mts. de tubo ordinario del mismo diámetro.

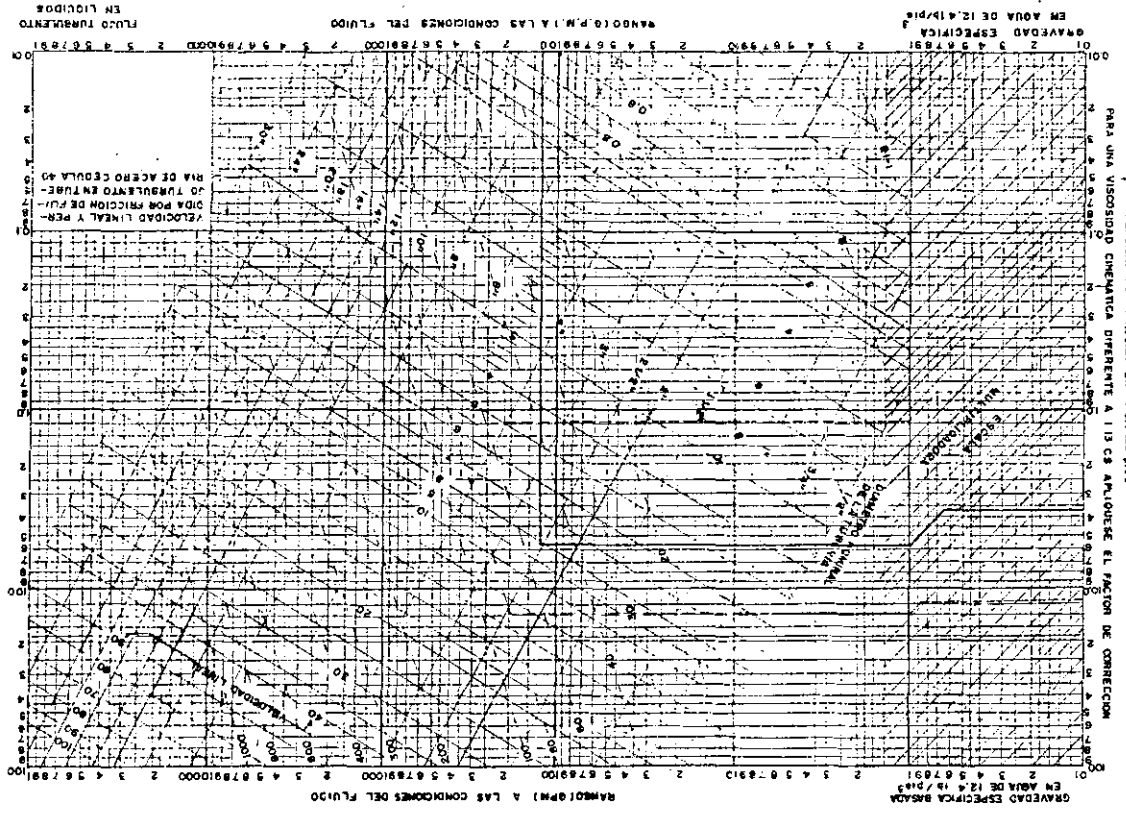
Nota: Para ensanchamientos y reducciones bruscos úsese el diámetro menor d, en la escala de los diámetros de los tubos.



Presión aproximada de vaporización para varios líquidos.



PARA UNA VISCOSIDAD CINEMATICA DIFERENTE A 113.3 CM<sup>2</sup>/SEG. EL FACTOR DE CORRECCION  
 EN LA TABLA SIGUIENTE



113.3

XIV .- MEMORIA DE CALCULO.

( Ejemplo : )

AEROPUERTO DE PUERTO ESCONDIDO, OAX.

MEMORIA DE CALCULO  
INSTALACIONES PARA COMBUSTIBLES

INDICE :

DATOS BASE DE DEMANDAS PARA DETERMINAR VOLUMENES DE  
ALMACENAMIENTO.

FORMAS DE SUMINISTRO A ZONA DE ALMACENAMIENTO .

CALCULO Y SELECCION DE EQUIPOS.

AEROFUERTO DE PUERTO ESCONDIDO, OAX.

Cálculo de la capacidad de almacenamiento para el fin de la primera etapa estimada para el año de 1988.

Tipo de combustible : TURBOSINA.

Primera etapa año 1988 (datos base de agosto 83 Depto. de Programación ).

No. de operaciones comerciales AV grandes + 3er. nivel = 2742

No. de operaciones comerciales diarias =  $(2742 : 2) : 365 =$

3.75 o.d.

Aeronave crítica DC-9-30

Carga de combustible promedio/aeronave = 4000 lts.

Consumo diario promedio = 15 000 lts.

Proponiendo un almacenamiento de 10 días.

$15000 \times 10 = 150\ 000$  lts. almacenados en 2 tanques horizontales de 80 000 lts. c/u lo que nos daría un monto de 160000 lts. para satisfacer :

$$\frac{160\ 000\ \text{lts.}}{15\ 000\ \text{lts.}} = 10.6\ \text{días.}$$

10/XI/83.

RGB\*meap.

AEROPUERTO DE PUERTO ESCONDIDO, OAX.

Cálculo de la capacidad de almacenamiento para el fin de la primera etapa estimada para el año de 1988.

Tipo de combustible : GAS AVION 100-130 y 80-87 oct.

Primera etapa año 1988 (datos base de agosto '83, Depto. de Programación).

Número de operaciones privadas 5475

Número de operaciones privadas diarias  $(5475 : 2) : 365 = 7.5$  o.d.

Considerando que el 70% de las aeronaves consumen gas avión 100/130 y el 30% consumen gas avión 80/87 .

Carga de combustible por aeronave : 600 lts.

$5.25$  o.d. de 100/130 x 600 lts. = 3150 lts.

$2.25$  o.d. de 80/87 x 600 lts. = 1350 lts.

Considerando 10 días de almacenamiento :

$3150$  lts. x 10 días de 100/130 = 31500 lts. = 1 tanque horizontal de 60000 lts. que cubrirá la demanda de 19.04 días.

$1350$  lts. x 10 días de 80/87 = 13500 lts. = 1 tanque horizontal de 60 000 lts. que cubrirá la demanda de 44.4 días.

FÓRMAS DE SUMINISTRO A LA ZONA DE ALMACENAMIENTO.

El costo de combustible (turbosina) puesto en la zona de almacenamiento, dependerá de la ubicación del aeropuerto y el medio de transporte utilizado.

Para el caso que nos ocupa (Aeropuerto de Puerto Escondido, Oax.) el envío se hará desde Atzacapotzalco - México por auto-tanque (pipa).

Y las pipas tienen una capacidad aproximadamente de 60.000 litros, por lo que se han considerado viajes-periodicos de 10 días.



CALCULO Y SELECCION DE EQUIPOS.

Cálculo de la potencia de la (s) bomba (s) que suministrará (n) turbosina a la plataforma de operaciones.

A).- CONDICIONES

Para 1988 se tendrán 2 posiciones simultáneas de DC-9.

a).- Gasto necesario en plataforma.

$$Q = 600 \text{ G.P.M.}$$

$$= 37.85 \text{ Lts/seg.}$$

$$= 0.0378 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

b).- Velocidad de bombeo.

$$VM = 4.50 \text{ mts/seg.} = \text{Velocidad máxima de bombeo.}$$

$$Vm = 2.25 \text{ mts/seg.} = \text{Velocidad media de bombeo.}$$

c).- Diámetro de la tubería a plataforma.

$$A = \frac{Q}{V} \quad ; \quad D = \frac{4A}{\pi}$$

$$A = \frac{0.0378}{4.50} = 0.0084 \text{ m}^2 \quad ; \quad \varnothing = \sqrt{\frac{4 \times 0.0084}{3.14}} = 10 \text{ cm.}$$

$$A = \frac{0.0378}{2.25} = 0.0168 \text{ m}^2 \quad ; \quad \varnothing = \sqrt{\frac{4 \times 0.0168}{3.14}} = 14.8 \text{ cm.}$$

Conviene una tubería comercial acero ced. 40 sin costura de  $\varnothing = 15.2$  ( 6" ) yó que para una demanda futura de turbosina en plataforma; se puede bombear hasta --- 1200 G.P.M.

II.- PERDIDAS .

a) Tuberías

Longitud de tubería de 15.2 cm. (6") = 348.75 mts.

$$\frac{348.75 \times 3.281 \times 0.27 \times 1.5 \times 2.307}{100} = 348.75 \times 0.0326 = 11.40$$

Longitud de tubería de 10.1 cm.(4") = 96.00 mts.

$$\frac{96.00 \times 3.281 \times 2.10 \times 1.5 \times 2.307}{100} = 96.00 \times 0.238 = 22.84$$

b) Piezas especiales

	Codo 45° Ø 4"	1 x 4.70	= 4.7
Ø =4"	Válvula compuerta Ø 4"	4 x 2.35	= 9.4
	reducción excéntrica 4" - 2"	4 x 3.50	= 3.5
	Codo 90° Ø = 4"	4 x 10.10	=40.4
	reducción campana 4" - 6"	2 x 5.00	=10.0
	Válvula de retención Ø 4"	2 x 28.00	=56.0
Ø =6"	Tee Ø 4"	3 x 20.20	=60.6
	Tee Ø 6"	2 x 22.08	=44.16
	Tee Ø 6"	1 x 30.4	=30.40
	Válvula macho 6"	1 x 3.2	= 3.20
	Codo 45° Ø 6"	2 x 7.07	=14.14
	Codo 90° Ø 6"	3 x15.20	=45.60
	Tee 6"-4"	3 x 30.4	=91.20
	Ø 4" válvula mariposa	1 x 2.35	= 2.35
	Ø 4" = $\frac{186.95 \times 2.1 \times 1.5 \times 2.307}{100}$		= 13.58 ft.

100

$$\frac{228.70 \times 0.27 \times 1.5 \times 2.307}{100} = 2.28 \text{ ft.}$$

100

c) Equipo

	Filtro separador de 300 gpm.	34.60
	Elementos carro dispensador (23.4psi)	54.00
	Presión de bombeo (50psi)	115.50

443

d) Desnivel (hasta el ala del avión).

$$+ 3.20 \text{ m.} = 10.49 \text{ ft}$$

$$H_m = 264.69$$

### III. POTENCIA

Se proponen dos (2) bombas de 300 g.p.m. c/u para manejo del combustible por etapas.

$$H.P. = \frac{\gamma \cdot H_m}{3960 \cdot \eta} = \frac{300 \times 264.69}{3960 \times 0.65} = 30.54$$

Línea delta Worthington modelo D-3 x 2 x 8-A

$$H_p = 30$$

$$\eta = 70\%$$

$$R.P.M. = 3550$$

Ø del impulsor 8"

### IV. OBSERVACIONES

Se colocará en primera etapa una sola bomba y un solo filtro separador, dejándose las debidas preparaciones para aumentar el equipo cuando se requiera.

AEROPUERTO DE PUERTO ACCORDADO, OAXA.

Cálculo de la carga neta positiva de succión de la(s) bomba(s) para turbosina .

I. CONDICIONES .

$$NPSH = \frac{2.31}{\rho} (H_a - H_{vpa}) + H_s - H_f$$

$$\rho = 0.8$$

$$H_a = 11.22 \text{ psi.}$$

$$H_{rpa} = 5.80 \text{ psi.}$$

$$H_{s1} = 2.8 \text{ m.} = 9.18 \text{ ft} \text{ --- bombeando desde pipas}$$

$$H_{s2} = 3.55 \text{ m.} = 11.64 \text{ ft} \text{ bombeando desde tanque más alijado}$$

$$\text{desde pipas} \text{ ---- } H_{t1} = 3.94 \text{ ft.}$$

$$\text{---- } H_{t2} = \frac{7.12}{11.00} \text{ ft.}$$

II.- NPSH desde pipas

a) piezas especiales

Reducción concéntrica 4" - 3"	1.60 x 1 = 1.60
Codo standard de acero 90" Ø 4"	10.10 x 1 = 10.10
Válvula macho bridada Ø = 4"	2.35 x 2 = 5.70
Tee de acero soldable Ø 4"	6.50 x 1 = 6.50
Filtro canasta Ø 4"	39.40 x 1 = 39.40
Reducción excéntrica 4" - 3"	1.60 x 1 = <u>1.60</u>
	64.90

$$\frac{64.90 \times 2.1 \times 2.307}{100} = 3.14 \text{ ft.}$$

b) Tuberías .

tubo ced. 40 acero sin costura  
Ø 4" - 10 .1 cm. = 5.05 m. = 16.57 ft.

$$\frac{16.57 \times 2.1 \times 2.307}{100} = 0.80$$

$$H_f = 3.14 + 0.80 = 3.94 \text{ ft.}$$

$$NPSH = \frac{2.31 (11.22 - 5.8)}{0.8} 19.18 - 3.94 = 20.89$$

III.-NPSH desde tanque más alejado .

a) Piezas especiales :

Válvula compuerta Ø 4"	1 x 2.35	= 2.35
Tee de acero sold 45º Ø 4"	2 x 20.20	=40.40
Codo std.de acero 45º Ø6"	1 x 7.07	= 7.07
Tee de acero sold 90º Ø 6"	2 x 30.40	=60.80
Codo std.acero 90º Ø 6"	1 x 15.20	=15.20
Válvula macho Ø 6"	1 x 3.54	= 3.54
Tee de acero sold Ø 6"	2 x 10.10	=20.20
Reducción conc. 6" - 4"	1 x 2.5	= 2.50
Válvula macho Ø 4"	1 x 2.35	= 2.35
Filtro canasta Ø =4"	1 x 39.40	=39.40
Codo std.acero Ø 4"	1 x 10.10	= 1.75

$$(98.85 \times 0.27 \times 2.307)/100 = \text{-----} 0.61$$

$$(106.81 \times 2.1 \times 2.307)/100 = \text{-----} 5.18$$

b) Tuberías

tubo de acero sin costura ced. 40

$$\varnothing = 6" \text{---} 15.1 \text{ cm. --- } 24.80 \text{ m.} = 81.36 \text{ ft.}$$

$$\varnothing = 4" \text{---} 10.1 \text{ cm. --- } 5.25 \text{ m.} = 17.22 \text{ ft.}$$

$$(81.36 \times 0.36 \times 0.27 \times 2.307)/100 = 0.50$$

$$(17.22 \times 2.1 \times 2.307)/100 = 0.83$$

$$Hf_2 = 0.61 + 5.18 + 0.50 + 0.03 = 7.12$$

$$NPSH_2 = \frac{2.31 (11.22 - 5.8)}{0.8} + 11.64 - 7.12 = 20.17$$

IV OBSERVACIONES.

En cualquiera de las dos formas la bomba trabaja ahogada.

XV.-

COMBUSTIBLE PARA PLANTAS DE EMERGENCIA

Dentro de las instalaciones propias de un Aeropuerto, se consideran plantas generadoras de energía eléctrica para emergencias, activadas por motores de combustión interna que consumen diesel. Estas plantas y motores se localizan en la casa de máquinas.

Generalmente se proponen tres ( 3 ) plantas con las siguientes características:

CANTIDAD	PARA	CAPACIDAD	CONSUMO DE - DIESEL Lt/hora
1	Ayudas visuales.	100-130	27
1	Servicios generales.	40	10
1	Ramsa	60-66	15

Se considera como caso crítico el que tuvieran que funcionar las tres ( 3 ) plantas al mismo tiempo.

El tiempo máximo estimado para servicios de emergencia es de tres ( 3 ) horas.

Para calcular el volumen necesario de almacenamiento de Diesel, a los datos anteriores se le da un margen de seguridad de 1.5.

De todo lo anterior se tiene:

$$(27 + 10 + 15) \times 3 \times 1.5 = 234 \text{ lts.}$$

Se propone un almacenamiento para 30 días:

$$234 \times 30 = 7020 \text{ lts.}$$

Con un tanque comercial de 5,000 lts. tendremos un almacenamiento para 21 días.

Cada uno de los motores tiene un tanque diario de: 200 litros.

Los tanques para almacenamiento y los tanques diarios se proponen como tanques atmosféricos, cilíndricos, horizontales y con capacidad de 5,000 y 200 litros, respectivamente ( capacidad comercial ), con los accesorios y aditamentos propios al fluido a manejarse.



DISEÑO DE EQUIPO CONTRA-INCENDIO EN ZONA DE COMBUSTIBLES.GENERALIDADES.

Las condiciones básicas que se deben tomar en cuenta - para lograr un buen diseño de la red contra-incendio en las -- instalaciones industriales, son las siguientes:

Consumo de agua, en litros/min. ( G.P.M. )

Tiempo que se debe mantener el suministro.

Presión que debe tener el agua en la salida de los hidrantes o monitores ( nunca menor de 7 Kg/cm<sup>2</sup> man ).

Estas tres condiciones se determinarán de acuerdo con las dimensiones de la instalación y riesgos a proteger.

Los hidrantes deben ser diseñados para que por cada toma proporcionen los gastos siguientes:

<u>Diámetro Nominal</u>	<u>Gasto l.p.s.</u>	( <u>G.P.M.</u> )
38 mm. ( 1 1/2" )	6	100
63 mm. ( 2 1/2" )	16	250

Las pérdidas a través del hidrante no deberán ser mayores de 0.14 Kg/cm<sup>2</sup> ( 2 lb/pulg<sup>2</sup> ) al estar trabajando con su - gasto máximo.

Este sistema se compone normalmente de lo siguiente:

Una fuente de abastecimiento de agua con un volumen tal que pueda satisfacer las necesidades de demanda en caso de emergencia. Esta fuente de abastecimiento puede ser:

Primaria: pozos ó servicios municipales.

Secundaria: Tal como tanques elevados ó cisternas.

Un equipo de bombeo, el cual proporcionará el agua en la cantidad y presión necesarias de acuerdo con las necesidades y riesgos a proteger en cada caso.

Una red de distribución de agua intercomunicada, de tal forma que generalmente forme circuitos cerrados en las áreas y zonas a proteger, de tal modo que puedan aislarse por medio de válvulas, contando además con sus respectivas salidas para hidrantes, monitores y sistemas fijos de aspersores y niebla.

La localización, la evaluación de riesgos y la topografía del terreno donde se instalará la red de distribución de agua contra-incendio y el tipo de aparatos usados, deben tomarse en cuenta para la selección del tipo de fuente de suministro y almacenamiento de agua para cada caso en especial, por ejemplo:

Si la red de distribución de agua contra-incendio se localiza en donde la fuente es un pozo profundo y el terreno es plano se usará el pozo como fuente primaria y un tanque elevado como fuente secundaria.

Todas las instalaciones deben contar con equipos de bombeo que suministren la carga y gastos necesarios, y en casos donde el terreno tiene fuertes desniveles se podrá instalar un tanque elevado, sin equipo de bombeo, siempre y cuando suministre suficiente gasto y carga para cubrir las necesidades en caso de incendio.

Si la red de distribución de agua contra-incendio está situada cerca de ríos, mar, lago ó laguna, o lugar similar, se

considerará a éstos como fuente primaria, y una cisterna y/o tanque elevado que debe considerarse como fuente secundaria, con sistema de bombeo.

Los tanques de almacenamiento de agua ( fuentes secundarias ) deben estar localizados en lugares seguros.

Las instalaciones de proceso ( refinerías, plantas de absorción, plantas petroquímicas, etc. ) y sus áreas de almacenamiento de materias primas y productos ( intermedios y finales ) se protegerán con redes de agua contra-incendio que satisfagan la norma de Seguridad A.P.I.

En lugares donde el clima lo permita y en áreas fuera del límite de baterías de las instalaciones de una planta, la tubería se podrá instalar a la intemperie. En aquellos lugares donde existe el peligro de congelación, zonas de instalaciones de plantas y en áreas de tránsito, la tubería irá enterrada. En las instalaciones de proceso la tubería estará distribuida de tal forma que generalmente forme anillos pudiéndose instalar un máximo de 12 hidrantes en cada anillo si el diámetro de la tubería lo permite.

Se instalarán hidrantes en todas las áreas donde sean necesarios; pero en las áreas de proceso y almacenamiento de materiales combustibles, se tendrá un mayor número de ellos -- que en las áreas de almacenamiento general, edificios administrativos y oficinas en general; la cantidad de hidrantes se determinará de acuerdo con las condiciones de cada caso específico y con las normas de Seguridad A.P.I.

## CONDICIONES DE DISEÑO.

### Capacidad de la Fuente Primaria.

La fuente primaria debe tener capacidad suficiente para asegurar un suministro continuo. Por esta razón, es recomendable que en instalaciones de proceso dicha fuente sea capaz de suministrar 150% del gasto total necesario para satisfacer el riesgo mayor de la instalación durante un período de 8 horas, mínimo. En otro tipo de instalaciones se cumplirá con lo establecido por las normas de seguridad de Petroleos Mexicanos y las características propias de la instalación.

### Capacidad de almacenamiento de la fuente secundaria.

La fuente secundaria debe ser capaz de mantener el gasto necesario en caso de incendio. En general, la capacidad de almacenamiento dependerá de la extensión, localización y peligrosidad del área por proteger. En lugares donde no se tienen líquidos inflamables o materiales combustibles que produzcan fuego persistente, la capacidad de almacenamiento deberá ser suficiente para que la bomba o bombas funcionen 30 min. sin interrupción, con el gasto máximo permisible en caso de incendio. Para áreas de instalaciones industriales y su almacenamiento de productos inflamables, la capacidad de almacenamiento de agua contra-incendio debe ser suficiente para que la bomba o bombas funcionen durante un período de cinco horas, de acuerdo con el gasto máximo previsible según los riesgos y tamaño que éstas tengan. En otras instalaciones se cumplirá con lo establecido en las normas de seguridad aplicables. Puede utilizarse agua --

contenida en las torres de enfriamiento, plantas de tratamiento, etc., pero este volumen no debe considerarse como almacenamiento de la fuente secundaria.

Capacidad de Bombeo.

La capacidad de las bombas debe ser tal que permita -- mantener los gastos y presiones requeridos para combatir en incendio de riesgo mayor existente en la instalación.

La capacidad nominal de las bombas que se instalan son: 9.4, 15.14, etc., l.p.s. ( 150, 240 , etc. G.P.M. ) ó mayores.

El número de tomas alimentadas simultáneamente será como se indica a continuación:

	G.P.M.	150	240
Capacidad nominal de la bomba	l.p.s.	9.4	15.14
No. de tomas para mangueras de	2 1/2"	3	5
	1 1/2"	-	-

Especificamiento máximo entre hidrantes

En áreas de instalaciones de proceso y almacenamiento de productos altamente inflamables los hidrantes se colocarán a una distancia de radio de 30 a 50 m. uno del otro. En áreas de almacenamiento de productos inflamables a una distancia no mayor de 60 m. de radio uno del otro. En áreas de edificios -

administrativos, oficinas y almacenes de productos no inflamables a distancia de 75 a 90 m. uno del otro; en caso de edificios con varios pisos, cada piso deberá considerarse como un área diferente.



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

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE  
MAYO.  
MEXICO, D.F.

"PROYECTO DE INSTALACIONES EXTERIORES"  
(Instalaciones electromecánicas)

ING. ISMAEL REYES AGUIRRE  
ING. JOSE ARBAIZA MORON

CURSO DE INGENIERIA DE AEROPUERTOS

TEMA: "PROYECTO DE INSTALACIONES EXTERIORES" ✓  
(Instalaciones electromecánicas)

EXPOSITORES: Ing. Ismael Reyes Aguirre  
Ing. José Arbaiza Moron



C O N T E N I D O

1. INTRODUCCION.
- 1.0 OBJETIVOS GENERALES.
- 2.0 REQUERIMIENTOS DE DATOS BASICOS DE PROYECTO.
- 2.1 PROGRAMA DE PROYECTO.
- 2.2 PLANTA DE CONJUNTO.
- 2.3 PLANTAS DE EDIFICIO.
- 2.4 VIALIDAD DEL AEROPUERTO.
- 2.5 DATOS DE CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE AYUDAS VISUALES.
- 2.6 DATOS DE CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE EQUIPOS PARA SERVICIO HIDRULICO Y SANITARIO.
- 2.7 DATOS DE CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE EQUIPOS PARA ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLES DE LOS AVIONES.
- 2.8 DATOS DE CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LOS EQUIPOS DE RADIO AYUDAS.
- 2.9 DATOS DE CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LAS DIVERSAS CARGAS ELECTRICAS DE LAS DISTINTAS EDIFICACIONES.
- 2.10 ACOMETIDA TELEFONICA.
- 2.11 ACOMETIDA ELECTRICA.
- 3.0 RED DE DISTRIBUCION ELECTRICA.
- 3.1 DEFINICION.
- 3.2 DESARROLLO.
- 4.0 SUBESTACIONES ELECTRICAS.
- 4.1 DEFINICION.
- 4.2 DESARROLLO.
- 5.0 ILUMINACION EXTERIOR.
- 5.1 PLATAFORMA DE OPERACIONES.
- 5.2 ESTACIONAMIENTO Y CAMINO DE ACCESO.

- 6.0 REQUERIMIENTOS DE ENERGIA DE EMERGENCIA
  - 6.1 EN AYUDAS VISUALES.
  - 6.2 EN EDIFICACIONES.
- 7.0 EQUIPOS
  - 7.1 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION.
  - 7.2 TABLEROS.
  - 7.3 PLANTA DE EMERGENCIA O DE CONTINUIDAD.
  - 7.4 REGULADORES DE CORRIENTE CONSTANTE.
  - 7.5 RADIO AYUDAS.
- 8.0 PARAMETROS DE DISEÑO

## 1 Objetivos Generales.

Elaborar, dirigir, coordinar y ejecutar los proyectos de Instalaciones Eléctricas para suministro de energía a las pistas y calles de rodaje, plataformas y área terminal de los aeropuertos que se construyen, amplian y o remodelan, vigilando el cumplimiento de las especificaciones de los proyectos que permitan brindar un eficiente y seguro servicio con la optimización de los recursos tanto materiales como de espacio.

### 2.0 Requerimientos de datos básicos de proyecto.

#### 2.1 Programa de proyecto

Es necesario para establecer la programación y secuencia de los proyectos. Este programa es proporcionado por el Departamento Técnico

#### 2.2 Planta de conjunto del aeropuerto.

El plano de la planta de conjunto se desarrolla en el Departamento de Proyectos Arquitectónicos y es turnado a éste Departamento de Instalaciones para elaborar los proyectos correspondientes como son: alumbrado de estacionamiento, vialidad, camino de acceso, alumbrado de plataforma de operaciones, red general exterior de canalizaciones eléctricas, telefónicas y de intercomunicación.

#### 2.3 Plantas de edificios.

Las instalaciones eléctricas interiores en edificios están a cargo del Departamento de Proyectos Arquitectónicos el cual debe proporcionar a éste Departamento de Instalaciones los planos de las edificaciones donde se señale la ubicación de los diversos centros de carga para proveer los de servicio de energía hasta el sitio que se requiera.

2.4 Vialidad del aeropuerto.

Plano elaborado en el Departamento de Proyectos Arquitectónicos y remitido a éste Departamento para el desarrollo del proyecto de alumbrado.

2.5 Datos de Equipos de Ayudas Visuales.

La oficina de ayudas visuales de éste Departamento, al concluir sus proyectos correspondientes, turna a la oficina de Instalaciones Eléctricas los datos de sus equipos que integraran la subestación que les proporcionará el servicio de energía para su operación.

2.6 Datos de equipos para servicio hidráulico y sanitario.

La oficina de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias de éste Departamento, concluidos sus proyectos, remite a ésta oficina los datos y/o características de sus equipos para integrar sus cargas al cálculo de la subestación eléctrica correspondiente.

2.7 Datos de equipos para abastecimiento de combustible de los aviones.

En la misma forma que lo mencionado en el punto 2.6 la oficina de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias de éste Departamento proporciona los datos de sus instalaciones para que ésta oficina desarrolle el proyecto correspondiente de instalaciones eléctricas.

2.8 Datos de los equipos de radio ayudas.

Estos datos son proporcionados alguno por la Dirección General de Aeronáutica Civil de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y otros por el organismo Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (S.E.N.E.A.M.).

## 2.9. Datos de diversas cargas eléctricas de las distintas edificaciones.

Los datos de las distintas cargas eléctricas de las edificaciones de un aeropuerto son proporcionadas por el Departamento de Proyectos-Arquitectónicos para la elaboración de la subestación y la red de distribución para el suministro de energía.

## 2.10 Acometida Telefónica.

Para contar con el servicio de acometida telefónica en un aeropuerto éste se tramita ante la empresa TELEFONOS DE MEXICO, S. A. manifestándole nuestras necesidades en base a la cual ésta empresa nos remite presupuesto por las obras que se requieran ejecutar.

## 2.11 Acometida Eléctrica.

El suministro de energía eléctrica a un aeropuerto es proporcionada por una empresa del Estado denominada COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (C.F.E.) a través de una línea de alimentación aérea o subterránea hasta una zona de control y distribución convenientemente ubicada dentro del precio del aeropuerto.

Esta acometida de acuerdo con nuestro sistema eléctrico de distribución en la república es de una tensión de 15 KV, 23 KV, o 34.5 KV nominales y es la propia Comisión Federal de Electricidad la que de acuerdo con su sistema de transmisión o distribución en la zona, nos señale la tensión de suministro y demás características eléctricas, proporcionando además el presupuesto correspondiente de las obras por ejecutar para dar el servicio de suministro de energía al aeropuerto.

### 3.0 Red de Distribución.

#### 3.1 Definición.

Red de Distribución es la coordinación conjunta de los diferentes equipos y dispositivos eléctricos, así como la red de conductores para distribuir la energía eléctrica desde el punto de suministro, hasta el punto de utilización.

#### 3.2 Desarrollo.

En base a lo antes mencionado la distribución de energía en un aeropuerto nacional se realiza desde un punto donde se recibe la acometida ( RECEPTORA ) y en donde se encuentra localizado el equipo de medición y control

Desde éste lugar se derivan los circuitos necesarios que abastecen a los diversos centros de consumo como son:

- a) Edificio Terminal
- b) Ayudas Visuales luminosas
- c) Equipo de radio ayudas
- d) Un circuito de alta o baja tensión para zona de combustibles
- e) Equipo de aire acondicionado
- f) Alumbrado exterior: plataforma, estacionamiento y camino de acceso.

### 4.0 Subestaciones Eléctricas

#### 4.1 Definición

Subestación eléctrica es un conjunto de aparatos y dispositivos eléctricos, interconectados entre sí para transferir energía eléctrica de ciertas características eléctricas a otras características requeridas para su maniobra o utilización.

## 4.2 Desarrollo

De acuerdo con lo antes descrito son necesarias dichas subestaciones en los centros de consumo para poder disponer de la energía en condiciones de poder maniobrase y utilizarse sin peligro para el personal.

La capacidad de una subestación depende obviamente de la suma total de las diversas cargas eléctricas que abastezca.

Dependiendo de la categoría de nuestros aeropuertos y en base a razones técnicas determinamos el número de subestaciones que son necesarias. En un aeropuerto de alcance medio normalmente estas subestaciones son como sigue:

### A) Subestación de Ayudas Visuales.

Considerando la importancia que tiene el servicio continuo de energía de ésta subestación se ha determinado que únicamente todos - aquellos elementos de señalización que en alguna forma intervienen en la orientación y operación de aeronaves, sean conectados a ésta y no agregar otros equipos para otros servicios que aumentarían probabilidades de falla con las consecuencias inherentes.

Por lo tanto, las cargas específicas a que da servicio ésta subestación son:

- a) Luz de borde de pista
- b) Luz de borde de rodaje y plataforma
- c) Luz de umbral
- d) Luz de eje de pista

- e) Luz de eje de rodaje
- f) Luz de zona de toma de contacto
- g) Luz de sistema de aproximación
- h) Equipo Vasi (tema dependiente de aproximación)
- i) Sistema Reil
- j) Proyector de techo
- k) Faro giratorio
- l) Cono de vientos
- B) Subestación para Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (S.E.N.E.A.M.)

Esta subestación se destina a dar servicio a todos aquellos - equipos que tienen por objeto proporcionar servicio radio aero náutico móvil y de navegación.

Los requerimientos de energía eléctrica para Servicios a la -- Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (S.E.N.E.A.M.) en los aeropuertos para los servicios actuales y futuros a mediano y largo plazo son los siguientes:

a) Requerimientos actuales	KVA
Servicios Generales de torre	15
Servicios generales de edificio anexo a torre	15
Teletipos	5
VOR/DNE (Radio faro omnidireccional/Equipo radio telemétrico)	15
Acondicionamiento de aire	<u>10</u>
	70



b) Requerimientos a mediano plazo.	KVA
ILS Sistema de aterrizaje por instrumentos	5
RVR (alcance visual en la pista)	5
Acondicionamiento de aire	<u>5</u>
	15
c) Requerimientos a largo plazo	
Radar de área	50
Acondicionamiento de aire	10
Terminales de computación	<u>5</u>
	65
	TOTAL 150-

La subestación eléctrica debe de contar con:

- 1.- Servicio normal de origen comercial
- 2.- Servicio de emergencia mediante planta diesel convencional para los equipos actuales.
- 3.- Servicio de continuidad mediante planta u otros medios tales como baterías o inversores de equipos como comunicaciones tierra aire, comunicaciones teletipos, VOR DME, ILS y radar. Este tipo de servicio puede considerarse para un futuro a mediano plazo en dependencia de la realidad de instalación de los mismos.

C) Subestación de servicios generales.

Esta subestación se localiza en el edificio terminal de pasajeros y su finalidad es la de proporcionar energía eléctrica utilizable a todos aquellos equipos eléctricos que en alguna forma proporcionan servicio al inmueble.

A continuación se hace un resumen de las diversas cargas eléctricas que integran la mencionada subestación:

- a) Iluminación y fuerza del edificio terminal
- b) Iluminación de plataforma de operaciones
- c) Iluminación del estacionamiento de vehículos
- d) Instalaciones en torre de control
- e) Instalaciones en edificio de rescate y extinción de incendios
- f) Equipos de aire acondicionado
- g) Equipo Hidroneumático
- h) Bomba de pozo profundo
- i) Otros.

Esta subestación eléctrica además de contar con el servicio normal de la Cfa. suministradora, ésta diseñada para que mediante los arreglos técnicos se proporcione servicio de emergencia mediante una planta diesel a una parte de las cargas.

D) Subestación para aire acondicionado.

Esta subestación esta ubicada de igual manera que la anterior subestación de servicios generales, en el edificio terminal y su utilización como su nombre lo indica es para proporcionar energía a todos los equipos destinados al acondicionamiento de aire.

E) Subestación de zona de combustibles. (si se requiere)

Esta subestación se localiza en el área destinada a las instalaciones de combustible.

Las cargas que forman esta subestación son:

- a) Fuerza.- Motores de equipo de bombeo
- b) Iluminación exterior
- c) Iluminación interior
- F) Subestación de campo ( si se requiere)

Dependiendo de la categoría del aeropuerto se instalan luces de des- tello en el sistema de aproximación de la pista en cuyo caso es pre- ciso disponer de una subestación ubicada en ese lugar para abaste- cer de energía a ese equipo.

#### 5.1 Plataforma de Operaciones.

La consideración más importante en el diseño de una instalación de alumbrado además de la uniformidad en la iluminación, es la de redu- cir a un mínimo el brillo de las fuentes de luz.

Los factores que ocasionan el brillo son la localización de las lumi- narias, dirección de los rayos de luz, tipo de fuente de luz y el- iluminario.

Para el diseño del alumbrado en plataforma se toman muy en cuenta estos factores para evitar molestias de visibilidad a los operadores de torre, pilotos, pasajeros y así como también al personal de ser- vicio.

El tipo de luminario empleado en iluminar las plataformas de opera- ciones en nuestros aeropuertos son reflectores de vapor de sodio de alta presión de 400 Watts instalados en postes a una altura de 16 metros con una separación máxima de 60 metros;

susceptible de ajuste atendiendo a la disposición del edificio terminal y dimensiones de la plataforma de operaciones que generalmente es de 90 metros de ancho por 180 metros de largo; dando por resultado nuestro diseño la instalación de 3 postes con 8 reflectores cada uno o bien 4 postes con 6 reflectores cada uno.

Como nota aclaratoria se menciona que hasta hace poco tiempo se empleaban unidades del tipo de lámpara de mercurio y de Iodo cuarzo; pero en la actualidad a sido política de nuestro gobierno el ahorro de energéticos de tal manera que el uso de unidades de vapor de sodio de alta presión nos permiten solucionar el problema de iluminación con un considerable ahorro de energía eléctrica.

#### 5.2 Estacionamiento y camino de acceso.

Dos son las fases que determinan las exigencias que debe cumplir un alumbrado público: el tráfico y la estética. Si bien ambas fases van ligadas en la mayoría de los casos, por ahora se viene considerando mayor importancia al primero, dado el incremento tan grande que se está experimentando en los últimos años. Por esta razón - creemos conveniente exponer en forma general las particularidades que presenta el alumbrado para las áreas que arriba se citan.

Las áreas que nos ocupan son de bajo tráfico de vehículos; por lo que de acuerdo con las normas de niveles de iluminación establecidas por los organismos autorizados nos señalan los niveles adecuados.

Dentro de la gran variedad de lámparas existentes; el empleo de uno u otro tipo viene determinado en cada caso por diversos factores como son: el rendimiento luminoso, el color, costo de adquisición, la vida de la lámpara, etc. Por lo anterior, se utilizan lámparas de vapor de sodio de alta presión las que nos proporcionan un alto rendimiento luminoso y una larga vida útil.

Hay varias formas de disponer las unidades luminosas a lo largo de las vías; pero en nuestro caso por ser calzadas relativamente estrechas hacemos la disposición unilateral, pues representa una gran economía en el costo de las líneas de alimentación.

#### 6.0. Requerimientos de energía de emergencia.

Conociendo el papel tan importante que desempeñan las instalaciones eléctricas en un aeropuerto, se han procurado diseñar estas con la máxima confiabilidad para la continuidad de servicio.

Sin embargo, por razones obvias siempre habrá causas ajenas a las pretensiones del ser humano que originan trastornos; en virtud de lo cual se respalda al servicio de energía normal con un servicio de energía de emergencia para ocasiones en que falte el servicio normal.

Resultaría demasiado costoso querer disponer de equipo de emergencia de tal capacidad como para substituir la carga total en operación normal, de allí que se seleccionen los servicios más indispensables que deban tener una operación ininterrumpida.

6.1 Todos los equipos conectados a la subestación de pistas y ayudas visuales.

Se destina una planta de emergencia de la capacidad adecuada para abastecer todos estos equipos y se localiza contigua a dicha subestación, con los dispositivos propios para entrar en operación al momento de alguna interrupción.

6.2 En el edificio terminal se localiza otra planta de emergencia para abastecer lo siguiente.

- a) Determinados equipos de iluminación. Generalmente se destina a emergencia una carga 30% del total de la iluminación.
- b) Las instalaciones de torre de control
- c) 100% de la iluminación de plataforma
- d) Luces de obstrucción

7.0 Equipos.

7.1 Transformadores de Distribución.

Dispositivo o aparato eléctrico que constituye la parte fundamental de una subestación. Habiendo muy diversos tipos de estos equipos según la aplicación a que se destinan, en nuestros aeropuertos generalmente se emplean transformadores trifásicos con neutro, adecuado a las tensiones usuales de utilización como son: 220 Volts para equipos de fuerza y especiales y 127 Volts para alumbrado y aparatos pequeños.

La capacidad de éste equipo se calcula en base a la totalidad de las cargas **conectadas**, siendo afectado de los factores técnicos: fa tor de potencia y factor de demanda. En consecuencia la afecta ción de la carga por los factores citados anteriormente dan como resultado el tamaño o capacidad del transformador congruente con las cargas reales de operación. Es importante éste cálculo ya que de ninguna manera es conveniente especificar transformadores muy por encima de su capacidad real ya que ésta origina que por éste hecho se afectan las características eléctricas de las líneas de distribución de la Cfa suministradora; por lo que ésta aplica al usuario como pena un recargo económico tanto más o menos gravoso dependiendo de la magnitud de afectación del factor de po tencia.

## 7.2 Tableros.

Existen diferentes tipos de tableros en subestaciones compactas para la distribución de la energía eléctrica tanto en alta o baja tensión, como son: Tableros de distribución, tableros de medición y control etc., que contienen en su interior equipo eléctrico. Cada tablero o gabinete ésta debidamente proyectado y construf do para asegurar un completo aislamiento eléctrico, ofreciendo una completa seguridad al personal de operación.

Todos los tableros están fabricados de lámina de acero rolado en frío calibre No. 12 (2.78 mm de espesor), con perfiles estructurales y acoplables por medio de tornillos entre sí para su instalación y están contruidos según las normas eléctricas vigentes en el territorio nacional (CCONNIE), cumpliendo con todas las especificaciones dictadas por el reglamento de Obras en Instalaciones Eléctricas de la Dirección General de Energía de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial (SEPANAL).

Los tableros o gabinetes tanto de alta como de baja tensión constan de varias secciones diseñadas para una conexión integral en el campo y podrán estar formados y agrupados de acuerdo a las necesidades requeridas en los tableros de baja tensión (600 volts.).

Generalmente los servicios normales están en secciones separadas con respecto a los que se utilizan para servicios de emergencia y esto es fundamental por razones de identificación de servicios.

### 7.3 Planta de emergencia o de continuidad.

La energía eléctrica de emergencia para casos de falta de la Cía. suministradora generalmente es proporcionada por medio de una planta diesel eléctrica del tipo convencional, cuya capacidad es determinada en base a los requerimientos de carga de emergencia.

Esta planta consta de una unidad diesel y un generador de corriente alterna que se conecta al sistema a través de un generador de corriente alterna que se conecta al sistema a través de un dispositivo de transferencia automático cuando hay una falla al servicio comercial.



### Planta de Continuidad.

Es una fuente de energía eléctrica constante de corriente alterna que se utiliza en casos donde no se permite interrupción en la alimentación de energía.

Esta unidad consta de lo siguiente: Un grupo motor-generador de corriente alterna (C.A.-C.A.) un volante, un embrague magnético y un motor generador de combustión interna.

El grupo motor generador y volante tienen un eje común. El motor se impulsa por la energía comercial de corriente alterna y el generador suministra la energía a la carga. En el caso de falla de fuerza comercial o caída de voltaje más baja que un nivel fijado de antemano, el motor se desconecta automáticamente de la línea y se energiza un embrague magnético que conecta el eje propulsor del motor del volante al instante arranca y pone en marcha al motor y el motor impulsa al generador de corriente alterna sin interrupción del voltaje suministrado a la carga.

A la reintegración de la fuente comercial de corriente alterna para un intervalo de tiempo fijado de antemano, se desenergiza el embrague magnético, se pone a tierra el magneto del motor, parándose éste al mismo tiempo se conecta el motor eléctrico a la línea restableciendo de nuevo el funcionamiento normal sin interrupción de la salida del alternador a la carga esencial.

El procedimiento del cálculo de la capacidad de ésta planta se hace en base a la totalidad de las cargas a que presta servicio.

#### 7.4 Reguladores de corriente constante.

El equipo que caracteriza a las subestaciones eléctricas para aeropuertos. (subestación de pistas y ayudas visuales) son los reguladores de corriente constante (R.C.C.) el objeto de estos aparatos es proporcionar una salida de corriente constante pudiendo ésta variar de 2.8 a 6.6 amperes y en otro de 8.5 a 20 amperes; para ser usados en los circuitos serie para ayudas visuales luminosas. Sus voltajes de alimentación más frecuentes son: 220, 380, 415, 440 y 2,400 volts. Los voltajes usados en los aeropuertos mexicanos hasta ahora ha sido de 2,400 y 220 Volts.

El primero de ellos muy común en el equipo norteamericano debido principalmente a sistemas de distribución a 4160/2400 Volts ha sido desechado en nuestros aeropuertos por dos razones principalmente:

- a) Voltajes de distribución (generalmente 23, o 34.5 KV)
- b) Energía eléctrica de emergencia para casos de falla de la Cfa. suministradora que generalmente se proporciona por medio de una planta diesel, la cual resulta demasiado costosa para voltajes superiores a 440 V. dada su capacidad.

Originalmente se resolvió este inconveniente por medio de una doble transformación, encareciendo y complicando la instalación innecesariamente.

## 7.5 Radio Ayudas.

No se trata de describir aquí los equipos de radio ayudas que intervienen para facilidades de la aeronavegación: en virtud de que estos equipos son operados e instalados por el Organismo Servicios a la Navegación en el espacio Aereo Mexicano (S.E.N.E.A.M.); sino que únicamente ésta oficina tiene a su cargo proporcionar el servicio de energía eléctrica a los diferentes aparatos o sistemas como son:

VOR, ILS, Receptores, Transmisores (Tx Rx), radar y servicios en Torre de Control.

Para tal objeto el Organismo S.E.N.E.A.M., proporciona la ubicación y características eléctricas de los equipos en base a lo cual se determina la fuente de alimentación normal y de emergencia requerida así como las características de los alimentadores y canalizaciones correspondientes.

OFICINA DE INSTALACIONES ELECTRICAS8.0 Parámetros de diseño.

1.- Parámetros que se requieren para el diseño de un sistema de Distribución de Energía Eléctrica en alta y baja tensión.

## 1.1 Tensiones de operación.

La compañía suministradora (C.F.E.) tiene normalizadas las siguientes tensiones para los circuitos de distribución.

## PRIMARIO VOLTS

△ 13200 - 13200 Y/7620

△ 22860 - 22860 Y/13200

△ 33000 - 33000 Y/19050

## SECUNDARIO VOLTS

3 fases - 4 hilos 220 Y/127

1 fase - 3 hilos 120/240

## 1.2 Configuración del Sistema

En base a la necesidad de proporcionar un servicio eficiente y con la máxima confiabilidad y flexibilidad se han diseñado varios arreglos básicos para la configuración de un sistema de distribución de energía eléctrica, de los cuales se consideran los siguientes.

### 1.2.1 Radial.

Este tipo de sistema está constituido por circuitos que tienen una sola fuente de alimentación. Este sistema es el más económico pero el menos confiable, ya que el servicio sufrirá una interrupción total por falla de cualquier sección del alimentador. (VER FIG. 1)

### 1.2.2 Anillo Abierto.

Este sistema está constituido por dos circuitos primarios en forma de anillo, de tal forma que se cuenta con dos fuentes de alimentación para cada transformador, los cuales se deben conectar en anillo por medio de un seccionalizador integrado al tanque del transformador o por medio de conectores separables de operación con carga.

El anillo deberá operar normalmente abierto en un punto generalmente en el punto medio.

Al ocurrir una falla en el sistema primario, una vez localizado el punto de falla, para restablecer el servicio, se deberá aislar el tramo dañado, haciendo la seccionalización correspondiente. (VER FIG. 2)

### 1.2.3 Alimentador Selectivo.

Este sistema utiliza dos alimentadores que parten de la misma o de diferentes Subestaciones de Distribución.

Cada uno de ellos alimenta normalmente la mitad de la carga pero ambos tienen la capacidad para alimentar la carga completa en caso de falla del otro alimentador.

Cada transformador tiene posibilidad de seleccionar su alimentación de cualquiera de los dos circuitos por medio de un seccionalizador de operación manual o automática.

La falla de cualquiera de los alimentadores provocará una interrupción en el 50% de la carga, durante el tiempo necesario para que sea transferida al otro alimentador, la duración de la interrupción dependerá si el equipo de transferencia es manual o automático, en este último caso el tiempo de interrupción no es mayor de 2 a 3 segundos. (VER FIG. 3

### 1.3 Consideraciones en la selección de la configuración del sistema.

#### 1.3.1 El Costo.

El costo comparativo de los sistemas mencionados del más económico al más caro.

- 1) Radial.
- 2) Anillo abierto.
- 3) Alimentación selectiva.

Es evidente que el costo del sistema se incrementa en función de la complejidad del diseño. Por ejemplo un sistema con operación en anillo con equipo sofisticado de seccionalización y capacidad de carga suficiente puede llegar a costar más caro que un sistema de alimentación selectiva con seccionadores manuales.

#### 1.3.2 La Confiabilidad.

La confiabilidad se refiere a la calidad del servicio en base a la presencia o ausencia de tensión en el servicio al transformador.

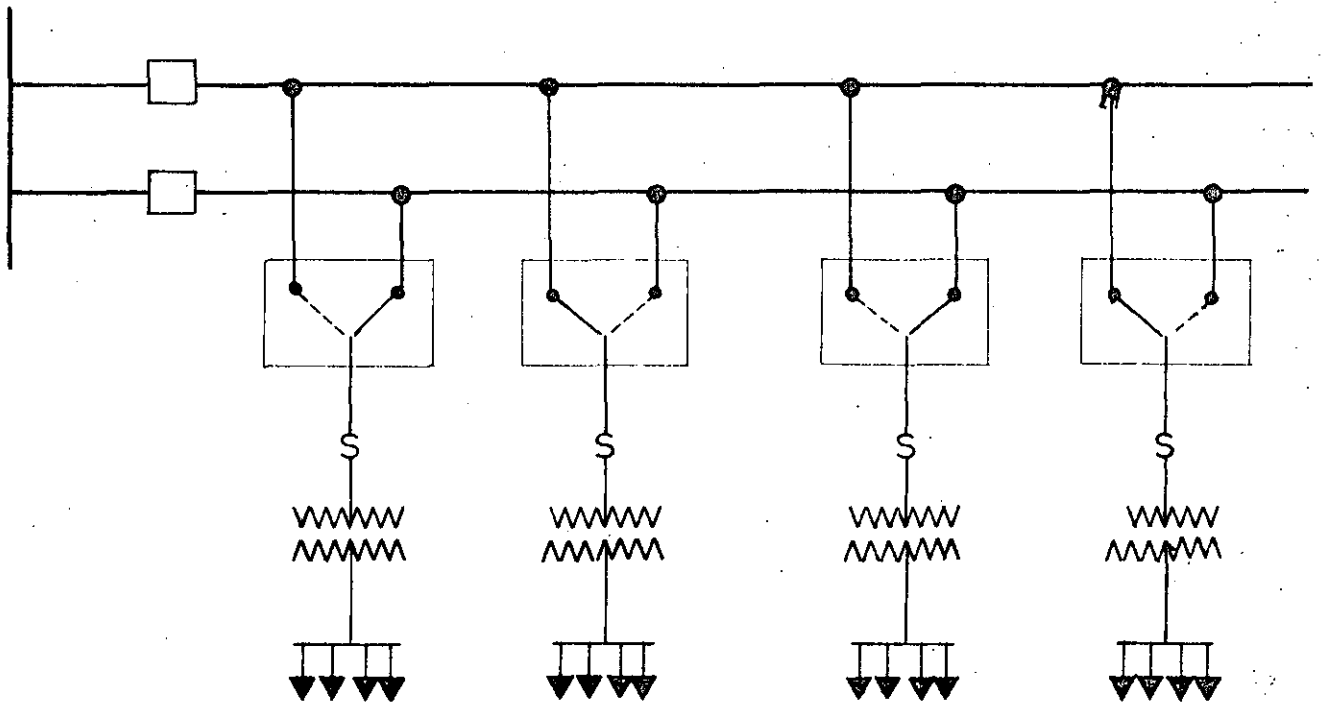


FIG. 3 SISTEMA PRIMARIO SELECTIVO

Pueden fabricarse transformadores con características diferentes de las normales anteriormente indicadas, pero resultan mucho más caros y con frecuencia las alteraciones o innovaciones son inútiles.

### 3.- Instalaciones Auxiliares de Abastecimiento de Energía Eléctrica -

3.1 Mediante instalaciones independientes de abastecimiento de energía eléctrica se pueden mantener en servicio los receptores en caso de fallar la red de distribución. Se distingue entre:

Instalaciones auxiliares de la red, con las que se siguen alimentando todos los receptores.

Instalaciones de abastecimiento de emergencia, con las que sólo se alimenta una parte de la instalación, los denominados receptores importantes.

(VER FIG. 4)

3.2 Abastecimiento con interrupción.-

Por lo general, el abastecimiento de energía para receptores importantes sólo se puede interrumpir durante breve tiempo al pasar del servicio de la red al de abastecimiento auxiliar. Según el tiempo de interrupción admisible existen diferentes instalaciones auxiliares de abastecimiento con distintas ejecuciones y circuitos. (VER FIG. 5, 6 Y 7)

3.3 Abastecimiento sin interrupción.-

Cuando corre peligro la vida de alguna persona por ejemplo, en caso de operaciones quirúrgicas o en el sector de protección de vuelos, hay que garantizar un abastecimiento ininterrumpido de energía. (VER FIG. 8).



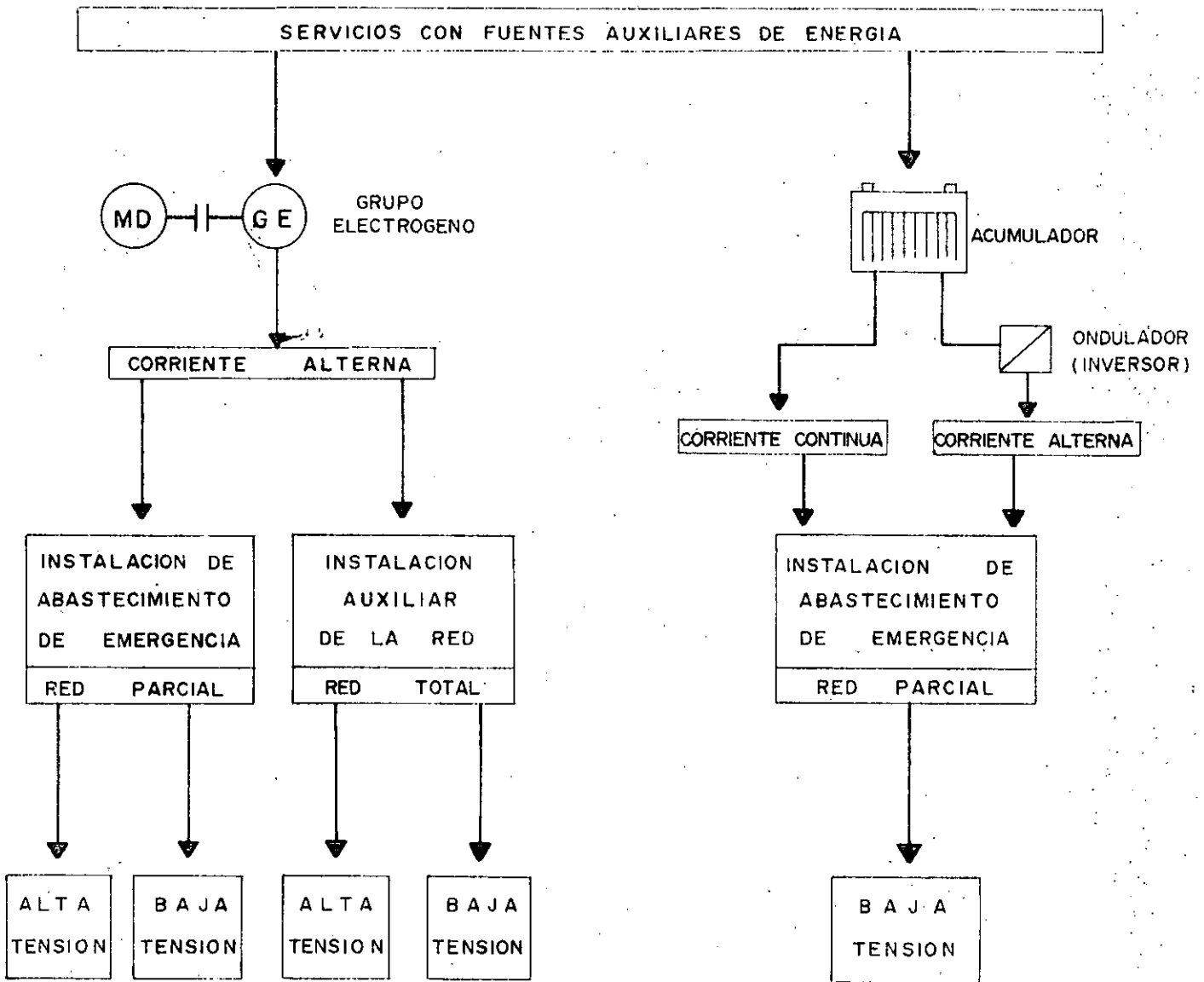
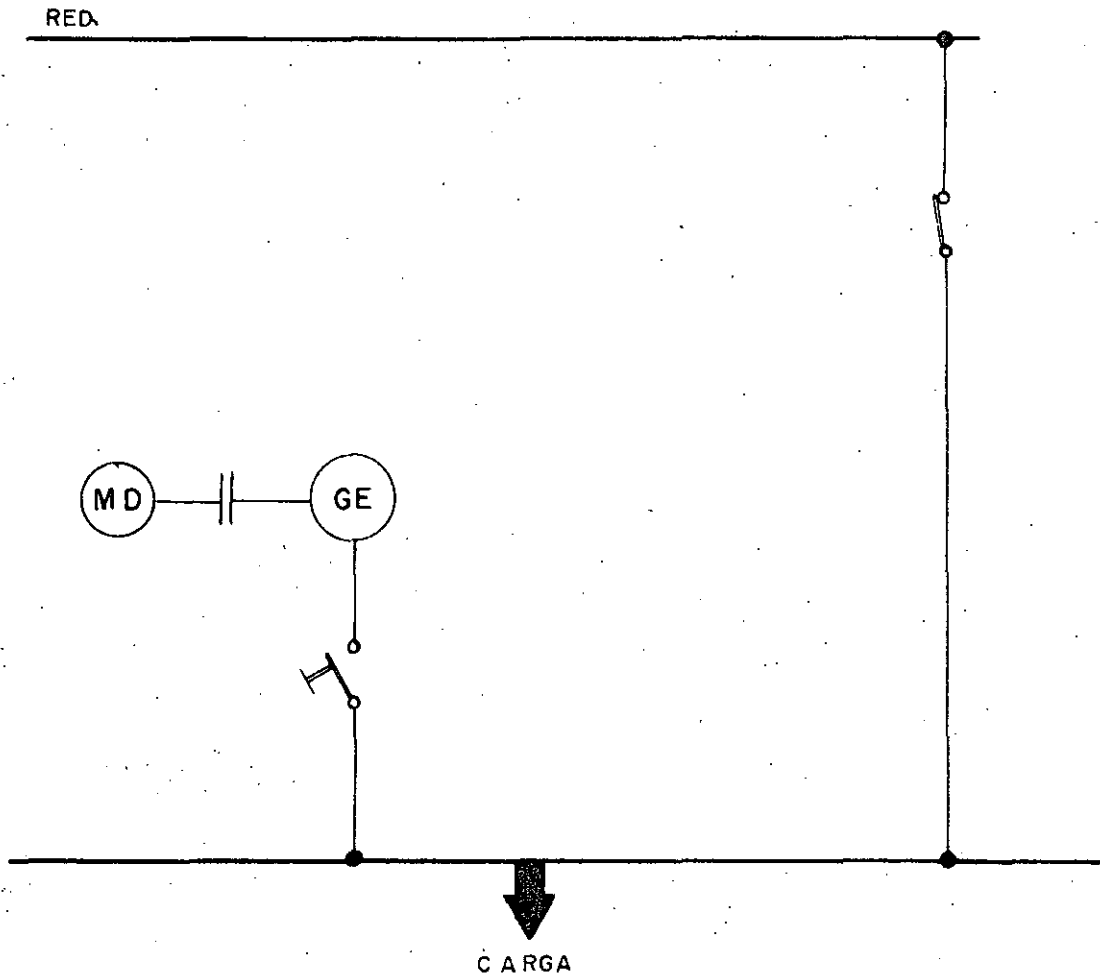


FIG. 4

DISPONIBILIDAD MANUAL

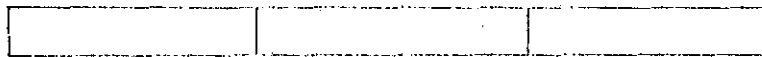
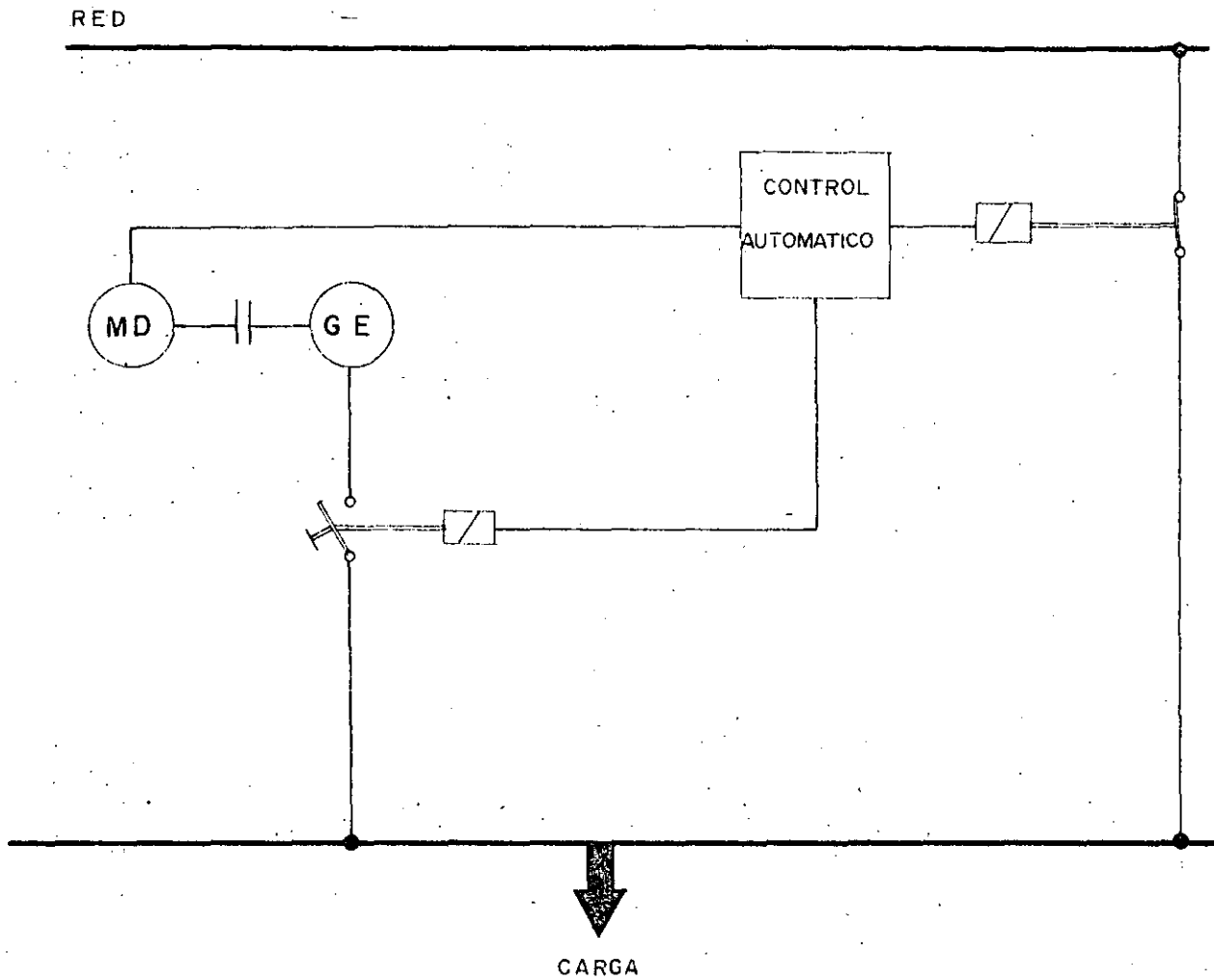


SERVICIO	RED	TIEMPO CONMUTACION	SERVICIO EMERGENCIA
----------	-----	-----------------------	------------------------

SEGUN SEA NECESARIO  
EL GRUPO SE CONECTA A MANO

FIG. 5

## DISPONIBILIDAD NORMAL.

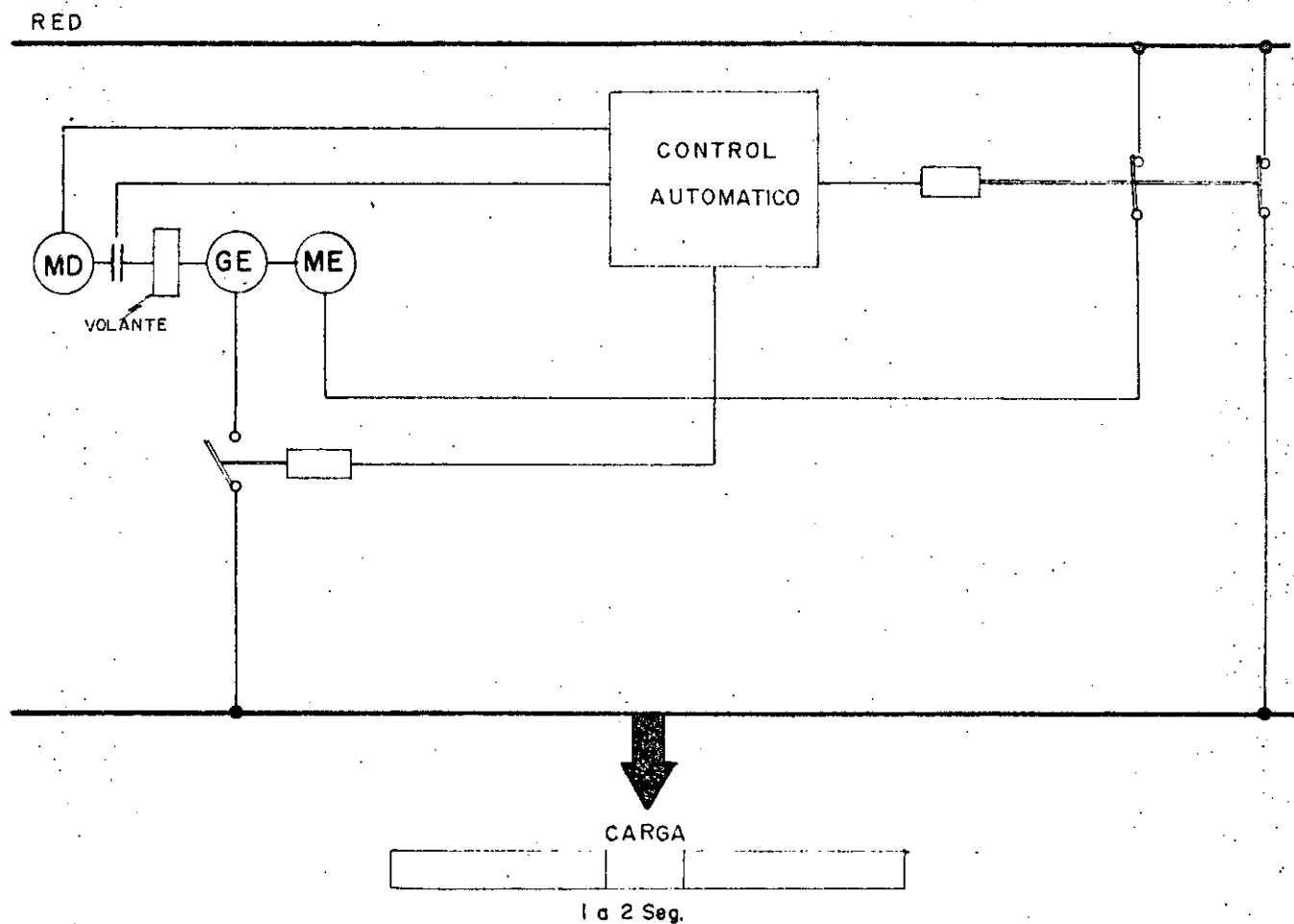


6 a 10 Seg.

EL ARRANQUE DEL GRUPO, LA CONMUTACION A LOS RECEPTORES Y LA PARADA AL RESTABLECER TENSION EN LA RED TIENEN LUGAR AUTOMATICAMENTE.

FIG. 6

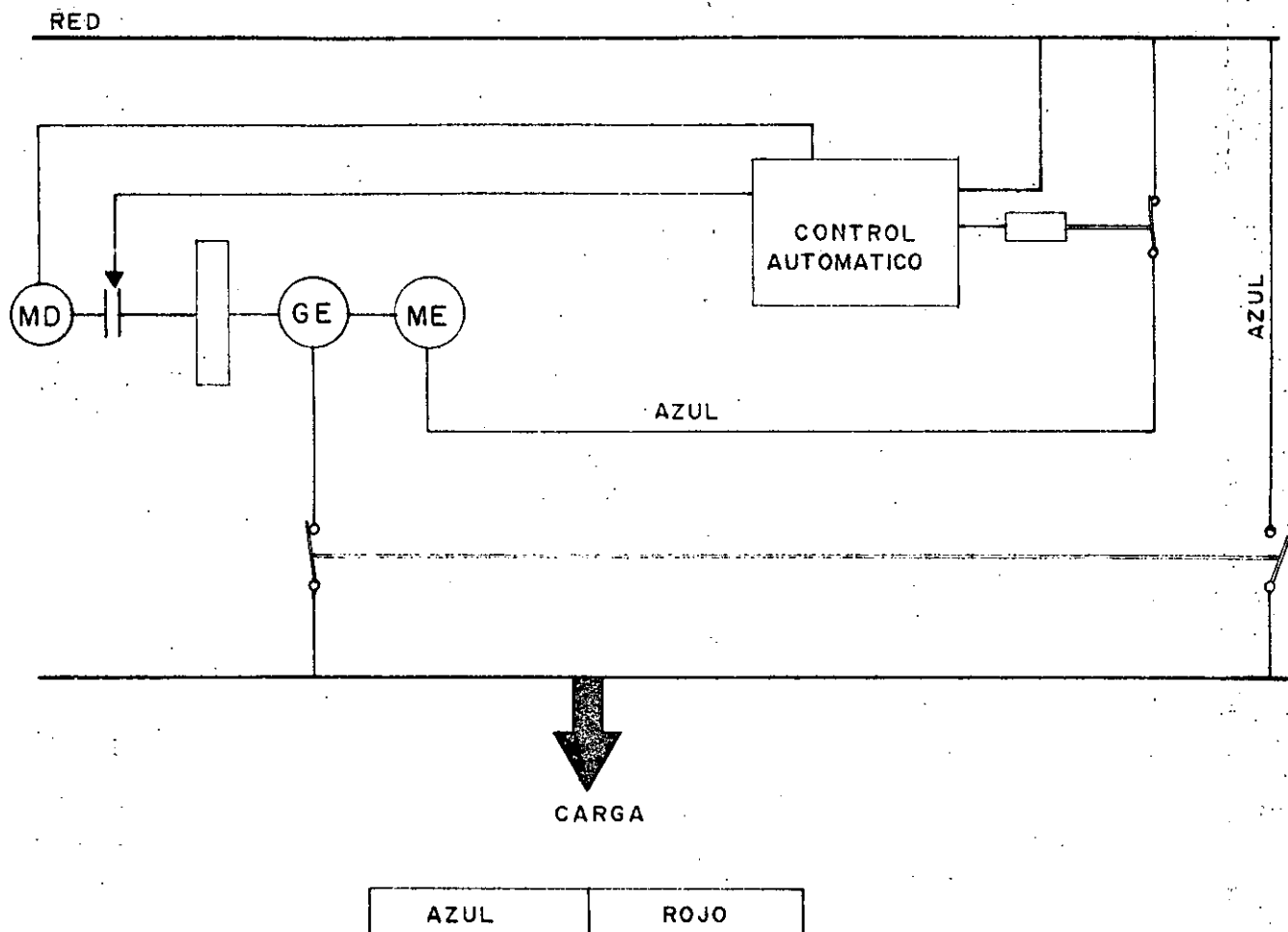
## DISPONIBILIDAD RAPIDA



POR MEDIO DE UN MOTOR TRIFASICO PEQUEÑO SE MANTIENE CONSTANTEMENTE AL GENERADOR, CON SU VOLANTE DE INERCIA, A LA VELOCIDAD DE ROTACION NOMINAL SI FALLA LA RED, DICHO VOLANTE SE ENCARGA DE PONER EN MARCHA EL MOTOR DIESEL EL CUAL ACCIONA ENTOCES EL GENERADOR ESTE PROCESO ES AUTOMATICO

FIG. 7

## DISPONIBILIDAD INMEDIATA



## SIN INTERRUPCION

LOS RECEPTORES SE ALIMENTAN CONSTANTEMENTE MEDIANTE EL GENERADOR QUE DURANTE EL SERVICIO EN CONEXION CON LA RED ES ACCIONADO POR UN MOTOR TRIFASICO DE GRAN POTENCIA.

SI FALLA LA RED, EL GRUPO SE ARRANCA POR MEDIO DEL VOLANTE ROTATIVO DE INERCIA Y ASUME AUTOMATICAMENTE EL ABASTECIMIENTO

FIG. 8

#### 3.4 Fuentes auxiliares de energía eléctrica.-

Como fuentes auxiliares se utilizan grupos electrógenos accionados por motores diesel o de gasolina, y banco de acumuladores que, dado el caso, se emplean en combinación con onduladores.

#### 3.5 Grupos electrógenos.-

Se suministran grupos electrógenos completos para potencias de hasta 3500 KVA aproximadamente. Si la demanda de potencia es aún mayor se pueden emplear varios grupos en paralelo.

#### 3.6 Acumuladores.-

Los acumuladores desprovistos de instalaciones convertidoras únicamente pueden alimentar receptores de corriente continua. Se utilizan sobre todo sistemas de alumbrado de seguridad.

#### 3.7 Instalaciones de Baterías con ondulatorios.-

Debido al desarrollo de las válvulas de semiconductores susceptibles de mando (Tiristores), se han abierto nuevos caminos en el campo de abastecimiento de energía eléctrica, por ejemplo, para receptores de corriente alterna en quirófanos. Las modernas instalaciones de onduladores con tiristores de silicio trabajan con absoluta seguridad y no tienen partes sometidas a desgaste. Otra ventaja es la reducida producción de ruido.

#### 3.8 Disponibilidad inmediata, con un banco de baterías y ondulator(inversor).

En este Sistema de Energía Ininterrumpida de Corriente Alterna, la carga es alimentada por la operación continua del inversor de C.D. a C.A., energizado por un rectificador; el cual es también utilizado para cargar hasta 124 celdas de baterías de emergencia (plomo-acido). Este Sistema Inversor de energía opera en cuatro formas diferentes. (VER FIG. 9)

a.- Normal:

La carga es continuamente alimentada por el Inversor, el Rectificador energizado por la línea de C.A., alimenta al inversor y carga en flotación las baterías de emergencia externa.

b.- Falla de Línea:

La carga continúa alimentada por el Inversor; el cual ahora obtiene su energía de las baterías de emergencia. La carga no es interrumpida cuando el sistema cambia de normal a falla de línea.

c.- Recarga:

La recarga es alimentada por el Inversor. El rectificador energizado por la línea de C.A. alimenta al Inversor, y recarga las baterías de emergencia.

d.- By - Pass:

La de C.A. puede transferirse al Inversor o al By - pass sin ninguna interrupción de alimentación a la carga, por medio de un circuito de breakers de transferencia de sincronio manual.

La carga no será transferida automáticamente a By - pass, a menos que se apagara el inversor o exista falla.

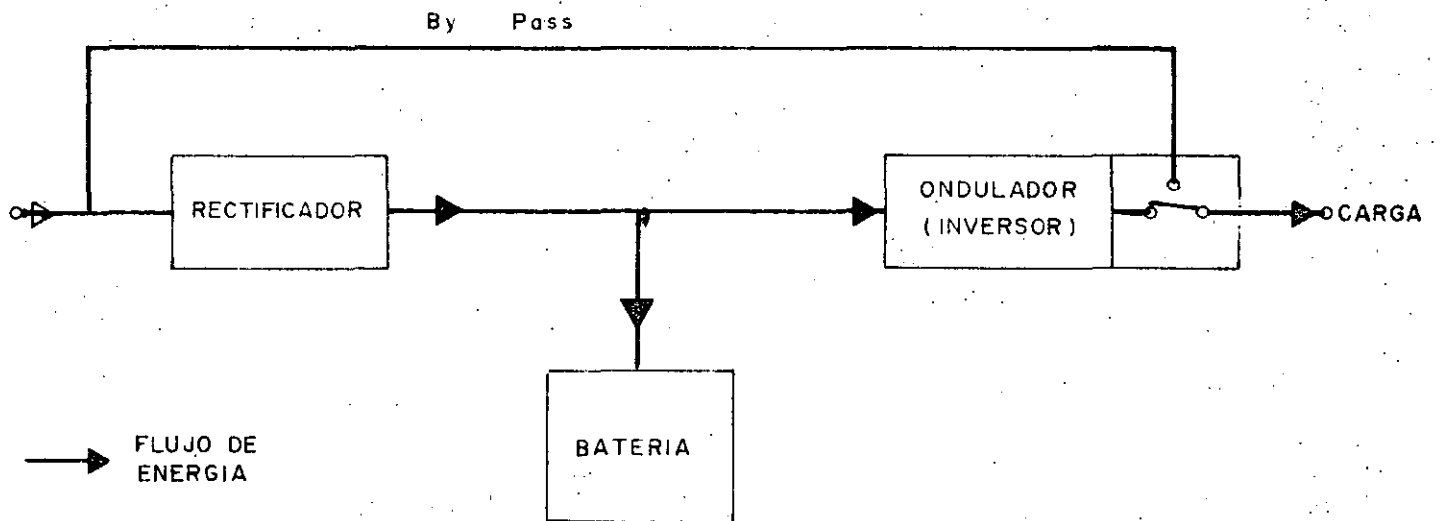


FIG. 9



Las capacidades de estos sistemas se dan a continuación:

Sistema Monofásico 120/240 V.C.A. 60 Hz.	Sistema Trifásico 120/208 V.C.A. 60 Hz.
500 VA (Vólts-Amperes)	15 KW
1000 VA	30 KW
2000 VA	60 KW
5000 VA	90 KW
10000 VA	125 KW

Ejemplo de cálculo de la Subestación Eléctrica de Servicios Generales.

Para el cálculo es recomendable seguir los siguientes pasos:

1° Determinar la carga instalada (ver diagrama unifilar)

a) Servicio Normal = 104.00 KW

b) Servicio Emergencia = 77.233 KW

TOTAL = 181.233 KW

2° Determinar la demanda máxima. Que es la demanda más alta que ocurre durante un periodo de tiempo especificado (DM)

$DM = (\text{carga instalada} + \text{carga de reserva}) \times F.D.$

$FD = \text{Factor de Demanda} = 0.6$

$DM = (181.233 + 45.767) \times 0.6 = 136.2 \text{ KW}$

3° Determinar los KVA del transformador.

$KVA = \frac{KW}{fp} = \frac{136.2}{0.9} = 151 \text{ KVA} \approx 150 \text{ KVA}$

$fp = \text{Factor de potencia} = 0.9$

## 4° Cálculo de la Planta de Emergencia.

Determinar la demanda máxima

Aplicando la fórmula del 2° paso.

$$DM = (77.233 + 18.767) 0.6 = 57.6 \text{ KW}$$

Por lo tanto se selecciona una planta con las siguientes características.

60 KW en servicio continuo.

66 KW en 2 hrs. máximo.

3 Fases

4 Hilos

220/127V.

60 ciclos por segundo

1800 R.P.M.

0.8 F.P.

## 5° Cálculo del fusible en alta tensión (AT)

$$I_{\text{fus}} = I_n \times FC$$

FC = Factor para la coordinación de la protección en alta tensión con la protección en baja tensión en este caso igual a 2.

$I_n$  = Corriente nominal en el lado de Alta Tensión

$$I_n = \frac{\text{KVA}}{\sqrt{3} \times E_f}$$

$E_f$  = Voltaje entre fases en KV  
en el lado de Alta Tensión = 13.2 KV.

Entonces:

$$I_n = \frac{150}{1.73 \times 13.2} = 6.57 \text{ A.}$$

Y

$$I_{fus} = 6.57 \times 2 = 13.14 \text{ A'}$$

Se selecciona de los datos del fabricante el inmediato superior, en este caso 15 A.

6° Cálculo del Interruptor Principal en el lado de Baja Tensión

$$I_{int} = I_{n2} \times FC$$

$I_{n2}$  = Corriente nominal en el lado de Baja Tensión.

$$I_{n2} = \frac{KVA}{\sqrt{3} E_{f2}}$$

$E_{f2}$  = Voltaje entre fases en KV, en el lado de baja tensión = 0.220 KV.

$$I_{n2} = \frac{150}{1.73 \times 0.220} = 394 \text{ A.}$$

FS = Factor de seguridad = 1.25

Por lo tanto:

$$I_{int} = 394 \times 1.25 = 492.5 \text{ A.}$$

Se selecciona un interruptor termomagnético de 3 polos, 500 amperes, 600 vólts máx.

7° Cálculo del interruptor derivado N°1.

Se calcula en forma similar al Interruptor Principal.

$$KVA = \frac{(KW + reserva) \times F.D.}{F.D.}$$

$$KVA = \frac{65.35}{0.9} \times 1.25 \times 0.7 = 63.56 \text{ KVA}$$

DISEÑO DE UNA INSTALACION

El objeto del alumbrado urbano, (iluminación de calles, avenidas, plazas, áreas verdes, estacionamientos etc.)- es el de proporcionar en la noche una visibilidad confortable para tener una mayor seguridad y protección en el tráfico de vehículos y peatones.

Además de ayudar a evitar accidentes automovilísticos - producidos por la obscuridad, reduce el vandalismo y los atracos, estimula el comercio y representa el aprovechamiento del avance tecnológico para el mejor desempeño de la comunidad.

Los niveles de iluminación deben ser determinados adecuadamente en virtud de que:

- a) La eficiencia visual es muy baja en la noche.
- b) La capacidad de distinción del individuo decrece con la edad.
- c) Las características del ojo humano varían con las diferentes intensidades de iluminación.
- d) La visibilidad de los colores se pierde a bajos niveles de iluminación.

La Sociedad de Ingeniería de Iluminación recomienda la siguiente clasificación para una iluminación horizontal promedio en luxes.

Tipo de Arteria	Tipo de Zona		
	Comercial	Intermedio	Residencial
Vías principales	22	15	11
Vías de tráfico	13	10	6
Vías de tráfico mediano	10	6	4
Vías de tráfico ligero	6	4	4

El nivel de iluminación se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\text{Iluminación Promedio} = \frac{(\text{Lumenes Inic. de la Lámp.}) \times (\text{C.U.}) \times (\text{F.C.})}{(\text{Espaciamiento}) \times (\text{Ancho del Arroyo})}$$

Lumenes de la lámpara. (ver datos del fabricante)

C.U.= Coeficiente de Utilización. (ver datos del fabricante)

F.C.= Factor de conservación es el producto de:

#### FACTOR DE CONSERVACION DEL FLUJO LUMINOSO DE ALGUNAS LAMPARAS.

TIPO DE LAMPARAS	FACTOR
INCANDESCENTE	0.80
LUZ MIXTA	0.75
MERCURIO	0.80
SODIO ALTA PRESION	0.80
SODIO BAJA PRESION	0.90

Es la relación de los Lumenes al 50 % de la vida nominal ÷ los Lumenes iniciales.

#### FACTOR DE CONSERVACION POR SUCIEDAD

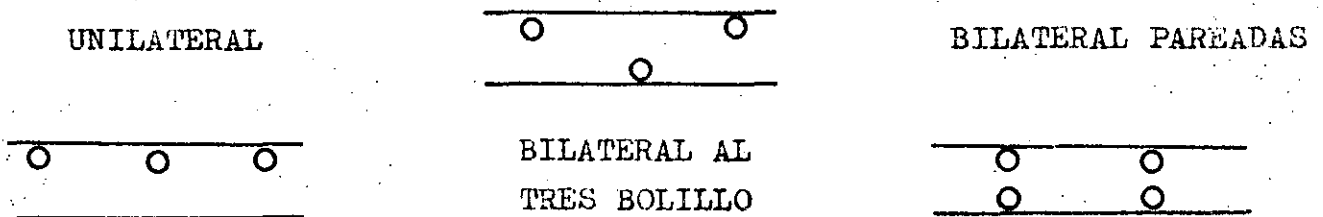
TIPO DE LUMINARIA	FACTOR RECOMENDABLE
HERMETICA	0.87 a 0.80
VENTILADA	0.80 a 0.70
ABIERTA	0.75 a 0.65

Depende de la acumulación de polvo y suciedad del foco y de la limpieza o conservación que se le de a la instalación.

Valores mínimos y recomendados de las relaciones entre la altura del punto de luz y la anchura de la calzada para distintos tipos de disposición de los puntos de luz.

RELACION =  $\frac{\text{Altura del punto de luz}}{\text{Anchura de la Calzada}}$

TIPO DE DISPOSICION	VALOR MINIMO	VALOR RECOMENDABLE
a) UNILATERAL	0.85	/
b) BILATERAL AL TRES BOLILLO	1/2 (0.5)	2/3 (0.666)
c) BILATERAL PAREADAS	1/3 (0.333)	1/2 (0.5)



Alturas recomendables del punto de luz en función de la potencia luminosa instalada. Se puede clasificar en la siguiente forma:

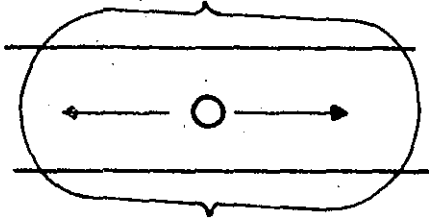
POTENCIA LUMINOSA INSTALADA (LUMENS)	ALTURA DEL PUNTO DE LUZ (M)
3,000 a 9,000	6.5 a 7.5
9,000 a 19,000	7.5 a 9
>19,000	≥ 9

Para la selección de la luminaria apropiada es necesario tener en cuenta el tipo de distribución que se requiere, su resistencia a los agentes atmosféricos y su estética.

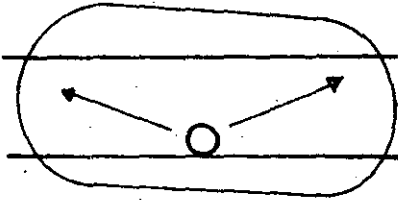
La consideración fundamental es su distribución fotométrica dado que con ello se logrará la uniformidad de iluminación deseada.

Las luminarias de alumbrado público se clasifican generalmente con relación a la forma de distribución lateral. La Sociedad de Ingeniería de Iluminación ha establecido 7 patrones de curvas de distribución lateral Tipo I, Tipo I cuatro direcciones, Tipo II Tipo II cuatro direcciones, Tipo III, Tipo IV, Tipo V

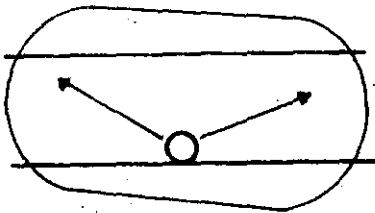
TIPO I



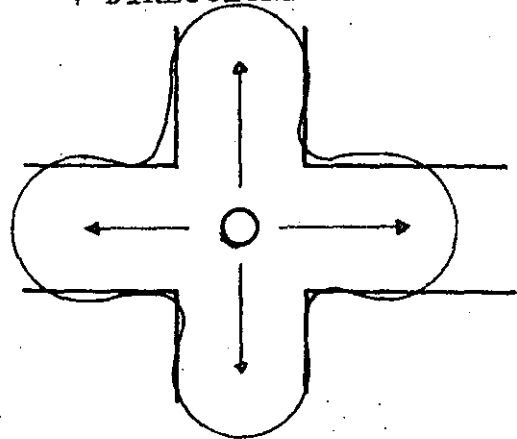
TIPO II



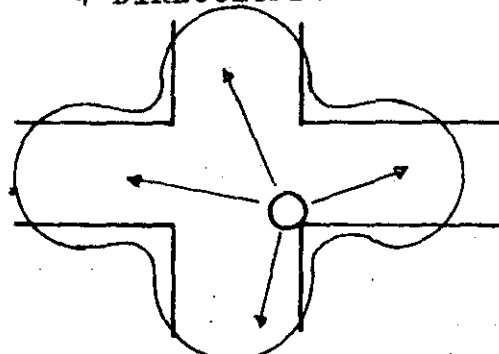
TIPO III



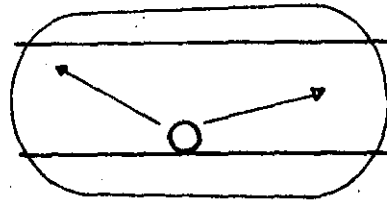
TIPO I  
4 DIRECCIONES



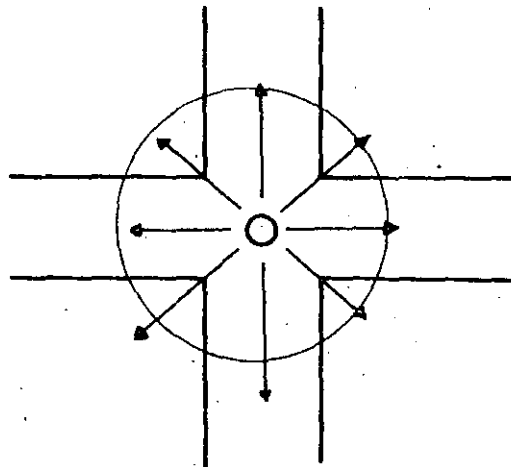
TIPO II  
4 DIRECCIONES



TIPO IV



TIPO V



TIPO I-Para montar la unidad en el centro de una calle extrecha (menor de 9 m.) a grandes espaciamentos. Proyecta dos haces en sentidos opuestos, a lo largo de la vía y se recomienda para calles locales donde la iluminación no se requiere que sea intensa.

TIPO II-Es para instalarse cerca del borde de la calzada y proyectar la iluminación en una área estrecha y asimétrica. Se usa en unidades de iluminación colocadas a un lado de calles de menos de 12 metros a ambos lados, alternativamente en calles de menos de 18 metros.

TIPO III-Este tipo proyecta la luz más lejos y se considera apropiado para unidades de iluminación distribuida alternativamente a ambos lados de todas las calles a no ser las de 23 m. o menos.

TIPO IV-Está destinado a proyectar la luz a gran distancia en calles muy anchas también se emplea en unidades de iluminación de disposición alternada a cada lado de calles comerciales de ancho normal para mejorar la iluminación de la acera en el lado opuesto de la calle.

TIPO V-Proyecta la luz en forma circular y se usa en parques, estacionamientos, etc.

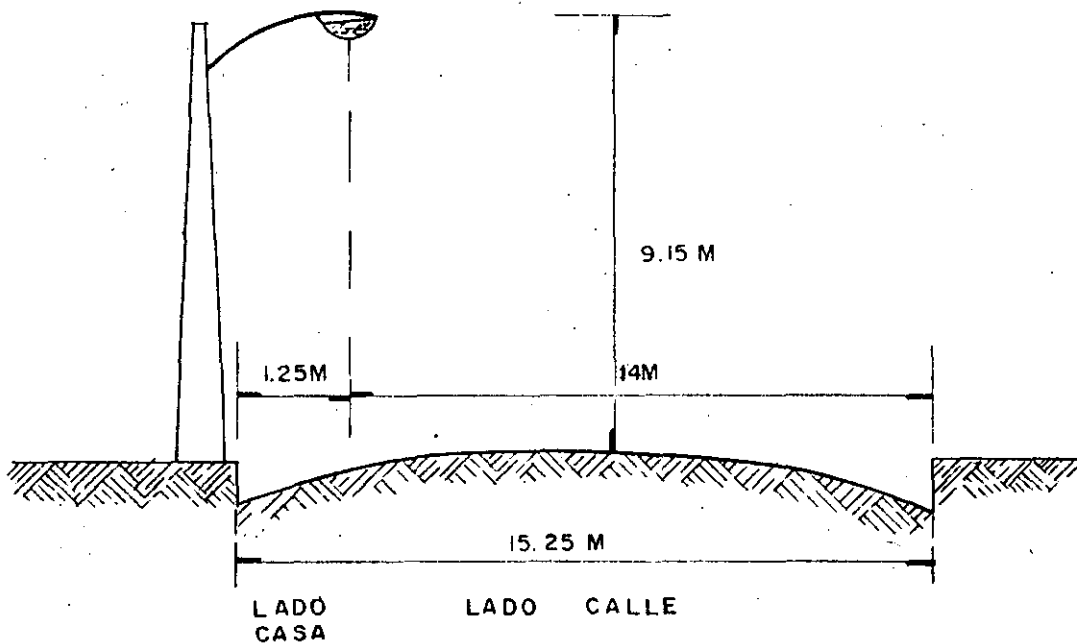
Resumiendo se puede establecer que para poder desarrollar un proyecto de alumbrado público es necesario observar el siguiente procedimiento:

- 1.- Determinar de acuerdo con la importancia de la arteria el nivel de iluminación.
- 2.- Tener los datos del perfil de la vía o calzada.
- 3.- Tipo de lámpara que se pretende emplear y cual es su flujo luminoso.



- 4.- En función del tipo y capacidad de la lámpara que unidad de iluminación se selecciona.
- 5.- Con los datos fotométricos proporcionados por el fabricante de luminarias determinar el coeficiente de utilización.
- 6.- De acuerdo con el tipo de luminaria ver que factor de conservación le corresponde.
- 7.- Conforme al tipo de lámpara ver cual es el factor de conservación que le corresponde en cuanto a la depreciación del flujo luminoso
- 8.- Calcular con la fórmula el espaciamiento.
- 9.- De acuerdo con la relación altura de la luminaria/ancho de calle ver que disposición le corresponde.

#### EJEMPLO DE APLICACION



#### DATOS

- Ancho del arroyo 15.25 m.
- Altura de montaje de la luminaria 9.15 m.
- Saliente del brazo 1.25 m.
- Lámpara de 250 W. vapor de sodio alta presión con una emisión inicial de 30,000 lúmenes
- Luminario: Tipo IES III.

Los elementos que componen una red de alumbrado público los podemos enlistar en la siguiente forma:

1.- Ductos (de asbesto-cemento)

- a) Colocados en banquetas: junteado con mortero de cemento 1:3.
- b) Colocados en arroyo: ahogado en concreto de  $\text{Fe}=150 \text{ Kg/cm}^2$

2.- Registros.-

- a) Registros sencillos: 50 X 65 X 63.8 cm.
- b) Registros dobles: 60 X 80 X 123.8cm.

3.- Cimientos.-

- a) para poste de 4.5 a 5.80 m.
- b) para poste de 7 a 9 m.
- c) para poste de 12 m.
- d) para poste de 16 m.
- e) para poste de 20, 25 y 30 m.

4.- Postes.-

- a) tipo colonial: 4.5., 5.0., 5.50 m. de altura
- b) tipo ornamental conico 7.0 a 10.0 m.
- c) tipo jardin o punta de poste de 5.0 a 14 m.
- d) tipo látigo conico de 7.0 a 12.0 m.
- e) especiales.

5.- Luminarias

- a) para lámparas de V-S        alta presión  
                                          baja presión
- b) para lámparas de vapor de mercurio
- c) para lámparas de vapor de mercurio con aditivos metalicos.

6.- Conductores eléctricos.-

- a) con aislamiento para 600 Volts
- b) con aislamiento para 1000 Volts

## 7.- Fotoceldas.-

- a) para 1000 W. 1800 VA., 110-130 V conecta: de 5 a 20 luxes.
- b) para 1000 W. 1800 VA., 176-230 V desconecta de 25 a 100 luxes

## 8.- Combinaciones Contactor-Interruptor.-

- a) para operar circuitos monofásicos
- b) para operar circuitos trifásicos

## 9.- Elementos varios.-

- a) conectores
- b) cintas aislantes
- c) varillas copper-weld.

PLATAFORMA DE OPERACIONES

Las consideraciones más importantes en el diseño de un sistema de alumbrado para plataforma de operaciones es el nivel de iluminación, la uniformidad de la iluminación y reducir a un mínimo el brillo de la fuente de luz.

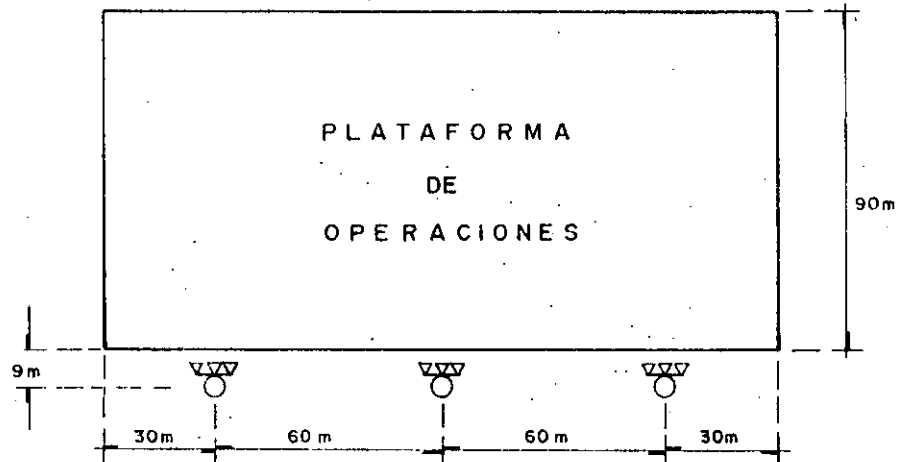
Para el diseño de alumbrado en plataforma se toman muy en cuenta estos factores para dar una mayor visibilidad a los operadores de T.C., pilotos, pasajeros y al personal de servicio.

El tipo de luminario empleado para iluminar la plataforma de operaciones en nuestros aeropuertos son proyectores con lámpara de vapor de sodio alta presión de 400 W. instalados en postes de 16 m. de altura con una separación máx. de 60 m.



$$\text{No. de proyectores} = \frac{20 \times 162000}{64320 \times 0.7 \times 0.85} = 8.46 = 9$$

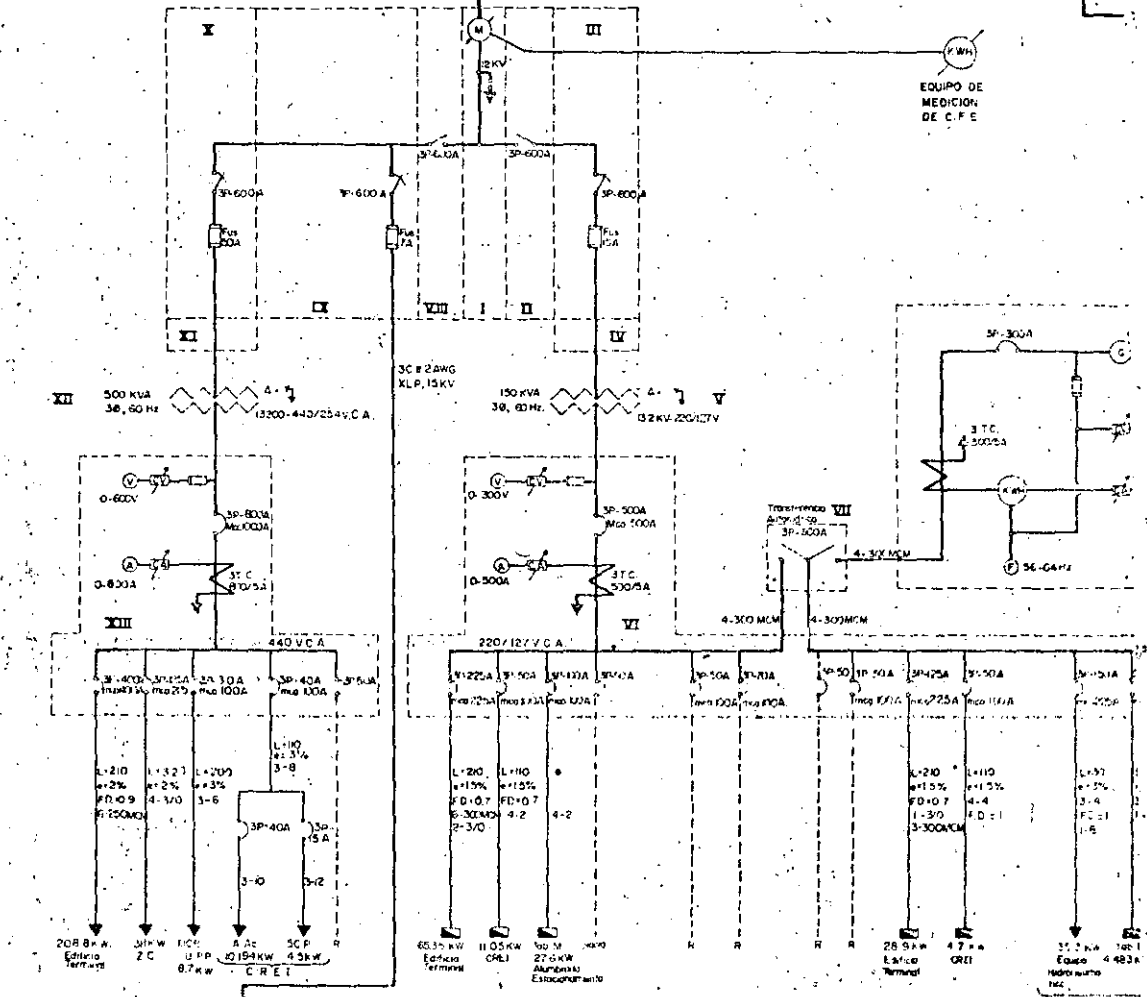
Dadas las dimensiones de la plataforma se colocaran tres postes separados 60 m. entre si, con 3 proyectores cada uno.



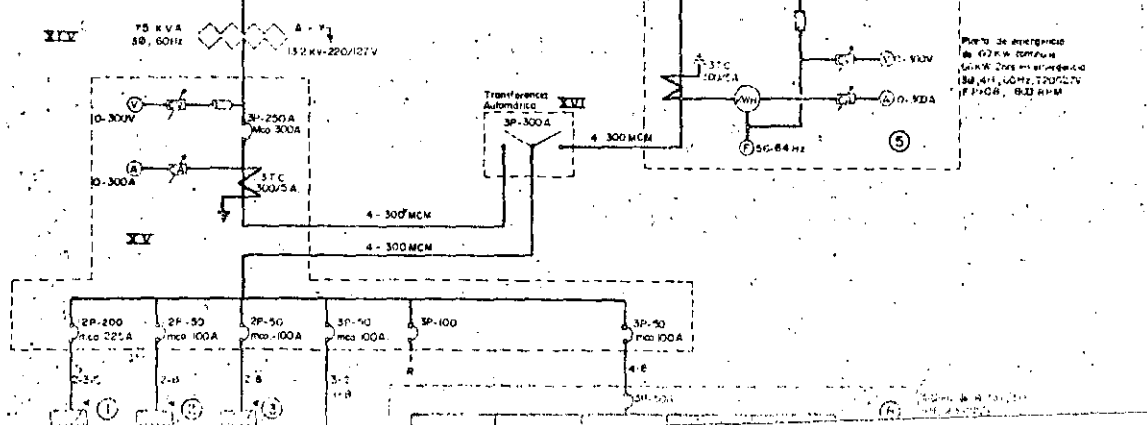
324

### SUBSTACION DE AIRE ACONDICIONADO

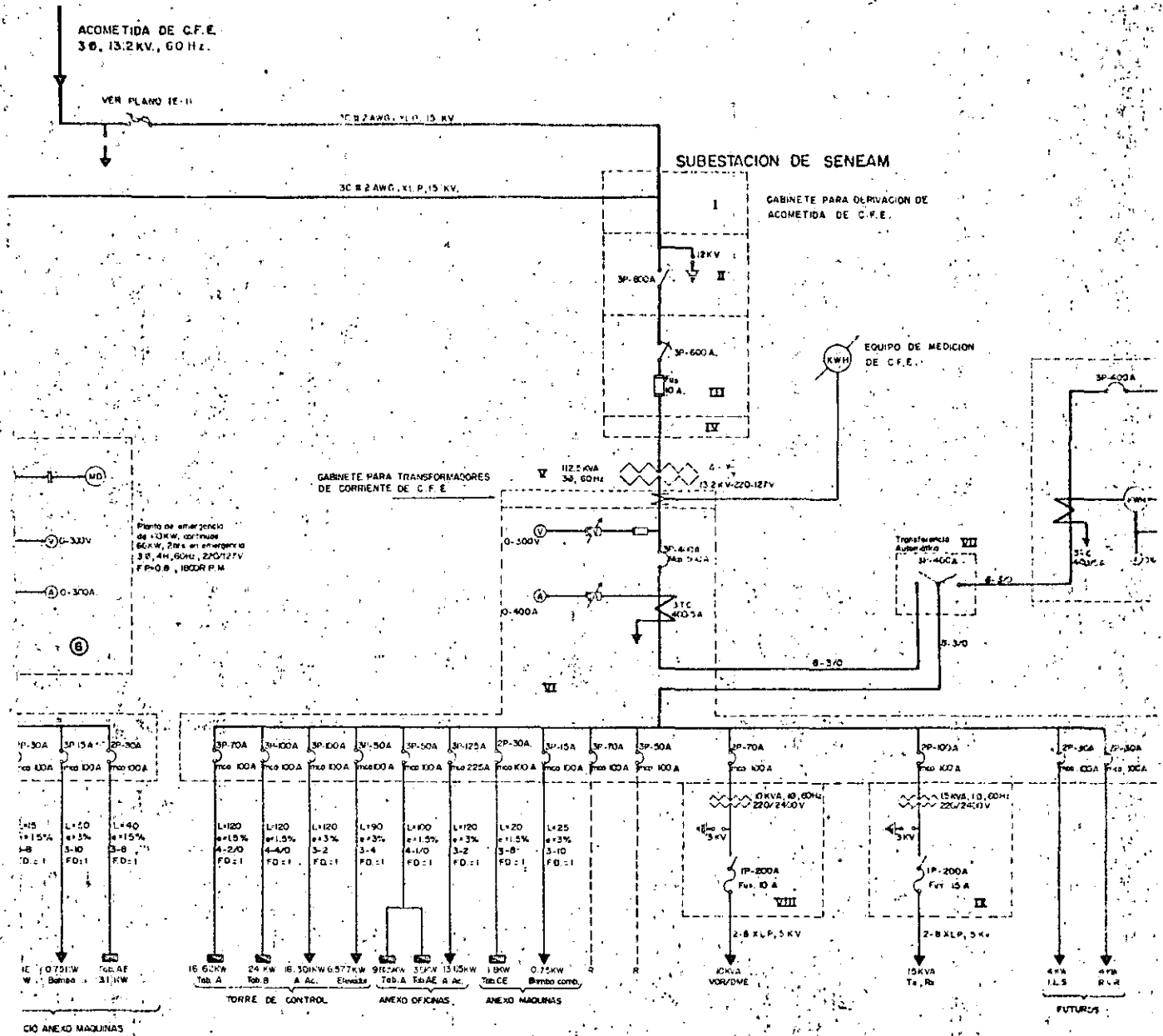
### SUBSTACION DE SERVICIOS GENERALES



### SUBSTACION DE AYUDAS VISUALES

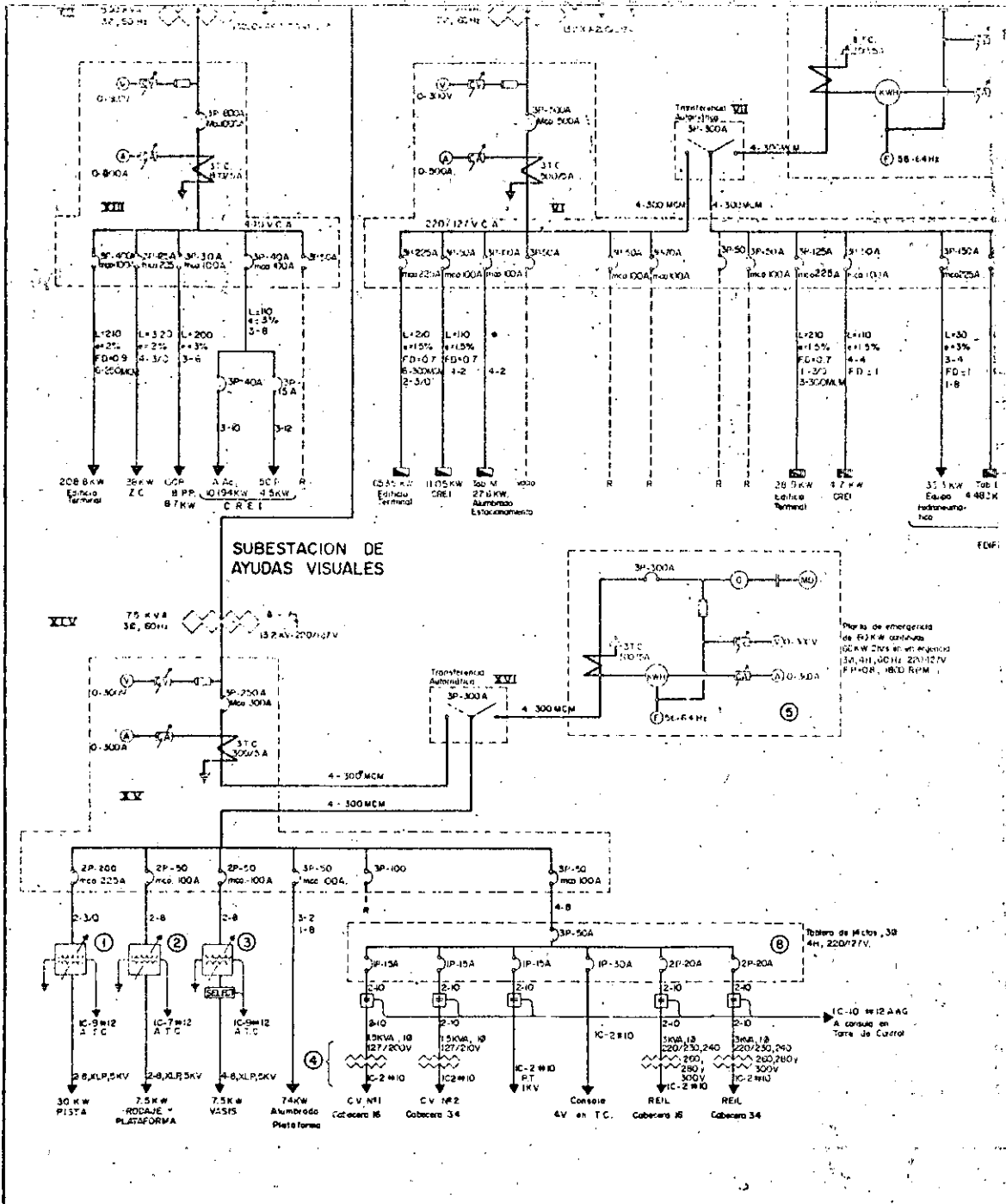


325









**SUBSTACION DE AYUDAS VISUALES**

**Croquis de Localización**



**Simbología**

	Equipo de medición		Commutador para apertura
	Apertorayo tipo automático		Interruptor de transferencia automática
	Cuchilla desconectadora para operar sin carga		Kilowattmetro
	Fusible para arrester		Frecuencímetro
	Transformador eléctrico de distribución		Generador
	Fusible para barra tendida		Autotransformador
	Barra tendida		Motor Diesel
	Amperímetro		Interruptor termomagnético
	Volímetro		Regulador de corriente constante
	Transformador de corriente		Generador

322

CUADRO DE CARGAS SUBESTACION AIRE

No	DESCRIPCION DE EQUIPO	CARGA WATTS	F A S E S			
			A	B	C	
1	Aire Acondicionado en Edificio Terminal	203500	69500	69500	69500	69500
2	Aire Acondicionado en CREI	1594	3398	3398	3398	3398
3	Bomba de Pazo Profundo	870	2900	2900	2900	2900
4	Bomba Cisterna en CREI	4500	1500	1500	1500	1500
5	Instalación Eléctrica, Z. C.	4735	15977	6008		15957
TOTALES		230220	93375	93375	93375	93355

CUADRO DE CARGAS SUBESTACION AYUDAS VISUALES

No	DESCRIPCION DE EQUIPO	CARGA WATTS	F A S E S			
			A	B	C	
1	Regulador para circuito pista	30000	15000	15000		
2	Regulador para circuito rosaje	7000		3500		3700
3	Regulador para circuito taxi	7500	3750			3750
4	Tablero	5000	2000	3000		4000
5	Alumbrado Plataforma	8400	2400	2000		2500
TOTALES		62400	24150	24000		14000

CUADRO DE CARGAS SUBESTACION DE SENEAM

No	DESCRIPCION DE EQUIPO	CARGA WATTS	F A S E S			
			A	B	C	
1	Tablero "M" en Torre de Control	16420	5540	5540	5540	
2	Tablero "B" en Torre de Control	24000	8000	8000	8000	8000
3	Aire Acondicionado en Torre de Control	16300	5433	5433	5433	5433
4	Elevador en Torre de Control	6577	2193	2192	2192	
5	Tablero "A" Anexo Oficinas	9825	3275	3275	3275	
6	Aire Acondicionado Anexo Oficinas	13650	4550	4550	4550	4550
7	Tablero "CE" Anexo Maguano	1800	900			900
8	Bomba combustible Anexo Maguano	750	250	250	250	
9	VDR/DME	6000	4000	4000		
10	Tx, Rx	12000		6000	6000	
11	I.L.S. (Futuro)	4000	2000			2000
12	H.V.R. (Futuro)	4000	2000			2000
13	Tablero AE Anexo Oficinas	3500	1166	1166		1166
TOTALES		121023	39309	40408	41306	

GRAN TOTAL 644786 218509 217490 208787  
Diferencia Máxima 4.4 %

Punto Responsable del Proyecto Nombre Domicilio Registro	Punto Responsable de la Obra Nombre Domicilio Registro
-------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------

Fecha	Modificación	Entidad	Modificado	Aprobado	Elaboración
24-VII-79	Se modifica la carga del equipo del sistema eléctrico	O.F.	H.M.E.	J.R.A.	Elab. por el Sr. Ingeniero en Instalaciones Eléctricas Ing. Israel Pérez Aguirre
8-IX-79	Se modifica la carga de ayudas visuales cambiando la potencia del regulador de pista de 30 a 30000, por lo tanto se cambia el interruptor y se cambia el inductor del sistema, modificándose la potencia de 7000 a 37000	O.F.	H.M.E.	J.R.A.	Elab. por el Sr. Ingeniero en Instalaciones Eléctricas Ing. Humberto Navarrete E.
14-IV-80	Se hacen modificaciones a todos los subequipos por cambio de cargas del CREI en Edificio de Instalaciones	O.F.	H.M.E.	J.R.A.	Proyecto Elab. por el Sr. Ingeniero en Instalaciones Eléctricas Ing. Humberto Navarrete E.
					Dibujos

SAHOP Dirección General de Aeropuertos  
Departamento de Instalaciones  
AEROPUERTO DE CAMPECHE, CAMP.  
DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL

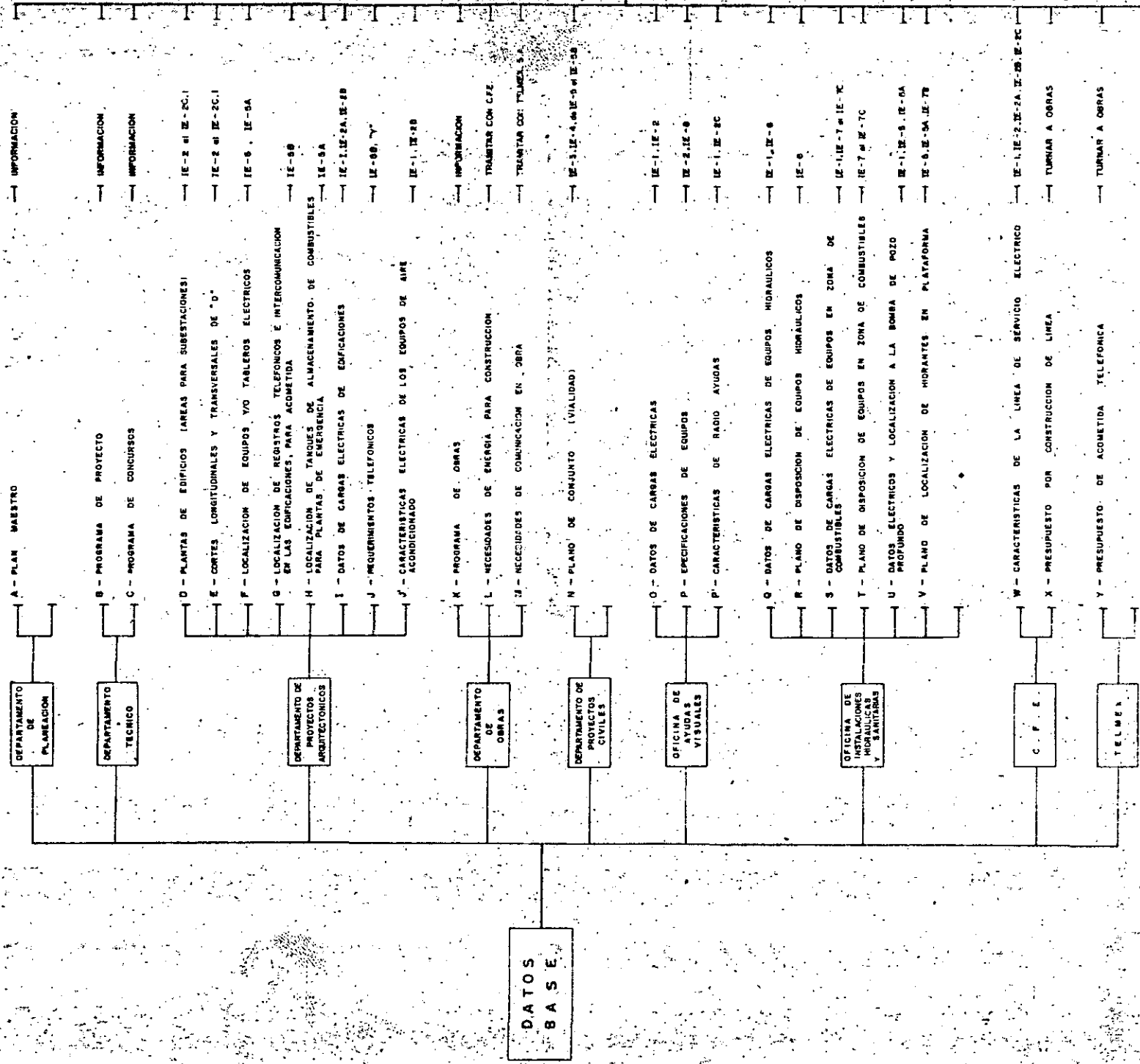
PROPUESTA  
C. Jefe del Departamento

APROBADO  
C. Director General

Verdad D.F. México 10/11/79

329

330



DATOS  
BASE

DEPARTAMENTO DE  
PROYECTOS  
CIVILES

OFICINA DE  
AYUDAS  
VISUALES

OFICINA DE  
INSTALACIONES  
HIDRAULICAS  
Y SANITARIAS

C. F. E.

TELMEX

J - REQUERIMIENTOS TELEFONICOS  
J.1 - CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LOS EQUIPOS DE AIRE  
ACONDICIONADO

K - PROGRAMA DE OBRAS

L - NECESIDADES DE ENERGIA PARA CONSTRUCCION

M - NECESIDADES DE COMUNICACION EN OBRA

N - PLANO DE CONJUNTO (VALIDAD)

O - DATOS DE CARGAS ELECTRICAS

P - ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

P.1 - CARACTERISTICAS DE RADIO AYUDAS

Q - DATOS DE CARGAS ELECTRICAS DE EQUIPOS HIDRAULICOS

R - PLANO DE DISPOSICION DE EQUIPOS HIDRAULICOS

S - DATOS DE CARGAS ELECTRICAS DE EQUIPOS EN ZONA DE  
COMBUSTIBLES

T - PLANO DE DISPOSICION DE EQUIPOS EN ZONA DE COMBUSTIBLES

U - DATOS ELECTRICOS Y LOCALIZACION A LA BOMBA DE POZO  
PROFUNDO

V - PLANO DE LOCALIZACION DE MORNANTES EN PLATAFORMA

W - CARACTERISTICAS DE LA LINEA DE SERVICIO ELECTRICO

X - PRESUPUESTO POR CONSTRUCCION DE LINEA

Y - PRESUPUESTO DE ACOMETIDA TELEFONICA

IE-5B

IE-1, IE-2B

INFORMACION

TRAMITAR CON C.F.E.

TRAMITAR CON: TOLMEX S.A.

IE-3, IE-4, IE-9 o IE-5B

IE-1, IE-2

IE-2, IE-9

IE-1, IE-2C

IE-1, IE-9

IE-6

IE-1, IE-7 o IE-7C

IE-7 o IE-7C

IE-1, IE-5, IE-6A

IE-8, IE-9A, IE-7B

IE-1, IE-2, IE-2A, IE-7B, IE-7C

TORNAR A OBRAS

TORNAR A OBRAS

A.B.C. del. SISTEMAS TELEFONICOS  
E-1, E-2, E-3, etc. (según necesidad)

331

C  
N  
E

DE  
ACIONES  
RICAS

SECCION  
BAJA TENSION  
Y DISTRIBUCION  
  
SECCION  
ALTA TENSION  
Y SUBESTACIONES

IE-2A1	CIMENTACION SUBESTACION SERVIDOS GENERALES	O.E.
IE-2A2	DETALLES CONSTRUCTIVOS	---
IE-2B	SUBESTACION ELECTRICA AIRE ACONDICIONADO	O.E.I.
IE-2B1	CIMENTACION SUBESTACION AIRE ACONDICIONADO	O.E.
IE-2B2	DETALLES CONSTRUCTIVOS	---
IE-2C	SUBESTACION ELECTRICA S E N E A M	O.E.I.P.
IE-2C1	CIMENTACION SUBESTACION	O.E.
IE-2C2	DETALLES CONSTRUCTIVOS	---
IE-3	ALUMBRADO DE PLATAFORMA	N
IE-3A	POSTE ALUMBRADO PLATAFORMA Y DETALLES ESTRUCTURALES (TIPO)	---
IE-4	ALUMBRADO ESTACIONAMIENTO Y CAMINOS DE ACCESO	N
IE-4A	DETALLES CONSTRUCTIVOS DE ALUMBRADO EXTERIOR	---
IE-5	RED GENERAL DE CANALIZACION EXTERIORES	D.S.M.U.V. W.P.T.
IE-5A	RED DE CANALIZACIONES ELECTRICAS EXTERIORES	D.F.H.N. R.T.
IE-5B	RED DE CANALIZACIONES TELEFONICAS Y DE INTERCOMUNICACION EXTERIOR	S.J.M
IE-5C	RED DE DISTRIBUCION A 400Hz	---
IE-6	INSTALACION ELECTRICA DE EQUIPO HIDRONEUMATICO	O.O.R
IE-7	INSTALACION ELECTRICA EN ZONA DE COMBUSTIBLE	S.T.
IE-7A	DIAGRAMA DE CONTROL PARA SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE (TIPO)	S.T.V
IE-7B	CONSOLA DE CONTROL TIPO Z.C.	IE-6
IE-7C	DETALLES, CONSTRUCTIVOS (TIPO)	IE-6
IE-8	GABINETE PARA DERIVACIONES DE ACOMETIDAS (TIPO)	---
IE-9	BANCO DE DUCTOS (TIPO)	---
IE-10	REGISTROS (TIPO)	---
IE-11	POSTE DE TRANSICION ENTRE SISTEMA AEREO Y SUBTERRANEO (ACOMETIDA) (TIPO)	---
IE-12	TRANSFORMADOR EN POSTE (Z.C.) (TIPO)	IE-7
IE-13	INSTALACION ELECTRICA BOMBA POZO PROFUNDO	U
IE-14	LINEA AEREA	---
IE-14A	DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LA LINEA AEREA	---
IE-14B		---
IE-14C		---
IE-15	TABLERO "AV" DE CONTROL PARA AYUDAS VISUALES (TIPO)	---
IE-16	SUBESTACIONES SISTEMA DE TIERRAS	---

REVISION MEMORIA TECNICA DESCRIPTIVA | ENTREGA AL DEPARTAMENTO DE OBRAS

**SALUD** DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES  
OFICINA DE INSTALACIONES ELECTRICAS

DESARROLLO DE PROYECTO  
DEL AEROPUERTO DE \_\_\_\_\_

11 DE 10

NA DE  
ACIONES  
TRICAS

SECCION  
BAJA TENSION  
Y DISTRIBUCION

SECCION  
ALTA TENSION  
YSUBESTACIONES

IE-0A MEMORIA TECNICA RESUMPTIVA.	---
IE-0B ESPECIFICACIONES	---
IE-0C LISTA DE MATERIALES Y EQUIPO	---
IE-1 DIAGRAMA UNIFILAR	--- I.J.O.P.O. S.U.W
IE-2 SUBESTACION ELECTRICA AYUDAS VISUALES	--- D.E.D.P.W
IE-21 CIMENTACION SUBESTACION AYUDAS VISUALES	--- D.E.P
IE-22 DETALLES CONSTRUCTIVOS	---
IE-2A SUBESTACION ELECTRICA SERVICIOS GENERALES	--- D.E.F.I.O
IE-2A1 CIMENTACION SUBESTACION SERVICIOS GENERALES	--- D.E
IE-2A2 DETALLES CONSTRUCTIVOS	---
IE-2B SUBESTACION ELECTRICA AIRE ACONDICIONADO	--- D.E.I.J
IE-2B1 CIMENTACION SUBESTACION AIRE ACONDICIONADO	--- D.E
IE-2B2 DETALLES CONSTRUCTIVOS	---
IE-2C SUBESTACION ELECTRICA S E N E A M	--- D.E.I.P.
IE-2C1 CIMENTACION SUBESTACION	--- D.E
IE-2C2 DETALLES CONSTRUCTIVOS	---
IE-3 ALUMBRADO DE PLATAFORMA	--- M
IE-3A POSTE ALUMBRADO PLATAFORMA Y DETALLES ESTRUCTURALES (TPO)	---
IE-4 ALUMBRADO ESTACIONAMIENTO Y CAMINOS DE ACESO	--- N
IE-4A DETALLES CONSTRUCTIVOS DE ALUMBRADO EXTERIOR	---
IE-6 RED GENERAL DE CANALIZACION EXTERIORES	--- D.O.H.U.V. M.A.T
IE-6A RED DE CANALIZACIONES ELECTRICAS EXTERIORES	--- D.F.H. R.T
IE-6B RED DE CANALIZACIONES TELEFONICAS Y DE INTERCOMUNICACION EXTERIOR	--- G.A.M
IE-6C RED DE DISTRIBUCION A 400Hz	---
IE-6 INSTALACION ELECTRICA DE EQUIPO PNEUMATICO	--- D.O.R
IE-7 INSTALACION ELECTRICA EN ZONA DE COMBUSTIBLE	--- S.T
IE-7A DIAGRAMA DE CONTROL PARA SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE (TIPC)	--- S.T.V
IE-7B CONSOLA DE CONTROL (TPO) C.C.	--- I.T 1

REVISION DE PROYECTO

ENTRADA AL DEPARTAMENTO TECNICO

ENTRADA AL DEPARTAMENTO DE OBRAS

APROBACION DE PROYECTO DA SEPARAR.

REVISION MEMORIA TECNICA DESCRIPTIVA

ENTRADA AL DEPARTAMENTO DE OBRAS



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

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE  
MAYO.  
MEXICO, D.F.

"AYUDAS VISUALES LUMINOSAS"

ING. ISMAEL REYES AGUIRRE

CURSO DE INGENIERIA DE AEROPUERTOS

TEMA: "AYUDAS VISUALES LUMINOSAS" ✓

EXPOSITOR: Ing. Ismael Reyes Aguirre



**CONTIENE:**

**Información Básica sobre Ayudas Visuales en Aeropuertos.**

**Cables para Ayudas Visuales en Aeropuertos.**

**Pruebas de campo a Conductores Directamente Enterrados.**

**Aspectos que se deben considerar para desarrollar los Proyectos de Ayudas Visuales Luminosas en Aeropuertos.**

**Proyecto de Ayudas Visuales para el Aeropuerto de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.**

INFORMACION BASICA SOBRE AYUDAS VISUALES EN AEROPUERTOS

## INFORMACION BASICA SOBRE AYUDAS VISUALES EN AEROPUERTOS.

### 1. INTRODUCCION.

Gran parte de las ayudas visuales en los aeropuertos consiste en la colocación de faros y balizas luminosas de señalización, que proporcionen información visual a los pilotos por medio de la configuración, localización, color y secuencia de destello, más que la iluminación de áreas y objetos.

Otra parte, está constituida por la iluminación de plataformas, áreas de trabajo y estacionamientos; caminos internos y el interior de las zonas de carga, hangares y edificio terminal, y que son objeto de otra área de proyecto.

### 2. NORMALIZACION.

La normalización o estandarización no tiene campo más importante que en el alumbrado de aviación, la perspectiva de operaciones aéreas internacionales hace imprescindible el establecimiento de normas y patrones y colores de los sistemas de ayudas visuales luminosas para la operación segura de las aeronaves.

Las normas internacionales y las prácticas recomendadas que pertenecen a la aviación civil, son formuladas por la Organización de

Aviación Civil Internacional OACI- una agencia de las Naciones Unidas - compuesta por representantes de naciones interesadas en el transporte aéreo.

Las normas y prácticas recomendadas, adoptadas por este cuerpo, son dadas como normas mínimas para las naciones miembros y estan publicadas en el anexo 14 de la convención de Aviación Civil Internacional.

3. AYUDAS VISUALES.

- Existen diversas ayudas visuales usadas por un piloto para solucionar los problemas que se encuentra al efectuar su aproximación a un aeropuerto, seguida por un aterrizaje y un rodaje al punto de embarque o desembarque en el área de plataforma.

Como se mencionó anteriormente, las normas internacionales y las prácticas que pertenecen a la aviación civil, están formuladas por la OACI. Las normas adoptadas por este organismo, son de inmediato aceptadas por todos los países miembros.

Como los requisitos son mínimos; los países; especialmente aquellos que estan situados en áreas meteorológicamente conflictivas, quedan en libertad de planear sus instalaciones de acuerdo con las condiciones específicas de sus aeropuertos.

### 3.1 CATEGORIAS DE PISTAS.

Las pistas que cuentan con ayudas luminosas y electrónicas pueden dividirse en las siguientes categorías:

3.1.1 PISTAS PARA OPERACIONES VISUALES. Para la operación de aeronaves que usan exclusivamente procedimientos de aproximación visual.

3.1.2 PISTAS PARA OPERACIONES POR INSTRUMENTOS. Para la operación de aviones que usan ayudas no visuales (Electrónicas) y ayudas visuales (Luces y Marcas).

Estas pistas se dividen a su vez en:

3.1.2a PISTAS DE APROXIMACION POR INSTRUMENTOS. Estas pistas se sirven de ayudas visuales y no visuales que proporcionan por lo menos guía direccional adecuada para la aproximación.

3.1.2b PISTAS PARA APROXIMACION DE PRECISION, CATEGORIA I. Estas pistas se sirven de ayudas visuales, ILS (Radio Instrument Landing System) o GCA (Radar Ground Controlled Approach) para permitir al piloto realizar una aproximación instrumental a una altura de 60 m. (200 FT) (llamada: Altura de Decisión: (Decisión Height = DH) y una visibilidad horizontal (llamada: Runway Visual Range = RVR = Rango-Visual de Pista) de 800 m. (2 400 FT).

3.1.2c PISTAS PARA APROXIMACION DE PRECISION, CATEGORIA II. Estas -

pistas tienen los mismos requisitos no visuales de la categoría I, pero con DH = 30 m. (100 FT) y RVR = 400 m., (1200 FT). El ILS, sin embargo debe estar ajustado para pistas con características de Categoría II.

3.1.2d PISTAS PARA APROXIMACION DE PRECISION, CATEGORIA III. Aquellas pistas que tienen los mismos requisitos de la categoría II con valores de DH = 0; un RVR reducido paso a paso hasta la meta final y un aterrizaje que no dependa de ayudas visuales externas (llamado aterrizaje cero-cero).

### 3.2 LUCES DE APROXIMACION.

3.2.1 EL PROPOSITO DE LAS LUCES DE APROXIMACION. Es que en condiciones meteorológicas restringidas a una altura de 30 m. (100 FT), un piloto pueda hacer correcciones menores en elevación y descenso durante su trayectoria de aproximación; en consecuencia, la razón básica para la existencia de un sistema de luces de aproximación y de pista, es ayudar al piloto a decidir si puede efectuar o no un aterrizaje seguro. Además de esto, no debe existir confusión o duda independientemente de cual sea la parte del sistema que se observe. Por esta razón, el sistema de aproximación debe tener: Normalización, claridad, simplicidad, y confiabilidad, presentando al piloto un cuadro que debe ser reconocido instantáneamente.

longación del eje de la pista y 5 barras transversales cuya longitud se va haciendo gradualmente menor. Así mismo, el número de luces a lo largo de la línea de eje disminuye de 3 en el comienzo, a 1 en los últimos 300 m. (1,000 ft).

Todas las luces son blancas.

**3.2.3b EL SISTEMA ESTANDAR DE LUCES DE APROXIMACION DE 30 BARRETAS CATEGORIA I. (Fig. 2)**

Este sistema tiene una línea de eje que se compone de 30 barretas - de 5 luces cada una y una barra transversal de 30 metros de longitud formada por tres barretas, colocadas a 300 m. (1,000 ft) del umbral; la longitud total del sistema es de 900 m.

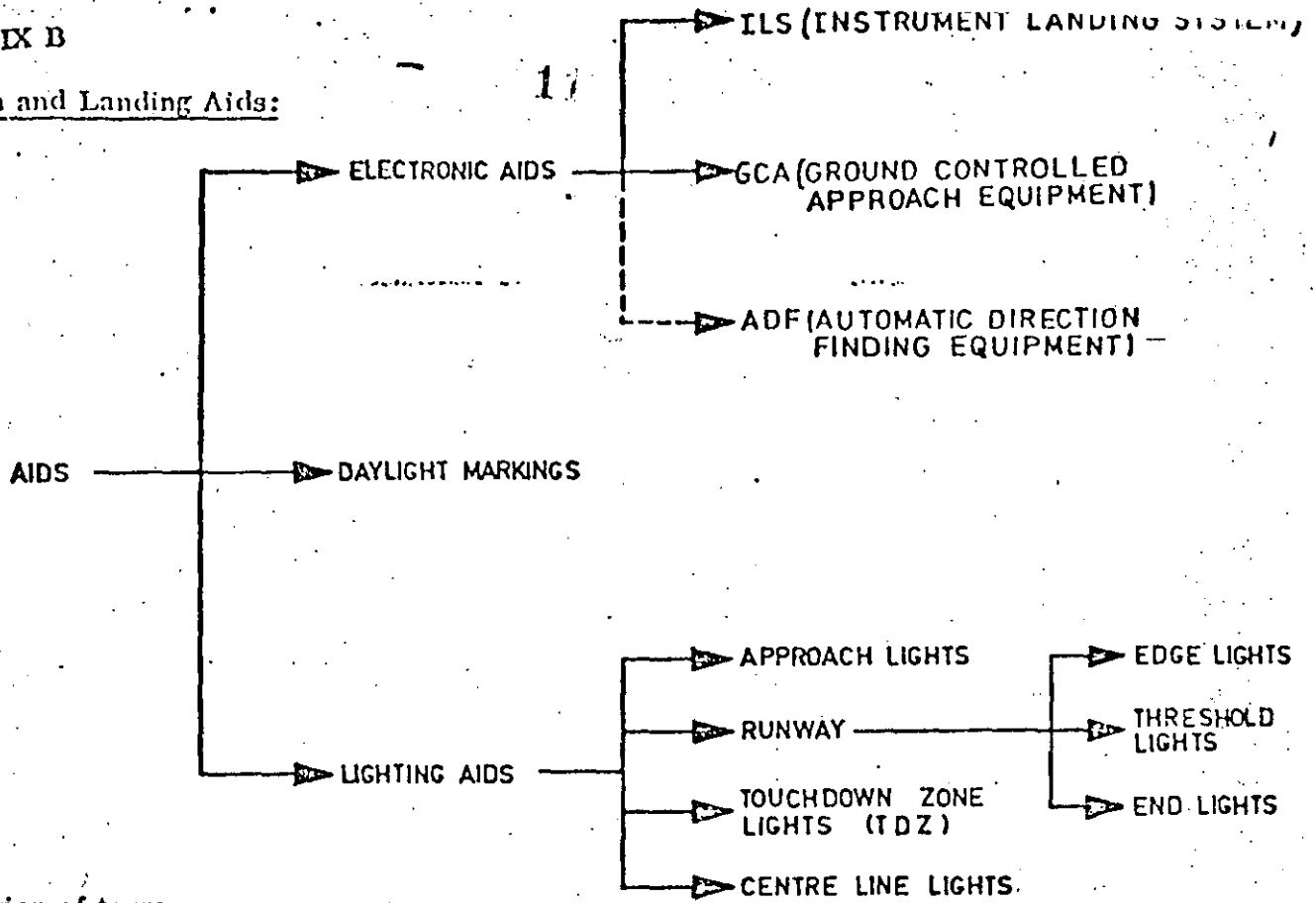
El color de las luces es blanco; las barretas de línea de eje en este sistema, están en general equipadas con luces de descarga por condensador programadas de tal forma que proporcionen una secuencia - de destello en dirección del umbral (ver 3.2.5)

**3.2.3c SISTEMA DE LUCES DE APROXIMACION CATEGORIAS II Y III. (Fig. 3)**

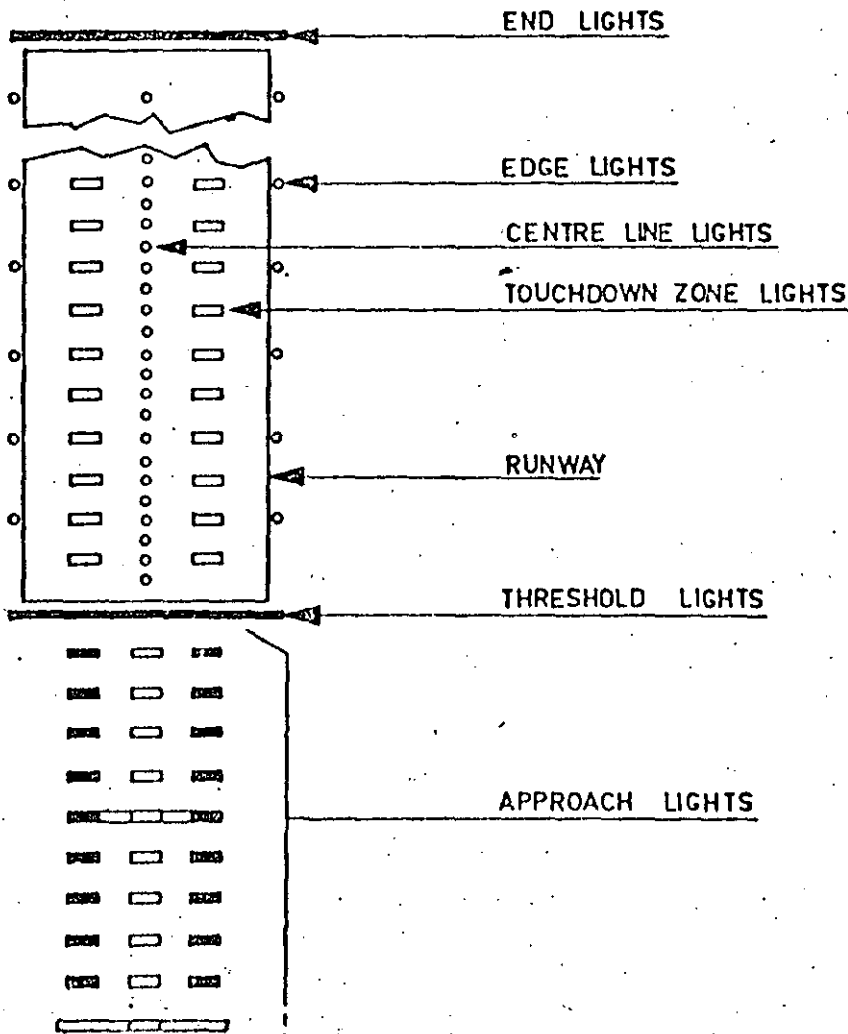
- Este sistema tiene: como los anteriores una longitud de 900 m., y se componen de 30 barretas de luces blancas; formada cada barreta, por cinco luces y colocadas en la prolongación del eje de la pista - transversalmente y bisectadas por éste; a los 300 m. (1000') del umbral se colocarán una barreta adicional compuesta de 8 luces ubica-

APPENDIX B

Approach and Landing Aids:



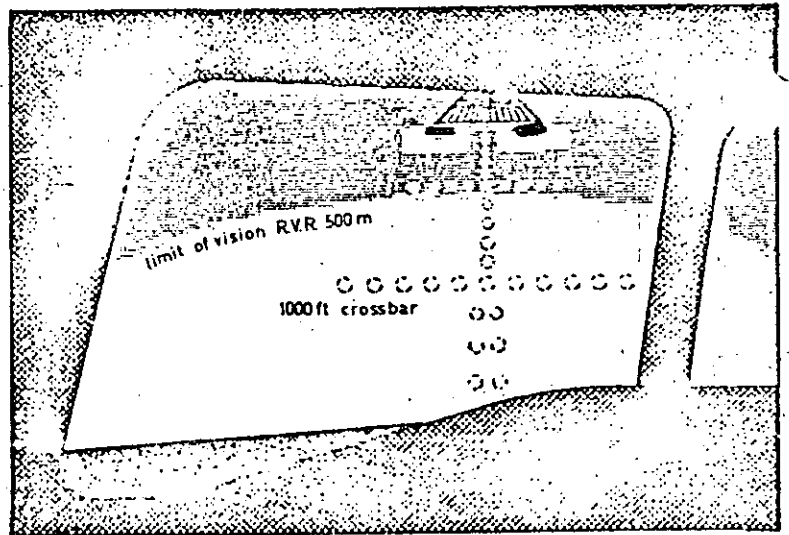
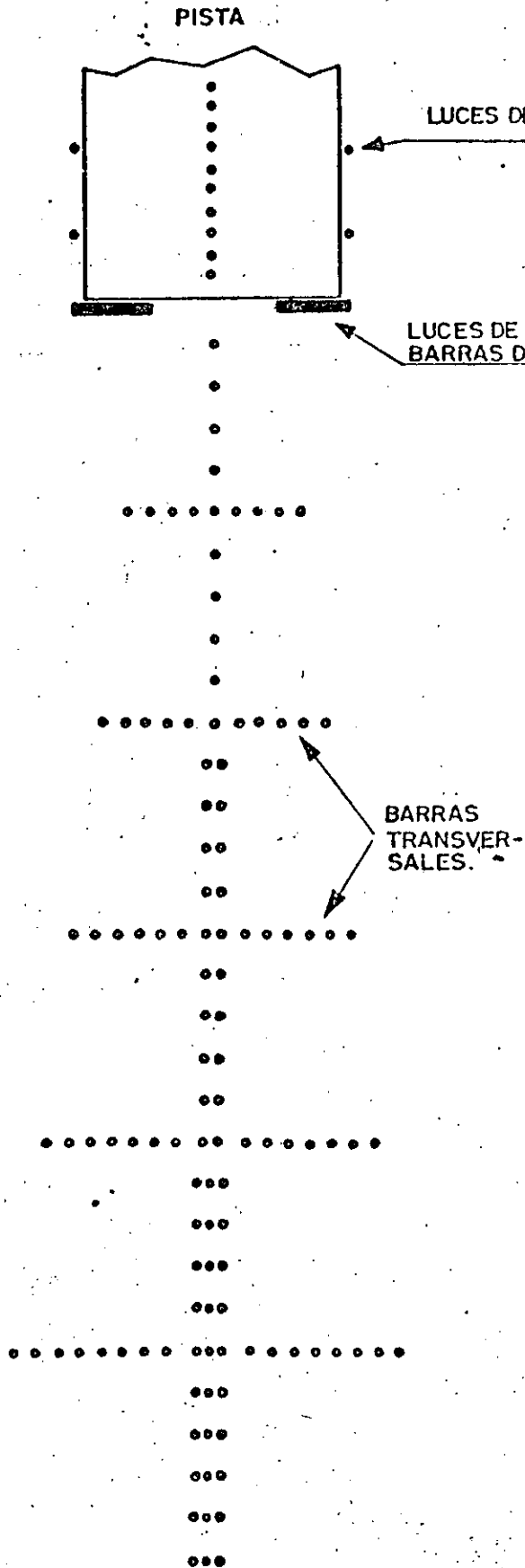
Explanation of terms:



No



# SISTEMA 12 CALVERT



VISTO POR EL PILOTO

Figura 1

# SISTEMA DE APROXIMACION CAT. I

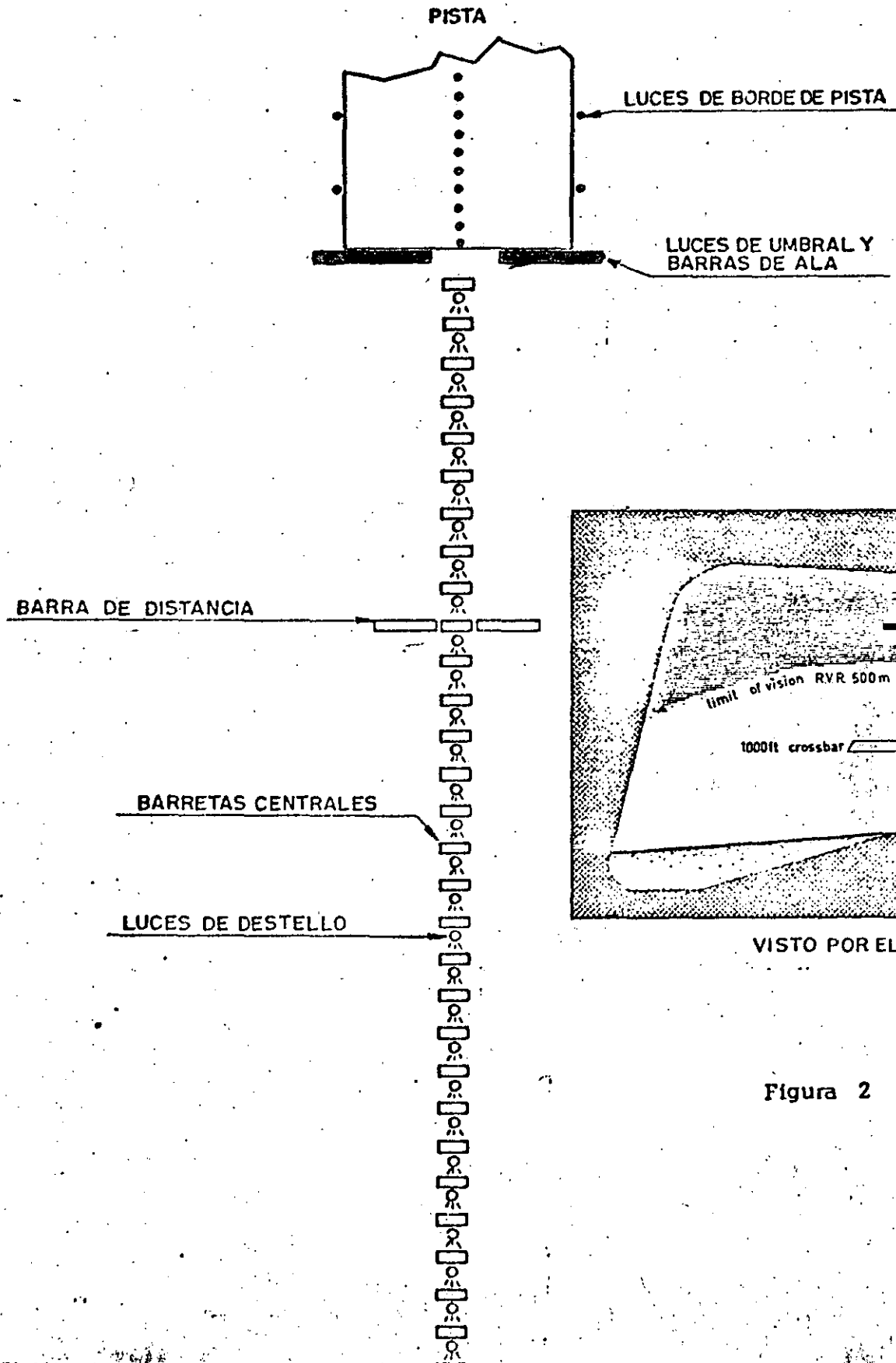


Figura 2

# SISTEMA DE LUCES DE APROXIMACION CATEGORIA II y III

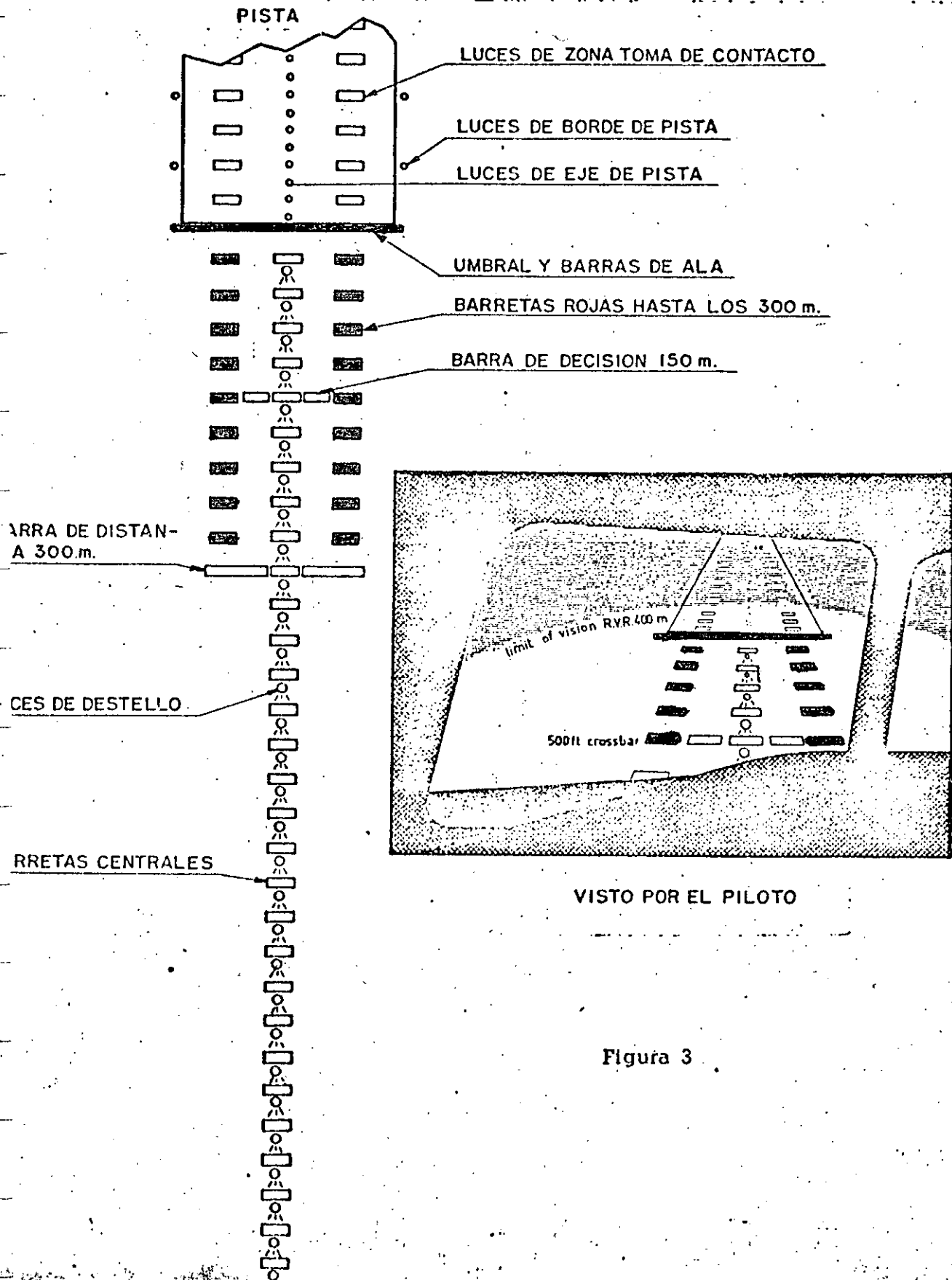


Figura 3

da a cada lado de la barreta central, formando una sola barra de 30 m., de longitud y otra a 150 m., del umbral llenando los espacios entre la barreta central y las barretas laterales rojas; esta barra se llama barra de decisión,

Se incluye además, una fila de luces colocadas a cada lado de la fila central que está ubicada entre el umbral y la barra de distancia. El color de estas luces es rojo variable y tienen la misma separación que las de zona de toma de contacto,

3.2.4 LUCES DE DESTELLO EN SECUENCIA. Estas luces se usan cuando luces extrañas hacen necesaria una identificación adicional de la pista. La identificación instantánea se suministra por medio de luces de descarga por condensador, dispuestas a lo largo de la línea de eje, efectuando los destellos, iniciando en la parte exterior del sistema y terminando a 30 m. del umbral en secuencia, causando el efecto visual de luces que corren.

### 3.3 APROXIMACION VISUAL EN CIRCULO.

Una aproximación visual en círculo a un aeropuerto, seguida de un aterrizaje, está todavía en uso por aeronaves pequeñas o relativamente de poco peso, en áreas de escasa densidad de tráfico y bajo buenas condiciones meteorológicas, la velocidad de esos aparatos es tal que permite maniobrar dentro de distancias de mas o menos

1.5 Km. (más o menos 1 milla). Los problemas visuales de esta aproximación incluyen: la localización e identificación del aeropuerto, la localización e identificación de la pista de aterrizaje y la interpretación de la distancia a la pista de aterrizaje y al umbral de la pista.

### 3.3.1 LOCALIZACION E IDENTIFICACION DEL AEROPUERTO.

Durante una aproximación visual, el faro del aeropuerto localiza e identifica a este; los faros de aeropuerto son proyectores de alta intensidad que giran en torno a un eje vertical, mostrando alternadamente destellos verdes y blancos, o destellos blancos únicamente. Estos faros se localizan generalmente sobre la torre de control del aeropuerto. Cuando el terreno del contorno restringe la visibilidad de un faro de aeropuerto, el faro puede colocarse en un sitio que permita verlo desde todos los ángulos del azimut.

Si el faro del aeropuerto no está localizado en este o el aeródromo no puede ser identificado fácilmente desde el aire por otros medios visuales, puede colocarse en el aeropuerto un faro que muestre destellos verdes en código morse.

### 3.3.2 GUIA DE APROXIMACION VISUAL A LA PISTA.

Cuando la operación del aparato es conducida sin ayudas electrónicas, el rango visual mínimo aceptable para la identificación de pis-

ta es más o menos 1.5 Km. (Aproximadamente una milla).

Los campos aéreos pequeños y las franjas de aterrizaje usan luces de umbral y de borde de pista de baja intensidad y una señal que incluye la iluminación del indicador de la dirección del viento.

### 3.3.3 CUADRO DE SEÑALES INDICADOR DE LA DIRECCION DE ATERRIZAJE.

El cuadro de señales está iluminado principalmente por una o más luces de orilla. La "T" de aterrizaje iluminada o el tetraedro iluminado de aterrizaje son usados por el piloto que llega, para determinar de noche la dirección de aterrizaje.

El indicador de dirección del viento o cono de vientos es una "media" grande, libre para girar alrededor de un eje vertical, y está alumbrado desde arriba desde el extremo más alto. La "T" de aterrizaje es un plano iluminado, en forma de "T". (El tetraedro es una pirámide horizontal alargada con bordes definidos por hileras de luces cubiertas con capuchas de colores. Este último está restringido principalmente a las bases de la fuerza Aérea de U.S.A.). La "T" de aterrizaje es operada por el controlador de tráfico del aeropuerto e indica la dirección obligatoria de aterrizaje. Puede también estar libre para oscilar, indicando sólo la dirección del viento.

### 3.3.4 IDENTIFICACION DE PISTA.

Las aproximaciones con buen tiempo pueden ejecutarse en círculo; - para hacer esta aproximación, el piloto debe estar en posibilidad de identificar la pista deseada y después ejecutar las maniobras de aproximación.

Al hacerlo, debe inicialmente identificar la pista y usarla como referencia para todas las maniobras de aproximación circular.

Durante la identificación inicial de la pista seleccionada en la noche, el piloto puede confundirse fácilmente por alguna configuración aparente de luces ajenas a la estación, especialmente cuando el sistema de luces de pista está trabajando a baja intensidad.

Por tal motivo, las luces de borde de pista deben ser del tipo omnidireccional para permitir al piloto la observación directa de la pista cuando vuela - DOWN WIND - paralelo a ella antes de comenzar la vuelta final.

### 3.4 SISTEMA DE LUCES DE PISTA.

Estas luces se instalan para proporcionar una guía visual durante todas las fases de cualquier operación, ya sea aproximación, toma de contacto, rodaje, atraque o despegue. Este sistema se divide en:

#### 3.4.1 LUCES DE BORDE DE PISTA.

Estas luces, del tipo rasante o elevado, BI-U-OMNIDIRECCIONALES,

se colocan en forma equidistante del eje de pista a intervalos de no mas de 60 m. (200 ft) para las pistas de aproximación por instrumentos y de no mas de 100 m. (330 ft) para las pistas para operaciones visuales. El color de estas luces es blanco, excepto cuando un umbral está desplazado; en este caso esas luces son rojas. Desde el umbral inicial hasta el umbral desplazado.

Otra excepción es que se permite tener luces con filtro ambar 180° en los últimos 600 m. (200 pies) o en la mitad de la longitud de la pista si es que es menor de 1,200 m. (4,000 pies) y que son visibles sólo en el sentido del despegue, para indicar al piloto la terminación inminente de la pista.

#### 3.4.2 a LUCES DE UMBRAL DE PISTA.

Estas luces de tipo rasante o elevadas, son verdes visibles en el sentido del aterrizaje y se localizan sobre una línea en ángulo recto al eje de pista y al comienzo de la misma. Los arreglos de las luces son los indicados en la figura No. 5-16 Anexo 14; 6/10177-31 p. 65).

- I. En una pista para operaciones visuales por lo menos 6 luces.  
(ver 3.4.3.a)
- II En una pista de aproximación de precisión categoría I, por lo menos el número de luces que se requerirían si estuvieran uniformemente espaciadas a no mas de 3 m. (10 pies) entre



las líneas de luces de borde de pista. (ver 3.4.3a)

III. En una pista de aproximación, categoría II ó III, las luces -  
están uniformemente espaciadas entre las líneas de luces de  
borde de pista a distancias de no mas de 3 m. (10 pies).

(Ver 3.4.3a)

#### 3.4.2b LUCES DE BARRA DE ALA.

Sirven para definir mejor la aproximación, se añaden luces verdes -  
de barra de ala al señalamiento de umbral; a cada lado de la pista.

(ver Fig. 5-16 Anexo 14).

#### 3.4.3 LUCES DE FIN DE PISTA.

Estas luces son de color rojo tipo rasante, unidireccionales y se co-  
locan en la línea de umbral, siendo visibles únicamente en el senti-  
do del despegue. El número de unidades es de 6 como mínimo.

(Ver Fig. 5-16 Anexo 14)

3.4.3a Con objeto de reducir el costo del señalamiento de umbral y final -  
de pista, (Vistos desde la aproximación y el despegue) se usan lam-  
paras bidireccionales con filtros verdes y rojos respectivamente.

#### 3.4.4 LUCES DE EJE DE PISTA.

Estas luces de tipo rasante se instalan a lo largo del eje de la pista a intervalos de 7.5 m. (25 pies), 15 m. (50 pies) ó 30 m. (100 pies) y son necesarias en pistas de aproximación de precisión categoría II y deseables en pistas categoría I más aún, existe una recomendación para instalarlas en pistas proyectadas para despegues operando a un mínimo meteorológico, con RVR del orden de 400 m. (1330 pies); el color de estas luces es blanco; codificando los últimos 900 m., (3000 pies) en el sentido del aterrizaje y/o despegue, con luces blancas y rojas en 600 m. (2000 pies) y para los últimos 300 m. (1000 pies) luces rojas solamente.

#### 3.4.5 LUCES DE ZONA DE TOMA DE CONTACTO.

Estas luces de tipo rasante omnidireccional se instalan en todas las pistas de aproximación de precisión, categoría II, a ambos lados del eje de pista sobre los primeros 900 m. (3,000 pies) de pista a partir del umbral hacia el centro.

Estas luces se instalan según un patron formado por filas transversales (barretas). Cada barreta consiste en tres luces de color blanco, variable.

#### 3.4.6 LUCES DE BARRA DE PARADA.

Estas luces unidireccionales rasantes, se utilizan para señalar cual

quier zona de parada - parte restringida de la pista o rodajes - colocadas en una línea transversal al eje del rodaje, el color de estas luces es rojo y se instala un mínimo de 6 luces.

### 3.5 LUCES DE CALLES DE RODAJE.

Se proporciona indicación de la ruta de calles de rodaje con un sistema de luces de eje de calle de rodaje, luces de borde de rodaje, o una combinación de ambos sistemas.

#### 3.5.1 LUCES DE EJE DE CALLE DE RODAJE.

Estas luces uni-o-bidireccionales del tipo rasante suministran mejor guía para el rodaje que las luces de borde, en condiciones de baja visibilidad.

Se recomienda un espaciamiento de 30 m. (100 pies) en los tramos rectos de los rodajes.

En rodajes con curvas o en salidas de pista de alta velocidad debe reducirse el espaciamiento de acuerdo a los radios de curvatura y ángulos de las curvas.

#### 3.5.2 LUCES DE BORDE DE RODAJE.

Estas luces son normalmente de tipo elevado, que emiten luz de color azul.

En donde las luces elevadas interfieran con el movimiento de los aviones, se usan lámparas del tipo rasante, Las luces se localizan a no mas de 3 m. (10 pies) del borde del rodaje.

### 3.5.3 PLACAS SEÑALADORAS.

Estas señales pueden ser de un material reflejante o iluminadas internamente, usándose inscripciones en blanco sobre fondo rojo cuando indican instrucciones obligatorias; cuando son informativas pueden ser inscripciones en amarillo en fondo negro o viceversa y cuando son señales convencionales se utilizan inscripciones blancas sobre fondo verde.

### 3.6. GUIA DE DESPEGUE.

Puesto que el piloto en el despegue, arranca desde una posición estable y esta más cerca a sus ayudas visuales que al aterrizar, puede normalmente despegar con una visibilidad horizontal inferior a la del aterrizaje.

Las ayudas visuales que pueden emplear el piloto durante el despegue son:

- a. Luces de Borde de Pista.
- b. Luces de Eje de Pista.
- c. Luces de fin de Pista.

### 3.7 LUCES DE OBSTRUCCION Y FAROS DE PELIGRO.

Estas luces rojas omnidireccionales se emplean para definir los límites vertical y horizontal de objetos que son considerados como obstrucciones para la navegación aérea.

Estas luces pueden ser simples o dobles. En casos especiales se usan faros de peligro en lugar de luces de obstrucción. Estos faros emiten de 20 a 60 destellos rojos por minuto.

### 3.8 ALGUNOS ASPECTOS FISICOS DEL ALUMBRADO.

3.8.1 Relación entre la intensidad luminosa (I) y el rango visual (r) para diferentes condiciones meteorológicas. El diagrama (Fig. # 4) muestra esta relación. Puede deducirse fácilmente de este diagrama que cualquier ajuste superior de los requisitos al rango al cual debe ser visible una luz - o la máxima densidad de niebla con la que puede intentarse un aterrizaje - involucrará un aumento considerable en el costo del equipo de ayudas visuales capaz de proporcionar el efecto de RVR deseado.

Ejemplo: Una luz de 4000 candelas puede ser vista a una distancia de 400 m; para aumentar este rango a 600 m., es necesario elevar la intensidad luminosa de la fuente de luz a 45,000 candelas para una visibilidad  $V = 600 M.$

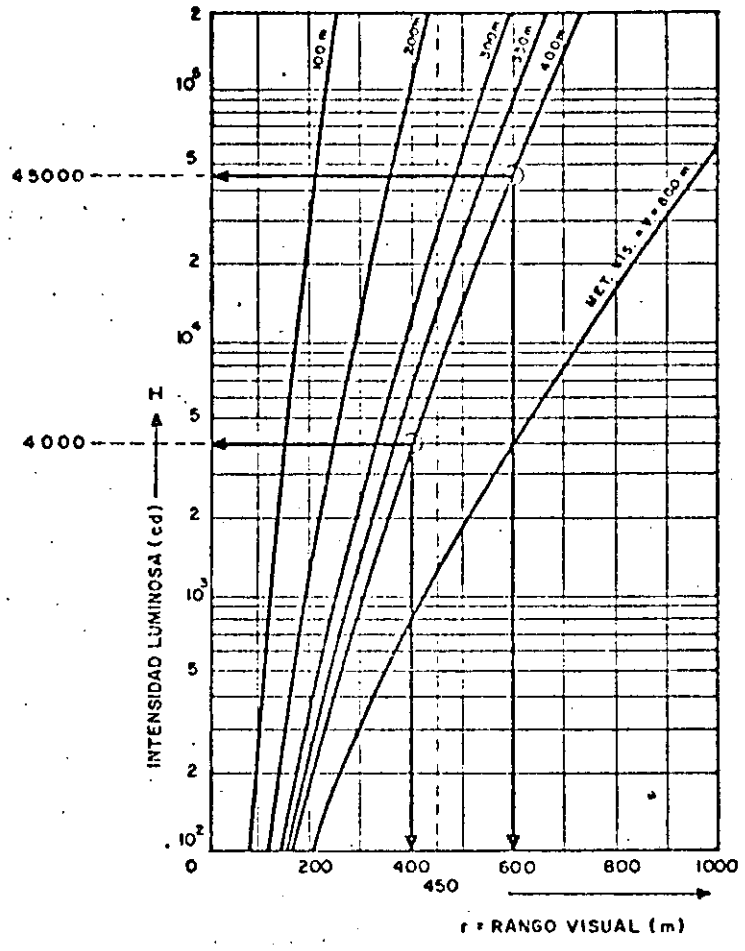


FIG. 4  
RELACION ENTRE INTENSIDAD LUMINOSA Y RANGO VISUAL

CURVAS APROXIMADAS ISOCANDELAS

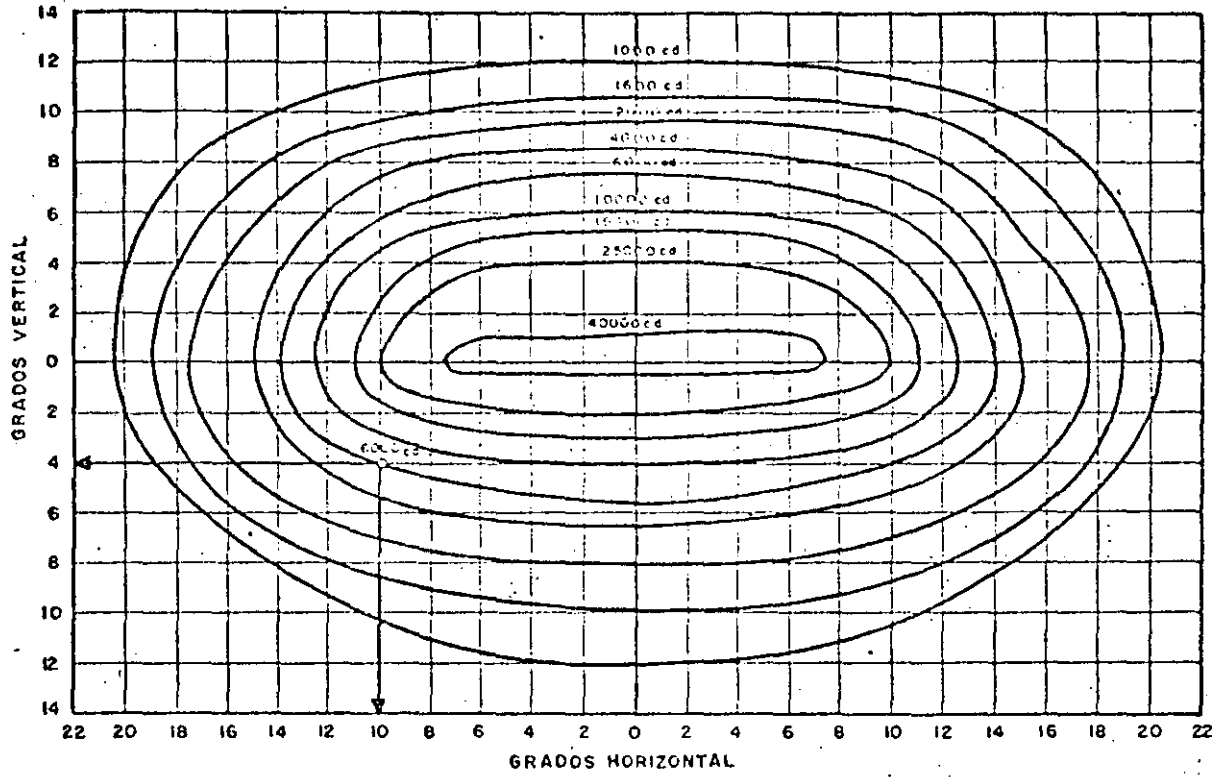


FIG. 5

DIAGRAMA DE DISTRIBUCION LUMINOSA CURVAS ISOCANDELAS

3.8.2 La distribución de la luz está dada en el diagrama que muestra las "líneas Isocandelas". El diagrama (Fig. 5) muestra la distribución de las líneas de igual potencia de una luz de aproximación de alta intensidad.

3.8.3 FACTOR DE TRANSMISION DE COLOR.

El factor de transmisión de luz a través de los filtros de color es aproximadamente como sigue:

Color:	Amarillo	Verde	Rojo	Azul
Factor:	0.400	0.150	0.130	0.008

3.9 SISTEMA INDICADOR DE PENDIENTE VISUAL DE APROXIMACION (VASIS).

El objeto de este sistema (VASIS) es dar al piloto en la aproximación final y en condiciones de buena visibilidad, una indicación visual de fácil interpretación acerca de su posición en relación con la pendiente de aproximación fija. El vasis no es un sistema de aterrizaje por instrumentos y es de escaso valor en condiciones de poca visibilidad.

3.9.1 DESCRIPCION GENERAL DEL VASIS.

Una instalación completa de vasis consiste en 12 6 16 unidades lu -

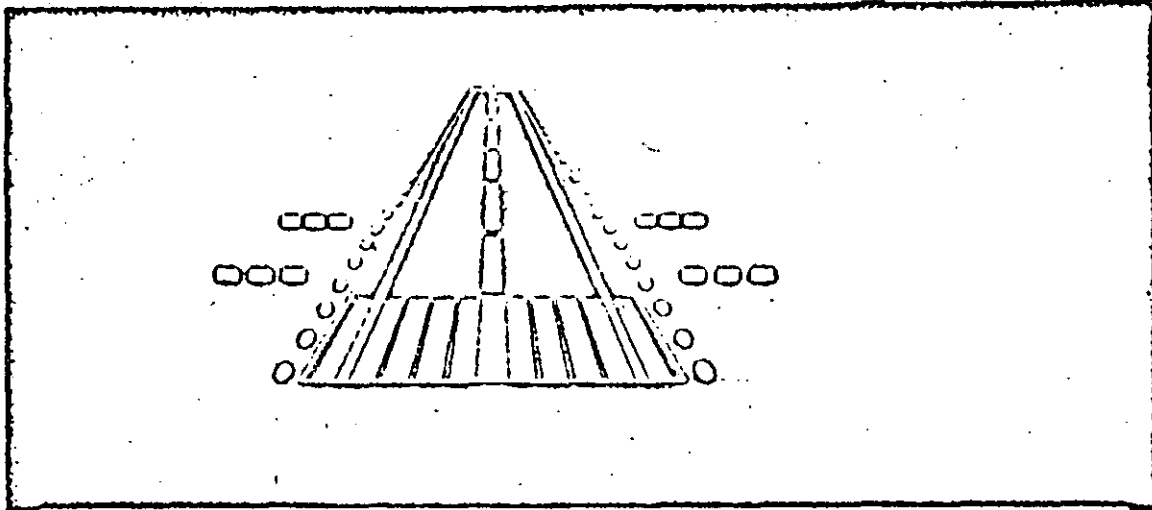


minosas colocadas cerca de la cabecera y a ambos lados de la pista; sin embargo, bajo ciertas circunstancias el número de unidades puede limitarse de 6 a 2 unidades. Este último sistema es llamado -  
Avasis. (Sistema indicador de pendiente visual de aproximación Abreviado). Cada unidad del sistema contiene 3 lámparas y proyecta un haz de luz dividido en luz blanca en su parte superior y luz roja en su parte inferior. Los haces de luz producidos por las unidades luminosas son tales que con tiempo despejado el rango visual efectivo de los indicadores es por lo menos 7.4 km. (4 mn) sobre un ángulo - de 1 1/2 grados arriba y abajo de la media del sector de transición, tanto de día como de noche y en azimut en más de 10 grados en el día y 30 grados en la noche. La intensidad luminosa es controlable.

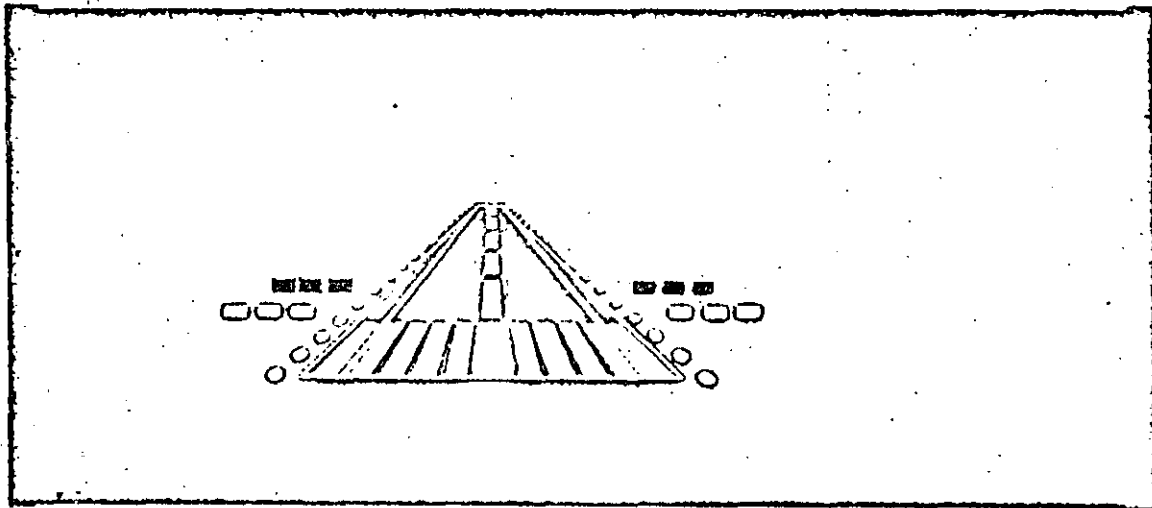
Las unidades luminosas se han arreglado de tal manera que el piloto de un avión durante la aproximación puede ver:

- Todas las luces del sistema de color rojo, cuando está bajo la trayectoria de aproximación.
- Las luces de barra de ala a favor del viento, blancas; y las luces de barra de ala contra el viento, rojas cuando está en la pendiente de aproximación.
- Todas las luces del sistema en color blanco cuando está arriba de la pendiente de aproximación.

### 3.9.2 USO OPERACIONAL DEL VASIS.

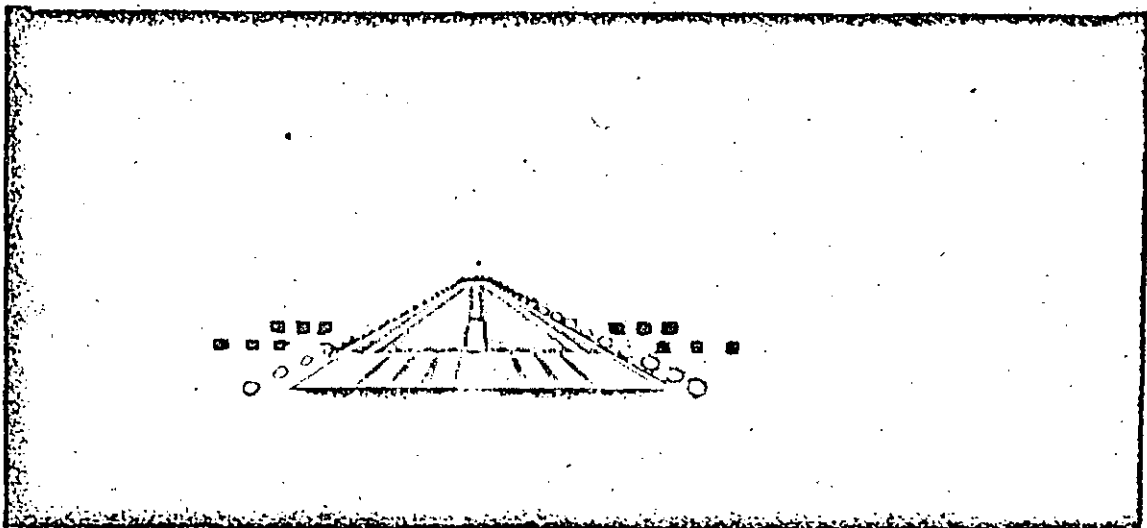


DEMASIADO ALTO

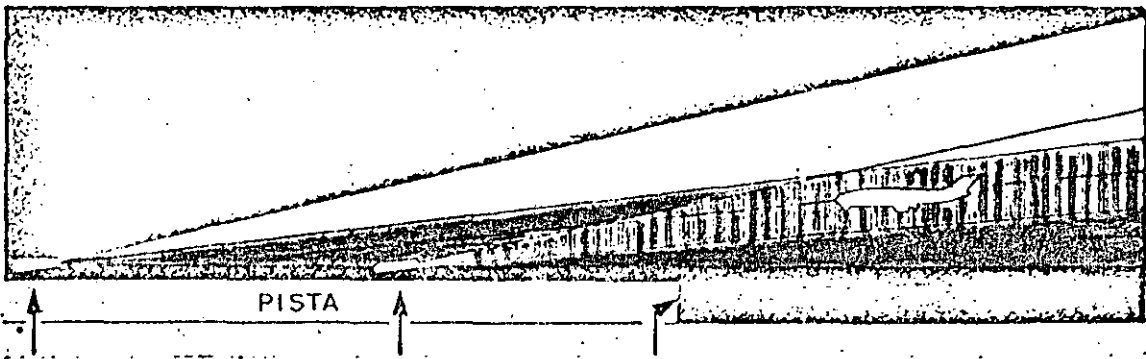


EN TRAYECTORIA CORRECTA

Figura 6



DEMASIADO BAJO



EN TRAYECTORIA CORRECTA

Figura 7

Mirando al vasis en el sentido de la aproximación, el piloto puede ver 4 ó 6 barras transversales luminosas, 2 ó 3 a cada lado de la pista de aterrizaje; el rectángulo de la pista encerrado por las barras contiene el punto de orientación para toma de contacto.

Es obvio que entre la situación todo blanco (demasiado alto) y la situación todo rojo (demasiado bajo), existe una pequeña zona intermedia en que una zona rosa-blanco o rojo-rosa podrá verse cuando el aparato está respectivamente un poco alto o un poco abajo de la pendiente de aproximación, haciendo posible observar un cambio gradual cuando se desvía un poco de la pendiente correcta de aproximación.

Bajo ciertas condiciones puede parecer amarilloso, por ejemplo:

- Cuando hay polvo
- Cuando se efectúa una aproximación contra el sol.
- En la noche cuando el vasis se opera a baja intensidad.

Debe notarse que en una pista que dispngna de ILS en una cabecera, debe instalarse vasis en la cabecera de la pista en la que no se hacen aproximaciones ILS.

NOTA.- Las pistas equipadas con ILS - que es una ayuda electrónica para seguir una pendiente de aproximación-generalmente reciben prioridad inferior para una instalación de vasis; sin embargo, cuando se instala un vasis en una pista con ILS, el reglaje de los equi

pos debe ser, tal que indiquen visualmente el ángulo proporcionado por el sistema de aterrizaje por instrumentos.

#### 4. ALIMENTACION DE ENERGIA Y CONTROL.

4.1 Los circuitos serie son usados comunmente para alimentar las luces de rodaje y pista, debido a su mayor confiabilidad comparados con los circuitos en paralelo.

4.2 Los transformadores de aislamiento se usan para cada lámpara, aislándola de los circuitos serie de alto voltaje y evitando el efecto de que la falla de una lámpara cancele la operación de luces en el circuito serie.

4.3 Los reguladores de corriente constante se usan para alimentar circuitos serie a un valor de corriente constante y estan provistos con protecciones contra circuito abierto para limitar el voltaje en caso de falla en el circuito.

4.4 El control de brillantez del señalamiento luminoso de pista y del sistema Vasi; al valor requerido por un piloto que se aproxima, se logra reduciendo la corriente en el circuito serie ya sea por pasos o en forma contfua para obtener intensidades luminosas desde 100 % hasta 2 %.

#### 4.5 CONTROL REMOTO.

Como los reguladores y equipos se instalan usualmente en una o mas subestaciones, algunas veces junto con el equipo de emergencia, los diversos circuitos de señalamiento luminoso se controlan desde un tablero remoto ó consola de control situado en la torre de control del aeropuerto. El tablero ó consola de control remoto está provisto con lámparas indicadoras que dan una retroinformación positiva de la energización de los circuitos seleccionados.

#### 4.6 FUENTE SECUNDARIA DE ENERGIA ELECTRICA.

Se requiere esta fuente para las ayudas visuales con los siguientes tiempos máximos de transferencia:

- a. Para pistas de operaciones visuales: 2 minutos.
- b. Para pistas de aproximación por instrumentos y pistas de aproximación de precisión de categoría I: 15 segundos.
- c. Para pistas de aproximación de precisión por instrumentos Categoría II: 1 segundo para luces de aproximación, luces de umbral, luces de eje de pista y luces de zona de toma de contacto y 15 segundos para las otras ayudas visuales.

#### 4.7 SISTEMA CENTRAL DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA A 400 Hz.

En aeropuertos de gran importancia en los que el exceso de equipo de rampa dificulta u obstaculiza las maniobras de las aeronaves y encarece el costo del propio servicio de 400 Hz, al ser proporcion-

do por grupos electrógenos móviles, se cuenta con un sistema centralizado de distribución de energía eléctrica a 400 Hz., para el consumo de las aeronaves durante su permanencia en tierra.

Este sistema generalmente está integrado por un grupo motor generador, un regulador de voltaje, un compensador de caída de línea y un grupo de transformadores elevadores y reductores con las protecciones necesarias para su correcta operación.

La conexión a los aviones se hace finalmente, a través de cables en pasillos telescópicos o mediante registros de energía y enchufes colocados estratégicamente en las plataformas de operaciones.

20

35

CABLES PARA AYUDAS VISUALES EN AEROPUERTOS



CONTIENE:

Introducción

Tipos de Cables Usados en esta Aplicación.

Fallas Comunes.

Análisis de los Problemas Eléctricos en Cables sin Pantalla.

Nuevo Aislamiento Resistente al Arqueo superficial (Tracking).

Normas.

Comparación Técnico-Económica de los diferentes sistemas "Cable Accesorios".

Conclusiones.

Recomendaciones.

Especificación del Conductor empleado por S.A.H.O.P.

## INTRODUCCION

Una de las aplicaciones más importantes; en el campo de los conductores eléctricos aislados, es sin duda la que se refiere a los sistemas de conducción de energía para el señalamiento luminoso en las pistas de aeropuertos.

En nuestro país, el gran atractivo turístico aunado al fuerte desarrollo que en todos los renglones se ha tenido en los últimos tiempos ha incrementado en forma notable el uso de la transportación aérea. Consecuentemente, los aeropuertos mexicanos han tenido que mantenerse al ritmo de este progreso, y es por eso, que este artículo pretende colaborar con los ingenieros proyectistas de sistemas de ayudas visuales para pistas de aeropuertos, brindando una solución a un conocido problema característico de los cables usados para este propósito, "EL DAÑO POR ARQUEO SUPERFICIAL O EFECTO TRACKING".

## TIPOS DE CABLES USADOS EN ESTA APLICACION.

Se recuerda que por razones económicas principalmente, estos cables se instalan directamente enterrados, y que se han usado varios diseños de cable, mismos que se describen a continuación:

### 1' Cable Tipo Parkway

Este cable tiene conductor de cobre, aislamiento elastomérico, tubo de plomo, armadura de flejes de acero y protección anticorrosiva a base de yute

impregnado en asfalto (ver Fig. 1). Este cable, cuando se instala adecuadamente constituye una buena solución, pero poco ventajosa desde el punto de vista económico; su utilización se inició en el año de 1960.

Posteriormente se usó el mismo cable con cubierta de plomo, pero sin armadura de flejes de acero ni yute (circuitos de fuerza y alumbrado en los aeropuertos Logan en Boston y Kennedy en Nueva York).

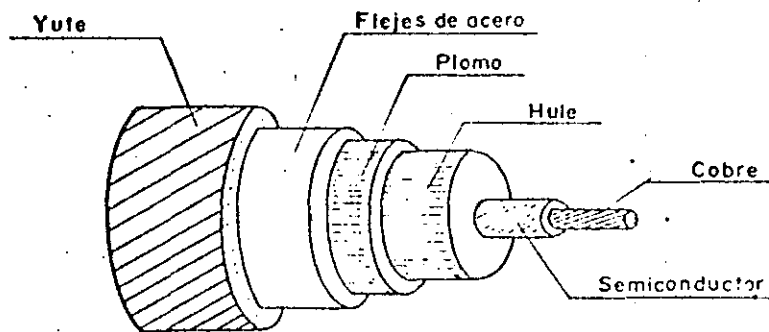


Figura 1

2. Cable sin pantalla Electrostática, con aislamiento y cubierta elastoméricos (Convencional.).

Este cable tiene también conductor de cobre, aislamiento de hule resistente al ozono (tipo B, según normas FAA) y cubierta de neopreno que le proporciona protección mecánica principalmente.

El aislamiento utilizado inicialmente en este diseño fué el butilo.

Recientemente, el etileno propileno (EPR) con sus mejores características generales ha sustituido al butilo en la mayoría de las aplicaciones (ver Fig. 2)

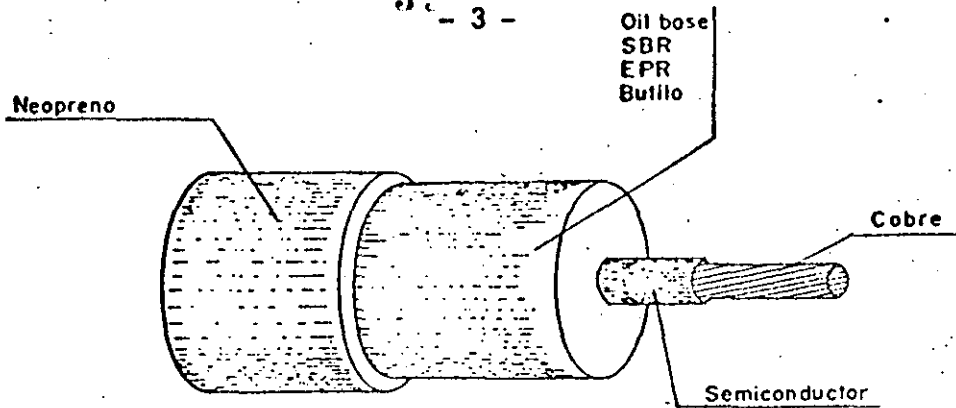


Figura 2

3. Cable sin pantalla Electrostática, con aislamiento y cubierta termoplásticos.

Este diseño usa cobre como conductor, polietileno natural (75°C) como aislamiento y P.V.C., como cubierta (ver Fig. 3). Esta construcción se ha usado en USA, Canadá y México con excelentes resultados.

4. Cable sin pantalla electrostática, con aislamiento de polietileno vulcanizado (XLP) y cubierta termoplástica.

Su construcción es similar a la mostrada en la figura 3. Este diseño es mejor que aquél, exclusivamente en lo que se refiere a características térmicas.

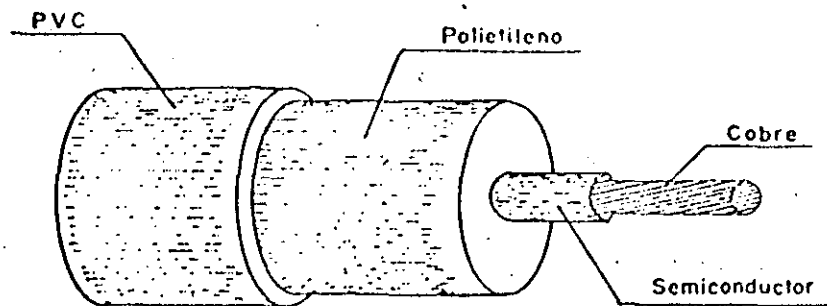


Figura 3

FALLAS COMUNES

TABLA I

Tipo de Falla	Incidencia
Mala instalación del cable y empalmes defectuosos.	50 %
Daño mecánico al cable durante o después de la instalación.	30 %
Descargas atmosféricas ( rayos )	10 %
H u m e d a d	8 %
O t r a s	2 %

Como se observa, el 80 % de las causas de falla es imputable a métodos de instalación poco apropiados, y a mano de obra de baja calidad. La solución es obvia, y solamente se indica que es recomendable probar la resistencia de aislamiento del conductor y aplicar una prueba de alta tensión (DC). Estas pruebas son generalmente hechas en el campo por el fabricante del cable a un costo razonable. Las otras causas de falla se mencionan más adelante.

ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS ELECTRICOS EN CABLES SIN PANTALLA.

1. Descargas atmosféricas ( rayos ).

La mecánica de los efectos dañinos de los rayos sobre cables subterráneos, es compleja. El problema más frecuente se debe a efectos secundarios causados por estas descargas. Los cambios abruptos de la impedancia carac -

terística del circuito del cable, bajo cualquier impulso, crean ondas reflejadas que producen voltajes que pueden perforar el aislamiento. La mejor forma de proteger al cable contra este tipo de transitorios, es usando algún medio que asegure una impedancia uniforme del cable.

Dos métodos que normalmente se usan para lograr esta condición, son:

- a) Usar un cable con pantalla electrostática (cintas o alambres).
- b) Usar cable sin pantalla instalado en la vecindad (8 a 15 cm.) de un alambre desnudo (generalmente 8 A.W.G.) que está en contacto directo con la tierra. Es importante hacer notar que una vez escogido el espaciamento entre los cables, este deberá ser constante a todo lo largo del circuito. Así mismo éstos cables no deberán tocarse en ningún punto, pues esto ocasionaría descargas que dañarían al cable aislado.

## 2. Sobrevoltajes.

Este fenómeno puede ser producido tanto por descargas atmosféricas como por operación del equipo al cual está conectado el cable. En el capítulo de "NORMAS", se trata con detalle este asunto. Este problema se resuelve satisfactoriamente cuando se conocen, por una parte, los niveles de voltaje que afectan al cable, y por otra, las características del aislamiento a usar en esta aplicación.

## 3. Descargas superficiales.

Este tipo de descargas suele presentarse en puntos en los que el cable está

sometido a esfuerzos como curvas, dobleces, contacto tangencial con otros cables o bien en puntos donde la conductividad del suelo varía. Las tres soluciones normalmente empleadas para evitar este fenómeno, son:

- a) Reducir el voltaje en el cable sin pantalla.
- b) Usar un cable con pantalla.
- c) Usar un aislamiento resistente al arqueo superficial.

En la mayoría de los casos las fallas debidas a las causas mencionadas, resultan de una pequeña falla inicial (carbonización) en la cubierta que después pasa al aislamiento llegando finalmente al conductor. Esta carbonización se extiende a lo largo del cable resultando afectadas longitudes del orden de 30 a 40 metros. Este fenómeno se conoce como "arqueo superficial" (en Inglés "tracking").

#### NUEVO AISLAMIENTO RESISTENTE AL ARQUEO SUPERFICIAL.

Del análisis anterior se observa que el aislamiento que se use en ésta aplicación debe reunir varias condiciones, como son:

- a) Resistencia a las descargas superficiales.
- b) Bajo coeficiente de absorción de humedad.
- c) Resistencia a impulsos.
- d) Resistencia al ozono.
- e) Resistencia al impacto y abrasión.

En el año de 1965, salió al mercado un aislamiento que reúne estas condi

ciones y que ha encontrado gran aceptación.

La construcción de este cable se ilustra en la figura 4.

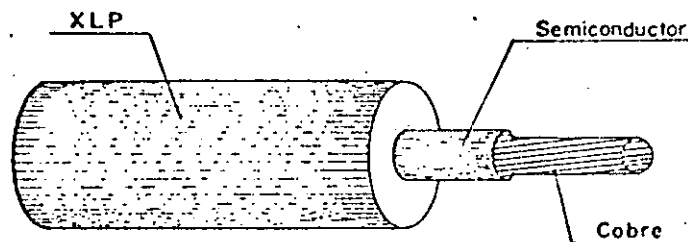


Figura 4.- Construcción "unipass" con aislamiento de polietileno vulcanizado resistente al arqueo superficial.

### NORMAS

En cables con aislamiento de polietileno, la norma IPCEA S-61-402 NEMA WC 5, recomienda los espesores de aislamiento de la Tabla 3-3.

En cables con aislamiento de hule, la norma IPCEA S-19-81 NEMA WC 3, recomienda los espesores de aislamiento de la Tabla 3-3.

En ambos casos estos espesores de aislamiento están íntimamente ligados a las capacidades (en KW) de los transformadores y al sistema de protección.



del circuito.

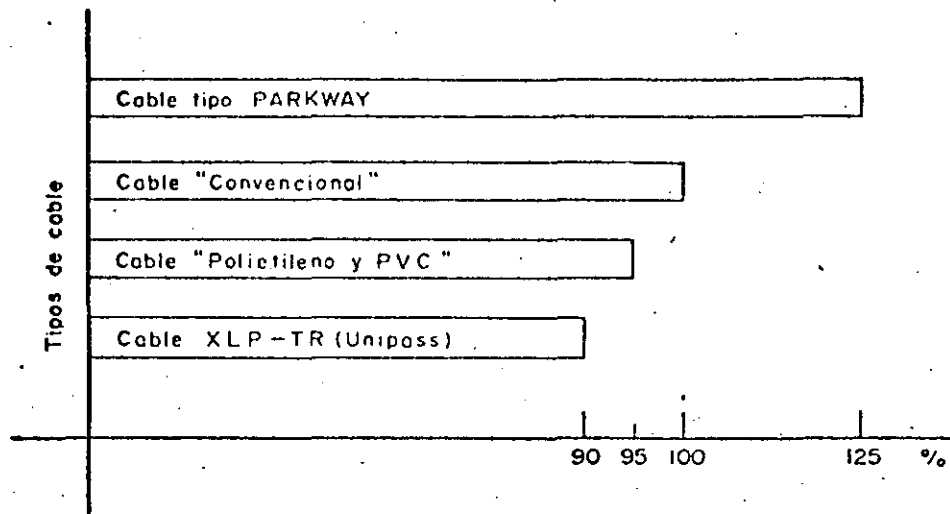
Además de las normas IPCEA-NEMA existen las siguientes normas para cables de alumbrado de pistas de aeropuertos (ver Tabla II).

T A B L A II

NORMAS DE CABLES PARA ALUMBRADO DE PISTAS DE AEROPUERTO

A u t o r i d a d	Número	Aisl.	Cubierta
Federal Aviation Agency	L - 824	Oil base 1960 Butilo 1965 EPR 1969	Neopreno
F A A	Pendiente	XLP - TR	-----
U.S. Air Force (USAF)	MIL-C-5136	SBR(1945-1958)	Neopreno
USAF	MIL-C-4921	Butilo (1959 - 1968)	Neopreno
USAF	Pendiente	XLP - TR	-----
SAHOP	EC - 5	XLP	P.V.C.

## COMPARACION TECNICO-ECONOMICA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS "CABLE-ACCESORIOS"



NOTA .- El uso de la pantalla metálica sobre el aislamiento en los casos de los cables "convencional" y "poliuretano y P.V.C." incrementa en aproximadamente 25 % de las cifras indicadoras en la figura 5.

En lo que se refiere a la parte técnica, se puede decir que el diseño "unipass", reúne todas las cualidades de los otros tipos con la ventaja adicional de ser el único resistente al arqueado superficial que es la principal causa de falla en estos cables, razón por la cual este diseño ha sido adoptado con SAHOP, aunque con las características que se indican al final de este artículo.

### CONCLUSIONES

se han analizado las principales causas de falla en cables para alumbrado de pistas de aeropuertos. Conocidas las condiciones de operación de los circuitos a los cuales está conectado el cable y con el advenimiento del nuevo material aislante (XLP) desarrollado "ad hoc" para este tipo de aplicaciones, se propone un diseño de cable como el ilustrado en la figura 4.

#### RECOMENDACIONES .

1. Efectuar la instalación del cable y sus conexiones con intervención de personal especializado. La importancia de este servicio lo justifica. No olvidar el 80 % de fallas.
2. Comprobar lo anterior por medio de pruebas de campo adecuadas continuidad, resistencia de aislamiento y alta tensión (C.D.) para lo cual, deberá recurrirse al fabricante del cable y/o a un laboratorio de prestigio.

#### ESPECIFICACION DEL CONDUCTOR EMPLEADO POR SAHOP.

Por los resultados obtenidos en más de 10 años de experiencia, se recomienda que los conductores eléctricos para usarse directamente enterrados, se apeguen a la especificación SAHOP que a continuación se indica.

" Cable de cobre semi-duro de un conductor de 7 hilos calibre # 8 A.W.G. con aislamiento de polietileno de cadena cruzada para 5 KV y pantalla semiconductora de polietileno de cadena cruzada con negro de humo incorporado extra (no sobre puesta) entre el conductor y el aislamiento y cubierta exterior de cloruro de polivinilo en color rojo " .

PRUEBAS DE CAMPO A CONDUCTORES DIRECTAMENTE ENTERRADOS

CONTIENE:

Introducción.

1. Prueba de resistencia de -  
aislamiento.
2. Prueba de Alta Tensión en -  
corriente directa.
3. Localización de Fallas. -
4. Métodos para la localiza -  
ción de fallas.

PRUEBAS DE CAMPO A CONDUCTORES DIRECTAMENTE ENTE-  
RRADOS.

Introducción

Las razones para el uso de los aislamientos que cubren las partes vivas de un equipo eléctrico o cable son sus propiedades dieléctricas y principalmente su oposición al paso de la corriente eléctrica, conocida como "Resistencia de Aislamiento".

Los aislamientos eléctricos están sujetos a un trabajo severo, inclusive en condiciones ideales de operación, generando esfuerzos que causan el debilitamiento progresivo del valor de "Resistencia de Aislamiento", siendo los más comunes: el calor, polvo, humedad, vibración, desgaste, envejecimiento, esfuerzos eléctricos e inclusive la luz. Así como daños ajenos a el trabajo en sí del equipo como pueden ser: ataque de elementos corrosivos, golpes, sobretensiones, ataque de animales, etc.

Debido a estos enemigos naturales de los aislamientos, es una práctica recomendable el elaborar pruebas periódicas para determinar o evaluar el estado de nuestro equipo o instalación.

Las pruebas de campo más significativas para determinar las condiciones de un sistema aislante son:

- 1.- Prueba de Resistencia de Aislamiento
- 2.- Prueba de Alta Tensión en Corriente Continua

## 1 - PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

La Prueba de Resistencia de Aislamiento consiste en la medición directa de la resistencia por medio de aparatos y comparar este valor medido con el valor de la resistencia, calculado según las siguientes fórmulas:

### 1.1 Para cables:

$$R = K \log_{10} \frac{D}{d}$$

Donde: R = Resistencia de Aislamiento

K = Constante de Resistencia de Aislamiento.

D = Diámetro Exterior sobre Aislamiento

d = Diámetro Interior bajo Aislamiento

$\log_{10}$  = Logaritmo Decimal

fl = Factor de longitud del cable

ft = Factor de corrección por temperatura

( ver tabla I )

### 1.2 Para transformadores:

a) Cuando el transformador sea monofásico

$$R = \frac{CE}{KVA}$$

Donde: C = Constante del transformador a 20° C

Valores de C a 20°C	60 Hz	25 Hz
Tanque lleno de aceite	1.5	1.0
Sin tanque lleno de aceite	30.0	20.0
Seco o lleno de compound	30.0	20.0

E = Rango de voltaje de la bobina bajo prueba.

KVA = Rango de capacidad del bobinado bajo prueba.

b) Cuando el transformador sea trifásico

E = El voltaje de una de las fases:

fase a fase en conexión Delta

fase a neutro en conexión Estrella.

KVA = La capacidad de las 3 fases completas:

Bushings:

$$R = 10,000 M\Omega$$

El aparato utilizado para este tipo de mediciones debe ser capaz de medir en lectura directa los millones de ohms de resistencia (meghoms) que el aislamiento eléctrico pueda ofrecer al paso de la corriente eléctrica.

Es una práctica común utilizar los voltajes de 500 y 2,500 volts para medir esta resistencia.



T °C	FACTOR DE CORRECCION PARA 15.6°C		
	EPR	XLP 600	XLP
10.0	0.68	0.65	0.62
10.5	0.71	0.68	0.64
11.0	0.73	0.70	0.67
11.5	0.76	0.73	0.70
12.0	0.78	0.76	0.74
12.5	0.81	0.79	0.77
13.0	0.84	0.82	0.80
13.5	0.87	0.85	0.84
14.0	0.90	0.89	0.87
14.5	0.93	0.92	0.91
15.0	0.96	0.96	0.95
15.6	1.00	1.00	1.00
16.5	1.07	1.08	1.09
17.0	1.11	1.12	1.13
17.5	1.14	1.16	1.18
18.0	1.18	1.21	1.24
18.5	1.22	1.26	1.29
19.0	1.27	1.30	1.35
19.5	1.31	1.36	1.41
20.0	1.36	1.41	1.47

T °C	FACTOR DE CORRECCION PARA 15.6°C		
	EPR	XLP 600	XLP
20.5	1.40	1.46	1.54
21.0	1.45	1.52	1.60
21.5	1.50	1.58	1.68
22.0	1.56	1.64	1.75
22.5	1.61	1.71	1.83
23.0	1.67	1.78	1.91
23.5	1.73	1.84	1.99
24.0	1.78	1.92	2.08
24.5	1.85	1.99	2.18
25.0	1.91	2.07	2.27
25.5	1.98	2.15	2.37
26.0	2.04	2.24	2.48
26.5	2.10	2.33	2.58
27.0	2.17	2.42	2.70
27.5	2.25	2.51	2.83
28.0	2.32	2.61	2.95
28.5	2.40	2.72	3.09
29.0	2.49	2.82	3.22
29.5	2.57	2.94	3.36
30.0	2.66	3.05	3.52

Ya se ha visto que un buen aislamiento tiene una alta resistencia y que un aislamiento pobre tiene una baja resistencia. El valor medido puede ser alto o bajo dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad a las que se efectúa la medición, los cuales afectan a el aislamiento en una forma inversamente proporcional, o sea que a mayor temperatura y mayor humedad, menor resistencia de aislamiento y por esto es necesario tomar estos valores y referirlos a un valor estandarizado.

Otra práctica para medir resistencia de aislamiento y ver si este se encuentra en buenas condiciones de operación es la de " Pasos de Voltaje de C.C. "

Esta técnica incluye la aplicación de dos o más voltajes de C.C. y la observación de cualquier reducción de la resistencia de aislamiento a la aplicación del voltaje mayor que es ligeramente superior que el valor pico del voltaje de operación en AC. Esta reducción se toma como punto débil del aislamiento sin que éstas sean fallas francas.

Con esta técnica, es necesario esperar un tiempo apreciable para eliminar las corrientes de absorción en cada paso de voltaje.

Este método sirve para detectar si el sistema aislante tiene humedad. La práctica ha establecido que una diferencia de 1:5 en voltaje (500 : 2,500) indica la presencia de humedad en forma excesiva.

## 2.- PRUEBA DE ALTA TENSION EN CORRIENTE CONTINUA.

La prueba de alta tensión en corriente continua ha venido ganando confianza como una herramienta importante para determinar las condiciones de un aislamiento eléctrico en cables, transformadores, máquinas rotatorias, etc.

Esta prueba debidamente ejecutada indicará algunas fallas como: discontinuidad del aislamiento, burbujas, contaminantes, fisuras en el aislamiento, excesiva humedad, polvo, empalmes y terminales defectuosas, etc. Un operador experimentado no solo puede predecir el nivel del rompimiento de voltaje, sino que al efectuar la prueba frecuentemente puede hacer una buena estimación del tiempo de vida útil del equipo bajo prueba.

El uso de la corriente continua tiene algunas importantes ventajas sobre el uso de corriente alterna:

El equipo mismo es mucho más pequeño, ligero y de menor precio.

Debidamente efectuada e interpretada la prueba con corriente continua, proporciona mucho más información que la que se obtiene con corriente alterna.

Está mas lejana la posibilidad de dañar el equipo y hay menos ambigüedad en la interpretación de resultados y no es necesario el rompimiento del dieléctrico.

No obstante que a través de la prueba de corriente continua no se pueden simular las condiciones de operación tan cercanamente como con las de co

rriente alterna, las ventajas de utilizar c.c. la hacen un método digno de méritos.

2.1 Las pruebas de alta tensión pueden ser divididas en las siguientes categorías:

- A. Prueba de Diseño: Estas pruebas son las usualmente hechas en laboratorio para determinar los niveles de aislamiento apropiado para la fabricación.
- B. Prueba de Fábrica: Estas son las pruebas hechas por el fabricante para determinar el cumplimiento con el diseño a los requerimientos de producción.
- C. Prueba de Aceptación: Estas pruebas son las efectuadas inmediatamente después de la instalación, pero antes de ponerla en servicio.
- D. Pruebas de Confirmación: Estas pruebas son efectuadas dentro del período de garantía y después de que se ha puesto en servicio el equipo.
- E. Prueba de Mantenimiento: Las pruebas de mantenimiento son aquellas que se programan durante las operaciones de mantenimiento o después de reparar el equipo o cables.
- F. Localización de Fallas: Las pruebas de localización de fa

- 6 5c

## PRUEBA DE ALTA TENSION DE CORRIENTE CONTINUA

### CABLES CON PANTALLA ELECTROSTATICA, AISLAMIENTOS DE X.L.P. y E.P.R.

Rango de Voltaje (KV) entre fases	Nivel Básico de Impulso (KV) (BIL)	Norma Aplicada(1)	Aislamiento A 100% B 133%(2)	Calibres AWG - MCM	VOLTAJES DE PRUEBA (KV)			
					En Fábrica	Durante Inst.	Inst. s/serv.	Inst. c/serv.
					15 minutos (3)	5 minutos (3)	15 minutos (3)	5 minutos (3)
5	60	A, B	A	8-1000	35	26	28	22
		A, B	B	8-1000	45	33	36	29
		C, D	A	8-1000	35	-	25	19
		C, D	B	8-1000	35	-	25	19
8	95	A, B	A	6-1000	45	33	36	29
		A, B	B	6-1000	55	41	44	35
		C, D	A	6-1000	45	-	35	27
		C, D	B	6-1000	45	-	35	27
15	110	A, B	A	2-1000	78	52	56	45
		A, B	B	2-1000	80	60	64	52
		C, D	A	2-1000	70	-	55	42
		C, D	B	1-1000	80	-	65	-
25	150	A, B	A	1-1000	100	75	80	65
		A, B	B	1-1000	120	90	96	78
		C, D	A	1-1000	100	-	80	60
		C, D	B	1-1000	125	-	100	75
35	200	A, B	A	1/0-2000	125	93	100	81
		A, B	B	1/0-2000	155	116	124	100
		C, D	A	1/0-2000	125	-	100	75
46	250	A, B	A	4/0-2000	155	116	124	100
		A, B	B	4/0-2000	195	146	156	126
69	350	A	A	500-1000	245	183	196	159

Notas: (1) Normas Aplicadas: A.- AEIC No. 5-74., B.- AEIC No. 6-73., C.- IPCEA S-66-524.  
D.- IPCEA S-68-516.

(2) Aislamientos: A.- Neutro a Tierra = 100%. B.- Neutro Aislado = 133%.

(3) Los minutos especificados corresponden a la duración de la prueba.

llas se efectúan para determinar el lugar específico donde falla una instalación para repararla con el mínimo de trabajos extras a la propia reparación.

El voltaje máximo, la técnica y la interpretación de los resultados de la prueba varían dependiendo del tipo de prueba. Desafortunadamente en muchos casos las especificaciones no indican el voltaje, no delinean el procedimiento a seguir, por eso, es necesario aplicar el sentido común y aplicar la experiencia obtenida anteriormente al efectuar estas pruebas. Hay algunos procedimientos aceptados generalmente, pero los requerimientos de la institución que ordena la prueba son los que gobiernan la misma.

Es obvio que una prueba que se efectúa a una instalación con falla se conduce de diferente manera que una que se efectúa a equipo en servicio.

Como una regla empírica, la prueba de aceptación se efectúa con el 80 % del voltaje de prueba original en fábrica, la prueba de confirmación se utiliza con un 60 % del voltaje de fábrica, el voltaje máximo que se utiliza en mantenimiento, depende de la edad, historia previa y condiciones del equipo pero un valor aceptable puede ser de aproximadamente 50 a 60 % del voltaje de fábrica.

En la prueba de aceptación y confirmación, la consideración primaria es la determinación de que el aislamiento pueda soportar el máximo voltaje. En la prueba de mantenimiento, es más importante que se encuentren puntos débiles de aislamiento que no estén en falla franca, es importante que esta

prueba sea llevada al menos poco después del nivel de voltaje de operación para asegurar una relativa seguridad en la operación.

## 2.2 Técnicas para la Prueba de Alta Tensión.

La prueba de alta tensión se efectúa primeramente para determinar las condiciones del aislamiento. La total magnitud del voltaje de rompimiento puede o no ser de interés, pero la condición del aislamiento en las vecindades y un poco arriba del voltaje de operación sí es requerida. Hay muchos métodos de recopilar estos resultados; los dos más usuales son:

1. Corriente de fuga contra voltaje (gráfica 1).
2. Corriente contra tiempo (gráfica 2).

Antes de efectuar una prueba, todo accesorio, líneas de conexión, transformadores de potencial, etc., deberán estar desconectados del cable o equipo a probar.

La pantalla y fases sin usar deberán estar conectadas a tierra y el lado vivo del alto voltaje se conectará al conductor bajo prueba.

### 2.2.1 Método de Corrientes de fuga Contra Voltaje.

El voltaje se eleva gradual y lentamente en pasos pequeños dejando suficiente tiempo en cada paso para que la corriente de fuga se estabilice. Se notará que al elevar el voltaje, la corriente al principio, será relativamente alta después decrecerá con el tiempo hasta esta -

bilizarse.

El valor alto de la corriente al inicio se conoce como corriente de carga y depende primeramente de la capacitancia del equipo bajo prueba, el valor más bajo y remanente es el conocido como corriente de fuga o corriente de absorción del dieléctrico, el valor de corriente de fuga se anota en cada paso de voltaje.

#### 2.2.2 Método de Corriente contra tiempo:

En instalaciones con longitudes grandes de cables o en embobinados muy grandes el tiempo de estabilización puede ser de algunos minutos hasta algunas horas, para reducir el tiempo de prueba, se toman cortos intervalos de tiempo y se pasan a voltajes preestablecidos hasta llegar al voltaje máximo de prueba sosteniendo éste, se toman las corrientes de fuga cada minuto hasta completar el tiempo de la prueba (5, 15 ó 30 minutos dependiendo del criterio del usuario).

Con el valor de la corriente de fuga se puede obtener la resistencia del aislamiento aplicando la ley de ohm en cualquiera de los puntos de la curva.

$$R = \frac{E}{I}$$

Donde:

R = Resistencia en megohms

E = Voltaje (KV x 1000)

I = Corriente en  $\mu A$



REPORTE DE PRUEBAS A CONDUCTORES.

Fecha: 15 de Marzo de 1978.

Localización: Aeropuerto de Mérida, Yuc., Pista 17-35, Circuito 2

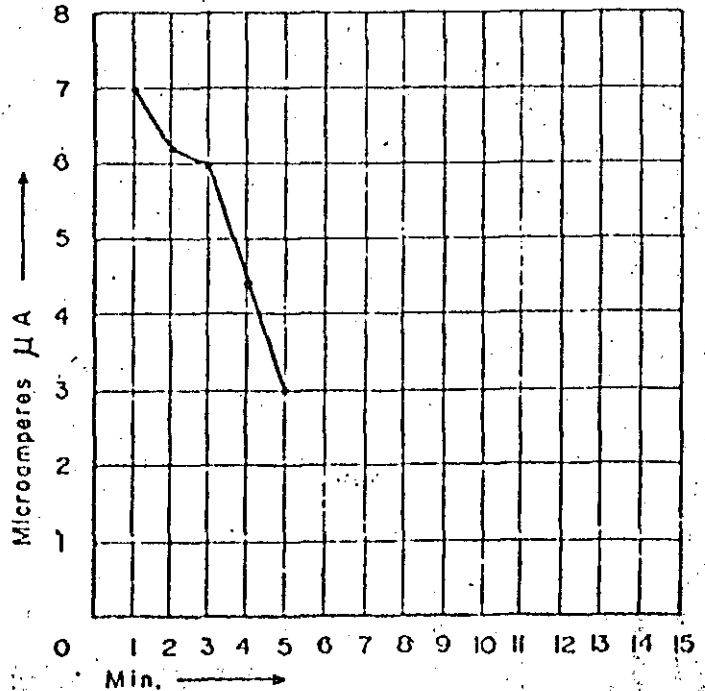
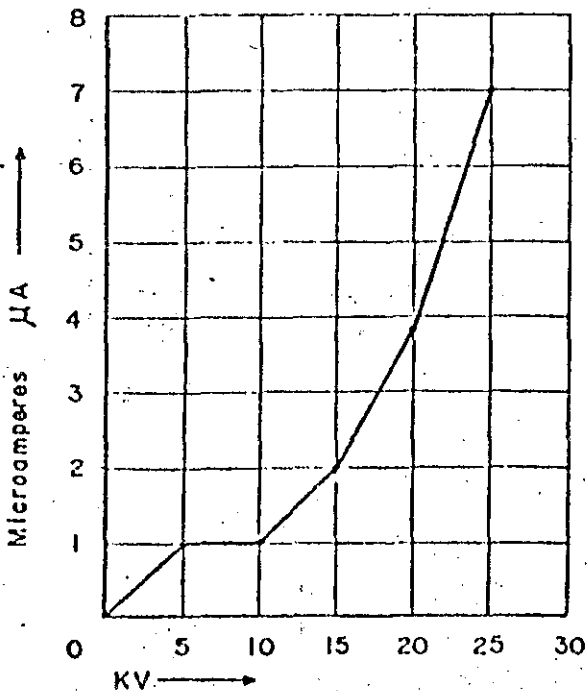
Equipo: Conductores Fabricante: CONELEC, S.A. Voltaje: 5 KV.

Tipo: s/Pantalla Conductor: Cu Cal: 8 A.W.G. Aislamiento: XLP  
100 %

Prueba de ALTA TENSION CORRIENTE CONTINUA para Aceptación  
Voltaje de Prueba 25 KV. Incrementos de Voltaje 5 KV.  
Temperatura ambiente: 32 °C, Humedad: 50 % Longitud del circuito 7050 Mts.

Resistencia de Aislamiento a <u>2,500</u> Volts <u>                  </u> MΩ /KM 17-35/C2 <u>30,000</u> MΩ /KM <u>                  </u> MΩ /KM <u>                  </u> MΩ /KM	Corriente de Fuga despues de <u>5</u> Minutos <u>                  </u> μ A. 17-35/C2. <u>3.0</u> μ A. <u>                  </u> μ A. <u>                  </u> μ A.	Fernando Monzón M. Operador Jorge Bazán Testigo: Francisco González R. Testigo:
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------

OBSERVACIONES:



### 3. LOCALICACION DE FALLAS

La localización de fallas requiere un buen conocimiento de los fenómenos eléctricos, pero es de vital importancia la habilidad y experiencia del personal encargado de esta área.

Si se tiene un sistema subterráneo, aéreo o submarino, es necesario pensar que algún día va a tener una falla; al admitir esto, se deben analizar las consecuencias de la misma.

1. ¿Qué tan importante es el circuito?
2. ¿Qué respaldo se tiene para este cable?
3. ¿Cómo se afecta la estabilidad y confiabilidad del sistema?
4. ¿Cuánto tiempo puede estar este cable fuera de servicio?

La contestación a estas preguntas será dada desde el punto operacional del sistema, pero aunada a ella existen muchas más relacionadas con la localización, reparación, prueba y puesta en servicio como serían:

1. ¿Dónde se encuentra la falla?
2. ¿Existen transformadores en el circuito y cuál es su conexión, podrán ser desconectados fácilmente para localizar la falla?
3. ¿Se tienen planos de la ruta y longitud del cable?
4. ¿Se tienen elementos para efectuar la reparación?
5. ¿Se cuenta con equipo y personal para localizar, reparar, probar y poner en servicio el tramo dañado?

Como conclusión de esta primera exposición, se puede afirmar que no hay un equipo que pueda servir para localizar todos los tipos de fallas en las diferentes condiciones de instalación y con los distintos tipos de cables utilizados en instalaciones subterráneas, por tal motivo, se expondrán a continuación los métodos usualmente empleados para este propósito.

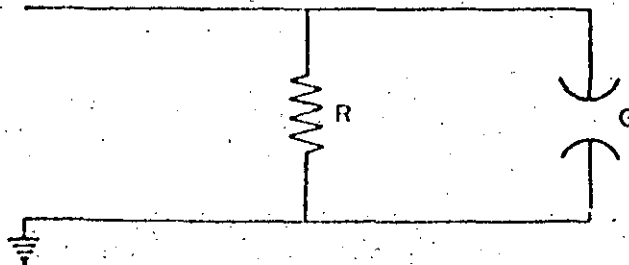
#### 4. MÉTODOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS

Para localizar una falla deberá seguirse la siguiente secuencia de operación:

- 1º Desenergizar el circuito.
- 2º Aislar y desconectar las terminales, apartarrayos y transformadores.
- 3º Determinar el tipo de falla.
- 4º Localizar aproximadamente la falla.
- 5º Localizar el punto exacto de la falla.

Para determinar el tipo de falla se utiliza un megger que al medir la resistencia del tramo en estudio, permite decidir qué tipo de método y equipo se empleará y si la falla es entre conductores o de conductor a tierra.

El tipo de falla más común es el de "Falla a Tierra", representado por el siguiente diagrama eléctrico.



Donde:

R = Resistencia en ohms de la falla.

G = Espacio entre conductor y tierra o pantalla.

El espaciamiento (G) puede ser cero, ó mas grande que el espesor del aislamiento dependiendo de la geometría de la falla. Pudiendo estar este espacio lleno de agua, aceite, gas, producto de la combustión, etc. Afectando esto a la medición de R que puede variar de cero a infinito.

Si para el método de localización, se puede aplicar un voltaje tal que produzca un arco en la abertura de la falla (G) y se produzca una señal utilizable, la magnitud de "R" carece de importancia, si no se logra producir el arco, la R de la falla resultará muy importante para escoger el método adecuado para su localización.

En algunos casos es necesario reducir el valor de "R" para que ciertos métodos resulten utilizables, a esto se le denomina "Quemar la Falla" o "Reducir la Falla".

La reducción de la falla requiere de una liberación relativamente lenta de calor para carbonizar las superficies o paredes de la falla y así reducir el valor de "R".

Para la localización de fallas se utilizan dos métodos:

1. Métodos de Terminal.

## 2. Métodos de Rastreo.

Los métodos de terminal son aquellos en que las pruebas y localizaciones se efectúan en los extremos del cable.

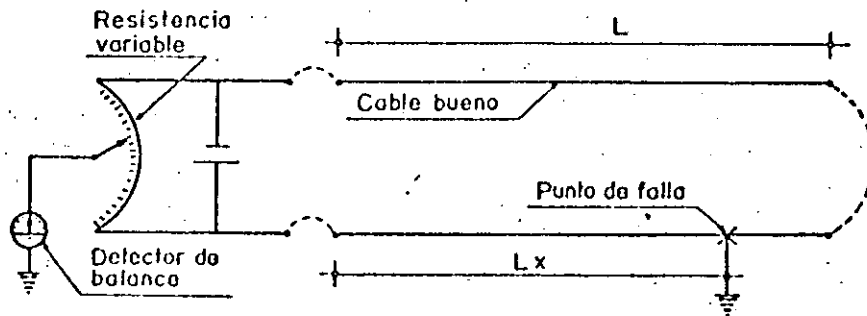
Los métodos de rastreo son aquellos que utilizan señales eléctricas aplicadas al conductor y detectores que se mueven en toda la longitud del cable para señalar el punto exacto de la falla.

### 4.1. MÉTODOS DE TERMINAL

#### 1.1 Método del Puente de Murray con Alta Resistencia.

Este puente se aplica específicamente para fallas a tierra donde hay una gran reducción de la resistencia de aislamiento y donde se tienen cables paralelos de la misma longitud y calibre, es efectivo en fallas de resistencia relativamente altas y se aplican en cables Trifásicos, de Control y Telefonía.

El diagrama de Conexión del Puente de Murray es el siguiente:



Una vez conectado y balanceado a cero la lectura de la resistencia -

variable, estará dada en % de la longitud del cable para conocer donde se encuentra el punto de falla y se aplica la siguiente fórmula:

$$Lx = 2 LY$$

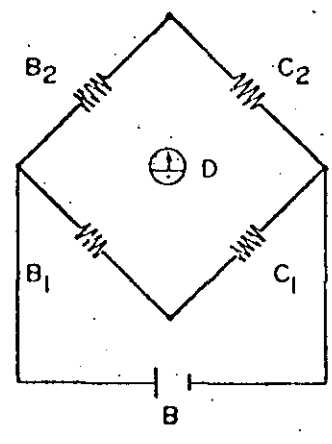
Donde:

Lx = Distancia del equipo a la falla.

L = Longitud del cable dañado.

Y = Lectura del aparato.

El puente de Murray es una variación del puente de Wheatstone cuyo diagrama es:



En este diagrama B1, B2 y C2 representan resistencias conocidas y "C1" una resistencia desconocida, "B" representa una fuente de corriente y "D" un detector o galvanómetro.

Para medir "C", B1 y B2 se ajustan en su valor hasta que el detector nos indique cero, o sea que los voltajes entre "B2" y "C2" están balanceados respectivamente con los voltajes entre B1 y "C", para esta condición la relación de las resistencias está dada por:

$$\frac{C1}{C2} = \frac{B1}{B2}$$

de donde despejamos a "C1" tendremos:

$$C1 = \frac{C2 B1}{B2}$$

A) Ventajas:

- a) Equipo ligero y portátil, ya que utiliza como fuente de energía una batería de 6 volts.
- b) El valor de la resistencia de la falla no influye ya que opera en rangos de 0 - 200 mΩ.

B) Desventajas:

- a) Las conexiones deben de ser muy seguras y con la mínima resistencia.
- b) Los errores en lectura pueden ser muy grandes.
- c) Resulta poco exacto en conductores de aluminio debido a las resistencias entre contactos por oxidación y que quedan en serie con la del conductor.
- d) Es un método en el que se debe conocer perfectamente la longitud de los conductores.
- e) Es un método de aproximación.

1.2 Método de Pulso-Reflexión (Radar).

Este método puede ser utilizado para localizar fallas fase a tierra, corto circuito y circuito abierto en cables instalados en ductos directos.

tamente enterrados o submarinos, que cumplen con la resistencia de la falla sea menor a 300  $\mu$ .

Este método se basa en transmitir un pulso unidireccional por el cable, el que al llegar a una discontinuidad o falla produce una reflexión característica a el tipo de falla. Conociendo la velocidad de propagación del pulso, la distancia a la falla se determinará fácilmente aunque con poca exactitud.

El equipo de prueba usado para hacer estas mediciones es esencialmente un generador de pulso y un oscilador de rayos catódicos.



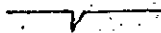
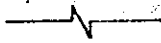
La velocidad de propagación de la onda, varía según el aislamiento utilizado.

COEFICIENTES DE VELOCIDAD DE PROPAGACION  
V.P.C.

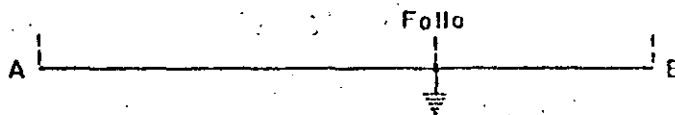
Material	VPC
Vacío	1.000
Papel y Plomo (PILC)	0.500 - 0.560
Poliétileno Vulcanizado (XLP)	0.520 - 0.580
Etileno - Propileno (EPR)	0.430 - 0.470
Poliétileno Alto Peso Molecular	0.560 - 0.620

Las distintas reflexiones que se tienen según las fallas podemos tipificarlas en:

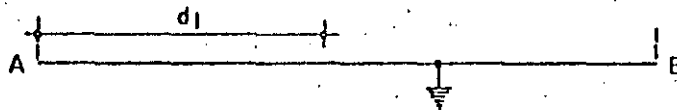


<u>FALLA</u>	<u>DEFLEXION</u>	
Conductor Abierto	Hacia arriba	
Final del Cable	Hacia arriba	
Conductor a Tierra (- de 300)	Hacia abajo	
Empalme (Bueno o Malo)	Hacia arriba y abajo	

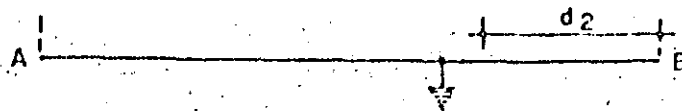
Cuando se desconoce el aislamiento y la longitud del cable, se utiliza el método de las 3 varillas que se utiliza de la siguiente forma:



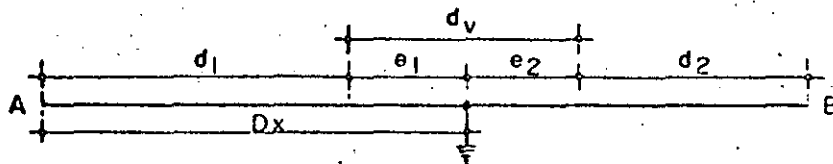
Se toma el aparato en el extremo A del cable y se hace coincidir el inicio del impulso al inicio de la escala, poniéndose una varilla a la distancia que indica la lectura  $d_1$ .



Sin mover el ajuste de velocidad de propagación se toma otra lectura desde el extremo B, poniéndose la varilla a la distancia que indique la lectura  $d_2$ .



La distancia a la falla sería la distancia  $d_1$  más el error  $e_1$  aplicando las siguientes fórmulas tenemos:



$$D_x = d_1 + e_1 \therefore e_1 = \frac{d_1 (e_1 + e_2)}{d_1 + d_2} = \frac{d_1 \times d_v}{d_1 + d_2}$$

Donde:

$D_x$  = Distancia a la falla desde el punto A

$d_1$  = Distancia desde el punto A

$d_2$  = Distancia desde el punto B

$(e_1 + e_2)$  = Distancia entre varillas =  $d_v$

A) Ventajas:

- a) Equipo ligero y portátil que trabaja con baterías recargables con 110 volts, C.A.

B) Desventajas:

- a) La falla deberá tener muy baja resistencia (- de  $300 \Omega$  )
- b) La interpretación de las ondas reflejadas es muy compleja y en algunos casos difícil de precisar.
- c) En cables largos las reflexiones son aplanadas y de difícil detección.

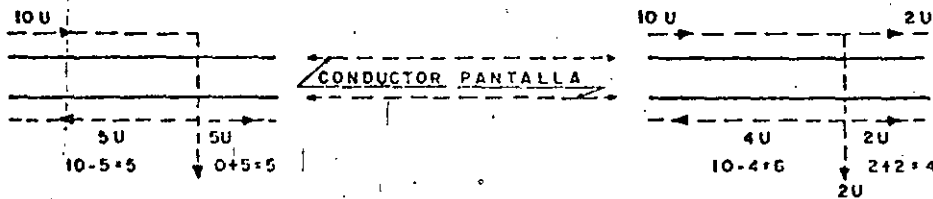
70

d) Es un método de aproximación.

## 2. MÉTODOS DE RASTREO

### 2.1 Generador de Tono.

Estos equipos trabajan a una frecuencia de aproximadamente 1000 Hz. y normalmente son utilizados para trazar los cables subterráneos y localizar fallas en circuitos secundarios siempre y cuando la resistencia de la falla sea muy baja, ya que para cables de alta tensión con pantallas este método tiene serias limitaciones debido a que la corriente-senal al pasar a través de la falla a tierra seguirá los caminos de menor impedancia, tomando la corriente el camino que ofrece la pantalla debido a que es el de menor resistencia y regresando o difundiéndose el tono.



### OPERACION EN CABLES CON PANTALLA (No funciona)



### OPERACION EN CABLES SIN PANTALLA (SI funciona)

Como se observa, la intensidad de la señal detectada disminuye o desaparece al rebasar la falla.

A) Ventajas:

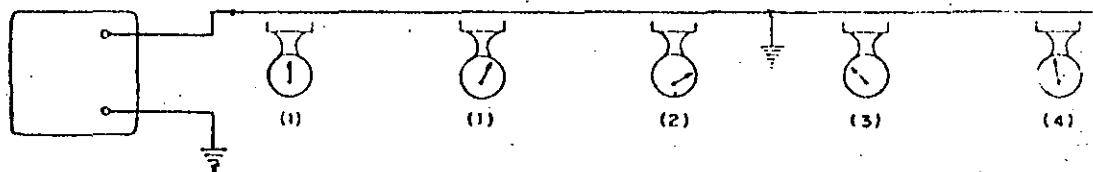
- a) Aparato ligero
- b) Muy útil cuando se traza una línea y se tienen otros energizados cerca.

B) Desventajas:

- a) Se utiliza en cables de baja tensión o secundarios.

2.2 Gradientes de Tensión en Tierra.

Este método se aplica para localizar fallas en cables subterráneos directamente enterrados de media tensión con neutro concéntrico y en cables de baja tensión.



Está basada en el gradiente de tensión que se produce en la tierra que rodea el punto de falla, las varillas de prueba separadas aproximadamente 60 cms. (2 Fts.) se llevan a lo largo de la trayectoria del conductor (1) al acercarse al punto de falla (2) el gradiente de tensión o voltaje aumenta y la señal se

hace más detectable, al rebasar el punto de falla (3) la señal se invierte y empieza a decrecer según se siga avanzando (4).

A) Ventajas:

- a) Se requiere conocer aproximadamente la localización del cable.
- b) Equipo ligero y de fácil transportación.

B) Desventajas:

- a) Es la localización aproximada.
- b) Debe tenerse muy en cuenta el no dar pasos largos y no caminar sobre agua.
- c) Si se tiene cable instalado en ductos o cables con cubierta de P.V.C. este método no funciona.

2.3 Generador de impulsos.

Este método se aplica para localizar fallas en cables primarios y secundarios directamente enterrados, en ducto y submarinos.

Para determinar el valor del impulso a utilizar con el equipo de prueba de corriente continua en alta tensión, se aplica una tensión hasta que se logra el rompimiento de descarga en el punto de falla, este es el valor mínimo del pico del impulso a utilizar, el máximo estará limitado por los valores de tensión de prueba del cable y accesorios conectados.

La localización del punto de falla en un cable al que se aplica un impulso se hace por medio de detectores acústicos o balfstico.

### 2.3.1 Detector Acústico.

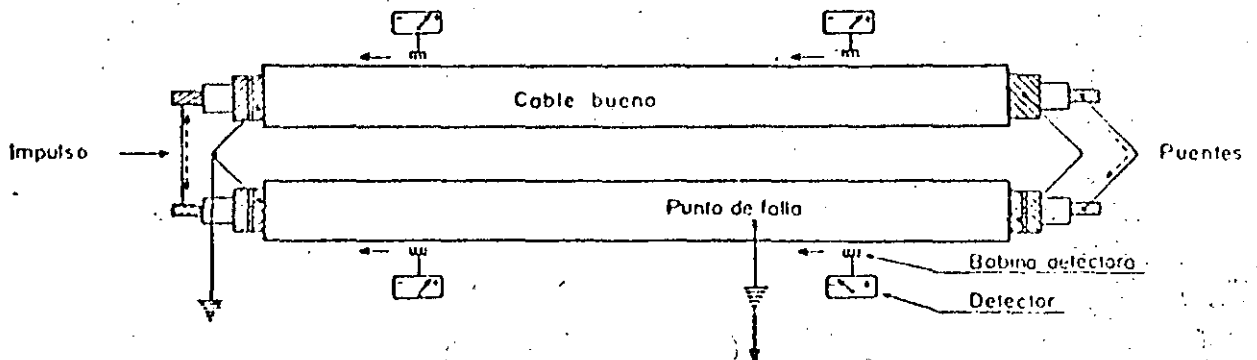
Este detector se utiliza para localizar exactamente el punto de falla en cables directamente enterrados.

Los detectores registran la vibración producida en el terreno por el arqueo entre el cable y tierra al pasar el impulso.

Cuando la resistencia es cero o sea que no existe (G) distancia eléctrica entre tierra y el conductor (Gap) el impulso no produce ni vibración y estos rastreadores no funcionan.

### 2.3.2 Detector Balfstico.

Para utilizar el detector balfstico en cables con pantalla, es necesario efectuar la siguiente conexión:



Se utiliza un cable en buenas condiciones y se conectan los conductores y las pantallas entre sí y aplicando la bobina del detector directamente sobre

los cables en los pozos de visita, se determinará entre qué pozo se encuentra la falla, ya que el registro del impulso se invierte al pasar el punto de falla.

A) Ventajas:

- a) La localización de la falla es exacta con el detector acústico.
- b) La localización de la falla se hace entre registros con el detector balístico.
- c) Permite rastrear sin trazar el cable.

B) Desventajas:

- a) Equipo pesado y se necesitan los dos rastreadores.
- b) Si no se tiene distancia para arqueo no sirve con los detectores acústicos y la localización no será exacta.

ASPECTOS QUE SE DEBEN CONSIDERAR PARA DESARROLLAR  
LOS PROYECTOS DE AYUDAS VISUALES LUMINOSAS EN  
AEROPUERTOS.



CONTIENE :

- A. Proyecto.
- B. Construcción.
- C. Pruebas.

A. PROYECTO.

A.1 ESPECIFICACIONES.

Para la ejecución de los proyectos de ayudas visuales, se siguen normas de la OACI y FAA.

Estas especificaciones debidamente reglamentadas son las que rigen; los trabajos de diseño y construcción de aeropuertos y son seguidas por los países miembros de la OACI.

Las especificaciones y métodos recomendados internacionales, para ayudas visuales luminosas, están indicados en la parte 5 del "Anexo 14 al Convenio de Aviación Civil Internacional". Así como el manual de aeródromos parte 4 de esta organización.

En estos documentos, se entiende por especificación, la descripción de las características físicas, configuración, materiales, equipos y procedimientos, cuya aplicación uniforme, se considera necesaria para la seguridad o regularidad de la navegación aérea internacional.

Por lo que toca a las especificaciones de la FAA (Federal Aviation Agency), son aquellas que describen con precisión y aportan pruebas de laboratorio de los equipos, materiales y accesorios que intervienen en la elaboración de cualquier diseño y que están descritos de manera general en el Anexo 14 de la OACI.

Estos documentos - Anexo 14, manual de aeródromos parte 4 y especificaciones FAA - deben ser manejados por el personal técnico encargado de la elaboración de proyectos, por lo que cualquier duda, observación y/o aclaración sobre el contenido de éstos, es recomendable se consulte con este personal

A.1.1 Plazos de Fabricación y/o tiempo de importación de equipos, materiales y accesorios.

Para la oportuna ejecución de las obras, motivo de los proyectos de ayudas visuales, conforme a los programas respectivos de construcción, se deben tomar en consideración los plazos normales de fabricación y/o importación de los equipos, materiales y accesorios; por tal motivo, cualquier cambio y/o modificación a estos plazos, debe a su vez hacer la misma consideración y corregir las desviaciones del programa.

A 2 DESARROLLO DEL PROYECTO.

El proyecto se compone de los siguientes elementos.

A.2.1 Planos de Plantas Generales, Detalles Constructivos y Diagramas de Conexiones.

En los planos de plantas generales, se muestra la localización de todos los componentes que por su importancia representen de ma

nera global la instalación de que se trate, por ejemplo Señalamien-  
to de Calles de Rodaje, Sistema de Luces de Aproximación, etc.,  
y sirven también para llevar el control del avance de la obra ano-  
tando; si los hubiese, los cambios y/o modificaciones al proyec-  
to por necesidades de la construcción.

Estos planos deben ser analizados por los encargados de la cons-  
trucción para que; teniendo en cuenta el estudio de los planos de  
las demás áreas de la obra, consideren la factibilidad de su eje-  
cución y detecten en el gabinete los detalles que; a su juicio, -  
necesiten aclaración.

Los planos de detalles constructivos, muestran de manera clara -  
lo concerniente a la construcción de cimentaciones, registros, -  
canalizaciones, montaje de equipos, etc., de tal suerte que per-  
mitan la fácil interpretación de lo señalado en las plantas gene-  
rales y faciliten la ejecución de la obra.

#### A.2.2 Memorias de Cálculo.

Son la documentación básica en la toma de cualquier decisión to-  
cante a cambios, modificaciones y/o ampliación de las instala-  
ciones durante y después de la construcción de la obra. Estas -  
memorias deben formar parte del acervo técnico del personal de -  
proyecto y deben estar a disposición de las residencias de cons-  
trucción para cualquier consulta o aclaración.

**A.2.3 Especificaciones Complementarias.**

Son aquellas que aseguran la calidad de los equipos, materiales y accesorios que intervienen en la instalación, y están totalmente de acuerdo con lo señalado en A.1

**A.2.4 Cantidades de Obra.**

Esta parte del proyecto se considera el complemento de A.2.2 y A.2.3, y en ella se resume la cuantificación total que aparece en los planos.

**B. CONSTRUCCION.**

**B.1 Trazo y Ejecución.**

En este punto se trata de la localización de las unidades de señalamiento, trayectorias de cableado, ubicación de registros, bancos de ductos dentro y fuera del cuerpo de las pistas, calles de rodaje y plataformas; localización de subestaciones de campo y sistemas de aproximación, luces de eje de pista, luces de zona de toma de contacto, conos de vientos, proyector de techo, vasis, rells, etc.

Por lo que toca a la ejecución de los trabajos de instalaciones, estos deberán planearse para ser desarrollados cuando las obras-

civiles de construcción de pistas, rodajes, plataformas, etc., -  
presenten un avance tal que su terminación sea el acabado final -  
de las propias instalaciones evitando cortes, zanjas o ranuras -  
dentro o fuera del cuerpo de las obras adyacentes.

El personal de proyecto deberá presentar apoyo técnico en ambos  
casos a solicitud de las residencias de construcción.

**B.2** Precauciones que deben Considerarse en el Manejo de Equipo, -  
Materiales, Etc.

Los equipos, materiales y accesorios, deberán estar adecuada -  
mente protegidos durante el transporte, almacenamiento e instala -  
ción, con objeto de evitar daños o desperfectos que a la postre -  
resulten en fallas durante la operación.

**C.** PRUEBAS.

Se deberán efectuar pruebas de continuidad, resistencia de aisla -  
miento y de alta tensión a los conductores y accesorios de ca -  
bleado, una vez terminada la instalación.

Previamente a la operación, se deberán verificar los ajustes y/o -  
reglaje de los equipos.

Para ambos casos; a solicitud de las residencias de construcción,  
el personal de proyectos, aportará el apoyo técnico necesario.

PROYECTO DE AYUDAS VISUALES PARA EL AEROPUERTO DE :

"TUXTLA GUTIERREZ, CHIS."

**CONTIENE:**

Memoria Técnico Descriptiva .

Memoria de Cálculo.

Especificaciones Complementa-  
rias.

Cantidad de Obra .

Pl a n o s .



MEMORIA TECNICO DESCRIPTIVA

MEMORIA TECNICO - DESCRIPTIVA

El aeropuerto de Tuxtla, Gutiérrez, Chis., ha sido proyectado para servir al equipo B-727-200 como aeronave crítica; por tal motivo, deberá estar dotado de las facilidades electrónicas requeridas para operaciones de precisión por instrumentos, ILS, VOR, DME, etc.

Por otra parte; dados los mínimos meteorológicos de la estación, se estiman condiciones de categoría I; es decir, aproximaciones de precisión hasta una altura de decisión de 60 m. (200 pies) y un alcance visual en la pista (RVR) del orden de 800 m. (2600 pies).

En virtud de lo anterior, las ayudas visuales con que contará el aeropuerto serán las siguientes:

Sistema de Luces de Aproximación (ALSF-1) de configuración estandar con una longitud de 900 m. en la cabecera 27.

Luces de Alta Intensidad en el Eje de la Pista

Luces de Alta Intensidad en el Borde de la Pista.

Luces de Alta Intensidad en el Umbral de la Pista

Luces de Media Intensidad en el Eje de los Rodajes.

Luces de Media Intensidad en el Borde de los rodajes.

Luces de Media Intensidad en las Barras de Parada \*

Luces de Media Intensidad en el Borde de las Plataformas.

Sistema Visual Indicador de Pendiente de Aproximación (VASI'S)

**Sistema Indicador de Cabecera (REIL'S)**

**Conos de Vientos**

**Proyector de Techos**

**Faro Giratorio**

- El sistema de Luces de Aproximación (ALSF-1) estará constituido por 30 -  
barretas de luces de proyección, color blanco variable de 200 Watts (pla-  
no AV-06), una fila de 30 luces de descarga por condensador y un umbral  
destacado con dos barras de ata en color verde.

Este sistema proporcionará guía de azimut y distancia, además de permi-  
tir la corrección de desviaciones tanto en altura como en desplazamiento  
lateral durante la maniobra de aproximación final.

- Las luces de Eje de Pista cuya instalación está indicada en pistas para -  
aproximaciones de precisión Categoría II y III, resultan particularmente -  
ventajosas para este aeropuerto, dados los mínimos meteorológicos de -  
operación señalados con anterioridad y la velocidad elevada de aterriza -  
je de la aeronave crítica.

Estas luces serán de 200 Watts, fijas de color blanco variable desde el -  
umbral hasta un punto situado a 900 m. (3000 pies) del extremo de pista;  
a partir de este punto y hasta otro situado a 300 m. del final de la pista,  
se utilizarán luces rojas y blancas alternativamente y en los 300 m., res-  
tantes se colocarán luces rojas.

La codificación anterior; obviamente, indicará al piloto el eje de la pista y le proporcionará información positiva de la longitud de pista disponible después del toque de ruedas.

- Por lo que hace al Sistema de Luces de Alta Intensidad (HILR) señalado para la pista, cabe citar que en selección obedece a que el aeropuerto tendrá operaciones nocturnas de aproximación por instrumentos con un rango visual en la pista (RVR) ya señalado (800 m).

Este sistema de luces, define los límites longitudinal y transversal de la pista; se usarán luces de 200 Watts.

Dos líneas rectas de luces definen los límites laterales del área de aterrizaje, indicando con su código de color, la longitud disponible de la pista, ya que a partir del umbral y hasta un punto situado a 600 m., del final de la pista las luces son fijas de color blanco variable y a partir de ese punto, las luces son fijas de color ambar variable.

Las luces de umbral son de color verde (12 luces) y las de fin de pista son rojas (6 luces); ambas delimitan transversalmente el área operacional de la pista de aterrizaje.

Las luces de borde serán elevadas y las de umbral y final de pista serán rasantes.

- En atención a la visibilidad reducida por niebla que se espera en la estación, se consideró prudente dotar al aeropuerto de un sistema de luces

de Eje de media intensidad 65 Watts, como un complemento al sistema de luces de borde de rodaje.

El color de las luces de eje de rodaje será verde y su instalación se inicia desde 60 m. antes del P.T. de cualquier curva de salida de la pista prolongándose por los rodajes hasta la plataforma de operaciones.

- En prevención de que aeronaves en rodaje efectúen acercamientos peligrosos a la pista 09-27, se instalarán dos barras de parada; una en cada calle de rodaje. Estas luces serán de media intensidad 65 Watts color rojo variable.

- Se tiene por último, el sistema de media intensidad (30 W) para las luces de borde de rodaje y plataforma.

Estas luces son fijas de color azul variable, habiéndose seleccionado este color en atención a que prácticamente no es visible desde el aire o a gran distancia, asegurando por lo tanto que la atención del piloto no será distraída por el exceso de señalamiento luminoso.

- Como parte integral de las ayudas visuales, y tomando en cuenta que la estación no será utilizada por aviones de fuselaje ancho, se instalarán dos sistemas VASI'S de 12 gabinetes cada uno.

Como ya es sabido, estos equipos indican la pendiente de aproximación a la pista garantizando las operaciones hacia la pista visual (09) y com-

plementando al ILS en la pista de precisión Categoría I de la cabecera 27.

- El equipo Identificador de pista, (REIL'S) se instalará en la cabecera 09 - ya que la 27 contará con un sistema de luces de aproximación ALSF-1.
- Se contará también con la instalación de dos conos de vientos, un proyector de techos y un faro giratorio.
- \* Aunque la instalación de las barras de parada, están indicadas sólo para aeropuertos Categoría III, se incluyeron en este proyecto como medida de seguridad.

MEMORIA DE CALCULO DEL PROYECTO DE AYUDAS VISUALES

PARA EL AEROPUERTO DE

TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.

91

CONTIENE:

Cálculo de Voltaje de Operación de Circuitos Alimentadores, determinación de la capacidad del equipo y eficiencia.

1.- Luces de Borde de Pista.

2.- Luces de Borde de Rodaje.

3.- Equipos VASI.

4.- Conos de Vientos.

5.- Equipos Reil.

6.- Luces de Aproximación.

7.- Luces de Eje de Pista.

8.- Luces de Eje de Rodaje y Barras de Parada.



1.- LUCES DE BORDE DE PISTA.

Las luces de borde de pista se alimentarán a un circuito que tendrá la siguiente carga:

- 8 Luces de umbral unidireccional L-850D filtro verde.
  - 2 x 12 Luces de umbral bidireccional L-850D filtro verde rojo.
  - 41 Luces de borde de pista L-862 filtro claro.
  - Cto.- 39 Luces de borde de pista L-862 filtro claro-ambar.
  - 4 Luces de borde de umbral L-862 filtro verde
  - 11 Luces de borde de gota L-862 filtro azul.
- Total = 115 Luces.

La carga será entonces:

- 12 x 250 = 3000 Watts.
- Cto.- 2 x 12 x 250 = 6000 Watts.
- 91 x 125 = 11375 Watts.
- Total = 20375 Watts.

El conductor alimentador será cable calibre # 8 A.W.G., para 5000 Volts., el cual tiene una resistencia de 2.13 Ohm/km. a 20° C.

Por análisis de las curvas isotermas de la zona, se estimó conveniente corregir el valor de la resistencia ohmica por temperatura; y por lo tanto se tiene:

$$R_2 = R_1 ( 1 + (T_2 - T_1) )$$

Sustituyendo valores:

$$\begin{aligned}
 R_2 &= 2.13 ( 1 + 0.0038 (39 - 20) ) \\
 &= 2.13 (1.0722) \\
 &= 2.28 \text{ Ohm/km.}
 \end{aligned}$$

Aplicando este valor y tomando en consideración la longitud del alimentador se determinan las pérdidas en el cable de la siguiente manera:

$$P = RI^2$$

La longitud del circuito = 6.5 km.

$$\begin{aligned} R_{tc} &= 2.28 \times 6.5 \\ &= 14.82 \text{ ohms} \end{aligned}$$

Por lo tanto la potencia disipada será:

$$\begin{aligned} P_c &= 14.82 \times (6.6)^2 \\ &= 645.56 \text{ Watts.} \end{aligned}$$

La carga real del circuito será:

$$\begin{aligned} C_{to.} &= 20375 + 645.56 \\ &= 21020.56 \text{ Watts.} \end{aligned}$$

El voltaje de operación del circuito será el siguiente:

$$\text{Carga} = 21020.56 \text{ Watts}$$

De la fórmula

$$P = VI \cos \phi$$

Se despeja V

$$V = \frac{P}{I \cos \phi}$$

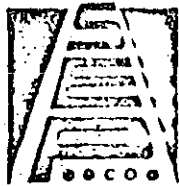
El coseno  $\phi$  lo señalan las gráficas del fabricante, en relación con la carga por lo que para este caso:

$$\begin{aligned} \text{Carga \%} &= \frac{21020.56}{30000} \times 100 \\ &= 76.06 \% \end{aligned}$$

Por lo tanto para este valor de carga, el  $\cos \phi = 0.94$ .

El voltaje del circuito será:

$$\begin{aligned} V &= \frac{21020.56}{6.6 \times 0.94} \\ &= 3388.23 \text{ Volts} \end{aligned}$$



L-828

94

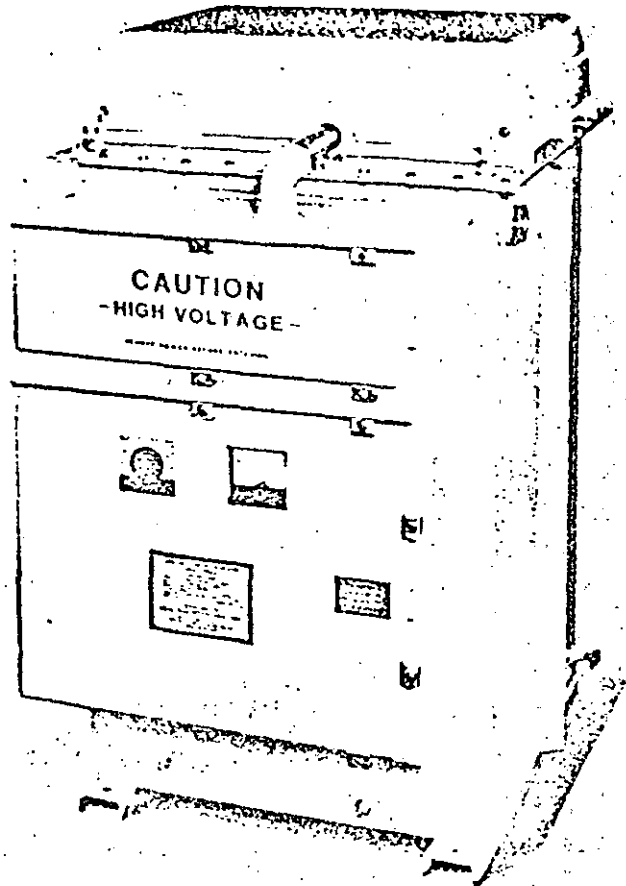
# Constant Current Regulators

DATA SHEET

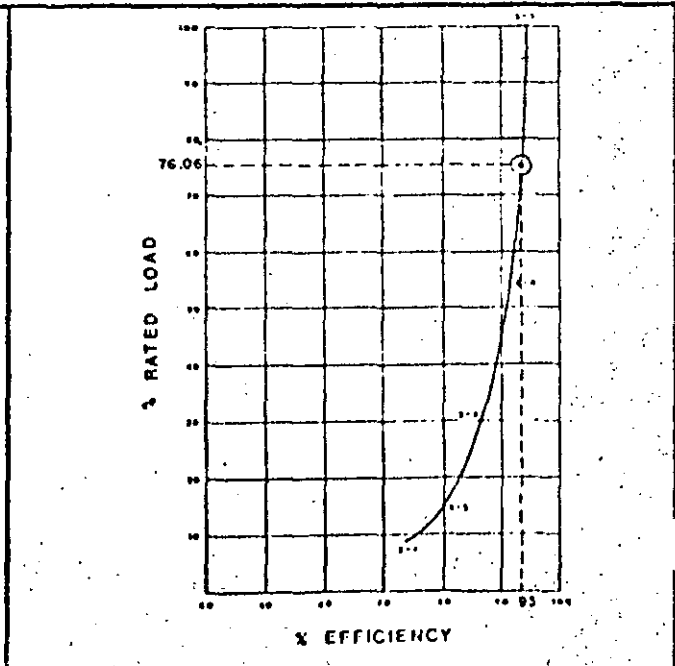
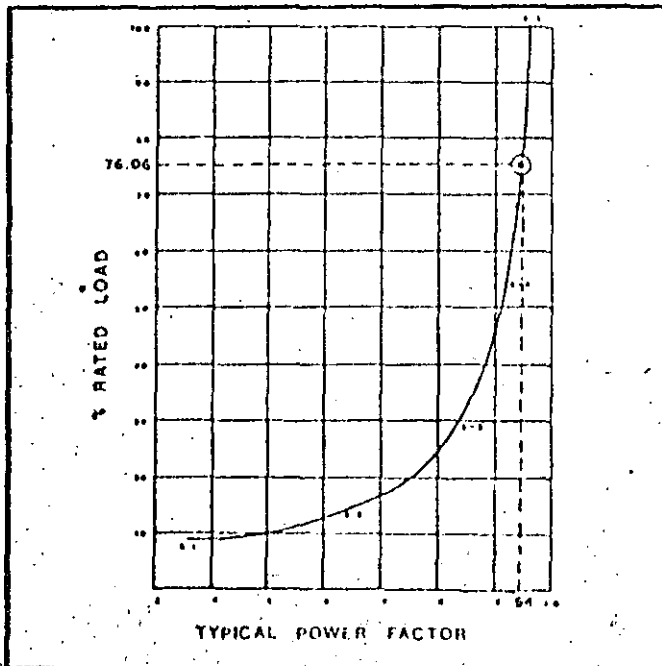
SEPCO airport regulators for series lighting systems use an A.C. solid state control circuit for controlling the transformer leakage reactance. This technique permits constant current power to be obtained from very low control levels without the use of moving parts. In order to obtain power factor correction and impedance matching for all combinations of load and brightness settings, the SEPCO L-828 constant-current regulator employs the electrical characteristics of a constant voltage, series resonant tank circuit.

SEPCO Constant Current Regulators are designed for optimum efficiency and reliable performance, when used in conjunction with SEPCO airport lighting systems: Compact, easy to handle and install, units require less room in vault. Front access, solid state circuitry provides ease of maintenance. Weatherproof, welded steel construction. Lightning arresters supplied mounted and pre-wired or separately.

- compact — 53" high x 38½" wide x 47" deep
- no moving parts — 100% solid state controls
- fast response — corrects output immediately to desired level between steps. (Easily converted to stepless)
- high power factor — efficient utilization of power
- simplified control — 2 circuit cards for easy maintenance
- internal switching and voltage control

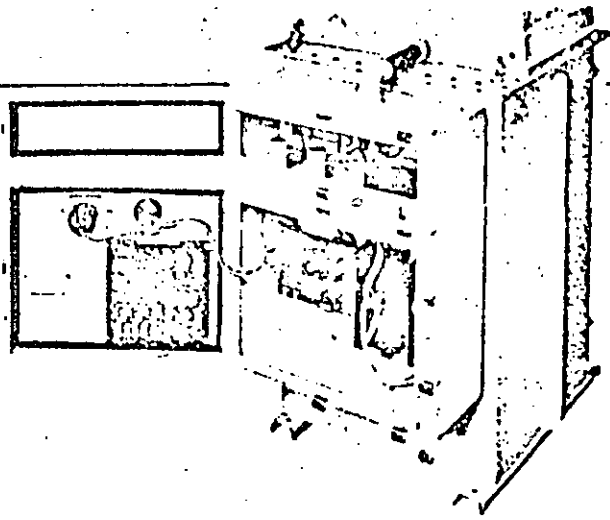
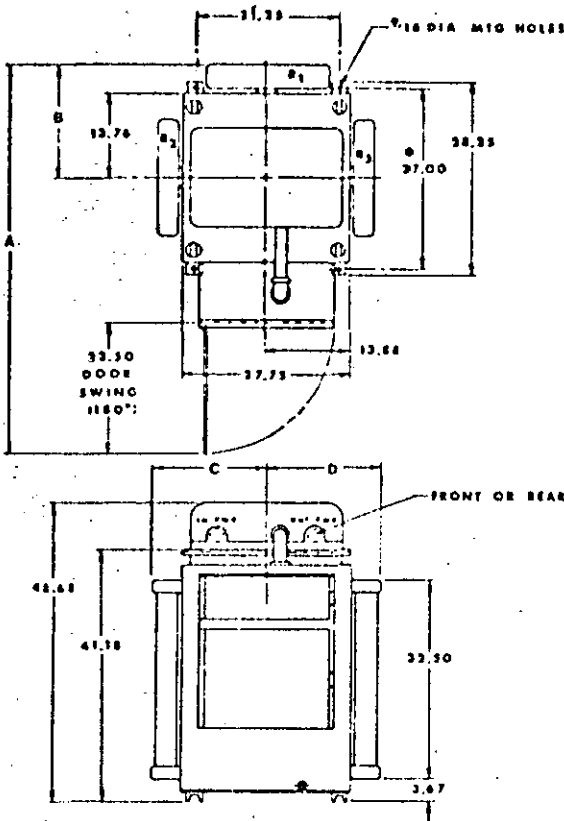


## TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS



# INSTALLATION INFORMATION

\* Add 3 inches for 50KW and 70KW.



KW	WT. - LBS.	GALLONS OF OIL	OIL TYPE
10	1450	86	Texaco #55
20	1700	84	
30	1750	85	Transformer Oil
50	2450	90	
70	2950	86	

Oil weight — 6.5 lbs./gal.

KW	A	B	C	D	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
10	59.67	—	—	—	NO	NO	NO
20	64.50	19.00	—	—	YES	NO	NO
30	64.50	19.00	19.24	—	YES	YES	NO
50	68.00	20.75	19.00	19.25	YES	YES	YES
70	74.00	26.50	19.00	19.25	YES	YES	YES

Dimensions in inches.

DESCRIPTION	BASIC P/N
10 KW, 6.6 AMP Regulator	30000 - 1
20 KW, 6.6 AMP Regulator	30000 - 2
30 KW, 6.6 AMP Regulator	30000 - 3
30 KW, 20.0 AMP Regulator	30000 - 4
50 KW, 20.0 AMP Regulator	30000 - 5
70 KW, 20.0 AMP Regulator	30000 - 6

## Regulator Steps

STEP	REGULATOR RANGE		RUNWAY LIGHT OUTPUT
	6.6 AMP TYPE	20.0 AMP TYPE	
5	6.6	20.0	100%
4	5.2	15.8	25%
3	4.1	12.4	5%
2	3.4	10.3	1.5%
1	2.8	8.5	0.5%

## Ordering Data

The regulators are available with or without high voltage switches and internal control power. Voltage input rating other than 2400 volts is also available on special order.

## Example

30000-5 is a 50KW, 2400 volt input, 20 amp output regulator complete with internal primary switch.

30000-3-E-480 is a 30KW, 480 volt input, 6.6 amp output regulator without internal primary switch.

## TYPICAL Power Chart for 10 KW\* Regulator

STEP	POWER OUTPUT KW	POWER INPUT KW	INPUT KVA
5	10	10.6	11.0
4	5.5	6.0	6.5
3	3.0	3.5	4.1
2	1.5	1.9	2.8
1	0.8	1.1	3.0

\*for 20 KW, multiply figures by 2. for 30 KW, multiply figures by 3, etc.

SHIPPING DIMENSIONS: 10, 20, 30 KW - 46" x 37" x 51"; 50, 70 KW - 56" x 42" x 51" - L X W X H.



# SEPACO AIRPORT LIGHTING DIVISION

CONNECTICUT INTERNATIONAL CORPORATION  
WINDSOR LOCKS, CONNECTICUT 06096 (203)-623-4414

La eficiencia del regulador será:

Para el circuito de pista, con 76.06 % de carga;  $E = 93 \%$  y tendrá una capacidad de 30 KW.

## 2.- LUCES DE BORDE DE RODAJE.

Las luces de borde de rodaje se alimentarán a un circuito que tendrá la siguiente carga:

Cto.-  
110 Luces elevadas, L-861-T, filtro azul  
1 Luz, embutida, L-852-Q, filtro azul  
111 Luces

La carga será entonces de:

$$\begin{array}{r} 110 \times 50 = 5500 \text{ Watts.} \\ 1 \times 60 = \underline{60 \text{ Watts.}} \\ 5560 \text{ Watts.} \end{array}$$

El alimentador será cable calibre # 8 A.W.G., para 5000 Volts, con una resistencia de 2.13 ohms/km. a 20° C y con una resistencia corregida por temperatura de 2.28 ohms/km. (Ver cálculo de resistencia por temperatura en borde de pista, inciso 1).

Aplicando este valor y tomando en consideración la longitud del alimentador, se determinan las pérdidas en el cable de la siguiente manera:

$$P = RI^2$$

La longitud del circuito = 5.5 km.

$$\begin{array}{r} R_{tc} = 2.28 \times 5.5 \\ = 12.54 \text{ ohms} \end{array}$$

Por lo tanto la potencia disipada será:

$$\begin{array}{r} P_c = 12.54 \times (6.6)^2 \\ = 546.24 \text{ Watts.} \end{array}$$

La carga real del circuito será:

$$\begin{array}{r} \text{Cto.} = 5560 + 546.24 \\ = 6106.24 \text{ Watts.} \end{array}$$

El voltaje de operación del circuito será el siguiente:

$$\text{Carga} = 6106.24 \text{ Watts.}$$

De la fórmula

$$P = VI \cos \phi$$

Se despeja V

$$V = \frac{P}{I \cos \phi}$$

El  $\cos \phi$  lo señalan las gráficas del fabricante en relación con la carga por lo que para este caso

$$\begin{aligned} \text{Carga \%} &= \frac{6106.24}{7500} \times 100 \\ &= 81.42 \end{aligned}$$

Por lo tanto para este valor de carga, el  $\cos \phi = .94$

El voltaje del circuito será:

$$\begin{aligned} V &= \frac{6106.24}{6.6 (0.94)} \\ &= 984.24 \text{ Volts} \end{aligned}$$

La eficiencia del regulador será:

Para el circuito de rodaje, con 81.42 % de carga;  $E = 93 \%$

y tendrá capacidad de 7.5 KW.

### 3.- CIRCUITO ALIMENTADOR EQUIPOS VASI.

El equipo VASI se alimentará a un circuito por cabecera que tendrán las siguientes cargas:

La carga será entonces

$$C27 = 3 \times 12 \times 250 = 9000 \text{ Watts.}$$

$$C09 = 3 \times 12 \times 250 = 9000 \text{ Watts.}$$

El conductor alimentador será cable calibre # 8 A.W.G., para 5000 Volts, - el cual tiene una resistencia de 2.13 ohms/km. a 20°C y con una resistencia corregida por temperatura de 2.28 /km (Ver cálculo de resistencia por corrección de temperatura en borde de pista inciso 1).

Aplicando este valor y tomando en consideración la longitud de alimentador, se determinan las pérdidas en el cable de la siguiente manera:

$$P = RI^2$$

La longitud del C27 = 3.9 km.

longitud de C09 = 5.9 km.

$$R27 = 2.28 \times 3.9 = 8.89 \text{ Ohms}$$

$$R09 = 2.28 \times 5.9 = 13.45 \text{ Ohms}$$

Por lo tanto las potencias disipadas serán:

$$P27 = 8.89 \times 6.6^2 = 387.25 \text{ Watts}$$

$$P09 = 13.45 \times 6.6^2 = 585.88 \text{ Watts}$$

Las cargas reales de cada circuito serán:

$$C27 = 9000 + 387.27$$

$$= 9387.27$$

$$C05 = 9000 + 585.88$$

$$= 9585.88 \text{ Watts.}$$

Los voltajes de operación de cada circuito serán los siguientes:

C27:

$$\text{Carga} = 9387.27$$

De la fórmula

$$P = V27 I \text{ Cos } \phi$$

Se despeja

$$V27 = \frac{P}{I \text{ Cos } \phi}$$

El  $\cos \phi$  lo señalan las gráficas del fabricante en relación con la carga, por lo que para este caso:

$$\begin{aligned} \text{Carga \%} &= \frac{9387.27}{10000} \times 100 \\ &= 93.87 \% \end{aligned}$$

Por lo tanto para este valor de carga, el  $\cos \phi = .95$

El voltaje de C27 será:

$$\begin{aligned} V_{27} &= \frac{9387.27}{6.6 \times 0.95} \\ &= 1497.16 \text{ Volts} \end{aligned}$$

y para el C09 será:

$$\begin{aligned} \text{Carga} &= 9585.27 \\ \text{Carga \%} &= \frac{9585.88}{10000} \times 100 \\ &= 95.86 \% \end{aligned}$$

Por lo tanto para este valor de carga, el  $\cos \phi = 0.96$

El voltaje para C09 será:

$$\begin{aligned} V_{09} &= \frac{9585.88}{6.6 \times 0.96} \\ &= 1512.91 \text{ Volts} \end{aligned}$$

Las eficiencias para un mismo regulador serán:

Para C27, con 93.87 % de carga; E = 94 %

Para C09, con 95.86 % de carga; E = 95 %

#### 4.- ALUMBRADO PARA CONOS DE VIENTOS.

Las luces de los conos de vientos se alimentarán a un circuito cada uno y tendrán la siguiente carga:



C27            4 Luces PS-30 bulbo claro  
                   1 Luz FAA-L-810  
 Total        5 Luces

C09            4 Luces PS-30 Bulbo claro  
                   1 Luz FAA-L-810  
 Total        5 Luces

Las cargas serán entonces:

$$C 27 = 4 \times 200 = 800 \text{ Watts.}$$

$$1 \times 100 = \underline{100} \text{ Watts}$$

$$\text{Total} \quad 900 \text{ Watts}$$

$$C09 = 4 \times 200 = 800 \text{ Watts.}$$

$$1 \times 100 = \underline{100} \text{ Watts}$$

$$\text{Total} \quad 900 \text{ Watts.}$$

El conductor alimentador será cable calibre # 10 A.W.G., para 600 Volts, el cual tiene una resistencia de 3.39 ohm/km a 20° C.

Por análisis de las curvas isotermas de la zona, se estimó conveniente corregir el valor de la resistencia ohmica por temperatura; por lo tanto se tiene:

$$R_2 = R_1 ( 1 + (T_2 - T_1) )$$

Sustituyendo valores:

$$R_2 = 3.28 ( 1 + 0.0038 (39 - 20) )$$

$$= 3.28 ( 1.0722 )$$

$$= 3.52 \text{ Ohms/km.}$$

Aplicando este valor y tomando en consideración la longitud del alimentador se determinan las caídas de voltaje en el cable de la siguiente manera:

$$V = I R$$

La longitud del C27 =  $930 \times 2 = 1860$  M.

longitud del C09 =  $1800 \times 2 = 3600$  M.

De donde

$$RT27 = 3.52 (1.86)$$

$$= 6.54 \text{ Ohms}$$

$$RT09 = 3.52 (3.6)$$

$$= 12.67 \text{ Ohms}$$

La caída de voltaje serán:

$$V27 = I R$$

Si  $I = 7.09$  Amp.

$$V27 = 7.09 \times 6.54$$

$$= 46.37 \text{ Volts}$$

$$V09 = 7.09 \times 12.67$$

$$= 89.83 \text{ Volts}$$

La salida en los transformadores para alimentación a conos de vientos serán:

$$Vs27 = 120 + 46.37$$

$$= 166.37 \text{ Volts}$$

$$Vs09 = 120 + 89.83$$

$$= 209.83 \text{ Volts}$$

5.- EQUIPO REIL

Los equipos REIL'S se alimentarán a un circuito cada uno.

DATOS:

Cabeceras 09 - 27

$I_n = 3$  Amp.

$V_n = 220$  Volts

$L_{09} =$

$L_{27} =$

Conductores alimentadores serán cable calibre # 10 A.W.G., para 600 Volts, los cuales tienen una resistencia de 3.28 ohms/km. a 20°C, y con una resistencia corregida por temperatura de 3.52 ohms/km (ver cálculo de resistencia por corrección de temperatura en alumbrado para cono de vientos, inciso 4).

Aplicando este valor y tomando en consideración la longitud de los alimentadores, se determina la caída de tensión en el cable de las siguientes maneras:

$$V = R I^2$$

La longitud del C27 = 1250

Longitud del C09 = 2300 M.

De donde:

$$\begin{aligned} R_{t27} &= 3.52 \times 1.25 \times 2 \\ &= 8.8 \text{ Ohms.} \end{aligned}$$

$$R_{t09} = 3.52 \times 2.3 \times 2$$

$$= 16.19 \text{ Ohms}$$

Por lo tanto las caídas de voltaje serán:

$$V_{27} = 8.8 \times 3$$

$$= 26.40 \text{ Volts}$$

$$V_{09} = 16.19$$

$$= 48.57 \text{ Volts}$$

La selección de los Tap's en el auto transformador

$$E_{27} = 220 + 26.40$$

$$= 246.40 \text{ Volts}$$

$$E_{09} = 220 + 48.57$$

$$= 268.57 \text{ Volts}$$

Dados estos valores, el diseño del autotransformador deberán operar con los siguientes voltajes:

$$V \text{ entrada } 220 \pm 10 \%$$

$$V \text{ salida } 280, 260, 240, 230 \text{ Volts}$$

La selección de voltaje en los equipos REIL se obtienen entonces de:

$$\text{Reil } 27 = 260 - 27 = 233 \text{ Volts}$$

$$\text{Reil } 09 = 280 - 49 = 231 \text{ Volts}$$

## 6.- LUCES DE APROXIMACION

Las luces de aproximación se alimentarán a dos circuitos que tendrán las siguientes cargas:

- C1      6 Luces de umbral unidireccional L-850B, filtro verde
- 5 Luces de proyección unidireccional L-850B, filtro claro
- 78 Luces de proyección, elevadas L-982, filtro claro
- 89 Luces de 200 Watts.

C2	10	Luces de barra de ala L-982, filtro verde
	10	Luces de proyección L-850-B, filtro claro
	<u>73</u>	Luces de proyección L-982, filtro claro
	93	Luces de 200 Watts.

Se estima una pérdida de 50 Watts, por unidad y en estas condiciones la carga será:

$$C1.- 89 \times 250 = 22250 \text{ Watts.}$$

$$C2.- 93 \times 250 = 23250 \text{ Watts.}$$

Los alimentadores serán cable calibre # 8 A.W.G., para 5000 Volts, con una resistencia de 2.13 ohms/km a 20° C y con una resistencia corregida por temperatura de 2.28 ohms/km. (Ver cálculo de resistencia por temperatura en borde de pista, inciso 1).

Tomando este valor y considerando la longitud de los alimentadores, se determinan las pérdidas de energía en el cable mediante la expresión:

$$P = R I^2$$

$$\text{Longitud Cto. 1} = 4800 \text{ M.}$$

$$\text{Longitud Cto. 2} = 4800 \text{ M.}$$

$$R_{t1} = 2.28 \times 4.8$$

$$= 10.94 \text{ ohms}$$

$$R_{t2} = 2.28 \times 4.8$$

$$= 10.94 \text{ ohms}$$

La potencia disipada será:

$$P_{c1} = 10.94 \times (6.6)^2$$

$$= 476.55 \text{ Watts.}$$

Por lo tanto las cargas efectivas de cada circuito serán:

$$C1 = 22250 + 476.55$$

$$= 22726.55 \text{ Watts}$$

$$C2 = 23250 + 476.55$$

$$= 23726.55 \text{ Watts}$$

Los voltajes de operación de cada circuito serán los siguientes:

Círculo 1

$$\text{Carga} = 22726.55 \text{ Watts}$$

El voltaje se estima de la expresión

$$P = V1 I \text{ Cos } \phi$$

$$V1 = \frac{P}{I \text{ Cos } \phi}$$

El  $\text{cos } \phi$ , esta en función del porcentaje de la carga de cada regulador y esta dado en la gráfica del fabricante.

$$\% \text{ carga} = \frac{\text{CARGA EFECTIVA}}{\text{POTENCIA DEL REGULADOR}} \times 100$$

El % de carga de cada regulador es:

$$\% \text{ carga} = \frac{22726.55}{30000} \times 100$$

$$= 75.75 \%$$

Para este valor, el F.p. es de 0.93

Por lo tanto

$$V1 = \frac{22726.55}{6.6 \times 0.93}$$

$$= 3702.60$$

y para el circuito 2

$$\text{Carga} = 23726.55$$

El voltaje se obtiene de manera similar que en el circuito 1; entonces

$$P = V2 I \text{ Cos } \phi$$

$$V2 = \frac{P}{I \text{ Cos } \phi}$$

$$\% \text{ Carga} = \frac{23726.55}{30000} \times 100$$

$$= 79.09 \%$$

Para este valor, el f.p. es 0.94

Por lo tanto

$$V2 = \frac{23726.55}{6.6 \times 0.94}$$

$$= 3824.40 \text{ Volts}$$

Las eficiencias estan dadas en las gráficas del fabricante (SEPCO)

Para el regulador de C1 con 75.75 % de carga; E = 93 %

Para el regulador de C2 con 79.09 % de carga; E = 94 %

7.- LUCES DE EJE DE PISTA.

Las luces de eje de pista se alimentarán a dos circuitos que tendrán cada uno la siguiente carga:

	73	Luces de eje unidireccional L-850A, lente claro
C1	<u>10</u>	Luces de eje unidireccional L-850A, lente rojo
Total	83	Luces
	52	Luces de eje unidireccional L-850A, lente claro
C2	<u>30</u>	Luces de eje unidireccional L-850A, lente rojo
Total	82	Luces

Las cargas serán entonces:

	73 x 250 =	18 250 Watts
C1	10 x 250 =	<u>2 500 Watts</u>
	Total	20 750 Watts
	52 x 250 =	13 000 Watts
C2	30 x 250 =	<u>7 500 Watts</u>
	Total	20 500 Watts

El conductor alimentador será cable calibre # 8 A.W.G., para 5000 Volts., el cual tiene una resistencia de 2.13 ohms/km. a 20°C y una resistencia corregida por temperatura de 2.28 /km (Ver cálculo de resistencia por temperatura en borde de pista inciso 1).

Aplicando este valor y tomando en consideración la longitud del alimentador se determinan las pérdidas en el cable de la siguiente manera:

$$P = R I^2$$

Longitud del C1 = 6250 m.

Longitud del C2 = 6250 m.

$$\begin{aligned} R_{tc1} &= 2.28 \times 6.25 \\ &= 14.25 \text{ ohms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{tc2} &= 2.28 \times 6.25 \\ &= 14.25 \text{ Ohms} \end{aligned}$$

Por lo tanto las potencias disipadas serán:

$$\begin{aligned} P_{c1} &= 14.25 (6.6)^2 \\ &= 620.73 \text{ Watts} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{c2} &= 14.25 (6.6)^2 \\ &= 620.73 \text{ Watts.} \end{aligned}$$

Las cargas reales de los circuitos serán:

$$\begin{aligned} P_{tc1} &= 20750 + 620.73 \\ &= 21370.73 \text{ Watts.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{tc2} &= 20500 + 620.73 \\ &= 21120.73 \text{ Watts.} \end{aligned}$$

Los voltajes de operación de los circuitos serán los siguientes:

Circuito 1



$$\text{Carga} = 21370.73$$

De la fórmula

$$P = V_1 I \cos \phi$$

Se despeja  $V_1$

$$V_1 = \frac{P}{I \cos \phi}$$

El  $\cos. \phi$  lo señalan las gráficas del fabricante en relación con la carga por lo que para este caso:

$$\begin{aligned} \text{Carga \%} &= \frac{21370.73}{30000} \times 100 \\ &= 71.23 \% \end{aligned}$$

Por lo tanto para este valor de carga el  $\cos \phi = 0.93$

El voltaje del circuito será:

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{21370.73}{6.6 \times 0.93} \\ &= 3481.69 \text{ Volts} \end{aligned}$$

Para el circuito 2 será:

$$\begin{aligned} \text{Carga} &= 21120.73 \\ \text{Carga \%} &= \frac{21120.73}{30000} \times 100 \\ &= 70.40 \% \end{aligned}$$

Por lo tanto para este valor de carga, el  $\cos \phi = 0.93$

El voltaje del circuito será:

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{21120.73}{6.6 \times 0.93} \\ V_2 &= 3440.96 \end{aligned}$$

La eficiencia de los reguladores serán:

Para C1, con 71.23 % de carga; E = 93

Para C2, con 70.40 % de carga; E = 93

### 8.- LUCES DE EJE DE RODAJE Y BARRAS DE PARADA

Las luces de eje de rodaje se alimentarán a un circuito por eje de rodaje y las barras de parada se alimentarán a doble circuito por barra y tendrán las siguientes cargas:

- Cr1.- 46 Luces unidireccionales L-852-III lente verde
- Cr2.- 45 Luces unidireccionales L-852-III lente verde
- Cb1 6 Luces unidireccionales L-852-III lente rojo
- Cb2 6 Luces unidireccionales L-852-III lente rojo

Las cargas serán entonces:

- Cr1 = 46 x 80
- = 3680 Watts
- Cr2 = 45 x 80
- = 3600 Watts
- Cb1 = 6 x 80
- = 480 Watts
- Cb2 = 6 x 80
- = 480 Watts.

El conductor alimentador será cable calibre # 8 A.W.G., para 5000 Volts, el cual tiene una resistencia de 2.13 ohms/km, a 20°C., y una resistencia corregida por temperatura de 2.28 /km. (ver cálculo de resistencia por temperatura en borde de pista, inciso 1).

Aplicando este valor y tomando en consideración la longitud del alimentador, se determinan las pérdidas en el cable de la siguiente manera:

$$P = R I^2$$

Longitud del Cr1 = 4650 m.

Longitud del Cr2 = 2900 m.

Longitud del Cb1 = 9300 m.

Longitud del Cb2 = 5000 m.

$$R_{cr1} = 2.28 \times 4.65 = 10.60 \text{ ohms}$$

$$R_{cr2} = 2.28 \times 2.9 = 6.61 \text{ ohms}$$

$$R_{cb1} = 2.28 \times 9.3 = 21.20 \text{ ohms}$$

$$R_{cb2} = 2.28 \times 5.0 = 11.40 \text{ ohms}$$

Por lo tanto las potencias disipadas serán:

$$P_{cr1} = 10.60 \times (6.6)^2 = 461.73 \text{ ohms}$$

$$P_{cr2} = 6.61 (6.6)^2 = 287.93 \text{ ohms}$$

$$P_{cb1} = 21.20 (6.6)^2 = 923.47 \text{ ohms}$$

$$P_{cb2} = 11.40 (6.6)^2 = 496.58 \text{ ohms}$$

Las cargas reales de los circuitos serán:

$$P_{r1} = 3680 + 461.73 = 4142 \text{ Watts}$$

$$P_{r2} = 3600 + 288 = 3888 \text{ Watts}$$

$$P_{b1} = 480 + 924 = 1404 \text{ Watts}$$

$$P_{b2} = 480 + 497 = 977 \text{ Watts}$$

Los voltajes de operación serán los siguientes:

Como el regulador trabajará en forma alternada o simultánea

$$Cr1 + Cr2 + Cb1 = Ct1$$

$$Cr1 + Cr2 + Cb2 = Ct2$$

Para Ct1

$$\text{Carga} = 9434 \text{ Watts.}$$

De la fórmula

$$P = Vt1 I \text{ Cos } \phi$$

Se despeja Vt1

$$Vt1 = \frac{P}{I \text{ Cos } \phi}$$

Como el cos  $\phi$  lo señalan las gráficas del fabricante en relación con la carga por lo que para este caso:

$$\begin{aligned} \text{Carga \%} &= \frac{9434}{10000} \times 100 \\ &= 94.34 \% \end{aligned}$$

Por lo tanto para este valor de carga el cos  $\phi = .94$

El voltaje del circuito será

$$\begin{aligned} Vt1 &= \frac{9434}{6.6 \times .94} \\ &= 1520.62 \text{ Volts} \end{aligned}$$

Para Ct2

$$\text{Carga} = 9007 \text{ Watts}$$

$$\begin{aligned} \text{Carga \%} &= \frac{9007}{10000} \times 100 \\ &= 90.07 \% \end{aligned}$$

Para este valor de carga, el cos  $\phi = 0.94$

El voltaje del circuito será:

$$Vt2 = \frac{9007}{6.6 \times 0.94}$$

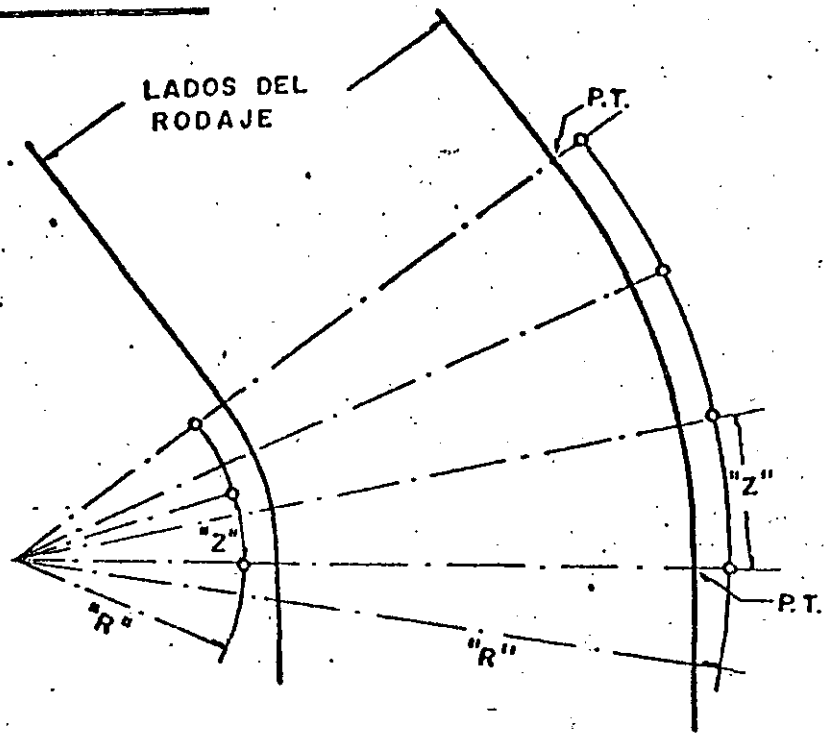
= 1451.79 Volts

La eficiencia del regulador será:

Para Ct1, con 94.34 % de carga; E = 94

Para Ct2, con 90.07 % de carga; E = 94

$$L_c = 0.01745 \cdot R(m) \cdot \text{Angulo} (^\circ) \text{---(m)}$$



RADIO "R" DE LA CURVA EN MTS. Y PIES	DIMENSION "Z" EN MTS. Y PIES	RADIO "R" DE LA CURVA EN MTS. Y PIES	DIMENSION "Z" EN MTS. Y PIES
4.57 — 15	6.10 — 20	91.44 — 300	24.38 — 80
7.62 — 25	8.23 — 27	121.92 — 400	28.96 — 95
15.24 — 50	10.67 — 35	152.40 — 500	33.53 — 110
22.86 — 75	12.19 — 40	182.88 — 600	39.62 — 130
30.48 — 100	15.24 — 50	213.36 — 700	44.19 — 145
45.72 — 150	16.76 — 55	243.84 — 800	50.29 — 165
60.96 — 200	18.29 — 60	274.32 — 900	56.39 — 185
76.20 — 250	21.34 — 70	304.80 — 1000	60.96 — 200

NOTA— 1.- PARA RADIOS NO ENLISTADOS, DETERMINE LA DISTRIBUCIÓN "Z" POR INTERPOLACION  
 2.- "Z" ES LA LONGITUD DE LA CUERDA  
 3.- LUCES UNIFORMEMENTE ESPACIADAS EN BORDES CURVOS. NO EXCEDIENDO LOS VALORES DE LA TABULACION DE ARRIBA, EN BORDES CURVADOS DE MAS DE 30° DE ARCO, NO INSTALE MENOS DE CUATRO LAMPARAS INCLUYENDO LAS DEL PT.

DISTRIBUCION DE LUCES EN BORDES DE RODAJE EN CURVA

CALCULO DE DISTRIBUCION DE LAMPARAS  
 EN CURVAS DE PISTAS, RODAJES Y PLATA-  
 FORMAS.

116

AEROPUERTO:  
 TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.

CURVA:  
 A, B(int).

Curva A ; R = 22 (m) = 72.18 (ft) ; Angulo = 90°

Según tabla FAA: ( AC 150/5340 - 15 B Apéndice 2 página 5 )

Para R = 50 (ft) ; Z = 35 (ft) ----- (2)

Para R = 75 (ft) ; Z = 40 (ft)

Variación 25 ((2)) ; 5 ((3))

Por lo tanto para R = 22.18 ft, la variación será:

$$\frac{((2))}{((3))} = \frac{R}{X} ; \frac{25}{5} = \frac{22.18}{X} \therefore X = 4.44 \text{ ft.} \text{----- (4)}$$

entonces para R = 72.18 ft; Z = ((1)) + ((4)) = 39.44 (ft) ----- (5)

Para determinar el número de espacios en la curva:

L = 0.01745 . R (m) . Angulo (°) ----- (m)

$$L = 0.01745 \times \frac{22}{1} \times \frac{90}{1} = \frac{34.55}{1} \text{ m} = \frac{113.35}{3} \text{ (ft)} \text{----- (6)}$$

$$\text{entonces } E = \frac{L}{Z} = \frac{((6))}{((5))} = \frac{113.35}{39.44} = 2.87 \text{ espacios}$$

( Si el resultado es fraccionario y no excede de 0.3, se empleará el número inmediato inferior; si excede este valor, se empleará el número inmediato superior).

E = 3 espacios

E = 11.45 (m)

CALCULO DE DISTRIBUCION DE LAMPARAS

AEROPUERTO:  
TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.

EN CURVAS DE PISTAS, RODAJES Y PLATA- 117

CURVA:  
B (ext).

FORMAS.

Curva B ; R = 51 (m) = 167.32(ft) ; Angulo = 90° 0

Según tabla FAA: ( AC 150/5340 - 15 B Apéndice 2 . página 5)

Para R = 150 (ft) ; Z = 55 (ft) ----- ((1))

Para R = 200 (ft) ; Z = 60 (ft)

Variación 50 ((2)) ; 5 ((3))

Por lo tanto para R = 17.32 ft, la variación será:

$$\frac{((2))}{((3))} = \frac{R}{X} ; \frac{50}{5} = \frac{17.32}{X} \therefore X = 1.73 \text{ ft.} \text{-----} ((4))$$

entonces para R = 167.32ft; Z = ((1)) + ((4)) = 56.73 ( ft ) ----- ((5))

Para determinar el número de espacios en la curva:

$$L = 0.01745 \cdot R \text{ (m)} \cdot \text{Angulo } (^\circ) \text{----- (m)}$$

$$L = 0.01745 \times \frac{51}{1} \times \frac{90}{1} = \frac{80.10}{1} \text{ m} = \frac{262.79}{3} \text{ (ft)} \text{-----} ((6))$$

$$\text{entonces } E = \frac{L}{Z} = \frac{((6))}{((5))} = \frac{262.79}{56.73} = 4.63 \text{ espacios}$$

( Si el resultado es fraccionario y no excede de 0.3, se empleará el número inmediato inferior; si excede este valor, se empleará el número inmediato superior).

E = 5 espacios

E = 16.02 (m)



CALCULO DE DISTRIBUCION DE LAMPARAS

118

EN CURVAS DE PISTAS, RODAJES Y PLATA-

FORMAS.

AEROPUERTO:

TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.

CURVA:

C (INTERIOR)

Curva C ; R = 17.00 (m) = 55.77 (ft) ; Angulo = 90°

Según tabla FAA: ( AC 150/5340 - 15 B Apéndice 2 página 5)

Para R = 50 (ft) ; Z = 35 (ft) ----- ((1))

Para R = 75 (ft) ; Z = 40 (ft)

Variación 25 ((2)) ; 5 ((3))

Por lo tanto para R = 5.77 ft, la variación será:

$$\frac{((2))}{((3))} = \frac{R}{X} ; \frac{25}{5} = \frac{5.77}{X} \therefore X = 1.15 \text{ ft.} \text{-----} ((4))$$

entonces para R = 55.77 ft; Z = ((1)) + ((4)) = 36.15 (ft) -----

Para determinar el número de espacios en la curva:

L = 0.01745 . R (m) , Angulo (°) ----- (m)

L = 0.01745 x 17 x 90° = 26.70 m = 87.60 (ft) ----- ((5))

entonces E =  $\frac{L}{Z} = \frac{((6))}{((5))} = \frac{87.60}{36.15} = \underline{2.42}$  espacios.

( Si el resultado es fraccionario y no excede de 0.3, se empleará el número inmediato inferior; si excede este valor, se empleará el número inmediato superior).

E = 3 espacios

E = 8.90 (ft)

EN CURVAS DE PISTAS, RODAJES Y PLATA-

FORMAS.

CURVA:  
C ( EXT. )

Curva C ; R = 46 (m) = 150.92 (ft) ; Angulo = 78° o

Según tabla FAA: ( AC 150/5340 - 15 B Apéndice 2 página 5 )

Para R = 150 (ft) ; Z = 55 (ft) ----- ((1))

Para R = 200 (ft) ; Z = 60 (ft)

Variación 50 ((2)) ; 5 ((3))

Por lo tanto para R = 150.92 ft, la variación será:

$$\frac{((2))}{((3))} = \frac{R}{X} ; \frac{50}{5} = \frac{0.92}{X} \therefore X = 0.09 \text{ ft.} \text{-----} ((4))$$

entonces para R = 150.92ft; Z = ((1)) + ((4)) = 55.09 ft ) ----- ((5))

Para determinar el número de espacios en la curva:

$$L = 0.01745 \cdot R \text{ (m)} \cdot \text{Angulo (}^\circ\text{)} \text{----- (m)}$$

$$L = 0.01745 \times \frac{46}{1} \times \frac{78}{1} = \frac{62.61}{1} \text{ m} = \frac{205.41}{3.28} \text{ (ft)} \text{-----} ((6))$$

$$\text{entonces } E = \frac{L}{Z} = \frac{((6))}{((5))} = \frac{205.41}{55.09} = \frac{3.73}{1} \text{ espacios}$$

( Si el resultado es fraccionario y no excede de 0.3, se empleará el número inmediato inferior; si excede este valor, se empleará el número inmediato superior).

E = 4 espacios

E = 15.65 (m)

CALCULO DE DISTRIBUCION DE LAMPARAS

AEROPUERTO:  
TUXTLA GUTIERREZ? CHIS.

120

EN CURVAS DE PISTAS, RODAJES Y PLATA-

CURVA:  
D.

FORMAS.

Curva D ; R = 7.50 (m) = 24.61 (ft) ; Angulo = 90 °

Según tabla FAA: ( AC 150/5340 - 15 B Apéndice 2 página 5)

Para R = 15 (ft) ; Z = 20 (ft) ----- ((1))

Para R = 25 (ft) ; Z = 27 (ft)

Variación 10 ((2)) ; 7 ((3))

Por lo tanto para R = 9.61 ft, la variación será:

$$\frac{((2))}{((3))} = \frac{R}{X} ; \frac{10}{7} = \frac{9.61}{X} \therefore X = 6.73 \text{ ft.} \text{-----} ((4))$$

entonces para R = 24.61 ft; Z = ((1)) + ((4)) = 26.73 (ft) ----- ((5))

Para determinar el número de espacios en la curva:

$$L = 0.01745 \cdot R \text{ (m)} \cdot \text{Angulo (}^\circ\text{)} \text{----- (m)}$$

$$L = 0.01745 \times \frac{7.50}{1} \times 90 = 11.77 \text{ m} = 38.62 \text{ (ft)} \text{-----} ((6))$$

$$\text{entonces } E = \frac{L}{Z} = \frac{((6))}{((5))} = \frac{38.62}{26.73} = 1.44 \text{ espacios}$$

( Si el resultado es fraccionario y no excede de 0.3, se empleará el número inmediato inferior; si excede este valor, se empleará el número inmediato superior).

E = 2 espacios

E = 5.89 (m)

EN CURVAS DE PISTAS, RODAJES Y PLATAFORMAS

FORMAS.

CURVA:  
E y H

Curva E ; R = 22 (m) = 72.18 (ft); Angulo = 78 °

Según tabla FAA: ( AC 150/5340 - 15 B Apéndice 2 página 5)

Para R = 50 (ft) ; Z = 35 (ft) ----- ((2))

Para R = 75 (ft) ; Z = 40 (ft)

Variación 25 ((2)); 5 ((3))

Por lo tanto para R = 22.18 ft, la variación será:

$$\frac{((2))}{((3))} = \frac{R}{X} ; \frac{25}{5} = \frac{22.18}{X} \therefore X = 4.44 \text{ ft.} \text{-----} ((4))$$

entonces para R = 72.18ft; Z = ((1)) + ((4)) = 39.44 (ft) ----- ((5))

Para determinar el número de espacios en la curva:

$$L = 0.01745 \cdot R \text{ (m)} \cdot \text{Angulo } (^\circ) \text{----- (m)}$$

$$L = 0.01745 \times \frac{22}{1} \times \frac{78}{1} = \frac{29.94}{1} \text{ m} = \frac{98.23}{1} \text{ (ft)} \text{-----} ((6))$$

entonces 
$$E = \frac{L}{Z} = \frac{((6))}{((5))} = \frac{98.23}{39.44} = 2.49 \text{ espacios}$$

( Si el resultado es fraccionario y no excede de 0.3, se empleará el número inmediato inferior; si excede este valor, se empleará el número inmediato superior).

E = 3 espacios

E = 9.98 (ft)

CALCULO DE DISTRIBUCION DE LAMPARAS

AEROPUERTO:

EN CURVAS DE PISTAS, RODAJES Y PLATA - 122

TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.

FORMAS.

CURVA:

F y G

Curva F ; R = 12 (m) = 39.37 (ft) ; Angulo = 90° 0

Según tabla FAA: ( AC 150/5340 - 15 B Apéndice 2 página 5 )

Para R = 25 (ft) ; Z = 27 (ft) ----- ((1))

Para R = 50 (ft) ; Z = 35 (ft)

Variación 25 ((2)) ; 8 ((3))

Por lo tanto para R = 14.37 ft, la variación será:

$$\frac{((2))}{((3))} = \frac{R}{X} ; \frac{25}{8} = \frac{14.37}{X} \therefore X = 4.60 \text{ ft.} \text{-----} ((4))$$

entonces para R = 39.37 ft; Z = ((1)) + ((4)) = 31.60 ft )----- ((5))

Para determinar el número de espacios en la curva:

L = 0.01745 . R (m) . Angulo (°) ----- (m)

L = 0.01745 x 12 x 90 = 18.85 m = 61.84 (ft)----- ((6))

entonces E =  $\frac{L}{Z} = \frac{((6))}{((5))} = \frac{61.84}{31.60} = 1.96$  espacios

( Si el resultado es fraccionario y no excede de 0.3, se empleará el número inmediato inferior; si excede este valor, se empleará el número inmediato superior).

E = 2 espacios

E = 9.42 (m)

CALCULO DE DISTRIBUCION DE LAMPARAS  
 EN CURVAS DE PISTAS, RODAJES Y PLATA-  
 FORMAS.

123

AEROPUERTO:  
 TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.

CURVA:  
 I (INTERIOR)

Curva I ; R = 57 (m) = 187.00 (ft); Angulo = 60 °

Según tabla FAA: ( AC 150/5340 - 15 B Apéndice 2 . página 5 )

Para R = 150 (ft) ; Z = 55 (ft) ----- (1)

Para R = 200 (ft) ; Z = 60 (ft)

Variación 50 ((2)); 5 ((3))

Por lo tanto para R = 37.00 ft, la variación será:

$$\frac{((2))}{((3))} = \frac{R}{X} ; \frac{50}{5} = \frac{37}{X} \therefore x = 3.7 \text{ ft.} \text{-----} ((4))$$

entonces para R = 187.00ft; Z = ((1)) + ((4)) = 58.7 ( ft ) ----- (5)

Para determinar el número de espacios en la curva:

L = 0.01745 . R (m) . Angulo (°) ----- (m)

$$L = 0.01745 \times \frac{57}{1} \times \frac{60}{1} = \frac{59.68}{1} \text{ m} = \frac{195.80}{1} \text{ (ft)} \text{-----} ((6))$$

$$\text{entonces } E = \frac{L}{Z} = \frac{((6))}{((5))} = \frac{195.80}{58.7} = \frac{3.33}{1} \text{ espacios}$$

( Si el resultado es fraccionario y no excede de 0.3, se empleará el número inmediato inferior; si excede este valor, se empleará el número inmediato superior).

E = 4 espacios

E = 14.92 (m)

CALCULO DE DISTRIBUCION DE LAMPARAS -

124

AEROPUERTO:  
TUXTLA GUTIERREZ,  
CHIS.

EN CURVAS DE PISTAS, RODAJES Y PLATA -

CURVA: I (Ext.)

FORMAS

Curva I; R = 86 (m) = 282.15 (ft); Angulo = 48 °

Según tabla FAA: (AC 150/5340 - 15 B Apéndice 2 página 5)

Para R = 250 (ft); Z = 70 (ft) ----- ((1))

Para R = 300 (ft); Z = 80 (ft)

Variación 50 ((2)); 10 ((3))

Por lo tanto para R = 32.15 ft, la variación será:

$\frac{((2))}{((3))} = \frac{R}{X}$ ;  $\frac{50}{10} = \frac{32.15}{X}$  ∴ x = 6.43 ft. ----- ((4))

entonces para R = 282.15 ft; Z = ((1)) + ((4)) = 76.43 (ft) ----- ((5))

Para determinar el número de espacios en la curva:

$L = 0.01745 \cdot R \cdot \text{Angulo } (^\circ)$  ----- (m)

$L = 0.01745 \times 86 \times 48 = 73.0336$  m = 239.61 (ft) ----- ((6))

entonces  $E = \frac{L}{Z} = \frac{((6))}{((5))} = \frac{236.2702}{76.46} = 3.28$  espacios

( Si el resultado es fraccionario y no excede de 0.3, se empleará el número inmediato inferior; si excede este valor, se empleará el número inmediato superior.)

E = 3 espacios

E = 24.3445 (m)

EN CURVAS DE PISTAS, RODAJES Y PLATA-  
FORMAS.

CURVA:  
J.

Curva J ; R = 7 (m) = 22.97 (ft) ; Angulo = 150° o

Según tabla FAA: ( AC 150/5340 - 15 B Apéndice.2 página 5)

Para R = 15 (ft) ; Z = 20 (ft) ----- ((1))

Para R = 25 (ft) ; Z = 27 (ft)

Variación 10 ((2)) ; 7 ((3))

Por lo tanto para R = 7.97 ft, la variación será:

$$\frac{((2))}{((3))} = \frac{R}{X} ; \frac{10}{7} = \frac{7.97}{X} \therefore X = 5.58 \text{ ft.} \text{-----} ((4))$$

entonces para R = 22.97ft; Z = ((1)) + ((4)) = 25.58 (ft) ----- ((5))

Para determinar el número de espacios en la curva:

L = 0.01745 . R (m) . Angulo (°) ----- (m)

L = 0.01745 x 7.1 x 150° = 18.32 m = 60.10 (ft) ----- ((6))

entonces E =  $\frac{L}{Z} = \frac{((6))}{((5))} = \frac{60.10}{25.58} = 2.35$  espacios

( Si el resultado es fraccionario y no excede de 0.3, se empleará el número inmediato inferior; si excede este valor, se empleará el número inmediato superior).

E = 3 espacios

E = 6.10 ((7))



CALCULO DE DISTRIBUCION DE LAMPARAS

126

126

AEROPUERTO:  
TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.

CURVA:  
K

EN CURVAS DE PISTAS, RODAJES Y PLATAFORMAS.

Curva K ; R = 197 (m) = 646.32 (ft) ; Angulo = 30° 0

Según tabla FAA: ( AC 150/5340 - 15 B Apéndice 2 . página 5 )

Para R = 600 (ft) ; Z = 130 (ft) ----- (1)

Para R = 700 (ft) ; Z = 145 (ft)

Variación 100 ((2)) ; 15 ((3))

Por lo tanto para R = 46.32 ft, la variación será:

$$\frac{((2))}{((3))} = \frac{R}{X} ; \frac{100}{15} = \frac{46.32}{X} \therefore X = 6.95 \text{ ft.} \text{-----} ((4))$$

entonces para R = 646.32ft; Z = ((1)) + ((4)) = 136.95 ft ) ----- (5)

Para determinar el número de espacios en la curva:

L = 0.01745 . R (m) . Angulo (°) ----- (m)

$$L = 0.01745 \times \frac{197}{1} \times \frac{30}{1} = \frac{103.13}{1} \text{ m} = \frac{338.35}{1} \text{ (ft)} \text{-----} ((6))$$

$$\text{entonces } E = \frac{L}{Z} = \frac{((6))}{((5))} = \frac{338.35}{136.95} = 2.47 \text{ espacios}$$

( Si el resultado es fraccionario y no excede de 0.3, se empleará el número inmediato inferior; si excede este valor, se empleará el número inmediato superior).

E = 3 espacios

E = 34.37 (m)

"NORMAS PARTICULARES"

## SEÑALAMIENTO LUMINOSO DE PISTAS, CALLES DE RODAJE, PLATAFORMAS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS

( N.P. ) NORMAS PARTICULARES

### NORMAS GENERALES DE CONSTRUCCION

N.P. 1

La ejecución de las obras se sujetará en todo a las NORMAS Generales de Construcción de la Secretaría, en cuanto no contravenga al Proyecto y/o a los demás anexos del Pliego de Requisitos y/o a estas NORMAS Complementarias las que rigen exclusivamente para esta obra. Si hubiera discrepancia entre lo indicado en el proyecto y lo estipulado en estas NORMAS Complementarias regirá lo asentado en estas últimas.

N.P. 2

### NORMAS DE MATERIALES Y MARCAS

Los materiales que se utilicen en la ejecución de las obras deberán cumplir en general con lo que corresponda aplicar de las normas de materiales señalados en la Parte Octava y tendrán las características indicadas en la Parte Décima de las NORMAS Generales de Construcción, excepto en los casos en que las características de los materiales estén señaladas expresamente en el proyecto y/o en estas NORMAS Complementarias.

De aquellos materiales no comprendidos en las Partes Octava y Décima de las NORMAS Generales de Construcción, se ha indicado la marca a fin de que el Concursante norme su criterio acerca de proponer alguna otra marca diferente a la indicada, siempre y cuando la calidad que ofrezca sea, a juicio de la Secretaría, igual a la de la marca señalada. En caso de que la Secretaría no acepte las marcas propuestas, por considerar que la calidad de los materiales no es similar a la exigida, el Contratista estará obligado a utilizar los materiales de la marca señalada en el proyecto y/o en estas NORMAS Complementarias, sin que esto sea motivo para modificar los precios unitarios propuestos por el Contratista en la Relación Forma E - 9.

N.P. 3

### LIMPIEZA

El proponente deberá considerar la limpieza en sus análisis de precios unitarios para los diferentes conceptos de obra, ductos, registros,

cimientos-registros, etc., ya sea que se trate de obra nueva o rehabilitación de instalaciones existentes.

NP 4 COMPENSACION AL CONTRATISTA.

En la Relación (Forma -9), se ha anotado para cada concepto la unidad que servirá de base para la medición del trabajo ejecutado. En todos los casos los precios unitarios que se propongan deberán incluir los materiales, equipo, herramientas, mano de obra, y todo lo que directa o indirectamente se requiera para la conexión y prueba de equipos, que correspondan a la unidad de obra terminada.

NP 5 CONDUCTORES ELECTRICOS.

**EJECUCION:**

Los conductores eléctricos que se empleen en las instalaciones objeto de este concurso, deberán incluir todo lo que corresponda de los capítulos CII, CXXXI y CLXI de las Partes Octava, Décima y Undécima respectivamente de las Normas Generales de Construcción de la Secretaría.

**PRUEBAS ELECTRICAS PARA ACEPTACION DE OBRA EJECUTADA.**

Se deberán efectuar pruebas de campo a los conductores y transformadores eléctricos de los circuitos para señalamiento luminoso de pista, calles de rodaje, plataformas, equipos especiales y obras complementarias.

Estas pruebas deberán ser: De continuidad, resistencia de aislamiento y de potencial aplicado, las cuales deberán estar regidas por las normas y códigos eléctricos vigentes y el proyecto, y deberán ser ejecutadas por un laboratorio especializado de reconocido prestigio que deberá presentar a la Secretaría un reporte por escrito de los resultados.

- a) La de continuidad se deberá realizar en cuanto el circuito de que se trate, se encuentre a punto de conectarse al regulador de corriente constante. Esta prueba deberá ejecutarse con un ohmetro.
- b) La de resistencia de aislamiento se efectuará a los conductores, inmediatamente después de la de continuidad, por medio de un megger de voltaje constante ya sea moto-

rizado o electrónico, a una tensión de 2500 Volts C. D., por un tiempo de 5 minutos, tomando lecturas cada minuto.

- c) La de potencial aplicado se hará antes de que el circuito haya entrado en operación y tendrá una duración de no mas de 15 minutos con una tensión aplicada de 25 KV de C.D., tomando lecturas de corrientes de fuga cada minuto.
- d) La prueba de resistencia de aislamiento a los transformadores de corriente FAA-L-830, debe hacerse con corriente directa.

Esta prueba; al voltaje indicado, debe exceder y/o tener los siguientes valores mínimos.

DEVANADO	VOLTAJE D.C.	TRANSFORMADOR EN FRIO		TRANSFORMADOR CALIENTE	
		M	M	M	M
Secundario/	5000	750		300	
Primario	1500	2,000		750	

El voltaje de prueba debe aplicarse por un minuto entre cada devanado y tierra con la otra bobina conectada a tierra y sus conectores sumergidos en agua.

Las lecturas del aparato de prueba (cero y máxima) deben chequearse periodicamente tocando el agua con las puntas de alta tensión y suspendiéndolas en el aire, respectivamente.

Después la aguja del instrumento debe ajustarse y se deberá observar que durante la prueba, esta aguja indique una cantidad constante; es decir, que permanecerá sin registrar fluctuaciones.

Los cables se instalarán en tramos de una longitud tal, que eviten uniones o empalmes intermedios entre las unidades de iluminación, equipo de control y/o protección y la sub-estación eléctrica.

Los conductores para las unidades que van al nivel del suelo

se colocarán en las zanjas tipo y/o ductos a las profundidades indicadas en el proyecto (plano AV-01)

Todas las líneas de alimentación para los circuitos en alta tensión, estarán protegidas mediante un conductor desnudo calibre No. 8 de cobre que se instalará a lo largo de los conductores y se conectará a tierra por medio de varillas Copperweld, según se indica en el proyecto.

**MEDICION:**

La medición se hará considerando como unidad el metro de conductor colocado, de acuerdo con el tipo de conductor de que se trate, redondeando el resultado a la unidad.

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada de conductores, se hará al precio fijado en el contrato para el metro lineal de conductor colocado; este precio unitario incluye lo que corresponda por: valor de adquisición de materiales conexiones, pruebas eléctricas, cinta aislante, soldadura, fletes, maniobras, mano de obra de colocación, herramienta, equipos, etc., y todo lo necesario para dejar la instalación a satisfacción de la Secretaría.

NP 6

UNIDADES DE SEÑALAMIENTO LUMINOSO.

**EJECUCION:**

Las unidades de iluminación y lámparas para el señalamiento luminoso objeto de este concurso, se sujetarán a lo dispuesto en las circulares de la FAA Nos. 150/5345-48 CHG1, 150/5345-46 CHG2, y el Capítulo CXXIX de la Parte Décima de las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría. Estas unidades; que se enumeran a continuación, serán proporcionadas e instaladas por el Contratista, conteniendo todos sus elementos; sistemas ópticos, focos de cuarzo, lentes y/o filtros con la potencia en Watts y la codificación de colores indicados en el proyecto, respectivamente; columnas de soporte; cople frágil, bridas, empaques, tornillos, tuercas, etc.

Deberán incluir además, transformadores de aislamiento FAA-L-830 de la potencia señalada, conectores FAA-L-823, cintas aislantes de plástico y dos tramos de manga termocontráctil por cada conector; deberán ser para montaje en bases universales FAA-L-857 de los tipos I ó II según su lugar de instalación y con la profundidad que fije el proyecto.

Las luces deberán ser de cualesquiera de los tipos señalados a continuación:

LUCES ELEVADAS.

- FAA-L-861 T      Media intensidad para borde de rodajes y plata -  
formas en base universal tipo I de 30.5 cm. de  $\varnothing$   
(12").
- FAA-L-862      Alta intensidad para borde de pista y gota en ba -  
se universal tipo I de 30.5 cm. de  $\varnothing$  (12").

LUCES RASANTES

( PARA PISTAS, FAA-L-850)

- CLASE A      Luz bidireccional para eje de pista en base uni -  
versal tipo II de 30.5 cm. de  $\varnothing$  (12").
- CLASE AS      Luz bidireccional para eje de pista en base uni -  
versal poco profunda tipo II de 30.5 cm. de  $\varnothing$  (12")
- CLASE B      Luz unidireccional para zona de toma de contacto  
en base universal tipo II de 30.5 cm. de  $\varnothing$  (12").
- CLASE BS      Luz unidireccional para zona de toma de contacto  
en base universal poco profunda tipo II de 30.5 -  
cm. de  $\varnothing$  (12").
- CLASE C      Luz bidireccional para borde de pista en base uni  
versal tipo II de 38 cm. de  $\varnothing$  (15").
- CLASE D      Luz bidireccional para umbral de pista, en base -  
universal tipo II de 38 cm. de  $\varnothing$  (15").
- CLASE E      Luz unidireccional para umbral de pista, en base  
universal tipo II de 38 cm. de  $\varnothing$  (15").

(PARA RODAJES, FAA-L-852)

- En las clases: N - 1 de haz angosto unidireccional  
N - 2 de haz angosto bidireccional  
W - 1 de haz ancho unidireccional  
W - 2 de haz ancho bidireccional  
Q Omnidireccional

y en los siguientes tipos:

Tipo I	Luz ensamblada de 20.3 cm. de $\phi$ (8"), para colocarse directamente en el pavimento.
Tipo II	Luz ensamblada de 20.3 cm. de $\phi$ (8"), para instalarse en una base poco profunda.
Tipo III	Luz ensamblada de 25.4 cm. de $\phi$ (10"), para instalarse en base universal tipo II de 25.4 cm. de $\phi$ (10").
Tipo IV	Luz ensamblada para instalarse en base universal tipo II de 30.5 cm. de $\phi$ (12") o en base poco profunda.

Las luces L-852-N y L-852-W, deben fabricarse como tipos I, II, III ó IV.

Las luces L-852-Q, deben fabricarse como tipos III ó IV.

#### A) LUCES ELEVADAS.

Deberán cumplir con las especificaciones descritas en la circular de la FAA, No. 150/5345-48 CHGI; debiendo contar con sus accesorios de las siguientes características:

- 1) Globo de cristal prismático forma aerodinámica, resistente al calor, de alta eficiencia en el control luminoso, con filtros de colores incorporados al cristal ó con filtros independientes.
- 2) Porta-lámpara de base media, montaje fijo para servicio aéreo.
- 3) Lámpara de cuarzo de 30, 100 y 200 W., para circuitos en serie de 6.6-Amps.
- 4) Columna de soporte y brida para base universal.
- 5) Cople de ruptura de aluminio de tipo colapsible, con cintura para soportar, cargas estáticas de viento fuerte, pero rompiéndose por golpe horizontal. Incluirá contactos eléctricos y enchufes que por colisión, interrumpan la conexión sin producir chispas.

#### B) LUCES EMBUTIDAS.

Deberán cumplir con lo que especifica la Circular FM-AC 150/5345-46 CHG-2. Las unidades serán construídas para: operación conf-



nua, resistencia a la temperatura ambiente de  $- 55^{\circ} \text{C}$ , a  $+ 55^{\circ} \text{C}$  y soportar una carga estática horizontal de 1360 kg. Las partes sujetas a paso de corriente, tendrán aislamiento para 600 V. con capacidad de conducción de 1.5 veces la capacidad de Amperes y sus accesorios serán de las siguientes características.

- 1) El sistema óptico será de cristal prismático, cementado y resistente al calor.
- 2) Los lentes y filtros serán de cristal, de una pieza, de los colores indicados en el proyecto, grado B de MIL-C-7989.
- 3) Lámpara incandescente de cuarzo de 30, 100 y 200 W., para circuitos en serie de 6.6 Amps.
- 4) La carcasa será construída, respetando las siguientes indicaciones:
  - a) El conjunto superior, se diseñará para alojar adecuadamente diferentes accesorios y deberá incluir arillos de seguridad, lente y soportes de lámpara. Las partes metálicas y los anillos de orientación, se construirán con la aleación especificada de hierro convenientemente rígida y reforzada, para soportar grandes cargas, sin peligro a distorsión de la unidad luminosa.
  - b) La parte externa del conjunto superior, será pulida con un declive de  $15^{\circ}$  en un plano formado por la vertical y el plano paralelo a la pista y de  $20^{\circ}$  máximo en los demás planos verticales. Será suficientemente resistente para proteger el prisma y partes del sistema óptico.
  - c) La parte superior de la unidad, estará provista de una caja para sujetar el cristal adecuadamente y será resistente para soportar el peso de carga rodante de impacto.
  - d) El diámetro de la unidad, será de 43.81 cm. para ser montada en una base universal tipo II de 38.1 cm. de  $\phi$  (15"). El anillo de montaje deberá tener una porción que extendiéndose un mínimo de 6.3 mm. bajo la brida de la base, absorba movimientos laterales producidos por golpes a la unidad.

C) TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO.

El transformador de aislamiento, cumplirá con la Circular FAA No. 150/5345-47: para 30, 100, y 200 W., circuito en serie de 6.6/6.6 Amperes, especificación FAA-L-830-1, 830-4 y 830-6, respectivamente y

tendrá una cubierta total aislante para 5,000 Volts.

La envoltura encerrará totalmente el núcleo con el conjunto de bobinas, haciendo a la unidad impermeable. Las partes exteriores del transformador, resistirán al estar expuestas: a la intemperie, la inmersión en agua y la instalación directa en terrenos que contengan ácidos, alcalis o aceites. La envoltura se construirá con hule natural; sintético o con un compuesto a base de hule, con un espesor mínimo de 6.3 mm. en todas sus partes y con uniones fijas vulcanizadas.

Las dimensiones exteriores de la caja o envoltura serán opcionales y solo el espacio para conductores será cilíndrico de 15.2 cm., de diámetro por 20.1 cm. de longitud.

#### EMPALMES Y CONEXIONES.

Las conexiones de cable alimentador a transformador de éste a las unidades, se hará con conectores ESNA, Especificación FAA-L-823, Circular AC No. 150/5345-26A. Se evitarán los empalmes entre unidades y sólo en caso necesario se usarán empalmes Serie con conector ESNA, Esp. FAA-L-823 cubierto con una manga retráctil al calor, marca RAYCHEM o similar. El conector que une el cable de alimentación primario con el primario del transformador de aislamiento y que se colocará dentro del cemento registrado será encintado con dos capas de cinta plástica Scotch No. 33, Traslapadas al 50 % y extendiendo el encintado 4 cm. mas a cada lado de la unión.

#### MEDICION:

La medición se hará tomando como unidad la pieza suministrada e instalada.

#### BASE DE PAGO:

El pago por unidad de obra terminada, se hará al precio fijado en el contrato para la pieza suministrada e instalada; no debiéndose considerar en éste, las bases y elementos de concreto.

Este precio unitario incluye lo que corresponda por: Unidades de iluminación, accesorios necesarios, mano de obra, prueba eléctricas, herramientas, equipo y en general todo lo que sea necesario para la correcta instalación de las unidades, a satisfacción de la Secretaría.

**EJECUCION:**

El equipo estará formado por un Sistema Visual indicador de pendiente de aproximación de acuerdo a la Esp. FAA-L-851 y se ajustará a lo que corresponda del Capítulo CXXIX, de la Parte Décima de las Especificaciones Generales de Construcción. Este equipo se ajustará a la siguiente descripción:

- a) Los gabinetes cumplirán con la Esp. FAA-L-851 y tendrá capacidad para alojar tres lámparas de 200 W., PAR-64-6.6 Amps., así 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., estarán 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 serán Especificación FAA-L-823-54-E4-E4.
- d) Se deberá proporcionar un juego de conexión superior e inferior especial FAA-E-1041, por cada gabinete.
- e) Sistema de ajuste para nivelación
- f) Juego completo de herramientas para montaje y ajuste
- g) Manual de mantenimiento y lista de equipo

**MEDICION:**

La medición se hará tomando como base el lote

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada se efectuará al precio indicado en el contrato para el lote, este precio unitario deberá incluir lo que corresponda por: conectores, tubo conduit, niples, transformadores, unidades de iluminación, equipo de nivelación, gabinetes, mano de obra para su instalación, nivelación, pruebas eléctricas, ajuste durante la certificación del equipo, fletes, cargas y descargas, almacenamiento dentro de la obra, y en general todo lo necesario para su correcto funcionamiento a satisfacción de la Secretaría.

NP 8

CONO DE VIENTOS.**EJECUCION:**

El cono de vientos estará formado de tela nylon color blanco de 3.60 m. (12 pies) de longitud y de 91 cm. (36 pulgadas) de diámetro mayor a prueba de agua, montado en un soporte giratorio, acoplado a un mástil de 7.31 m. (24 pies) de altura desde la base a su extremo, seccionado en dos partes una inferior fija, anclada en una base de concreto y otra superior con gozne, para girar hasta el nivel del suelo y facilitar el mantenimiento y estará formado con una estructura tubular, de cuatro brazos horizontales a 90° uno de otro. Este cono de vientos observará lo indicado en la Especificación FAA-L-807.

**MEDICION:**

La medición se hará tomando como unidad la pieza totalmente instalada y probada

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada se efectuará al precio marcado en el contrato, para la pieza suministrada, instalada y probada. Este precio incluye lo que corresponda por: valor de adquisición de todos los materiales, mano de obra para la instalación y todas las pruebas, fletes, carga, descarga, almacenamiento dentro de la obra y en general todo lo que sea necesario para su correcto funcionamiento, a satisfacción de la Secretaría.

NP 9

FARO GIRATORIO.**EJECUCION:**

Estará construido por un doble tambor montado sobre una base de mecanismo rotatorio para uso a la intemperie que no requiera ventilación y de acuerdo con la Especificación DCB-36 marca CH o similar. El cilindro será de tres secciones, construidas con aleación de aluminio, unidas en la parte inferior con una flecha vertical, para transmitir movimiento giratorio al faro, montada en baleros y acoplada con engranaje de corona y tornillo sin fin, a un motor eléctrico de inducción de 1/6 C.F., 60 c.p.s., 1140 r.p.m., 120 volts, este mecanismo eléctrico se alojará en una caja en la parte inferior. El tambor alojará el sistema óptico formado por dos lentes: uno de color blanco y el otro de color verde, montado a 180° entre sí, ajustable en el plano vertical, a fin de poder cambiar la elevación del haz de luz

de 0° a 12° sobre la horizontal. En el centro del cilindro se alojará un sistema, para soportar dos lámparas incandescentes de 1,000 W., cada una. Una lámpara será para servicio contínuo y su filamento quedará situado en el centro óptico del faro y la otra para servicio de emergencia, para ocupar el lugar de la primera en caso de falla. El cambio de lámparas será automático. Los destellos del faro serán blancos, alternados con color verde aeronáutico, y su frecuencia será de 12 a 30 destellos por minuto. Se instalará un sistema de conexiones giratorias, por medio de un juego de tres anillos conectores, fijados a la flecha y tres escobillas. Dos de los anillos proveen el voltaje para la lámpara del faro y el otro integrará el circuito para una lámpara de obstrucción. El encendido y apagado del faro deberá efectuarse por medio de una fotocelda de 0.5 a 6 pies/bujías 1,000 V., máx. 127 V., de operación.

#### MEDICION:

La medición se efectuará tomando como unidad la pieza totalmente colocada y probada.

#### BASE DE PAGO:

El pago por unidad de obra terminada se hará al precio fijado en el contrato para este concepto; el precio unitario deberá incluir lo que corresponda por: tambor, mecanismo giratorio, motor eléctrico, sistema óptico, lámparas incluyendo una celda fotoeléctrica para permitir su operación manual y automática según proyecto, mano de obra, pruebas eléctricas, fletes, cargas, descargas, almacenamiento dentro de la obra y en general todo lo que sea necesario para la correcta instalación del faro giratorio, a satisfacción de la Secretaría.

NP 10

#### PROYECTOR DE TECHO.

#### EJECUCION:

Se integrará por un faro formado por una carcasa de aluminio fundido a prueba de polvo y agua, además una tapa superior de aleación de aluminio, embisagrada y asegurada a la carcasa, con cuatro clips en forma de C. El lente será de 42.5 cm. de diámetro de cristal de color claro, plano y resistente al calor, construido de acuerdo con las normas Bureau and Army Signal Corps., Unidad de proyector de techo de 200 W., 30 V., base-mogul, bulbo G-25; transformador de capacidad de 0.45 KVA, 60 c.p.s., de 90, 95, 115 y 120 Volts, en el secundario. El faro emitirá un haz estrecho, de luz vertical, dirigido hacia las nubes y deberá proveerse de un clinómetro, para ver la mancha luminosa en la base de las nubes y que mida el ángulo vertical indicando en el cuadrante de este clinómetro.

**MEDICION:**

La medición se efectuará tomando como base la pieza suministrada, instalada y probada.

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada se hará al precio marcado en el contrato para la pieza suministrada e instalada, este precio incluye lo que corresponda por: valor de adquisición del faro, tapa superior de aluminio, lente de cristal transformador y demas accesorios, mano de obra para la instalación y pruebas, fletes, cargas, descargas, almacenamiento dentro de la obra y en general todo lo que sea necesario para su correcta instalación a satisfacción de la Secretaría.

**NP. 11 EQUIPO REIL.**

Sistema de identificación de umbral de pista FAA-L-849, formado por dos unidades de destello de descarga por condensador, con operación simultánea dos veces por segundo, con los siguientes componentes.

- a) Monitor de control para instalarse en torre de control.
- b) Unidad maestra de destello conteniendo el equipo de alimentación y control de las dos unidades, esta unidad deberá tener una conexión en su parte inferior para colocarse en un tubo de 51 mm. de  $\phi$ .
- c) Unidad esclava de destello.

El equipo indicado en b) y c), debe estar diseñado para servicio continuo a la intemperie, con temperaturas de  $-10^{\circ}$  a  $50^{\circ}$  C y soportar velocidades de vientos de hasta 170 km/h ó mas.

Las unidades de destello ( lámparas ) deben tener una vida mínima de 500 horas ó 3600,000 operaciones.

Se requiere una alta calidad en el reflector para obtener la distribución adecuada del haz; se recomienda un terminado tipo Alzak.

Ambas unidades deberán permitir de un ajuste de alineación de  $0$  a  $15^{\circ}$  en el plano vertical y se deberá tomar en cuenta que ambos equipos deberán ajustarse de  $0$  a  $15^{\circ}$  en el plano horizontal.

El equipo anteriormente señalado deberá cumplir con todos -

los requisitos contenidos en la circular de consulta número AC 150/5345-24 -CHG-1 de fecha 30 de junio de 1965.

NP 12

CONSOLA DE CONTROL TIPO ELECTRONICO.

**EJECUCION:**

Gabinete.- Las dimensiones deberán ser las indicadas en el proyecto, construido en lámina de acero rolada en frío calibre No. 16 (1.59 mm.), con soldaduras continuas, y estará formado por tres secciones desarmables que recibirán al facsimil y tablero de control; deberá tener una zapata mecánica en su interior para efectuar la conexión a tierra con cable de cobre desnudo semiduro calibre No. 8 A.W.G.; antes de pintarse del color que indique la Secretaría, estará sometido a un tratamiento de bonderizado y tropicalizado con tres manos de pintura de poliuretano color oro verde-1039.

Cubiertas.- La cubierta del facsimil deberá ser de Wilsonite para grabar, de 1/8" de espesor en color negro mate con grabados en blanco, tendrá una protección transparente de acrílico para evitar acumulación de polvo, se mostrará a escala el aeropuerto indicando la pista, los rodajes, plataforma, ubicación de los edificios y todas las ayudas visuales y señales luminosas instaladas en el aeropuerto.

La cubierta de controles también deberá ser de Wilsonite para grabar, de 1/8" de espesor en color negro mate con grabados en blanco, deberá tener grabados los módulos de control de tal manera que queden marcados por separado los diferentes módulos, como son: Pista, rodajes, vasis o avast, reil, iluminación de plataformas, etc. Deberá contar con ventanas de acrílico ahumado de alta resistencia, para mostrar DISPLAYS digitales indicadores.

Facsimil.- Deberá ser tipo Electrónico con diodos emisores de luz (LED); no se deberán usar lámparas incandescentes, neón o de ningún otro tipo; éstos diodos deberán encender en el momento en que se operen los controles y deberán ser de igual color al de las ayudas visuales y señales luminosas; el voltaje de operación de éstos circuitos estará de 4 a 8 volts. La marca de esta consola será Equipos y Aeropuertos o similar y de igual calidad.

CONTROLES.

Deberán ser módulos independientes e intercambiables en los cuales por medio de Led y Displays Digitales controlados por medio de circuitos lógicos integrados se indique la operación de que se está llevando

a cabo en los controles. El voltaje para los Led y Displays Digitales será de 4-8 V.C.D. y para los circuitos de control 115 V.C.A. 10 Amps.

Al cerrar el circuito con el interruptor, encenderán los indicadores luminosos, (Displays) indicando la conexión del regulador, si éste no funcionara por razones de interrupción en la red, no encenderán los led; indicando alguna falla en la alimentación de 220 V.C.A.; si el regulador es conectado normalmente, el control de brillantez se logrará al girar la perilla de selección; en tal circunstancia un led color rojo, indicará el paso de brillantez seleccionado.

Los colores para cada función serán: Ambar para pista; verde para rodajes, rojos para vasis. Estos mismos colores van relacionados con los colores de facsimil.

Cada módulo se dividirá en dos partes, el manejo de alta tensión y el de baja tensión. El primero; que controlará al regulador de c.c. en la operación y la intensidad, le pasará información a la baja tensión, para que este a la vez, monitore la operación; la baja tensión estará compuesta por una fuente de poder para alimentar los circuitos electrónicos de cada módulo.

Los componentes electrónicos consistirán en elementos integrados (ic) de la familia ttl (Transistor Transistor logic) para manejar los led's en el monitor.

Los elementos de optoelectrónica, serán en su mayoría, leds (light emitted diode) con una durabilidad de 10,000 hr. de uso.

Los módulos deberá constar de lo siguiente:

a) Pista

Interruptor ON-OFF. Al estar éste interruptor en la posición ON, se deberá encender un Displays Digital, mostrando el número de la Pista en cuestión. El Selector de Brillantez será de 5 pasos y al operarse éste deberá encender un Displays Digital, mostrando el número del paso de brillantez en el que esté.

b) VASI'S.

El interruptor de encendido y selección de cabecera, será de un polo doble tiro; al estar éste al centro deberá estar Todo apagado. Al colocarse en la posición de cualquiera



de las cabeceras se deberá encender el mismo Displays Digital indicando de qué cabecera se trata.

El Selector de brillantez será de 5 pasos y al operarse éste deberá encender un Displays Digital, mostrando el número del paso de brillantez en el que esté.

c) REIL: Cabeceras

El interruptor de encendido y selección de cabecera, será de un polo doble tiro; al estar éste al centro, deberá estar Todo apagado. Al colocarse en la posición de cualquiera de las cabeceras se deberá encender el mismo Displays Digital indicando de qué cabecera se trata.

d) CONOS DE VIENTOS. Cabeceras

El interruptor ON-OFF, al estar en la posición ON, deberá encender un Diodo indicando que está energizado el circuito.

e) ESPACIO PARA CONTROL DEL SISTEMA DE LUCES DE APROXIMACION - Cabecera (proyección)

Se deberá dejar la preparación suficiente para integrar un interruptor ON-OFF y un selector de brillantez. Al estar éste interruptor en la posición ON, se deberá encender un Displays Digital, mostrando el número de la Pista en cuestión. El Selector de Brillantez será de 5 pasos y al operarse éste deberá encender un Displays Digital, mostrando el número del paso de brillantez en el que esté.

f) ESPACIO PARA MONITOR DE LUCES DE APROXIMACION. Cabecera (Destello)

Se deberá dejar la preparación suficiente para integrar el monitor de destello a la consola, de tal manera que se ubique junto a todos los controles.

MEDICION:

La medición se hará considerando como unidad la pieza, totalmente instalada, conectada y probada.

BASE DE PAGO:

El pago por unidad de obra terminada se hará al precio fijado en el contrato para la pieza. El precio unitario incluye todo lo que corresponda por: valor de adquisición de la consola completa con todos sus accesorios; cargas, descargas y fletes; pruebas, mano de obra de la instalación y montaje, herramienta, equipo y en general todo lo que requiera la correcta ejecución del trabajo según proyecto y a satisfacción de la Secretaría.

NP. 13

REGISTROS PARA CRUCE DE PISTA Y RODAJES.

**EJECUCION:**

Construcción de registros para ductos de cableado en cruces de pista y rodajes, con dimensiones y detalles indicados en el proyecto (plano AV-01), bases y muros laterales de concreto f'c = 150 kg/cm<sup>2</sup>, emboquillado de ductos que lleguen al registro; en la parte superior llevarán una tapa como lo indica el proyecto (plano AV-01) y armados con fierro de refuerzo de fy = 4,000 kg/cm<sup>2</sup>.

En el lugar en que concurra el banco de ductos al registro, se cortarán las varillas verticales y horizontales que estorben y se colocará en ese hueco; en el armado, un marco con dos varillas de 2.54 cm. (1")  $\phi$ . Por el lado en que viene la zanja, se deberán hacer preparaciones para recibir los conductores; estas preparaciones consistirán en dejar un tramo de tubo conduit galvanizado pared gruesa de 32 mm. (1 1/4") de diámetro por 0.40 m. de longitud con un conector sello en la parte exterior; en el interior, el tubo se colocará rasante al paramento y se deberá dejar libre de rebabas.

**MEDICION:**

La medición se hará considerando la pieza del registro totalmente terminada.

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada se hará al precio fijado en el contrato para la pieza, este precio unitario deberá incluir lo que corresponda por: valor de adquisición de todos los materiales como lo indica el proyecto; concreto armado, moldes, tapa, conectores sello, etc., fletes y maniobras; fabricación, habilitación y colocación de fierro de refuerzo, excavación, rellenos, mano de obra, herramienta, equipo, limpieza y en general, todo lo necesario para la correcta ejecución del trabajo, a satisfacción de la Secretaría.

NP 14

REGISTRO PARA VARILLA DE TIERRA.

**EJECUCION:**

El registro para varilla de tierra, se hará con un tramo de tubo de albañal de concreto simple de 30 cm. de diámetro con tapa de concreto de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , armada como se indica en el proyecto, con una varilla de conexión a tierra Copperweld de 3.05 m., de longitud por 15.8 mm de diámetro y un conector GKP 635.

**MEDICION:**

La medición se hará considerando como unidad la pieza terminada y colocada en su lugar.

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada de registro para varilla de tierra, se hará al precio unitario fijado en el contrato, para la pieza; este precio incluye lo que corresponda por valor de adquisición de los materiales, fabricación del concreto, habilitación y colocación de fierro de refuerzo, excavación, colocación de varilla Copperweld y conector, mano de obra, herramienta, y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de este trabajo a satisfacción de la Secretaría.

NP 15

CIMENTOS-REGISTRO PARA LUCES DE PISTA, CALLES DE RODAJE, PLATAFORMAS Y UMBRAL.

**EJECUCION:**

Serán de concreto con una resistencia de  $f'c = 150\text{-kg-cm}^2$ , armados con varilla de 9.5 mm. (3/8")  $f_y = 4,000 \text{ kg/cm}^2$  y separación entre las mismas según proyecto (plano AV-04) con base universal. Esp. FAA-L-857, tipo I ó II según su lugar de instalación.

Las partes de que se componga la base universal, deberán estar soldadas eléctricamente por medio de un cordón continuo, para evitar filtraciones de agua; tendrá dos coples de fierro de 32 mm. de  $\phi$ , soldados en la parte inferior, en donde se colocarán los tubos Conduit galvanizados de pared gruesa del diámetro indicado y conectores sello, la brida superior deberá presentar maquinada la cara que servirá de asiento al empaque y brida de la lámpara, esta base universal deberá galvanizarse por el proceso de inmersión en caliente.

**MEDICION:**

La medición se hará considerando como unidad la pieza de

cimiento terminado.

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada de cimiento para unidades de señalamiento luminoso, se hará al precio fijado en el contrato para la pieza; este precio unitario incluye lo que corresponda por: valor de adquisición de los materiales para: el concreto armado, moldes, base universal, tubo conduit, incluyendo conectores sello, coples, etc., fletes y maniobras, fabricación, habilitación y colocación; excavaciones y rupturas del pavimento, relleno con material producto de la excavación, reposición de pavimento, nivelación, almacenaje, maniobras dentro de la obra, mano de obra, herramienta y equipo así como pruebas y todo lo que sea necesario para la correcta ejecución de dichos cimientos a satisfacción de la Secretaría.

NP 16

CIMIENTOS PARA SISTEMA VISUAL INDICADOR DE PENDIENTE DE APROXIMACION, (VASI).

**EJECUCION:**

Será de concreto con una resistencia de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$  y varilla de  $f_y = 4,000 \text{ kg/cm}^2$ ; se fijarán anclas, que deberán quedar perfectamente colocadas y niveladas; el espesor de la losa, el armado y la colocación de anclas, deberá ser tal como se indica en el proyecto (plano AV-05). Los registros serán bases universales L-857 galvanizadas por inmersión en caliente tipo I de 40.64 cm. de  $\phi$  (16") por 61 cm. (24") de profundidad con tapa ciega, de placa de Fe rolada en frfo 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  $\phi$ , protegida con dos manos de pintura de la mejor calidad para uso exterior color naranja aeronáutico, sujetándose con tornillos y arandelas, plana y de presión cadminizadas de 25.4 mm. (1") y 9.53 mm. (3/8) de  $\phi$ ; para la colocación de las anclas, deberán emplearse los tubos de concreto de 30 cm. de  $\phi$ , indicados en el proyecto.

**MEDICION:**

La medición se hará considerando como unidad la pieza de cimiento construido.

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada del cimiento para el VASI, se hará al precio fijado en el contrato para la pieza; este precio unitario incluye lo que corresponda por: valor de adquisición de los materiales

para concreto armado, moldes, bases universales, conectores sello, empaques de neopreno, tubo galvanizado incluyendo conexiones, tapas, nivelación, fletes y maniobras, fabricación, habilitación y colocación de fierro de refuerzo, excavaciones, relleno, mano de obra, herramienta, equipo y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de este trabajo, a satisfacción de la Secretaría.

NP 17

CIMIENTOS DE CONCRETO PARA CONO DE VIENTOS.

EJECUCION:

El cimientto (plano AV-05) será de concreto con una resistencia de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , armado con varilla de 9,5 mm. (3/8") con separación, según proyecto y  $f_y = 4,000 \text{ kg/cm}^2$ ; 4 anclas de 19 mm. (3/4") de  $\phi$  por 60 cm. de longitud para fijar la base del cono; las dimensiones del cimientto se encuentran indicadas en el proyecto; deberá hacerse una preparación de tubo conduit de 32 mm. (1 1/4") de  $\phi$  para recibir la alimentación eléctrica.

MEDICION:

La medición se hará considerando como unidad la pieza de cimientto totalmente construída.

BASE DE PAGO:

El pago por unidad de obra terminada de cimientto para cono de viento, se hará al precio fijado en el contrato para la pieza, este precio unitario incluye lo que corresponda por: valor de adquisición de los materiales para concreto armado, moldes, anclas, tubo conduit de 32 mm. galvanizado, de pared gruesa, con un conector sello, cajas conduit para tubo de 25 y 13 mm. de  $\phi$  etc., fletes y maniobras, fabricación, habilitación y colocación, excavación, relleno, mano de obra, herramienta, equipo, así como los accesorios indicados en el proyecto, y en general, todo lo necesario para la correcta ejecución de este trabajo a satisfacción de la Secretaría.

NP 18

CIMIENTO DE CONCRETO PARA PROYECTOR DE TECHO.

EJECUCION:

El cimientto será de concreto con una resistencia de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$  armado con varilla de 9.5 mm. (3/8") con separación según proyecto y  $f_y = 4,000 \text{ kg/cm}^2$ , 4 anclas de 12.7 mm. de  $\phi$  (1/2") para fijar la

base metálica del proyector, provisto con entrada de tubo conduit de 32 mm. de  $\phi$ , según se detalla en el proyecto colocando un conector sello en el extremo del tubo que queda en la zanja.

**MEDICION:**

La medición se hará considerando como unidad la pieza de cimiento construido.

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada de cimiento, se hará al precio fijado en el contrato para la pieza, este precio unitario deberá incluir lo que corresponda por: valor de adquisición de todos los materiales, fletes, maniobras, almacenamiento dentro de la obra, mano de obra para la ejecución de este trabajo, equipo, herramienta y en general todo lo necesario para la correcta construcción de este cimiento a satisfacción de la Secretaría.

NP. 19

CIMIENTO REGISTRO DE CONCRETO PARA EQUIPO REIL.

**EJECUCION:**

Será de concreto con una resistencia  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , armada con varilla de 9.5 mm. (3/8") de diámetro,  $f_y = 4,000 \text{ kg/cm}^2$  y separación entre las mismas, según proyecto (Plano AV-04), con base universal-Especificación FAA-857 tipo I.

Las partes de que se componga la base universal, deberá estar soldadas eléctricamente por medio de un cordón continuo, tendrá dos coples de fierro de 32 mm. de  $\phi$  soldadas en la parte interior y en estos se colocarán dos tramos de tubo Conduit galvanizado de pared gruesa y conectores sello, como se indica en el proyecto, la brida superior deberá presentar maquinada la cara que servirá de asiento al empaque y se colocará una brida tapa con salida roscada de 51 mm. de diámetro.

**MEDICION:**

La medición se hará considerando como unidad la pieza de cimiento terminado.

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada de cimiento registro para equipo Reil, se hará al precio fijado para la pieza; este precio incluye

lo que corresponda por: valor de adquisición de los materiales, fabricación y armado de concreto, cimbra o moldes, base universal, tubo conduit incluyendo conectores sello, coples, fletes, maniobras, fabricación, habilitación y colocación de fierro de refuerzo, excavaciones, rellenos, en su caso ruptura de pavimento y reposición del mismo, mano de obra de instalación - herramienta y equipo y todo lo necesario para la correcta ejecución de este trabajo a satisfacción de la Secretaría.

NP 20 CIMIENTO PARA FARO GIRATORIO.

EJECUCION:

El cimiento para la sustentación del faro giratorio llevará un armado a base de varillas de 9.52 mm. (3/8") y  $f_y = 4,000 \text{ kg/cm}^2$ , las cuales deberán ir soldadas al armado de la losa de torre, se construya con concreto de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ ; anclas de acero de 15.9 mm. (5/8") y tubo Conduit licuatite y galvanizado de 19 mm. (3/4") pared gruesa, con sus correspondientes conectores, la alimentación eléctrica se hará con cable # 10 A.W.G. y se tomará del servicio de emergencia del tablero en torre de control.

MEDICION:

La medición se hará considerando como unidad la pieza terminada totalmente instalada y probada.

BASE DE PAGO:

El pago por unidad de obra terminada de cimiento, se hará al precio fijado en el contrato para la pieza, este precio unitario deberá incluir lo que corresponda por: valor de adquisición de todos los materiales, fletes, maniobras, almacenamiento dentro de la obra, mano de obra para la ejecución de este trabajo, equipo, herramienta y en general todo lo necesario para la correcta construcción de este cimiento a satisfacción de la Secretaría.

NP 21 MARCADORES DE CABLE.

EJECUCION:

Los marcadores serán como se indica en el proyecto (plano AV-04) de concreto con una resistencia de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , con dimensiones de 60 x 60 x 10 cm. armados con varilla de 9.5 mm. (3/8") de diámetro

a 15 cm. máximo en ambos sentidos, y  $f_y = 4,000 \text{ kg/cm}^2$ . Deberán tener grabada en bajo relieve la palabra indicadora del circuito que se encuentre en la zanja que marca, se colocarán aproximadamente a cien (100) metros el uno del otro en tramos rectos y en los cambios de dirección tantos como se considere necesarios para definir la trayectoria de la zanja; los marcadores deberán cubrirse hasta la mitad de su espesor con el material de relleno de la zanja.

**MEDICION:**

La medición se hará considerando como unidad la pieza terminada y colocada en su lugar.

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada de marcadores de cable se hará al precio fijado en el contrato para la pieza. Este precio unitario incluye lo que corresponda por valor de adquisición de fletes y manobras; fabricación, habilitación y colocación de fierro de refuerzo grabados excavación, nivelación, relleno, mano de obra, herramienta, equipo y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de este trabajo, a satisfacción de la Secretaría.

NP 22

ZANJAS PARA CABLEADO.

**EJECUCION:**

La zanja se hará en las zonas de franjas de seguridad y a las distancias del borde de pista y con las dimensiones que se indican en el proyecto. Una vez hecha la excavación se compactará el fondo de la misma hasta igualar el porcentaje de compactación del terreno adyacente cuando se excave en terreno natural; el % de compactación no deberá ser menor del 95 % con objeto de evitar cualquier protuberancia que pueda dañar a los conductores; una vez efectuada esta compactación, se colocarán las capas de arena, en dos capas iguales de 10 cm. de espesor, una antes de tender el cable y la segunda, una vez instalado éste, inmediatamente se procederá a la colocación del cable desnudo del circuito de tierra sobre la segunda capa y se terminará de tapar la zanja con material producto de la excavación compactándolo al 95 % de su peso volumétrico, seco máximo.

**MEDICION:**

La medición se hará tomando como unidad el metro de zanja terminada.

**BASE DE PAGO:**



El pago por unidad de obra terminada de zanja para cableado se hará al precio fijado en el contrato para el metro; este precio unitario incluye lo que corresponda por: valor de adquisición o explotación del banco de arena, fletes y maniobras; excavación tendido de cama de arena, relleno, compactación, acarreo de materiales producto de la excavación, mano de obra, herramienta, equipo y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de este trabajo, a satisfacción de la Secretaría.

NP 23 DUCTOS.

Se construirán ductos de vfas múltiples en los lugares que señala el proyecto.

Ductos de vfas múltiples de asbesto cemento, formados por una o varias capas de tubos de asbesto cemento de 101 mm. de  $\varnothing$ , una sobre otra; dejando una separación de 5 cm., entre tubos adyacentes y 12 cm. de recubrimiento exterior en los cuatro lados del dado; estas tuberías se ahogarán en concreto de f'c = 150 kg/cm<sup>2</sup> con agregado máximo de 19 mm. y deberá emplearse un vibrador durante el colado; deberán emboquillarse todas las llegadas a registros.

Una vez terminado el proceso constructivo, se deberán taponar los ductos con un mortero pobre de muy fácil demolición.

**MEDICION:**

La medición se hará considerando como unidad el metro lineal de ducto de vfas múltiples, totalmente construido.

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada, se hará al precio unitario fijado en el contrato para el metro lineal de ducto; este precio incluye todo lo que corresponda por: valor de adquisición de la tubería de asbesto cemento, concreto, separadores, mano de obra de instalación, excavación, relleno de la capa superior con el mismo material producto de la excavación, retiro de escombros y en general, todo lo necesario para la correcta ejecución de este trabajo a satisfacción de la Secretaría.

NP. 24

REGISTROS PARA LUCES DE APROXIMACION.

EJECUCION:

La construcción de registros para ductos de cableado, ubicación de equipos y cajas de conexiones, en el terraplen de apoyo del sistema, se hará con las dimensiones y detalles indicados en el proyecto (plano AV-07), bases y muros laterales de concreto  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , emboquillado de ductos que lleguen al registro; en la parte superior llevará una tapa como lo indica el proyecto (plano AV-07).

En el lugar en que concurra el banco de ductos al registro, se cortarán las varillas verticales y horizontales que estorben y se colocará en ese hueco; en el armado, un marco con dos varillas de 2.54 cm. (1")  $\phi$ .

BASE DE PAGO:

El pago por unidad de obra terminada se hará al precio fijado en el contrato para la pieza, este precio unitario deberá incluir lo que corresponda por: valor de adquisición de todos los materiales como lo indica el proyecto; concreto armado, moldes, tapa, conectores sello, etc. fletes y maniobras; fabricación, habilitación y colocación, excavación, rellenos, mano de obra, herramienta, equipo, limpieza y en general todo lo necesario para la correcta ejecución del trabajo, a satisfacción de la Secretaría.

NP. 25

CIMIENTOS-REGISTROS PARA CONEXIONES.

EJECUCION:

Serán de concreto con una resistencia de  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ , armados con varilla de 9.5 mm. (3/8")  $f_y = 4,000 \text{ kg/cm}^2$ , y separación entre las mismas según proyecto con base universal. Esp. FAA-L-857, tipo II (plano AV-07).

Las partes de que se componga la base universal, deberán estar soldadas por medio de un cordón continuo para evitar filtraciones de agua, etc., con salidas roscadas en la parte inferior, en donde se colocarán los tubos Conduit galvanizados de pared gruesa del diámetro indicado y conectores sello; la brida superior deberá presentar maquinada la cara que servirá de asiento al empaque y brida de la lámpara.

MEDICION:

La medición se hará considerando como unidad la pieza de cimiento terminado.

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada de cimiento para unidades de señalamiento luminoso, se hará al precio fijado en el contrato para la pieza; éste precio unitario incluye lo que corresponda por: valor de adquisición de los materiales para: el concreto armado, moldes, base universal, incluyendo conectores sello, coples, etc., fletes y maniobras, fabricación, habilitación y colocación; excavaciones y rupturas del pavimento, relleno con material producto de la excavación, reposición de pavimento, nivelación, almacenaje, maniobras dentro de la obra, mano de obra, herramienta y equipo, así como pruebas y todo lo que sea necesario para la correcta ejecución de dichos cimientos a satisfacción de la Secretaría.

NP 26

UNIDADES DE SEÑALAMIENTO LUMINOSO.

**EJECUCION:**

Las unidades de iluminación y lámparas para el señalamiento luminoso objeto de este concurso se sujetarán a lo dispuesto en las circulares de la FAA y el Capítulo CXXIX de la Parte Décima de las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría. Estas unidades que se enumeran a continuación serán proporcionadas por el Contratista, conteniendo todos sus elementos; sistemas ópticos, focos, conectores KIT-L-823, columnas de soporte, cople frágil, transformador de aislamiento, empaques, tornillos, tuercas, etc., así como la mano de obra por instalación, conexiones y pruebas necesarias a satisfacción de la Secretaría.

- 1.- Luces de alta intensidad, elevadas, claras, con foco de cuarzo de 200 W., 6.6 Amps. Esp. (FAA-L-982).
- 2.- Luces de alta intensidad, elevadas, con foco de cuarzo de 200 W., 6.6 Amps. Esp. FAA-L-982 con filtro verde.
- 3.- Luces embutidas, alta intensidad, filtro verde con foco de cuarzo de 200 W., 6.6 Amps., Esp. FAA-L-850B, y luces lente claro L-850-B, 200 W.
- 4.- Transformador de aislamiento 6.6/6.6 Amps., 200 W., 60 c.p.s., Esp. FAA-L-830-G.

A continuación se describen los elementos más importantes con los que deben contar las unidades de iluminación.

#### B. LUCES EMBUTIDAS DE PROYECCION.

Deberán cumplir con lo que especifica la Circular FAA-AC., No. 150/5345-19, 150/5345-46. Las unidades serán construídas para: - operación contfna, resistencia a la temperatura ambiente de 42° C, a - 90° C y soportar cargas estáticas y dinámicas de 45,500 kg. Las partes - sujetas a paso de corriente, tendrán aislamiento para 600 V. con capaci - dad de conducción de 20 Amperes y sus accesorios serán de las siguientes características.

- 1) El sistema óptico será de cristal prismático, cementado y resistente al calor; después de colocado, se pulirá la cara exterior.
- 2) Los filtros serán de vidrio, de una pieza, de los colores indicados en el proyecto, de acuerdo a Militar Standar MS-24502.
- 3) Lámpara incandescente de 200 W., para circuitos en serie de 6.6 Amps.
- 4) La carcaza será construída, respetando las siguientes indicaciones:
  - a) El conjunto superior se diseñará para alojar adecuadamente diferentes accesorios y deberá incluir arillos de seguridad, lente y soportes de lámpara. Las partes metálicas y los anillos de orientación, se construirán con la aleación especificada de fierro convenientemente rígida y reforzada, para soportar grandes cargas, sin peligro de distorsión de la unidad luminosa.
  - b) La parte externa del conjunto superior, será pulida con un declive de 15° en un plano formado por la vertical y el plano paralelo a la pista y de 20° máxima en los demás planos verticales. Será suficientemente resistente para proteger el prisma y partes del sistema óptico.
  - c) La parte superior de la unidad, para los tipos de embutir estará provista de una caja, para sujetar el cristal adecuadamente resistente para soportar el paso de carga rodante y de impacto.

N P. 27

SUBESTACION DE CAMPO.

EJECUCION:

La subestación eléctrica se construírá con las característi-

cas indicadas en la lista de equipo, y con las especificaciones complementarias, siguientes:

Gabinete: Será tipo intemperie de lámina de acero rolada en frío calibre No. 11, tapas y puertas de lámina No. 12, con estructura de perfil tubular tipo autosoportado en el piso, por medio de una estructura rígida que se cubrirá con puertas y tapas desmontables, frente muerto; el gabinete será sometido a un proceso de desoxidación y llevará dos capas de pintura anticorrosiva exterior e interiormente y por el exterior con acabado de laca automotiva, color amarillo aeronáutico; la parte posterior del gabinete llevará puertas que serán soportadas por bisagras ocultas y un cremón. Se deberá pintar al frente de cada gabinete el diagrama unifilar.

Los gabinetes serán de la marca Federal Pacific, Square D, Siemens o similar de igual calidad.

**MEDICION:**

La medición será tomando como un lote la pieza suministrada e instalada.

**BASE DE PAGO:**

El pago por unidad de obra terminada, se hará al precio fijado en el contrato para el lote suministrado e instalado; debiéndose considerar en este la cimentación, cercado perimetral y todos sus accesorios.

El precio unitario incluye lo que corresponda por: gabinetes, equipos, accesorios, necesarios, tubería conduit, cableado, mano de obra, pruebas eléctricas, herramientas, equipo, y en general todo lo que sea necesario para la correcta instalación de esta subestación, a satisfacción de la Secretaría.

**N.P. 28**

REGULADORES DE CORRIENTE CONSTANTE.

Regulador de corriente constante de 30 KW, 220 Volts, 6.6 Amps., especificación IAA-L-828, para el servicio de luces de aproximación.

**MEDICION:**

La medición se hará tomando como unidad la pieza suministrada e instalada.

**BASE DE PAGO:**

- 155

El pago por unidad de obra terminada, se hará al precio fijado en el contrato para la pieza suministrada e instalada, no debiéndose considerar en este la cimentación ni las tuberías de conexiones.

Este precio unitario, incluye lo que corresponda por las unidades antes descritas, así como la mano de obra, herramienta, equipo, y en general, todo lo que sea necesario para su correcta instalación a satisfacción de la Secretaría.

N P . 29      CAJAS DE CONEXIONES.

Serán de lámina de acero rolada en frío calibre No. 11, con tapa de lámina # 12, NEMA-4, para sobreponer en la pared del registro mediante cuatro taquetes expansores rawplug de 6.3 mm. de  $\emptyset$ ; deberán contener en su interior una tablilla de conexiones de 19 terminales, para 600 - Volts; deberán contar con preparaciones para tubería conduit de 25.4 mm. de  $\emptyset$  en la parte inferior; estas cajas deberán tener las siguientes dimensiones: Ancho 15 cm., fondo 15 cm., y largo 40 c.; deberán estar acabadas con dos manos de pintura anticorrosiva y dos manos de laca automotriz color blanco ostión; estas cajas deberán tener una zapata para conexión a tierra con cable desnudo semiduro No. 8 A.W.G.

MEDICION:

La medición se hará tomando como un lote la pieza suministrada e instalada.

BASE DE PAGO:

El pago por unidad de obra terminada se hará al precio fijado en el contrato para el lote suministrado e instalado, incluyendo lo que corresponda por: Adquisición, fletes, maniobras, mano de obra de instalación, así como los accesorios necesarios para el montaje, y en general todo lo necesario para la correcta instalación de las cajas, a satisfacción de la Secretaría.

N P   30      CIMIENTO REGISTRO PARA LUCES DE UMBRAL, BARRA DE ALA Y BARRETAS CENTRALES Y REGISTRO DE PASO.

Serán de concreto con una resistencia de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ , terminando el relleno de la excavación con concreto asfáltico compactado al 100 % y con las dimensiones indicadas en el proyecto, plano AV-07, con una base universal FAA-L-857 tipo I para las barras de ala y con base tipo II para las demás; la brida superior deberá presentar maquinada la cara que servirá de asiento a las lámparas o a la brida ciega en el caso del registro

- 156 -

de paso; para este último, deberá colocarse una brida ciega de placa de acero de 13 mm. de espesor; y en todos los casos excepto las barras de ala, deberá colocarse un empaque O-ring en la ranura de la cara maquina da de la base universal, según se indica en el plano AV-07.

Las partes de que se componga la base universal, deberán estar soldadas por medio de un cordón continuo de soldadura eléctrica; deberán contar además con salidas roscadas en la parte inferior, formadas por medios coples soldados a la base, con la disposición indicada en el proyecto; la base universal terminada deberá someterse a un proceso de galvanizado por inmersión en caliente.

MEDICION:

La medición se hará tomando como unidad la pieza de cimiento o registro totalmente terminada.

BASE DE PAGO:

El pago por unidad de obra terminada de cimiento o registro, se hará al precio unitario fijado en el contrato para la pieza totalmente instalada; este precio unitario incluye lo que corresponda por: valor de adquisición de materiales y accesorios, mano de obra de instalación, excavación, colado de concreto y resanes de pavimento asfáltico compactándolo al 100 %, retiro de escombros y en general, todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto a satisfacción de la Secretaría.

CANTIDADES DE OBRA.



A Y U D A - S 158 V I S U A L E S

C A N T I D A D E S D E O B R A

SEÑALAMIENTO LUMINOSO DE PISTA Y RODAJES

AV-00  
GZ  
5 7

C O N C E P T O	CANTIDAD	UNIDAD
Luz para pista; tipo elevada, 100 watts, 6.6- amperes, lente claro, FAA-L-852. (AV-02; AV- 0B, p )	41	Pza.
Luz para pista; tipo elevada, 100 watts, 6.6- amperes, lente ambar-claro, FAA-L-862. (AV - 02; Esp. p )	39	Pza.
Luz para pista, tipo elevada, 200 watts, 6.6- amperes, lente verde, 360°, FAA-L-862. (AV-02 Esp. p )	4	Pza.
Luz para gota, tipo elevada, 100 watts, 6.6 - amperes, lente azul, FAA-L-862-B (AV-02; Esp. p )	11	Pza.
Luz para umbral, tipo embutida, 200 watts, 6.6 amperes, lente verde, FAA-L-850 D. (AV-02; - Esp. p )	8	Pza.
Luz para umbral, tipo embutida; con dos fo cos de 200 watts; 6.6 amperes, lente verde - rojo, FAA-L-850 D. (AV-02; Esp. p )	12	Pza.
Luz para rodajes y plataformas, tipo elevada - de 30 watts, 6.6 amperes, lente azul, FAA-L- 861 T. (AV-02; Esp. p )	110	Pza.
Transformador de aislamiento de 200 watts, - 6.6/6.6 amperes, 60 Hz, FAA-L-830-6. (Esp. p )	36	Pza
Transformador de aislamiento de 100 watts, - 6.6/6.6 amperes, 60 Hz, FAA L-830-4 (Esp. - p )	91	Pza.
Transformador de aislamiento de 30 watts, - 6.6/6.6 amperes, 60 Hz, FAA-L-830-1 (Esp. - p )	111	Pza
Luz para rodajes y plataformas, tipo elo vada de 30/45 W., filtro azul embutida, Esp. FAA-L-852-0	1	Pza. (1)

A Y U D A - S 159V I S U A L E S

AV-0C

C A R T I D A D E S D E O B R A

TGZ

SEÑALAMIENTO LUMINOSO DE PISTA Y RODAJES

5.77

C O N C E P T O	CANTIDAD	U N I D A D
Cable de cobre unipolar, de 7 hilos; calibre # 8 A.W.G. para 5 KV (pista)(AV-02; Esp. p ).	6500	M.
Cable de cobre unipolar de 7 hilos, calibre # 8 A.W.G. para 5 KV (Rodajes). (AV-02; Esp. p ).	5500	M.
Cable de cobre de 7 hilos; calibre # 8 A.W.G. desnudo (AV-02; Esp. p ).	8750	M.
Zanjas tipo : (AV-01; Esp. p ).		
I	6300	M.
II	500	M.
III	900	M.
IV	150	M.
V	150	M.
VI		M.
VII		M.
VIII		M.
IX		M.
Conector Kit, FAA-L-223, para cable # 8 A.W.G. y 5 KV. (AV-02; Esp. p ).	226	Jgo.
Conector sello para cable # 8, 5 KV (AV-02; Esp. p ).	424	Pza.
Banco de ductos de asbesto cemento 101 mm. Ø, de:		
16 vfas.		M.
12 vfas.		M.
10 vfas.		M.
8 vfas.		M.
6 vfas.		M.
4 vfas.	312	M.
2 vfas.		M.
1 vfa		M.
9 vfas	432	M.
15 vfas	432	M.

A Y U D A S V I S U A L E S  
 C A N T I D A D E S D E O B R A  
 SEÑALAMIENTO LUMINOSO DE PISTA Y RODAJES

AV-0C  
 5 77

160

C O N C E P T O	CANTIDAD	UNIDAD
Cimiento registro para luces elevadas (AV-04; Esp. p ).	205	Pza.
Cimiento registro para luces embutidas. (AV - 04; Esp. P ).	21	Pza.
Registro para varilla de tierra. (AV-04; Esp. - p ).	27	Pza.
Varilla copperweld. (AV-04; Esp. p ).	27	Pza.
Conector de cobre tipo GKP para varilla, ca- ble (AV-04; Esp. p ).	27	Pza.
Conector de cobre tipo VT para derivación a base universal (AV-04; Esp. p ).	206	Pza.
* Regulador de corriente constante de $\frac{50}{KW}$ , 220 V. FAA-L-328 (Esp. p ).	1	Pza.
* Regulador de corriente constante de $\frac{7.5}{KW}$ , 220 V. FAA-L-212. (Esp. p ).	1	Pza.
Marcadores de cable (AV-04; Esp. p ).	77	Pza.

\* Cuantificado en S.E. de Ayudas Visuales.

A Y U D A S V I S U A L E S

AV-0C  
TGZ  
5 77

C A N T I D A D E S 101 D E O B R A

VASI, REIL, CONO DE VIENTOS, PROYECTOR DE TECHO Y FARO GIRATORIO

C O N C E P T O C A N T I D A D U N I D A D

VASI

Unidad visual indicadora de pendiente de aproximación, FAA-L-851, completa (AV-03; Esp. p ).	24	Pza.
Cable de cobre unipolar, de 7 hilos; calibre #8 A.W.G. para 5 KV. (AV-03; Esp. p ).	9800	M.
Cable de conexión especial FAA-L-1041. (AV-05; Esp. p ).	24	Jgo.
Cimiento registro para unidad VASI. (AV-05; Esp. p ).	24	Pza.
Registro para varilla de tierra. (AV-04; Esp. p ).	14	Pza.
Varilla copperweld. (AV-04; Esp. p ).	14	Pza.
Conector de cobre tipo GKP para conexión de varilla y cable (AV-04; Esp. p ).	14	Pza.
Conector de cobre tipo VT para derivación a base universal (AV-04; Esp. p ).		Pza.
Cable de cobre unipolar, de 7 hilos, calibre #8 A.W.G., desnudo. (AV-03; Esp. p ).	4900	M.
Conector sello de 32 mm. de Ø (AV-05, Esp. p ).	32	Pza.
Conector KIT, FAA-L-923 para cable calibre #8 5 KV. (AV-05; Esp. p ).	24	Jgo.
Marcadores de cable (AV-04; Esp. p ).	49	Pza.
* Regulador de corriente constante de 7.5 KW 220 V, FAA-L-812. (Esp. p ).	1	Pza.
* Selector de circuitos para 1000 volts, máximas, 60 Hz, y 6.6 amp. Esp. FAA-L-816. (Esp. p ).	1	Pza.

A Y U D A S V I S U A L E S

C A N T I D A D E S 102 D E O B R A

VASI, REIL, CONO DE VIENTOS, PROYECTOR DE TECHO Y FARO GIRATORIO

AV-00  
TGZ  
7

C O N C E P T O C A N T I D A D U N I D A D

VASI

Zanjas tipo (AV-01); Esp. p )  
II 1750 M.  
IV M.

CONO DE VIENTOS

Cable de control # 10 A.W.G., 600 V, para -  
alimentación y control. (AV-04; Esp. p ). 2750 M.

Zanja tipo (AV-01; Esp. p ).  
I-a 100 M.

Base de concreto para colocación de cono (AV-  
05; Esp. p ). 2 Pza.

Cono de viento de 3.65 m. (12') Esp. FAA-L-  
807 completo (AV-05; Esp. p ) 2 Lote

\* Transformador monofásico de 1.5 KVA  
con entrada para 127 volts y salida para -  
167 volts. (Cabecera 27 )+(Esp. p ). 1 Pza.

\* Transformador monofásico de 1.5 KVA -  
con entrada para 127 V. y salida para 210  
Volts. (Cabecera 00 )+(Esp. p ) 1 Pza.

Contactador magnético con bobina para 127 volts.  
(Esp. p ). 2 Pza.

\* Cuantificado en S.E. de Ayudas Visuales.

PROYECTOR DE TECHO

Base de concreto. (AV-05; Esp. p ). 1 Pza.

Proyector de techo y clinómetro  
(AV-04; Esp. p ). 1 Lote.

A Y U D A S V I S U A L E S  
C A N T I D A D E S D E O B R A

AV-OC

TGZ

5 77

VASI, REIL, CONO DE VIENTOS, PROYECTOR DE TECHO Y FARO GIRATORIO

C O N C E P T O C A N T I D A D U N I D A D

PROYECTOR DE TECHO

Cable de control # 10 A.W.G. (Alim y Control) (AV-04; Esp. p )	350	M.
Zanja tipo (AV-01; Esp. p ) I-a	50	M.

EQUIPO REIL

Equipo (REIL), FAA-L-849, 240 volts. (AV-03 ; Esp. p ).	2	Lote
Zanja tipo (AV-01; Esp. p ) I - a	900	M.
II- a	1650	M.
III- a		M.
V - a		M.
Cable de control 2 cond., calibre # 10 A.W.G. (AV-03; Esp. p ).	3550	M.
Registro cimiento (AV-05; Esp. p ).	2	Pza.
Cable de control 4 conductores calibre # 12 A. W.G. (AV-03; Esp. p ).	200	M.
Autotransformador de 3 KVA, 220 Volts, 1 $\phi$ con salidas para 230, 240 y 260 Volts. (Esp. p )	2	Pza. *
Contacto magnético con bobina de operación a 127 V; un contacto NA para 600 V. Max. ( Esp. p ).	2	Pza. *

FARO GIRATORIO

Faro giratorio tipo DCB-36 Esp. FAA-291.	1	Lote
------------------------------------------	---	------

\*Cuantificado en S.E. de Ayudas Visuales.

A Y U D A S V I S U A L E S

AV-0C

C A N T I D A D E S D E O B R A

T

SISTEMA DE LUCES DE APROXIMACION

11 79

C O N C E P T O	CANTIDAD	UNIDAD
Luces de proyección, Esp. FAA-L-982 con brida, - empaques, cople frágil, y columna de soporte de 51 mm. de Ø.	151	Pzas.
Luces de destello tipo elevado.	27	Pzas.
Luces de barra de ala tipo elevada, Esp. FAA-L-982 filtro verde, con brida, empaque, cople frágil y co- lumna de soporte de 51 mm. de Ø.	10	Pzas.
Luces de umbral tipo embutida (Aprox:) Esp. FAA-L- 850-B.	6	Pzas.
Luces de proyección, tipo embutida, Esp. FAA-L-850 0B.	15	Pzas.
Transformadores de aislamiento de 200 Watts, Esp. FAA-L-830-6	182	Pzas.
Registros de cruce	4	Pzas.
Registros para derivación a luces de umbral y barra de ala.	5	Pzas.
Cimiento registro para luces de barra de ala.	10	Pzas.
Cimiento registro para luces de umbral (Aprox.)	6	Pzas.
Registro para luces de proyección y luces de destello.	3	Pzas.
Registros para barra de 5 luces	27	Pzas.
Registros para barra de 8 luces	2	Pzas.
Cable # 8 A.W.G. y 5 KV.	13,250	M.
Cable # 8 A.W.G. desnudo	2,400	M.
Cable de control de 12 conductores # 12 A.W.G. (Dist en el sistema).	1,000	M.

A Y U D A S - V I S U A L E S  
 C A N T I D A D E S D E O B R A

AV-0C

TGZ

11 79

SISTEMA DE LUCES DE APROXIMACION

C O N C E P T O	CANTIDAD	UNIDAD
Cable de control de 12 conductores # 12 A.W.G. - (Torre a subestación de campo).	3,700	M.
Conector Kit, Esp. FAA-L-823	182	Pzas.
Conector sello	34	Pzas.
Conector VT	30	Pzas.
Conector G G	151	Pzas.
Registros de tierra.	9	Pzas.
Ducto de 5 vías de asbesto cemento.	390	M.
Ducto de 4 vías de asbesto cemento.	460	M.
Ducto de 1 vía de tubo galvanizado de 51 mm. de $\phi$	1,100	M.
Zanja tipo VI	800	M.
Zanja tipo IV	100	M.
Zanja tipo Ia	900	M.
Regulador de corriente constante de 30 KW. Esp. FAA -L-828	2	Pzas.
Subestación de campo.	1	Lote.
Consola de control tipo electrónico	1	Lote.
Gabinete alimentador de subestación de campo.	1	Lote.
Selector de circuitos	1	Lote.
Caja de conexiones.	27	Pzas.
Tablilla de conexiones para instalar en base universal	3	Pzas.



A Y U D A S - V I S U A L E S

AV-00

166

C A N T I D A D E S D E O B R A

T

S E Ñ A L A M I E N T O L U M I N O S O E J E D E P I S T A

8 78

C O N C E P T O	CANTIDAD	UNIDAD
Luz de eje de pista, embutida, de 200 Watts, 6.6 Amp., lente claro, FAA-L-850 A (AV-aa; Esp. )	125	Pzas.
Luz de eje de pista, embutida, de 200 Watts, 6.6 Amp., lente rojo, unidireccional, FAA-L-850 A (AV-11; Esp. )	40	Pzas.
Transformador de aislamiento de 200 Watts, 6.6/6.6 Amp., 60 hz, FAA-L-830-6 (Esp. p )	165	Pzas.
Cable de cobre unipolar de 7 hilos, calibre # 8 A. W.G., para 5 KV. (AV-10, Esp. p )	12,500	M.
Cable de cobre unipolar de 7 hilos, calibre # 8 A. W.G., desnudo (AV-10; Esp. p )	3,250	M.
Cable de cobre unipolar de 7 hilos calibre # 10 A. W.G. y 800 Volts.	12,850	M.
Conector recto de aluminio de 25 mm., de $\beta$ (AV-11; Esp. p )	330	Pzas.
Tubo flexible de 25 mm. de $\beta$ (1") (LIQUID TIGHT) (AV-11; Esp. p )	175	M.
Tubo conduit galvanizado de pared gruesa de 25 mm. de $\beta$ (1") (AV-11; Esp. p )	3,050	M.
Ranura de 20 x 25 cm., de profundidad (AV-15; Esp. p )	2,950	M.
Conector sello para cable # 8 A. W.G., y 5 KV, (AV-02; Esp. p )	122	Pzas.
Conector Kit para conectarse a cable # 8 A. W.G. y 5 KV (AV-11; Esp. L-823).	165	Pzas.
Cimiento registro para luces embutidas (AV-11; Esp. p )	165	Pzas.

A Y U D A S V I S U A L E S  
C A N T I D A D E S D E O B R A  
S E Ñ A L A M I E N T O L U M I N O S O E J E D E P I S T A

AV-00

TGZ

8 78

C O N C E P T O	CANTIDAD	UNIDAD
Cimiento registro para alojar transformadores de aislamiento (AV-15; Esp. )	55	Pzas.
Registro para varilla de tierra (AV-04; Esp. )	8	Pzas.
Conector de cobre tipo VT para derivación a base-universal (AV-04; Esp. )	8	Pzas.
Marcadores de cable (AV-04; Esp. )	26	Pzas.
* Regulador de corriente constante de 30 KW, 220 V. Esp. I.-828	2	Pzas.
Zanja tipo		
I		
II		
III		
IV	2650	M.
V		
VI		

\* Cuantificado en S.E. de Ayudas Visuales.

A Y U D A S V I S U A L E S

AV-00

C A N T I D A D E S D E O B R A

TC

SEÑALAMIENTO LUMINOSO EJE DE RODAJE Y BARRAS DE PARADA

8 78

C O N C E P T O	CANTIDAD	UNIDAD
Luz de eje de rodaje, embutida de 65 Watts, 6.6 Amp., lente verde, Esp. L-851 III con Disyuntador para operar en serie (AV-15; Esp. )	91	Pza.
Luz de barra de parada embutida de 65 Watts, 6.6 Amp., lente rojo, Esp. L-852 III con Disyuntador para operar en serie (AV-15; Esp. )	12	Pza.
Transformador de aislamiento de 300 Watt, 6.6 Amp., 60 Hz, Esp. 830-10	34	Pzas.
Transformador de aislamiento de 65 Watts, 6.6 Amp., 60 Hz Esp. 830-3	1	Pza.
Cable de cobre unipolar de 7 hilos, calibre # 8 A. W.G., 5 KV (eje de rodajes) (AV- ; Esp. )	7550	M.
Cable de cobre unipolar de 7 hilos, calibre # 8 A. W.G., 5 KV (Zona de parada) (AV- ; Esp. )	14,300	M.
Cable de cobre unipolar de 7 hilos calibre # 10 A. W.G. y 600 Volts.	1,700	M.
Cable de cobre unipolar de 7 hilos, calibre # 8 A. W.G., desnudo (AV-01; Esp. )		
Conector recto de aluminio de 25 mm. de $\phi$ (AV-15 Esp. )	182	Pzas.
Tubo flexible de 25 mm. de $\phi$ (1") (LIQUIDTINGHT AV015;Esp. )	128	M.
Tubo conduit galvanizado de pared gruesa de 25 mm. de $\phi$ (1") (AV-15; Esp. )	1,600	M.
Ranura de 20 x 25 cm., de profundidad para alojar tubo galvanizado (AV-15; Esp. )	1,600	M.
Conector sello para cable # 8 A.W.G., 5 KV (AV-02; Esp. )	90	Pzas.

A Y U D A - S 169 V I S U A L E S

AV-00

C A N T I D A D E S D E O B R A

TGZ

SEÑALAMIENTO LUMINOSO EJE DE RODAJE Y BARRAS DE PARADA

8 78

C O N C E P T O	CANTIDAD	UNIDAD
Conector Kit, L-823, para cable # 8 A.W.G., y 5 KV (AV-11; Esp. )	35	Pzas.
Cimiento registro para luces embutidas (AV-11; Esp. )	103	Pzas.
Cimiento registro para alojar transformadores de aislamiento (AV-15; Esp. )	35	Pzas.
Registros para varilla de tierra (AV-04; Esp. )		
Conector de cobre tipo VT para derivación 1 base-universal (AV-04; Esp. )		
Marcadores de cable (AV-04; Esp. )		
Regulador de corriente constante de 10 KW, 220 V. Esp. L-828.	1	Pza.
Selector de circuito.	1	Pza.
Zanja tipo		
I		
II	350	M.
III		
IV		
V		
VI	2,200	M.
VII		
VIII	900	M.

## BIBLIOGRAFIA:

Anexo 14 al Convenio de Aviación  
Civil Internacional.- O.A.C.I.

Manual de Proyecto de Aeródromos  
Parte IV.- O.A.C.I.

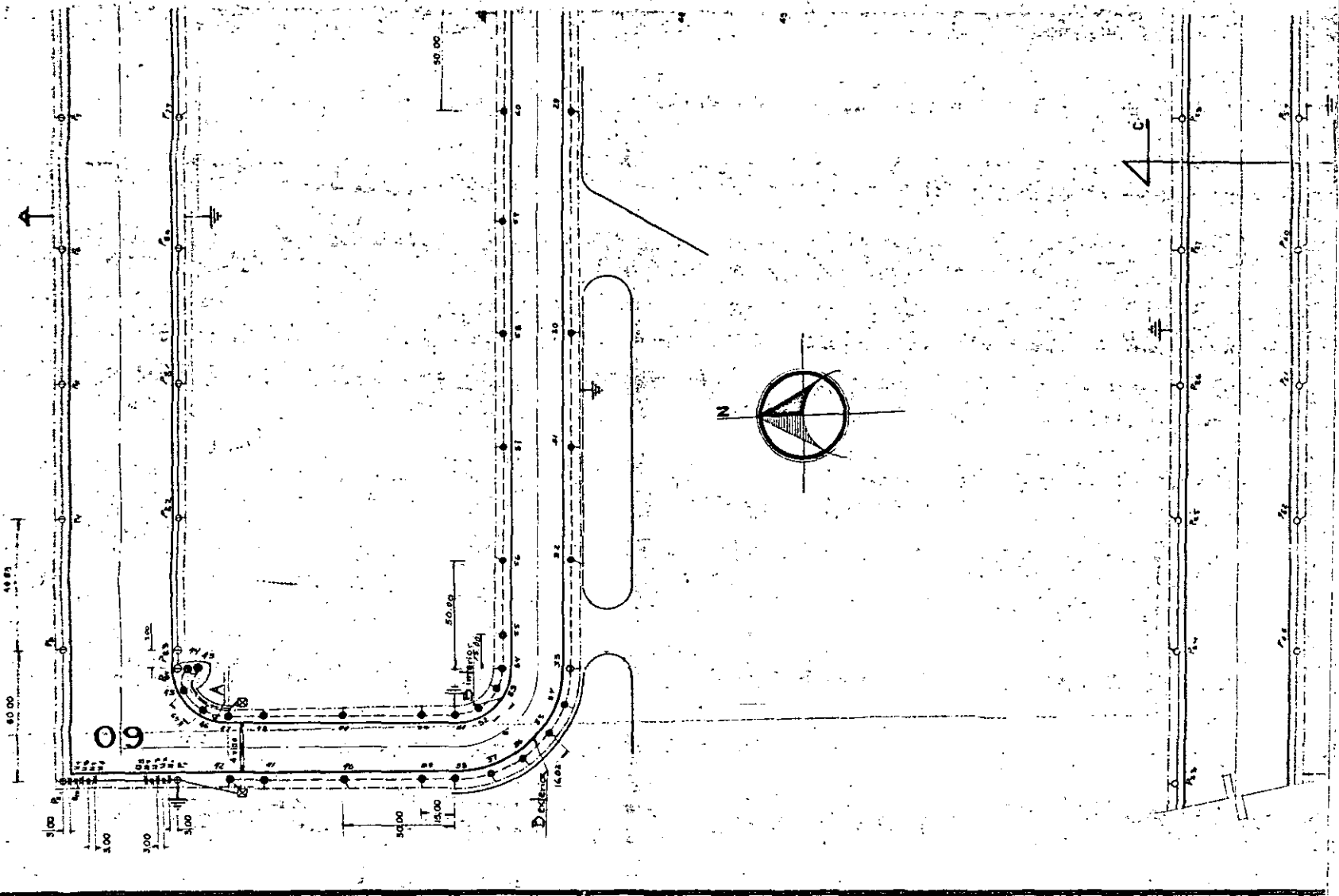
Circulares de Consulta.-FAA

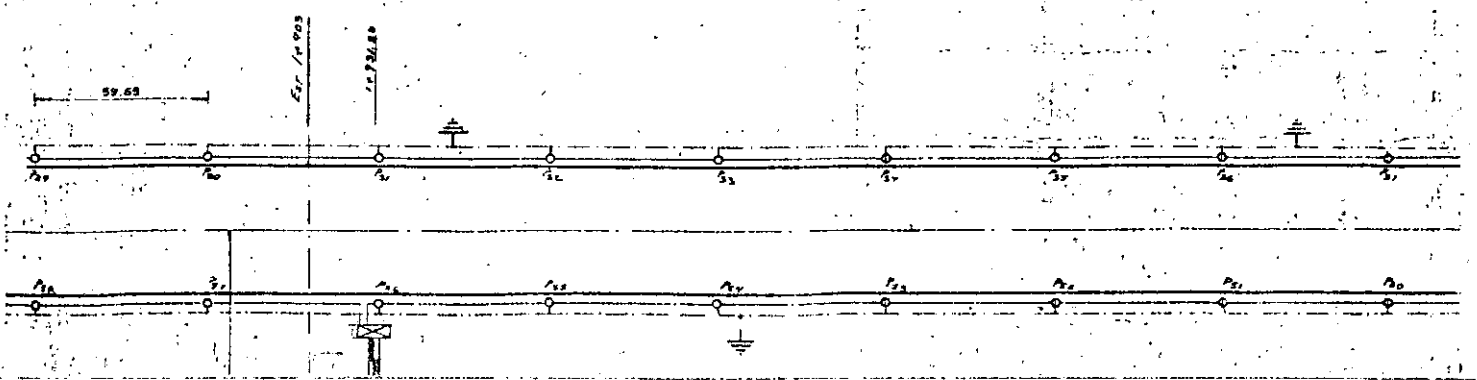
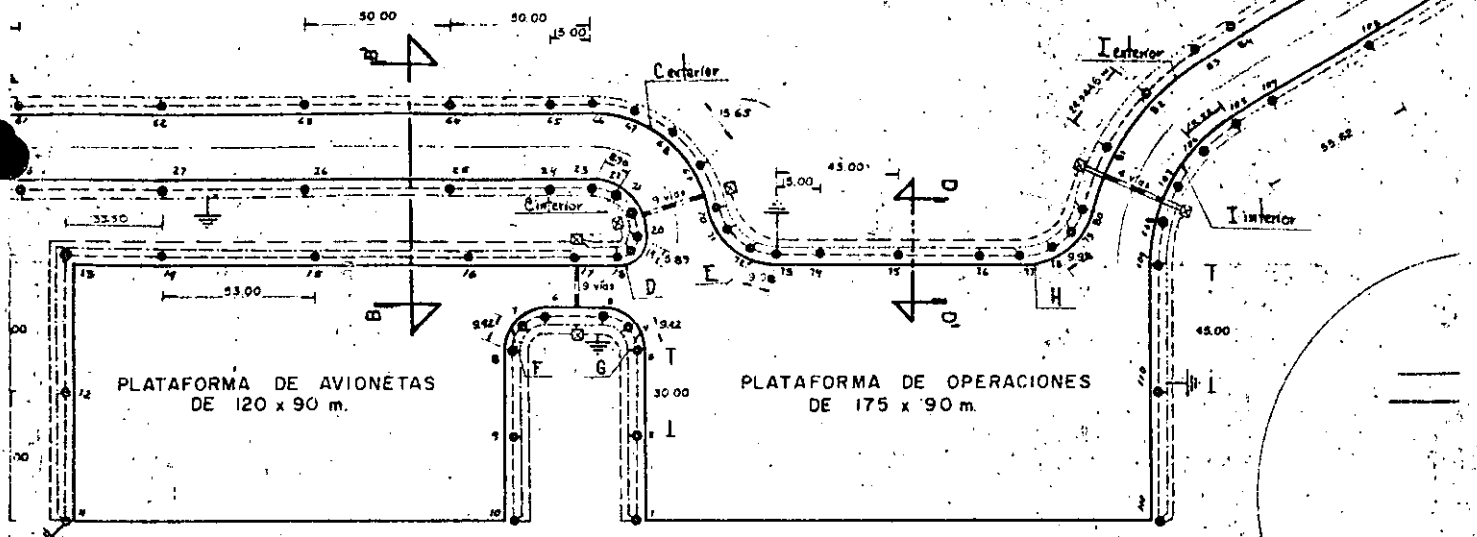
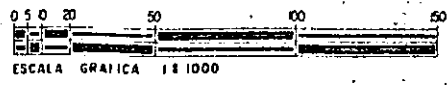
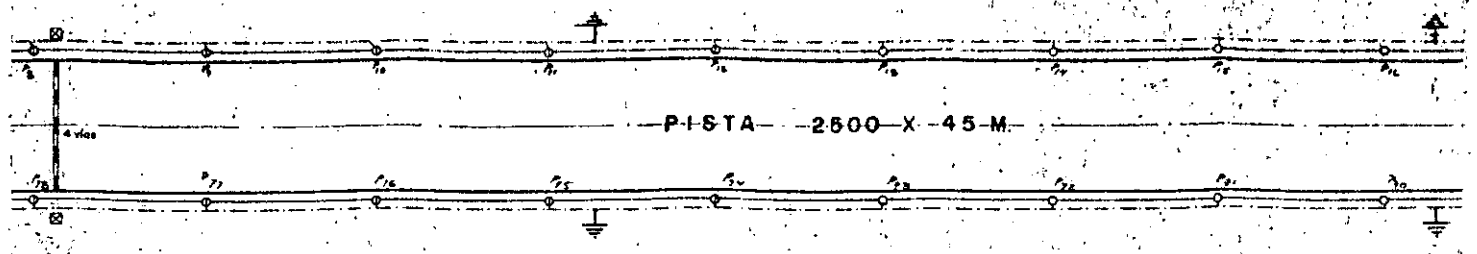
Especificaciones Generales de  
Construcción.-S.A.H.O.P.

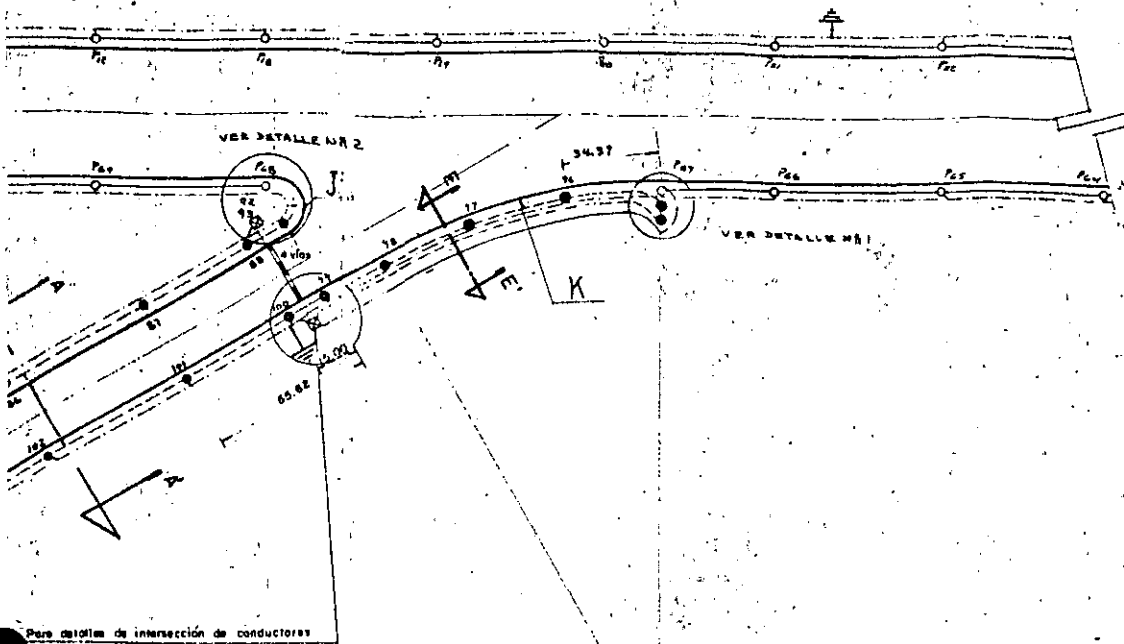
Boletín O.A.C.I.

Catálogos de Fabricación

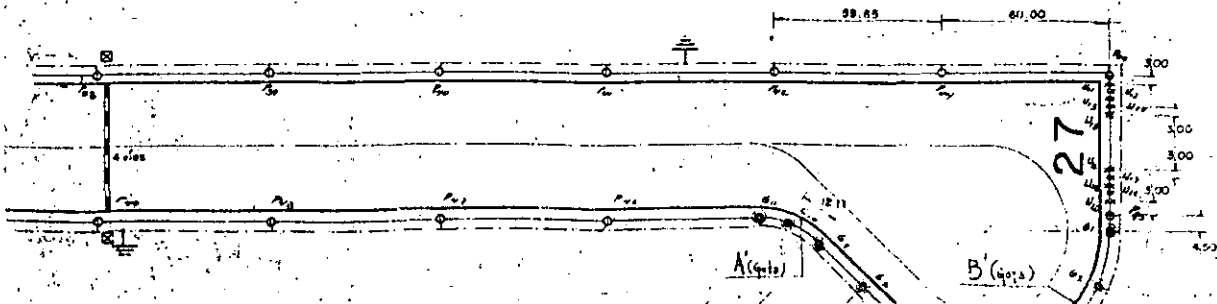
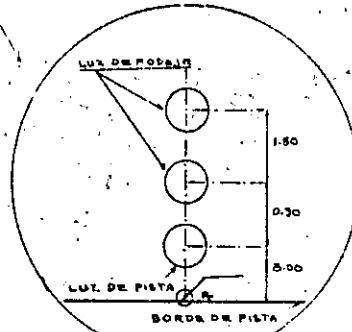
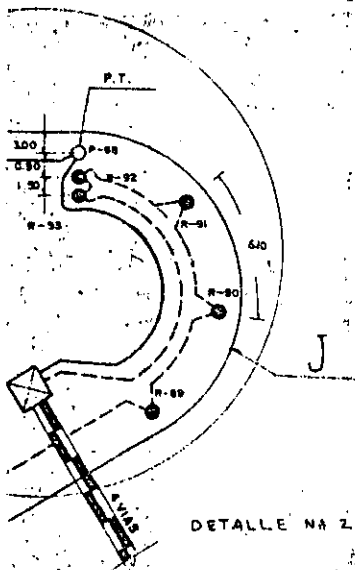
171



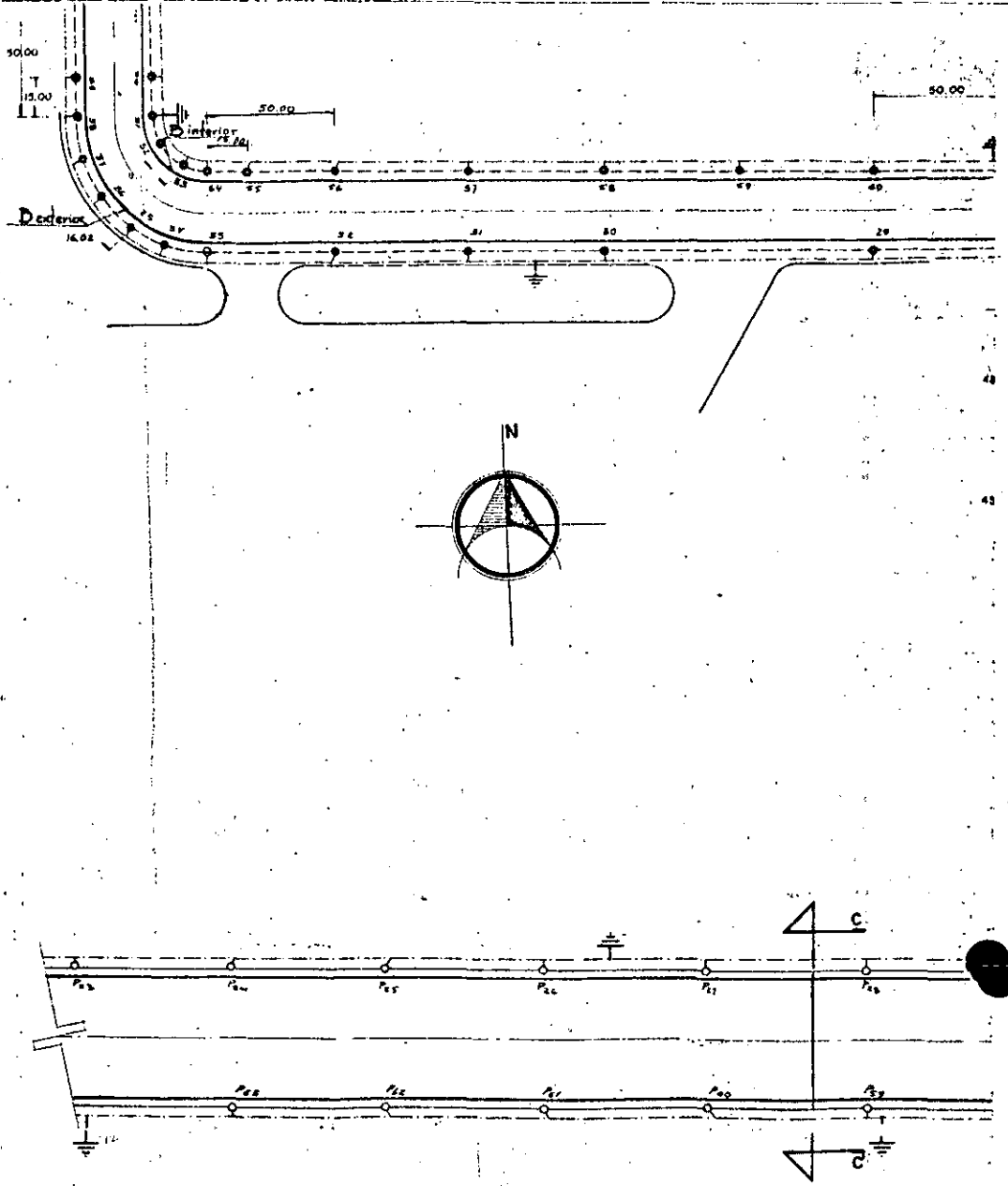




Para detalles de intersección de conductores  
Ver Plano AV-03.

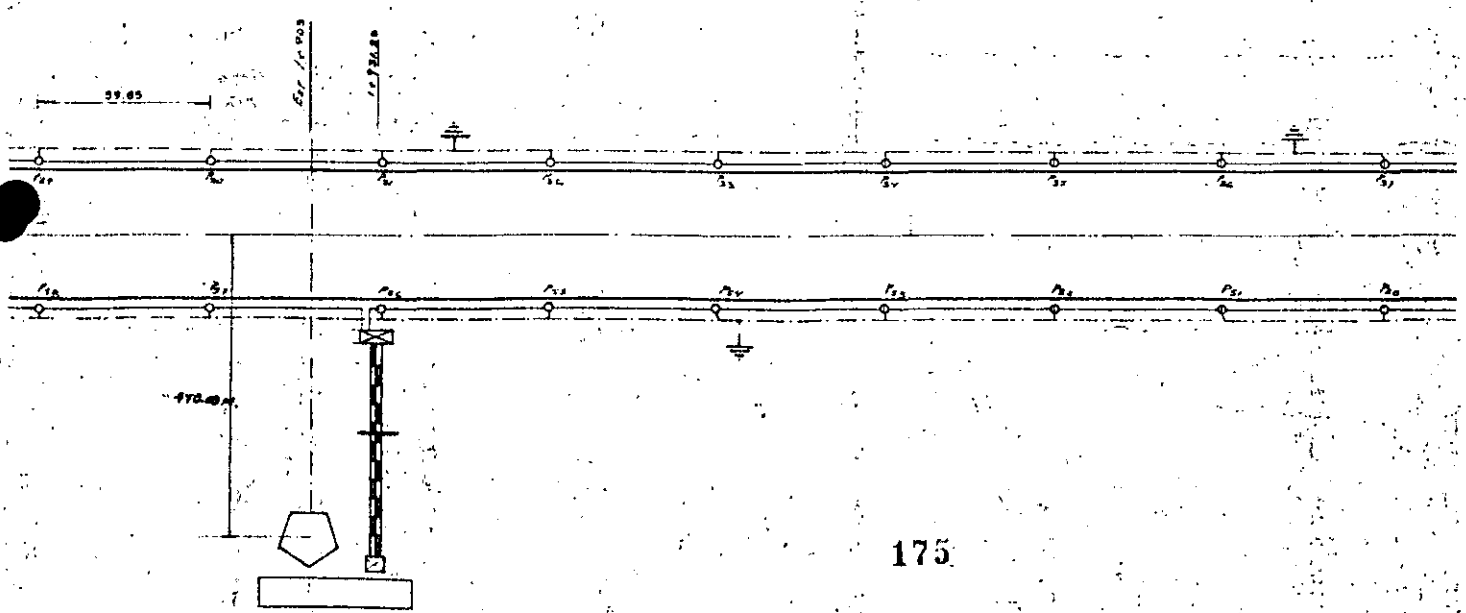
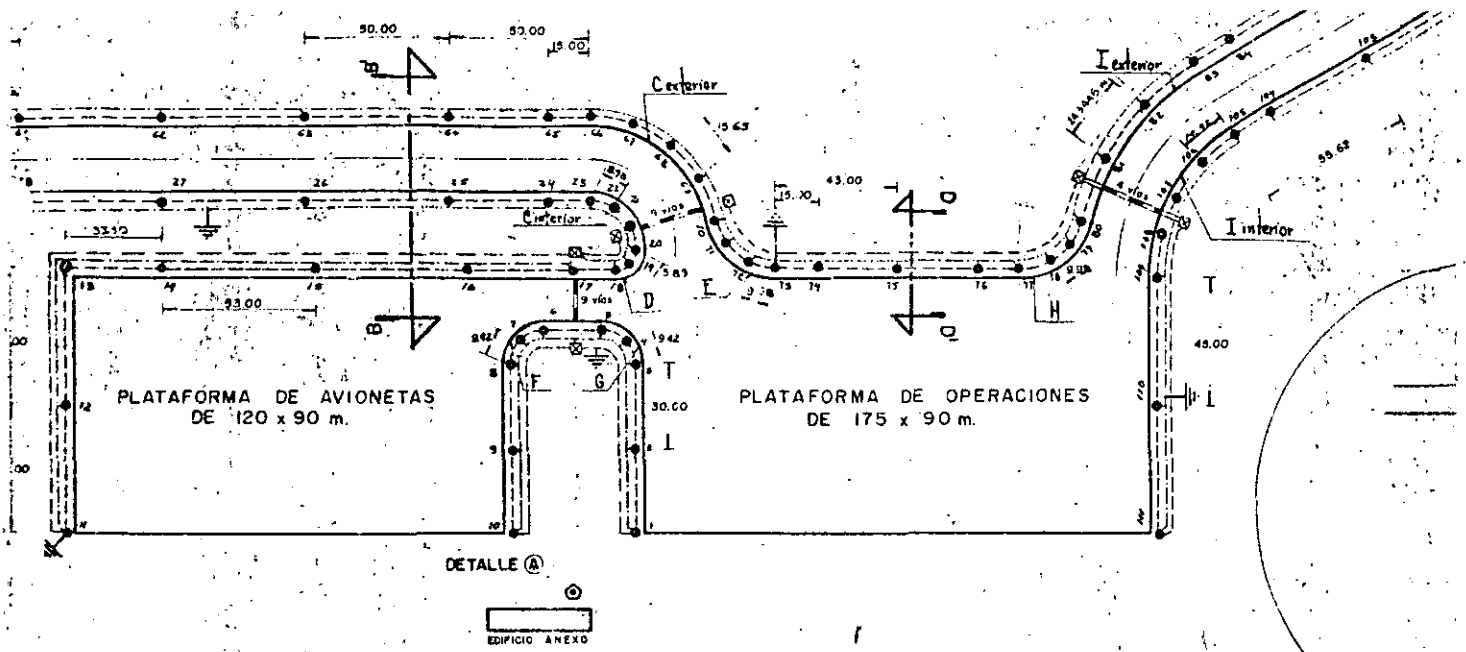






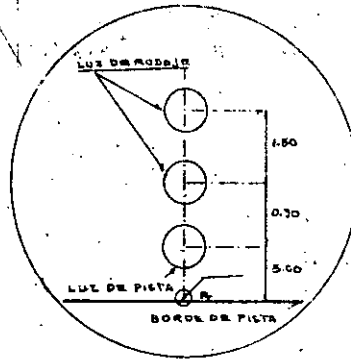
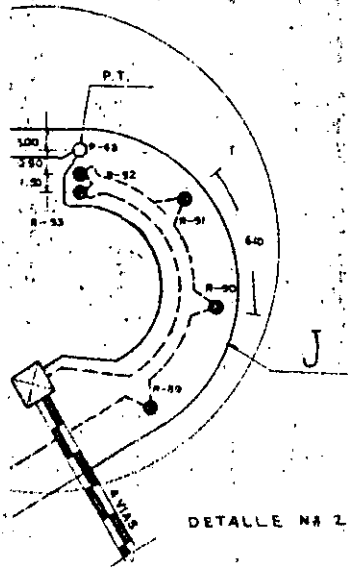
174

CROQUIS DE LOCALIZACION		SIMBOLO	DESCRIPCION	CANTO	UNIDAD	SIMBOLO	DESCRIPCION
		⊙	Luz de borde de pista de 100 watts filtro verde elev. de cuarzo. FAA-L-802	41	Pta	⊙	Regatta para luces de pista
		⊕	Luz de borde de pista de 100 watts filtro ambar. Modelo de cuarzo. FAA-L-802	39	Pta	⊕	Banco de luces para aviones de pista
		⊗	Luz de umbral de pista de 200 watts filtro verde. Placa de cuarzo. FAA-L-802	4	Pta	⊗	Banco de luces para aviones de pista para el 200W filtro verde FAA-L-802
		⊙	Luz de borde de pista de 100 watts filtro azul elev. de cuarzo. FAA-L-802-B	11	Pta	⊙	Transformador de aislamiento de 100W 6.6/1-830-4
		⊕	Luz de umbral de pista de 200 watts filtro verde. Placa de cuarzo. FAA-L-802	8	Pta	⊕	Transformador de aislamiento de 100W 6.6/1-830-4
		⊗	Luz de borde de pista de 100 watts filtro azul elev. de cuarzo. FAA-L-802-B	110	Pta	⊗	Transformador de aislamiento de 30W 6.6/1-830-1
		⊙	Luz de borde de pista de 100 watts filtro azul elev. de cuarzo. FAA-L-802-B	1	Pta	⊙	Transformador de aislamiento de 30W 6.6/1-830-1
		⊕	Señal de orientación EIP-L-802-B	1	Pta	⊕	Transformador de aislamiento de 30W 6.6/1-830-1
		—	Cableado para conductor AWG-3RV-3LP	6.360	M.	—	Transformador de aislamiento de 30W 6.6/1-830-1
		—	Cableado para conductor AWG-3RV-3LP	5300	M.	—	Transformador de aislamiento de 30W 6.6/1-830-1
—	Wiring equipment of 1.52cm. 0.20r. 305cm. de longitud	29	M.	—	Transformador de aislamiento de 30W 6.6/1-830-1		

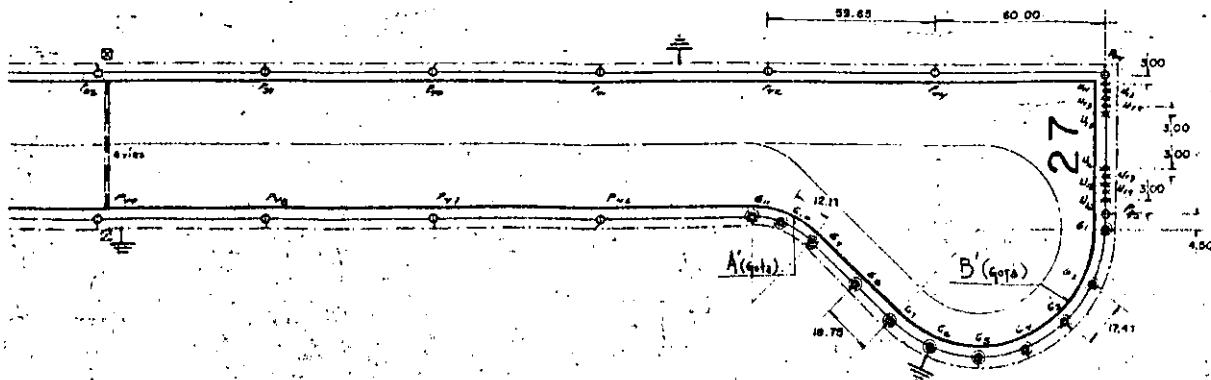


CANTIDAD	UNIDAD	NOTAS	PLANO No.	PLANOS DE REFERENCIA
16	Pts	1. Cualquier sujeción, modificación o cambio a este proyecto, deberá ser consultado al departamento de ingeniería. Para su aprobación.	AV-01	Planos generales de aviones y aeronaves, 1970
78	M		AV-02	Planos de planta general de construcción, 1970
378	M	2. Para las fracciones laterales de forma de arco, las medidas de arco y radio.		
13	Pts			
8000				
88	Pts			
77	Pts			
77	Pts			
8700	M			

Para detalles de intersección de conductores  
Ver Plano AV-03



DETALLE Nº 1



176

FECHA	MODIFICACIONES	ENTIDAD	MODIFICADO	APROBADO	ELABORACION
					Jefe de la Oficina de Ayudas Visuales Ing. Ulises Estévez Amorós
					Jefe de la Baseción Ing. Sergio Pérez Pérez
					Proyectado Ing. Basilio Guerra del Real
					Dibujó Fermín Gabriel Nerlago Díaz

**SOP** DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES

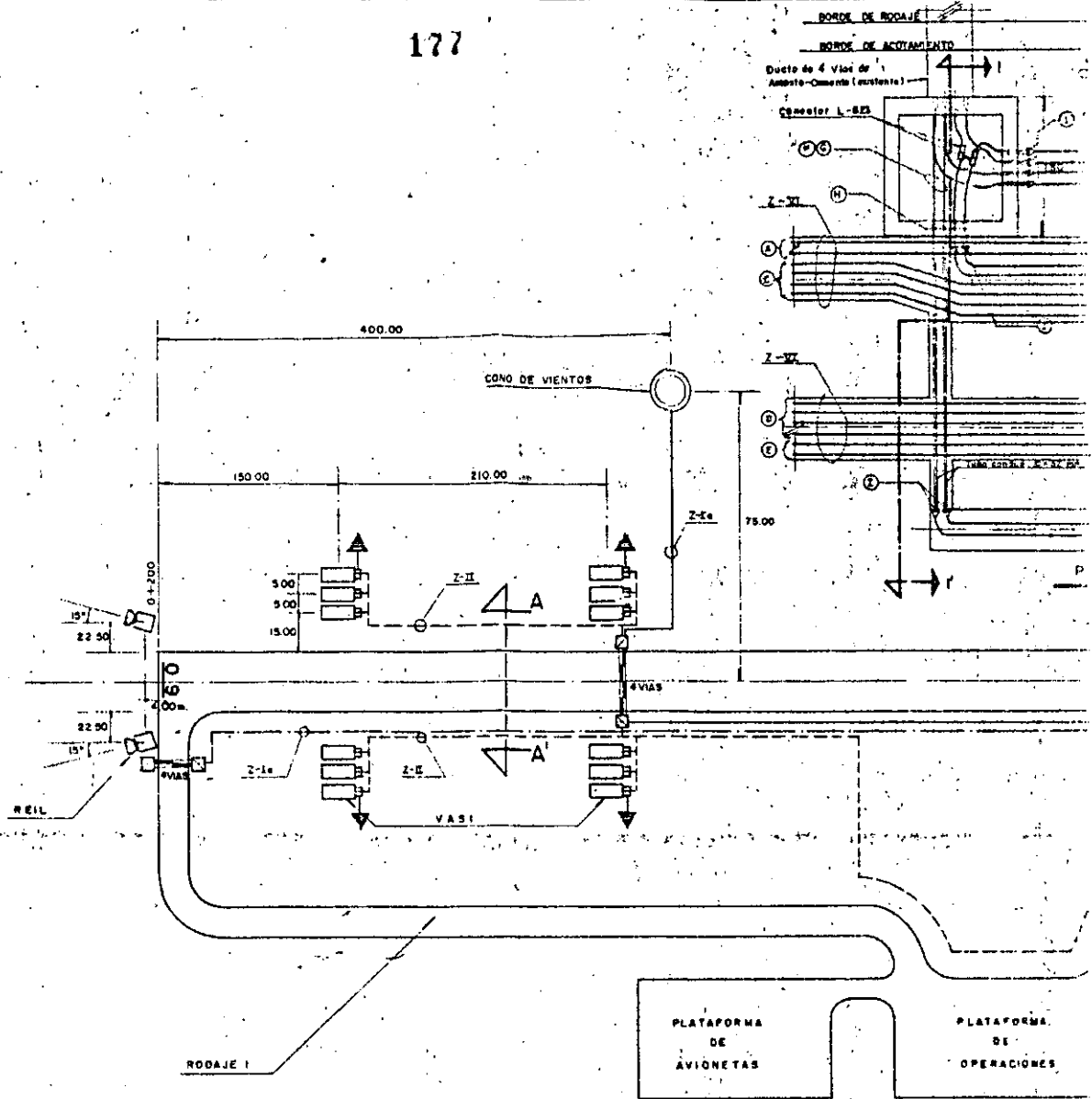
AEROPUERTO DE TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.

PLANTA GENERAL DE ILUMINACION  
DE PISTAS, RODAJE Y PLATAFORMA.

El Jefe del Departamento: *[Firma]*  
El Director General: *[Firma]*

NO. PERMISO: *[Firma]* / *[Firma]*  
MEXICO D.F. Mayo de 1977. AV-02

177

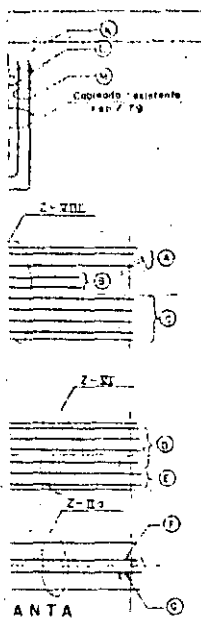


DETALLE DE INTERSECCION DE CONDUCTORES

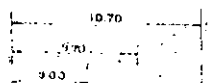
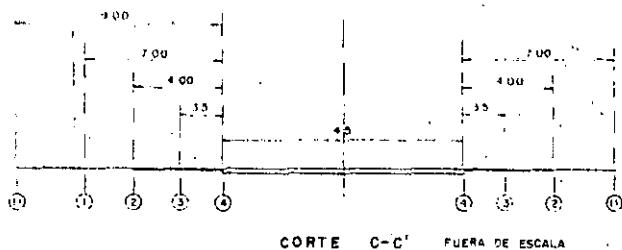
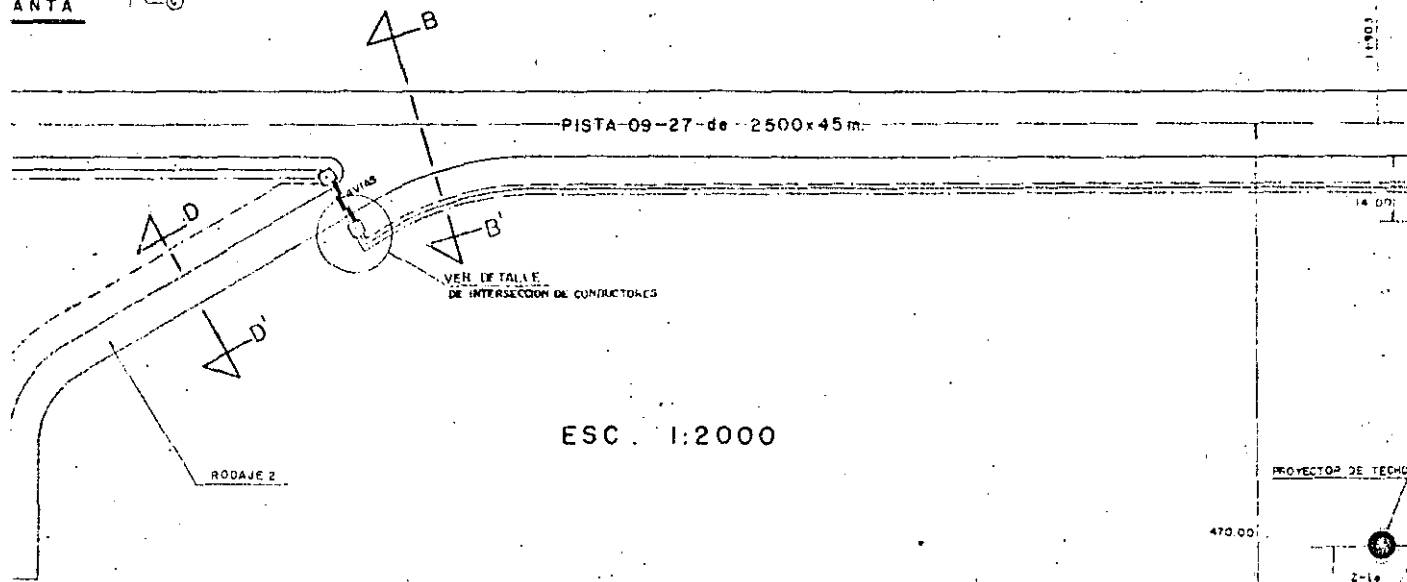
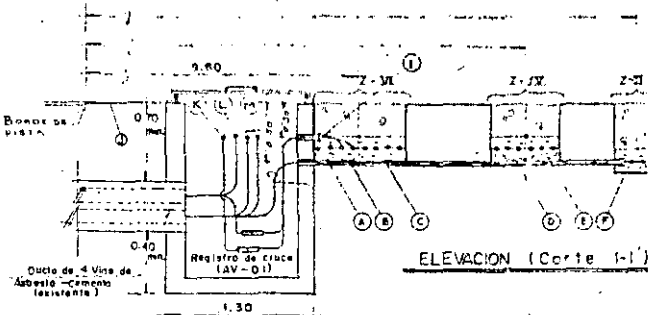
FUERA DE ESCALA

178

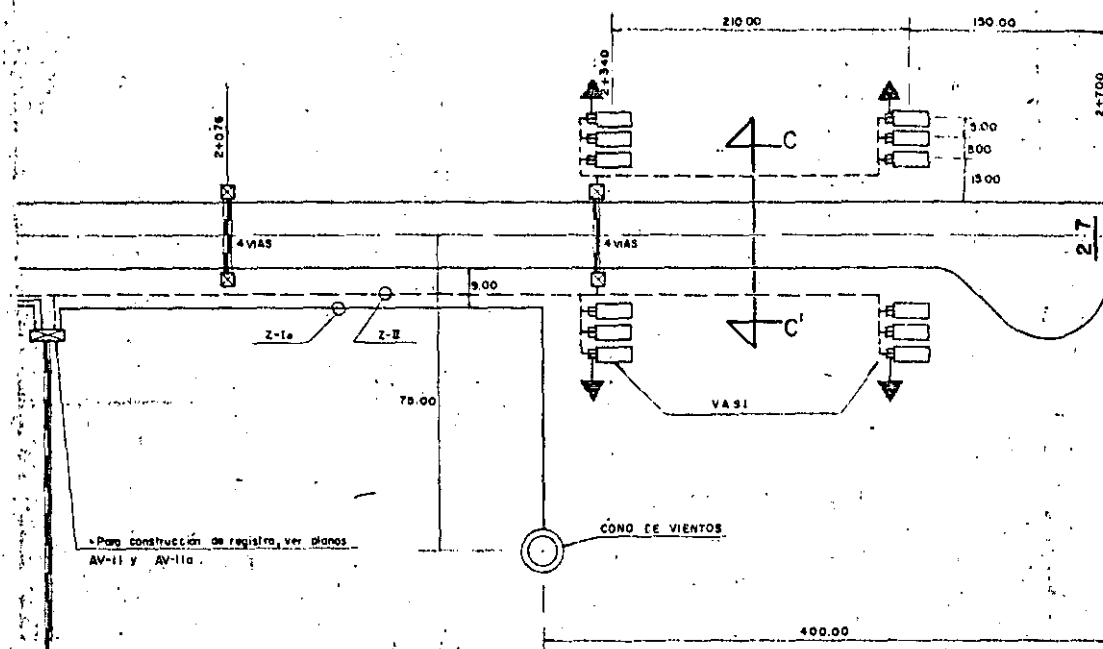
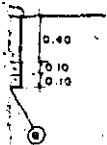
ACCIÓN M.



DESCRIPCION	
A).	Alimentador circuito epa de corte 2 (AV-10)
B).	Alimentador circuito banco de estado base (AV-11)
C).	Alimentador circuito banco de estado (AV-12)
D).	Alimentador circuito banco de estado (AV-1001 y 1002)
E).	Alimentador circuito epa de corte 1 (AV-13)
F).	Alimentador circuito epa de corte 14 (AV-14)
G).	Alimentador circuito banco de estado 09 (AV-09)
H).	Tubo conduct. pared gruesa galvan. 32 cm. Ø
I).	Conector sella 32 cm. Ø
J).	Apoyamiento
K).	Alimentador circuito banco de estado (AV-21)
L).	Alimentador circuito banco de estado (AV-22)
M).	Alimentador circuito VASE - 13 (AV-13)

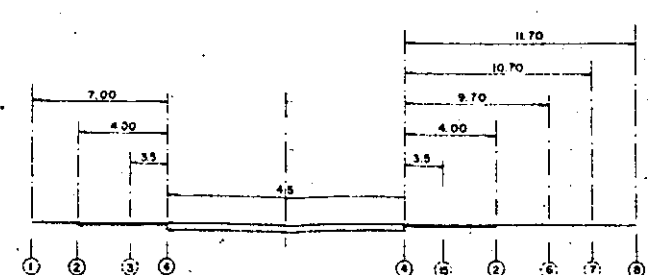
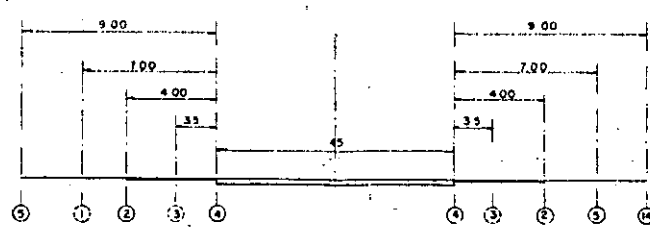
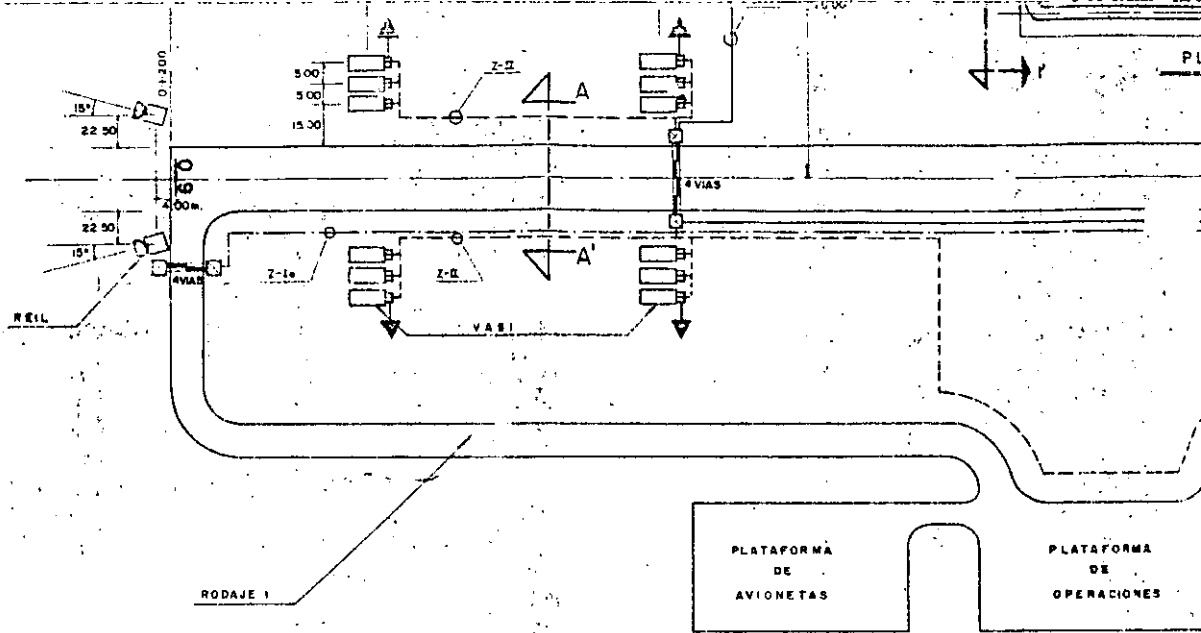


179



PARA DETALLES CONSTRUCTIVOS DE ESTE BANCO DE DUCTOS VER PLANO IE-5C

Nº	DESCRIPCIÓN
1	Zanja tipo IV para luces de eje de rodaje.
2	Bande de acoplamiento de eje de rodaje.
3	Zanja existente para alimentación de luces de borde de pista.
4	Bande de pista de rodaje.
5	Zanja tipo II para alimentación VASI cabeza 09.
6	Zanja tipo VIII para alimentación de luces de eje de rodaje 2, luces de borde de rodaje total y fondo de barra de peralte de rodaje 2.
7	Zanja tipo VIII para alimentación de luces de barra de peralte del rodaje 1 y luces de eje de rodaje 1.
8	Zanja tipo IIa para alimentación de REIL y Como de Vientos cabeza 09.
9	Zanja existente para alimentación de VASI cabeza 09 y luces de borde de rodaje.
10	Zanja existente para alimentación de luces de borde de rodaje.
11	Zanja tipo II para alimentación VASI-27.
12	Zanja tipo II para alimentación de luces de eje del rodaje 2.
13	Zanja tipo VI para alimentación de luces de barra de peralte del rodaje 1 y luces de eje del rodaje 1.
14	Zanja tipo I para alimentación REIL cabeza 09.
15	Zanja existente para alimentación de luces de borde de rodaje y luces de eje de rodaje.

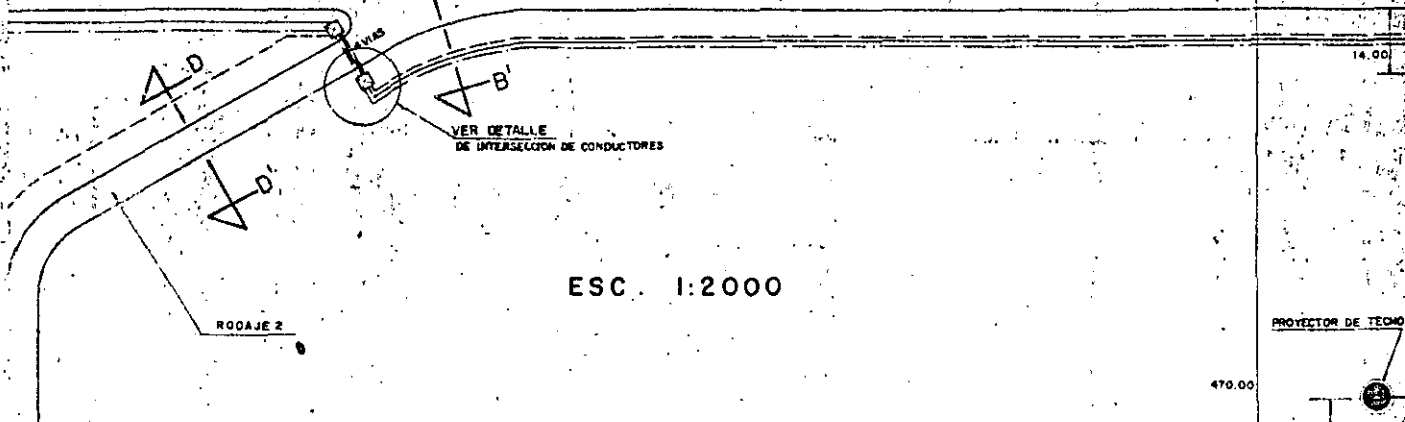


**CORTES DE LOCALIZACION DE EJE DE ZANJAS Y**  
**180**

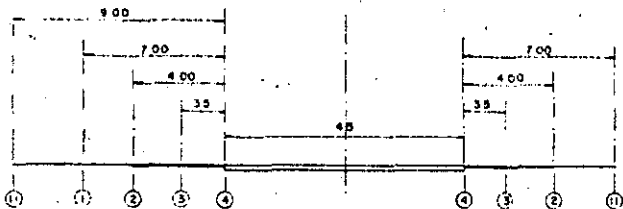
DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	CANT.	UNID.
Zanja Tipo:			V.A.S.I.			CUNILLOS VIENTOS		
Ia	9.43	M.	Unidad visual indicadora de pendiente de inclinación, IAA-L-031.	24	Pase.	Cuna de viento de 3.65 m. (12") Esp. IAA-L-807 completa.	2	M.
Ib	10.51	M.	Cable de cobre unipolar, de 7 hilos; cable de 8 A.W.G. para 3 KV.	1000	M.	Cable de control # 10 A.W.G., 400 V. para alimentación y control.	1	M.
II	11.93	M.	Cable de conexión especial IAA-E-1041.	24	IND.	Base de aluminio para colocación de cunillos.	2	Pc
IV	15.00	M.	Cimiento registro para unidad VASI.	24	Pase.	<b>PROYECTOR DE TECHO</b>		
			registro y varilla de tierra.	8	Pase.	Proyector de tachycclinometro.	1	Pi
			Cable de cobre unipolar, de 7 hilos, cable de 8 A.W.G., desnudo.	120	M.	Base de concreto.	1	Pc
			carcavos de cable.	80	Pase.	Cable de control # 10 A.W.G. (Alim. y Control).	1	M.

ANTA

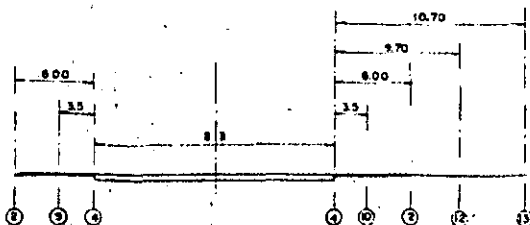
PISTA 09-27 de 2500x45 m.



ESC. 1:2000



CORTE C-C' FUERA DE ESCALA



CORTE D-D' FUERA DE ESCALA

PROYECTOR DE TECHO

470.00



800.00

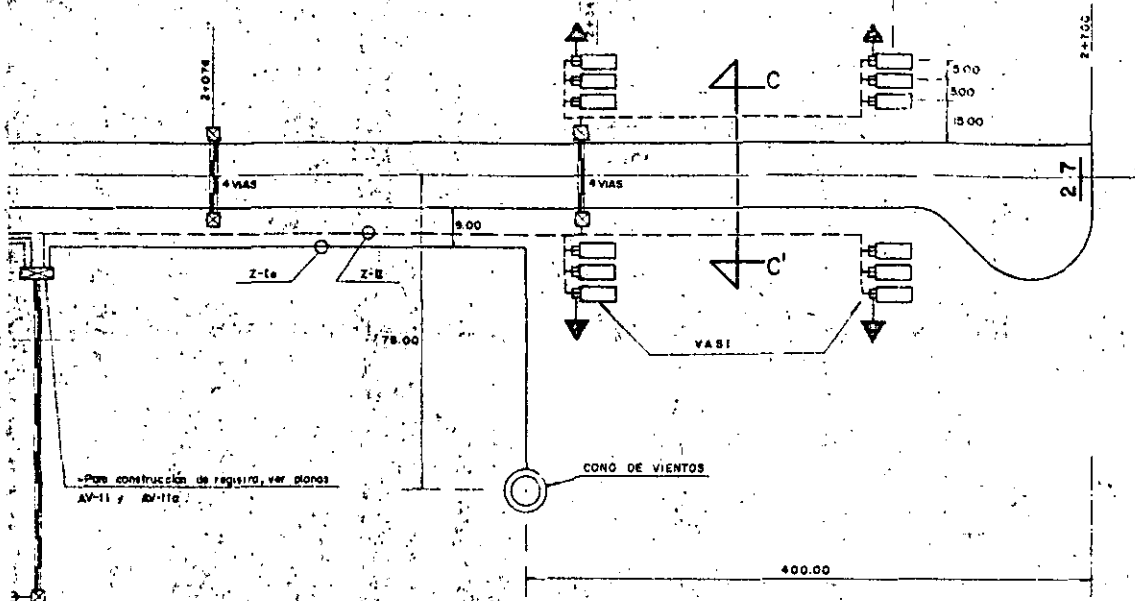
FARO GIRATO

TRAYECTORIAS DE CABLEADO

181

ID	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	NOTAS	PLANO No	PLANOS DE REFERENCIA	FECHA
1	<b>EQUIPO:</b> Cable de cobre 2 cond. calibre 8 10 A.W.G.	1	Cote.	1-PARA TIPO DE ZANJAS VER PLANO AV-01	1F-0C	CANALIZACION BANCO DE DUCTOS	
2	Cable de control 2 cond. calibre 8 10 A.W.G.	1550	M.	2-TODA SUGERENCIA DE CAMBIO O MODIFICACION A ESTE PROYECTO DEBERA SER CONSULTADO AL DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES PARA SU APROBACION.	AV-01 AV-10 AV-02	PLANTA GENERAL DE DUCTOS, REGISTROS Y ZANJAS TIPO PLANTA GENERAL DE LUCES DE EJE DE PISTA PLANTA GENERAL DE SEÑALAMIENTO LUMINOSO	
3	Arquetas cement.	3	Pcs.	3-TODAS LAS ACOTACIONES ESTAN EN METROS EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRA UNIDAD	AV-14	PLANTA GENERAL DE LUCES DE EJE DE RODAJE Y BARRAS DE PARADA	
4	Cable de control 4 conductores calibre 8 12 A.W.G.	100	M.				
5	<b>FAN DISPOSITIVO:</b> Fan industrial 1/2 hp 115v 60 Hz de 1000 watts y juntas verde y roja, especificación IAA-L-231 de 36" de Ø.		Pcs.				
6	Conjunto de sujeción armado, anillos y tubo de 1/2" de Ø.		Pcs.				





PARA DETALLES CONSTRUCTIVOS DE ESTE BANCO DE DUCTOS VER PLANO IE-5C

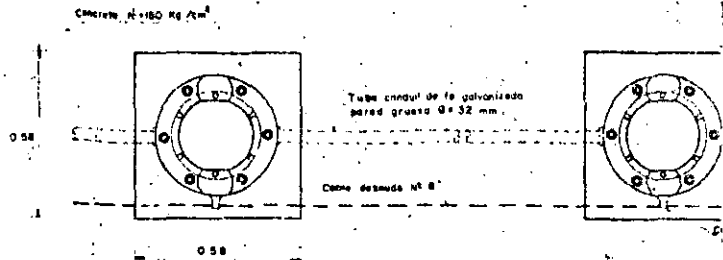
Nº	DESCRIPCION
1	Zanja tipo IV para luces de eje de pista.
2	Borde de acortamiento de pista 5 rodaje.
3	Zanja existente para alimentación de luces de borde de pista.
4	Borde de pista 2 rodaje.
5	Zanja tipo II para alimentación VASI cabecera 09.
6	Zanja tipo VIII para alimentación de luces de eje de rodaje 2, luces de borde de rodaje total y luces de barra de parada de rodaje 2.
7	Zanja tipo VIII para alimentación de luces de barra de parada del rodaje 1 y luces de eje de rodaje 1.
8	Zanja tipo IIIa para alimentación de REIL y Cono de Vientos cabecera 09.
9	Zanja existente para alimentación de VASI cabecera 09 y luces de borde de rodaje.
10	Zanja existente para alimentación de luces de borde de rodaje.
11	Zanja tipo II para alimentación VASI-27.
12	Zanja tipo II para alimentación de luces de eje del rodaje 2.
13	Zanja tipo VI para alimentación de luces de barra de parada del rodaje 1 y luces de eje del rodaje 1.
14	Zanja tipo I para alimentación REIL cabecera 09.
15	Zanja existente para alimentación de luces de borde de rodaje, luces de borde de pista y alimentación VASI cabecera 09.

182

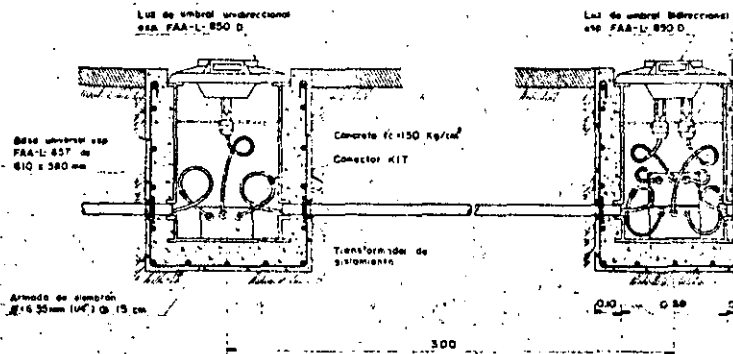
MODIFICACIONES	ENTIDAD	MODIFICADO	APROBADO	ELABORACION	
				Jefe de la Oficina de Ayudas Visuales Ing. <i>[Signature]</i> <i>[Signature]</i> Amador	<b>SAHOP</b> DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES AEROPUERTO DE TUXTLA GUTIERREZ, CHIS. INSTALACION DE VASI, CONOS DE VIENTOS, REIL, PROYECTOR DE TECHO Y FARO GIRATORIO.
				Jefe de la Sección. Ing. Sergio Perez Perez.	
				Proyecto: Ing. Basilio Suarez del Real	PROPUSO
				Dibujo: Fermín Gabriel Muñoz Díaz	APROBO
					ING FERNANDO CERVANTES LOPEZ
					ING EDUARDO LUNA TRAIL
				México, D. F. Feb. de 1979	AV-03

172

183

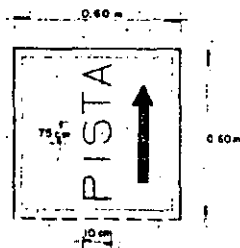


PLANTA

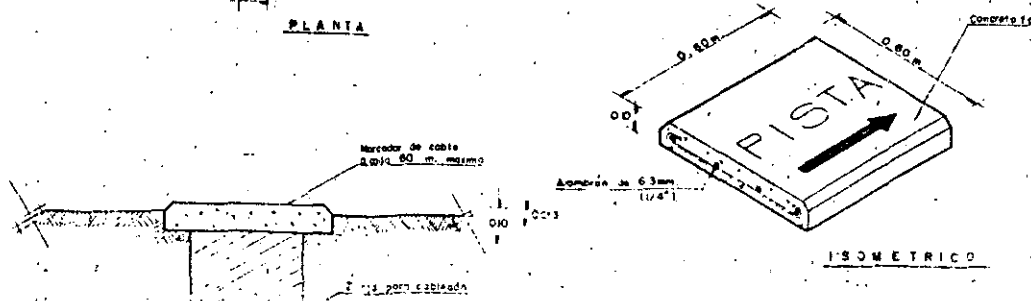


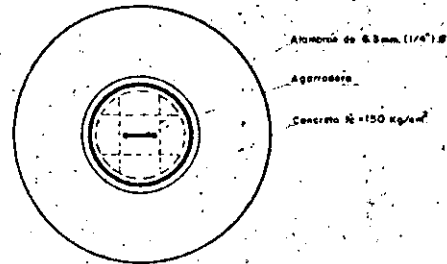
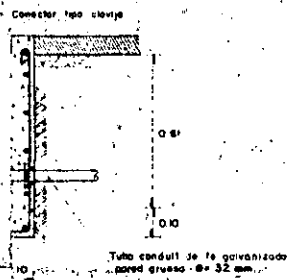
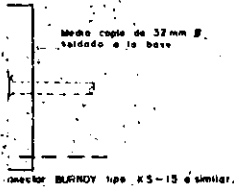
ELEVACION

DETALLE DE LUCES DE UMBRAL

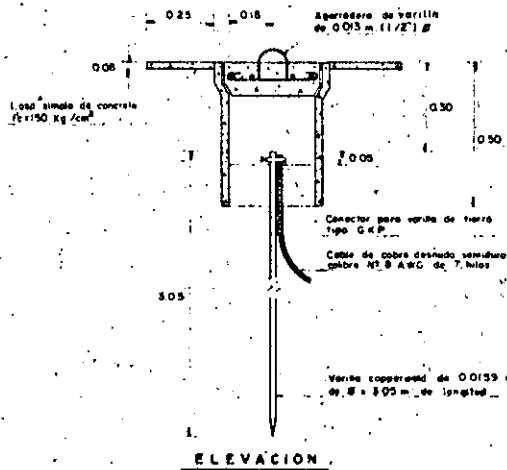


PLANTA





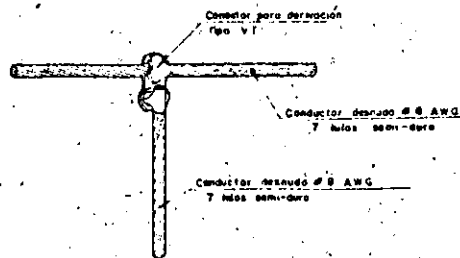
PLANTA



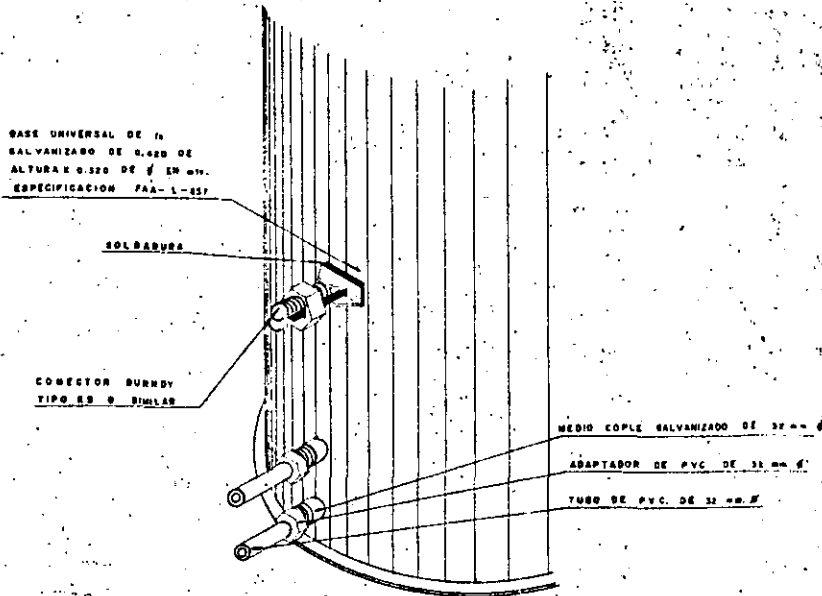
ELEVACION

REGISTRO PARA VARILLA DE TIERRA

150 kg/cm²

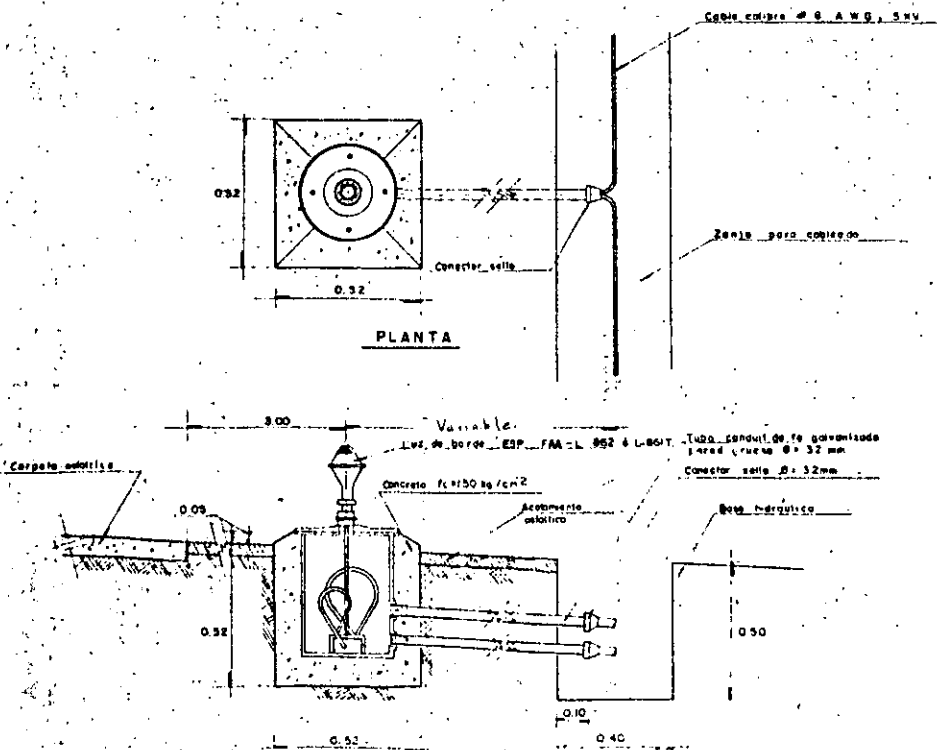


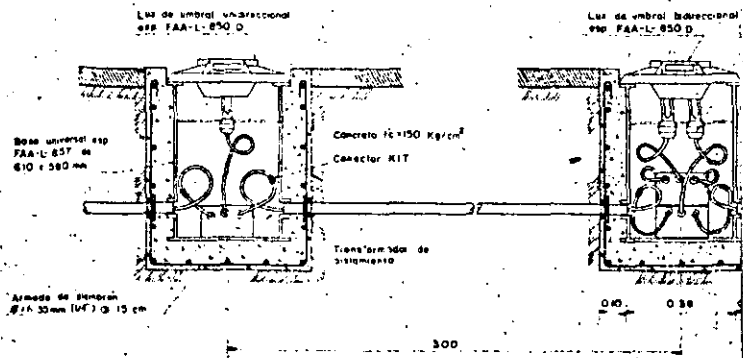
CONEXION A TIERRA



ISOMETRICO

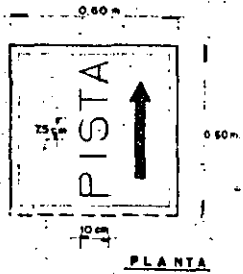
DETALLE "A"



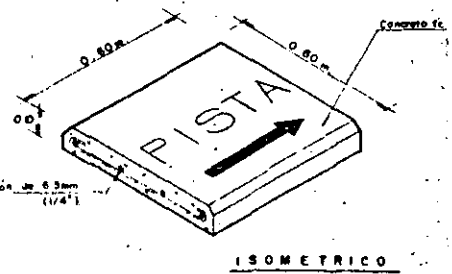


ELEVACION

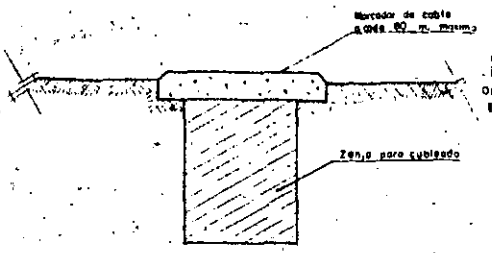
DETALLE DE LUCES DE UMBRAL



PLANTA



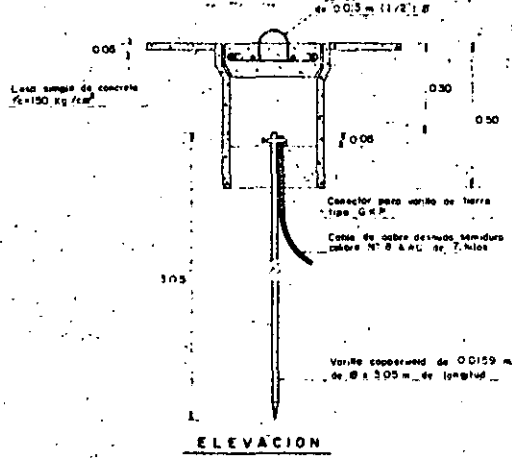
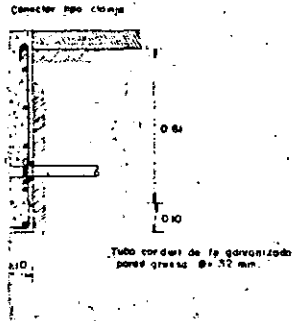
ISOMETRICO



ELEVACION

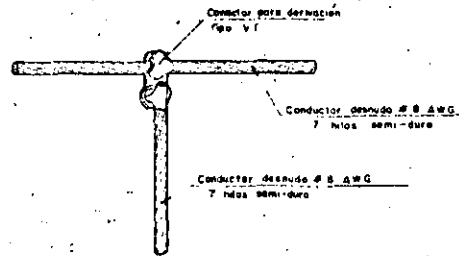
DETALLE DE MARCADOR DE CABLES

CROQUIS DE LOCALIZACION	



REGISTRO PARA VARILLA DE TIERRA

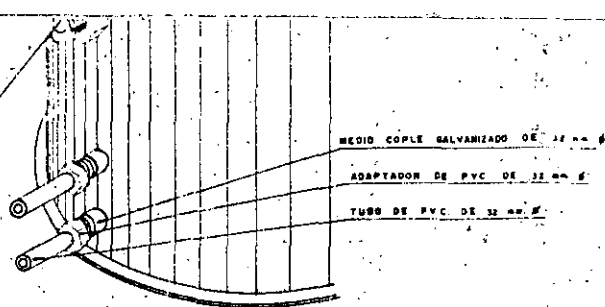
150 kg/cm<sup>2</sup>



CONEXION A TIERRA

NOTAS		PLANO Nº	PLANOS DE REFERENCIA
<p>1- Cualquier sugerencia de modificación o cambio a este proyecto deberá ser consultada al DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES para su aprobación.</p> <p>2- Las características están dadas en M. excepto las indicadas en otra unidad.</p> <p>3- Poner indicación de nombre de circuito a los marcos.</p>		<p>AV-01</p> <p>AV-02</p> <p>AV-03</p> <p>AV-05</p>	<p>PLANTA GENERAL DE DUCTOS Y REGISTROS</p> <p>PLANTA GENERAL DE SERALAMIENTOS</p> <p>INSTALACIONES PARA UNA SOLICITUD DE PROTECTOR DE TECHO Y FARO GIRATORIO</p> <p>DETALLES CONSTRUCTIVOS DE INSTALACIONES COMO DE VIENTOS, PROTECTOR DE TECHO Y...</p>

CONECTOR BUANDY  
TIPO ES O SIMILAR



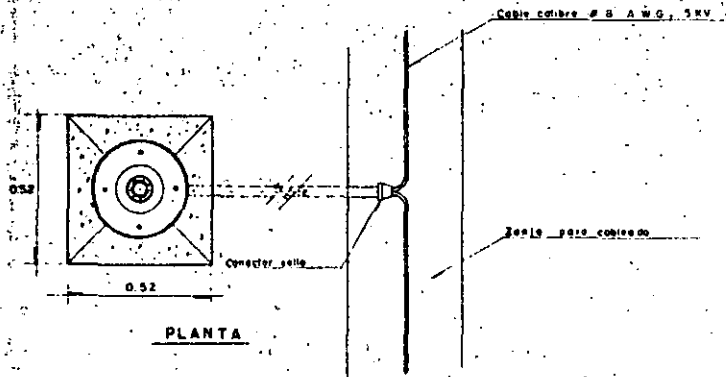
MEIO COPLE GALVANIZADO DE 1/2" x 1/4"

ADAPTADOR DE PVC DE 32 mm Ø

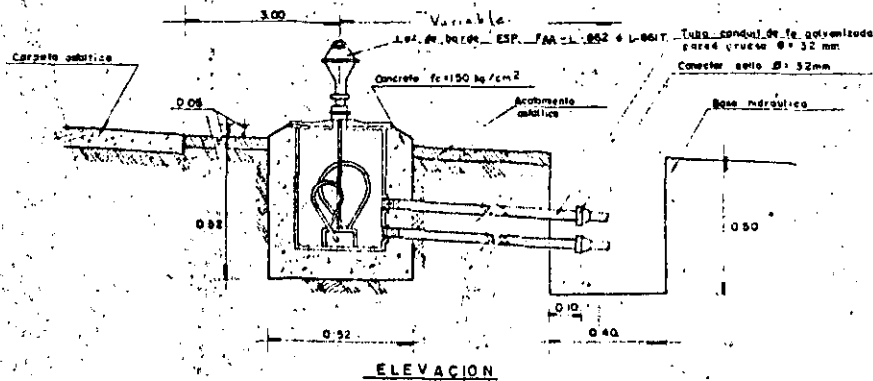
TUBO DE PVC DE 32 mm Ø

ISOMETRICO

DETALLE "A"



PLANTA



ELEVACION

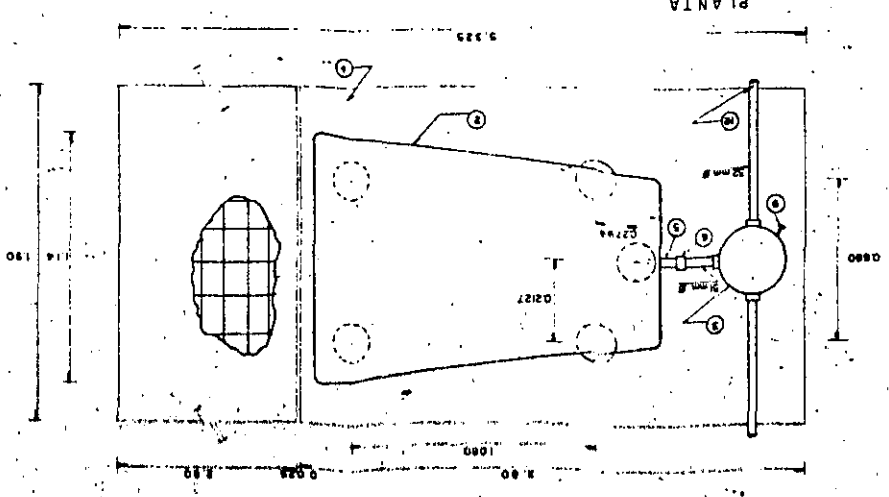
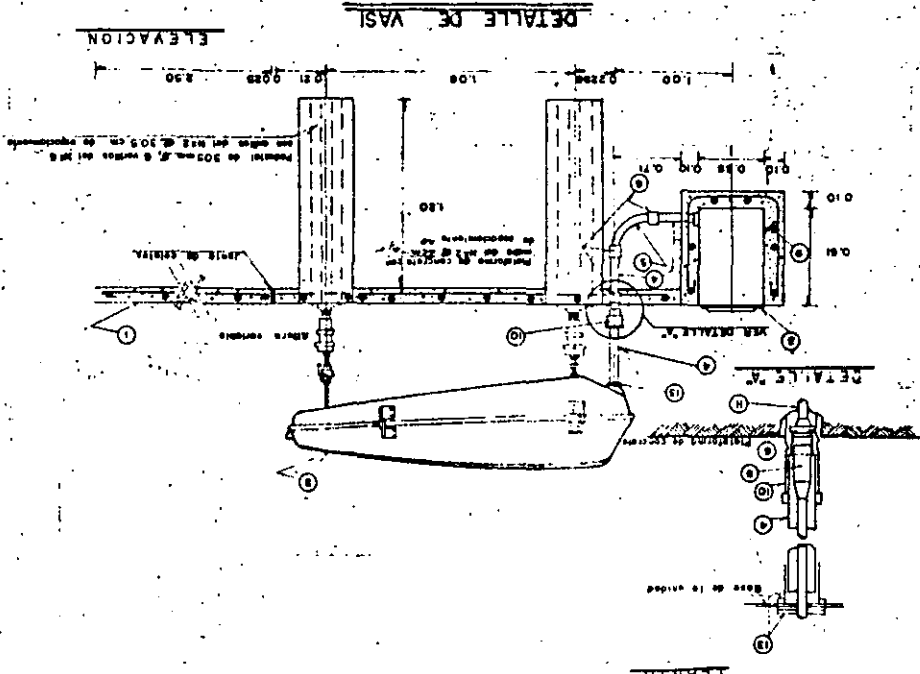
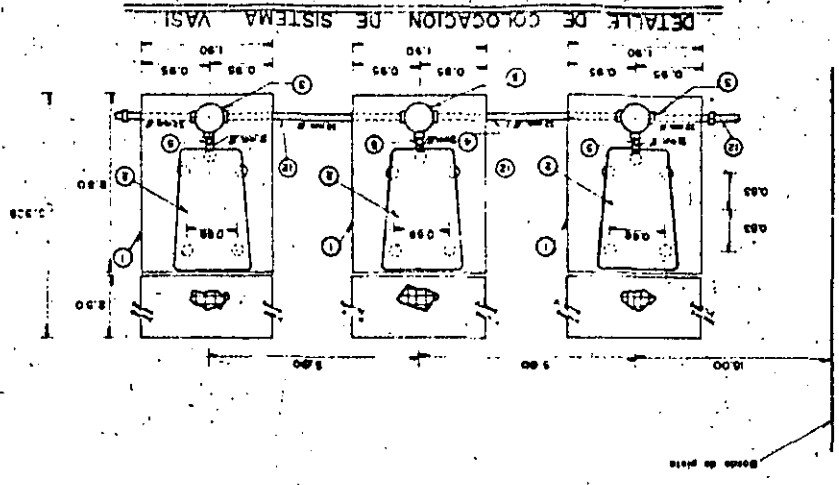
DETALLE DE LUCES DE BORDE DE PISTA Y RODAJE

188

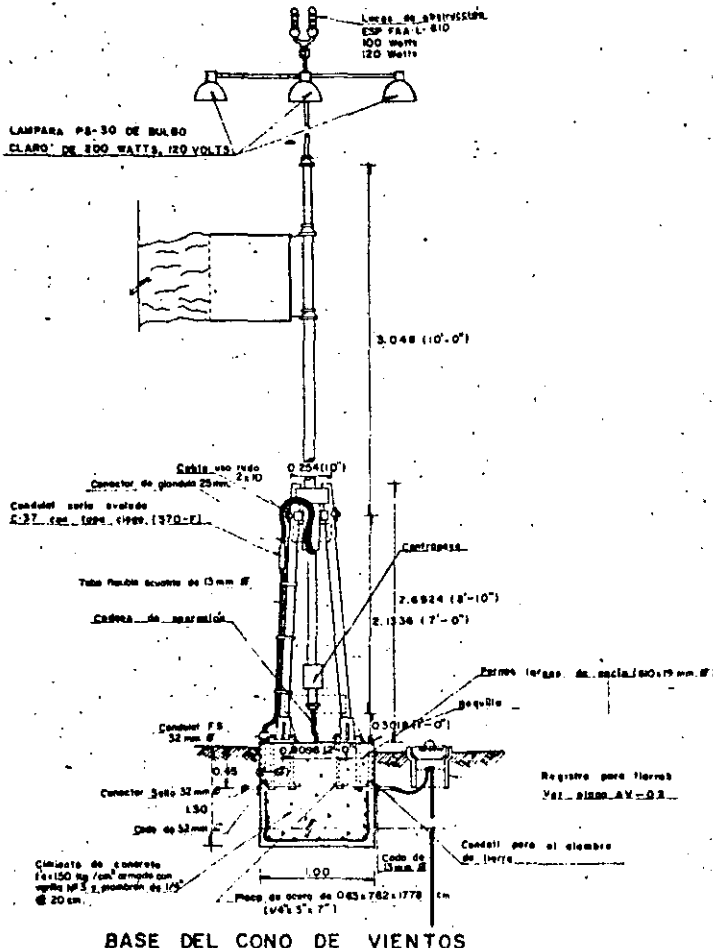
FECHA	MODIFICACIONES	ENTIDAD MODIFICADA	APROBADO	ELABORACION
				<p>El Jefe de la Oficina: Rafael Vázquez</p> <p>El Jefe de la Sección: ING. SERGIO PEREZ PEREA</p> <p>Proyectó: MEZESA INSTALACIONES S.A.</p> <p>Dibujó: MEZESA INSTALACIONES S.A.</p>
				<p><b>SALOP</b> Dirección General de Aeropuertos Departamento de Instalaciones</p> <p><b>AEROPUERTO DE TUXTLA GUTIERREZ, CHI.</b> <b>DETALLES DE PLANTA GENERAL</b> <b>DE SERALAMIENTO LUMINOSO</b></p> <p>Proyecto: C. Jefe del Departamento      Aprobó: C. Director General</p> <p>Ing. Fernando Cervantes Lopez      Ing. Eduardo Luis Trujillo</p> <p>México, D.F., Diciembre 1978 N° AV-04</p>

173

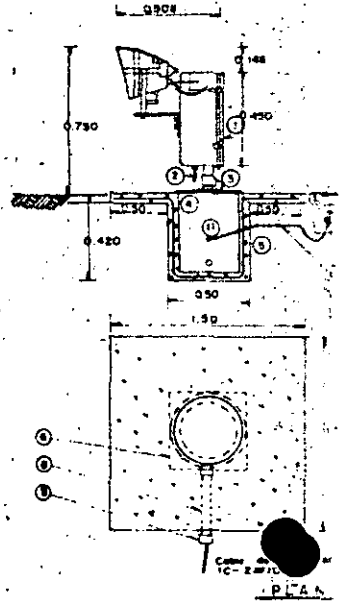
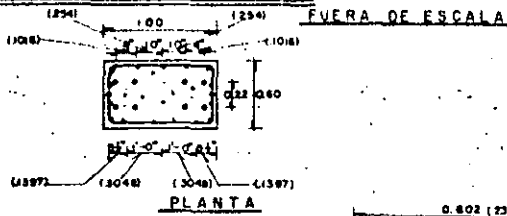
- DESCRIPTION
- 1 BASE DE CONCRETO (1)
  - 2 GABINETE EQUIPO VASO
  - 3 BASE UNIVERSAL L-857
  - 4 TUBO CONDUIT SALVAVAZO
  - 5 COUO CONDUIT SALVAVAZO
  - 6 COPLE CONDUIT SALVAVAZO
  - 7 TRANSPORTADOR DE VASI
  - 8 CHAVILE BARRON DE CAL
  - 9 CONEXION A TIERRA
  - 10 COPLE PASEIL (ESTALLE)
  - 11 CHAVILE BARRON DE CAL
  - 12 TUBO CONDUIT SALVAVAZO
  - 13 CONTRA Y MONITOR DE SI
  - 14 CONECTOR PA-A-L-823







**BASE DEL CONO DE VIENTOS**

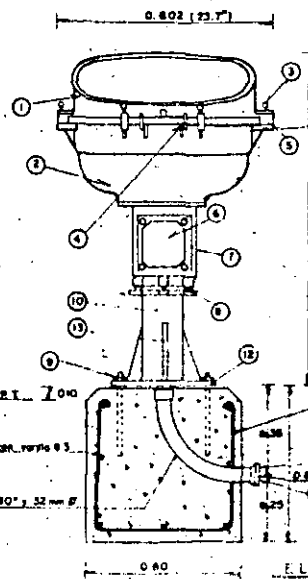


**EQUIPO REIL FUERA DE ESCALA**

150 Kg/cm<sup>2</sup>

100 SI mm Ø  
 200 SI mm Ø  
 150 SI mm Ø  
 LAMIENTO L-830-6  
 LES FAA-E-1041

LES FAA-E-1041  
 DE 32 mm Ø  
 1/4"



**DESCRIPCION**

- 1 ANILLO DE CIERRE DE ALEACION DE ALUMINIO FORJADO
- 2 CUERPO DE ALEACION DE ALUMINIO
- 3 ROSCANDO DE SUSPENSIÓN
- 4 BRACA
- 5 NIVEL DE MARCHA A PRUEBA DE CHOQUE
- 6 TAPA REMOVI-BLE DE ACCESO AL TRANSFORMADOR DE MEDICIÓN Y CABA PARA SELLAR EL INTERIOR DEL CONO
- 7 INTERRUPTOR DE DOS PUNOS A NIVEL DE INTERRUPTOR
- 8 ANTA DE NIVELACIÓN
- 9 PUNTO DE ANCLAJE DEBIDO A 500 mm DES DE TIERRA Y HELADO
- 10 TUBO DE PUNTO CEREA NO. 10 con (1/2) x 1/2 y CUBRIDA DE 1/2 de longitud
- 11 CONECTOR WELLS DE 12 mm Ø
- 12 PLACA DE ACERO DE 80 (3/4) x 80 mm
- 13 CONTRATEMERA PLACA DE ACERO 0.762 x 0.762 x 0.635 Y 75 DE BARR. SOLDADA AL TUBO Y PLACA

Cemento de concreto (1x150 kg/cm<sup>2</sup>) empalmado con grado 125 y ponderal de 125 @ 20 cm

LOS DE TIERRA DE 100

Conector exterior a cable debe salir 10 cm del concreto

PLACA DE ALUMINIO DE SUSPENSIÓN PER ROSA O PLANO AL-62.

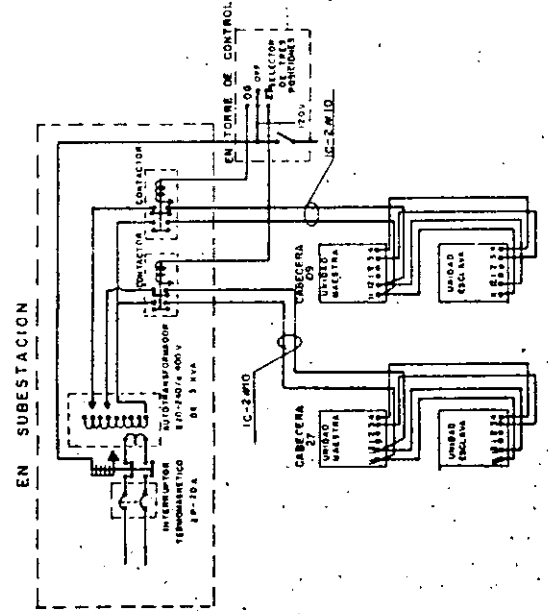
**CLAVE**

- ① UNIDAD DE CONTROL
- ② CAJE DE CONTROL UNIDAD MASTIPA ECLIPSA IC-15810
- ③ CONEX. PABLO
- ④ BASE UNIVERSAL TUD 2
- ⑤ BASE DE CONCRETO
- ⑥ CABLE DE 32mm SOLDADO A LA BASE
- ⑦ OMBRA TUBERIA PVC UNO RUDDO 37 mm
- ⑧ TUBO COMBAT GALVANIZADO 38 mm Ø
- ⑨ DIRECTOR SELLO DE 32mm DE Ø
- ⑩ BUNILLO COMPRESO 18mm. 1305M
- ⑪ DIRECTOR 45.15 PARA CABLE DERIVADO

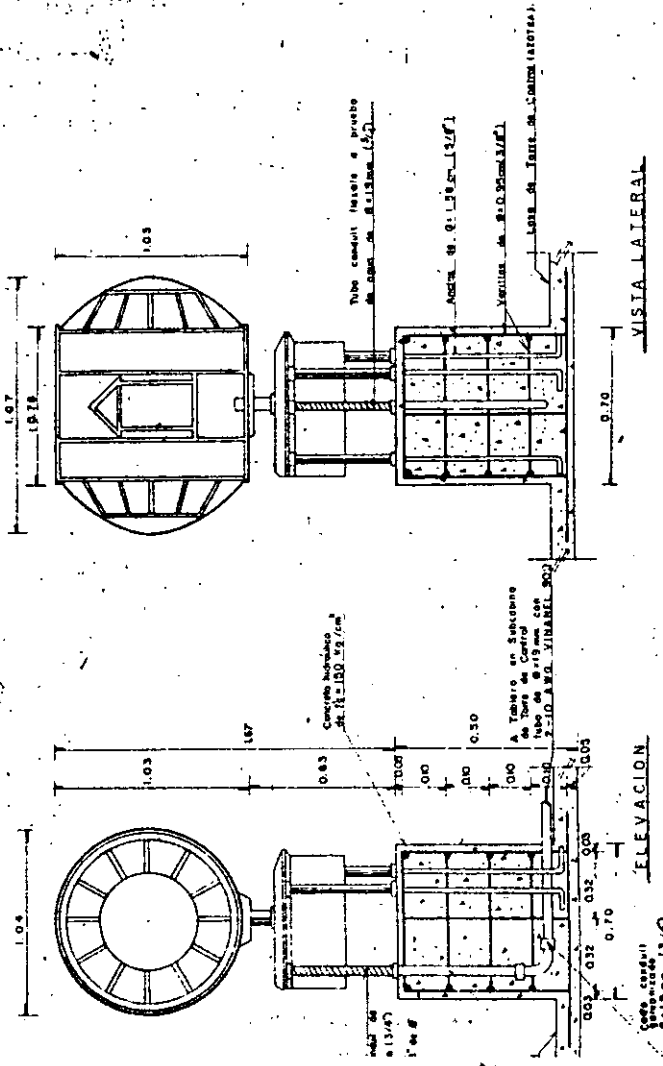
191

3.14.  
 T. 137  
 MAGISTRO PARA HERRAS  
 21.131-AY-02

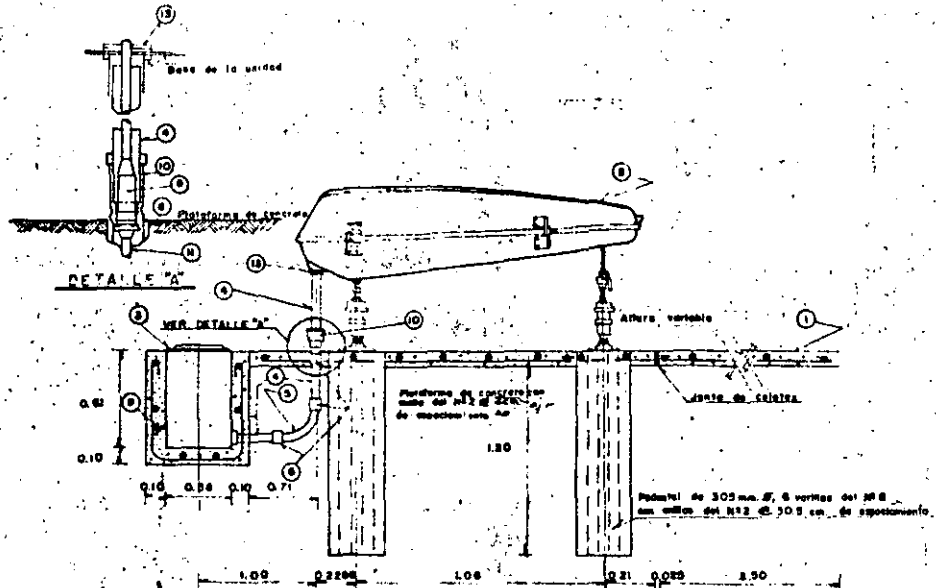
©  
 C. M. S. S. S.  
 JUNIO 1968  
**ELEVACION**



**DIAGRAMA DE ALAMBRO PARA SISTEMAS REIL**

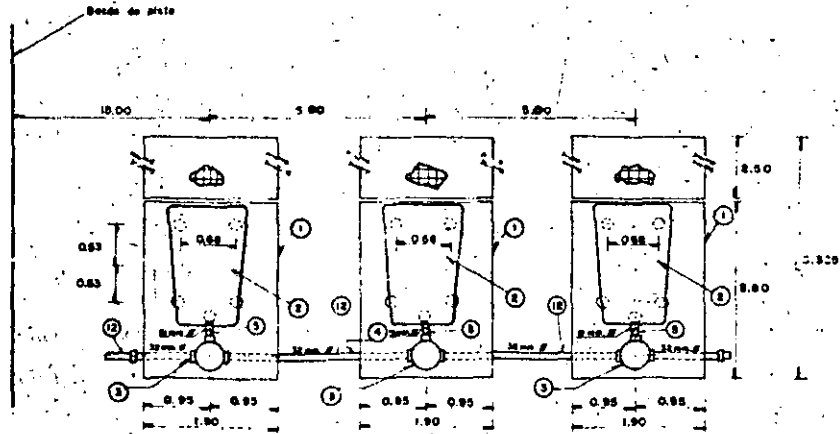


PLANTA



DETALLE DE VASI

ELEVACION



DETALLE DE COLOCACION DE SISTEMA VASI

DESCRIPCION

- ① BASE DE CONCRETO Y/O
- ② GABINETE EQUIPO VASI
- ③ BASE UNIVERSAL L-857
- ④ TUBO CONDUIT GALVANIZADO
- ⑤ CODD CONDUIT GALVANIZADO
- ⑥ COPLE CONDUIT GALVANIZADO
- ⑦ TRANSFORMADOR DE AISL.
- ⑧ ENSAMBLE SUPERIOR DE
- ⑨ CONEXION A TIERRA
- ⑩ COPLE FRASIL (DETALLE)
- ⑪ ENSAMBLE INFERIOR DE CAS.
- ⑫ TUBO CONDUIT GALVANIZADO
- ⑬ CONTRA Y MONITOR DE B.
- ⑭ CONECTOR FAA-L-933

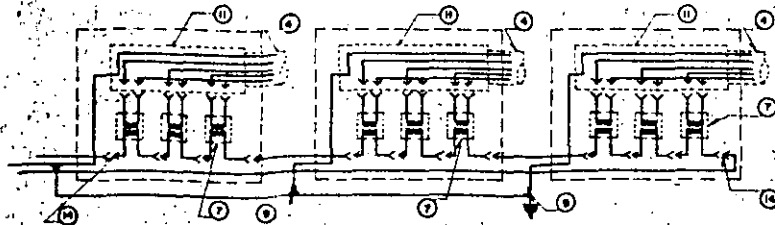
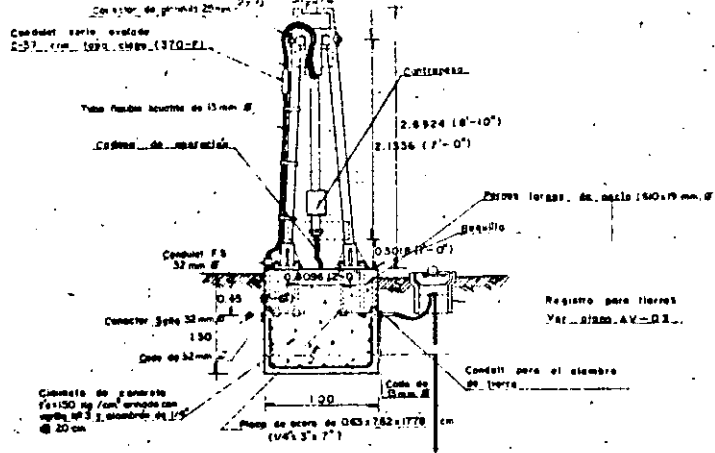
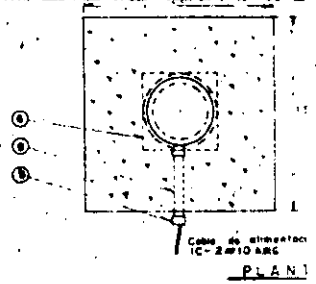
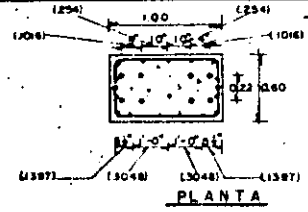


DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA EL SISTEMA VASI

CROQUIS DE LOCALIZACION

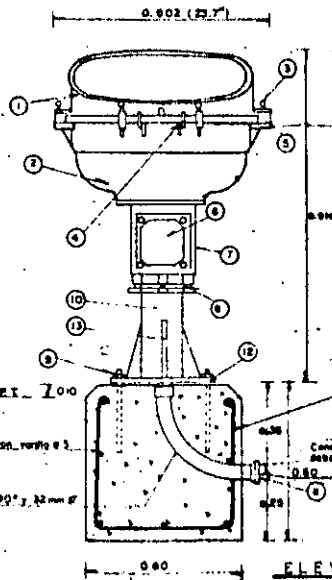


**BASE DEL CONO DE VIENTOS**  
FUERA DE ESCALA

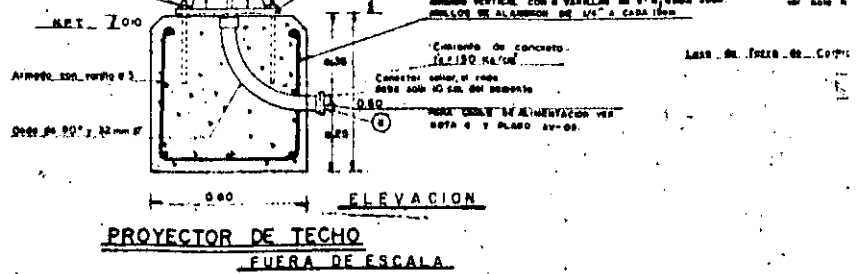


**EQUIPO REIL**  
FUERA DE ESC

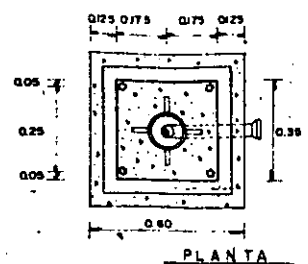
150 kg/cm<sup>2</sup>  
 51 mm Ø  
 51 mm Ø  
 51 mm Ø  
 L-850-6  
 LES FAA-E-1041  
 LES FAA-E-1041  
 DE 32 mm Ø



- DESCRIPCION**
- 1 ANILLO DE CIERRE DE ALEACION DE ALUMINIO FUNDIDO
  - 2 CUERPO DE ALEACION DE ALUMINIO
  - 3 TORNILLO DE SUJECION
  - 4 DISCINA
  - 5 NIVEL DE SUJECION A PARED DE CONCRETO
  - 6 LAMA REMOVIBLE DE ACCESO AL TRANSFORMADOR DE REDUCCION Y CABLE PARA SELLAR EL EXTREMO DEL CABLE
  - 7 INTERRUPTOR DE DOS POSICIONES A PARED DE MATEPEL
  - 8 ANTA DE NIVELACION
  - 9 PLACA DE ANCLAJE 96.0 x 96.0 mm TUBERIA Y PERFORACION
  - 10 TUBO DE FIERRO CENAL 44.14 x 1.67 Ø y CUBIERTA DE 4" DE LONGITUD
  - 11 CONECTOR BILLO DE 32 mm Ø
  - 12 PLACA DE ACERO DE 0.63 (1/4") x 7.62 (3") x 1.778 (7/16")



**PROYECTOR DE TECHO**  
FUERA DE ESCALA



Verdad de 8:0  
 (13/87) 333  
 Entrada para tubo  
 conduct galvanizado  
 proceso de Ø 32 mm

NOTAS	PLANO Nº	PLANOS DE REFERENCIA
1 Cualquier sujecion de maquina o conector a esta planta obedera al criterio del DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES para su aprobacion.	AV-01	PLANTA GENERAL DE DUCTOS Y REGISTROS
2 Las aceleraciones estan dadas en M excepto las marcadas en otra unidad.	AV-02	PLANTA GENERAL DE SIÑALAMIENTO LIA
3 Para diametro y disposicion de los cables, checar el equipo en la zona (foto)	AV-03	INSTALACIONES PARA VAS REIL, CONO DE VIENTOS Y PROYECTOR DE TUBO Y FANOS DE ALIMENTACION
4 El cable de control sera de 2 conductores cable 610 AWG, con aislamiento individual de polietileno, cable terminado y cubierto exterior de PVC para 600 V	AV-04	DETALLES DE PLANTA GENERAL DE SEÑAL
5 Codo de conector identico al anterior pero de 4 conductores cable 612 AWG		
6 LA ALIMENTACION PARA EL FANOS DE ALIMENTACION GENERAL TOMARA DEL TABLERO DE ALIMENTACION DE EMERGENCIA EN TORNO DE CONTROL.		

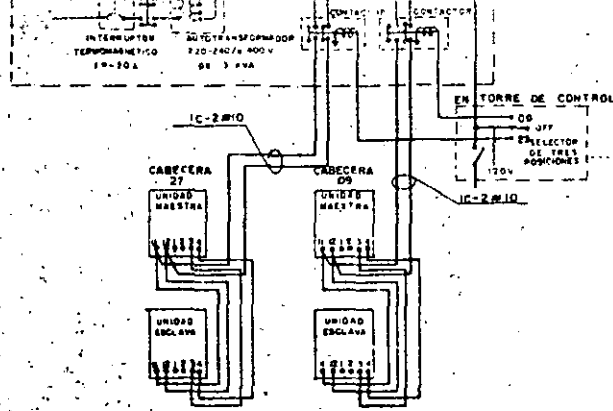
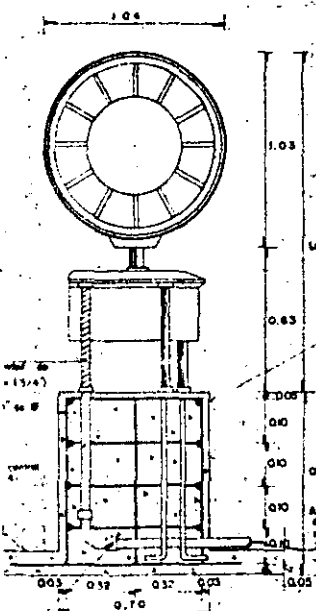
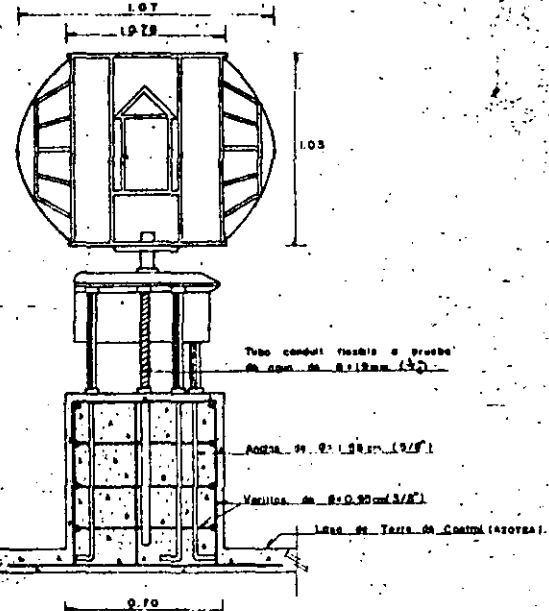


DIAGRAMA DE ALAMBRAO PARA SISTEMAS REII

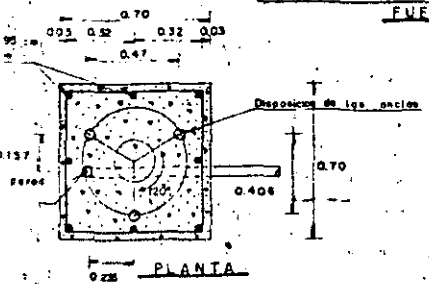


ELEVACION



VISTA LATERAL

FARO GIRATORIO FUERA DE ESCALA



PLANTA

FECHA	MODIFICACIONES	ENTIDAD MODIFICADA	APROBADO	ELABORACION
1970				El Jefe de la Oficina de Proyectos
1975				MIG. ULISES ESPINOSA A.
1978				El Jefe de la Sección de Proyectos
				MIG. BENIGNO PÉREZ PÉREZ
				Proyecto
				MIG. BENIGNO PÉREZ PÉREZ
				Diseño
				MIG. GUAYCÓBLANCO

**SALOP** Dirección General de Aeropuertos  
Departamento de Instalaciones

**AEROPUERTO DE TUXTLA GUTIERREZ CHIS.**

DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LAS INSTALACIONES VASI, REII, CONO DE VIENTOS, PROYECTOR DE TECHO Y FARO GIRATORIO

Proyecto: C. Jefe del Departamento  
Aprobado: C. Director General

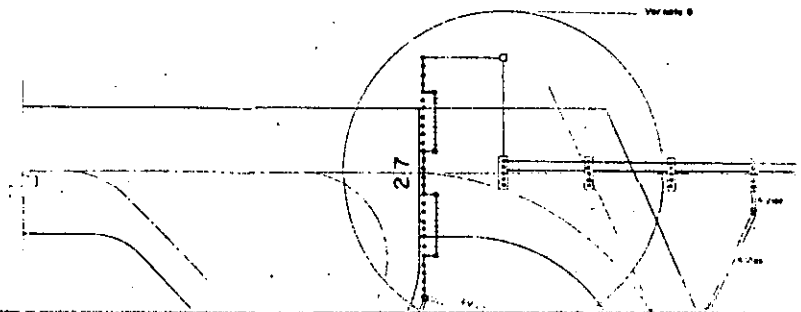
México, D.F. Noviembre 1978

ESTACIONES

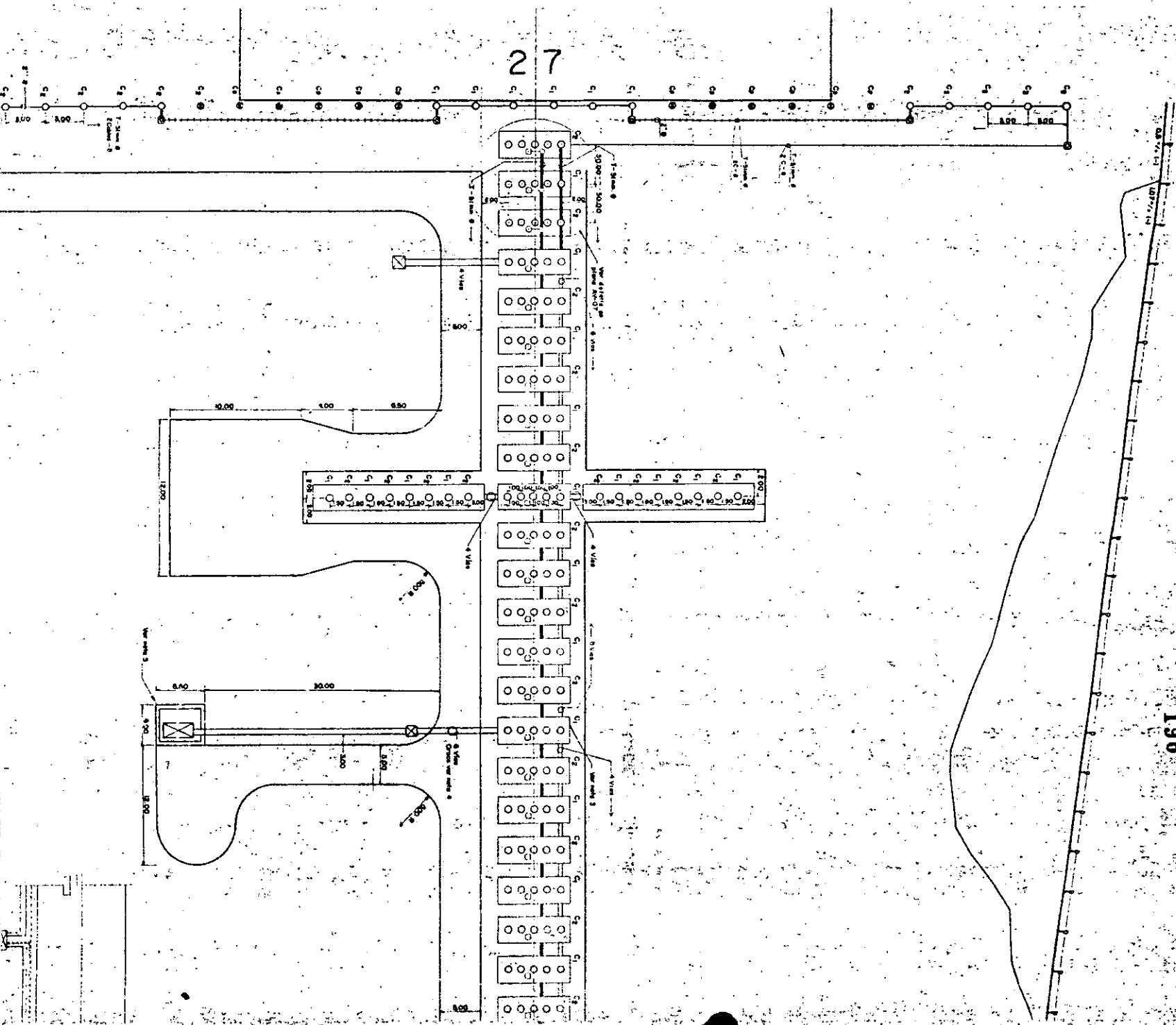
ELEVACIONES

ESTACIONES

195

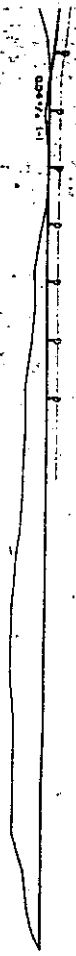
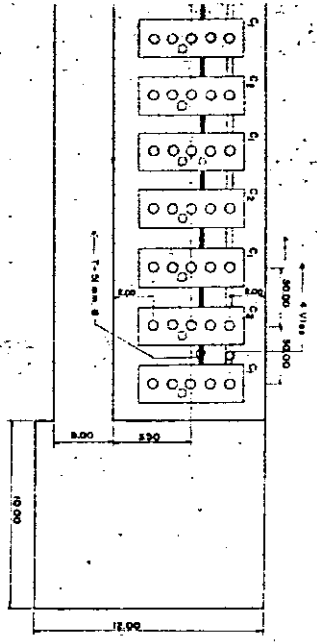
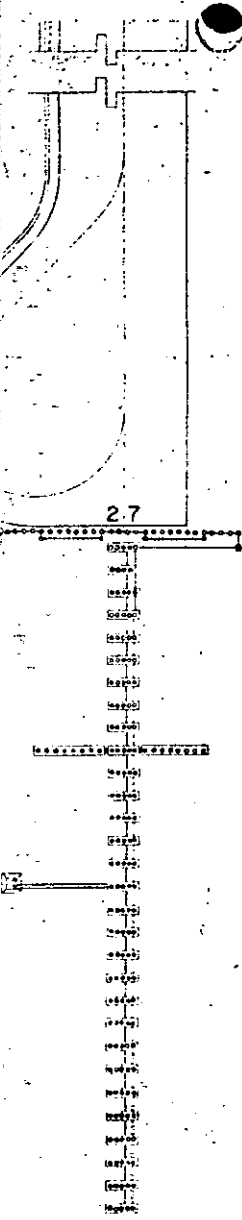


27



196

2056.30	2+702
2056.84	2+703
21.72	2+704
21.42	2+705
21.55	2+706
21.81	2+707
21.88	2+708
21.87	2+709
21.80	2+710
2201.88	2+711
21.30	2+712
20.15	2+713
20.50	2+714
20.22	2+715
20.33	2+716
18.24	2+717
17.72	2+718
17.21	2+719
16.87	2+720
16.3	2+721
15.98	2+722
15.57	2+723
14.82	2+724
14.71	2+725
14.12	2+726
13.24	2+727
12.90	2+728
12.56	2+729
12.11	2+730
11.7	2+731
11.25	2+732
10.87	2+733
10.47	2+734
10.0	2+735
9.58	2+736
9.15	2+737
8.72	2+738
8.29	2+739
7.87	2+740
7.45	2+741
7.03	2+742



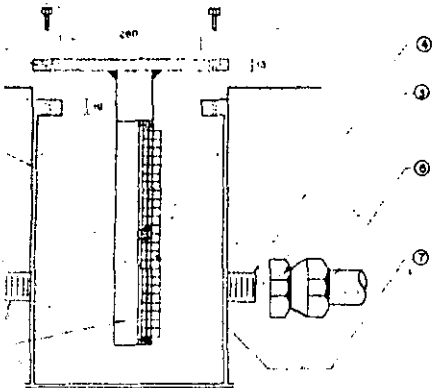
3400	3400	3400
3401	3402	3403
3404	3405	3406
3407	3408	3409
3410	3411	3412
3413	3414	3415
3416	3417	3418
3419	3420	3421
3422	3423	3424
3425	3426	3427
3428	3429	3430
3431	3432	3433
3434	3435	3436
3437	3438	3439
3440	3441	3442
3443	3444	3445
3446	3447	3448
3449	3450	3451
3452	3453	3454
3455	3456	3457
3458	3459	3460
3461	3462	3463
3464	3465	3466
3467	3468	3469
3470	3471	3472
3473	3474	3475
3476	3477	3478
3479	3480	3481
3482	3483	3484
3485	3486	3487
3488	3489	3490
3491	3492	3493
3494	3495	3496
3497	3498	3499
3500	3501	3502

197



**DESCRIPCION**

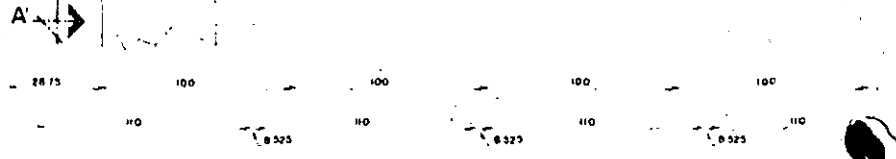
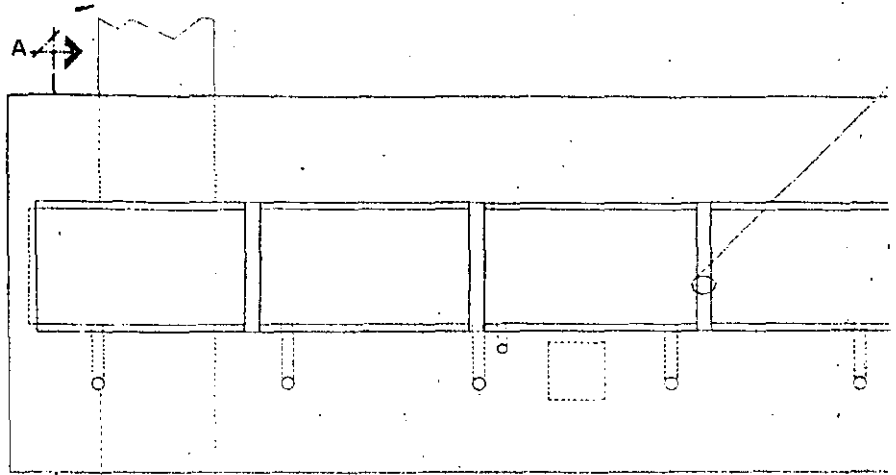
- ① Bases ciego de acero de 13 mm de espesor
- ② Base universal L-857, tipo II
- ③ Conector recto para tubo liquid tight de 51 mm de Ø
- ④ Alambre 51 mm, Ø sobresaliente 5 cm de la cara exterior de la base
- ⑤ Ferra angular de 51 x 51 x 6.3 mm, soldada a la brida (emp)
- ⑥ T de liquid tight de 51 mm de Ø
- ⑦ Tubillo de conexiones tipo 18-50 D12 de 12 terminales



**REGISTRO DE CONEXIONES ALIMENTACION ROL PARA LUCES DE DESTELLO EMBUTIDAS**

FUERA DE ESC.  
ACOT. mm

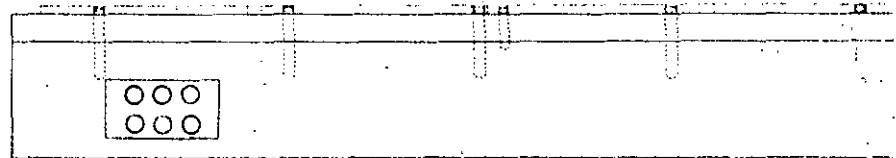
**DETALLE N° 6**



**REGISTRO PARA COLOCACION DE LUCES DE PROYECCION Y DESTELLO**

**PLANTA**

FUERA DE ESC.  
ACOT. cm

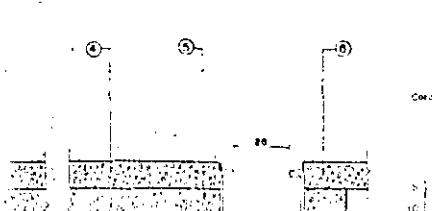


FUERA DE ESC

**ELEVACION**

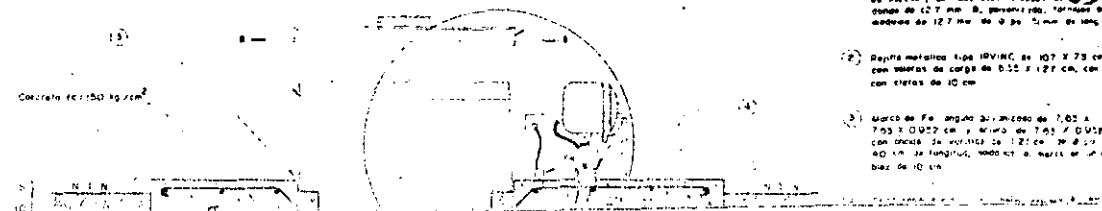
**DESCRIPCION**

- 1) Base universal L-857 tipo II de 25, 50 a 99 cm de profundidad
- 2) Tubo recto corrido sobresale 5 cm de la cara de 51 mm Ø lado contrario para control y barra de distancia
- 3) Conector recto para tubo liquid tight de 51 mm de Ø
- 4) T de liquid tight de 51 mm de Ø
- 5) Ferra angular de 51 x 51 x 6.3 mm, soldada a la brida de 10 cm de espesor



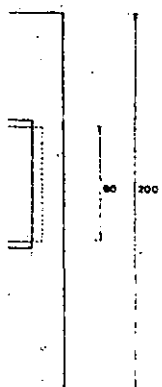
**DESCRIPCION**

- 1) Tapa de aluminio de 12 x 12 cm y de espesor, con dos tornillos hexagonales de 12 x 1 mm Ø, pernos de 12 x 1 mm Ø, tornillos de aluminio de 12 x 1 mm Ø de Ø de 12 mm Ø de 12 mm Ø
- 2) Perfil aluminio tipo 18-VNC de 127 x 75 cm con ranuras de carga de 6.35 x 127 cm, con ceras de 10 cm
- 3) Marco de Ferra angular galvanizada de 7.62 x 7.62 x 6.35 cm y altura de 7.62 x 6.35 cm, con chavetas de aluminio de 127 x 127 cm de Ø de 12 mm Ø de aluminio, soldado a la brida de 10 cm



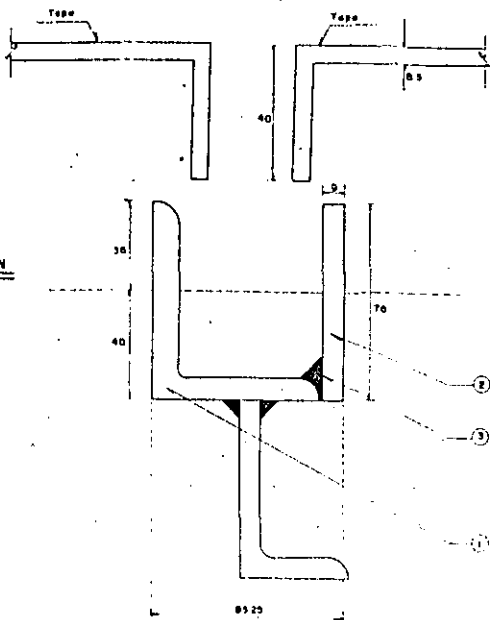
203

VER DETALLE N°1



**DESCRIPCION**

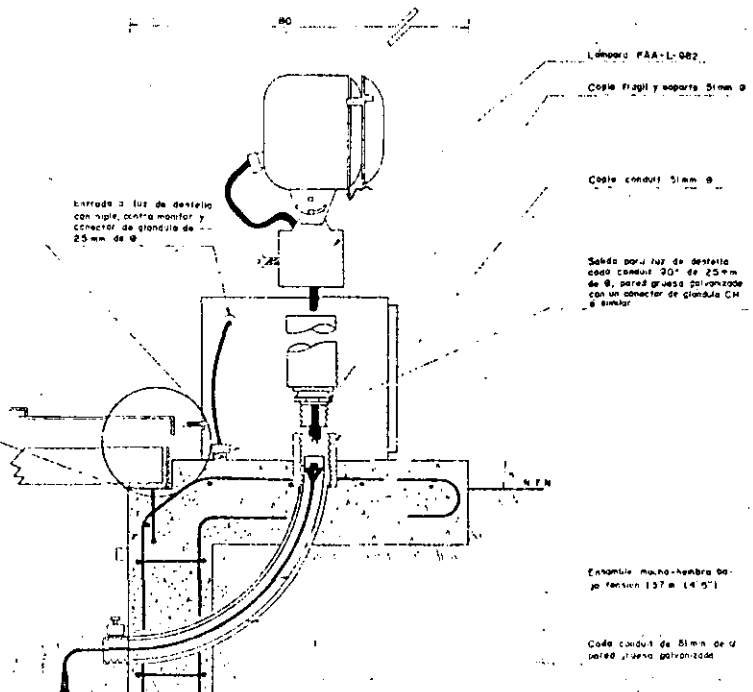
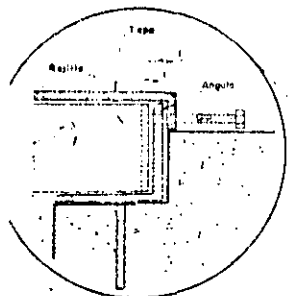
- ① Anillo de Fe galvanizado de 76 X 76 X 9.25mm
- ② Solera de 76 X 9.25 mm.
- ③ Soldadura eléctrica con cable continuo con electrodo E-60.



**SOPORTE TRANSVERSAL PARA TAPAS DE REGISTRO**

FUERA DE ESC. ACOT. mm

**DETALLE N°1**



C.I.O.M.

Ata de...

100

...

...

...

2

50

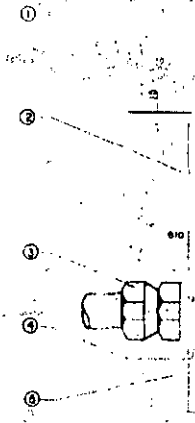
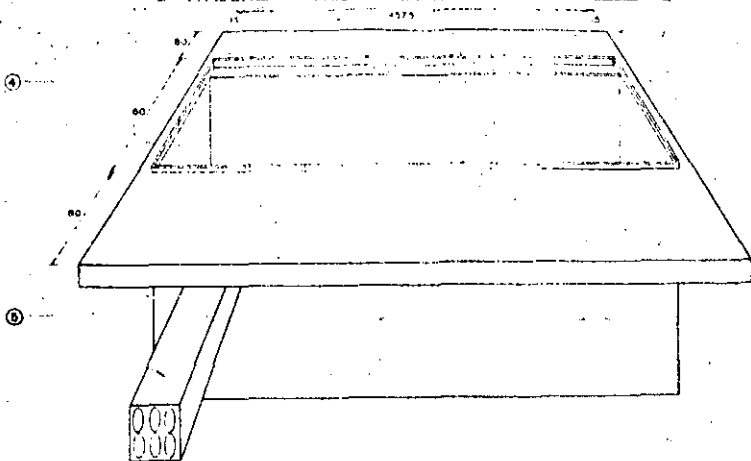


BASE R Y CONT.

- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤
- ⑥

② ③



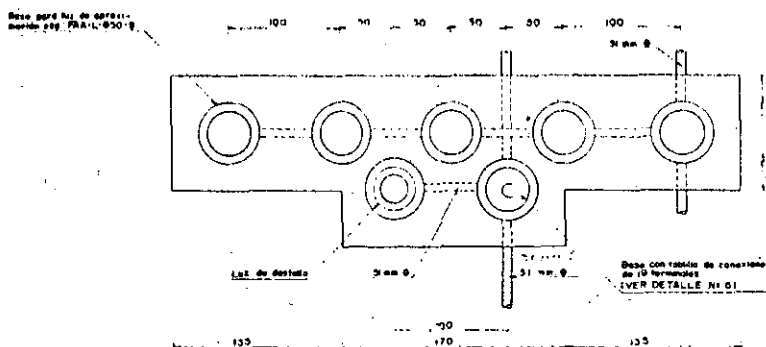


BASE R  
Y CONT

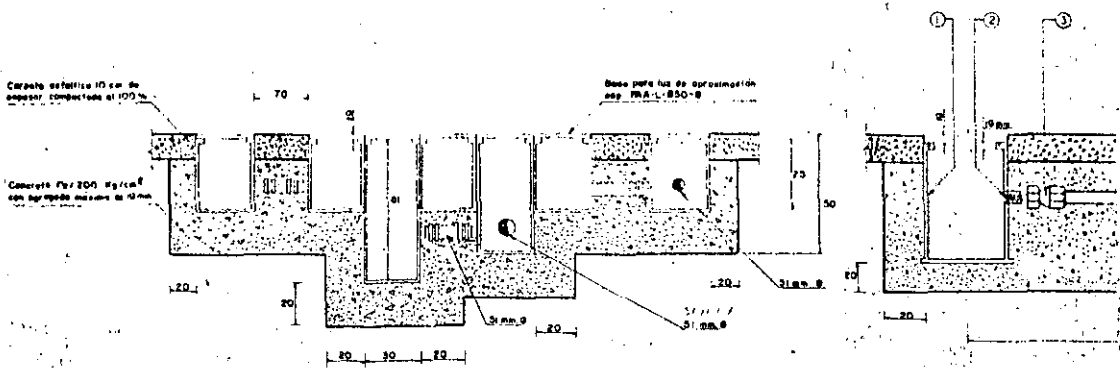
**DETALLE CONSTRUCTIVO DE REGISTRO PARA ALOJAR TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO Y CAJA DE CONEXIONES DE DESTELLO, PARA LAS BARRETAS CENTRALES**

**PERSPECTIVA**

FUERA DE ESC.  
ACOT. cm



**PLANTA**



**ELEVACION**

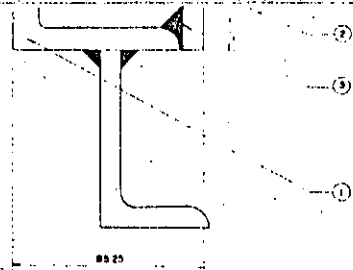
CONEXION DE BASE  
PARA LUCES DE PRO

**DETALLE DE COLOCACION PARA BASES UNIVERSALES**

**DETA**



(1) Soldadura eléctrica a arco continuo con electrodos E-50.



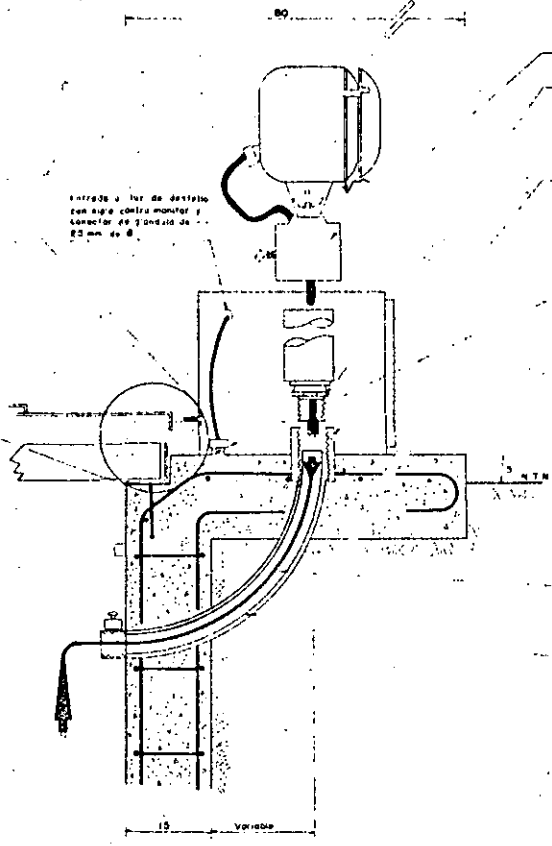
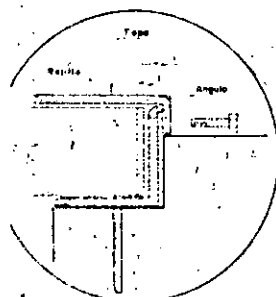
**SOPORTE TRANSVERSAL PARA TAPAS DE REGISTRO**

FUERA DE ESC. ACOT. mm.

**DETALLE N° 1**



BASE R Y CONT



Lámpara FAA-L-002

Cable fregil y soporte 31mm Ø

Cable conduit 31mm Ø

Tienda para luz de destello cable conduit 90° de 25 mm de Ø pared gruesa perforada con un conector de ganchos CH 8 mm Ø

Ensamble macho-hembra de la tensión 137 x 14'0"

Cable conduit de 31mm de Ø pared gruesa perforada

**DETALLE CONSTRUCTIVO DE INSTALACION DE LAMPARAS DE PROYECCION Y PREPARACION PARA ALIMENTACION DE LAMPARAS DE DESTELLO**

FUERA DE ESC. ACOT. cm.

206

**DETALLE N° 2**

CONEXION DE BASE PARA LUCES DE PROY

**DETALLE**

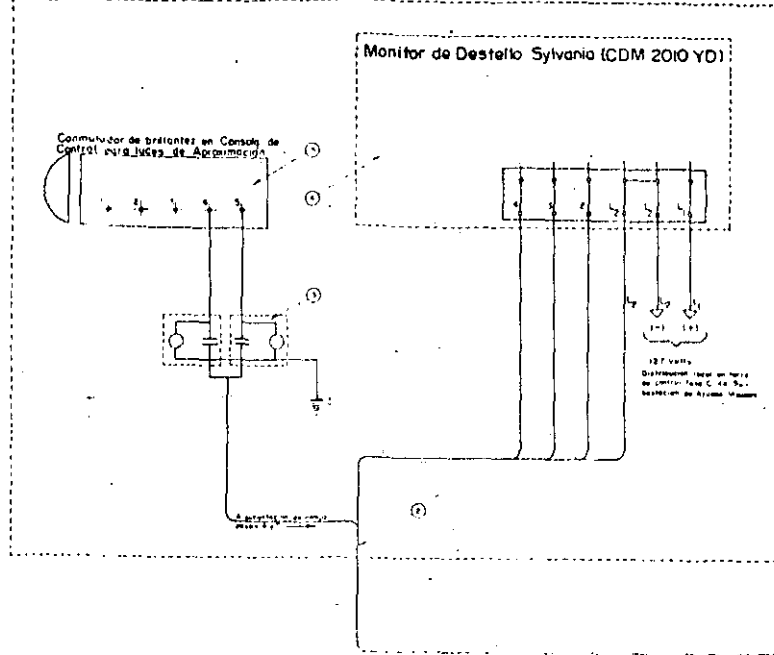
MODIFICACION	Entidad	Modificó	Aprobó	ELABORACION
				El jefe de la oficina Ayudes Visuales Ing. Ulises Francisco Anzor
				El jefe de la Sección Ing. Sergio Pérez Pérez
				Proyectó Ing. Beatriz Suarez del Real
				Diseñó Juan Carlos Parra Rivera

**SALOP** Dirección General de Aeropuertos  
Departamento de Instalaciones

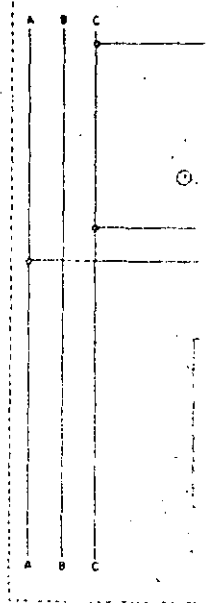
**AEROPUERTO DE TUXTLA GTZ, CHIAPAS**  
DETALLES CONSTRUCTIVOS DEL SISTEMA DE  
LUCES DE APROXIMACION

PROPUESTO C. Jefe del Departamento	APROBADO C. Director General
Ing. Fernando Cervantes López	Ing. Eduardo Lynn Trujillo
México D.F. Febrero de 1980	N° AV-07

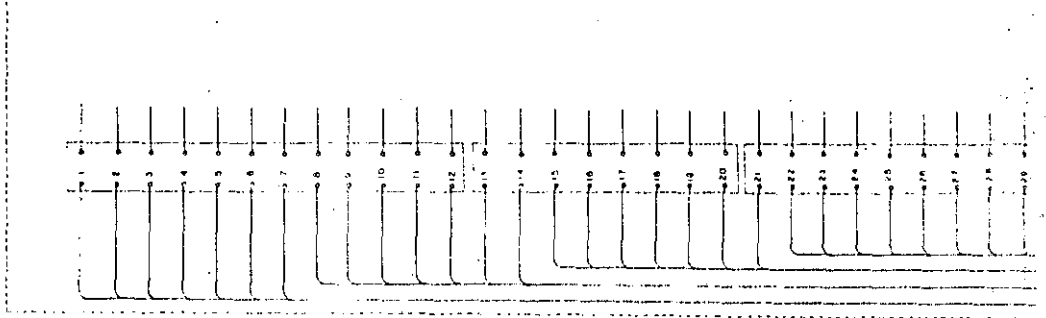
Torre de Control



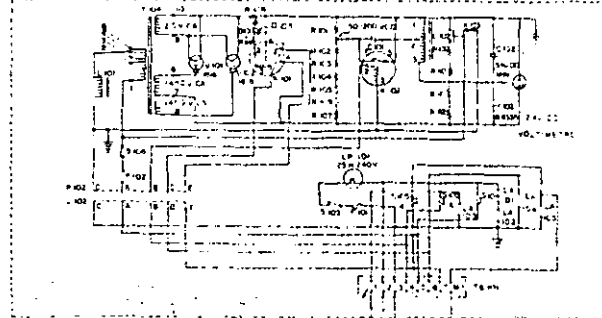
Subestación de A



Unidad de Control Maestro Sylvania (CDT 2030 YA)

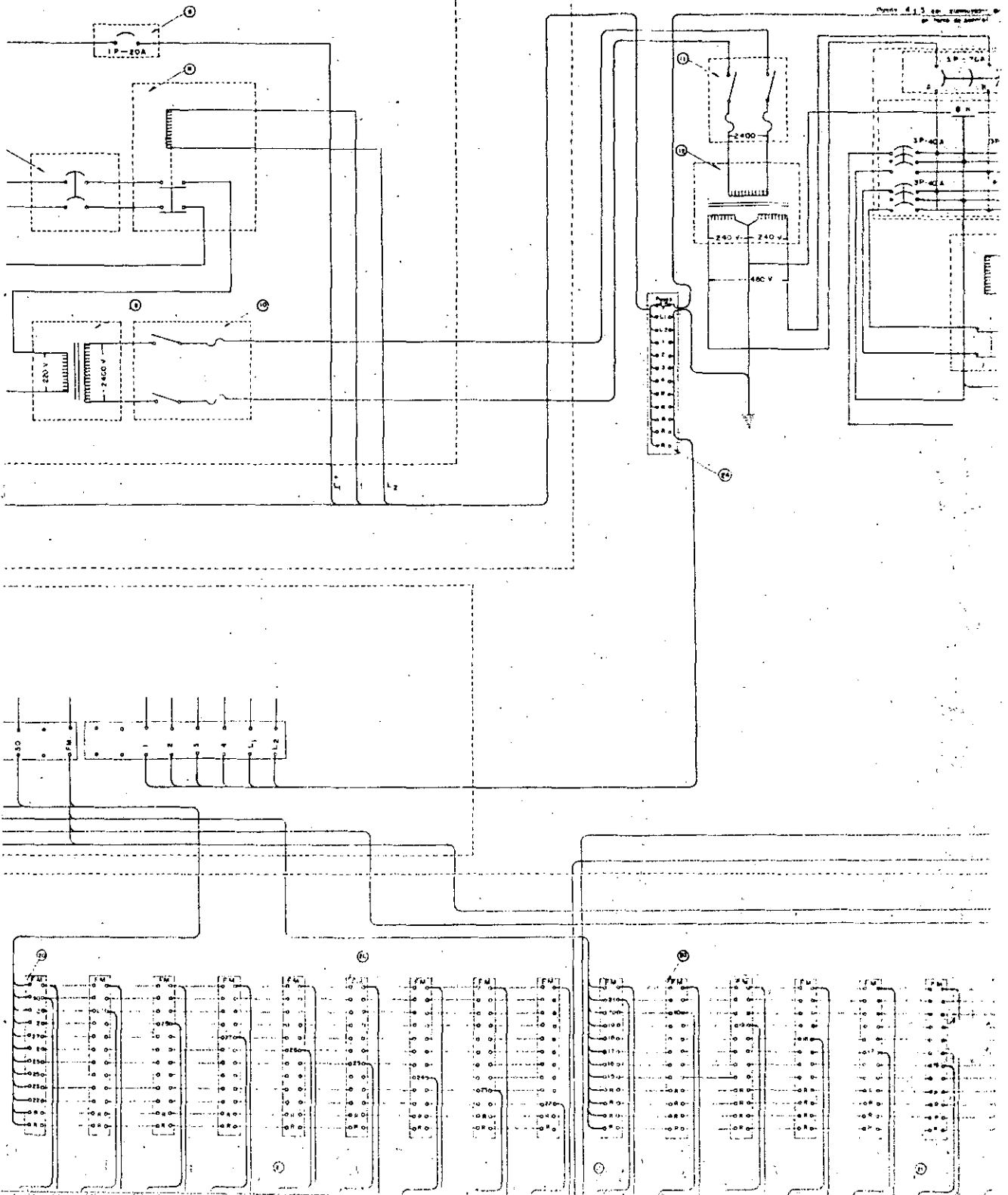


Luz Elevada CD 2001 A



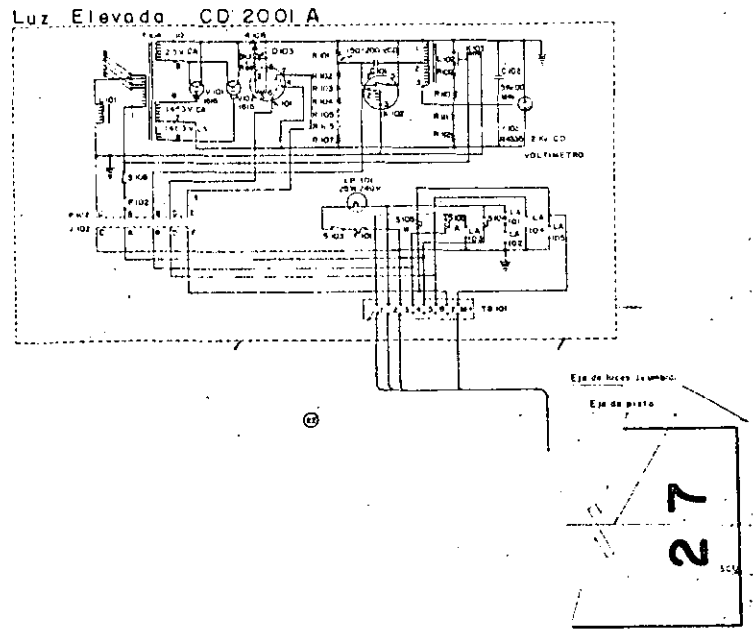
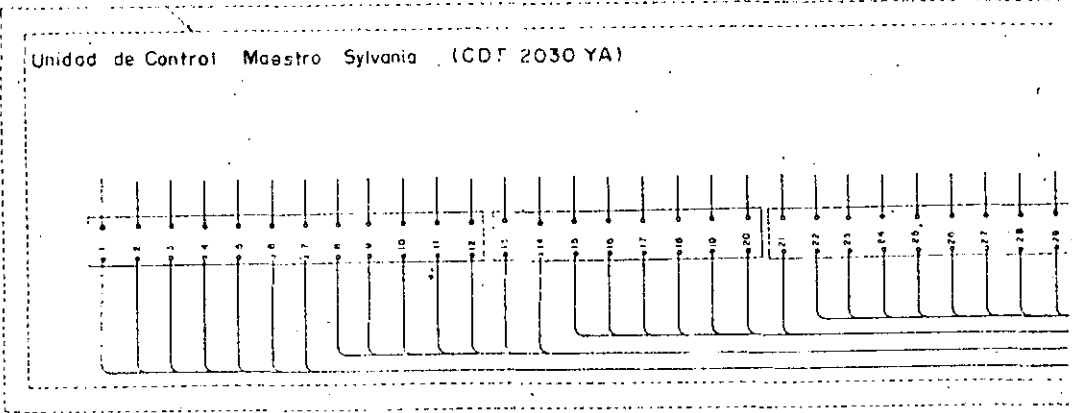
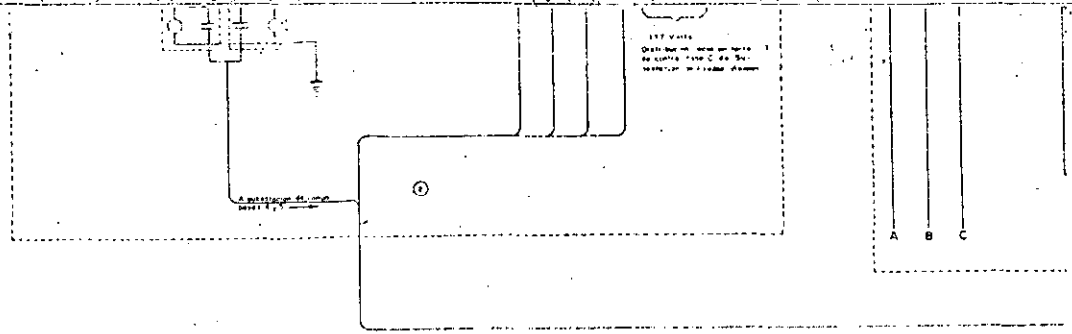
yudas Visuales

Subestación de Campo



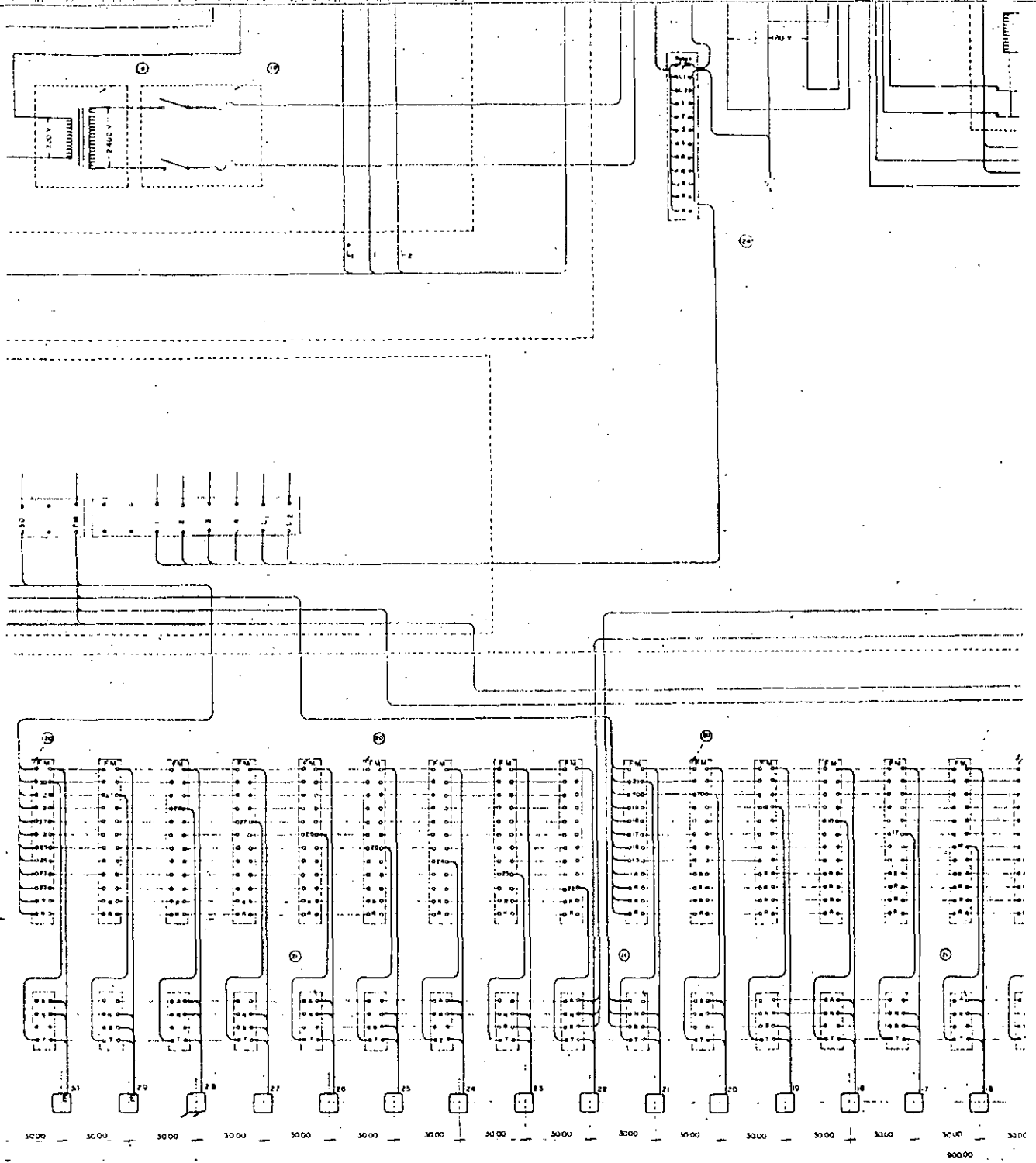






210

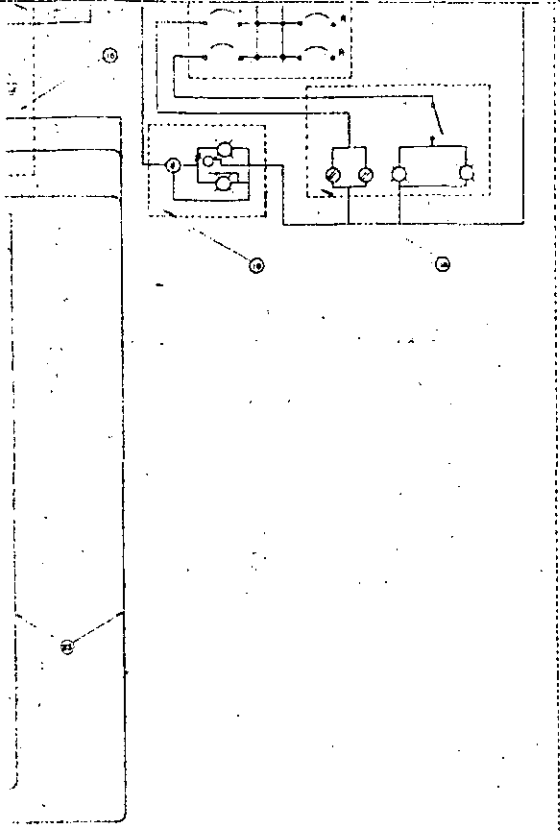
27



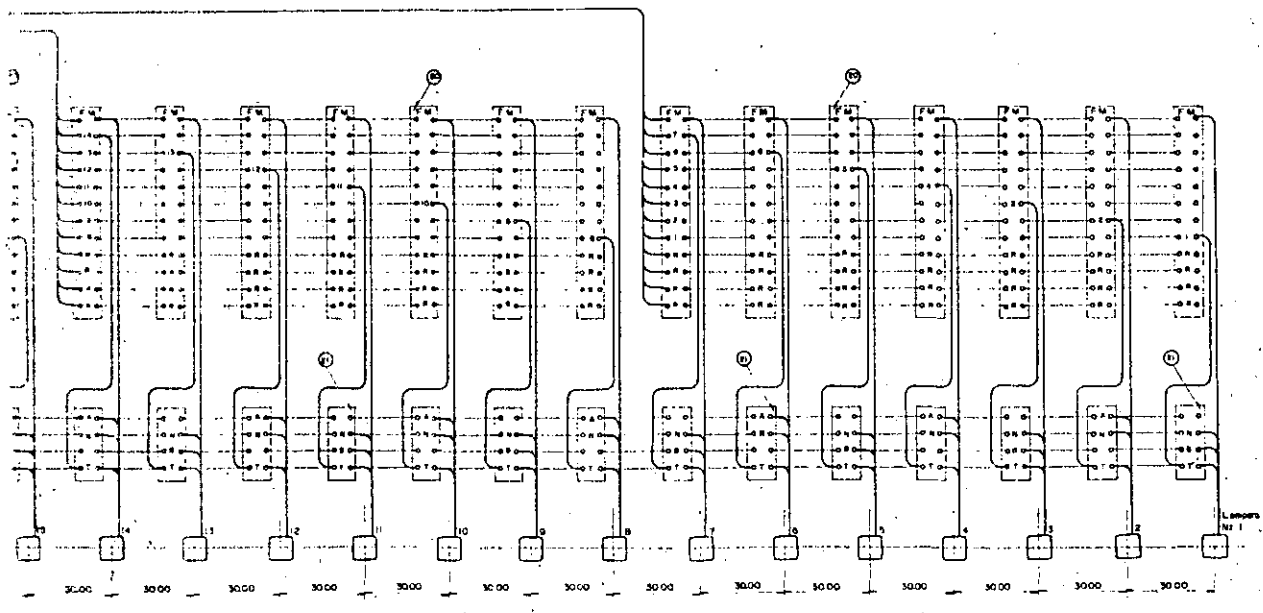
← Secuencia de Encendido

211

Notas		Plano N°	Planos de Referencia
1: Cualquier sugerencia de modificación o cambio a este proyecto, deberá ser consultado al DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES para su aprobación. 2: Todos los acotaciones están en metros, excepto las hechas en otra unidad.		AV - 00 AV - 001	Planta general de Luces de Zócalos Subestación de campo - Equipo System



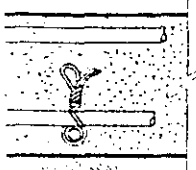
- 80 C.P.S.
- 1.3: Interruptor termomagnético 3P - 70 A., 600 V.
- 1.4: Tablero de distribución, tipo panel, 5 Ø., 500 V con los siguientes interruptores termomagnéticos
  - 2 - 3P - 40A
  - 1 - 3P - 30A.
- 1.5: Contactor magnético para 600 V-af, 2P - IT con bobina de operación a 127 V.
- 1.6: Transformador para servicos propios, 3 KVA., tipo "AA" 240/127 V., 1 Ø - 60 C.P.S.
- 1.7: Tablero de distribución, 240 V., 1 Ø., 5 hnos con los siguientes interruptores termomagnéticos derivados.
  - Ø - 1P - 20A
- 1.8: Servicio de alumbrado y contactos
- 1.9: Luces de extracción con relavador auxiliar
- 2.0: Tablita de conexiones 600 V. con 12 terminales para monitores y señales de encendido de luces de estallas
- 2.1: Tablita de conexiones 600 V. con 4 terminales para alimentación de circuitos internos de unidades de estallas
- 2.2: Terminal terminal TB-101 en unidades de estallas
- 2.3: Cable tipo Tule S. MSB A.W.G. 600 volts
- 2.4: Tablita de conexiones con 12 terminales, 600 V en caso NEMA



← Secuencia de Encendido

212

Referencia	Fecha	Modificación	Entidad Modificó	Aprobó	Elaboración	Dirección General de Aeropuertos Departamento de Instalaciones	
					Jefe de la oficina de Ayudas Visuales <b>Ing. Ulises Espinoza Anador</b>	<b>AEROPUERTO DE TUXTLA GUTZ, CHIS.</b> <b>DIAGRAMA DE OPERACION DE LUCES DE DESTELLO</b> <b>EQUIPO SYLVANIA</b>	
					Jefe de la sección <b>Ing. Sergio Peres Peres</b>	Propuso <b>Eng. C. Jefe del Departamento</b>	Aprobó <b>E.I.C. Director General</b>
					Proyecto <b>Ing. Sergio Peres Peres</b>	<b>Ing. Fernando Carreteras Lopez</b> <b>Arq. Eduardo Lora Trujillo</b>	
					Dibujó <b>Jon Carlos Peres Rivera</b>	México D.F. Abril de 1980     NI AV 08-1	

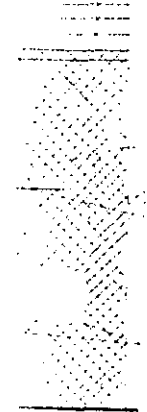


Esc. 1:2  
cot. en cm

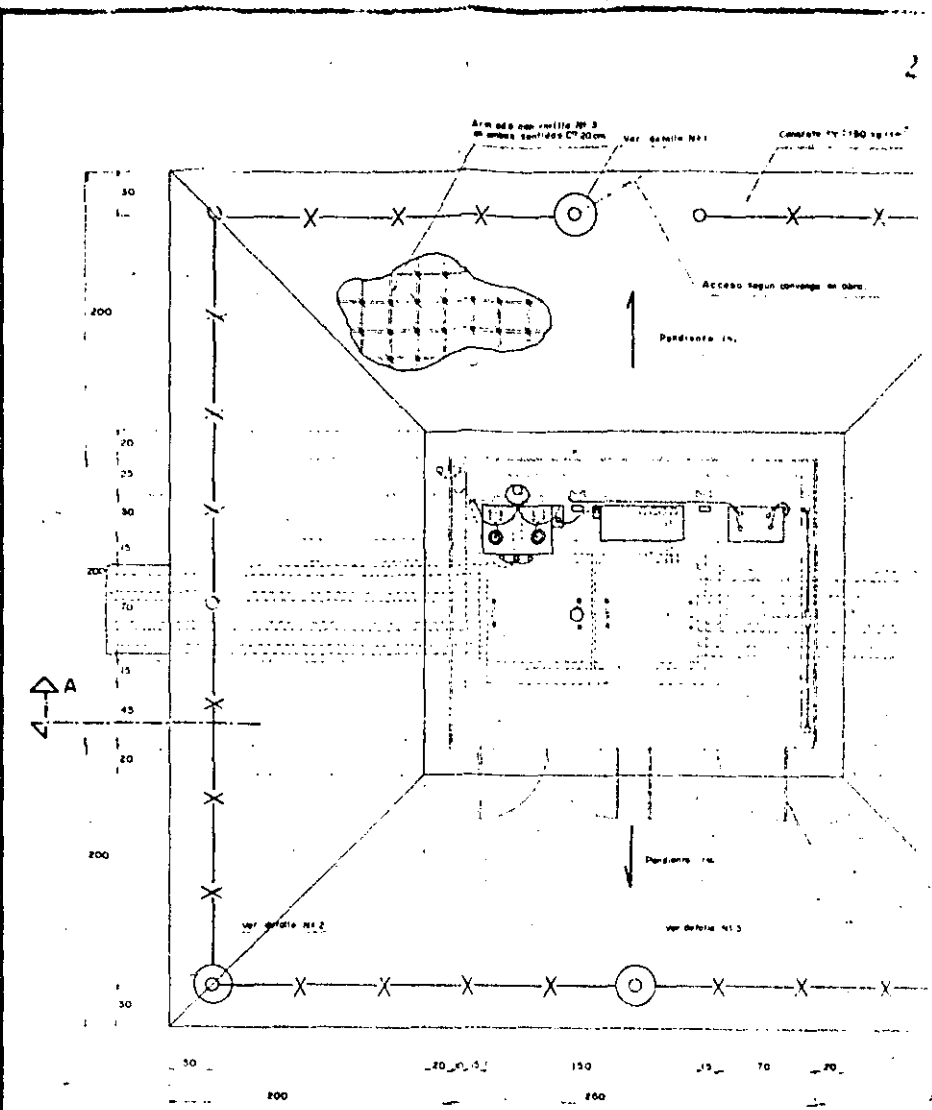


**TAPA DE REGI**

Esc. 1:2  
cot. en cm

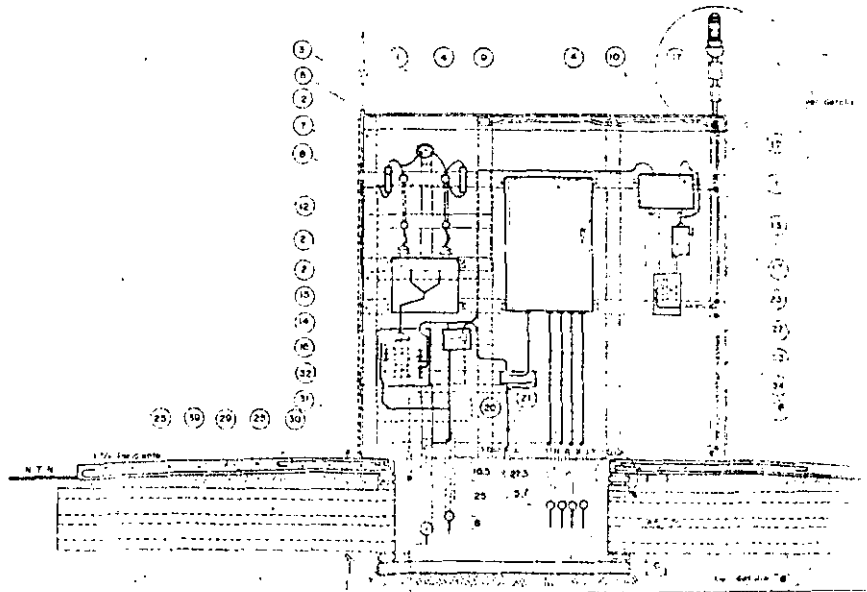


- 30 Bar
- Cercho de
- Abrazadora de
- Refuerzo ho
- Alambre liso para
- 200 Tuba PVC C
- 2420 Abrazadora
- Anchura diámetro

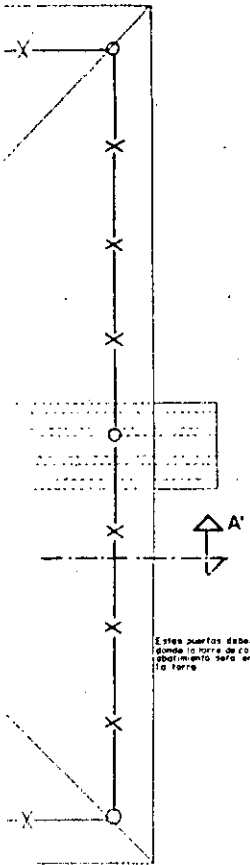


**PLANTA**

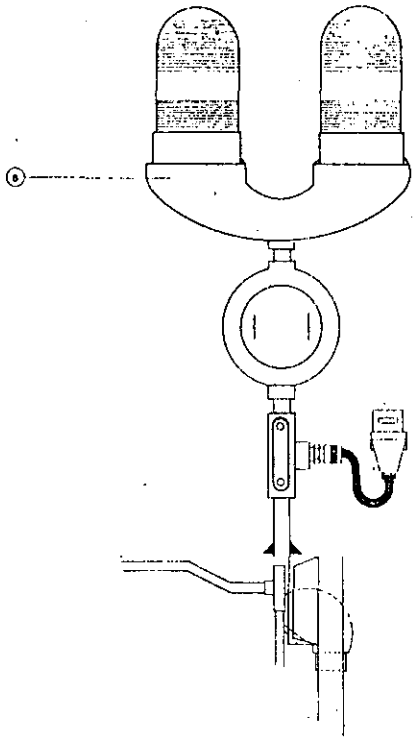
**SUBSTACION DE CAMPO**



Cerro de medición de alambre galvanizado No. 8

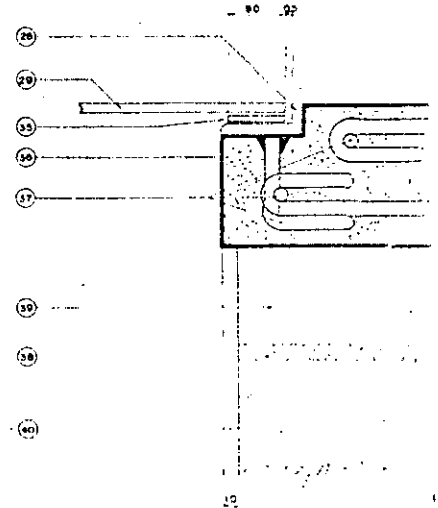


Estos puntos deberán ser visibles desde la torre de control o sea el abastecimiento será en la dirección a la torre

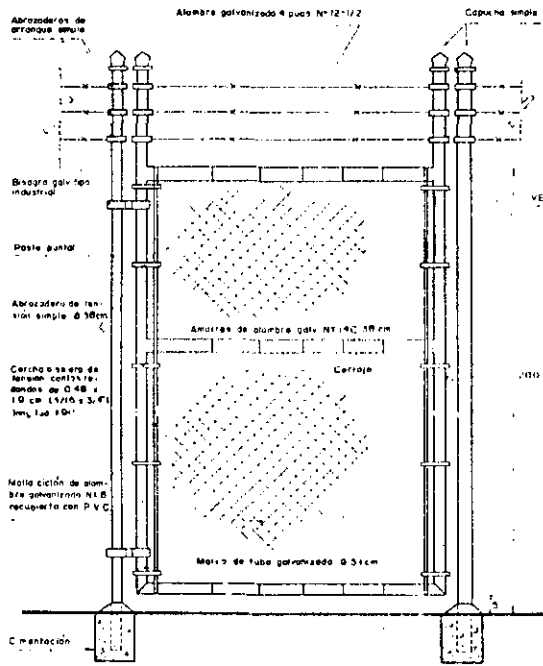


Esc. 1:5

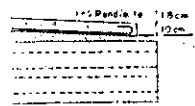
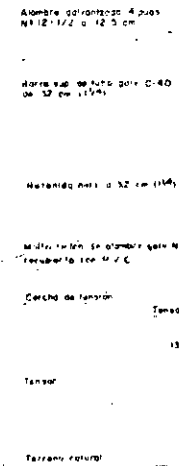
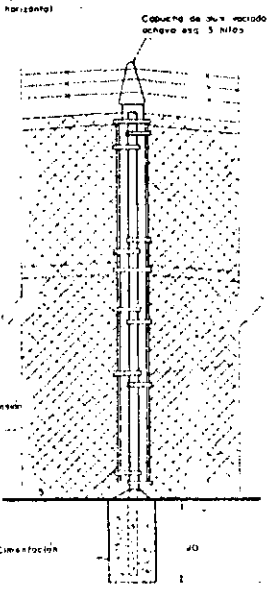
DETALLE "A"



DETALLE "B"



VER DETALLE "D"

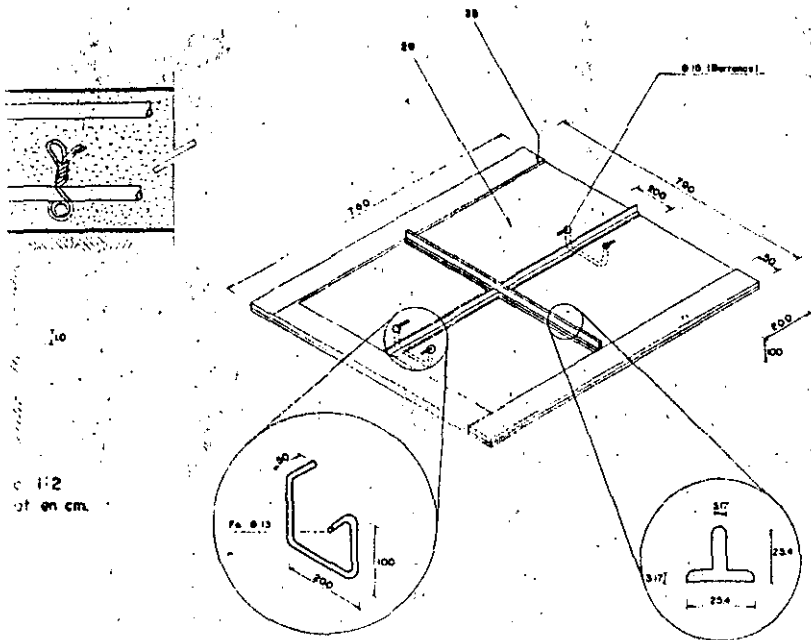


90

40

135

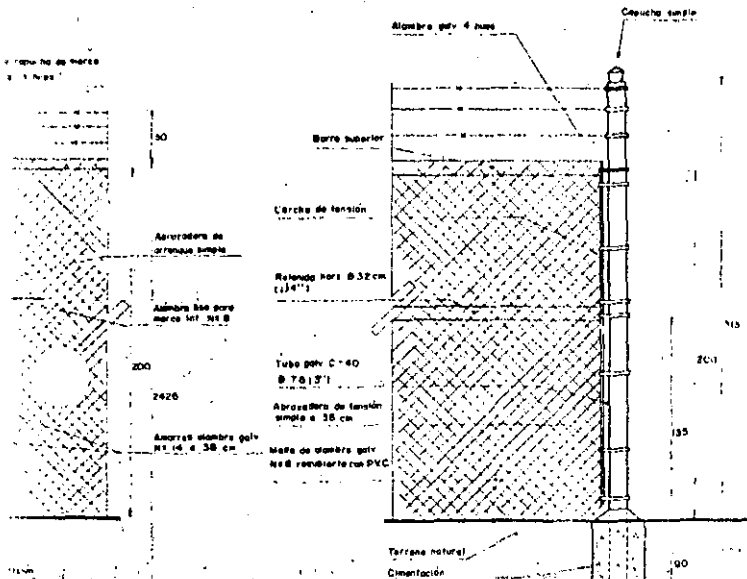
30



Fuera de escala  
Acot. - en mm.

TAPA DE REGISTRO VISTA POR ABAJO

DETALLE "C"



Nº	Descripción
1º	Opodete metálico tipo intermitente para utilizar 5 E. de cables de 24 a 48 mts. por 200 m. de fondo y 2.0 m. de ancho formado por seis pilotes como 25 N.V. de fabricación americana.
2º	Estructura para montaje de equipos, formada con perfiles tipo canal de 101 x 48 mm con un espesor de 4.53 mm.
3º	Puede perforarse compuesto de 3 alfileres de 0.3 m. y una punta de 0.3 m de longitud, colocado al respecto sobre una base que deberá estar atornillada a la lámina del opodete de la asociación.
4º	Lámpara C.N. a prueba de vapor con globo y guarda, modelo VC-175D, con foco incandescente de 150 W.
5º	Luzes de obstrucción L-310, con un relé de transferencia TL N° 45002A marca C.N. montado al conjunto según se muestra en el detalle "B", accionando al conjunto sobre una base con rango de operación de 0.5 a 6 pies-hélices, con mecanismo de montaje atornillado al opodete; un selector de glándula tipo C68-394 de 23 mm. de Ø. marca C.N. un conductor T-30 serie estándar, marca C.N. la tubería de soporte será de 25 mm según la muestra al detalle y deberá soldarse con soldador de cerón continuo con electrodos E-9016, y recubrirse con pintura anticorrosiva.
6º	Malla base, tipo telamero, para tubería de 76 mm de Ø.
7º	Perforajes autorotativos para concreto y sistemas con huelle o tierra, clase 3x V tipo estándar.
8º	Corte circuitos, fusible, clase 75 N.V. con fusible de 10 Amper.
9º	Control maestro de operación para encendido de luces de señal, SYLVANIA.
10º	Transformador monofásico 240/127 Voltio, tipo seco ("AA"), de 3 K.V.A.
11º	Interrupción de seguridad, en caja NEMA 1, 2 polos, 30 Amper 240 voltio.
12º	Transformador monofásico 2400 / 480 = 240V, 15 K.V.A. de aislamiento, tipo seco "A" A-13-60 a 1/2" de altura.
13º	Cable de carga, tipo 00-0, con interruptores termomagnéticos de 1 polo, 20 Amper, 240 Voltio.
14º	Tablero tipo panel, para sobrepasar en caja NEMA 1, 3 fases 800 Voltio, con los siguientes interruptores: Principal 3P - 70A Derivados 2 - 3P - 40A 1 - 3P - 30A
15º	Contacto magnético con bobina de operación a 127 Voltio y contactos para 800 Voltio, 2 - N.A.
16º	Tebilla de conexiones con 12 terminales en caja NEMA 1.
17º	Conduit 7 para tubería de 13 mm de Ø.
18º	Conduit L8 para tubería de 13 mm de Ø.
19º	Conduit, serie P5 para tubería de 13 mm de Ø, incluyendo tapa y contacto monofásico, 10 Amper.
20º	Cable de uso rudo de 3 conductores Nº 6 AWG, 600 Voltio.
21º	Cable T.W., calibre Nº 8.
22º	Cable de control de 12 conductores calibre Nº 12 A o B, con un aislamiento individual de polietileno, cable reunido y cubierta exterior de P.V.C.
23º	Cable de control de 12 conductores, calibre Nº 12 A o B con aislamiento individual de polietileno, cable reunido y cubierta exterior de P.V.C.
24º	Cable calibre Nº 8 AWG, para 5000 V.
25º	Varilla cooperada para conexión a tierra con conector N5.15.
26º	Conduit serie P5, marca C.N. para tubería de 13 mm, con abridor y tapa para abridor.
27º	Banco de cables de 6 vías de estibado compuesto de 101 mm de Ø.
28º	Registro de topografía con espejado fino de mortero cemento que se centrará de forma angular de 51 x 31 x 63 mm, cortado en uno de sus lados para permitir la colocación de la tapa tras del P.T. (ordenamiento).
29º	Tapa de registro de lámina de hierro galvanizado de 7.6 mm de espesor, reforzada con hierro ángulo y con una cinta de neopreno de 50 mm de ancho por 3 mm de espesor, adherido en forma perimetral con la parte inferior de la tapa.
30º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
31º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
32º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
33º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
34º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
35º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
36º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
37º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
38º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
39º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
40º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
41º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
42º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
43º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
44º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
45º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
46º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
47º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
48º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
49º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
50º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
51º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
52º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
53º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
54º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
55º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
56º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
57º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
58º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
59º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
60º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
61º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
62º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
63º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
64º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
65º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
66º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
67º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
68º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
69º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
70º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
71º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
72º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
73º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
74º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
75º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
76º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
77º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
78º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
79º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
80º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
81º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
82º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
83º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
84º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
85º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
86º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
87º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
88º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
89º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
90º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
91º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
92º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
93º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
94º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
95º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
96º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
97º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
98º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
99º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.
100º	Cable conduit pared gruesa galvanizado de 25 mm de Ø.

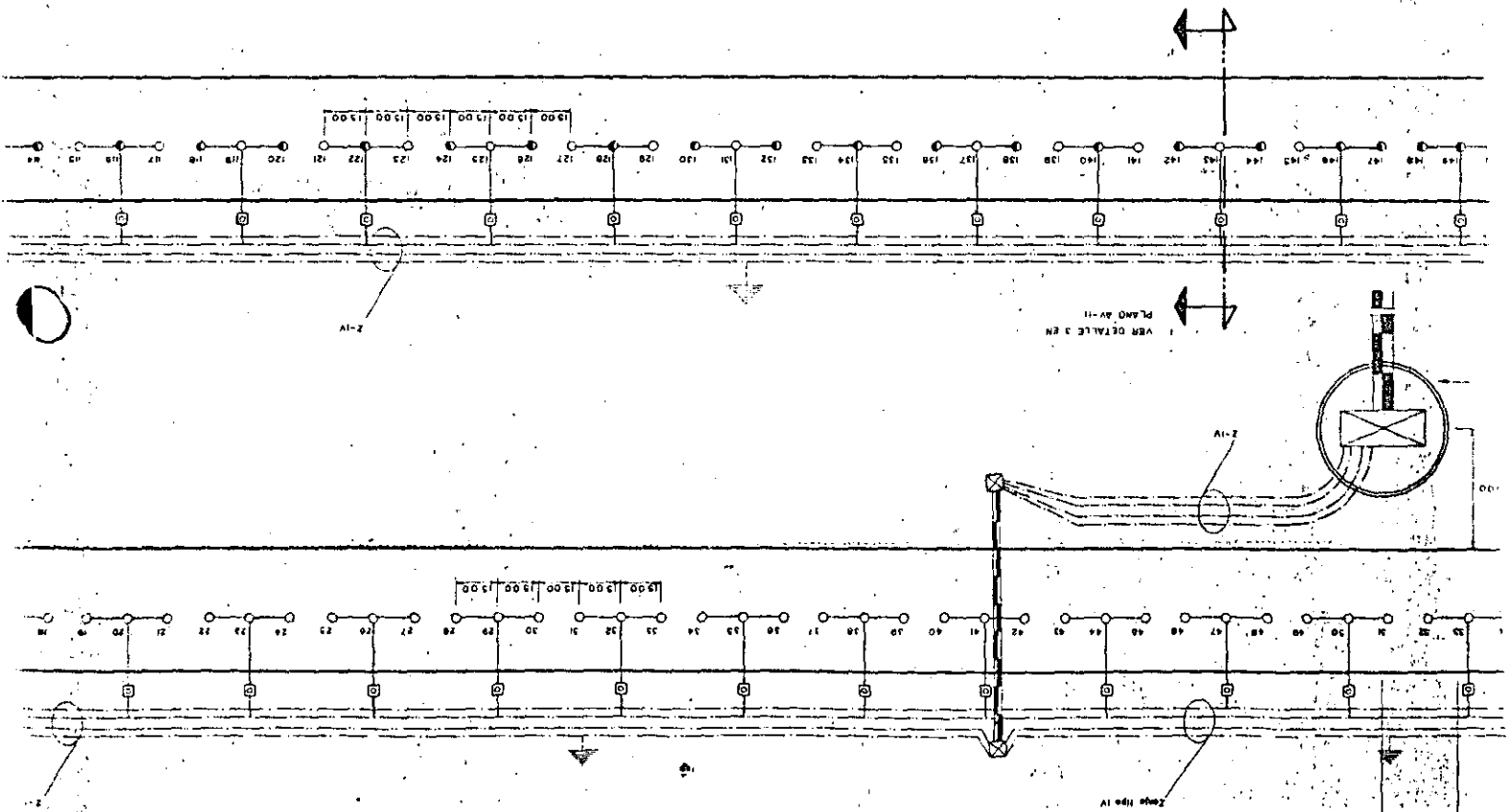






PLATAFORMA DE OPERACIONES  
DE 173 x 90 m

PLATAFORMA DE AVIONES  
DE 120 x 90 m



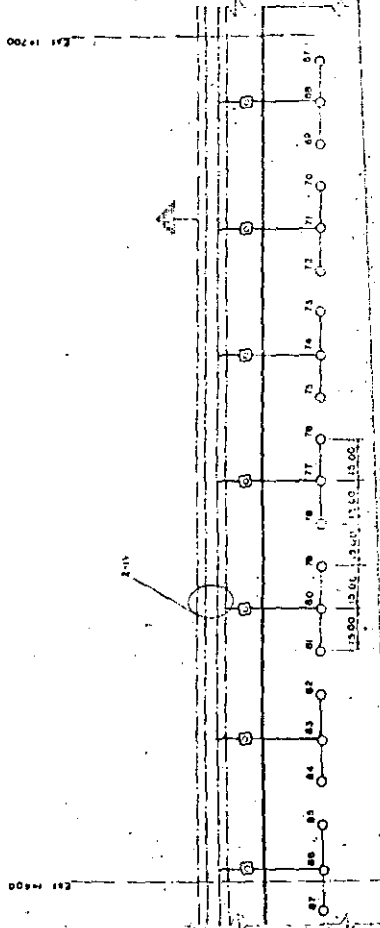
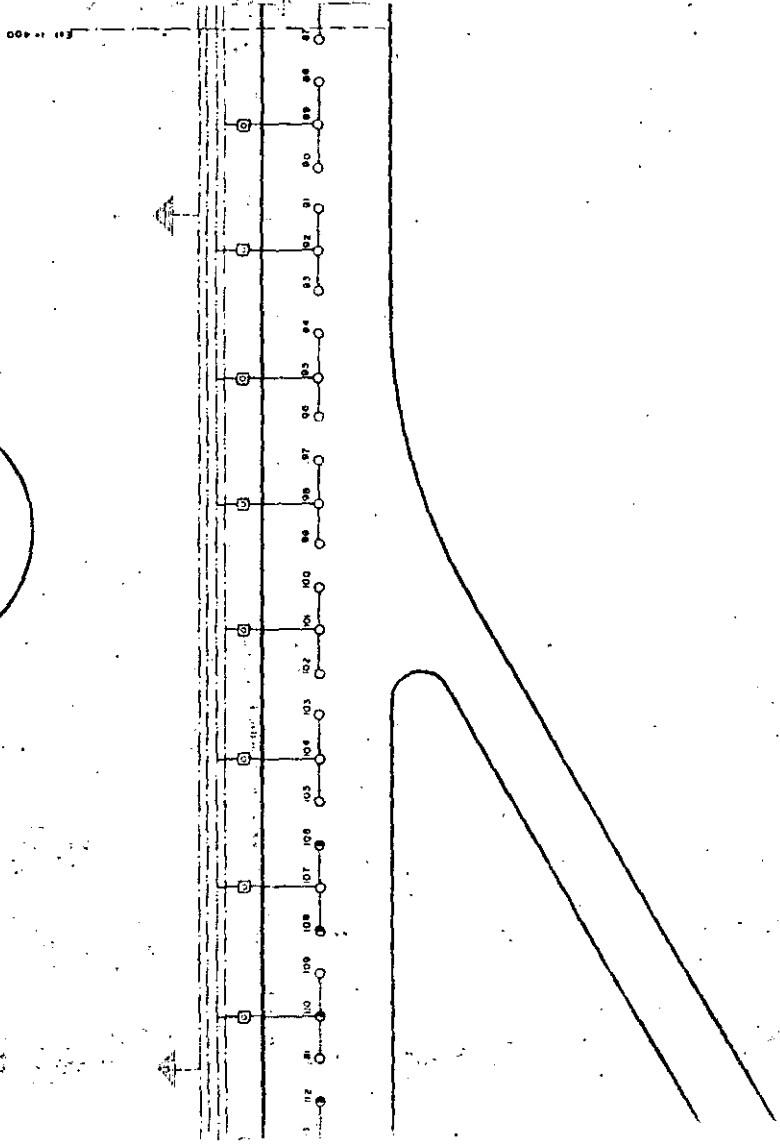
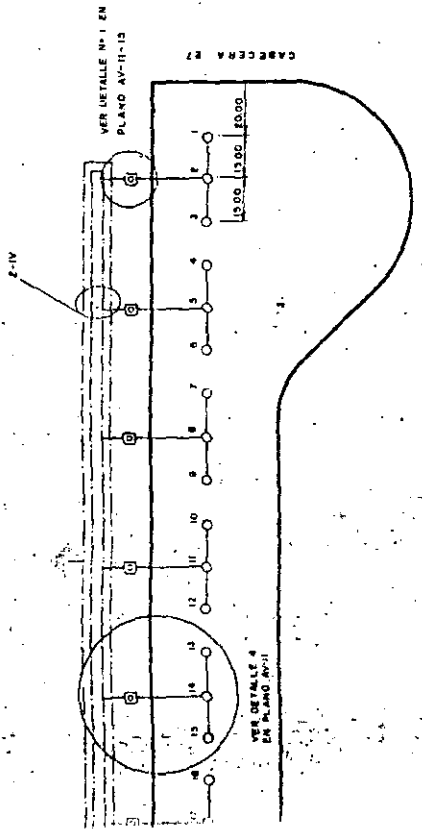
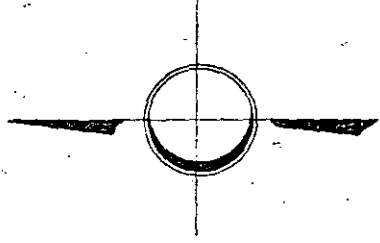
VER DETALLE EN  
PLANO AV-II

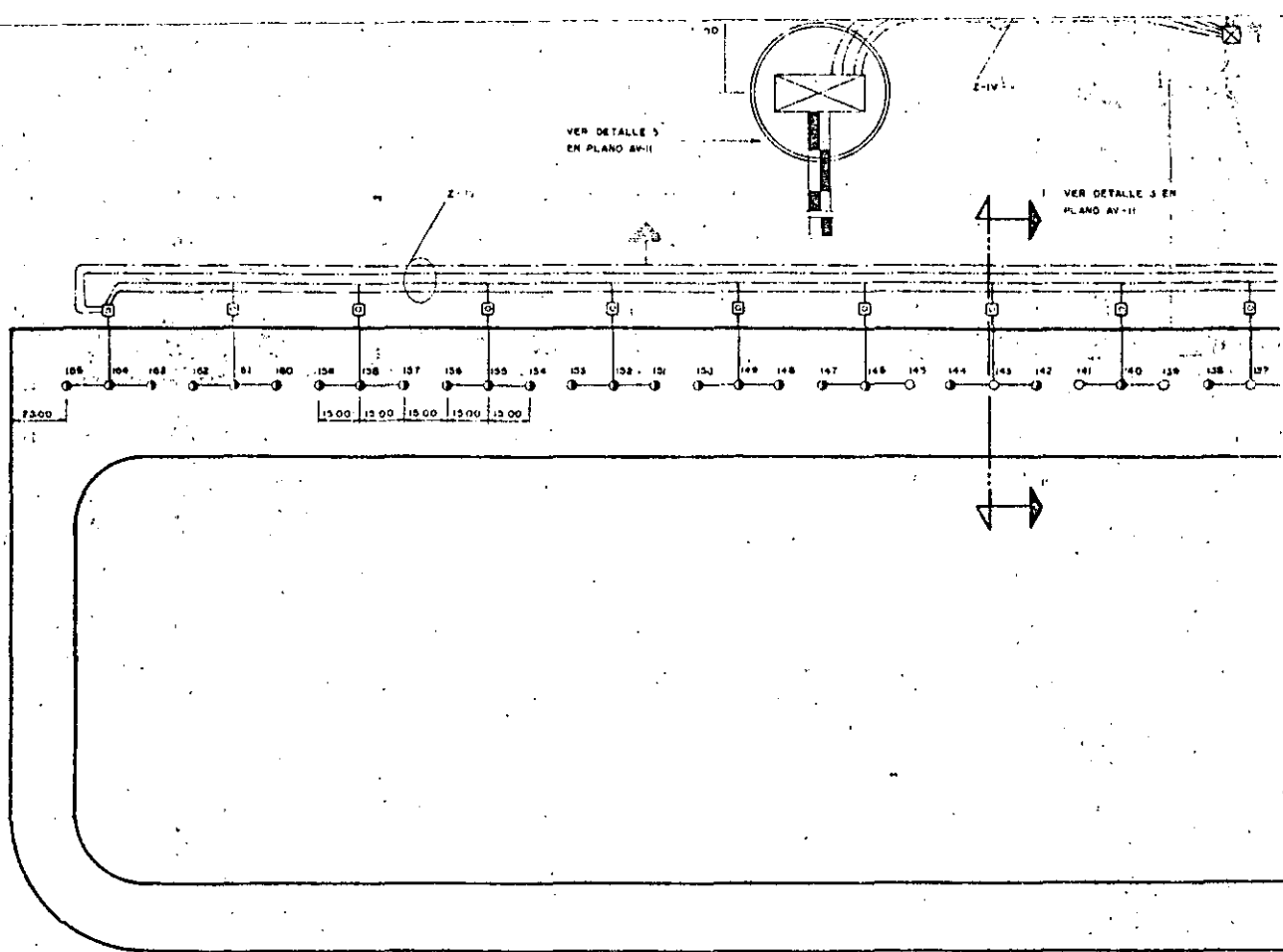
Z-I

LONG 110 IV

272

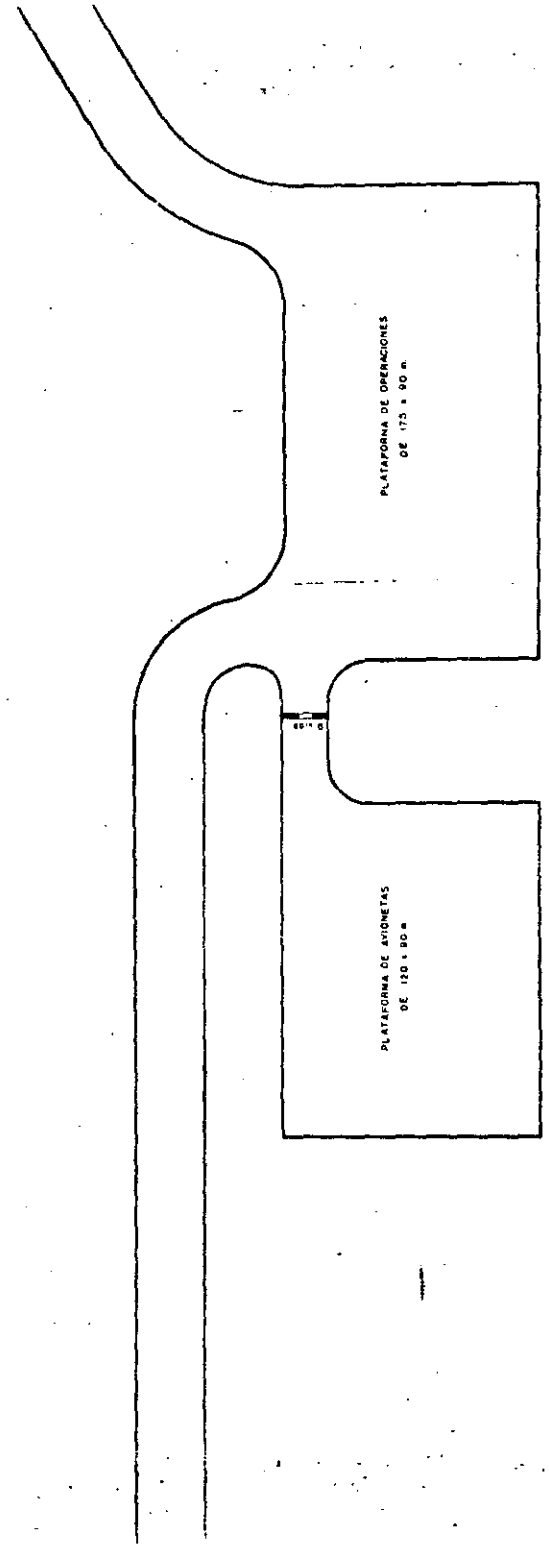
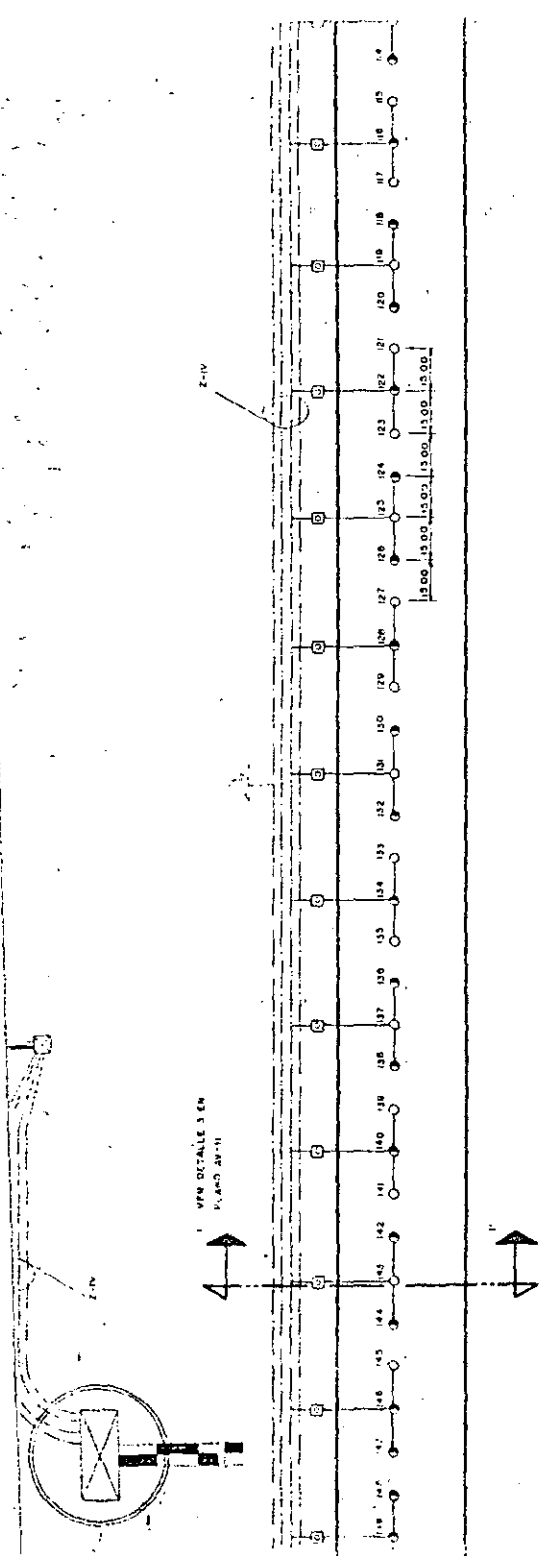
6





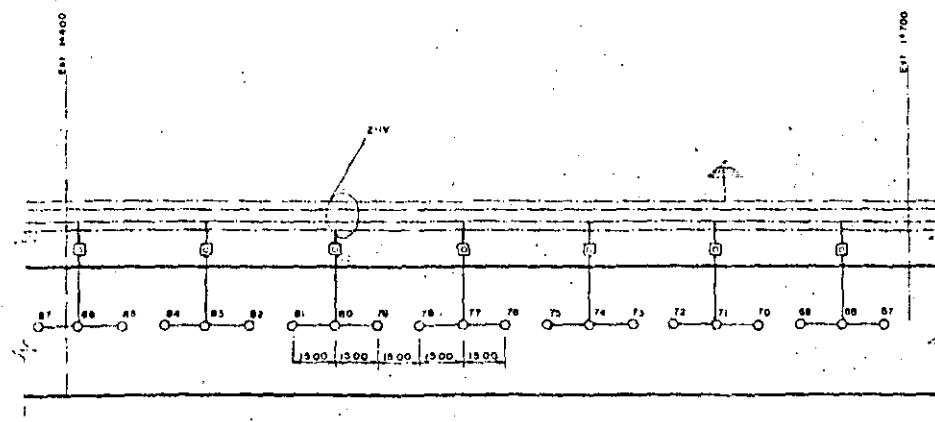
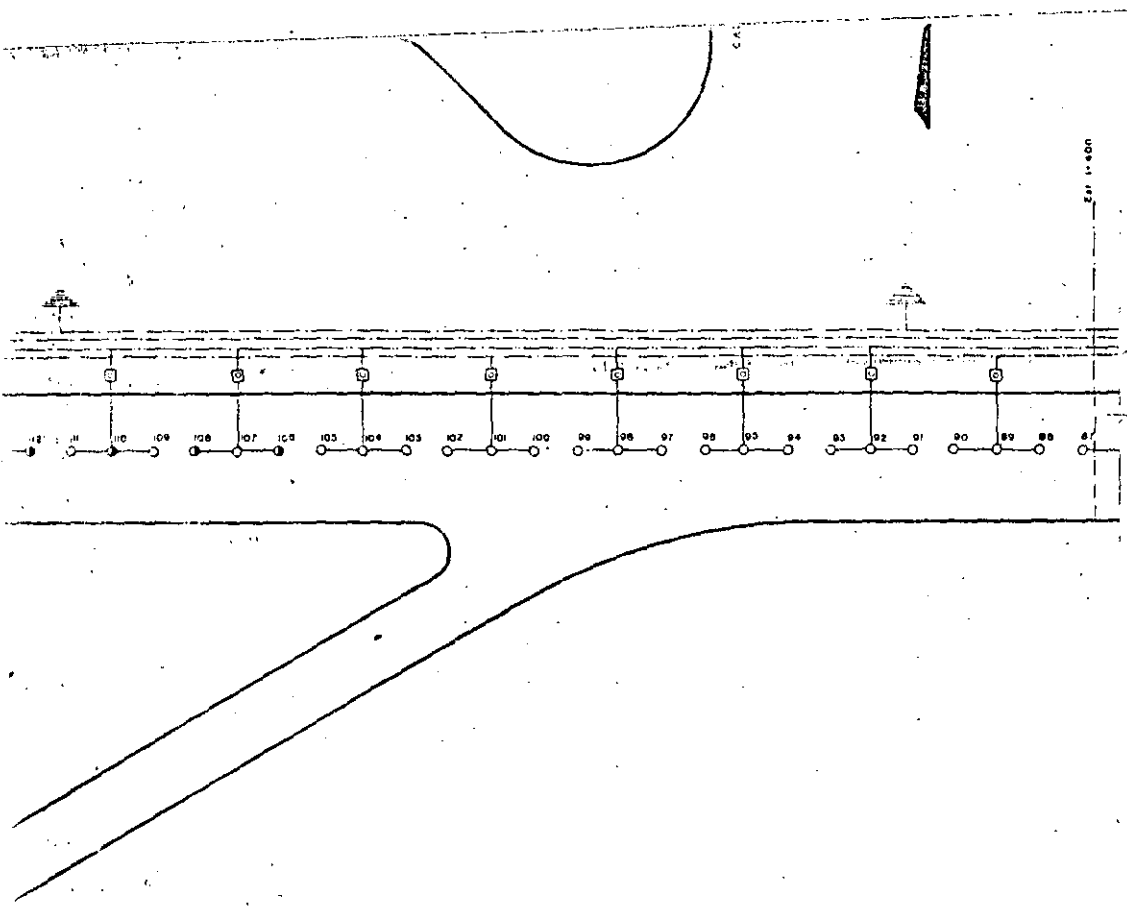
222

CROQUIS DE LOCALIZACION	SYMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	SYMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	SYMBOLO	DESCRIPCION
	○	Luz de eje de pista, tipo intensidad, tipo embudo de 200 watts, 50 amperes, lente clara, unidireccional. - ESP - L-830 A.	PZA	120	○	Cable de cobre unipolar un 7 Nios cable N° 10 AWG y 300 volts	M	1000	○	Tubo flexible de 25 mm de ID y 2 L.C.
	○	Luz de eje de pista, tipo intensidad, tipo embudo de 200 watts, 65 amperes, lente roja, unidireccional. - ESP - 850 A.	PZA	80	→→→	(Circuito de tierra) Cable de cobre soldado de un conductor, 7 Nios, cable N° 8 AWG desnudo	ML	500	↑	Variado cooperativo de 50 cm de Ø
		Recura de 20 x 25 mm.	M	2000		Cemento registro para alojar transformadores de un tamaño	PZA	55		
		Transformador de aislamiento de 200 watts 0A/00 - 00 MA, ESP. E-850-0.	PZA	103		Tubo conduct galvanizado de pared gruesa de 25 mm de Ø	M	1500		
		Zanja red IV	PZA	2000		Cemento registro para alojar luces de eje de pista	PZA	45		
		100 pines 1 y 2 de Ø de gruta. Cable de cobre de un conductor, 7 Nios, cable N° 8 AWG, con aislamiento de polietileno (ELPI) para 5 kV, ESP. L-1024	ML	12500		Marcadores de cable	PZA	30		



223

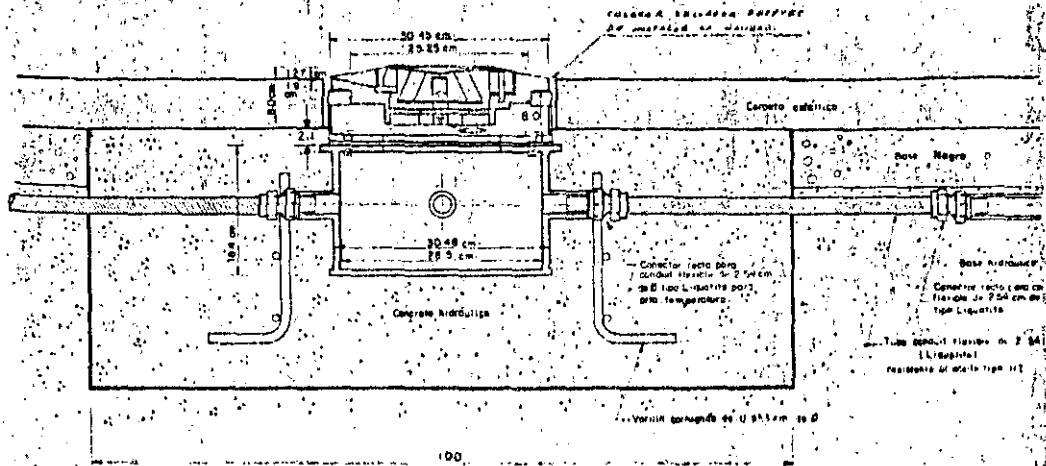
DESCRIPCION	NO. PLAN	TIPO	DESCRIPCION	ANCHO	PLANOS DE REFERENCIA	NOTAS
	710	720	Trayectoria de 25 m de anchura	175		1. Los planos de referencia se refieren a los ejes de los carriles.
	710	720	Vehículo estándar de 175 cm de anchura	175		2. Todos los croquis de esta obra se hicieron en otro momento de la obra y no se refieren a ella.
	710	720	Vehículo estándar de 175 cm de anchura	175		3. La dimensión máxima entre las patillas debe ser de 175 cm.



224

FECHA	MODIFICACION	ELABORACION	SALTOP	
		EL JEFE DE LA OFICINA AYUDAS VISUALES ING. LUIS V. ESPINOSA A.	Dirección General de Aeropuertos. Departamento de Instalaciones	
		EL JEFE DE LA SECCION ING. SERGIO PEREZ PEREA	AEROPUERTO DE TUXTLA GUTIERREZ, CHIS. PLANTA GENERAL DE SEÑALAMIENTO DE LUCES DE EJE DE PISTA	
		PROYECTO: ING. BASILIO SUAREZ DEL REAL G.	EL JEFE DEL DEPARTAMENTO	EL DIRECTOR GENERAL
		DEBUIO: PARRA RIVERA JUAN CARLOS	ING. BERNARDO CRIVANTES LOPEZ	ING. EDUARDO EDNA TRALL
			México, D.F. Agosto de 1974	Nº PLANO 47-10 136 1:1000 1361 EN HT

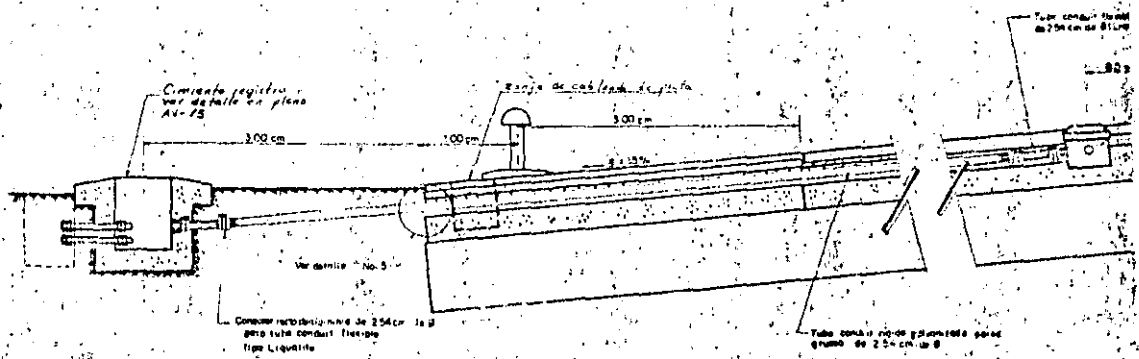
225



CORTE DE BASE EXTENSION Y UNIDAD DE EJE DE PISTA  
(CENTRAL DE CADA GRUPO DE 3)

DETALLE No. 1

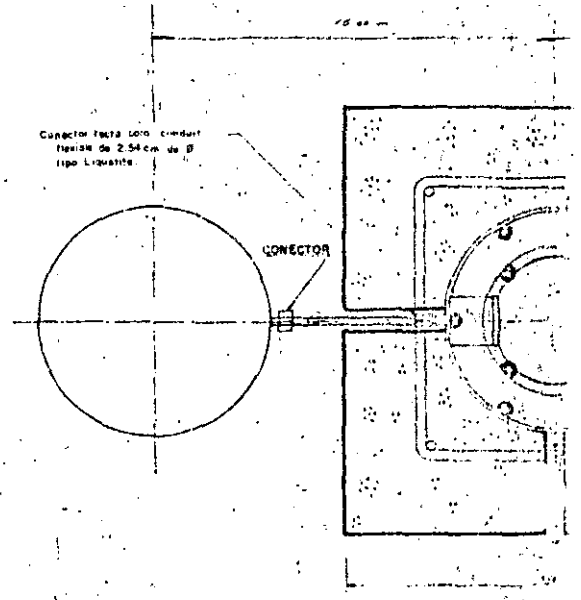
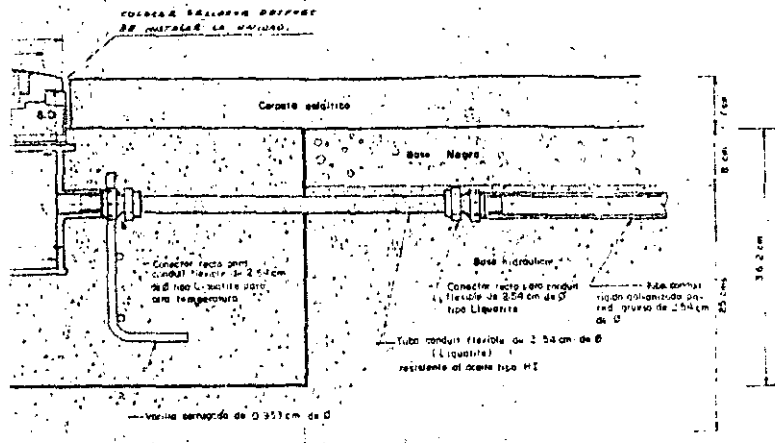
ACOTACIONES EN CM FUERA DE ESCALA



CORTE CONSTRUCTIVO A LA ALTURA DE UNA LAMPARA CENTRAL

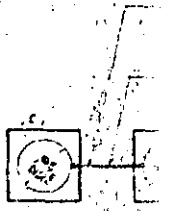
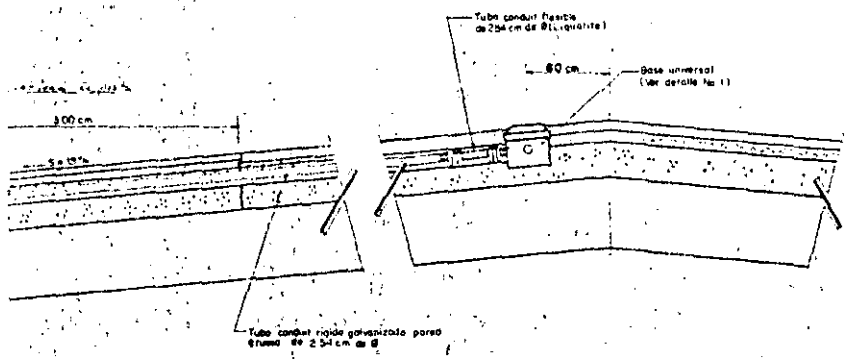
DETALLE No. 3

ACOTACIONES EN CM FUERA DE ESCALA



ADICION DE EJE DE PISTA  
NO. 1  
ERA DE ESCALA

DETALLE  
ADICIONES FINES

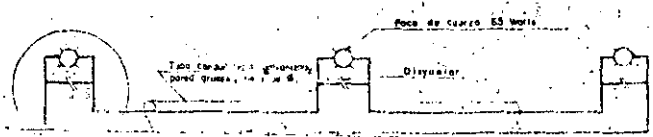


Radio de 20 mm de tubo Ø 25 mm de protección superior de tipo Livette (Ver detalle No. 2 en planta No. 1)

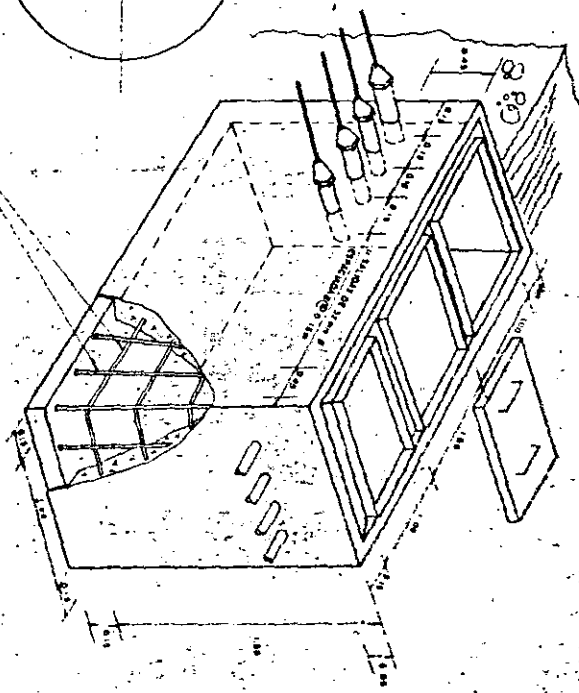
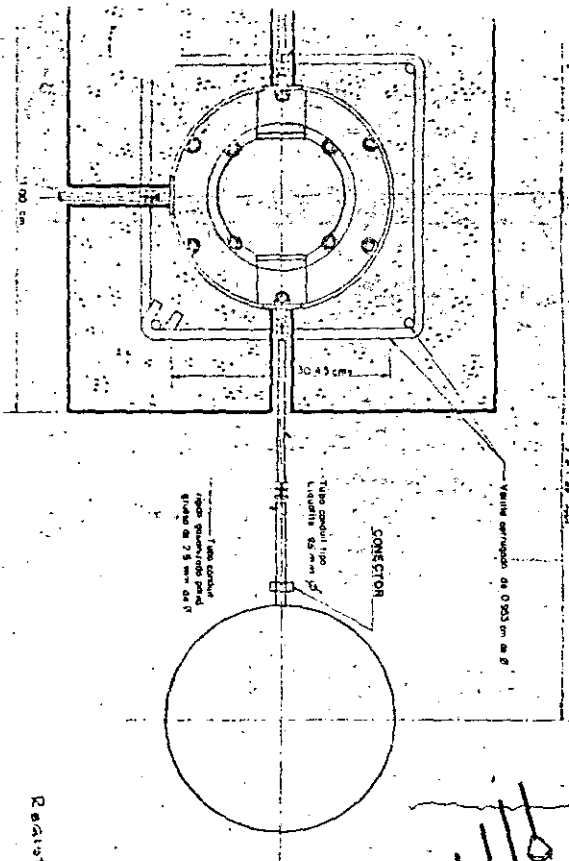
Tubo conduct rígido galvanizado poroso grueso de 2.54 cm de Ø

Cajón registro de concreto (Ver No. 1) con base universal de la galvanizado de Ø 30 mm de largo Ø 40 mm esp. Est. Livette (Fig. 21) (Ver detalle en planta No. 1)

ACTIVO: A LA ALTURA DE UNA LAMPARA CENTRAL



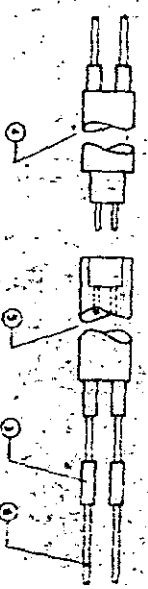
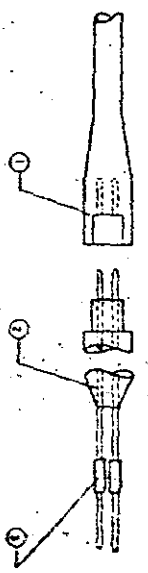
DETALLE No. 3  
ADICIONES EN CM ERA DE ESCALA



Registro de distribución de cables  
1-531-8

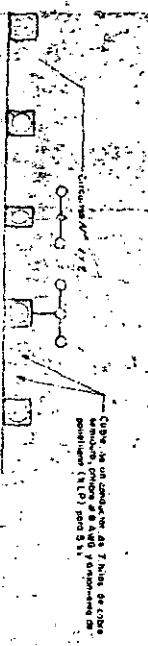
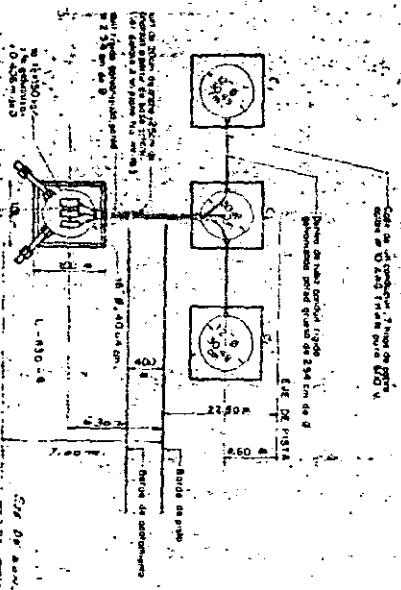
DETALLE Nº 5

DETALLE DE CONEXION DEL SECUNDARIO DE UN TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO COLOCADO EN EL REGISTRO QUE ESTA FUERA DE LA PISTA, CON LA ALIMENTACION A UNA LAMPARA DE L.E.E.



DETALLE DE CONEXION EN LA BATE DE MONTAJE DE UNA LAMPARA DE L.E.E. CON LA ALIMENTACION QUE VIENE DEL CEMENTO REGISTRO FUERA DE LA PISTA.

DETALLE No 2  
OPULARDES LAMPARAS DE EJE DE PISTA  
ADORNOS EN CO  
FUERA DE ESCALA





Tubo conducto flexible de 2" (50 mm) para cable eléctrico tipo 112

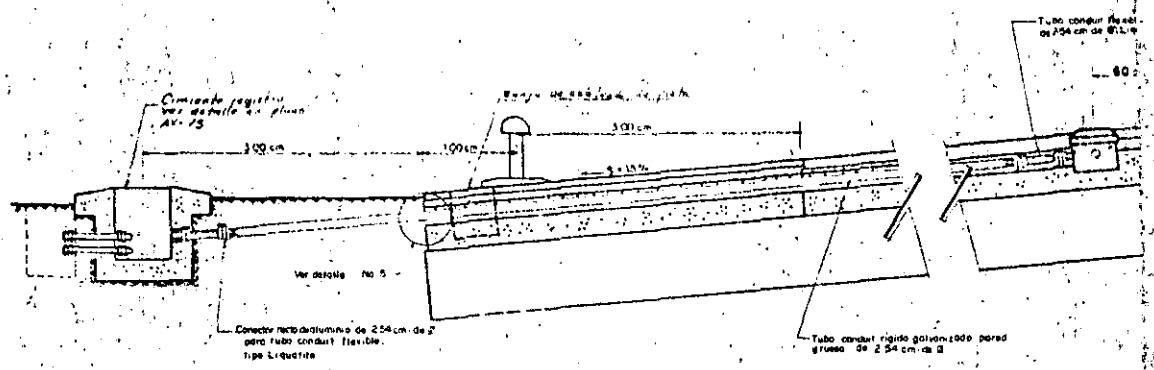
Vista parcial de 0.55 cm de 2

100

### CORTE DE BASE EXTENSION Y UNIDAD DE EJE DE PISTA (CENTRAL DE CADA GRUPO DE 3)

#### DETALLE No. 1

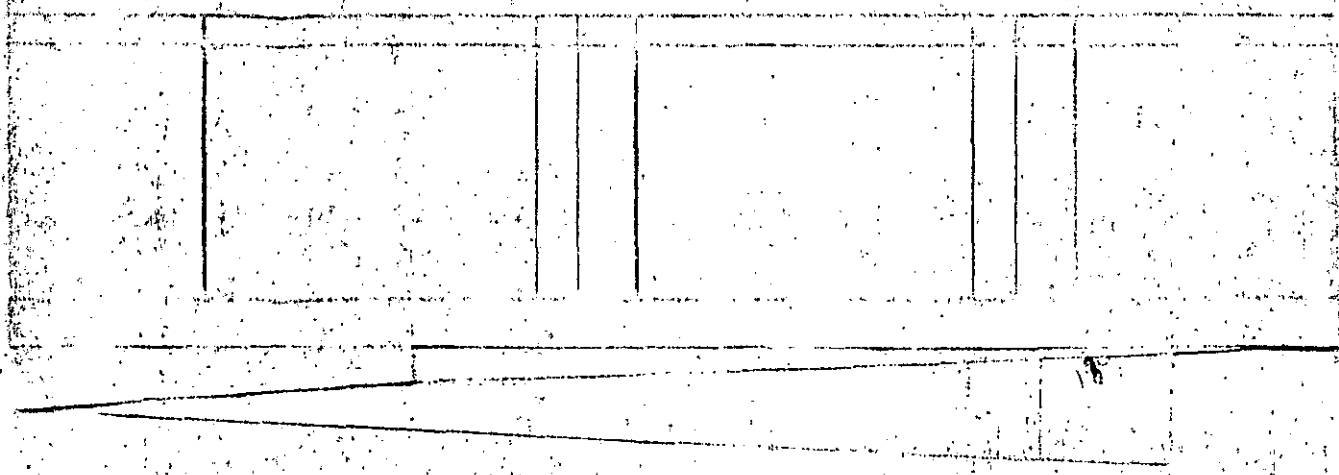
ACOTACIONES EN CM FUERA DE ESCALA

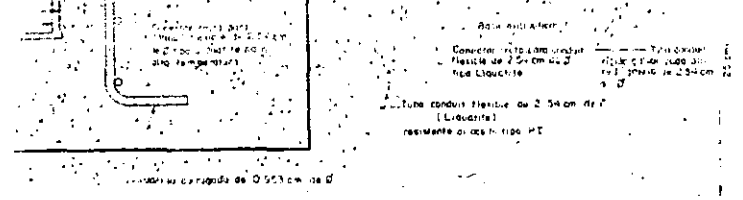


### CORTE CONSTRUCTIVO A LA ALTURA DE UNA LAMPARA CENTRAL

#### DETALLE No. 3

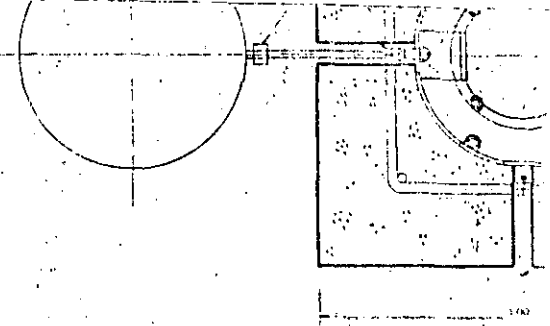
ACOTACIONES EN CM FUERA DE ESCALA



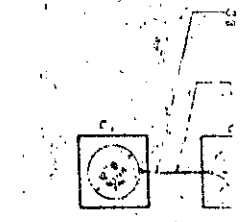
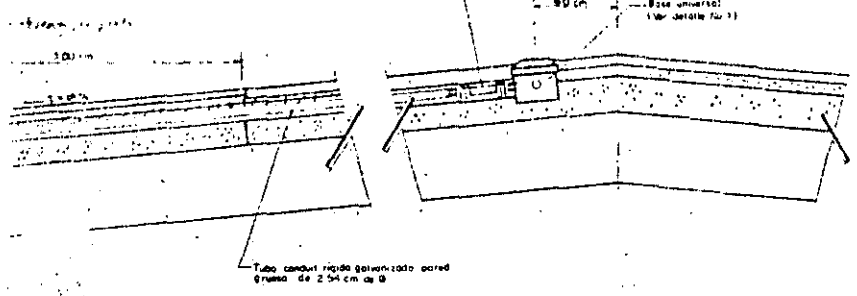


AD DE EJE DE PISTA  
 DE 3)

DE ESCALA



GRUPO MODULAR DE 3 LAMPARAS  
 DETALLE  
 ACOTACIONES EN CM



Monto de 80 cm de ancho y 75 cm de profundidad a partir de nivel de acabado del piso.  
 Tubo conduct rígido galvanizado, pared gruesa de 2.54 cm de Ø.  
 Cuenca registro de concreto 15x150x75 cm<sup>3</sup>, con brida universal de la geometría de Ø 508 mm de largo x Ø 406 mm de Ø. Eso L-659 (Tipo III) (Ver detalles en plano 24/15)

CTIVO A LA ALTURA DE UNA LAMPARA CENTRAL

DETALLE No. 3  
 ACOTACIONES EN CM FUERA DE ESCALA

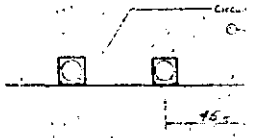
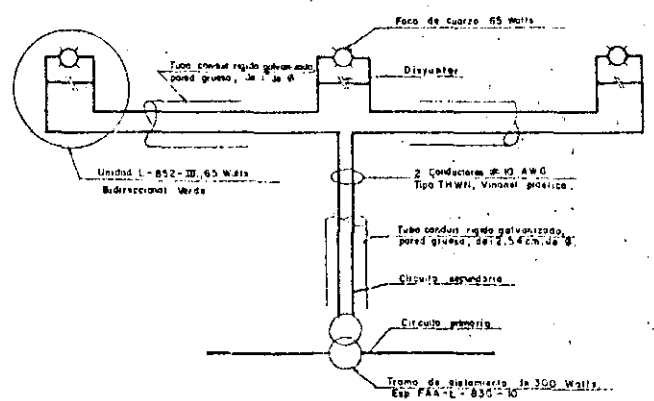
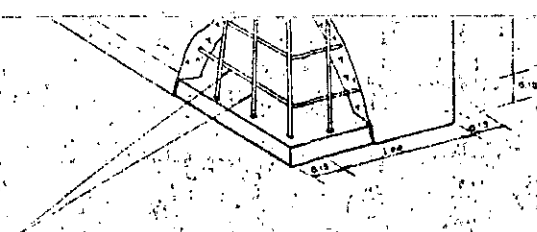
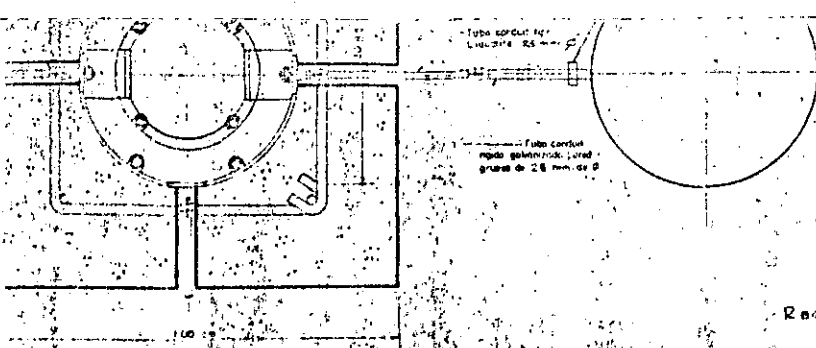


Diagrama de Conexión  
 DETALLE  
 ACOTACIONES EN CM

Diagrama de Conexiones de Luces de Eje de Rodaje  
 DETALLE No. 7

REVISIÓN DEL DISEÑO			
No.	Descripción	Fecha	Por
1	Desarrollo del detalle de conexión de luces de eje de rodaje.	10/10/2010	Juan Carlos
2	Revisión de especificaciones de materiales.	10/10/2010	Juan Carlos
3	Revisión de dimensiones y cotas.	10/10/2010	Juan Carlos
4	Revisión de detalles de montaje.	10/10/2010	Juan Carlos
5	Revisión de especificaciones de componentes eléctricos.	10/10/2010	Juan Carlos
6	Revisión de especificaciones de componentes mecánicos.	10/10/2010	Juan Carlos
7	Revisión de especificaciones de componentes de protección.	10/10/2010	Juan Carlos
8	Revisión de especificaciones de componentes de señalización.	10/10/2010	Juan Carlos
9	Revisión de especificaciones de componentes de control.	10/10/2010	Juan Carlos
10	Revisión de especificaciones de componentes de mantenimiento.	10/10/2010	Juan Carlos



ARMADO VERTICAL Y HORIZONTAL CON VARILLA  
 Ø 30mm. EN AMBOS SENTIDOS (Para detalles  
 constructivos ver plano RV-11A).

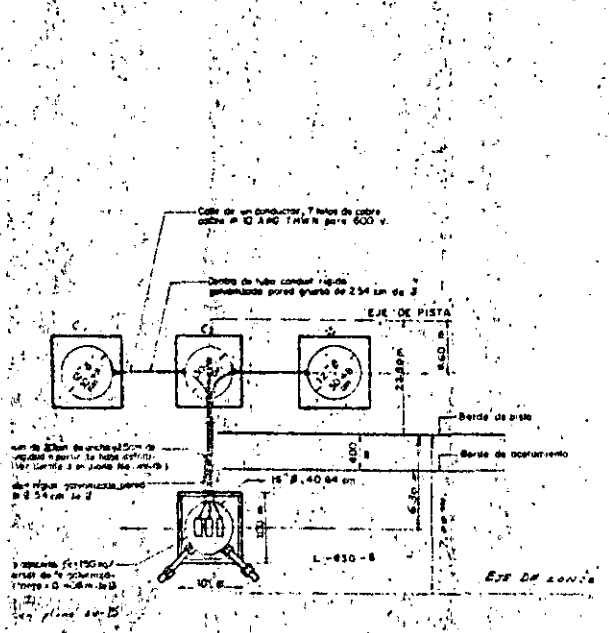
REGISTRO DE DISTRIBUCION DE CABLEADO EN ESTACION  
 1+931.8

DETALLE N.º 5

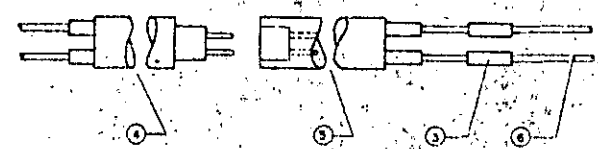
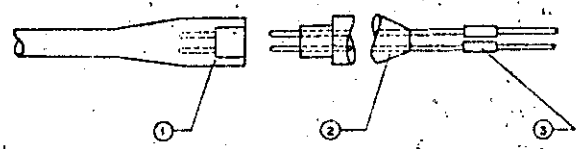
MODULAR DE 3 LAMPARAS DE EJE DE PISTA

DETALLE No. 2

ACOTACIONES EN CM FUERA DE ESCALA.



DETALLE DE CONEXION DEL SECUNDARIO DE UN TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO COLOCADO EN EL REGISTRO QUE ESTA FUERA DE LA PISTA, CON LA ALIMENTACION A UNA LAMPARA DE EJE.



DETALLE DE CONEXION EN LA BASE DE MONTAJE DE UNA LAMPARA DE EJE, CON LA ALIM. QUE VIENE DEL CIMENTO REGISTRO FUERA DE LA PISTA.

- 1 CONECTOR HEMBRA EN EL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR
- 2 CONECTOR MACHO PARA ALIMENTACION DE LAMPARAS, FAA-L-823; ESTILO 91P DE ELASTIMOLD O SIMILAR Y DE IGUAL CALIDAD.
- 3 CONECTOR AMP DE PRESION CUBIERTO, CON UN TRAMO DE JUNTA TERMOCONTRACTIL DESPUES DE HACER EL EMPALME.
- 4 CONECTOR MACHO EN LA LAMPARA.
- 5 CONECTOR HEMBRA PARA ALIMENTACION DE LAMPARAS, FAA-L-823; ESTILO 90R DE ELASTIMOLD O SIMILAR Y DE IGUAL CALIDAD.
- 6 CABLE THWNIW/NANL NYLON CALIBRE No 10 AWG.

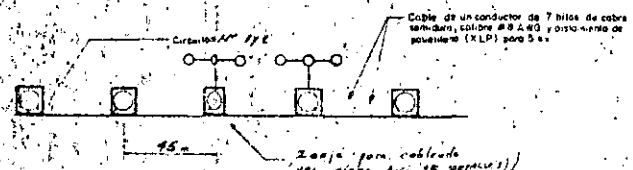


Diagrama de Conexiones de Luces de Eje de Pista

DETALLE No. 4

ACOTACIONES EN CM FUERA DE ESCALA.

DETALLE 6

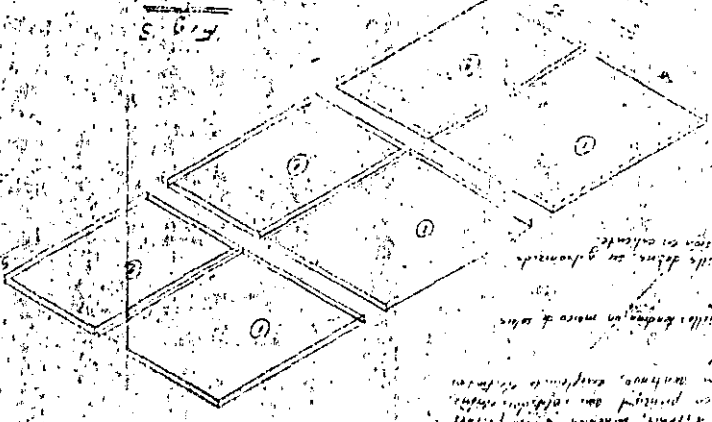
<p>SECRETARIA DE ENERGIA</p> <p>EL JEFE DE LA SECCION</p> <p>PROYECTO</p> <p>DISEÑO</p>		<p>SECRETARIA DE ENERGIA</p> <p>TERCERIZADA PEREA</p> <p>COMANDO EN JEFE</p> <p>COMANDO EN JEFE</p>	<p>DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS</p> <p>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA</p> <p>AEROPUERTO DE TUXTLA</p> <p>DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LAS LAMPARAS DE EJE DE PISTA</p> <p>EL JEFE DE LA SECCION</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

I  
II

El sistema de sellado de la junta de la  
puerta de acceso al compartimiento de  
motor, se realiza de la siguiente manera:  
Se coloca una junta de sellado de tipo  
"O" en la parte superior de la puerta  
de acceso al compartimiento de motor.  
Después de la instalación de la junta  
de sellado, se coloca una junta de  
sellado de tipo "O" en la parte inferior  
de la puerta de acceso al compartimiento  
de motor.



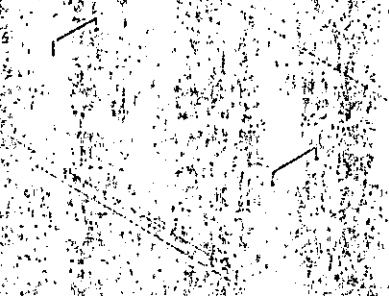
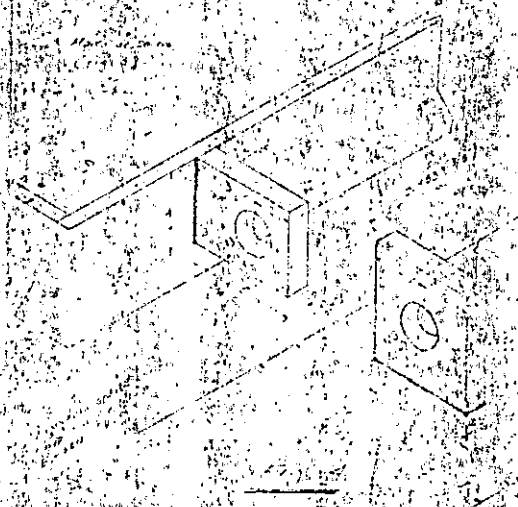
Después de la instalación de la junta  
de sellado, se coloca una junta de  
sellado de tipo "O" en la parte inferior  
de la puerta de acceso al compartimiento  
de motor.



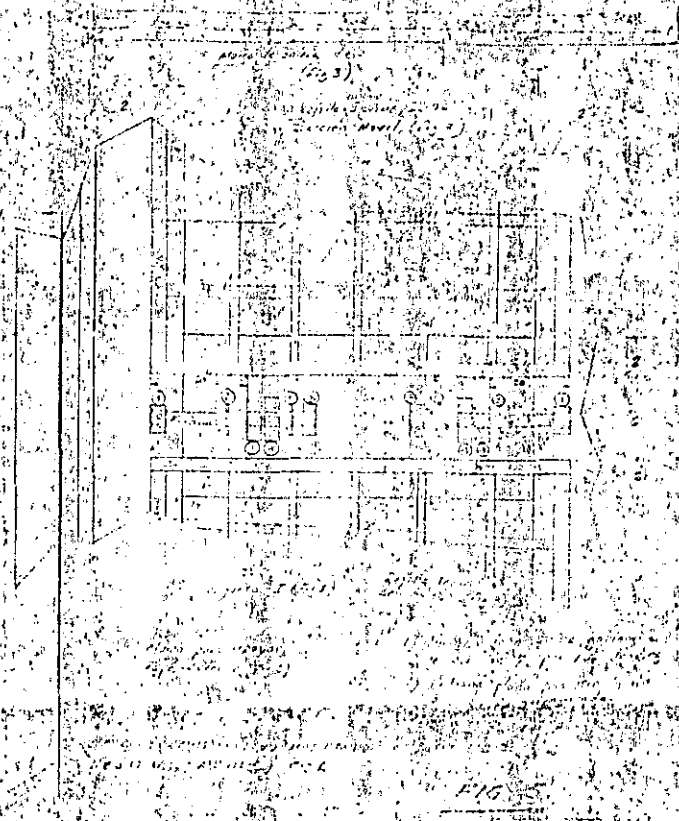
1. Se coloca una junta de sellado de tipo  
"O" en la parte superior de la puerta  
de acceso al compartimiento de motor.  
Después de la instalación de la junta  
de sellado, se coloca una junta de  
sellado de tipo "O" en la parte inferior  
de la puerta de acceso al compartimiento  
de motor.

381  
Fig. 6

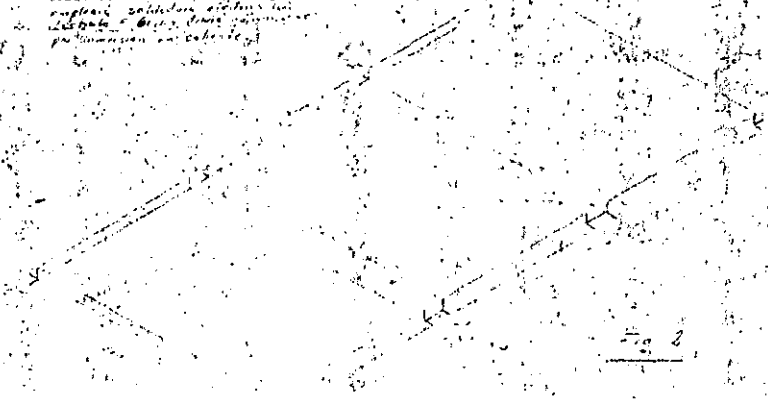
DETAILS OF CONSTRUCTION OF WALL SECTION  
OF REINFORCED CONCRETE



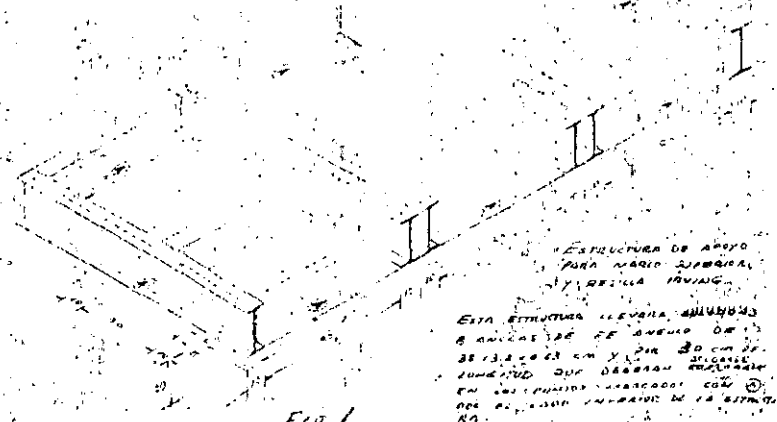
238



"Marco superior para susstrato  
 de tipo laminar que se  
 compone de 2.125 x 0.125  
 y todas las unidades se encajan  
 entre sus canales, formando un  
 conjunto totalmente estanco y  
 ligero. Cada placa está  
 provista de un rebaje para  
 la fijación al soporte."



"LA ESTRUCTURA DE POSICIÓN DE LAS UNIDADES I DE  
 LAS UNIDADES INDICADAS EN EL ANEXO II SE  
 DEBE CONSTRUIR CON UNOS CEMENTOS DE  
 CALIDAD PARA APLICAR EN EL CASO QUE LA  
 UNIDAD INDICADA EN EL ANEXO II SE  
 Y LOS MODELOS EN EXISTENTE EN EL ANEXO II."



"ESTRUCTURA DE APOYO  
 PARA MARCO SUPERIOR  
 Y UNIDADES INDICADAS."

"ESTA ESTRUCTURA DEBE SER REALIZADA  
 EN CEMENTO DE CALIDAD DE AL MENOS  
 25 13.2 x 2.5 cm y ser de 20 cm de  
 altura y 10 cm de espesor en las  
 columnas que sustentan el marco.  
 LA LINEA DE PUNTO INDICA EL NIVEL  
 DEL MARCO SUPERIOR."







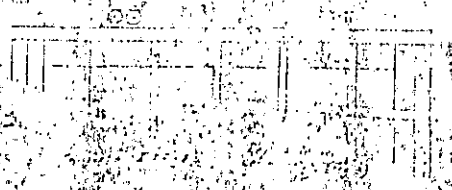
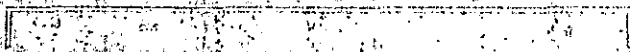
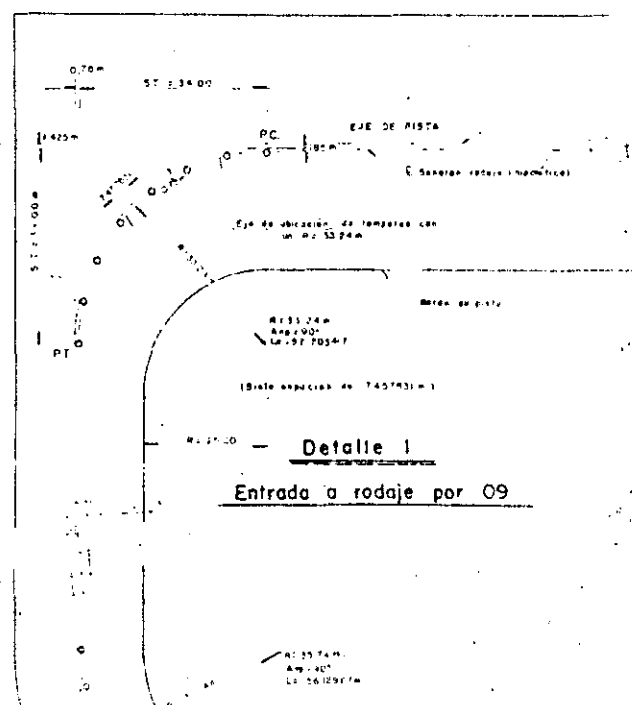
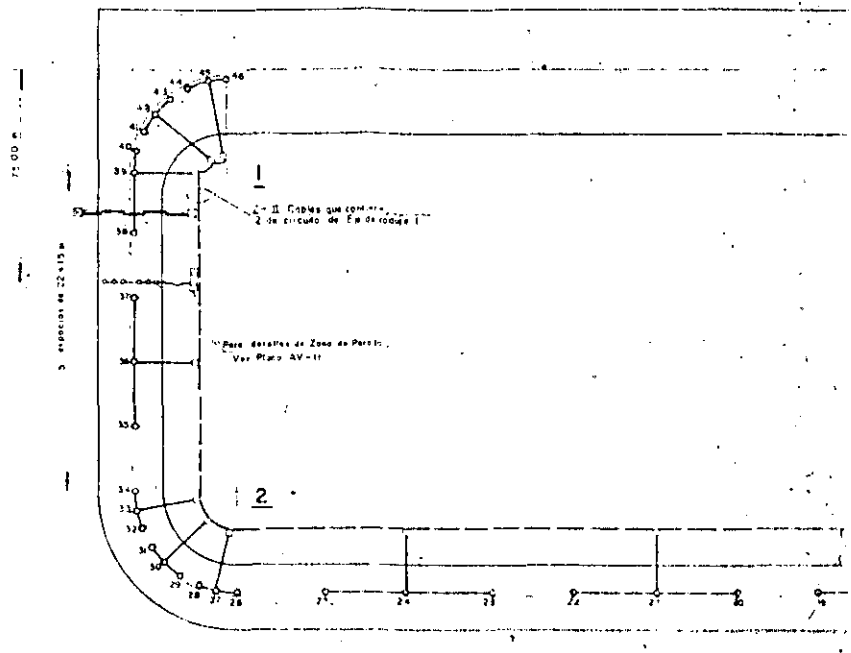


FIG. 5

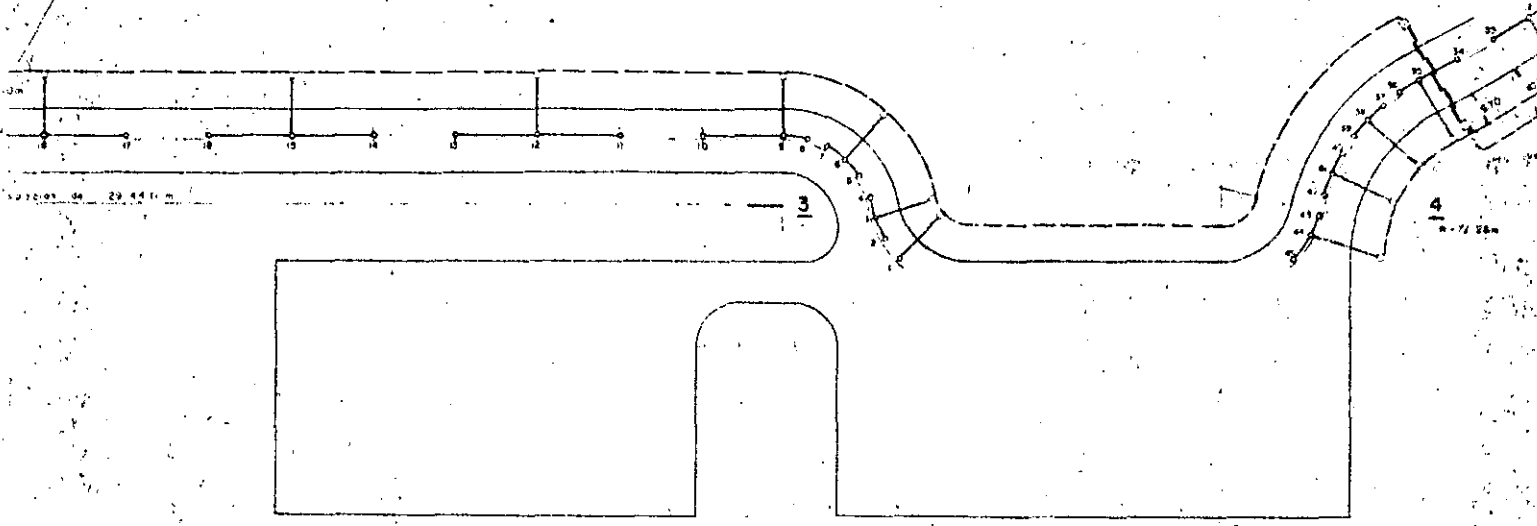


236

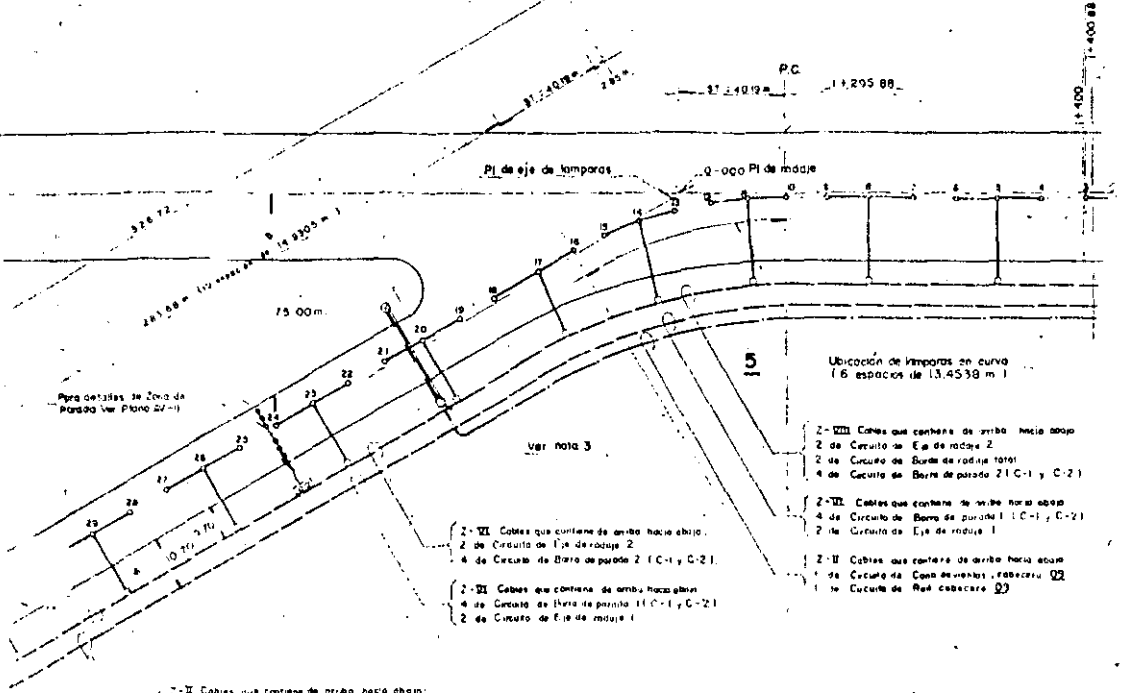


Rodeje 2

1.- M. Coblas, que contiene  
4 de Cemento de Puerto de parada (conclusion interna)  
2 de Carbón de Esc. de rodeje 1

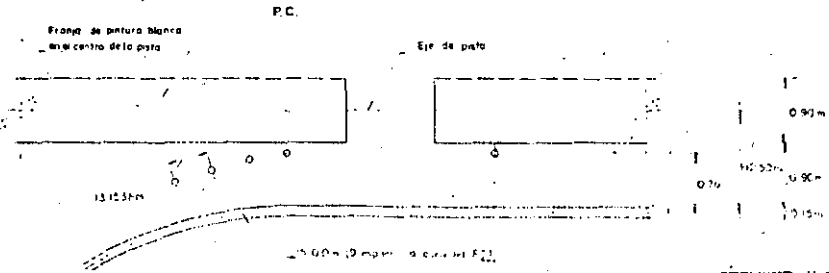
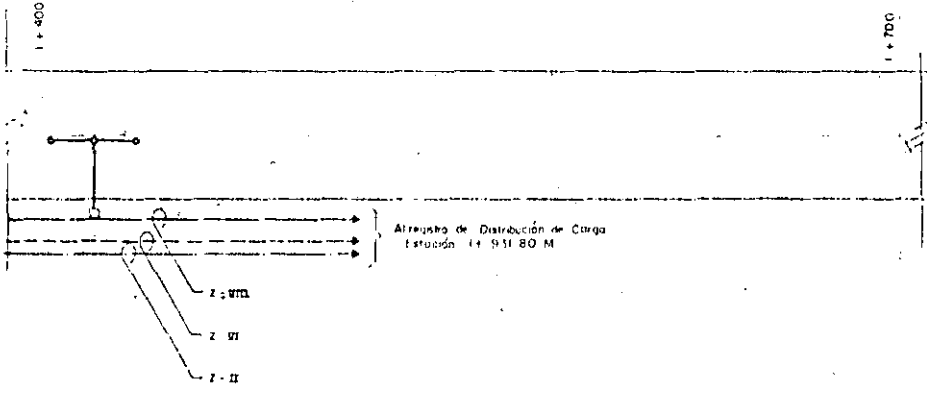


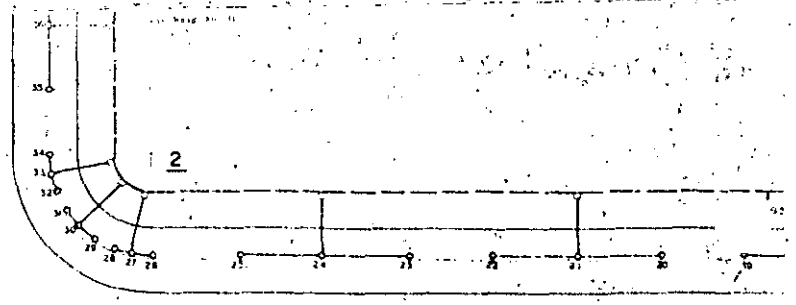
4  
n-7/28m



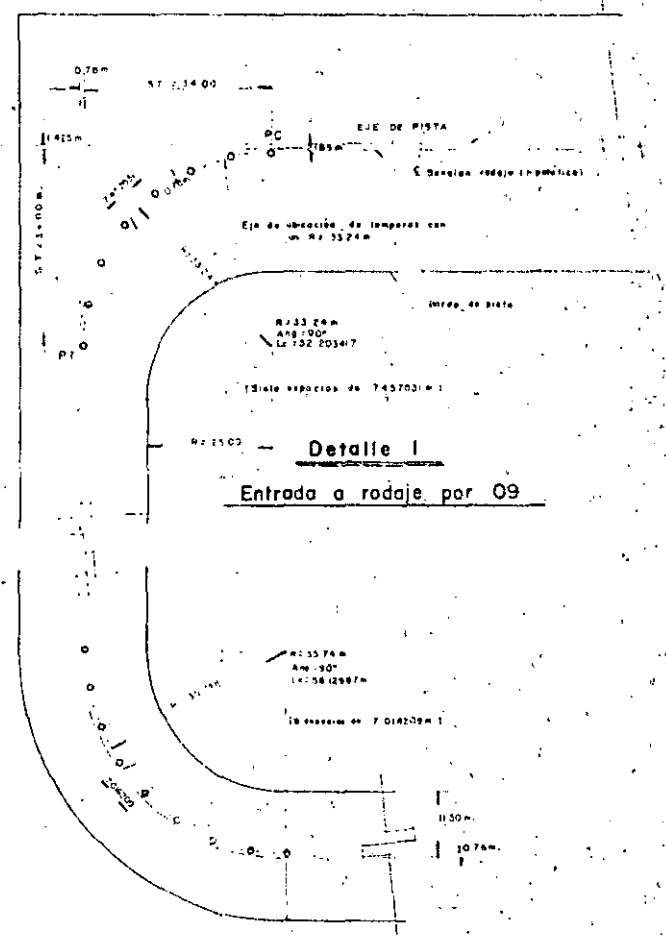
- Ubicación de lamparas en curva  
(6 espacios de 13.4538 m)
- 2-VIII Cables que continen de arriba hacia abajo
  - 2 de Circuito de Eje de rodaje 2
  - 2 de Circuito de Barra de parada 2
  - 4 de Circuito de Barra de parada 2 (C-1 y C-2)
  - 2-VII Cables que continen de arriba hacia abajo
  - 4 de Circuito de Barra de parada 1 (C-1 y C-2)
  - 2 de Circuito de Eje de rodaje 1
  - 2-IX Cables que continen de arriba hacia abajo
  - 4 de Circuito de Barra de parada 1 (C-1 y C-2)
  - 2 de Circuito de Barra de parada 2

- 2-VI Cables que continen de arriba hacia abajo:
  - 2 de Circuito de Eje de rodaje 2
- 2-VII Cables que continen de arriba hacia abajo:
  - 4 de Circuito de Barra de parada 1 (C-1 y C-2)
  - 2 de Circuito de Eje de rodaje 1



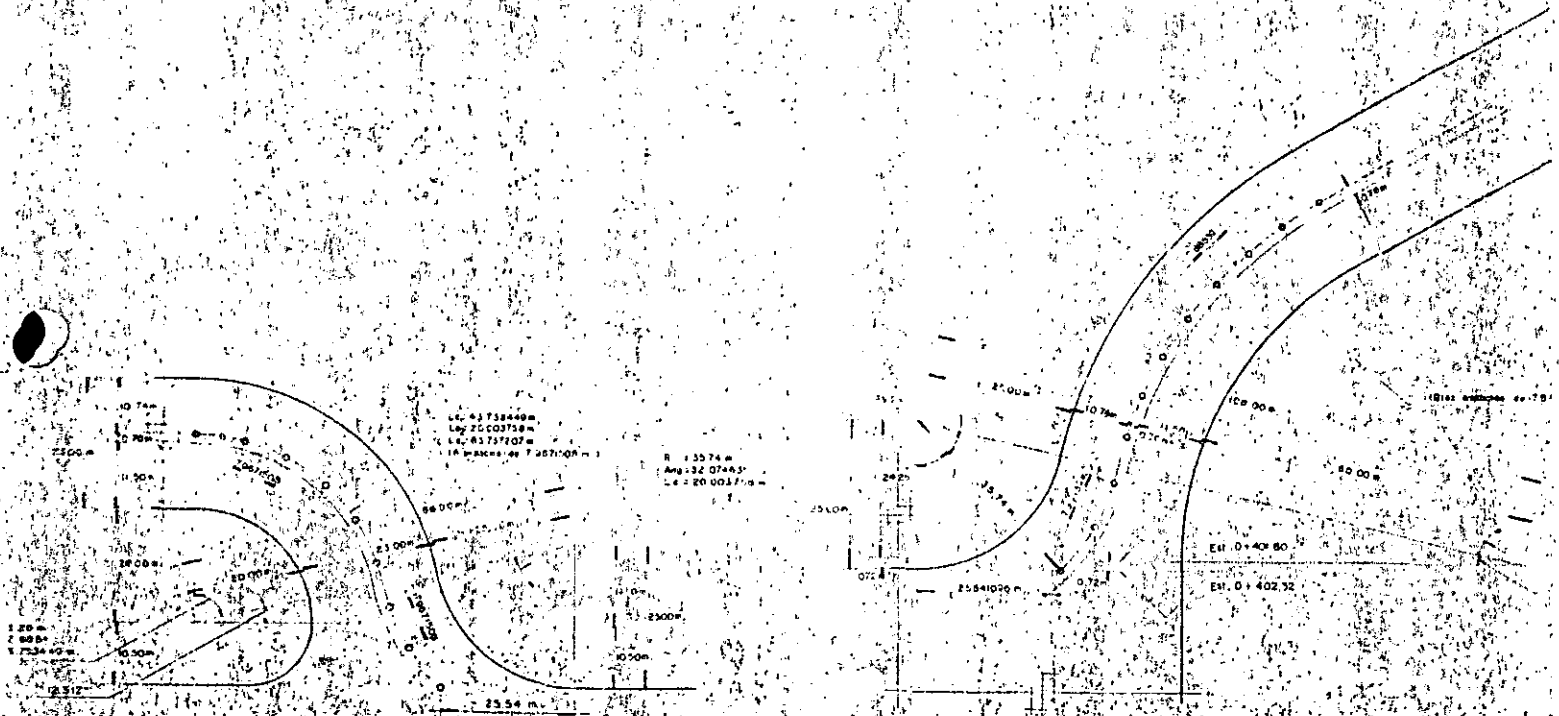
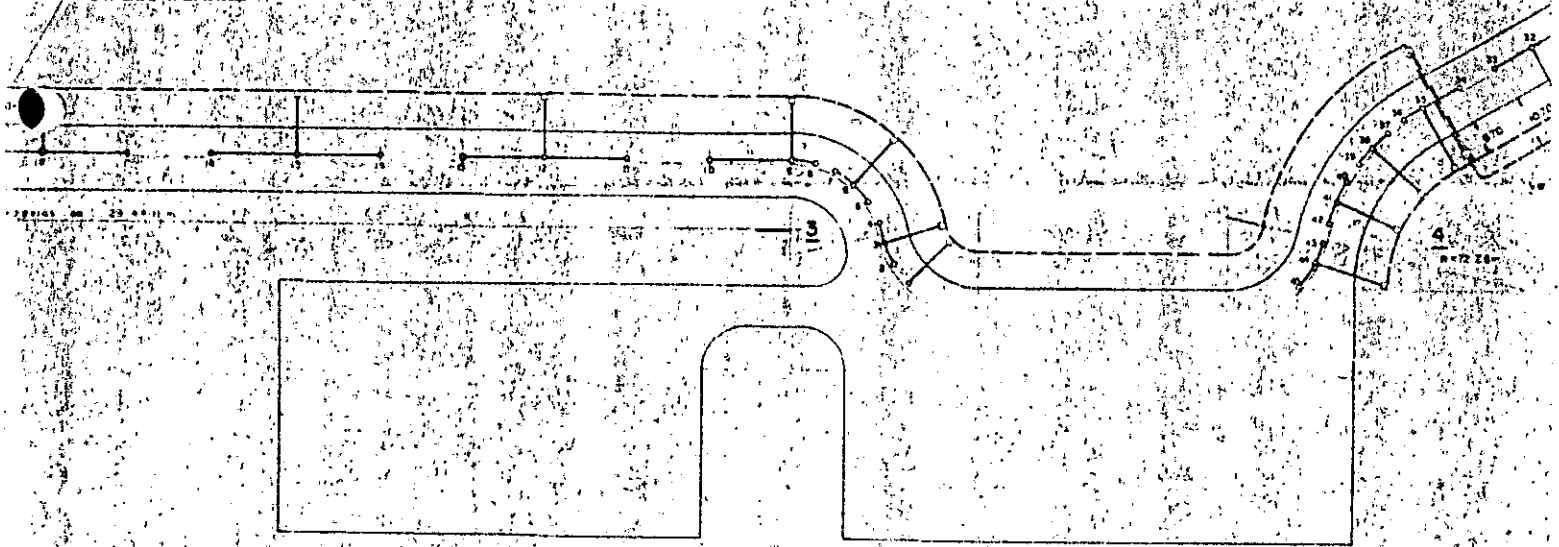


Rodaje 1



Detalle 2

2.71. Cotas en centímetros  
4 de Cubierta de Borne en asfalto (licencias urbanas)  
2 de Cubierta en En de rodaje

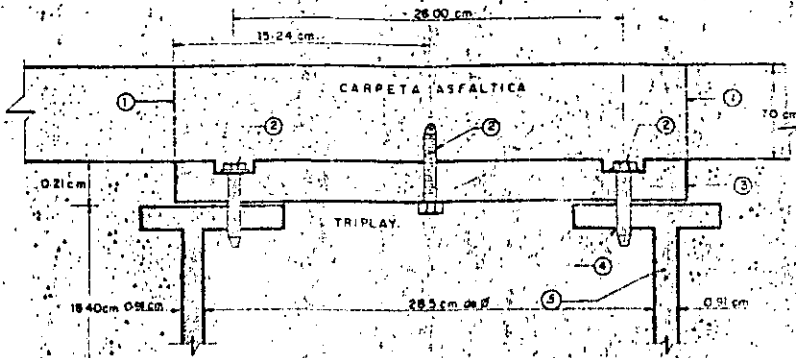
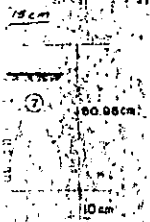


Detalle 3

Detalle 4

241

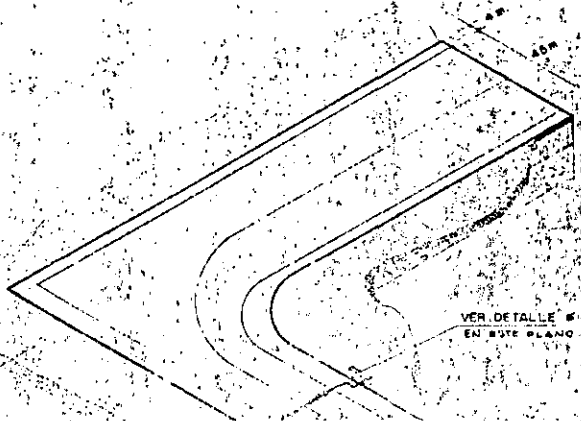
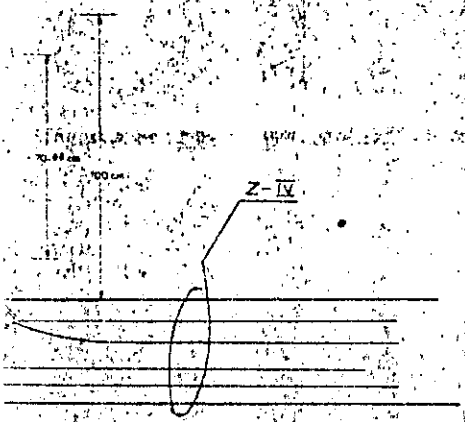
1 - ...  
2 - ...  
3 - ...  
4 - ...



- 1. Corta futuro para alojar unidades FAA - L - B50 - A y FAA - B52 - IV
- 2. Tornillo de hierro galvanizado de 1/4" de Ø
- 3. Triplay de 21 mm. de espesor
- 4. Tornillo de 1/4" de Ø x 1.3" de largo
- 5. Carpeta para impermeabilizar la superficie

**DETALLE No 4**

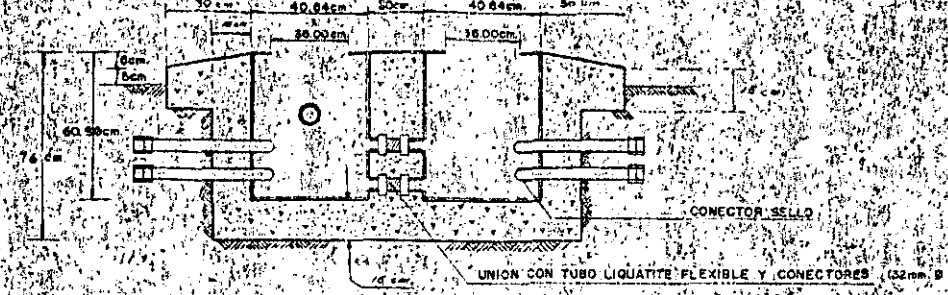
ACOTACIONES EN CENTIMETROS - DIBUJO FUERA DE ESCALA



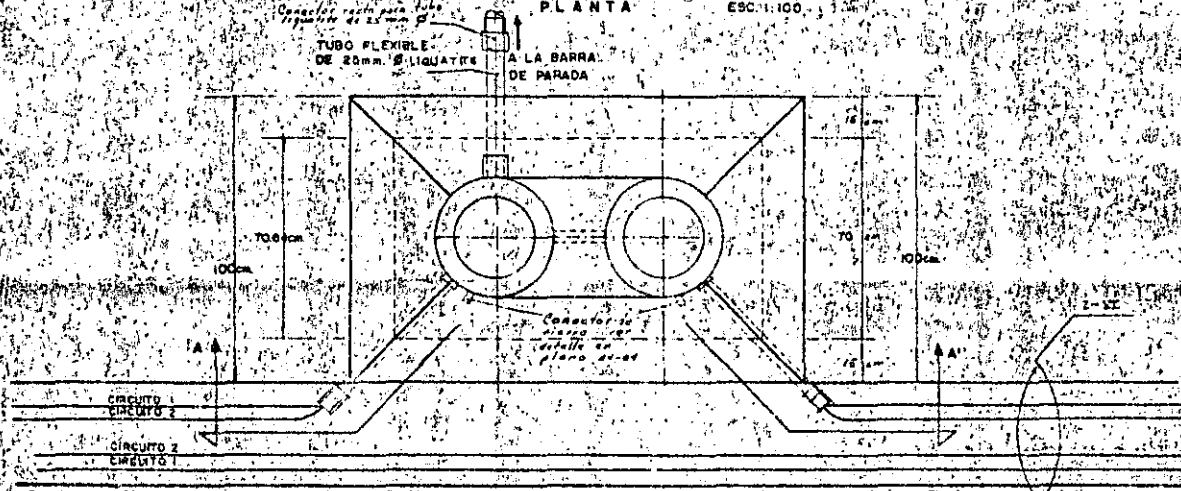
BORDE DE ROCAJE

CIMENTO PARA TRANSFORMADOR EN BARRAS DE PARADA

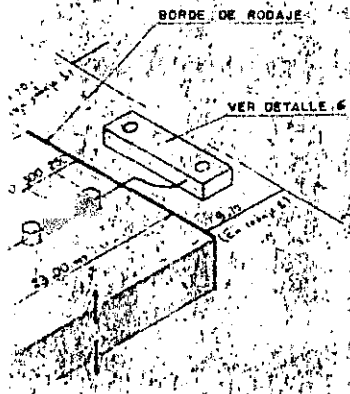
ELEVACION ESC: 1/100



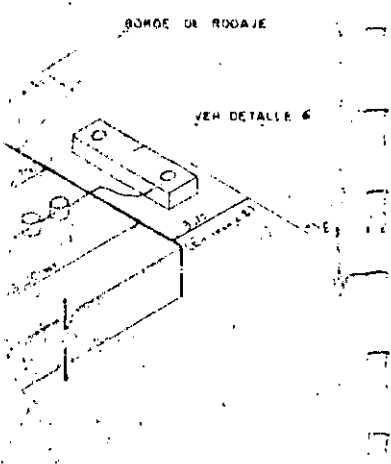
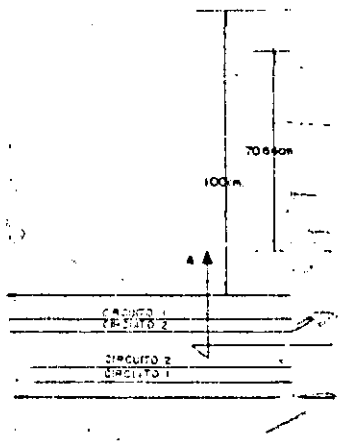
PLANTA ESC: 1/100



DETALLE No. 6

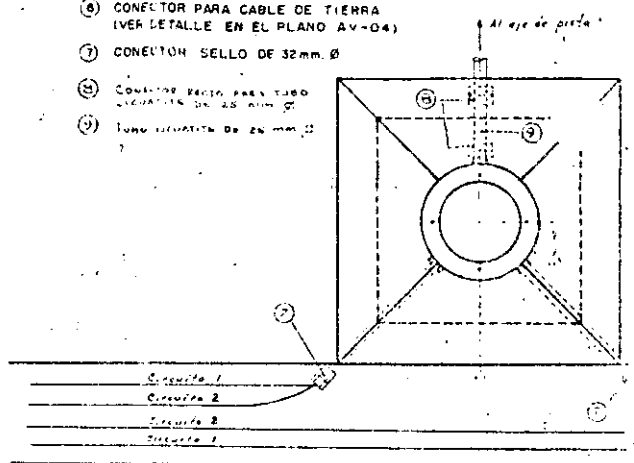




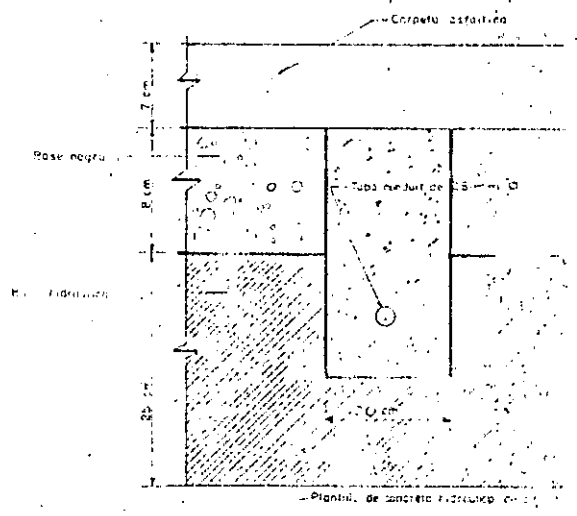


LE No 5  
 - DIBUJO TÉCNICO -

- ③ TAPA CIERA
- ④ JUNTA DE NEOPRENO
- ⑤ BASE UNIVERSAL L-887-1
- ⑥ CONECTOR PARA CABLE DE TIERRA (VER DETALLE EN EL PLANO AV-04)
- ⑦ CONECTOR SELLO DE 32mm Ø
- ⑧ CONECTOR PARA CABLE TIERRA UNIVERSAL DE 25 mm Ø
- ⑨ TUBO UNIVERSAL DE 25 mm Ø



DETALLE No. 1



DETALLE No. 2  
 MANIPULACIÓN EN CEMENTO  
 ACHTACIONES EN CEMENTO

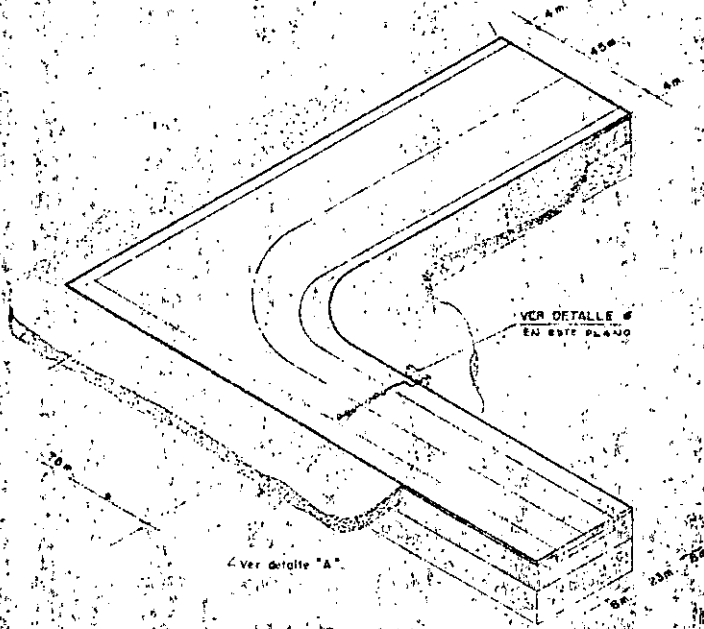
1840cm 0.950 235cm 23cm

- 1 Corte futuro para alojar unidades FAA-L-850-A y FAA-852-IV
- 2 Tornillo de hierro galvanizado de 1/4" de Ø
- 3 Triploy de 21mm de espesor
- 4 Tornillo de 1/4" de Ø x 3" de largo
- 5 Cortado

DETALLE No. 4

ACOTACIONES EN CENTIMETROS - DIBUJO FUERA DE ESCALA

Z-IV



BORDE DE ROCAJE

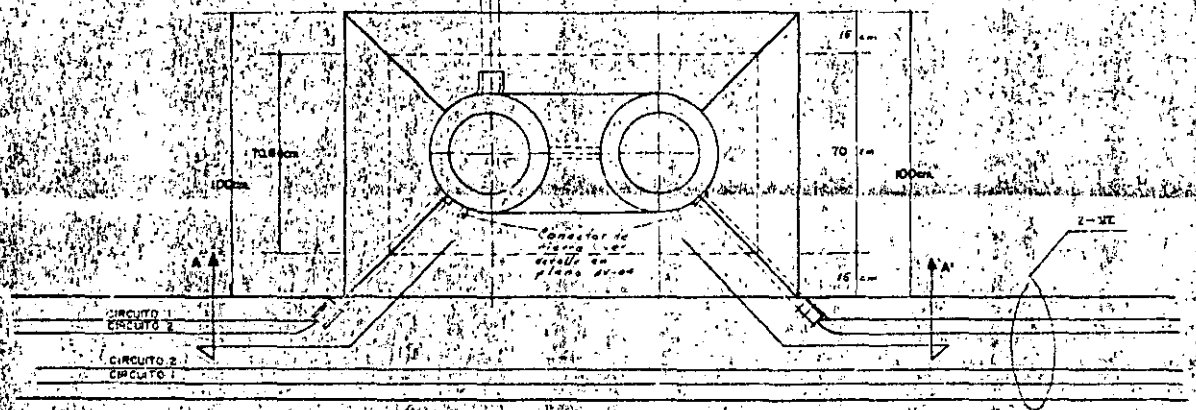
DET

ACOTACIONES EN M

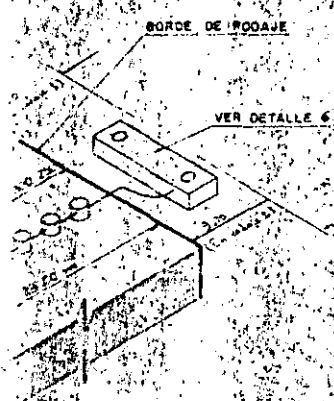
DETALLE No. 3

ACOTACIONES EN METROS - DIBUJO ESCALA 1:1000

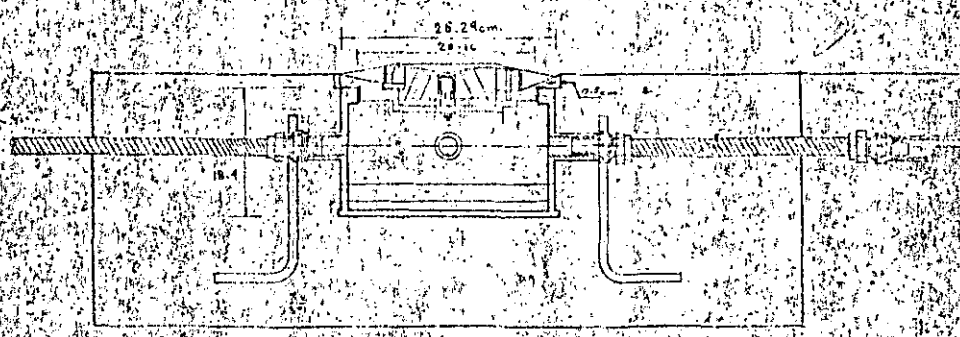
TUBO FLEXIBLE DE 25mm Ø LIQUATUB A LA BARRA DE PARADA



DETALLE No. 6



DETALLE No. 5  
Escala 1:200



CORTE BASE Y LAMPARA L-BS2-III PARA LUCES DE TUBO DE RODAJE Y BARRAS DE PARADA: 248  
DETALLE No. 7

<p>PLANTA ESC. 1:100</p> <p>TUBO FLEXIBLE DE 25mm Ø LIQUATUB A LA BARRA DE PARADA</p> <p>100cm</p> <p>70cm</p> <p>16cm</p> <p>CIRCUITO 1</p> <p>CIRCUITO 2</p> <p>CIRCUITO 3</p>	<p>DETALLE No. 6</p> <p>BORDE DE MONTAJE</p> <p>VER DETALLE 6</p>	<p>DETALLE No. 5</p> <p>Escala 1:200</p>	<p>CORTE BASE Y LAMPARA L-BS2-III PARA LUCES DE TUBO DE RODAJE Y BARRAS DE PARADA: 248</p> <p>DETALLE No. 7</p>	<p>de Aeropuertos</p> <p>Instalaciones</p> <p>SUBTERRANEO</p> <p>PARA INSTALACION DE</p> <p>PISTA Y RODAJE</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------	------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------



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

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE  
MAYO.  
MEXICO, D.F.

"PROYECTO DE INSTALACIONES EXTERIORES"  
(Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias)

ING. RAFAEL CORRAL URQUIDEZ

CURSO DE INGENIERIA DE AEROPUERTOS

TEMA: "PROYECTO DE INSTALACIONES EXTERIORES" ✓  
(Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias)

EXPOSITOR: Ing. Rafael Corral Urquidez

DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES  
OFNA. DE INST. HIDRAULICAS

DISEÑO DE INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS EN  
AEROPUERTOS.

C O N T E N I D O

TEMA 1.- INTRODUCCION

1.1.- Objetivos de éstas notas.

TEMA 2.- LOCALIZACION DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO  
DE AGUA.

2.1.- Generalidades.

2.2.- Alternativas para Captación.

2.3.- Estudios Hidrológicos y Aforos.

2.4.- Selección de Alternativas.

TEMA 3.- SELECCION DEL EQUIPO DE BOMBEO A ALMACENA--  
MIENTO.

3.1.- Determinación de los parámetros de diseño.

3.1.1.- Obtención del Gasto de Diseño.

a).- Gasto en Edificios.

b).- Gasto para Riego a Jardines.

c).- Gasto para Hangares.

d).- Gasto para Incendio.

e).- Otros.

3.1.2.- Obtención de la Carga Total de Diseño.

a).- Análisis de pérdidas por fricción.

b).- Carga dinámica.

c).- Carga estática.

**TEMA 4.- DISEÑO DEL ALMACENAMIENTO**

4.1.- Criterios.

4.2.- Alternativas.

4.3.- Diseño.

4.3.1.- Volúmenes para servicios generales.

4.3.2.- Volúmenes para incendio.

**TEMA 5.- CALCULO Y SELECCION DE EQUIPOS PARA ALIMENTACION DE LOS NUCLEOS.**

5.1.- Diagramas de distribución. Red general de agua potable y riego.

5.2.- Cálculo de equipos.

5.3.- Selección y especificaciones.

5.4.- Controles.

**TEMA 6.- DISEÑO DE LAS REDES DE DRENAJE PARA AGUAS NEGRAS Y PLUVIALES.**

6.1.- Generalidades.

6.2.- Restricciones hidráulicas.

6.3.- Diseño por gasto y velocidad.

6.4.- Estructuras especiales.

**TEMA 7.- TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS.**

7.1.- Generalidades.

7.2.- Localización y Diseño.

TEMA 1.- INTRODUCCION

1.1.- Objetivos de éstas notas.

A través de las presentes notas se dá un resumen, de los criterios utilizados para el diseño de las instalaciones exteriores hidráulicas y de drenaje en el Aeropuerto, y que van ligados a las interiores de los núcleos. Por ello, sin pretender abarcar todos los aspectos de la teoría hidráulica, se consideran sin embargo los métodos de cálculo más comunes para éste tipo de problemas.

El objetivo principal es resolver la cuestión de suministro y uso del agua en el área terminal, así como la eliminación adecuada de los desechos. Para ello, nos apoyamos en las Normas y Recomendaciones más usuales en nuestro País, y autorizadas por Organismos tales como: Secretaría de Salubridad y Asistencia ( SSA ), Dirección General de Normas ( DGN ), National Fire Protection Association (NFPA) Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), American Society for Testing and Materials.(ASTM) y otras.

Con el fin de organizar el diseño, el problema planteado se puede dividir en varias etapas:

- a).- Solución del abastecimiento de agua, incluyendo captación, bombeo y conducción a un almacenamiento de



regularización.

- b).- Suministro y diseño de las instalaciones en todos los núcleos del área terminal.
- c).- Diseño de las instalaciones para drenaje.
- d).- Tratamiento de aguas.
- e).- Suministro y Selección de equipos.

TEMA 2.- LOCALIZACION DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE --  
AGUA.

2.1.- Generalidades

El disponer de agua en cantidad suficiente y calidad adecuada, para los usos del Aeropuerto, es el primer punto a tomar en cuenta para el diseño de las instalaciones hidráulicas.

Si partimos de la base de considerar la dotación de agua al Aeropuerto, como un sistema operado independientemente a otros sistemas similares como el turístico, industrial, urbano, etc., se puede decir que el abastecimiento en cuanto a cantidad, no representa mayores problemas dado que por el tipo de Aeropuerto usual en nuestro medio, las necesidades de agua son relativamente bajas, en el rango aproximado de 5 a 15 lts./seg.; sin embargo no podemos decir lo mismo de la calidad obtenida en la fuente, cuyos análisis físico-químicos y bacteriológicos con frecuencia están fuera de los

límites para calidad del agua, aceptadas por SSA.

## 2.2.- Alternativas para Captación.

De las muchas alternativas de abastecimiento que existen, en Aeropuertos normalmente las más utilizadas son tres:

- a).- Conexión a red urbana existente.
- b).- Captación en fuentes superficiales ó someras.
- c).- Captación en pozo profundo.

Las dos últimas requieren de estudios preliminares, para conocer ubicación, producción mínima, calidad, etc.; para lo cual es necesario efectuar estudios hidrológicos en la región, estudios de exploración geofísica, aforos y análisis de muestras en laboratorio.

## 2.3.- Estudios hidrológicos y aforos.

De los métodos de exploración geofísica para determinar la existencia de agua subterránea, los más utilizados son los eléctricos, y de ellos, el de resistividad es el más común. Consiste básicamente en aprovechar las propiedades eléctricas de las rocas ó minerales a través de la Ley de Ohm, para lo cual se insertan en el suelo cuatro electrodos con una distribución prefijada, a lo largo de un perfil; se introduce una corriente eléctrica al terreno por medio de dos de los electrodos, y la diferencia de potencial con la corriente que pasó por -

el subsuelo se mide en los otros dos electrodos.

La naturaleza y profundidad de las anomalías, pueden ser estimadas e interpretadas por el análisis de las curvas de resistividad contra separación de electrodos.

Este método nos determina la existencia de agua subterránea, así como su profundidad, pero no su calidad ni cantidad; para lo cual se requiere complementarlo con la perforación de un pozo piloto y poder realizar aforos adecuados de gasto, comparandolos con las necesidades a cumplir, y análisis físico-químicos del agua.

Los aforos es conveniente efectuarlos en época de estiajes, que es cuando se presentan las condiciones más críticas del cuerpo de agua en el estudio.

#### 2.4.- Selección de Alternativas.

Del análisis de alternativas se selecciona la más adecuada, tanto por economía como por facilidad de captación.

En general, en nuestro caso, nos conviene seguir el criterio de abastecer el Aeropuerto de una fuente autónoma a otros usos, por lo cual, el estudio de las alternativas b) y c), se restringe en primer término al área del Aeropuerto.

Si tomamos en cuenta además, que por un lado el Aeropuerto según el criterio actual, ya no se

localiza cerca ó dentro de una zona urbana, sino a suficiente distancia tal que, ni en un futuro lejano sea absorbido por el crecimiento urbano normal del área a que sirve, y por otro, que las características topográficas tan particulares que exige, hace poco probable la existencia de embalses ó corrientes superficiales adecuadas cercanas al punto de las necesidades.

De aquí resulta, por lo tanto, que un gran porcentaje de nuestros sistemas de aprovisionamiento de agua al mismo, sean del tipo pozo profundo.

### TEMA 3.- SELECCION DEL EQUIPO DE BOMBEO A ALMACENAMIENTO

#### 3.1.- Determinación de los Parámetros de Diseño

Conocida la fuente de abastecimiento, ubicación topográfica, capacidad y calidad de la misma, el siguiente punto a resolver es la conducción a un sistema de almacenamiento, constituido generalmente por una cisterna enterrada, que sirva de regularización de las demandas solicitadas por los servicios.

La manera más práctica y conveniente de efectuar dicha conducción, es mediante bombeo por tubería a presión, para lo cual es necesario determinar los parámetros básicos de Gasto y Carga total, y poder calcular el equipo de bombeo más adecuado que se requiere.

### 3.1.1.- Obtención del Gasto de Diseño

El gasto de diseño requerido, será calculado tomando en cuenta las necesidades del Aeropuerto en su primera etapa, para mantener el servicio continuo que demandan los diferentes núcleos por abastecer; así como también, la existencia de la cisterna principal, que sirve de regularizador de dichas demandas.

Estos núcleos, básicamente son los siguientes:

- a).- Edificios, que comprende: Edificio Terminal, Torre de Control, Casa de Máquinas, Compañías Aereas Bodegas, etc.
- b).- Zona de Hangares.
- c).- Riego a Jardines
- d).- Núcleos Contra Incendio.
- e).- Otros Núcleos, comprendería a aquellos para Instalaciones Especiales, tales como: Frigoríficos. Sanidad Animal, Cocina del Aire, etc.

El conocimiento de los gastos pico ó gastos máximos en cada uno de los núcleos anteriores nos define el primer parámetro de bombeo, de la siguiente manera:

Si llamamos:

$$Q_m = Q_{1,2 \dots n} = \text{Gasto pico } \delta \text{ m\u00e1ximo instan-} \\ \text{t\u00e1neo en el n\u00facleo } 1,2 \dots n$$

$$Q_{mm} = \sum_{1}^n \left[ Q_m \right] = \text{Gasto M\u00e1ximo Total}$$

entonces, normalmente consideramos:

$$\text{Gasto de Dise\u00f1o} = Q_{\text{dise\u00f1o}} = Q_{\text{medio}}$$

$$Q_{\text{dise\u00f1o}} = \frac{Q_{mm}}{2} \dots (1)$$

Con el fin de aclarar un poco estos conceptos, veamos a continuaci\u00f3n c\u00f3mo determinamos cada uno de los gastos parciales  $Q_m$ .

a).- Gasto en Edificios

Para el dise\u00f1o en cada uno de \u00e9stos n\u00facleos, es necesario tomar en cuenta algunas otras consideraciones que nos permitan una soluci\u00f3n flexible y eficiente.

En principio hay que pensar en la mayor independencia posible de cada uno de los n\u00facleos, con respecto a los dem\u00e1s; es decir, que las fallas en uno, no repercutan tambi\u00e9n en otros, como en el caso que al efectuar reparaciones \u00f3 labor de mantenimiento en el suministro de agua a la Torre de Control, no implique suspender mientras tanto el servicio en el Edificio Terminal \u00f3 el de Hangares.

Esto se puede lograr aplicando un valvuleo adecuado, en la red alimentadora.

Para el cálculo del gasto máximo instantáneo de agua en los edificios del Aeropuerto, se sigue el método desarrollado por el Dr. Roy B. Hunter con fundamento en la teoría de las probabilidades.

Este método es aplicable en la mayoría de los sistemas donde existen grupos numerosos de muebles sanitarios, como en los edificios de apartamentos, hoteles, oficinas, escuelas, hospitales, etc. y ha demostrado en la práctica, dar resultados eficientes y económicos; por lo que es aceptado por un gran número de instituciones en nuestro país, como la Secretaría de Salubridad y Asistencia y el Instituto Mexicano del Seguro Social.

El método consiste básicamente en asignar a cada tipo de mueble un correspondiente valor en unidades de gasto ó unidades mueble, que es función del diseño propio del mismo, de acuerdo a la presión mínima en la entrada y gasto, necesarios para su operación adecuada.

La relación que guardan entre sí los parámetros gasto-unidad mueble, está graficada en una curva G-U.M. Esta curva es probabilística y como se observa, con una tendencia asintónica para valores mayores de unidades mueble.

Para conocer el gasto máximo probable de un --

grupo de muebles, se suman las unidades mueble correspondientes a cada uno de ellos, según la tabla anexa; y con ese valor se entra a la gráfica Q-U.M. para obtener dicho gasto.

Al amplificar la curva para usarla entre 10 y 500 unidades aproximadamente, se diferencian dos ramas: una para cuando predominan los muebles que funcionan con fluxómetro y la otra, si se tienen muebles de llave ordinaria. Cuando se tiene un grupo mixto de muebles, usualmente se interpola entre las dos ramas a otra proporcional al número de unidades mueble de cada tipo.

Veamos por ejemplo que, para 100 U.M., se tiene un gasto máximo probable de alimentación, de 4.3 litros por segundo si son muebles de fluxómetro, y de 2.7 lt/seg. si son de llave; mientras que para ese mismo número de U.M. si guardan la relación de 75 y 25, el gasto correspondiente será de 3.9 litros por segundo.

En el caso de la dotación que requieren los edificios, hay que tomar en cuenta también, para la aplicación del método de Hunter, que por lo general no se presenta el caso de que todos los muebles sanitarios están agrupados en un solo núcleo, sino que formando varios subnúcleos distribuidos adecuadamente desde un punto de vista arquitectónico. El método entonces, se aplica primero a cada uno de los --



subnúcleos y después reiteradamente hasta abarcar--  
los todos.

Se incurre en error al considerar que el gasto en tres subnúcleos A, B y C ligados entre sí, equivale a la suma de los gastos en cada uno de ellos; ya que por el contrario, será el que se obtenga en la curva, de acuerdo a la suma total de las unidades mueble de ( A + B + C ). De éste modo, el gasto requerido en un edificio, será calculado a partir - del subnúcleo más alejado, hacia la toma del edificio conectada con la red exterior.

Se anexan tablas de equivalencias en U.M. de - los muebles más comunes, así como las curvas Q-U.M. mencionadas.

b).- Gasto para riego a jardines.

La determinación de éste gasto, es función del sistema de riego que se vaya a utilizar y de la ope  
ración del mismo.

En nuestro caso empleamos los siguientes:

- 1.- Con mangueras
- 2.- Con aspersores rotatorios.
- 3.- Sistema mixto ó combinado.

Para calcular el gasto requerido, una vez deter<sup>u</sup>  
minadas las características de operación del asper--  
sor, es conveniente dividir en zonas de riego y agru  
par el trabajo simultáneo de varios aspersores en --  
una de estas zonas.

Con esto se tiene que:

Gasto de riego = gasto de aspersor x número de aspersores simultáneos; ó sea :

$$Q_{\text{riego}} = n. q$$

c).- Gasto para Hangares

Estimar el gasto que se requiere para estos es un poco más complicado que en los otros anteriores, ya que las instalaciones en cada uno de ellos, dependen más que nada del sujeto que lo alquila ó compra. Si se conocen de antemano, se podrá calcular el gasto máximo correspondiente; pero si no es así, se tienen que suponer. En éste último caso tomamos en consideración como si cada hangar tuviera una dotación instantánea equivalente entre 6 a 9 unidades mueble; por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Gasto de hangares} &\Rightarrow \text{Unidades} \times \text{número de hangares} \\ Q &\Rightarrow \text{U.M.} \times h \quad \text{donde } 6 < \text{U.M.} < 9 \end{aligned}$$

Por otro lado, la dotación que se debe cumplir por requerimientos del organismo Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), encargado de la operación de los aeropuertos en territorio nacional, es a razón de 1000 lts/hangar en un día ( 1.0 m<sup>3</sup> ), tomándose se como base para almacenamiento.

d).- Gasto contra incendio.

Esta dotación está fijada por la NFC, en el ca-

pítulo de protecciones contra incendios en gasolin--  
nas, en el cual se sugiere una dotación de 500 galo  
nes por minuto ( 31.5 lts/seg. ) para un siniestro  
de tres horas.

En nuestro caso, como se verá más adelante, al  
tener un almacenamiento primario de regularización  
que lo constituye la cisterna general y otro almace  
namiento secundario en zona de combustibles; así co  
mo por el tamaño mismo de la zona, la dotación se -  
suministra en etapas del modo siguiente:

1a. Etapa.

El almacenamiento secundario en la zona de com  
bustibles tiene un volúmen de 40,000 lts., con capa  
cidad de extracción por bombeo de 150 gal/min. ----  
( 9.5 lts/seg. ).

$Q_E$  = Gasto de extracción.

2a. Etapa.

Del almacenamiento primario se reabastece la -  
extracción anterior a razón del 80% de la capacidad  
de extracción; es decir:

Gasto de reabastecimiento = 0.8 x gasto de extrac--  
ción.

$$Q_R = 0.8 Q_E$$

$$Q_R = 0.8 \times 9.5 = 7.6 \text{ lts/seg.}$$

Por lo tanto:

$Q_R$  = gasto de diseño para combustibles

$$Q_{\text{diseño}} = Q_R = 7.6 \text{ lts/seg.}$$

Por otro lado, se tiene también un almacena--  
miento secundario para el Cuerpo de Rescate y Extin--  
ción de Incendios, ( CREI ), el cual, además de au--  
xiliar la zona de combustibles en caso de un sinies--  
tro, protege principalmente el resto de núcleos.

Este cuerpo dispone de un tanque con capacidad  
de 10,000 lts. y opera normalmente con motobombas,  
carros cisterna ó pipas, que se abastecen de dicho  
tanque; de tal modo que, considerando ciertos facto--  
res como el número y capacidad de éstas unidades, -  
tiempo de recorrido, etc. es suficiente con asignar  
un tiempo de 30 minutos, para llenar el tanque; por  
lo tanto, se tiene que:

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{10,000 \text{ lts.}}{30 \text{ min.} \times 60 \text{ seg/min.}} = 5.55 \text{ l/seg.}$$

$$Q_{\text{CREI}} = 5.6 \text{ lts/seg.}$$

De éste modo se calculan los gastos principa--  
les en los núcleos por alimentar. Como se dijo an--  
tes, otros tipos especiales de núcleos distintos a  
los analizados anteriormente serán objeto de un es--  
tudio particular en cada caso, hasta tener defini--  
das todas las dotaciones que se requieran en el Aero

puerto.

### 3.1.2.- Obtención de la carga total de diseño.

La carga total de diseño del equipo de bombeo, estará dada en función de las pérdidas que se originan por la fricción en la conducción tanto en la tubería como en piezas especiales, la presión necesaria en la descarga, así como por la carga estática y dinámica resultante de la posición topográfica de la fuente de abastecimiento con respecto a la --  
descarga.

En términos algebraicos, la carga total queda expresada por la ecuación:

$$H_{\text{diseño}} = H_C + H_D + H_E + H_d + H_f \dots (2)$$

en donde:

$H_{\text{diseño}}$  = Carga total de diseño, en metros de columna de agua ( M.C.A. )

$H_C$  = Pérdida de presión en la columna de succión y la bomba, en M.C.A..

$H_D$  = Carga dinámica ó carga de succión, -  
equivalente a la profundidad de la -  
columna de succión, en metros.

$H_E$  = Carga estática ó altura de descarga,  
equivalente al desnivel entre la bom  
ba y el punto de descarga, en metros.

$H_d$  = Presión final en el punto de descarga, en M.C.A.

$H_f$  = Pérdidas de carga por fricción en la conducción, incluyendo tuberías y conexiones, en M.C.A.

a).- Análisis de pérdidas por fricción.

Para el cálculo de las pérdidas por fricción, tanto en la conducción como en piezas especiales -- ( válvulas, codos, reducciones, etc. ) podemos aplicar directamente las ecuaciones de la hidráulica, ó aprovechar la disponibilidad de gran número de tablas y monogramas, basadas en estas ecuaciones.

Los métodos consideran la pérdida de carga en función como sabemos de la velocidad media de conducción y un coeficiente  $f$ , que depende de la rugosidad de la tubería.

En general, las pérdidas por fricción vienen dadas por la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$H_f = f \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

donde:

$H_f$  = es la pérdida de carga debida a la fricción, en metros.

$f$  = coeficiente de pérdidas por fricción.

$v$  = velocidad media de flujo en m/seg.

$g$  = aceleración de la gravedad en m/seg.<sup>2</sup>

$l$  = longitud de la tubería en mts.

$d$  = diámetro interior de la tubería en mts.

Si aplicamos por ejemplo, la fórmula de ----- Hazen-Williams para conductos circulares, podemos obtener según el caso y los datos disponibles, el - gasto, diámetro nominal, coeficiente de capacidad - hidráulica del conducto y pérdida de carga.

La fórmula a emplear en el sistema inglés es - la siguiente:

$$Q = 405 C d^{2.63} S^{0.54}$$

En la cual :

Q = gasto en gal/día.

C = coeficiente de capacidad hidráulica del con ducto.

d = diámetro del conducto, en pulgadas.

S = pendiente hidráulica.

En el sistema métrico la fórmula queda :

$$Q = 35.83 \times 10^{-7} C d^{2.63} S^{0.54}$$

En donde:

Q = gasto en lts/seg.

d = diámetro del conducto en milímetros

La siguiente tabla, nos proporciona los valores de "C" en las ecuaciones mencionadas anteriormente:

VALORES DEL COEFICIENTE " C " PARA APLICARSE EN LA FORMULA DE HAZEN-WILLIAMS

<u>MATERIAL</u>	<u>CONDICION</u>	<u>C</u>
Fierro fundido	Nuevo	130
	5 años de edad	120
	10 años de edad, etc.	110
Acero revestido, juntas soldadas	Nuevo	140
	Edad incierta	100
Acero revestido, juntas remachadas	Nuevo	110
	Edad incierta	90
Concreto	Nuevo	110
	Edad incierta	90
Asbesto cemento	Nuevo	140
	Edad incierta	130
Plástico PVC	Nuevo	150
Vitrificado	Promedio	110
Cobre ( Tipo M, L, K, )	Nuevo	(135, 140, 145)

Los gastos en tuberías a presión se deberán establecer de manera que las velocidades mínimas sean de 0.4 m/seg. aproximadamente, y las máximas de --- 5.50 m/seg. Generalmente diseñamos con velocidades promedio entre 1.5 y 3.0 m/seg.

En los apéndices se anexan algunas tablas para el cálculo de la pérdida de carga por fricción, aplicando la fórmula de Hazen-Williams anterior.



b).- Carga dinámica

Viene siendo la carga total de succión, expresada en metros de columna de agua; equivale a la distancia vertical del nivel de bombeo al eje de descarga de la bomba, sumando las pérdidas por fricción originadas en la columna de succión y el interior de la bomba ( $H_C$ ), las cuales en algunos casos son importantes y hay que considerarlas en el cálculo; aunque en ocasiones, si la columna es corta, se desprecian.

c).- Carga estática

Es la diferencia de nivel entre la altura máxima de descarga y la altura del eje de descarga de la bomba; por lo tanto, puede ser positiva, negativa ó nula, de acuerdo a la posición.

A la suma de la carga estática ( $H_E$ ), más la presión de descarga ( $H_d$ ) y las pérdidas por fricción en la conducción ( $H_f$ ), se le llama también Carga Dinámica Total en la Descarga.

Del mismo modo, a la carga total de diseño según la ecuación ( 2 ), se le llama frecuentemente Carga Dinámica Total.

De ésta manera, con la solución de las ecuaciones ( 1 ) y ( 2 ) que nos definen el gasto y la carga, tenemos resuelto el problema de la valuación

de los parámetros básicos de diseño, para cualquier tipo de conducción de agua, que requiera bombeo.

La selección del tipo de bomba será entonces, de acuerdo a cada caso en particular; recurriendo para ello a la información proporcionada por los fabricantes de éstos equipos, de los cuales se procurará escoger el más adecuado a nuestras necesidades.

#### TEMA 4.- DISEÑO DEL ALMACENAMIENTO

##### 4.1.- Criterios

El poder disponer de un adecuado volumen de almacenamiento, es de importancia fundamental en cualquier diseño hidráulico donde se requiera bombeo.

Por un lado se tiene la necesidad de establecer un régimen de demandas, el cual hay que cubrir en cualquier momento que se requiera. Este régimen tiene en nuestro caso rangos críticos dados por una parte, por las solicitudes demandadas en el edificio terminal en el momento de máximo congestionamiento de pasajeros; y por otra, las demandas en caso de incendio.

De igual modo, al contar con ese equipo hay que tomar en cuenta que está expuesto a fallas tanto -- eléctricas como mecánicas y que requiere por lo mismo, tiempo de reparación y además tiempo de mantenimiento.

Por estas consideraciones es fácil observar -- que es preciso contar en nuestro aeropuerto, con un volúmen de almacenamiento tal, que nos sirva tanto de regularización, como de aportación durante los períodos " muertos " del bombeo en la fuente de abas tecimiento.

Este volúmen enningún caso será menor que el re querido para un lapso de servicios de 24 horas. Normalmente nosotros diseñamos para un período equivalente a dos ó tres veces el almacenamiento diario.

#### 4.2.- Alternativas.

Al hablar de almacenamientos, vamos a distin-- guir de una vez dos tipos: uno que llamaremos gene-- ral ó primario, el cual se alimenta directamente de la fuente primaria de abastecimiento y otros, que -- llamaremos locales ó secundarios, los cuales se ali-- mentan del almacenamiento primario. Nos estamos re-- firiendo al primario.

Como alternativas de almacenamiento, práctica-- mentese reduce al uso de tanque ó cisterna enterra-- da, porque podemos hacerlo de capacidad ilimitada y nos representa menos problemas de estabilidad que -- un tanque elevado; además que, y ésta es razón muy importante, se evita crear una zona de obstáculo, -- que como sabemos, en Aeropuertos deben ser restrin--

gidos al máximo.

De ahí, que el sistema más práctico de almacena  
miento, es en nuestro caso el de cisterna ó tanque -  
enterrado, simple ó múltiple.

La cisterna enterrada normalmente es un depósi-  
to rectangular de concreto armado; por su tamaño es  
construída en el lugar e impermeabilizada interior--  
mente con recubrimientos plásticos.

Puede ser con un solo compartimiento en cuyo ca  
so le llamamos simple; ó varias interconectadas entre  
sí, en cuyo caso le denominaremos cisterna múltiple.

Nosotros preferimos el uso de una cisterna ente  
rrada múltiple, con compartimientos para: servicios  
generales, contra incendio en zona de combustibles y  
contra incendio para uso del cuerpo de bomberos.

#### 4.3.- Diseño

##### 4.3.1.- Volúmenes para servicios generales.

El compartimiento de servicios generales com--  
prende:

- a).- Almacenamiento para edificio terminal.
- b).- Almacenamiento para riego.
- c).- Almacenamiento para hangares.
- d).- Almacenamiento en edificios menores ( torre  
de control. Cías. Aéreas, casa de máquinas)

De estos, los más importantes son los tres pri-

meros y de hecho al último no lo consideramos, sino como incluido en el cálculo de los otros.

Veamos pues de qué modo calculamos cada uno de ellos.

a).- Almacenamiento para edificio terminal.

Para estimar éste, tomamos en cuenta el número de pasajeros totales en el año de proyecto; dato -- que nos es proporcionado por el Departamento Técnico, en base de las proyecciones futuras del movimiento de pasajeros, que elaboran para cada uno de los aeropuertos.

Este número N dividido entre 365 nos da aproximadamente el número de pasajeros diarios, al cual se le da una dotación D de 100 lts/pasajero/día. ( Para servicios públicos de este tipo, se acostumbra fijar una dotación entre 100 y 200 lts/persona/día ).

Se tiene entonces que:

$V_1 = \text{Número de pasajeros/día} \times \text{Dotación} \times \text{Tiempo de almacenamiento}$

$$V_1 = \frac{N}{365} \times D \times T = \frac{100}{365} N \times T$$

b).- Almacenamiento para riego.

Este volúmen es función del número de riegos -- que se darán diariamente en las zonas verdes del aeropuerto, el número de aspersores y gasto de cada --

uno, tiempo de riego y tiempo de almacenamiento; pudiendo escribir la relación:

$$V_2 = \text{Gasto de aspersor} \times \text{Número de Aspersores} \\ \times \text{Número de Riegos/día} \times \text{Tiempo de riego} \\ \times \text{Tiempo de almacenamiento.}$$

$$V_2 = Q_{\text{asp.}} \times N_{\text{asp.}} \times N_{\text{riego}} / \text{día} \times t \times T$$

De estos factores, como se observa, lo que hay que analizar con mayor cuidado es el tiempo y número de riegos que se van aplicar; los cuales dependen mucho de las condiciones climatológicas del lugar de cada aeropuerto, así como del tipo de suelo. En lugares cálidos se acostumbran dos riegos diarios, uno en la mañana y otro por la tarde, mientras que en zonas húmedas ó templadas, con un solo riego es suficiente. La duración de cada uno de ellos normalmente entre 30 y 45 minutos.

a).- Almacenamiento para hangares

Está dada en función del número de hangares de proyecto y la dotación que establece ASA, que como vimos es de  $1\text{m}^3/\text{hangar}/\text{día}$  ( inic. 3.1.1c ).

Sin embargo, para fines de almacenamiento y considerando que la dotación que nos piden es bastante grande, con crecimiento paulatino de la población de hangares, normalmente damos el 70% de esa dotación; sobre todo cuando calculemos para 3 días.

Entonces, de acuerdo con esto:

$$V_3 = 0.70 \times \text{Dotación por hangar} \times \text{Número de hangares} \times \text{Tiempo de almacenamiento.}$$

$$V_3 = 0.70 \times 1.00 \times N \times T$$

4.3.2.- Volúmenes para incendio:

Los volúmenes contra incendio que forman los otros compartimientos, se dan en función de los almacenamientos secundarios disponibles para tal fin, en ciertas zonas del aeropuerto.

Así tenemos que en zona de combustibles, normalmente se diseña un tanque de agua con capacidad de 40,000 lts., el cual surte a un sistema de hidrantes adecuadamente colocados. El compartimiento equivalente a este uso en la cisterna principal, lo diseñamos entonces para esta misma capacidad; es decir, se considera en la cisterna un volumen de almacenamiento igual a una vez el volumen en la zona de combustibles, por lo tanto:

$$V_4 = \text{Vol. tanque en zona de combustibles} = 40,000 \text{ lts.}$$

Por otro lado, para el cuerpo de rescate y extinción de incendios ( CREI ), se diseña un almacenamiento secundario de 10,000 lts., el cual surte a través de una garza de llenado, a pipas ó auto-tan-

ques de 5,000 lts. cada uno.

En la cisterna principal se considera un compartimiento equivalente a 3 veces la capacidad de dicho tanque; es decir:

$$V_5 = 3 \text{ Vol. tanque del cuerpo de rescate} = \text{---}$$
$$3 \times 10,000 \text{ lts.}$$

$$V_5 = 30,000 \text{ lts.}$$

Finalmente se tiene que el volúmen total de almacenamiento será la suma de todos los parciales.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$$

- De éste modo, una vez conocidos todos los almacenamientos necesarios, para concluir el diseño de la cisterna debemos dimensionarla adecuadamente y ubicarla en la mejor zona del área terminal; así como efectuar el cálculo estructural correspondiente.

## TEMA 5.- CALCULO Y SELECCION DE EQUIPOS PARA ALIMENTACION DE LOS NUCLEOS.

### 5.1.- Diagramas de Distribución.- Red General de Agua Potable y Riego.

La red de alimentaciones de agua potable y riego deberá cumplir con la restricción que ninguna línea de conducción cuyo fin sea abastecer a núcleos ó



sistemas para extinción de incendios, tenga derivaciones hacia otros usos distintos al señalado. Esto nos obliga a que las líneas contra incendio sean separadas de los demás servicios. Se debe procurar -- asimismo, que la red sea lo más directa posible con el fin de evitar excesivas pérdidas de carga.

Se traza pues la red alimentadora más conveniente, y se calcula siguiendo estos lineamientos y los principios explicados detalladamente en el tema 3; - los cuales son fundamentales para la determinación - del gasto y la carga, requeridos por cada uno de los núcleos del sistema.

El proceso del cálculo de diámetros, se establece aplicando también la ecuación de continuidad,

$$Q = V \times A,$$

según la gráfica anexa en los apéndices; para ir revisando al mismo tiempo, que las velocidades -- reales estén dentro de los valores permisibles de -- acuerdo a los diámetros comerciales utilizados y que a su vez, no ocasionen pérdidas de carga superiores al 10%.

En la revisión de velocidades y tomando en cuenta los factores que la afectan, se acepta que el diseño definitivo admita velocidades en el rango de 1.5 a 3.0 m/seg.; consideración que es válida para instalaciones en edificios, pero que en otro tipo de dise

ños puede ser diferente.

### 5.2.- Cálculo de Equipos.

A menos que se trate de un sistema de alimentación por gravedad, se requiere forzosamente el empleo de un equipo de bombeo, que suministre la potencia necesaria para dar el gasto y la carga requeridos por el mismo.

En estas condiciones, para una línea de conducción cualquiera, la potencia necesaria que hay que suministrarle viene dada por la ecuación:

$$H P = \frac{G_e \cdot Q \cdot H}{K \cdot e}$$

Donde:  $G_e$  = gravedad específica del fluido.

$G_e$  = 1.0 para el agua a 40° C. ( 39.20° F )

$Q$  = Gasto

$H$  = Carga Total

$e$  = Eficiencia de la bomba

$K$  = Constante

$K$  = 76 en el sistema decimal = 3960 en el sistema inglés.

HP = Potencia Necesaria en Horsepower

### 5.3.- Selección y Especificaciones.

Para garantizar el suministro de la potencia teórica calculada, es muy conveniente que antes de

seleccionar una bomba que comercialmente se ajuste a los requerimientos de la conducción, tomemos en cuenta que la eficiencia de la bomba es un factor que tiende a disminuir con el tiempo, según las condiciones de operación y mantenimiento a que está sujeta.

Una manera de reducir este efecto es aumentar adecuadamente el valor calculado de la potencia teórica y que, de acuerdo a los fabricantes es recomendable que sea del orden de un 25%.

Finalmente, del equipo seleccionado se proporcionarán las especificaciones correspondientes tales como modelo, tipo, capacidad y características de operación, señalando la presión máxima de trabajo, para que las tuberías y válvulas que se requieran sean a su vez capaces de soportar dicha presión sin sufrir daño. De ser posible se acompaña también el manual de Operación y Mantenimiento correspondiente.

#### 5.4.- Controles.

El equipo de control para la bomba ó sistema de bombas es de suma importancia que se seleccione adecuadamente, para el buen funcionamiento de las mismas. Se debe ajustar de tal modo que todas las bombas trabajen lo mismo, para evitar mayor desgaste de unas; es decir, implicará no solo un sistema

de arranque y paro; sino también uno que las haga -  
trabajar alternada y/o simultáneamente.

Debe parar y arrancar los motores de las bom-  
bas según las demandas ó rangos establecidos de an-  
temano.

Preferentemente todas estas operaciones, debe-  
rán ser controladas de manera automática, en los pa-  
rámetros: gasto - presión - tiempos.

Hasta éste punto, dejaremos tratados lo corres-  
pondiente a los conceptos básicos para sistemas de  
agua potable; sin pasar al terreno de tratamiento -  
de aguas para éste fin.

SEGUNDA PARTE

TEMA 6 DISEÑO DE LAS REDES DE DRENAJE PARA AGUAS NEGRAS Y PLUVIALES.

6.1.- Generalidades.

En éste tema se dan los criterios de cálculo, para el diseño de las instalaciones sanitarias y pluviales requeridas en el aeropuerto y que corresponden a las descargas provenientes de los mismos núcleos, cuya dotación de agua fué el objeto de los temas anteriores; a excepción de los de riego y contra incendio en zona de combustibles, cuyos desechos no los recuperamos.

Los drenajes pluviales correspondientes a pistas, plataformas, rodajes y estacionamientos, tampoco los consideramos, pues su manejo está definido en función del proyecto de pavimentos.

En términos sencillos, el problema consiste en recoger de cada uno de los núcleos donde se originan, las aportaciones de aguas negras y pluviales para su eliminación adecuada; de modo que ocasionen el mínimo de inconvenientes en el área terminal del aeropuerto. Para todo este manejo, utilizamos preferentemente tuberías trabajando por gravedad.

6.2.- Restricciones hidráulicas.

En todo problema de drenaje se tienen dos pa-

rámetros básicos que hay que mantener controlados: la velocidad del flujo y el tirante hidráulico en la sección del tubo, para que trabaje como canal.

Para la velocidad se ha estimado experimentalmente, que debe mantenerse dentro de un cierto rango; cuyo límite inferior será aquel que permita el flujo, sin ocasionar azolvamiento en el fondo de la conducción, y cuyo límite superior será tal, -- que impida el desgaste por erosión excesiva.

Este rango dado en función de la sección llena, queda establecido como sigue:

para drenaje sanitario:  $0.6 \leq v \leq 2.5$  m/seg.

para drenaje pluvial:  $0.8 \leq v \leq 2.0$  m/seg.

En cuanto al tirante hidráulico, se tiene que los alcantarillados nunca se diseñan para trabajar a presión; es decir totalmente llenos. Los alcantarillados se diseñan para trabajar por gravedad, -- con secciones de conducción parcialmente llenas, ó sea como canal.

El tirante máximo que la práctica recomienda es el equivalente al 80% de la sección de conducción, y tratándose de tuberías circulares, el 80% del diámetro; es decir:

tirante máximo =  $0.8 \varnothing$

### 6.3.- Diseño por gasto y velocidad.

En virtud del " Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas ", vigente en nuestro país, estamos obligados a mantener las descargas de aguas residuales, por debajo de los valores máximos tolerables para cinco parámetros básicos de control, denominados: sólidos sedimentables, grasas y aceites, material flotante, temperatura y potencial de hidrógeno ( PH ).

Esto nos lleva a la necesidad de diseñar un Sistema de Drenaje Separado, donde las descargas pluviales y las descargas sanitarias, no se mezclen entre si; con el fin de aplicar a estas últimas, algún tipo de tratamiento primario.

El proceso de cálculo para cada una de las redes colectoras, es muy parecido en ambos casos; solo difieren en la manera de estimar el gasto de aportación y en el rango de velocidades permisibles.

Para calcular los gastos de aportación de aguas negras provenientes de los edificios y de hangares, se puede aplicar el mismo método de Hunter, como se vió antes; pero ahora las equivalencias en U.M. de los muebles sanitarios, son las correspondientes para drenaje. La tabla se anexa en



los apéndices.

El gasto pluvial se origina en las aportaciones pluviales provenientes de las azoteas de los edificios. Para calcularlo, aplicamos el llamado Método Racional, recomendado por la F.A.A. para cuencas ó áreas pequeñas, y que en aeropuertos da resultados aceptables.

Este método nos da el gasto máximo de escurrimiento de una cierta área, en función de la precipitación  $i$  y de un coeficiente  $C$  llamado de escurrimiento, de la siguiente manera:

$$Q = 0.278 \quad C \quad i \quad A$$

donde:

$Q$  = Gasto en m<sup>3</sup>/seg.

$A$  = Area drenada en Km<sup>2</sup>.

$i$  = Precipitación media anual en mm/hora.

$C$  = Coeficiente de escurrimiento.

0.278 = Coeficiente de unidades para tener m<sup>3</sup>/seg.

Los valores del coeficiente  $C$  para distintas superficies, varían como sigue:

<u>Tipo de Superficie</u>	<u>Factor C</u>
Pavimentos y superficies asfálticas.	0.80 - 0.95
Pavimentos y superficies de concreto	0.70 - 0.90
Suelos impermeables duros.	0.40 - 0.65
Suelos impermeables con césped.	0.30 - 0.55
Suelo ligeramente permeable	0.10 - 0.40

Una vez calculados todos los gastos, se puede efectuar el trazo de las redes colectoras correspondientes, para poder calcular diámetros, de tal modo que las velocidades y tirantes estén dentro de los rangos establecidos.

Para ello se utiliza la fórmula de Chezy, combinada con la Kutter simplificada, cuyas expresiones son:

$$v = C \sqrt{rs} \quad \text{Chezy}$$

$$C = \frac{100 \sqrt{r}}{b + \sqrt{r}} \quad \text{Kutter}$$

donde:

$v$  = velocidad en m/seg.

$r = \frac{d}{4}$  = radio hidráulico en metros

$s$  = pendiente hidráulica (  $K_v$  )<sup>2</sup>

$C$  = coeficiente de rugosidad

$b = 0.35$  rugosidad para alcantarillados

$$K = \frac{1}{C \sqrt{r}}$$

Estos valores los tenemos tabulados para tubo lleno, en los anexos; donde se pueden ir verificando las condiciones hidráulicas guardadas entre sí - por los parámetros: diámetro, pendiente, gasto y velocidad.

A este respecto es importante señalar que los diámetros mínimos para subcolectores son de 150 mm. ( 6" ) y para colectores de 200 mm. ( 8" ). Las -- pendientes deberán ser tales que no impliquen excavaciones muy profundas, y de preferencia siguiendo la pendiente natural del terreno.

Para conocer las condiciones de velocidad y - tirante reales en cualquier sección, se utiliza el nomograma basado en la fórmula de Manning; en el - cual, se entra con el valor de la relación del gasto real al gasto a tubo lleno, de acuerdo a la ta- bla correspondiente:

$$RQ = \frac{Q \text{ real}}{Q \text{ lleno}}$$

para obtener los factores de corrección  $F(v)$  y  $F(h)$  de la condición real en cada caso:

$$\text{velocidad real } V_r = F(v) \times V \text{ lleno}$$

$$\text{tirante real } h = F(h) \times \emptyset$$

#### 6.4.- Estructuras especiales.

En todo diseño de alcantarillado debemos tomar en cuenta la posibilidad de taponaduras en la red, y que por lo tanto se necesita continua labor de mantenimiento.

Para llevar a cabo éste trabajo, es por lo que se utilizan cierto tipo de estructuras, que facilitan las labores de limpieza y mantenimiento y además previenen la eventualidad de que se produzcan los indeseables taponamientos.

Estas estructuras son llamadas según su forma y profundidad, como: registros, pozos de visita, pozos de caída y lumbreras; y los lugares más adecuados para su colocación, por ser puntos críticos en la red, son en los cambios de dirección, de pendiente, de diámetro ó de sección; en los cruceros de dos ó más líneas, en bifurcaciones y cambios bruscos de profundidad de plantilla, así como intermedios entre tramos excesivamente largos ( mayores de 60 metros ).

Se construyen generalmente en tabique, mampostería, ó concreto armado; ó una combinación de estos materiales que en ciertos casos puede ser más económica.

Los registros son cajas cuadradas ó rectangulares, con tapa hermética o no, y se utilizan cuando la profundidad de la plantilla del colector no es todavía muy grande; generalmente hasta 1.50 mts.

Los pozos de visita se utilizan para profundidades mayores de 1.50 mts. y hasta 5 ó 6 mts. Deben permitir alojar por lo menos a una persona trabajando y son por lo regular cónicos en la parte superior y cilíndricos en la inferior.

Para profundidades mayores se construyen lumbres, que son cilíndricas ó rectangulares y en la parte inferior deben permitir trabajar por lo menos a dos personas.

Los pozos de caída se utilizan cuando hay la necesidad de cambiar la plantilla de un colector, de una manera drástica y notable. Su forma es similar a la de un pozo de visita.

TEMA 7.- TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS.

7.1.- Generalidades.

Como se ha mencionado ya, para cumplir con las restricciones fijadas en el Reglamento correspondiente a contaminación de aguas, es necesario tomar ciertas medidas de control, para evitar la presencia de descargas que pongan en peligro la salud pública.

Una manera sencilla y económica de lograr lo anterior en efluentes no recuperables, es con el uso de los dispositivos conocidos como fosas sépticas.

La fosa séptica es un sistema de tratamiento primario para las aguas negras, cuyo fin es sedimentar la materia en suspensión y provocar la descomposición y degradación de la materia orgánica por la acción de microorganismos conocidos como bacterias anaerobias; lográndose esto en un depósito ó tanque hermético llamado tanque séptico.

Al desalojar por un efluente el producto resultante, este se oxida de nuevo por la acción aeróbica, mineralizandolo a través de la presencia del oxígeno del aire, obteniendose agua en gran parte inofensiva.

## 7.2.- Localización y Diseño.

El sitio para la ubicación del sistema de tratamiento de agua, está afectado en nuestros aeropuertos, principalmente por dos factores:

El primero de ellos está relacionado íntimamente con el tipo de captación de agua para servicios, que como hemos visto generalmente es de origen subterráneo. Esto nos obliga a tener conocimiento de la dirección aproximada del flujo del agua subterránea, con el fin de evitar que las descargas últimas contaminen la fuente de aprovisionamiento; lográndose en parte lo anterior, si el lugar para colocar las fosas sépticas está lo suficientemente alejado del pozo y en un punto aguas abajo a esa dirección del flujo.

El segundo factor a tomar en cuenta es el de distancias-pendientes; pues si consideramos que en aeropuertos los espacios son muy amplios y la topografía muy plana, se corre el riesgo de profundizar mucho los colectores, y en consecuencia las fosas.

Esto nos lleva en ocasiones a resolver el sistema de conducción y tratamiento en dos ramales distintos e incluso opuestos.

Para el diseño de la capacidad del sistema, el criterio de cálculo utilizado, es en base al número

de pasajeros totales para el fin de la primera etapa; dato proporcionado en los estudios de proyección elaborados por el Departamento Técnico.

El parámetro de diseño es el siguiente:

$$\text{Capacidad de Fosas} = \frac{\text{Número de pasajeros anuales}^*}{365 \times 3}$$

\* en el año de proyecto.

$$C = \frac{N}{365 \times 3} \quad \text{en personas/día.}$$

El motivo de dividir entre tres en la ecuación anterior, es porque se considera que para un uso público, como es el caso, una fosa séptica de X capacidad, es capaz de servir a una población de 3 veces - su capacidad de diseño.

Por último, la disposición final de las aguas ya tratadas, se efectúa en pozos de absorción cuya finalidad es permitir su infiltración a las capas inferiores del terreno. En algunas ocasiones, si es posible, la descarga se llevará a cabo en depresiones naturales del terreno ó en canalizaciones ya existentes.



A P E N D I C E S

TABLA I

**NORMAS MEXICANAS DE CALIDAD  
PARA AGUA POTABLE \***

"Se considera agua potable a toda aquella cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud, para lo cual deberá llenar los requisitos siguientes:

**I. Caracteres Físicos:**

De preferencia, la turbiedad del agua no excederá del número 10 (diez) de la escala de sílice, y su color del número 20 (veinte) de la escala de platino cobalto. El agua será inodora y de sabor y temperatura agradables.

De no poderse cumplir con los requisitos anteriores, se admitirán aquellos caracteres físicos que sean tolerables para los usuarios, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde los puntos de vista bacteriológico y químico.

**II. Caracteres Químicos:**

Un pH de 6.0 a 8.0 para aguas naturales no tratadas.

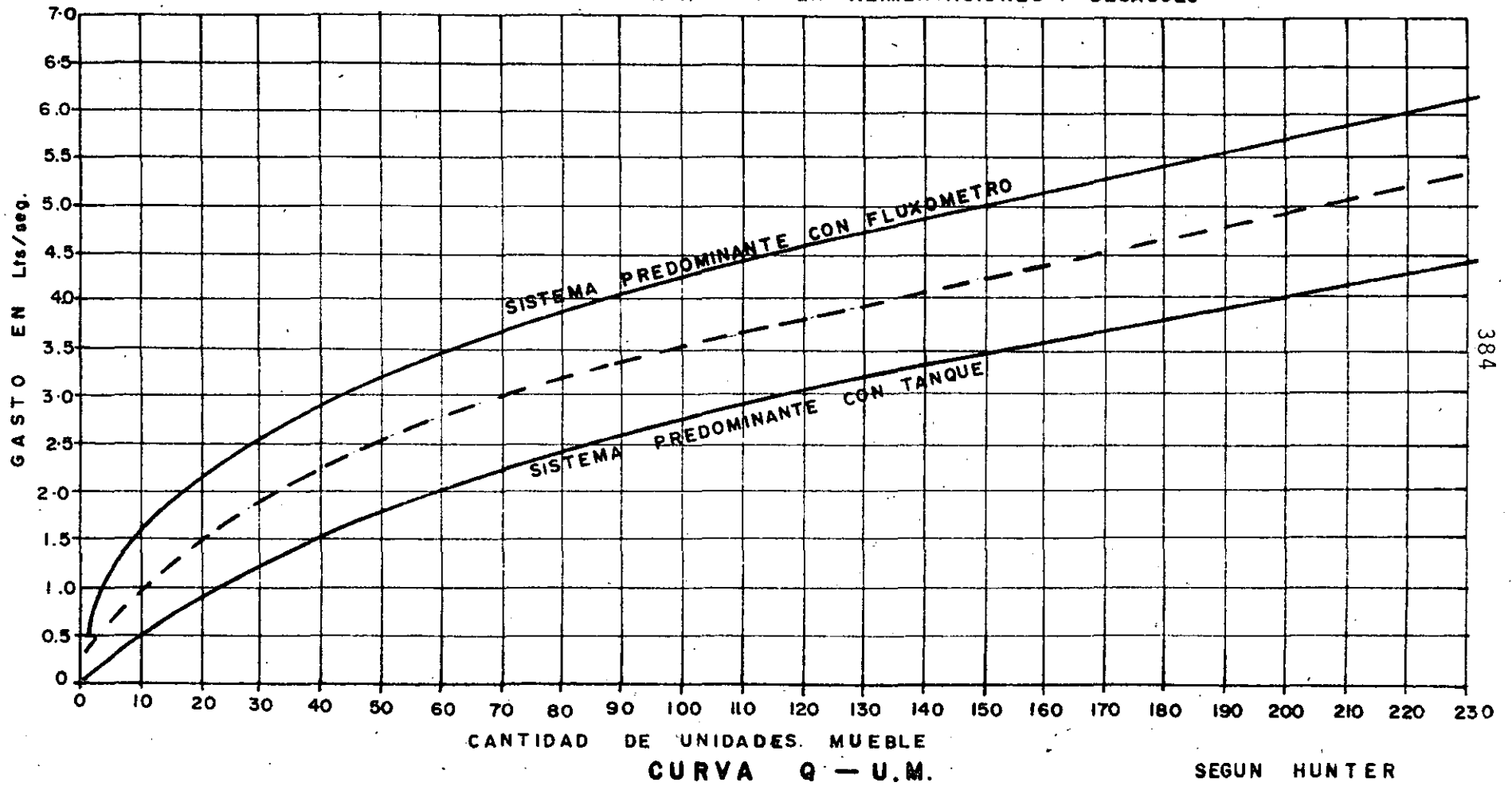
Para aguas tratadas o sometidas a su proceso químico, se aplicarán las normas especiales de la fracción IV.

Un contenido por millón de elementos iones y sustancias que a continuación se expresan:

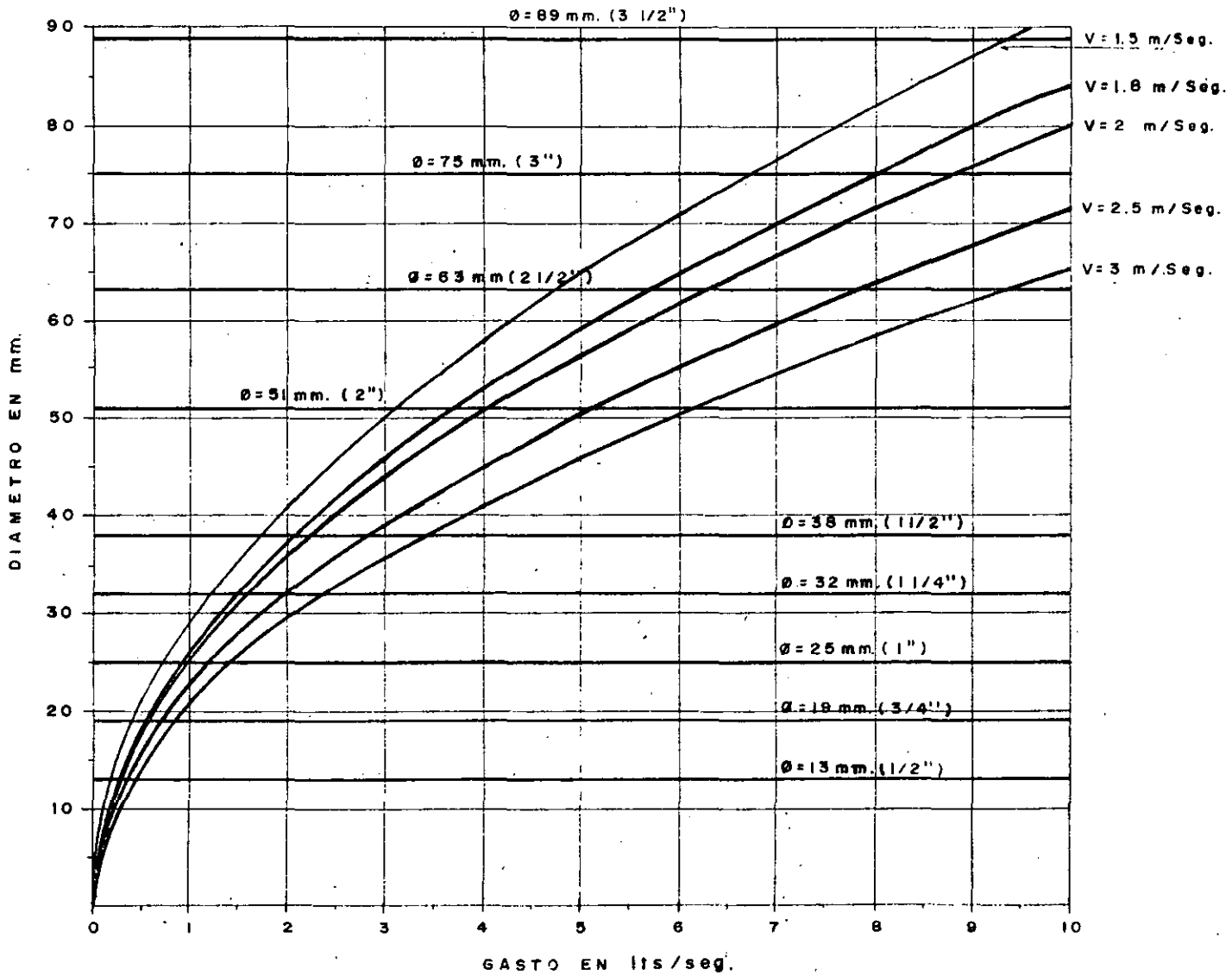
Nitrógeno (N) amoniacal, hasta	0.50
Nitrógeno (N) proteico, hasta	0.10
Nitrógeno (N) de nitritos (con análisis bacteriológico aceptable), hasta	0.05
Nitrógeno (N) de nitrato, hasta	5.00
Oxígeno (O), consumido en medio ácido, hasta	3.00
Oxígeno (O), consumido en medio alcalino, hasta	3.00
Sólidos totales de preferencia hasta 500, pero tolerándose hasta	1,000
Alcalinidad total, expresada en $\text{CaCO}_3$ , hasta	400
Dureza total, expresada en $\text{CaCO}_3$ , hasta	300
Dureza permanente o de no carbonatos, expresada en $\text{CaCO}_3$ , en aguas naturales de preferencia hasta	150
Cloruros expresados en Cl, hasta	250
Sulfatos expresados en $\text{SO}_4$ , hasta	250
Magnesio, expresado en Mg, hasta	125
Zinc, expresado en Zn, hasta	15.00
Cobre, expresado en Cu, hasta	3.00
Fluoruros, expresados en F, hasta	1.5
Hierro y manganeso, expresados en Fe y Mn, hasta	0.30
Plomo, expresado en Pb, hasta	0.10

\* Normas de Calidad del Agua Potable de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

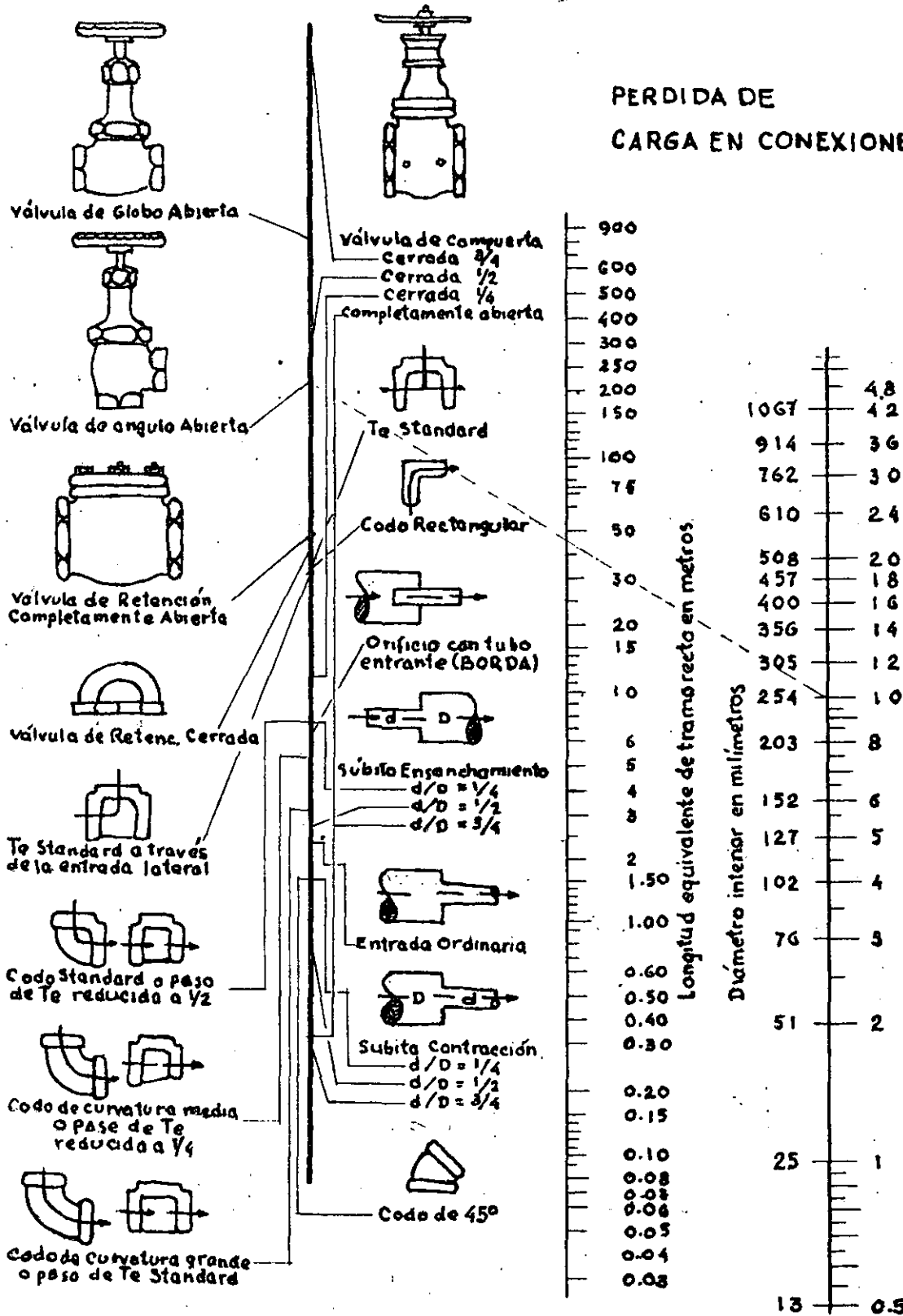
PARA USO EN ALIMENTACIONES Y DESAGÜES



ECUACION DE CONTINUIDAD  $Q = VA$



PERDIDA DE CARGA EN CONEXIONES



Diámetro interior en Pulgadas.

Ejemplo: La línea punteada muestra que la fricción en una válvula de ángulo completamente abierta, de 10 pulgadas es equivalente a la de 46 mts. de tubo ordinario del mismo diámetro.

Nota: Para ensanchamientos y reducciones bruscas úsese el diámetro menor d, en la escala de los diámetros de los tubos.

CALCULO HIDRAULICO  
DE CONDUCTOS CIRCULARES  
TRABAJANDO A PRESION  
  
FORMULA DE HAZEN - WILLIAMS

GASTON MENDOZA \*

\* PROFESOR INVESTIGADOR, FACULTAD DE INGENIERIA, U.NAM.

TUBERIA DE 63.50 MM ( 2.5" ) DE DIAMETRO

PERDIDA DE CARGA EN METROS POR KM DE LONGITUD  
VALORES DE "C"

GASTO L/SEG	VELOC M/SEG	CARGA METROS	VALORES DE "C"						
			80	90	100	110	120	130	140
11.40	3.60	0.660	546.25	439.20	361.35	302.88	257.81	222.29	193.79
11.80	3.73	0.708	582.27	468.17	385.18	322.86	274.81	236.95	206.56
12.20	3.85	0.756	619.35	497.98	409.71	343.42	292.31	252.04	219.72
12.60	3.98	0.807	657.48	528.64	434.93	364.56	310.30	267.56	233.25
13.00	4.10	0.859	696.65	560.13	460.84	386.28	328.79	283.50	247.14
13.40	4.23	0.906	736.87	592.47	487.45	408.58	347.77	299.84	261.41
13.80	4.36	0.968	778.12	625.63	514.74	431.45	367.24	316.65	276.04
14.20	4.48	1.025	820.40	659.63	542.71	454.89	387.20	333.85	291.04
14.60	4.61	1.083	863.71	694.45	571.35	478.91	407.64	351.48	306.41
15.00	4.74	1.143	908.04	730.10	600.68	503.49	428.56	369.52	322.13
15.40	4.86	1.295	953.39	766.56	630.30	528.64	449.96	387.97	336.22
15.80	4.99	1.269	999.76	803.84	661.85	554.84	471.85	406.84	358.67
16.20	5.12	1.334	1047.13	841.93	692.69	580.61	494.21	426.12	371.48
16.60	5.24	1.400	1095.52	880.63	724.70	607.44	517.04	445.51	388.34
17.00	5.37	1.434	1144.90	920.54	757.37	634.82	540.35	465.91	406.16
17.40	5.49	1.539	1195.29	961.05	790.70	662.76	564.13	480.41	424.04
17.80	5.62	1.610	1246.67	1002.36	824.69	691.25	586.38	507.32	442.26
18.20	5.75	1.683	1299.05	1044.48	859.33	720.29	613.10	528.64	466.84
18.60	5.87	1.758	1352.41	1087.38	894.64	749.88	638.28	550.35	479.78
19.00	6.00	1.835	1406.77	1131.08	930.59	780.02	663.94	572.47	499.06
19.40	6.13	1.913	1462.10	1175.58	967.20	810.70	690.05	594.99	518.59
19.80	6.25	1.992	1518.42	1220.86	1004.45	841.93	716.63	617.91	538.67
20.20	6.38	2.074	1546.94	1266.92	1042.35	873.70	743.67	641.22	558.99
20.60	6.50	2.157	1633.98	1313.07	1080.90	906.01	771.17	664.93	579.48
21.00	6.63	2.241	1693.22	1361.40	1120.08	938.85	799.13	689.04	600.66
21.40	6.76	2.327	1753.43	1409.81	1159.91	972.24	827.55	713.54	622.02

TUBERIA DE 101.60 MM ( 4" ) DE DIAMETRO

PERDIDA DE CARGA EN METROS POR KM DE LONGITUD  
VALORES DE "C"

GASTO L/SEG	VELOC M/SEG	CARGA METROS	VALORES DE "C"						
			80	90	100	110	120	130	140
30.00	3.70	0.698	332.22	267.12	219.77	184.21	156.80	135.19	117.86
31.00	3.82	0.745	353.02	283.84	233.53	195.74	166.61	143.66	125.74
32.00	3.95	0.794	374.40	301.03	247.67	207.60	176.70	152.36	132.86
33.00	4.07	0.844	396.35	318.68	262.19	219.77	187.06	161.29	140.61
34.00	4.19	0.896	418.88	336.79	277.10	232.26	197.70	170.46	148.60
35.00	4.32	0.950	441.98	355.37	292.38	245.07	208.60	179.86	156.80
36.00	4.44	1.005	465.65	374.40	308.03	258.19	219.77	189.49	165.19
37.00	4.56	1.062	489.89	393.89	324.07	271.63	231.21	199.36	173.79
38.00	4.69	1.120	514.69	413.83	340.47	285.38	242.91	209.45	182.59
39.00	4.81	1.179	540.05	434.22	357.55	299.45	254.88	219.77	191.59
40.00	4.93	1.241	565.98	455.06	374.40	313.82	267.12	230.32	200.78
41.00	5.06	1.304	592.46	476.35	391.92	328.50	279.62	241.09	210.18
42.00	5.18	1.368	619.49	498.09	409.80	343.50	292.38	252.10	219.77
43.00	5.30	1.434	647.08	520.28	428.05	358.79	305.40	263.33	229.56
44.00	5.43	1.501	675.23	542.90	446.67	374.40	318.68	274.78	239.54
45.00	5.55	1.570	703.92	565.98	465.65	390.31	332.22	286.45	249.72
46.00	5.67	1.641	733.16	589.49	485.00	406.52	346.02	298.35	260.09
47.00	5.80	1.713	762.95	613.44	504.70	423.04	360.08	310.48	270.66
48.00	5.92	1.787	793.29	637.83	524.77	439.86	374.40	322.82	281.42
49.00	6.04	1.862	824.16	662.65	545.19	456.98	388.97	335.38	292.38
50.00	6.17	1.939	855.58	687.91	565.98	474.40	403.80	348.17	303.52
51.00	6.29	2.017	887.54	713.61	587.12	492.12	418.88	361.17	314.56
52.00	6.41	2.097	920.03	739.74	608.61	510.14	434.22	374.40	326.39
53.00	6.54	2.178	953.07	766.30	630.46	528.45	449.81	387.84	336.11
54.00	6.66	2.261	986.63	793.29	652.67	547.07	465.65	401.50	350.01
55.00	6.78	2.346	1020.74	820.70	675.23	565.98	481.75	415.38	362.11



TUBERIA DE 152.40 MM ( 6" ) DE DIAMETRO

GASTO L/SEG	VELOC M/SEG	CARGA METROS	PERDIDA DE CARGA EN METROS POR KM DE LONGITUD VALORES DE " C "						
			80	90	100	110	120	130	140
61.00	3.34	0.570	171.62	137.98	113.53	95.16	81.00	69.84	60.88
63.00	3.45	0.608	182.18	146.48	120.51	101.02	85.98	74.14	64.63
65.--	3.56	0.647	193.04	151.21	127.70	107.03	91.10	78.55	68.48
67.00	3.67	0.688	204.18	164.17	135.07	113.21	96.36	83.09	72.48
69.00	3.78	0.729	215.61	173.36	142.63	119.55	101.76	87.74	76.49
71.00	3.89	0.772	227.32	182.78	150.38	126.05	107.29	92.51	80.64
73.00	4.00	0.816	239.32	192.42	158.32	132.70	112.95	97.39	84.90
75.00	4.11	0.862	251.61	202.30	166.44	139.51	118.75	102.39	89.26
77.00	4.22	0.908	264.17	212.40	174.75	146.48	124.68	107.50	93.72
79.00	4.33	0.956	277.02	222.73	182.25	153.60	130.74	112.73	98.28
81.00	4.44	1.005	290.15	233.29	191.94	160.88	136.94	118.07	102.93
83.00	4.55	1.055	303.56	244.07	200.81	168.31	143.27	123.53	107.69
85.00	4.66	1.107	317.24	255.07	209.86	175.90	149.72	129.10	112.54
87.00	4.77	1.159	331.20	266.30	219.09	183.64	156.31	134.78	117.50
89.00	4.88	1.213	345.44	277.74	228.51	191.54	163.03	140.57	122.55
91.00	4.99	1.268	359.95	289.41	238.11	199.59	169.88	146.48	127.70
93.00	5.10	1.325	374.74	301.30	247.89	207.78	176.86	152.50	132.94
95.00	5.21	1.382	389.80	313.41	257.86	216.13	183.97	158.63	138.28
97.00	5.32	1.441	405.13	325.74	268.00	224.64	191.21	164.86	143.72
99.00	5.43	1.501	420.74	338.29	278.32	233.29	198.57	171.21	149.26
101.00	5.54	1.563	436.61	351.05	288.82	242.09	206.06	177.68	154.89
103.00	5.65	1.625	452.76	364.03	299.50	251.04	213.68	184.25	160.62
105.00	5.76	1.689	469.17	377.23	310.36	260.15	221.43	190.93	166.43
107.00	5.87	1.754	485.86	390.64	321.40	269.40	229.30	197.71	172.38
109.00	5.98	1.820	502.81	404.27	332.61	278.80	237.31	204.61	178.37
111.00	6.09	1.887	520.03	418.12	344.00	288.34	245.33	211.62	185.45

TUBERIA DE 203.20 MM ( 8" ) DE DIAMETRO

GASTO L/SEG	VELOC M/SEG	CARGA METROS	PERDIDA DE CARGA EN METROS POR KM DE LONGITUD VALORES DE "C"						
			80	90	100	110	120	130	140
10.00	0.31	0.005	1.49	1.19	0.98	0.82	0.70	0.60	0.53
14.00	0.43	0.009	2.77	2.23	1.83	1.54	1.31	1.13	0.98
18.00	0.56	0.016	4.41	3.55	2.92	2.45	2.00	1.79	1.56
22.00	0.68	0.023	6.40	5.14	4.23	3.55	3.02	2.60	2.27
26.00	0.80	0.033	8.71	7.01	5.76	4.83	4.11	3.55	3.09
30.00	0.93	0.044	11.36	9.13	7.51	6.30	5.36	4.62	4.03
34.00	1.05	0.056	14.32	11.51	9.47	7.94	6.76	5.83	5.08
38.00	1.17	0.070	17.60	14.15	11.64	9.76	8.30	7.16	6.24
42.00	1.30	0.085	21.18	17.03	14.01	11.74	10.00	8.62	7.51
46.00	1.42	0.103	25.07	20.15	16.56	13.90	11.83	10.20	8.39
50.00	1.54	0.121	29.25	23.52	19.35	16.22	13.81	11.90	10.38
54.00	1.67	0.141	33.73	27.12	22.31	18.70	15.92	13.73	11.97
58.00	1.79	0.163	38.50	30.96	25.47	21.35	18.17	15.67	13.66
62.00	1.91	0.186	43.56	35.03	28.82	24.16	20.56	17.73	15.45
66.00	2.04	0.211	48.91	39.33	32.36	27.12	23.08	19.90	17.35
70.00	2.16	0.237	54.54	43.85	36.08	30.24	25.74	22.20	19.35
74.00	2.28	0.265	60.46	48.61	39.99	33.52	28.53	24.60	21.45
78.00	2.41	0.295	66.65	53.59	44.09	36.95	31.45	27.12	23.64
82.00	2.53	0.326	73.11	58.78	48.36	40.50	34.51	29.75	25.94
86.00	2.65	0.358	79.85	64.21	52.82	44.28	37.69	32.50	28.33
90.00	2.78	0.393	86.87	69.84	57.46	48.17	41.00	35.35	30.82
94.00	2.90	0.428	94.15	75.70	62.28	52.21	44.44	38.31	33.40
98.00	3.02	0.465	101.71	81.78	67.28	56.39	48.00	41.39	36.08
102.00	3.15	0.504	109.53	88.06	72.45	60.73	51.69	44.57	38.06
106.00	3.27	0.545	117.61	94.57	77.80	65.21	55.51	47.86	41.12
110.00	3.39	0.586	125.96	101.28	83.33	69.84	59.45	51.26	44.69

TUBERIA DE 203,20 MM ( 8 " ) DE DIAMETRO

PERDIDA DE CARGA EN METROS POR KM DE LONGITUD  
VALORES DE "C"

GASTO L/SEG	VELOC M/SEG	CARGA METROS	VALORES DE "C"						
			80	90	100	110	120	130	140
112.00	3.45	0.608	130.24	104.72	86.15	72.21	61.47	53.00	46.20
116.00	3.58	0.652	138.98	111.75	91.94	77.06	65.59	58.38	50.89
120.00	3.70	0.698	147.99	118.99	97.90	82.06	69.84	60.22	52.50
124.00	3.82	0.745	157.25	126.44	104.02	87.19	74.22	63.99	55.79
128.00	3.95	0.794	166.78	134.09	110.32	92.47	78.71	67.87	59.16
132.00	4.07	0.844	176.56	141.96	116.79	97.90	83.33	71.85	62.63
136.00	4.19	0.896	186.59	150.02	123.43	103.46	88.06	75.93	66.19
140.00	4.32	0.950	196.88	158.30	130.24	109.17	92.92	80.12	69.84
144.00	4.44	1.005	207.42	166.78	137.21	115.01	97.90	84.41	73.58
148.00	4.56	1.062	218.22	175.46	144.36	121.00	102.99	88.50	77.41
152.00	4.69	1.120	229.27	184.34	155.66	127.12	108.21	93.30	81.33
156.00	4.81	1.179	240.57	193.42	159.14	133.39	113.54	97.90	85.34
160.00	4.93	1.241	252.11	202.71	166.78	139.79	118.99	102.60	89.44
164.00	5.06	1.304	263.91	212.19	174.58	146.33	124.55	107.40	93.62
168.00	5.18	1.368	275.95	221.88	182.55	153.01	130.24	112.30	97.90
172.00	5.30	1.434	288.24	231.76	190.68	159.82	136.04	117.30	102.26
176.00	5.43	1.501	300.78	241.84	198.97	166.78	141.96	122.40	106.70
180.00	5.55	1.570	313.56	252.11	207.42	173.86	147.99	127.60	111.24
184.00	5.67	1.641	326.59	262.59	216.04	181.09	154.14	132.90	115.86
188.00	5.80	1.713	339.86	273.26	224.82	188.44	160.40	138.30	120.57
192.00	5.92	1.787	353.37	284.12	233.76	195.93	166.78	143.80	125.36
196.00	6.04	1.862	367.12	295.18	242.86	203.56	173.24	149.40	130.24
200.00	6.17	1.939	381.12	306.43	252.11	211.32	179.87	155.89	135.20
204.00	6.29	2.017	395.35	317.88	261.53	219.21	186.59	160.80	140.25
208.00	6.41	2.097	409.63	329.51	271.11	227.24	193.42	166.78	145.39
212.00	6.54	2.178	424.54	341.35	280.84	235.40	200.37	172.76	150.61

TUBERIA DE 254.00 MM ( 10" ) DE DIAMETRO

PERDIDA DE CARGA EN METROS POR KM DE LONGITUD  
VALORES DE "C"

GASTO L/SEG	VELOC M/SEG	CARGA METROS	VALORES DE "C"						
			80	90	100	110	120	130	140
20.00	0.39	0.008	1.81	1.45	1.20	1.00	0.85	0.74	0.64
24.00	0.47	0.011	2.53	2.04	1.68	1.41	1.20	1.03	0.90
28.00	0.55	0.016	3.37	2.71	2.23	1.87	1.59	1.37	1.20
32.00	0.63	0.020	4.32	3.47	2.86	2.39	2.04	1.76	1.53
36.00	0.71	0.026	5.37	4.32	3.55	2.98	2.53	2.19	1.90
40.00	0.79	0.032	6.53	5.25	4.32	3.62	3.06	2.66	2.32
44.00	0.87	0.038	7.79	6.26	5.15	4.32	3.67	3.17	2.76
48.00	0.95	0.046	9.15	7.36	6.05	5.07	4.32	3.72	3.25
52.00	1.03	0.054	10.61	8.53	7.02	5.88	5.01	4.32	3.76
56.00	1.11	0.062	12.17	9.79	8.05	6.75	5.74	4.95	4.32
60.00	1.18	0.071	13.83	11.12	9.15	7.67	6.53	5.63	4.91
64.00	1.26	0.081	15.58	12.53	10.31	8.64	7.36	6.34	5.53
68.00	1.34	0.092	17.44	14.02	11.53	9.67	8.23	7.10	6.19
72.00	1.42	0.103	19.38	15.58	12.82	10.75	9.15	7.89	6.88
76.00	1.50	0.115	21.42	17.23	14.17	11.88	10.11	8.72	7.60
80.00	1.58	0.127	23.56	18.94	15.58	13.06	11.12	9.59	8.36
84.00	1.66	0.140	25.79	20.73	17.06	14.30	12.17	10.49	9.15
88.00	1.74	0.154	28.11	22.60	18.59	15.58	13.26	11.44	9.97
92.00	1.82	0.168	30.52	24.54	20.19	16.92	14.40	12.42	10.83
96.00	1.89	0.183	33.02	26.55	21.84	18.31	15.58	13.44	11.71
100.00	1.97	0.199	35.61	28.63	23.56	19.75	16.81	14.49	12.63
104.00	2.05	0.215	38.30	30.79	25.33	21.23	18.07	15.58	13.59
108.00	2.13	0.232	41.07	33.02	27.17	22.77	19.38	16.71	14.57
112.00	2.21	0.249	43.93	35.32	29.06	24.36	20.73	17.88	15.56
116.00	2.29	0.267	46.88	37.69	31.01	25.99	22.12	19.08	16.13
120.00	2.37	0.286	49.92	40.13	33.02	27.68	23.56	20.31	17.71

TUBERIA DE 254.00 MM ( 10" ) DE DIAMETRO

PERDIDA DE CARGA EN METROS POR KM DE LONGITUD  
VALORES DE "C"

GASTO L/SEG	VELOC M/SEG	CARGA METROS	VALORES DE "C"						
			80	90	100	110	120	130	140
122.00	2.41	0.295	51.47	41.38	34.05	28.54	24.29	20.94	18.26
126.00	2.49	0.315	54.64	43.93	36.14	30.29	25.79	22.23	19.38
130.00	2.57	0.335	57.89	46.55	38.30	32.10	27.32	23.56	20.54
134.00	2.64	0.356	61.23	49.23	40.51	33.95	28.90	24.92	21.72
138.00	2.72	0.378	64.66	51.99	42.77	35.85	30.52	26.31	22.94
142.00	2.80	0.400	68.17	54.81	45.10	37.80	32.18	27.74	24.19
146.00	2.88	0.423	71.77	57.71	47.48	39.80	33.87	29.21	25.46
150.00	2.96	0.447	75.46	60.67	49.92	41.84	35.61	30.71	26.77
154.00	3.04	0.471	79.23	63.70	52.41	43.93	37.39	32.24	28.11
158.00	3.12	0.496	83.08	66.80	54.96	46.07	39.21	33.81	29.47
162.00	3.20	0.521	87.02	69.96	57.56	48.25	41.07	35.41	30.87
166.00	3.28	0.547	91.04	73.20	60.22	50.48	42.97	37.05	32.30
170.00	3.35	0.574	95.14	76.50	62.94	52.75	44.90	38.72	33.75
174.00	3.43	0.601	99.33	79.86	65.71	55.07	46.88	40.42	35.24
178.00	3.51	0.629	103.60	83.30	68.53	57.44	48.89	42.16	36.75
182.00	3.59	0.658	107.95	86.80	71.41	59.86	50.95	43.93	38.30
186.00	3.67	0.687	112.38	90.36	74.34	62.31	53.04	45.73	39.87
190.00	3.75	0.717	116.90	93.99	77.33	64.82	55.17	47.57	41.47
194.00	3.83	0.747	121.50	97.69	80.37	67.37	57.34	49.44	43.10
198.00	3.91	0.778	126.18	101.45	83.47	69.96	59.55	51.35	44.76
202.00	3.99	0.810	130.94	105.28	86.62	72.60	61.80	53.28	46.45
206.00	4.07	0.842	135.78	109.17	89.82	75.29	64.08	55.26	48.17
210.00	4.14	0.875	140.71	113.13	93.08	78.02	66.41	57.26	49.92
214.00	4.22	0.909	145.71	117.15	96.39	80.79	68.77	59.29	51.69
218.00	4.30	0.943	150.79	121.24	99.75	83.61	71.17	61.36	53.44
222.00	4.38	0.978	155.96	125.39	103.17	86.47	73.61	63.46	55.53

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE UNA TUBERIA DE SECCION CIRCULAR BASADA EN LA FORMULA DE MANNING

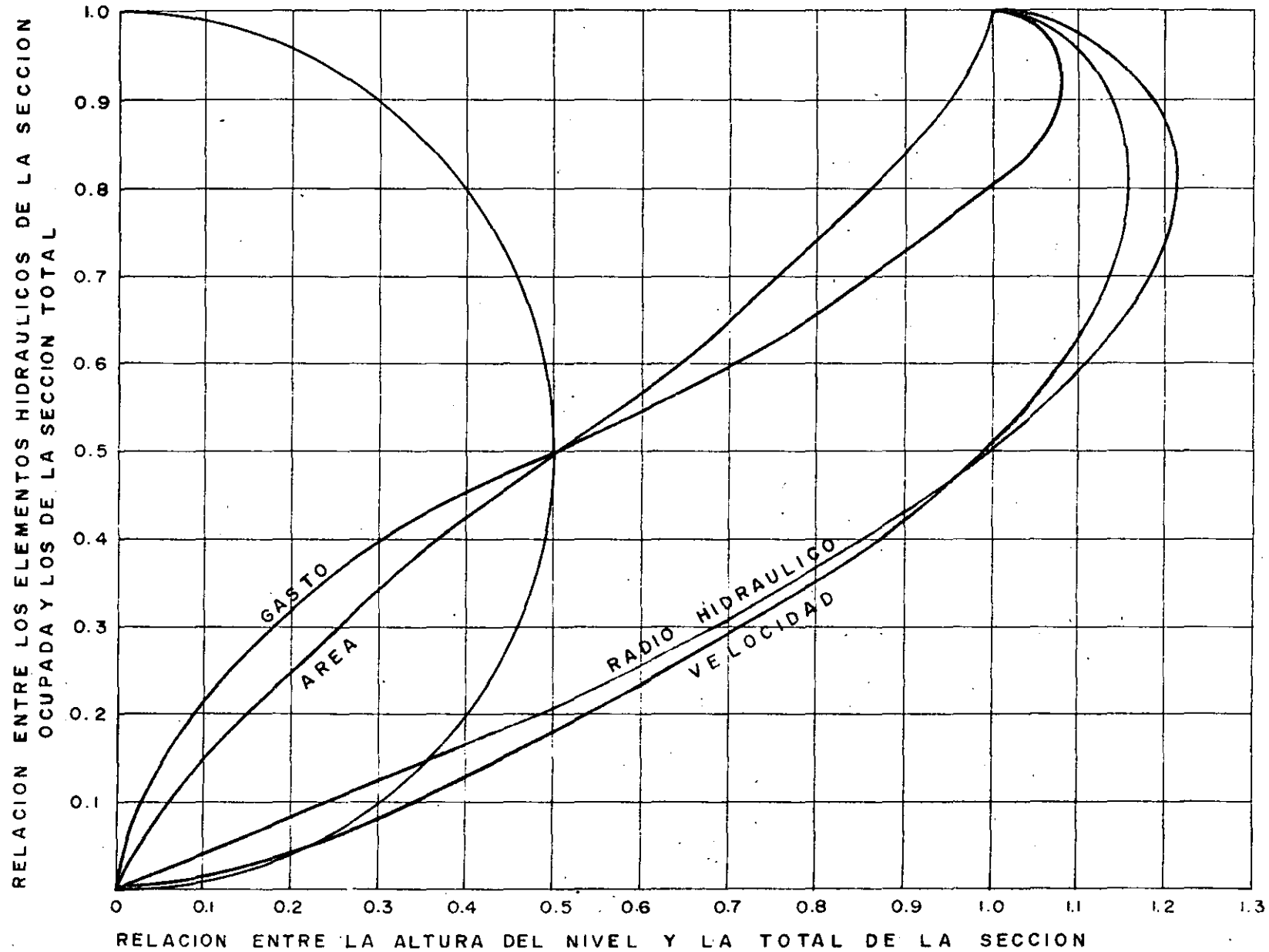


Tabla # 2.

CALCULO DEL COEFICIENTE

$$C = \frac{100\sqrt{r}}{b + \sqrt{r}}$$

DE KUTTER (simplificado) Y DEL

FACTOR  $K = \frac{b + \sqrt{r}}{100 r}$

PARA EMPLEARSE EN LA FORMULA  $v = C \sqrt{rs}$  DE

CHEZY.

r = radio hidráulico en metros.

v = velocidad en metros por segundo.

b = rugosidad (0.35 para alcantarillados).

s = pendiente hidráulica, igual a  $(Kv)^2$ .

402

Diámetro tro. d	Radio hi- dráulico. r	100 r	$\sqrt{r}$	b + $\sqrt{r}$	100 $\sqrt{r}$	$C = \frac{100 \sqrt{r}}{b + \sqrt{r}}$	$K = \frac{b + \sqrt{r}}{100 r}$
0.10	0.025	2.50	0.158 113	0.508 113	15.8113	31.117	0.203
0.15	0.0375	3.75	0.193 649	0.543 649	19.3649	35.620	0.174
0.20	0.05	5.00	0.223 606	0.573 606	22.3606	38.982	0.114
0.25	0.0625	6.25	0.25	0.600	25.	41.666	0.096
0.30	0.075	7.50	0.273 861	0.623 861	27.3861	43.897	0.083

CARACTERISTICAS	D I A M E T R O      E N      M E T R O S .				
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
Area (metro cuadrado)    A	0.0078 53 98	0.0176 71 46	0.0314 15 93	0.0490 87 39	0.1134 11 5
Radio hidráulico            r	0.025	0.0375	0.05	0.0625	0.075
$\sqrt{r}$	0.158 113	0.193 649	0.223 606	0.25	0.273 861
Coefficiente                C	31.1178	35.6202	38.9826	41.6667	43.8978
Factor                        K	0.203 245	0.144 973	0.114 721	0.096	0.083 181





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

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 5 DE ABRIL AL 20 DE  
MAYO.  
MEXICO, D. F.

"PROYECTO ARQUITECTONICO"

ARQ. MARCO ANTONIO ORTIZ FLORES

CURSO DE INGENIERIA DE AEROPUERTOS

TEMA:

"PROYECTO ARQUITECTONICO" ✓

EXPOSITOR:

ARQ. MARCO ANTONIO ORTIZ FLORES

I N D I C E

- OBJETIVOS
- EVOLUCION:
  - 1a. generación - 1920-30
  - 2a. generación - 1930-50
  - 3a. generación - 1950-70
  - 4a. generación - 1970-80
- TIPOLOGIA:
  - Metropolitano.
  - Turístico.
  - Servicios.
  - Frontera.
  - Militar.
  - El aeropuerto como organismo y como parte de una industria.
- AREA TERMINAL:
  - Definición y elementos.
- CONCEPTOS DE DISEÑO EDIFICIO TERMINAL-PLATAFORMA:
  - Lineal:
    - . Plataforma abierta.
    - . Plataforma contacto.
  - Muelle:
    - . Bahía.
    - . Dedos.
  - Satélite:
    - . Redondo.
    - . Lineal.
    - . Mixto.
  - Transportador:
    - . Plataforma libre.
    - . Plataforma con edificio de apoyo.

- Mixto:
  - . Muelle dedos.
  - . Muelle plataforma remota.
  
- CUALIDADES DE LOS SISTEMAS:
  - Capacidad de crecimiento, (flexibilidad).
  - Distancia de recorrido usuario, maletas.
  - Nivel de mecanización del sistema-eficiencia en la operación.
  - Nivel de servicio.
  
- EJEMPLOS:
  - Lineal:
    - . Plataforma abierta - LEO-REX LAP.
    - . Plataforma en contacto - MEX-KANSAS C.
  - Muelle:
    - . Bahía - O'HARE.
    - . Dedos - MZT-MID-TIJ-HOUSTON.
  - Satélite:
    - . Lineal - MTY-ATLANTIC CITY-LAX.
    - . Mixto - TAMPA.
  - Transportador:
    - . Plataforma libre - PVR-GDL.
    - . Plataforma con edificio de apoyo-DULLES.
  - Mixto:
    - . Muelle - plataforma remota-Mex.-Seattle-Tac.
    - . Muelle redondo - CUN.
  
- EDIFICIO TERMINAL:
  - Actividades.
  - Conceptos básicos de funcionamiento.
  - Aspectos psicológicos.
  - Programa arquitectónico.
  - Conceptos espaciales.
  - Desarrollo y crecimiento del edificio terminal.

- Normatividad:

- . Normatividad y diseño.
- . Ejemplo de normatividad:
  - En área terminal.
  - En edificio terminal.

- Análisis espacial:

- . Ejemplo:
  - Documentación.
  - Análisis de eficiencia.
  - Patrones de conducta.
  - Capacidad de mostradores.

- Integración del proyecto:

- Primera imagen - Hipótesis formal.
- Criterios espaciales.
  - Criterios estructurales.
  - Criterios instalaciones.
  - Criterios de acabados.
  - Esquemas de desarrollo por etapas.

- Instrumentos de evaluación de proyecto:

- . Tabla de magnitud de elementos.
- . Tabla comparativa de crecimiento.
- . Normatividad general.
- . Diagrama de flujo.
- . Estrategia de obra (remodel. y ampliación).

PROBLEMATICA ACTUAL

- REMODELACION Y AMPLIACION DE LOS EDIFICIOS Y AREA TERMINAL:

- Factores de cambio:

- . Evolución del área de influencia.
- . Integración del sistema aeroportuario.
- . Impacto en el aeropuerto por la evolución del -  
área de influencia.

- Cambios en la operación y proceso:

- . Cambio en equipo de las compañías.
- . Evolución de sistemas.
- . Saturación del sistema.
- . Conceptos comerciales nuevos.
- . Contaminación del sistema.

- Proyecto por etapas:

- . Operativas.
- . Inversión.
- . Estrategia de proyecto y obra para remodelación.

- INFORMACION BASICA:

- Edificios área terminal:

- . Torre de control- programa arq.
- . CREI.- programa arq.
- . Edificio aduanas - programa arq.

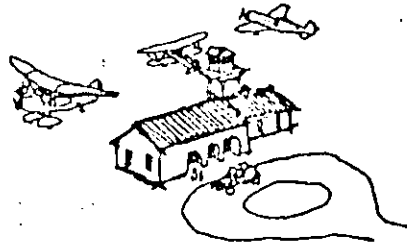
- Características técnicas de los principales aviones - comerciales:

- . Concorde.
- . Air Bus A 300-B2/B4.
- . L-1011 Tristar.
- . DC-9
- . DC-8
- . DC-10
- . B-727 100 - 200
- . B-747

- Formas de atraque del avión.
- Comparación de fuselaje y alturas de avión.
- Dispositivos de abordaje.
- Bandas entrega de equipaje.
- BIBLIOGRAFIA.

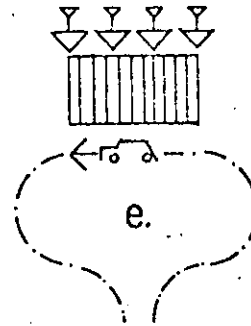
OBJETIVOS PARTICULARES DE LA EXPOSICION DEL TEMA:  
AREA Y EDIFICIO TERMINAL.

1. ANALIZAR LOS PRINCIPALES SISTEMAS Y SOLUCIONES EXISTENTES, EVALUANDO SUS VENTAJAS Y DESVENTAJAS PARA SU APLICACION A NUESTRAS NECESIDADES Y PLANTEAR SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE OPERACION, FUNCIONAMIENTO E IMAGEN, DE ACUERDO A NUESTRA REALIDAD Y NO EN IMITACION DE MODELOS EXTRANJEROS QUE CONLLEVEN LA IMPORTACION DE TECNOLOGIA O SOFISTICACION INNecesaria EN LOS SISTEMAS.
2. DISEÑAR CONSIDERANDO QUE LOS AEROPUERTOS SON ENTES QUE EVOLUCIONAN, ESTO ES QUE CRECEN EN EQUILIBRIO Y PROPORCION DE ACUERDO A SU ACTIVIDAD, POR LO QUE SE HACE NECESARIO PREVER DENTRO DE LO POSIBLE LOS CRECIMIENTOS POR ETAPAS CONSTRUCTIVAS Y POR INVERSION PROGRAMADA, LO QUE NOS LLEVA A QUE TODOS LOS PROYECTOS IMPORTANTES SEAN REALIZADOS CON UN HORIZONTE DE PLANEACION DE CUANDO MENOS 20 AÑOS, CONSIDERANDO QUE LA PLANEACION A MEDIANO PLAZO ES OPTIMA PARA EL DESARROLLO AEROPORTUARIO.
3. PROPICIAR EN EL DISEÑADOR LA NECESIDAD DE LOGRAR UNA IMAGEN ADECUADA DE LOS AEROPUERTOS, TANTO FUNCIONAL COMO ESTETICA, DEBIDO A QUE SON LA MAYORIA DE ELLOS PUERTA DE ENTRADA A NUESTRO PAIS, POR LO CUAL SU IMAGEN DEBE SER DIGNA Y ADECUADA A NUESTRA REALIDAD.
4. GENERAR EN EL DISEÑADOR ACCIONES QUE LE PERMITAN:
  - VALORAR LOS CONCEPTOS PRINCIPALES DE DISEÑO DE EDIFICIOS TERMINALES, ASI COMO LA NORMATIVIDAD COMO GUI PARA EL CONTROL DEL CRECIMIENTO DEL EDIFICIO TERMINAL.
  - DESARROLLAR EL PROYECTO INTEGRANDO DESDE EL PRINCIPIO LOS CRITERIOS ESTRUCTURALES DE INSTALACIONES, ACABADOS Y CONCEPTOS ESPACIALES, APRECIANDO LAS POSIBILIDADES FUNCIONALES Y PSICOLOGICAS DEL DISEÑO DE ESTE TIPO DE EDIFICIOS.



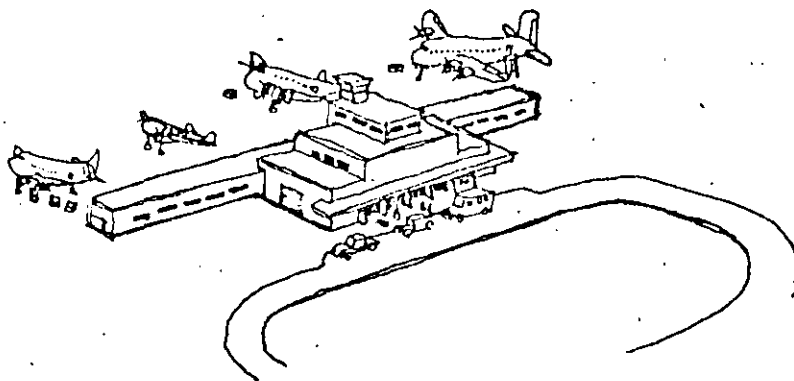
## ERA 1920.1930 GENERACION

INFANCIA DE LOS AEROPUERTOS.



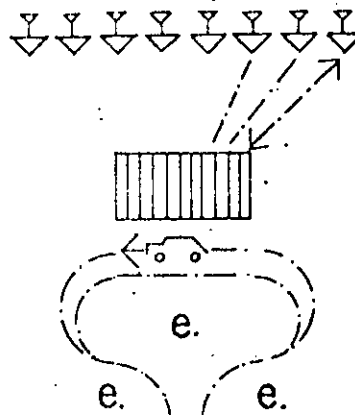
—LOS PRIMEROS AEROPUERTOS FUERON MUY ELEMENTALES, YA QUE SE IMPROVISABAN GRANEROS O BODEGAS, LOS CUALES AL NO ESTAR DISEÑADOS PARA Y DE ACUERDO A LA FUNCION DEL AVION, NO PODIAN CUMPLIR ADECUADAMENTE CON EL SERVICIO QUE SE LES ESTABA DESIGNANDO.





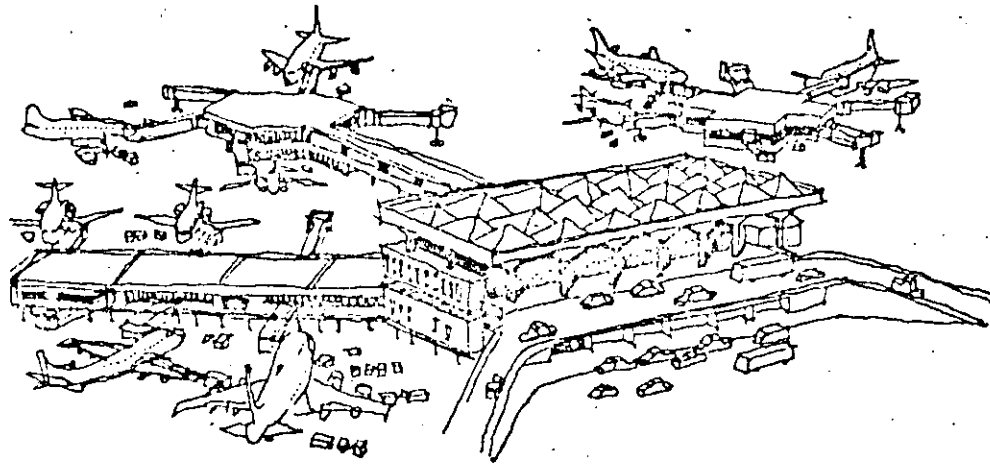
## 2DA 1930.1950 GENERACION

EQUILIBRIO-SENCILLEZ DE OPERACION.



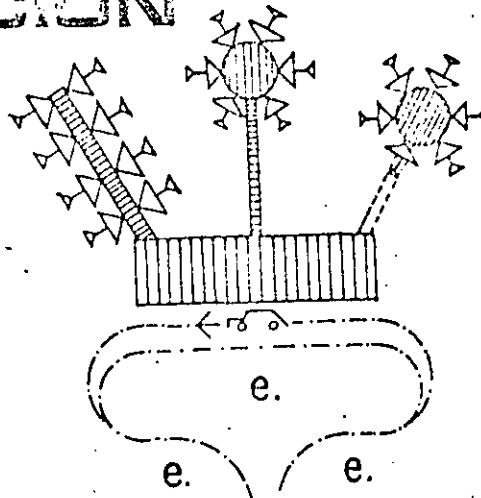
—LA SEGUNDA GENERACION DE TERMINALES AEREAS FUERON RELATIVAMENTE SIMPLES Y NO PRESENTARON PROBLEMAS, TANTO DESDE EL PUNTO DE VISTA OPERACIONAL COMO ESTRUCTURAL.

—EL VOLUMEN DE TRAFICO ERA COMPARATIVAMENTE BAJO Y LOS DIFERENTES SECTORES DEL AEROPUERTO ESTABAN EN EQUILIBRIO Y BAJO CONTROL.

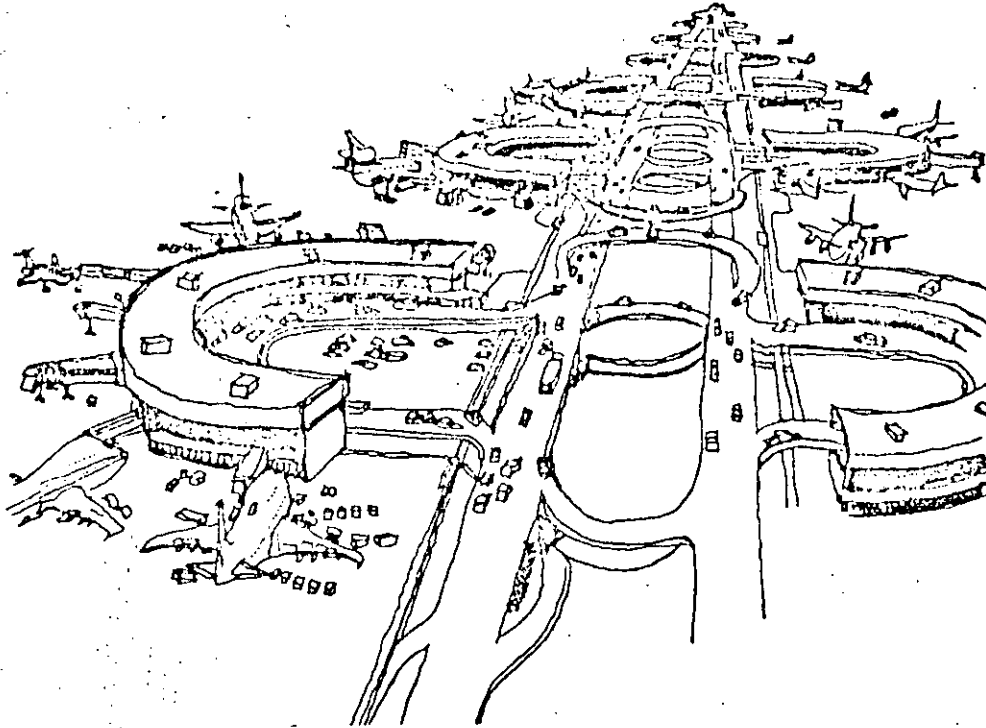


## 3RA 1950.1970 GENERACION

PRINCIPIOS DE COMPLICACIONES TECNOLOGICAS SIN PREAVISO.

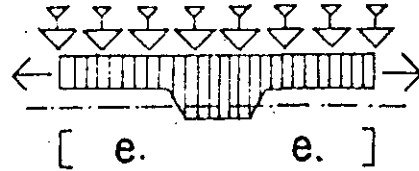


—CON LA EXPLOSION DEL TRAFICO TURISTICO, COMENZO EL APRESURADO RECURSO DE ADAPTACION. ESTA FILOSOFIA APLICADA A UN IMPORTANTE VOLUMEN DE PASAJEROS, PROVOCO UN CRECIMIENTO INSENSATO DE LAS TERMINALES AEREAS, ACARREANDO CON ELLO, LA IMPLEMENTACION DE EQUIPOS Y APARATOS COSTOSOS: (BANDAS TRANSPORTADORAS, PASILLOS MOVILES, CORREDORES TELESCOPICOS ETC...)



## 4TA 1970.1980 GENERACION

EL BOOM AEROPORTUARIO-ALARDES TECNICOS, DERRUMBE DEFINITIVO DEL EQUILIBRIO, EMPOBRECIMIENTO DE LAS COMPAÑIAS AEREAS.



—LA ADOPCION DE CONCEPTOS TRADICIONALES YA NO ENCAJA CON LAS NUEVAS NECESIDADES, NO SOLO CREANDO CONFUSION, SINO TAMBIEN INHIBIENDO EL ESPIRITU DE BUSQUEDA.

—AL INTRODUCIR GRANDES AVIONES EN EL CONTEXTO AEROPORTUARIO, SE HAN CREADO UNA SERIE DE COMPLICACIONES QUE REQUIEREN DE UN PERSONAL ALTAMENTE ESPECIALIZADO.

17

T I P O L O G I A .

- METROPOLITANO: MEX - GDL.

- Apoyo a las actividades productivas, negocios.
- Turismo, recreación y cultural.
- Mantenimiento de aeronaves.
- Comunicación.

- TURISTICO: CUN - PVR.

- Recreación
- Cultural.
- Comunicación.

- SERVICIO: LEO - CME.

- Apoyo a las actividades productivas.
- Negocios.
- Comunicación.

- FRONTERA: TIJ - MXL.

- Apoyo a las actividades productivas.
- Negocios.
- Comercio bilateral.

- MILITAR:

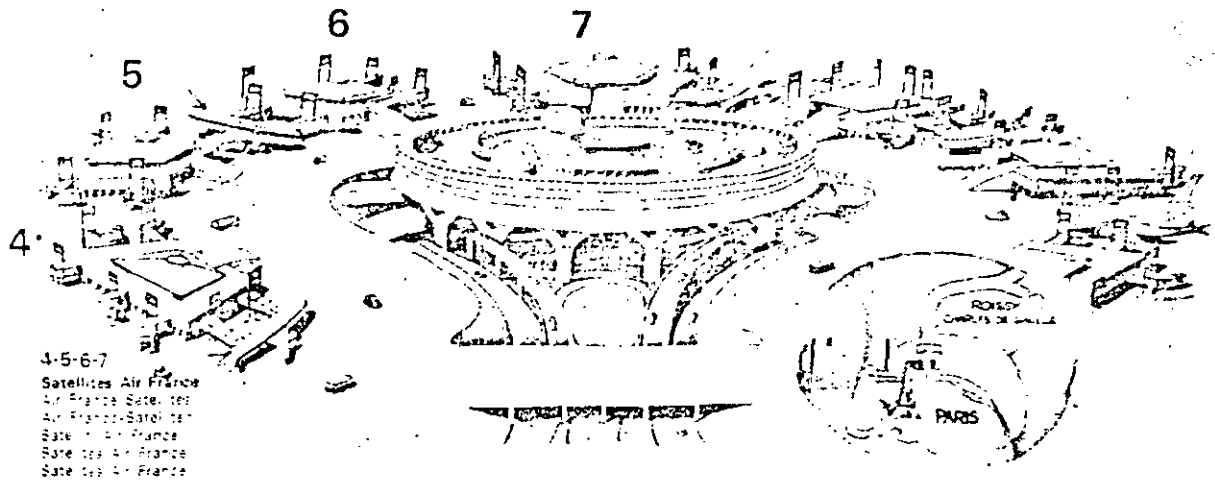
- Control del territorio.
- Apoyo en desastres.

## EL AEROPUERTO COMO "ORGANISMO VIVO"

—UN ORGANISMO VIVO CRECE SE TRANSFORMA, SE EXPANDE, SE MOLDEA, SE AJUSTA O DISMINUYE A LO LARGO DE LA VIDA, POR CONSIGUIENTE EN EL TIEMPO.

—DE IGUAL MODO, UN AEROPUERTO EVOLUCIONA: DEPENDE DE LA ECONOMIA DE SU PAIS (TURISMO), DECISIONES DE LAS AEROLINEAS COMERCIALES (CUANTOS VUELOS Y CADA CUANDO), IDIOSINCRACIA DE LA POBLACION (FACTOR VISITANTES), AVANCES TECNOLOGICOS (SIMPLIFICACION DE SISTEMAS...), ETC.

—POR LO TANTO, EL AEROPUERTO DEBE PERMITIR TAL EXPANSION O CONTRACCION DE SUS ESPACIOS, AL IGUAL QUE UNA FLEXIBILIDAD PARA LOS CAMBIOS DE LOS PROCESOS OPERACIONALES.



## EL AEROPUERTO COMO INDUSTRIA.

—UNA INDUSTRIA FUNCIONA PORQUE LA ECONOMIA LO IMPULSA A TRANSFORMAR O PRODUCIR MATERIALES DE TAL MODO QUE SEAN BENEFICOS PARA EL CONSUMIDOR Y QUE RESULTE UNA GANANCIA DE LA TRANSACCION.

—DE IGUAL MODO, ES TAN CONSIDERADO EL PRECIO DE UN AVION QUE SE DESEA SACARLE EL MAYOR PROVECHO Y MANTENERLO LO MAS POSIBLE EN EL AIRE, REDITUANDO SU VALOR.

—ESTO REPERCUTE SOBRE EL SISTEMA OPERACIONAL (FLUIDEZ DE PISTA A RODAJES, A PLATAFORMA...), TIEMPOS MAXIMOS PERMISIBLES DE PROCESO DE PASAJEROS Y MALETAS (CANTIDAD DE OPERADORES NECESARIA Y DE AQUELLA SE DECANTA LA SUPERFICIE DE LOS LOCALES), FLUJOS CONVENIENTES (OPTIMIZACION DE LOS RECORRIDOS).

## AREA TERMINAL

## CONCEPTO Y ELEMENTOS:

Zona de transición entre el área pública y el área de operación, donde se encuentran e interactúan las actividades que permiten el proceso, control y seguridad de los pasajeros, equipaje, mercancías y aeronaves, y que consta fundamentalmente de los siguientes edificios:

## - PROCESO DE PASAJEROS:

- Edificio terminal comercial.
- Edificio terminal aviación general.
- Estacionamiento y vialidad.
- Concesiones - hangares, comisariato, hotel, etc.

## - EDIFICIOS DE APOYO A LA NAVEGACION Y SEGURIDAD:

- Torre de control.
- Radar.
- Centro de control.
- CREI.

## - ADMINISTRACION Y ESPECIALES.

- Terminal de carga.
- Medicina de aviación.

## - SERVICIOS E INFRAESTRUCTURA:

- Agua potable.
- Planta de tratamiento de aguas negras.
- Energía, subestaciones y casas de máquinas.
- Combustible.

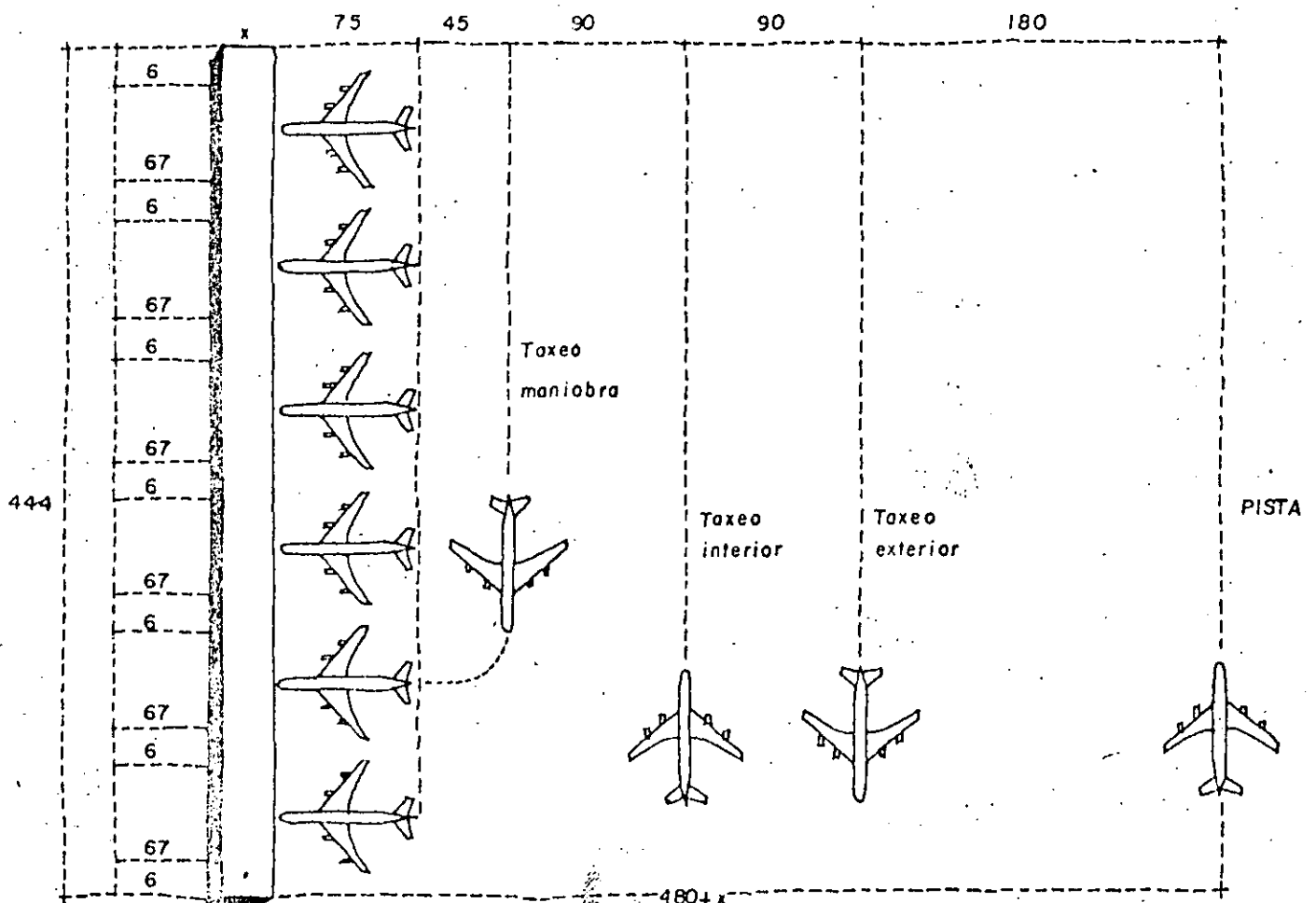
# CONCEPTO LINEAL

19

EL DESARROLLO DEL CONCEPTO LINEAL ES UNA EXTENSION DEL CONCEPTO MAS ANTIGUO Y SIMPLE: UN SOLO EDIFICIO QUE CONTIENE TODOS LOS SISTEMAS DE LA TERMINAL PUDIENDO APARCAR TODOS LOS AVIONES. TIENE UNA RELACION DIRECTA ENTRE LA RAMPA LINEAL FRONTAL Y LAS ACERAS Y UNA BUENA INTEGRACION DEL EDIFICIO TERMINAL CON LAS ACTIVIDADES DE ENTRADA-SALIDA.

—EN SU FORMA MAS SIMPLE, EL CONCEPTO LINEAL IMPLICA EL USO DE VARIAS TERMINALES PEQUEÑAS ORDENADAS LINEALMENTE, CONTENIENDO CADA UNA LOS NECESARIOS SISTEMAS PARA SU BUEN FUNCIONAMIENTO.

—DEBIDO A QUE EL MANEJO DE LOS PASAJEROS Y DEL EQUIPAJE SE REALIZA EN CADA SEGMENTO DEL ESQUEMA LINEAL, SE PUEDEN MINIMIZAR LAS AGLOMERACIONES, YA QUE CADA PASAJERO TIENE UN ESPACIO DIRECTAMENTE RELACIONADO CON EL AVION UTILIZADO.



# CONCEPTO DE MUELLE

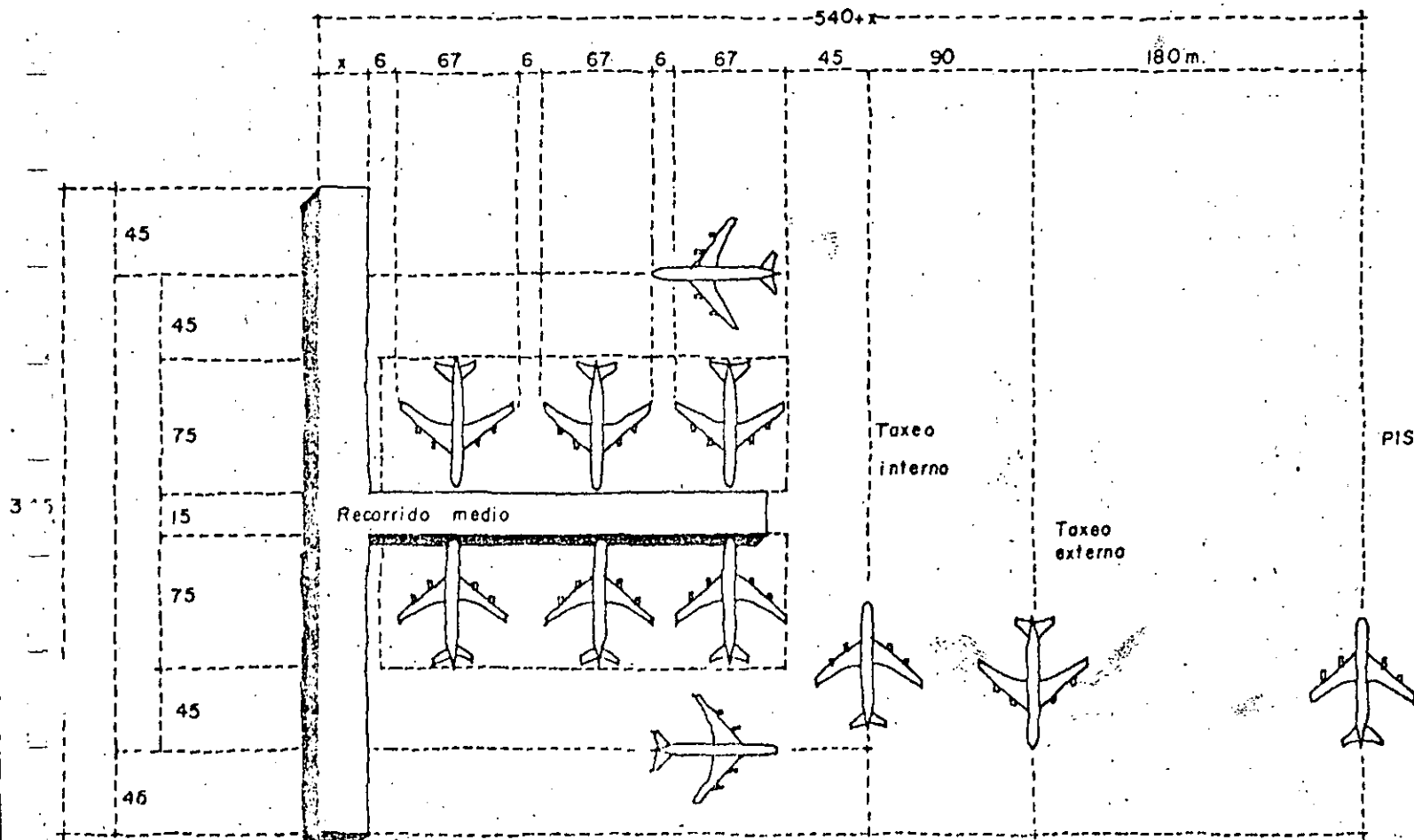
15

—SEGUN ESTE ESQUEMA LOS PASAJEROS PUEDEN SER ATENDIDOS Y PERMANECER EN VESTIBULÓS QUE SE ENCUENTREN AL LADO MISMO DEL AVION APARCADO A LO LARGO DEL EMBARCADERO.

—EL ESQUEMA, CUANDO SE APLICA UTILIZANDO DOS PISOS, OFRECE POSIBILIDADES DE SEPARAR LAS DIVERSAS FUNCIONES DE EMBARQUE Y DESEMBARQUE, COMO POR EJEMPLO LAS DIFERENTES ACERAS, MOSTRADORES, ENTREGA DE EQUIPAJES.

—SIN EMBARGO LA CONFIGURACION TIPO EMBARCADERO POSEE IMPORTANTES DESVENTAJAS CON RESPECTO A SU FLEXIBILIDAD. EN PRIMER LUGAR, TIENE UN LIMITE MAXIMO DE CRECIMIENTO EN CUANTO A LAS DISTANCIAS QUE TIENEN QUE ANDAR LOS PASAJEROS, A NO SER QUE SE MECANICE EL TRASLADO PARA PASAJEROS.

—LAS LIMITACIONES DE EXPANSION INHERENTES A LA CONFIGURACION DE TIPO EMBARCADERO, INCLUYEN TAMBIEN LAS AREAS DE PISTA Y LAS PISTAS DE ACCESO ENTRE LOS EMBARCADEROS QUE, AL SER FIJOS, NO PUEDEN AMPLIARSE PARA PERMITIR EL PASO DE AVIONES DE MAYOR TAMAÑO. TAMBIEN LAS ACERAS DE EMBARQUE Y DESEMBARQUE SOLO PUEDEN AMPLIARSE HASTA LA TERMINAL PRINCIPAL CON LA QUE ESTAN RELACIONADAS.



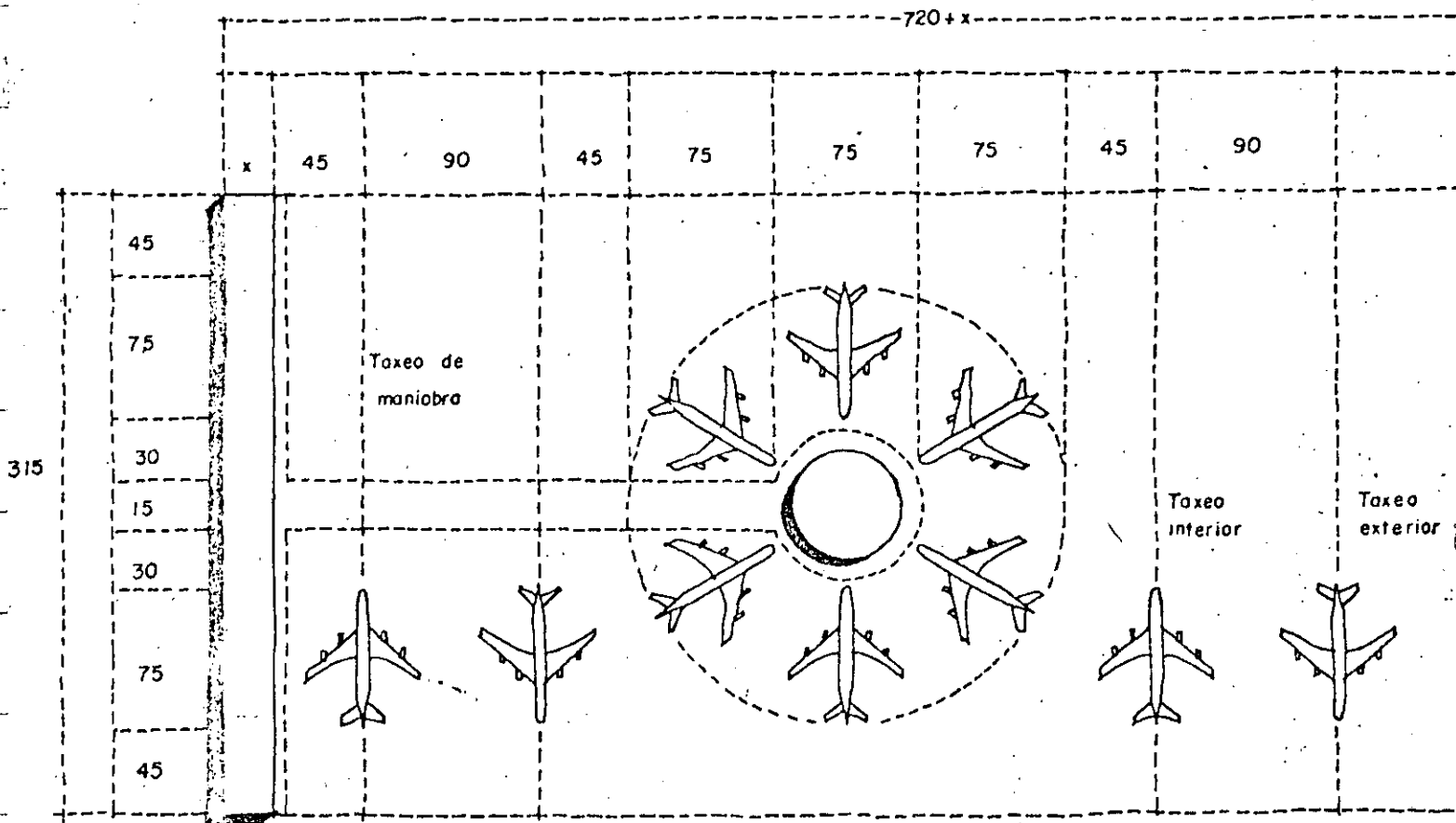


# CONCEPTO SATELITE

16

—EL CONCEPTO SATELITE, CONSISTE EN UN EDIFICIO RODEADO POR AERONAVES, QUE ESTA SEPARADO DE LA TERMINAL Y AL QUE GENERALMENTE SE LLEGA POR MEDIO DE PASILLOS, SUBTERRANEOS O POR PUENTES CONECTORES. LAS AERONAVES ESTAN NORMALMENTE ESTACIONADAS EN POSICIONES PARA LA SALIDA.

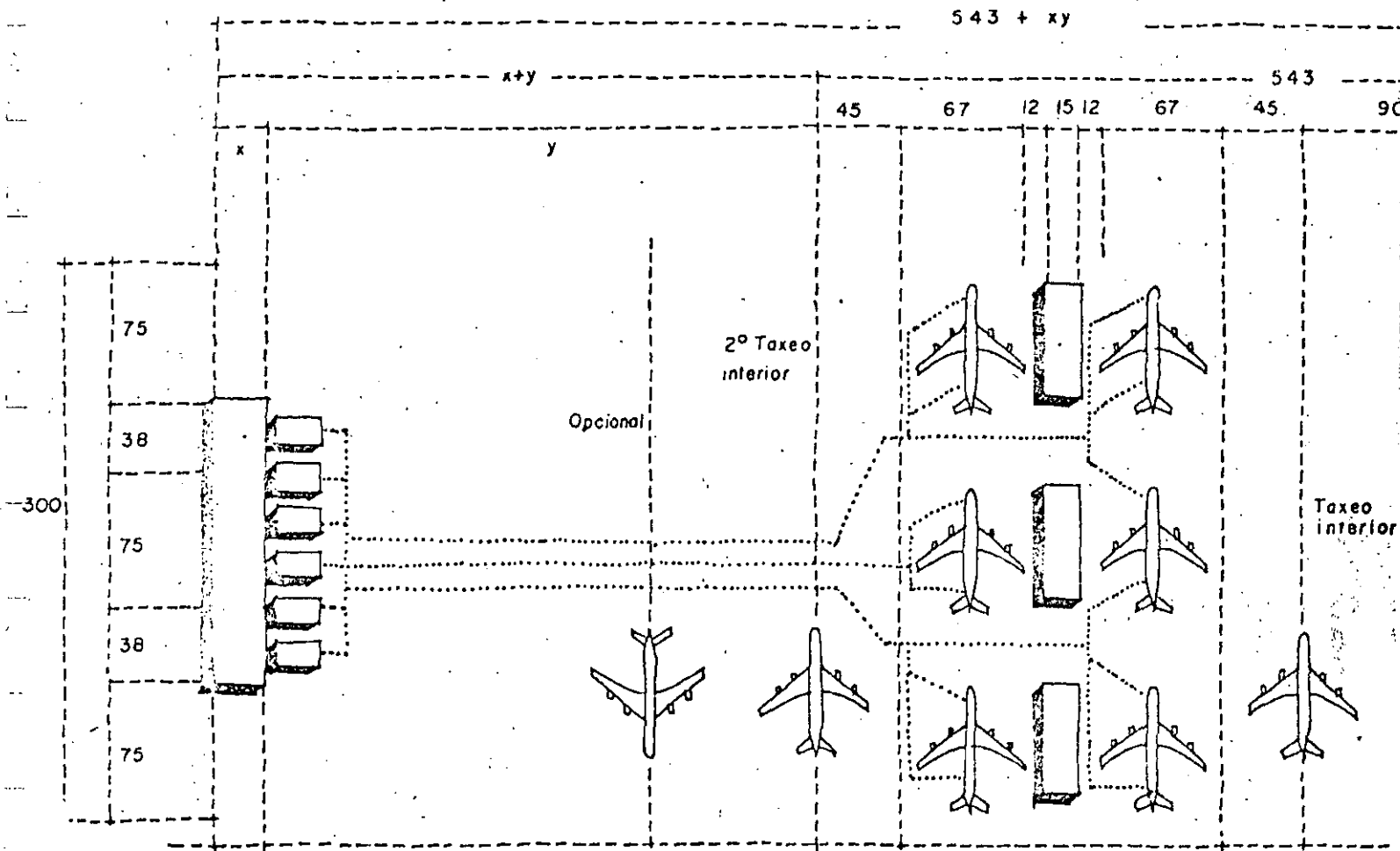
—EL INCONVENIENTE MAYOR RADICA EN LA DISTANCIA QUE EXISTE ENTRE LA TERMINAL Y EL SATELITE (LARGO DEL AVION), PROVOCANDO CAMINATAS EXCESIVAS O INTRODUCIR SISTEMAS MECANICOS COSTOSOS PARA ALIVIAR EL PROBLEMA.



# CONCEPTO TRANSPORTADOR

—LAS FUNCIONES DE LAS AERONAVES Y DEL SERVICIO A LAS MISMAS, ESTAN ALEJADAS DE LA TERMINAL. LA CONEXION DE LA TERMINAL ES PROPORCIONADA POR UN TRANSPORTE DE VEHICULOS PARA PASAJEROS QUE ABORDAN O DESCENDEN DE LAS AERONAVES.

—EL CONCEPTO ORIGINAL DEL TRANSPORTADOR TUVO LA VISION DEL USO DEL VEHICULO TRANSPORTADOR COMO SALA DE ULTIMA ESPERA. EN SITUACIONES DE GRAN ACTIVIDAD, PUEDE REQUERIRSE UN GRAN NUMERO DE VEHICULOS RESULTANDO DE POCA UTILIDAD, POR LA LENTITUD DE SU MANEJO. POR ESTA RAZON ES DE TOMARSE EN CONSIDERACION LA INCORPORACION DE AREAS DE ABORDAJE O SALONES PARA SALIDA EN EL ELEMENTO PRINCIPAL DE LA TERMINAL.

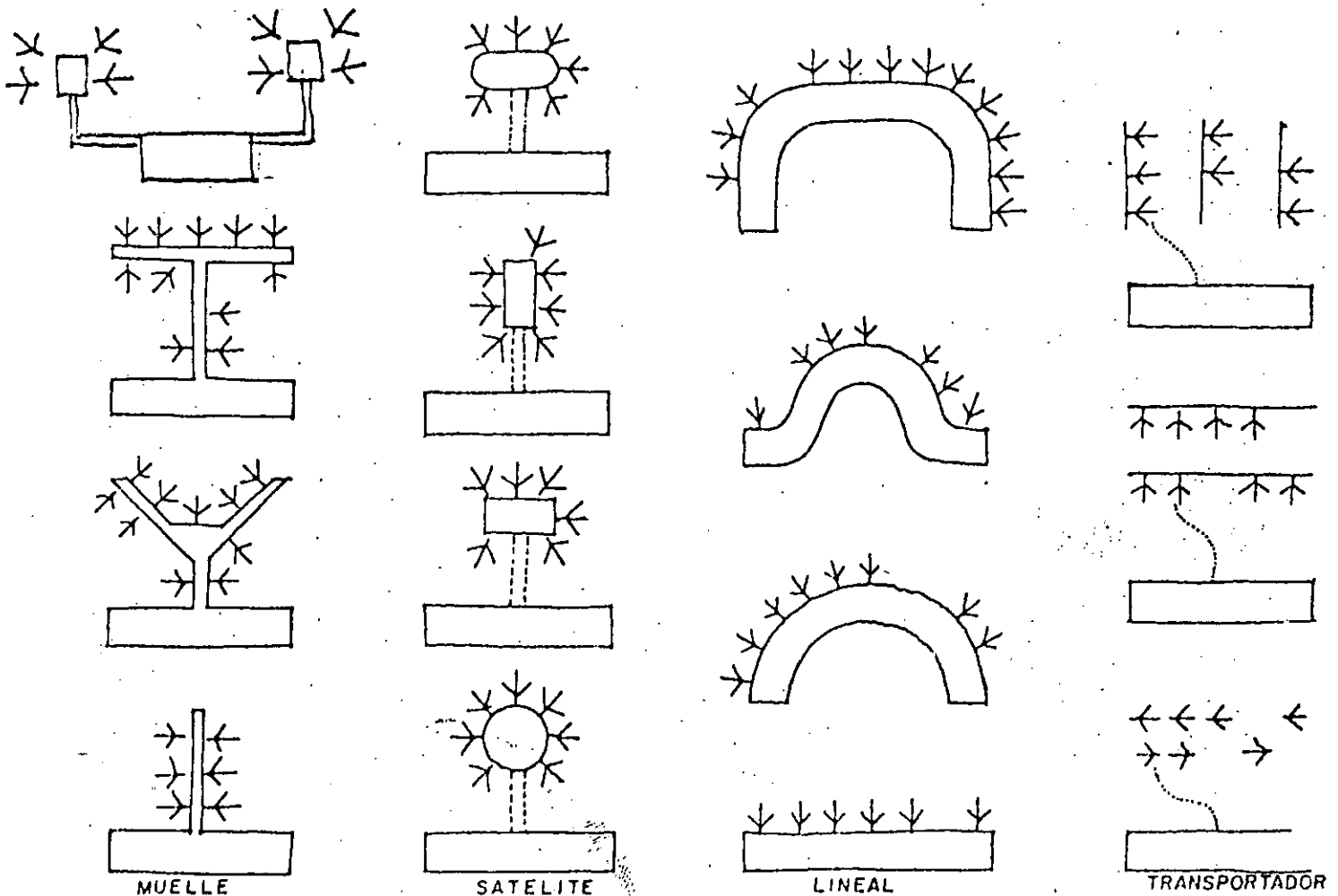


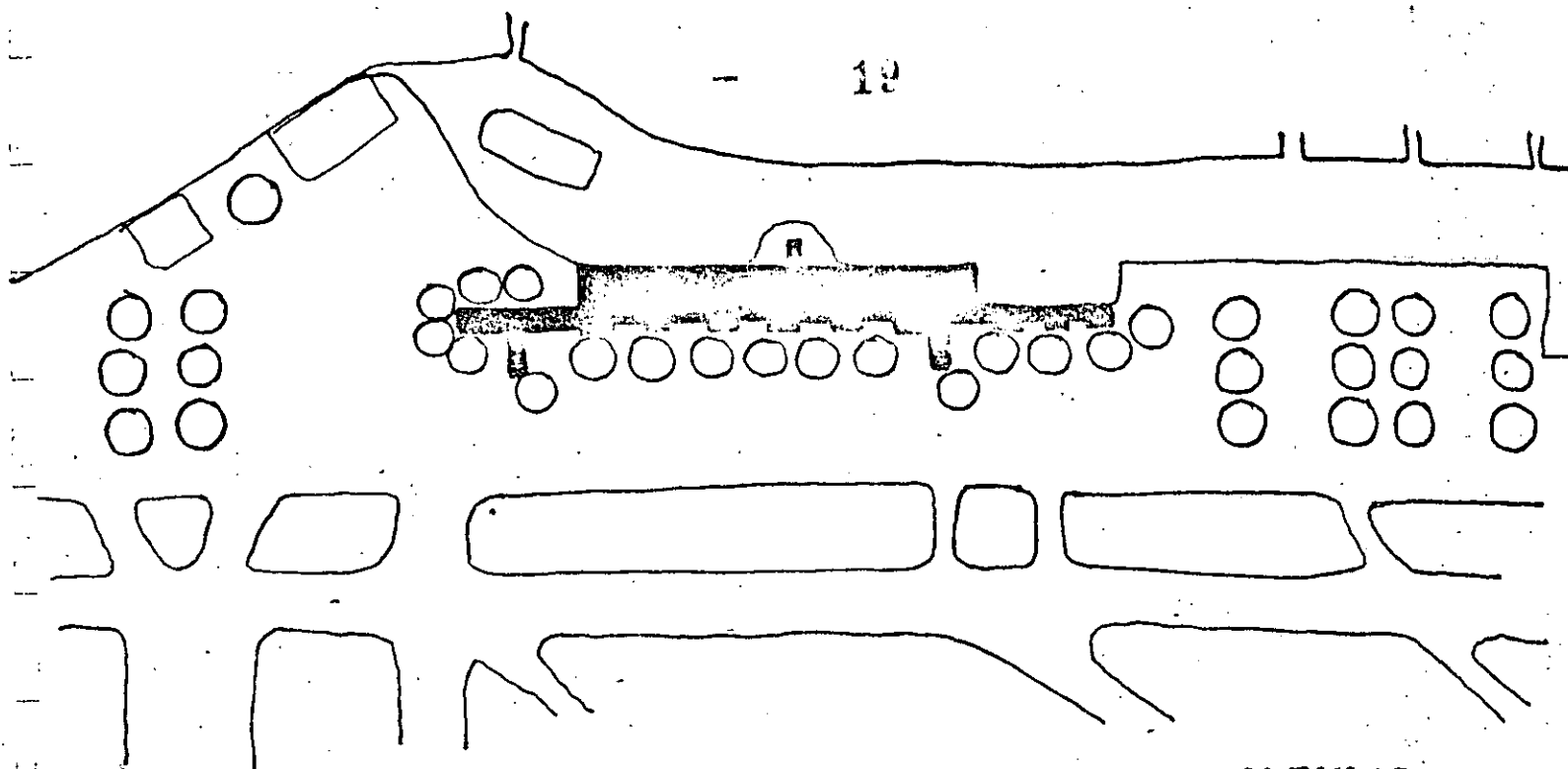
# COMBINACIONES DE CONCEPTOS Y VARIACIONES

—UN AEROPUERTO PUEDE TENER MUCHOS TIPOS DE ACTIVIDADES DE PASAJEROS, CADA UNA REQUIERE UN CONCEPTO QUE DIFIERE CONSIDERABLEMENTE DE LA OTRA.

—A LA LARGA EL TRAFICO AEREO AUMENTARA Y CAMBIARA, NECESITANDO MODIFICACION Y-O AMPLIACION DE LAS INSTALACIONES.

—EL CRECIMIENTO DEL TAMAÑO DE LAS AERONAVES O UNA NUEVA COMBINACION DE TIPOS DE AERONAVES DANDO SERVICIO AL MISMO AEROPUERTO, AFECTARAN EL TIPO DE CONCEPTO, DE LA MISMA MANERA LAS LIMITACIONES FISICAS DEL SITIO PUEDEN CAUZAR UNA FORMA PURAMENTE CONCEPTUAL DE MODIFICACION POR ADICIONES O COMBINACIONES DE OTROS CONCEPTOS.





**MEXICO**



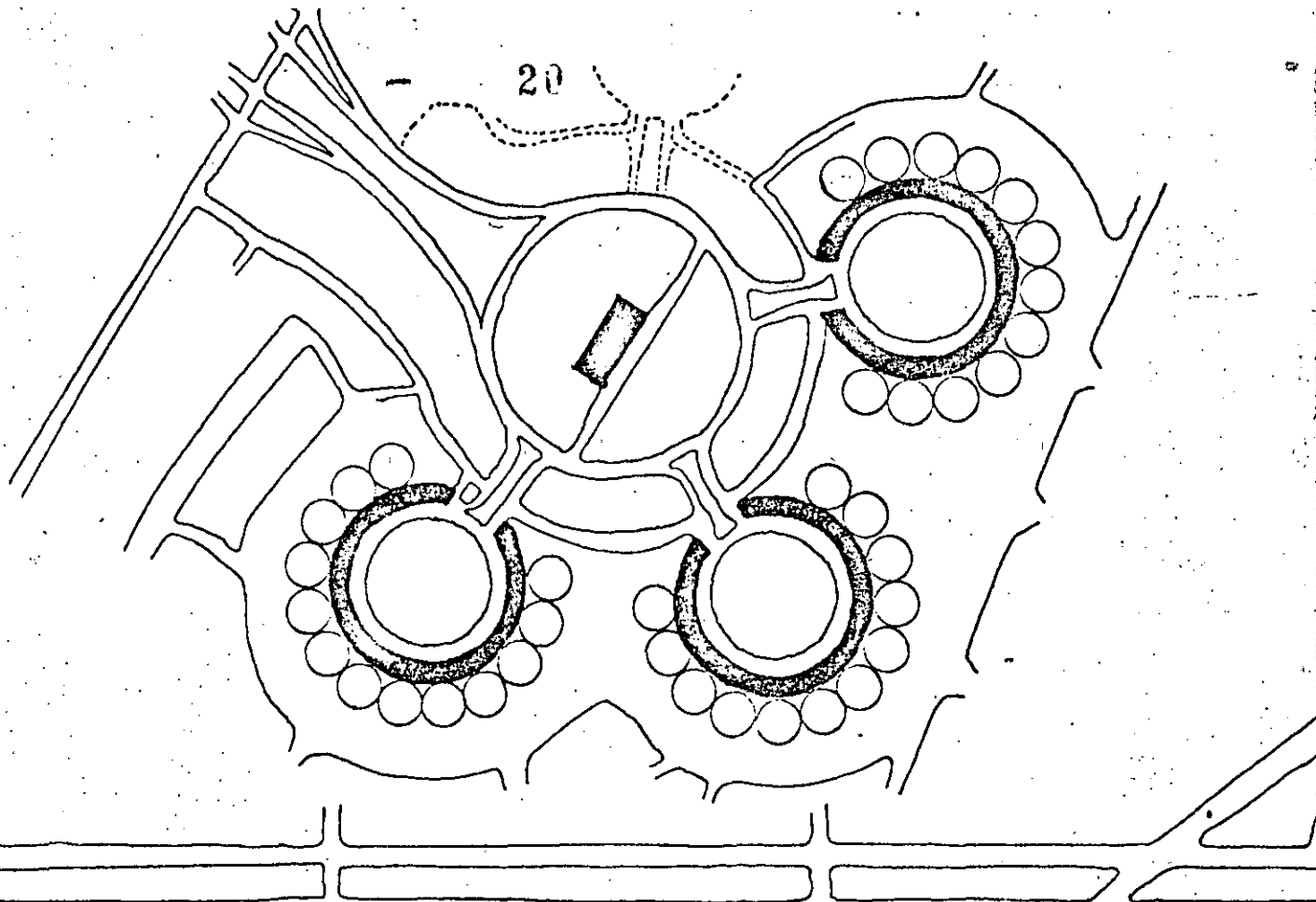
**RESUMEN DE EVALUACION**

**VENTAJAS**

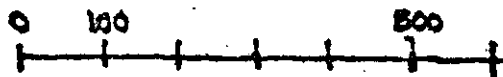
- 1- PEQUEÑA DISTANCIA DESDE LA BANQUETA O ESTACIONAMIENTO HASTA EL AVION.
- 2- ORIENTACION SENCILLA HASTA EL AVION O ESTACIONAMIENTO, DESDE LA TERMINAL.

**DESVENTAJAS**

- 1- DUPLICACION DE CONCESIONES, SEGURIDAD, MOSTRADORES DE BOLETAJE RECLAMO DE EQUIPO.
- 2- RELATIVA INFLEXIBILIDAD INTERNA Y EN CAMBIO DE POSICION DE AVION.
- 3- SECCION TRANSVERSAL DEMASIADO PEQUEÑA PARA CRECIMIENTO Y CAMBIOS.
- 4- NIVEL DE RAMPA PEQUEÑO PARA EL SERVICIO DE MANTENIMIENTO AL AVION.



## KANSAS - CITY



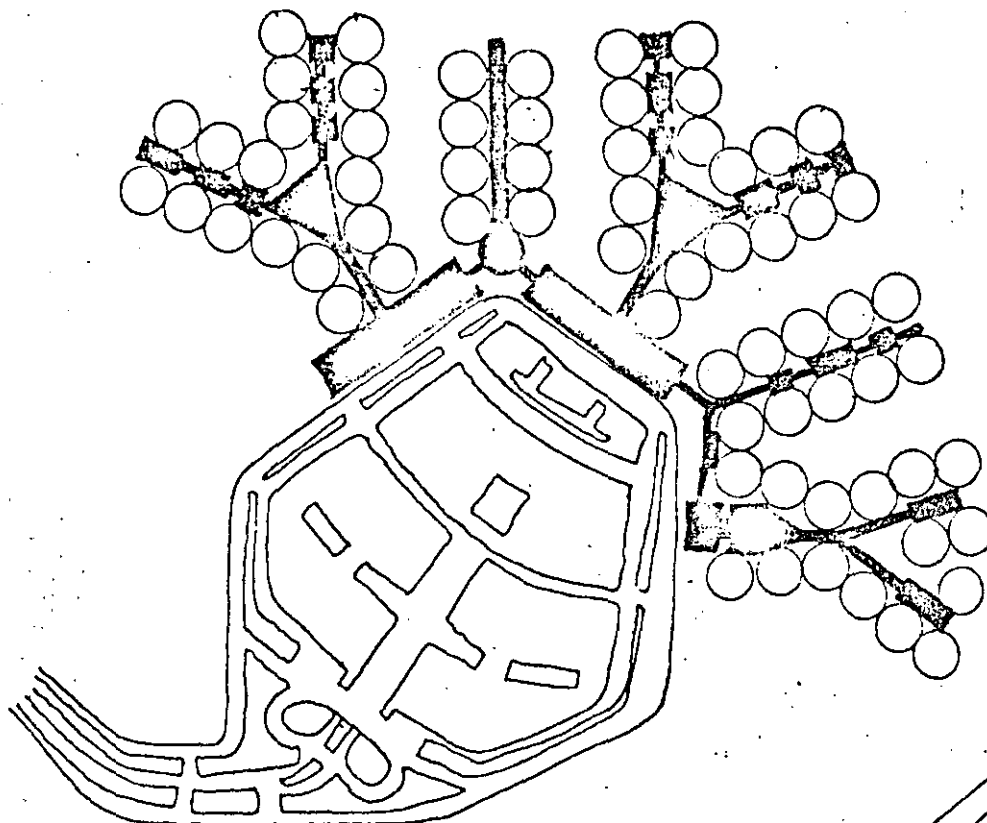
### RESUMEN DE EVALUACION

#### VENTAJAS

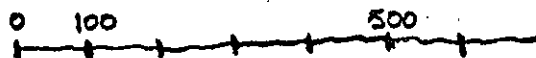
- 1- PEQUEÑA DISTANCIA DESDE LA BANQUETA O ESTACIONAMIENTO HASTA EL AVION.
- 2- ORIENTACION SENCILLA HASTA EL AVION O ESTACIONAMIENTO, DESDE LA TERMINAL.

#### DESVENTAJAS

- 1- LARGAS CAMINATAS O CIRCUITO DE TRANSPORTE PARA PASAJEROS EN TRANSITO.
- 2- DUPLICACION DE CONCESIONES, SEGURIDAD, MOSTRADORES DE BOLETAJE RECLAMO DE EQUIPO...
- 3- RELATIVA INFLEXIBILIDAD INTERNA Y EN CAMBIO DE POSICION DE AVION.
- 4- LA DISTRIBUCION AMPLIA DE LAS PUERTAS DE SALIDA HACE ESTE ESQUEMA INSATISFACTORIO PARA LLEGADAS INTERNACIONALES.
- 5- LOS PASAJEROS DEBEN CONOCER Y LUEGO ENCONTRAR SU AEROLINEA Y NUMERO DE VUELO MIENTRAS MANIOBRAN SU AUTOMOVIL; EN EL CASO DE TRAFICO PESADO, ESTO PUEDE SER NEFASTO.
- 6- SECCION TRANSVERSAL DEMASIADO PEQUEÑA PARA CRECIMIENTO Y CAMBIOS.
- 7- NIVEL DE RAMPA DEMASIADO PEQUEÑO PARA EL SERVICIO DE MANTENIMIENTO AL AVION.



## O' HARE



### RESUMEN DE EVALUACION.

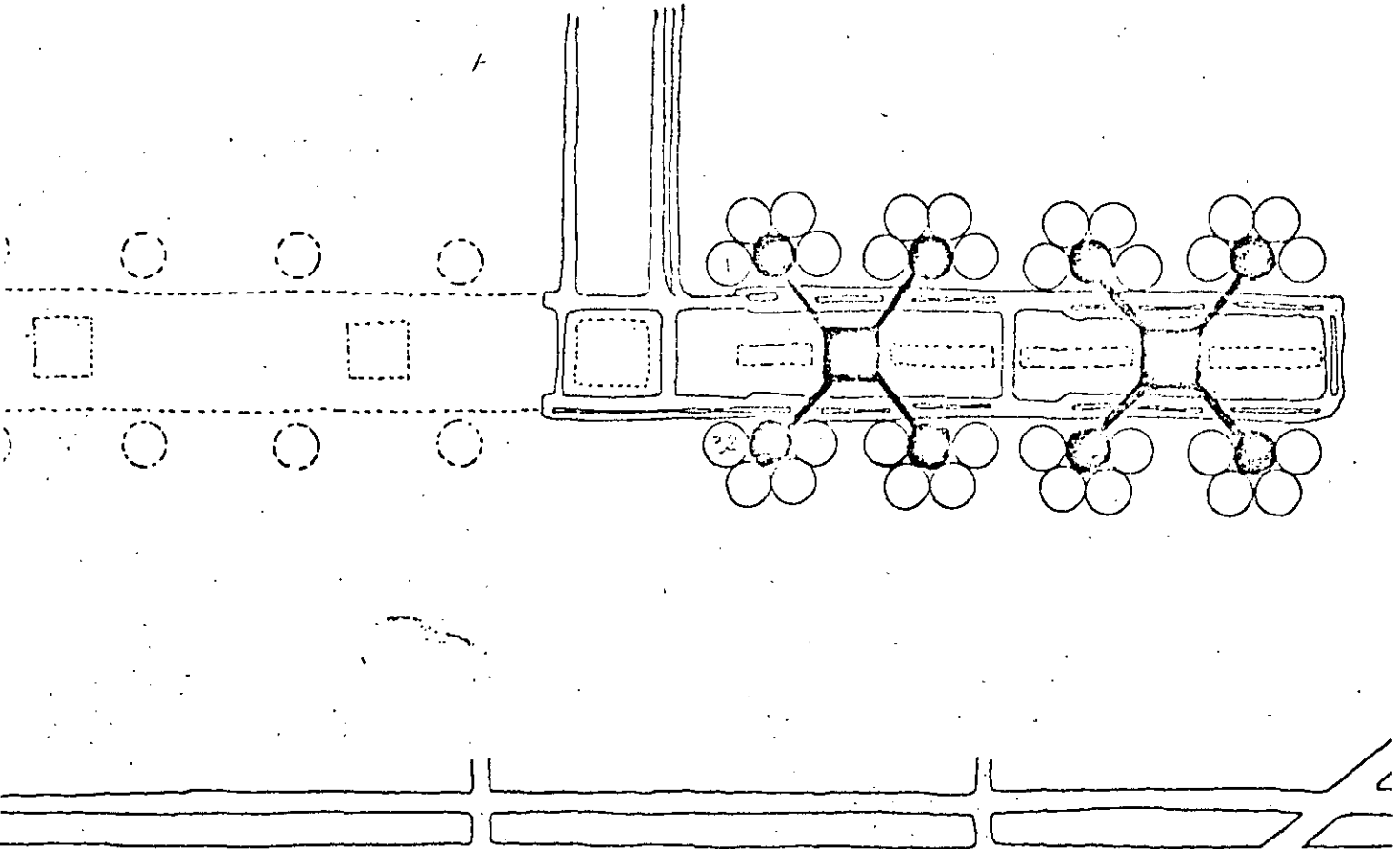
#### VENTAJAS

- 1- NO SE REQUIERE DE BANDAS TRANSPORTADORAS PARA PASAJEROS SOFISTICADAS PARA REALIZAR LAS FUNCIONES BASICAS.
- 2- SISTEMA DE ORIENTACION DE PASAJEROS RELATIVAMENTE SENCILLO.
- 3- GRADO ACEPTABLE DE FLEXIBILIDAD INTERNA.
- 4- SENCILLA Y ADECUADA ACERA PARA FACIL DESARROLLO.

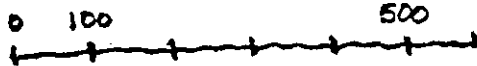
#### DESVENTAJA

- 1- DISTANCIA DE RECORRIDO LARGAS, ESPECIALMENTE PARA PASAJEROS EN TRANSITO.
- 2- EL ESPACIO ESTRECHO ENTRE LOS PASILLOS LIMITA EL USO DE PUERTAS ADJUNTAS PARA AVIONES GRANDES.
- 3- CRECIMIENTO DE LARGO ALCANCE REQUIERE LA COLOCACION DE BANDAS TRANSPORTADORAS PARA PASAJEROS POR LAS DEMASIADAS LARGAS DISTANCIAS A RECORRER.

22



HOUSTON



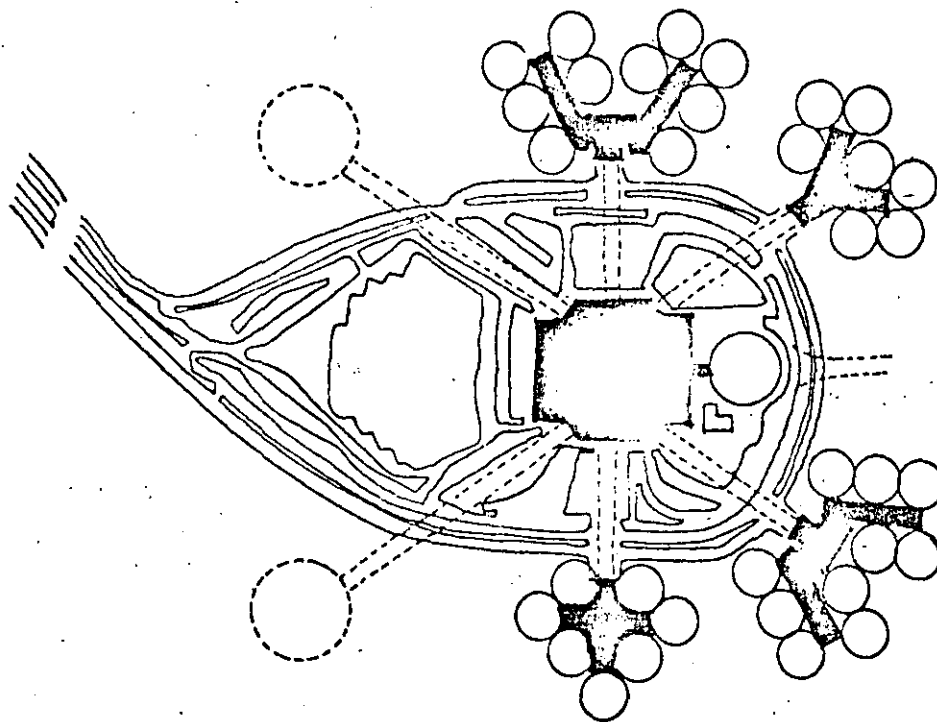
#### RESUMEN DE EVALUACION

##### VENTAJAS

- 1- DISTANCIA DE RECORRIDO PARA PASAJEROS RELATIVAMENTE PEQUEÑA.
- 2- NO DEPENDE DE BANDAS TRANSPORTADORAS DE PASAJEROS PARA LAS FUNCIONES BASICAS.
- 3- ESTACIONAMIENTO ADECUADO.

##### DESVENTAJAS

- 1- EL CRECIMIENTO DE LA UNIDAD TERMINAL ES COSTOSO PARA LA ADICION DE UN PEQUEÑO NUMERO DE PUERTAS DE SALIDA.
- 2- ESCASEZ DE LONGITUD DE BANQUETA.
- 3- LA ESTRUCTURA DEL ESTACIONAMIENTO Y RAMPA DE AUTOS CREA INFLEXIBILIDAD EN LA ESTRUCTURA DE LA TERMINAL DE PASAJEROS.
- 4- AREAS DE LAS POSICIONES EN PLATAFORMA PARA AVIONES GRANDES SON INADECUADAS E INFLEXIBLES. OCURRE UNA SATURACION EN LAS FUNCIONES A NIVEL DE RAMPA (PLATAFORMA).
- 5- TERMINAL Y PASILLOS COMPLETAMENTE CERRADOS DESORIENTAN AL PASAJERO EN CUANTO A DIRECCION O LOCALIZACION DEL AVION.
- 6- SISTEMA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS TECNICAMENTE DEFICIENTE.



# TAMPA



## RESUMEN DE EVALUACION

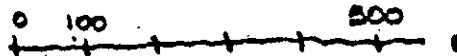
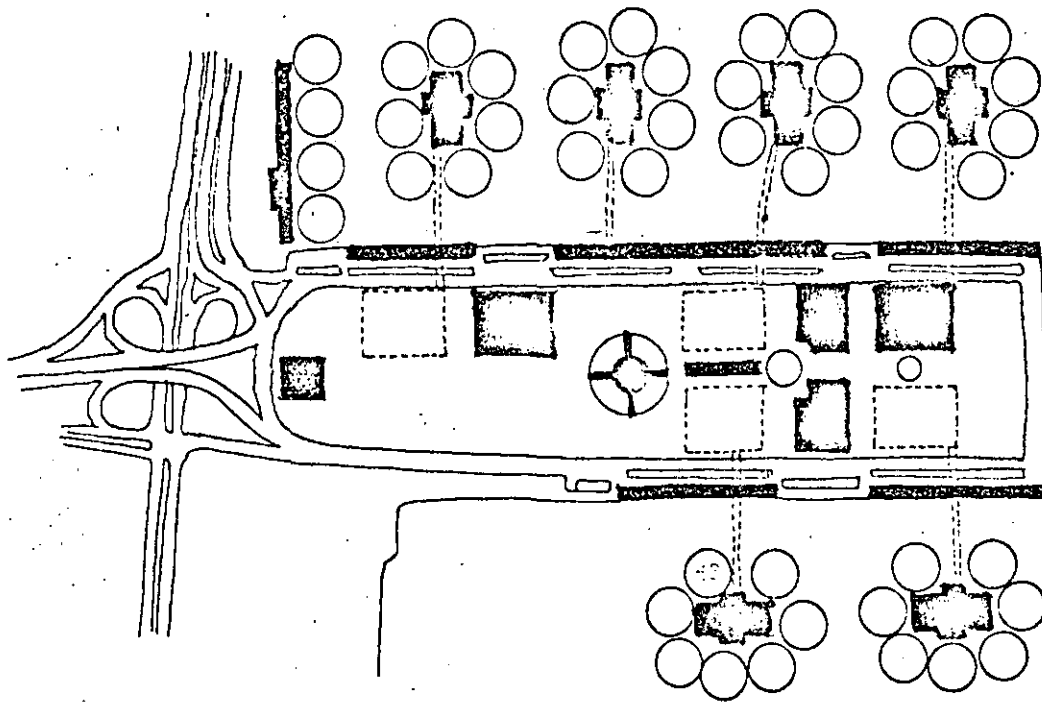
### VENTAJAS

- 1- DISTANCIA RECORRIDO-PSAJEROS RELATIVAMENTE CORTA.
- 2- ESTACIONAMIENTO BIEN UBICADO.
- 3- FACIL ORIENTACION PARA LOS PASAJEROS POR LO COMPACTO DE LA TERMINAL.
- 4- SENCILLEZ Y ECONOMIA EN LOS PROCESOS DE SEGURIDAD.
- 5- LA COMPACTACION PROVOCA SISTEMAS MECANICOS MAS EFICIENTES.

### DESVENTAJAS

- 1- LAS BANDAS TRANSPORTADORAS DE PASAJEROS SON OBLIGATORIAS, HACIENDO DEPENDER DE ELLAS LAS FUNCIONES BASICAS DEL AEROPUERTO.
- 2- FALTA DE ESPACIO DE BANQUETAS.
- 3- REQUIERE DE UNA EXTENSA CIRCULACION VERTICAL.
- 4- LA ESTRUCTURA DEL ESTACIONAMIENTO Y RAMPA DE AUTOS CREAN INFLEXIBILIDAD EN LA ESTRUCTURA DE LA TERMINAL DE PASAJEROS.





## LOS ANGELES

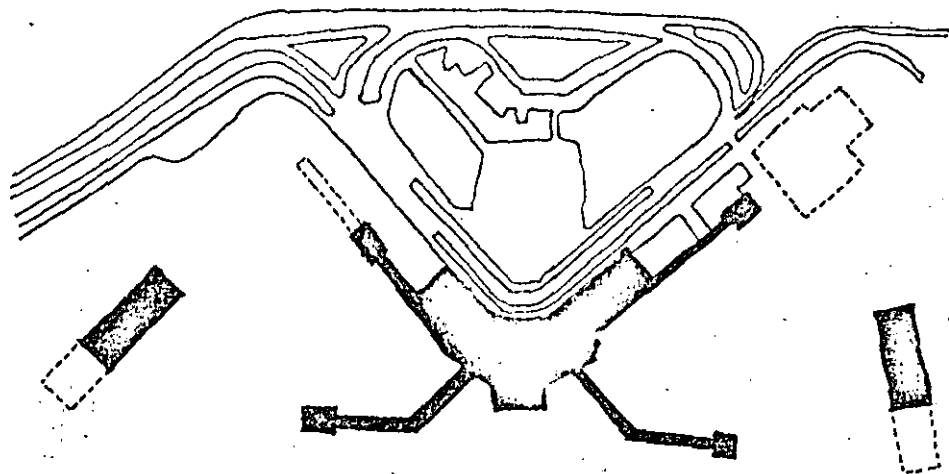
### RESUMEN DE EVALUACION

#### VENTAJAS

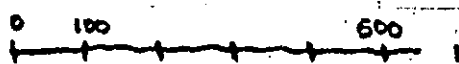
- 1- NO DEPENDE DE BANDAS TRANSFORMADORAS DE PASAJEROS PARA LAS FUNCIONES BASICAS.
- 2- ORIENTACION SENCILLA PARA PASAJEROS EN TRANSITO.
- 3- BUENA CIRCULACION PARA AERONAVES.

#### DESVENTAJAS

- 1- FLEXIBILIDAD LIMITADA POR CONSTRUCCIONES SUBTERRANEAS.
- 2- AREA DE LAS POSICIONES EN PLATAFORMA ES RELATIVAMENTE INFLEXIBLE Y DIFICIL DE AMPLIAR.
- 3- LOS PASAJEROS EN TRANSITO TIENDEN A USAR UN LENTO SISTEMA DE AUTOBUS.



**SEA - TAC**



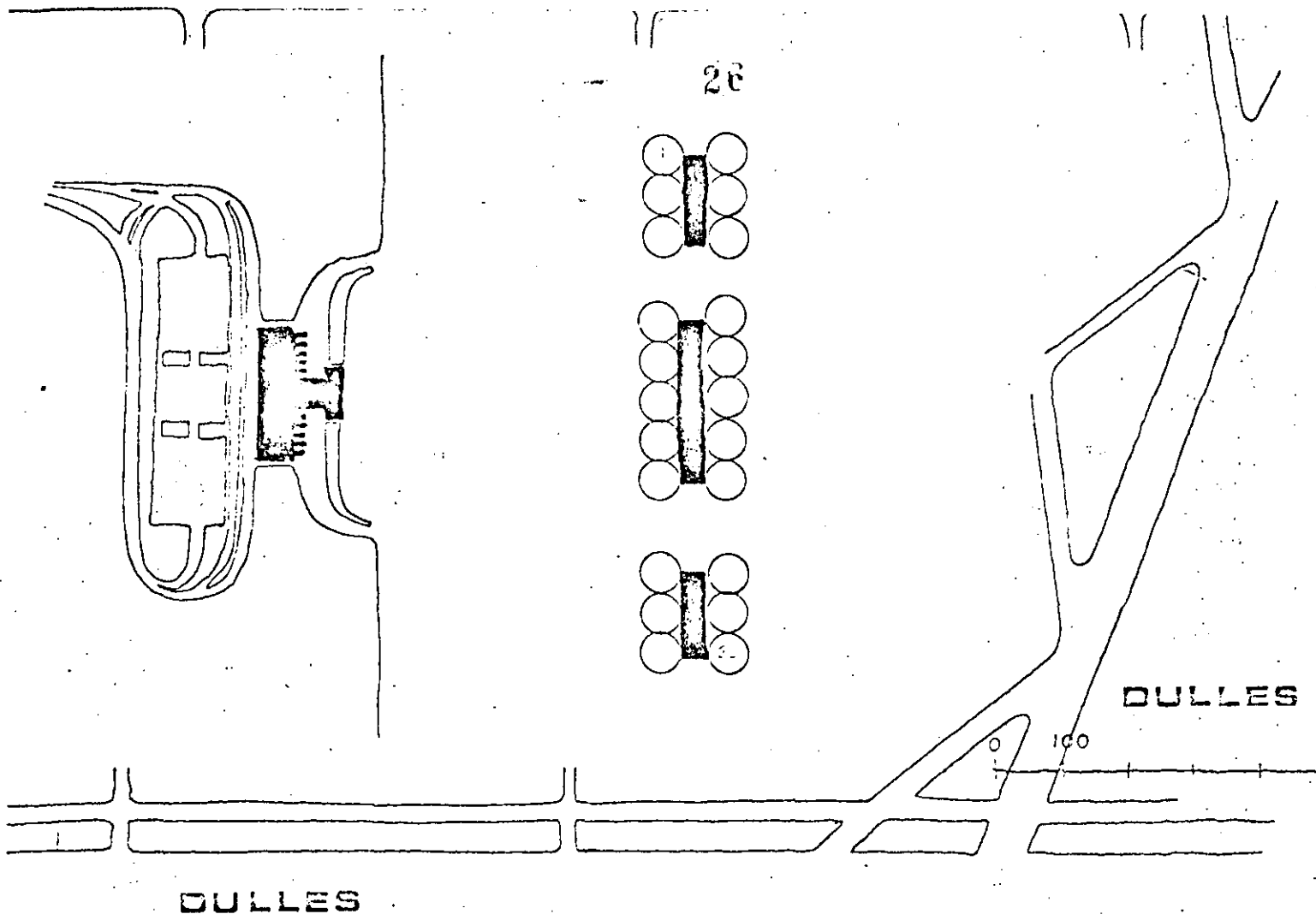
**RESUMEN DE EVALUACION**

**VENTAJAS**

- 1- ALGUNOS PASILLOS TIENEN LAS POSICIONES DE LAS PUERTAS DE SALIDA ADAPTADAS PARA VUELOS DE CONEXION Y VUELOS DE GRAN ALCANCE.
- 2- LONGITUD DE BANQUETA ADECUADA PARA ABORDAR.
- 3- ESTACIONAMIENTO BIEN UBICADO.
- 4- LOS PASILLOS NO NECESITAN DE BANDAS DE TRANSPORTE PARA FUNCIONAR.
- 5- GRADO DE FLEXIBILIDAD MUY ALTO.
- 6- BUENA UTILIZACION DE TERRENO EN CUANTO A AREAS DE ESTACIONAMIENTO Y RODAJE DE AVIONES.

**DESVENTAJAS**

- 1- AMPLIACION RESTRINGIDA POR TOPOGRAFIA Y DESARROLLO CIRCUNVECINO.
- 2- SE DEBEN UTILIZAR TRANSPORTADORES DE PERSONAS PARA LLEGAR A ALGUNAS PUERTAS DE SALIDA.
- 3- COMPLEJIDAD DE LA CIRCULACION INTERNA RESULTANTE DE LA MEZCLA Y DE LA EXTENSION DEL ESQUEMA.



**DULLES**

**RESUMEN DE EVALUACION:**

**VENTAJAS**

- 1- PEQUEÑA DISTANCIA DE RECORRIDO PARA PASAJEROS.
- 2- ORIENTACION DE LOS PASAJEROS A LA TERMINAL Y PROCESO SENCILLO.
- 3- EDIFICIO TERMINAL PEQUEÑO.
- 4- FLEXIBILIDAD EN SALIDA DE PLATAFORMA.

**DESVENTAJAS**

- 1- CAPITAL Y COSTO DE OPERACION DE SALAS MOVILES PUEDEN EXCEDER COSTO DE PASILLOS.
- 2- TRAFICO EN PLATAFORMA ES MAS COMPLEJO QUE NORMALMENTE.
- 3- LOS PASAJEROS PUEDEN SEGUIR VIENDO EL AVION EN PLATAFORMA CUANDO SU SALA MOVIL YA SE FUE, CREANDO UN PROBLEMA PSICOLOGICO.
- 4- LA NECESIDAD DE PASAJEROS EN TRANSITO RAPIDO, DIO ORIGEN A LA CONSTRUCCION DE PUERTAS DE SALIDA DE PASAJEROS EN TRANSITO SOBRE LA PLATAFORMA.
- 5- LA SALA MOVIL SE CONVIERTE EN SALA DE ULTIMA ESPERA. LOS PASAJEROS TRATAN DE ESPERARSE CON SUS VISITANTES Y CHECAR HASTA EL ULTIMO MINUTO, CREANDO CONGESTIONAMIENTO DONDE NORMALMENTE NO SE PRESENTARIA ESTA SITUACION. LA SALA MOVIL TAMBIEN CONGESTIONA EL AREA DE ESPERA GENERAL.

EDIFICIO TERMINAL

ACTIVIDADES:

- SALIDA:

- . Estacionamiento.
- . Documentación.
- . DUE.
- . ERPE.
- . SUE.
- . Avión.

- LLEGADA INT. (PROCESO MAS COMPLICADO):

- . Avión.
- . Sanidad.
- . Migración.
- . Recepción equipaje.
- . Aduana.
- . Espera visitante.
- . Estacionamiento.

- COMPLEMENTARIAS PUBLICO:

- . Compra artículos.
- . Información.
- . Alimentos.
- . Comunicación.
- . Espera.

- COMPLEMENTARIAS OPERACION:

- . Autoridades.
- . Administración y mantenimiento.
- . Compañías.

CONCEPTOS BASICOS DE FUNCIONAMIENTO:

- Definición de funcionamiento - forma de vida.
- Flujo.
- Esterilidad - esterilidad zona operación.
- Punto negro.
- Filtro y exclusas.
- Proceso lineal.
- Proceso transversal-pasajeros en tránsito.
- Esquemas generales De zonificación.
- Hora pico.
- Proceso pasajeros; Por goteo, por chorro.
  - Proceso lineal - Posiciones en contacto.
    - Posiciones remotas.
  - Proceso sobrepuesto
    - Posiciones en contacto.
    - Posiciones remotas.

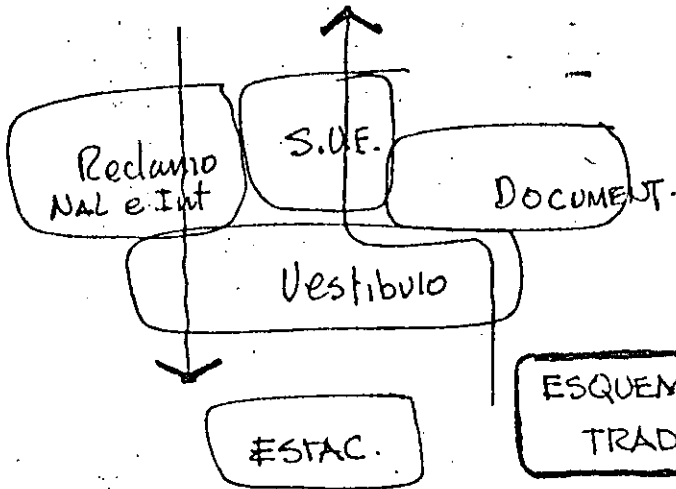
ASPECTOS PSICOLÓGICOS:

- Percepción:
  - Señalamientos.
  - Continuidad del espacio.
  - Lectura de símbolos arquitectónicos.
- Comportamiento de los usuarios en el interior del edificio:
  - Territorialidad y seguridad.
  - Privacidad.
  - Límites espaciales físicos y virtuales.
- Problemas:
  - Hacinamiento.
  - Confusión - inseguridad.
  - Pérdida del nivel de percepción.

PLATAF.

# ZONIFICACION. Y FLUJOS.

29

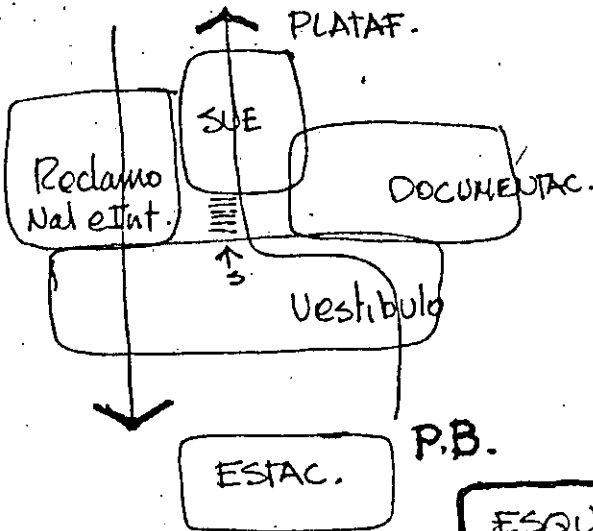


1-PROCESO LINEAL.

ZIH.-LAP

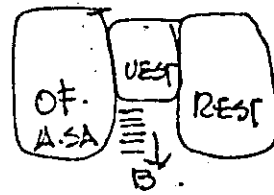
1 NIVEL - PLATAFORMA ABIERTA.

1 A 3 POSIC-SIMULT



P.B.

ESQUEMA TRADICIONAL



P.A.

MID-MZT

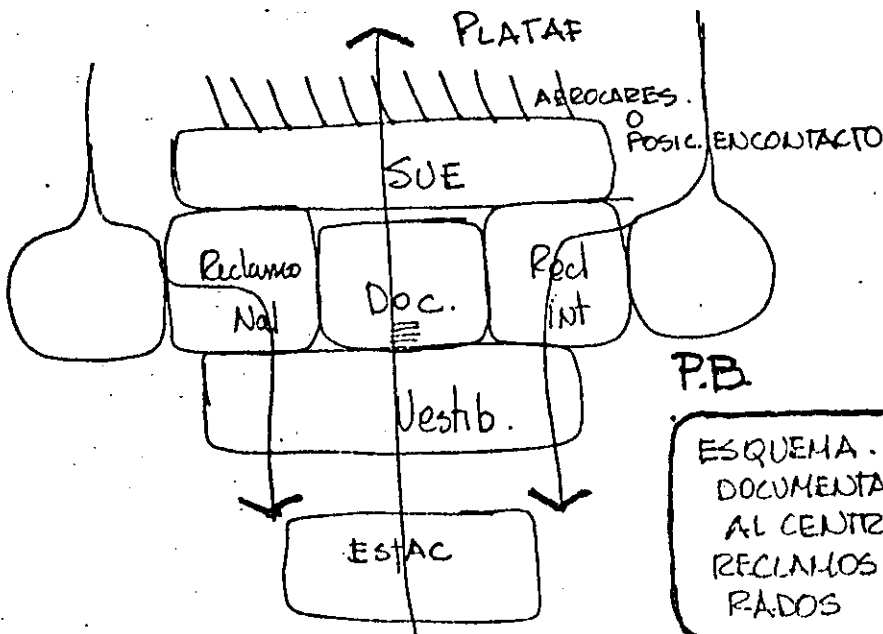
- PLATAF. ABIERTA

2 NIVELES - LINEAL.

- MUELLE

3 A 10 POSIC-SIMULT.

ENCANTO.



P.B.

ESQUEMA DOCUMENTACION AL CENTRO RECLAMOS SEPARADOS

CUN - MUELLE-SAT.

GDL - TRANSP.

MEX - LINEAL.



P.A.

- SATELITE

2 NIVELES - PLATAF.

ABIERTA

REMOTA

- MUELLE.

+ DE 6 POSICIONES

REMOTAS.

+ DE 10 ENCANTO

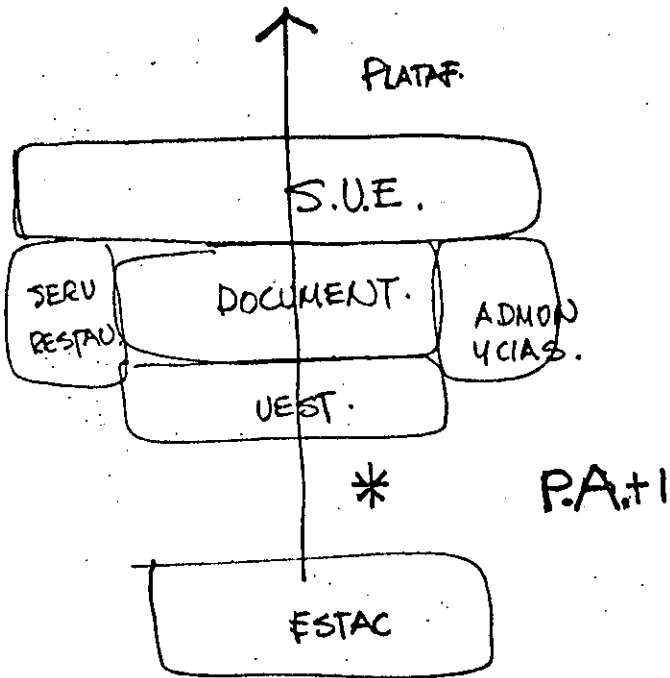
SATELITE

TRANSPORTADOR.

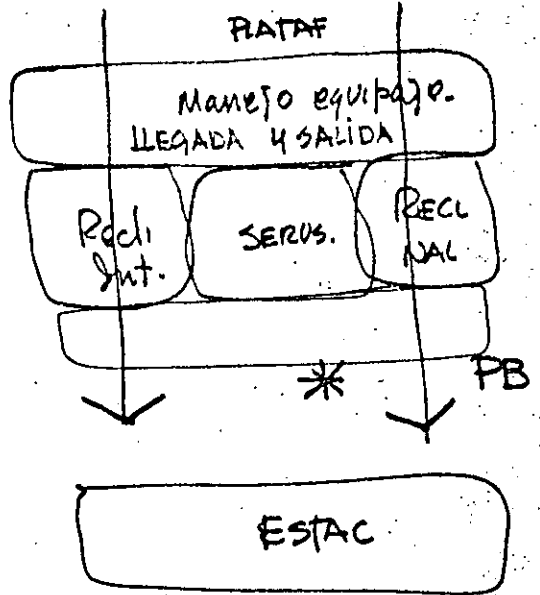
MUELLE

# ZONIFICACION Y FLUJOS

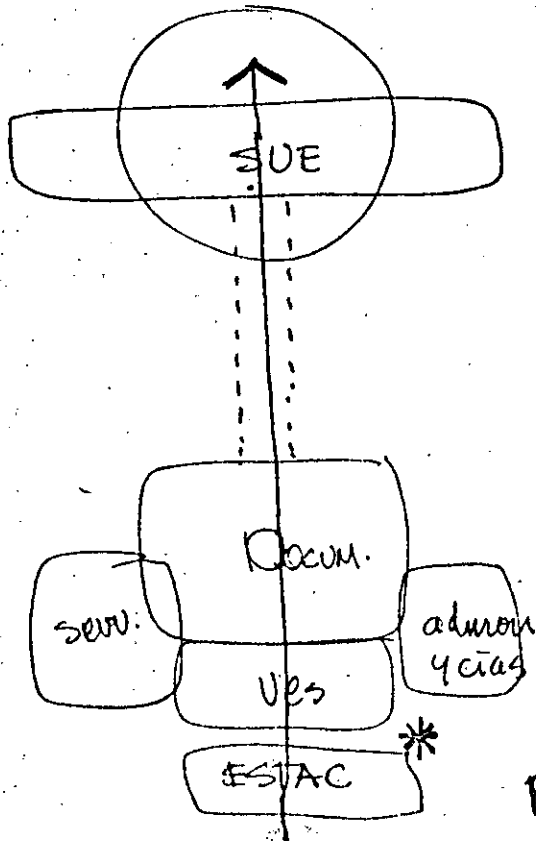
## 2- PROCESO SOBREPUESTO



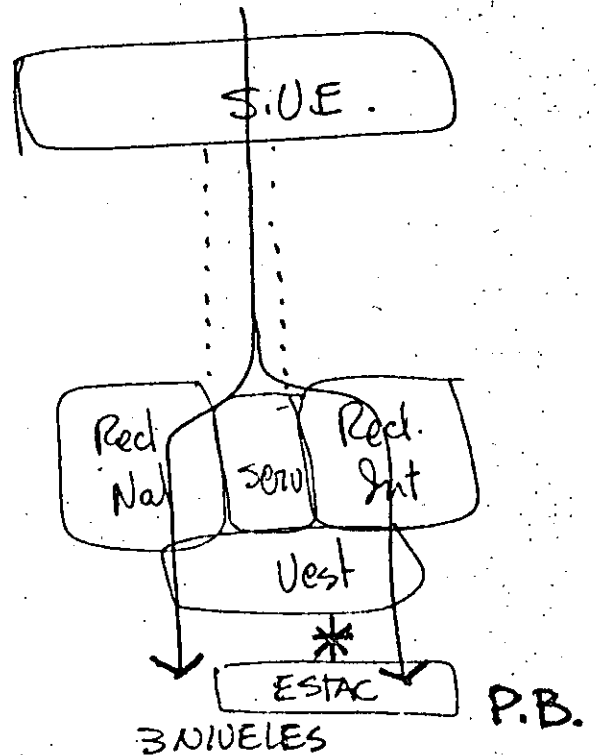
\* ACCESO ANIVEL SUPERIOR  
- LLEGADA ANIVEL INFERIOR



3 NIVELES - LINEAL  
MINIMO. MUELLE.  
+ DE 10 POSIC EN CONTACTO



P.A.



3 NIVELES  
MINIMO - SATELITE (10MAS)

+ DE 10 POSIC EN CONTACTO  
ROSSY-CHARLES DE GAULLE.

# PROGRAMA

31

—DEBIDO A LA EXTENSION Y COMPLEJIDAD DEL PROGRAMA ARQUITECTONICO DE LA TERMINAL DE PASAJEROS, SE OPTO POR SIMPLIFICARLO EXPONIENDO SOLO LOS ASPECTOS MAS IMPORTANTES DEL MISMO.

## SALIDA

### VESTIBULO

- ACCESO PEATONAL AL EDIFICIO
- SERVICIO DE INFORMACION Y AMBULATORIO
- GUARDADO DE EQUIPAJE

### PROCESO DE REGISTRO DE EQUIPAJE Y DOCUMENTACION

- NUMERO DE AGENTES
- SUPERFICIE DE REGISTRO Y DOCUMENTACION
- SUPERFICIE DE COLA
- LONGITUD DE COLA
- LONGITUD DE DOCUMENTACION
- LONGITUD DE MOSTRADORES
- AREA DE AMBULATORIO

### MANEJO DE EQUIPAJE

- AREA DE MANEJO DE EQUIPAJE
- NUMERO DE BANDAS
- OFICINA DE CONTROL
- ANDEN DE CARGA
- BAÑOS Y VESTIDORES EMPLEADOS

### OFICINAS DE COMPAÑIAS DE AVIACION

- AREA DE OFICINAS, VENTA DE BOLETOS,  
APOYO A LA DOCUMENTACION

### SALA GENERAL DE SALIDA.

- D.U.A.
- E.R.P.E.
- INFORMACION
- AREA SALA DE ESPERA GENERAL
- BAÑOS DE ESPERA GENERAL
- AREA DE CONCESIONES MENORES
- 1—INFORMACION
- 2—RESERVACIONES
- 3—DIRECTORIOS

### SALA DE MIGRACION Y SEGURIDAD

- NUMERO DE FILTROS
- AREA DE SALA

### SALA DE EMBARQUE

- SALA DE ESPERA
- SANITARIOS PARA HOMBRES Y MUJERES



## LLEGADA

### SALA DE SANIDAD Y MIGRACION

- ANDEN DE ARRIBO
- No. DE FILTROS
- AREA DE OFICINAS

32

### RECLAMO DE EQUIPAJE

- No. DE CARRUSELES
- AREA DE SALA
- BAÑOS

### REVISION ADUANAL

- No. DE MESAS
- AREA DE OFICINAS
- RETENCION DE EQUIPAJE
- MALETAS PERDIDAS
- VIGILANCIA Y SEGURIDAD

### SALA DE BIENVENIDA

- AREA DE SALA
- OFICINAS DE TURISMO
- RESERVACIONES
- RENTA DE AUTOS, HOTELES, TRANSPORTE COLECTIVO, TAXIS
- AMBULATORIO Y ANDEN DE SALIDA

### MANEJO EXTERIOR DE EQUIPAJE

- AREA DE MANEJO DE EQUIPAJE
- No. DE BANDAS
- OFICINA DE CONTROL
- ANDEN DE DESCARGA
- BAÑOS Y VESTIDORES EMPLEADOS

### SALA VIP (PERSONAS IMPORTANTES) O SALON OFICIAL

- VESTIBULO DE ACCESO
- PEQUEÑO AUDITORIO
- SALA DE DESCANSO CON CAFETERIA
- SANITARIOS
- ESCALERAS DE SERVICIO

## SERVICIOS

### COMUNICACION EMPLEADOS Y ABASTECIMIENTO.

- VIAS DE SERVICIO DE DOBLE CIRCULACION
- ANDEN DE CARGA Y DESCARGA, PATIO DE MANIOBRAS
- ESTACIONAMIENTOS PARA EMPLEADOS CON CIRCULACIONES INTERNAS
- ESCALERAS DE SERVICIO
- ZONA DE ESPERA Y PARADA DE AUTORBUS DE PERSONAL
- ACCESO, VESTIBULO Y COMUNICACION POR ASCENSORES

## ADMINISTRACION

33

### —ZONA ADMINISTRATIVA

- INFORMACION
- CIRCULACION

—OFICINA DE SECRETARIA DE HACIENDA

—OFICINA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA

—OFICINA SRIA. DE GOBERNACION

—OFICINA DE COMUNICACION Y TRANSPORTE

—OFICINA DE LA PROCURADURIA GENERAL

—OFICINA DE LA SRIA. DE

—OFICINA DE AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES

—OFICINA DE COMPUTACION Y SISTEMA DE SONIDO

### —SERVICIOS

—BAÑOS HOMBRES Y MUJERES

—ESCALERAS DE SERVICIO

—ZONA DE ELEVADORES Y VESTIBULO DE ACCESO

### SERVICIOS GENERALES

—TALLERES DE MANTENIMIENTO

—BODEGAS DE ALIMENTOS

—RECEPCION Y CONTROL

—ADMINISTRACION Y CONTROL DE CALIDAD

—BODEGA DE LEGUMBRES Y FRUTAS

—BODEGAS DE REFRESCOS Y VINOS

—BODEGAS DE LATAS Y DERIVADOS

—FRIGORIFICO

—MONTACARGAS Y DUCTO DE ALIMENTOS

—DEPARTAMENTO DE BLANCOS Y DUCTO

—DUCTO DE BASURA

—MAQUINAS DE COMPUTACION

—SUB-ESTACION ELECTRICA

—CUARTOS DE MAQUINAS

—BAÑOS GENERALES

### SERVICIOS ESPECIALES.

#### PRIMEROS AUXILIOS.

—RECEPCION

—SALA DE ESPERA

—PRIMEROS AUXILIOS Y CONSULTORIO

—ZONA PARA AMBULANCIA

—ANDEN DE EMERGENCIA

—RECEPCION DE EMERGENCIA

—SALA DE OPERACION DE EMERGENCIAS

### SEGURIDAD

—DEPARTAMENTO DE PERDIDAS O ROBOS

—JEFE DE SEGURIDAD

—DEPARTAMENTO DE CONFISCACION DE DROGAS Y CONTRABANDO

—CELDA

—PERRERA

## CONCEPTOS ESPACIALES.

- ESPACIO CONCATENADO - Separado por filtros o controles:
  - . Límites físicos determinantes, muros.
  - . Permite esterilización.
  - . Permite apreciar niveles de hacinamiento.
  - . Indicado por flujo de proceso.
  
- ESPACIO FLUIDO - Publico - Acompañante:
  - . Límites virtuales, dados por señalamiento, cambios de material en piso.
  - . Normalmente vacío al centro.
  - . Permite orientación.
  
- ESPACIO MOVIL - Control de pasajeros:
  - . Permite flexibilidad del sistema.
  - . Dado por elementos móviles, mamparas, vegetación, elementos fijos o semifijos.

DESARROLLO Y CRECIMIENTO EDIFICIO TERMINAL.

ORGANIZACION DEL ESPACIO.

DESARROLLO VERTICAL.

- PROGRAMA ARQUITECTONICO EN 1 NIVEL: 1 a 5 posiciones en plataforma.
- PROGRAMA ARQUITECTONICO EN 2 NIVELES: 3 a 10 posiciones en plataforma.
- PROGRAMA ARQUITECTONICO EN 3 O MAS NIVELES: Más de 10 posiciones en plataforma.

ORGANIZACION DEL ESPACIO.

DESARROLLO HORIZONTAL

- PROGRAMA ARQUITECTONICO EN 1 NIVEL: 1 a 5 posiciones en plataforma.
- PROCESO DE PASAJEROS EN PLANTA BAJA y ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS EN PLANTA ALTA O SOTANO: 3 a 10 posiciones en plataforma.
- PROCESO DE PASAJEROS EN PLANTA ALTA Y PLANTA BAJA Y ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS EN TERCER Y CUARTO NIVEL Y SOTANO: Más de 10 posiciones en plataforma.

## NORMATIVIDAD:

## - Normatividad y Criterios de Diseño:

## - Fuentes de información:

- . Bibliográfica.
- . De campo.
- . Experiencia

## - Integración de una norma:

- . Que es una norma.
- . Normatividad general. - anteproyecto
- . Normatividad particular-
- . Graficación de uso del espacio por tiempo de ocupación y tipo de ocupantes.
- . Mínimos, máximos y promedio.

## NORMATIVIDAD PROMEDIO EN AREAS GENERALES:

## EDIFICIOS-AREA TERMINAL:

## - Plataforma:

- . Aviación comercial 8200 m<sup>2</sup>X posición
- . Aviación general 1100 m<sup>2</sup>X posición
- . Carga 12000 m<sup>2</sup>X posición

## - Edificio terminal de pasajeros:

- . Aviación comercial 14.00m<sup>2</sup>/pax.hora crítica
- . Aviación general a 12.00m<sup>2</sup>/pax.hora crítica
- . Aviación general S a 10.00m<sup>2</sup>/pax.hora crítica

## - Estacionamiento para automóviles:

- . Aviación comercial 30m<sup>2</sup>/auto. 1cajon P.H.C.
- . Aviación general 30m<sup>2</sup>/auto. 1.5cajon P.H.C.
- . Vehículos oficiales 30m<sup>2</sup>/auto.
- . Vehículos en renta incluye admon. y mantenimiento 40m<sup>2</sup>/auto.
- . Vehículos de trans portación terrestre 50m<sup>2</sup>/auto.
- . Vehículos de empleados incluye circulaciones 30m<sup>2</sup>/auto.

## NORMATIVIDAD POR AREA.

## SALIDA:

## DOCUMENTACION TRADICIONAL CON O SIN APOYO DE BANDA:

- Longitud de mostrador: 6ML.X100 Pax./hr.pico.
- Longitud de cola: 10.5ml.+3ml. de circulación de acceso.
- Cantidad de Colas: 3.
- Mostrador de informes: 1.
- Oficina de apoyo: 9m<sup>2</sup> X100 pax./hr.pico.
- Area agentes: 17m<sup>2</sup>
- Número de agentes: 6
- Número de básculas: 4

## SELECCION DE EQUIPAJE:

- Número de contenedores: 4 simultaneos.
- Longitud de carga (banda): 12 ML.
- Superficie mínima de manejo de equipaje: 80 m<sup>2</sup>.

## DOCUMENTACION TIPO MOSTRADOR LIBRE "TICKETING".

- Longitud de mostrador: 30ML.X1000 pax./hr.pico.
- Longitud de cola: 15.4ml.+8ml. de circulación de acceso.
- Cantidad de colas: 20
- Mostrador informes: 5
- Oficina de apoyo: En zona administrativa no se considera área.
- Area de agentes: 40m<sup>2</sup>
- Número de agentes: 24.
- Número de básculas: 24

## SELECCION DE EQUIPAJE:

- No. de contenedores simultaneos: 40
- Longitud de carga: 90ML. 1000 pax./hr.pico.
- Sup-mínima de manejo equipaje: 1000m<sup>2</sup> X1000 pax./hr.pico.

38  
NORMATIVIDAD POR AREA.

SALIDA:

DOCUMENTACION TRADICIONAL CON O SIN APOYO DE BANDA:

- Longitud de mostrador: 6ML.X100 Pax./hr.pico.
- Longitud de cola: 10.5ml.+3ml. de circulación de acceso.
- Cantidad de Colas: 3.
- Mostrador de informes: 1.
- Oficina de apoyo: 9m<sup>2</sup> X100 pax./hr.pico.
- Area agentes: 17m<sup>2</sup>
- Número de agentes: 6
- Número de básculas: 4

SELECCION DE EQUIPAJE:

- Número de contenedores: 4 simultaneos.
- Longitud de carga (banda): 12 ML.
- Superficie mínima de manejo de equipaje: 80 m<sup>2</sup>.

DOCUMENTACION TIPO MOSTRADOR LIBRE "TICKETING".

- Longitud de mostrador: 30ML.X1000 pax./hr.pico.
- Longitud de cola: 15.4ml.+8ml. de circulación de acceso.
- Cantidad de colas: 20
- Mostrador informes: 5
- Oficina de apoyo: En zona administrativa no se considera área.
- Area de agentes: 40m<sup>2</sup>
- Número de agentes: 24
- Número de básculas: 24

SELECCION DE EQUIPAJE:

- No. de contenedores simultaneos: 40
- Longitud de carga: 90ML. 1000 pax./hr.pico.
- Sup-mínima de manejo equipaje: 1000m<sup>2</sup> X1000 pax./hr.pico.

- Terminal de carga
  - Terminal de carga para movimiento internacional 1.4m<sup>2</sup>Xton./anual
  - Bodega para las compañías aéreas nacionales para movimiento de carga nacional .15m<sup>2</sup>Xton./anual
  - Bodega para concesionarios de taxiación de carga aérea .25m<sup>2</sup>Xton./anual.
  
- Almacén de combustibles 1ha.X 1Mill./lts.anual
- Zona de mantenimiento de equipo de vuelo de las compañías aéreas comerciales 800m<sup>2</sup>X avión.
- Zona de hangares de aviación general, incluye rodajes de acceso 1250m<sup>2</sup>X hangar.
- Zona de mantenimiento y construcción del aeropuerto 500m<sup>2</sup>X 1M pax./anuales.
- Zona oficinas autoridades aeroportuarias con actividad directa a la operación 350m<sup>2</sup>X 1M pax./anuales
- Zona oficinas autoridades aeroportuarias con actividad de apoyo a la operación 1.5 ha.X 1M pax./anual.
- Zona de preparación de alimentos y mantenimiento de compañías aéreas 1000m<sup>2</sup>X c/10000 ops./anual.
- C R E I 15m<sup>2</sup>X bombero.  
+ 250m<sup>2</sup> cobertizo mínimo.
- Torre de control 50m<sup>2</sup> mínimo en torre y subtorre.



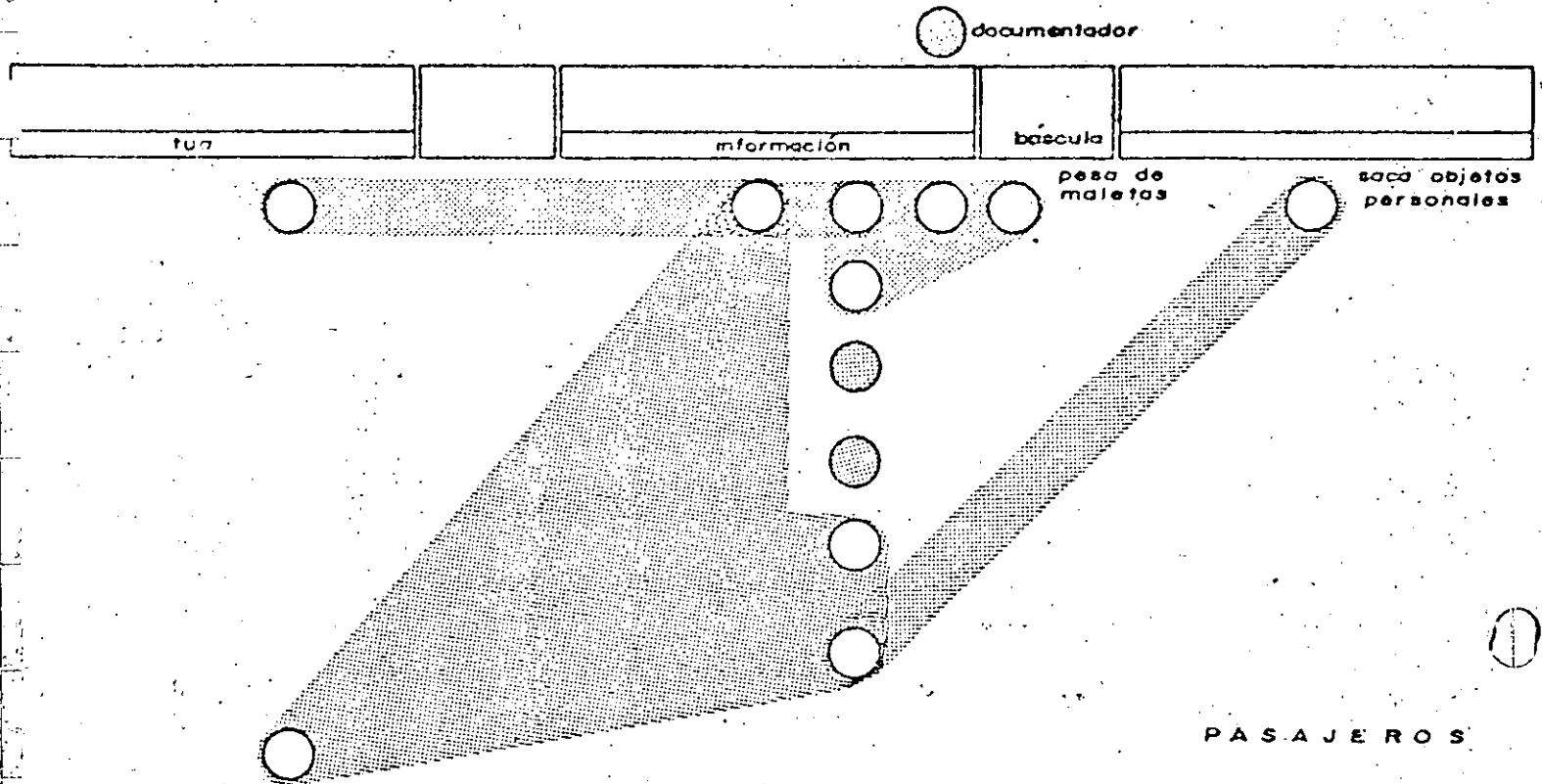
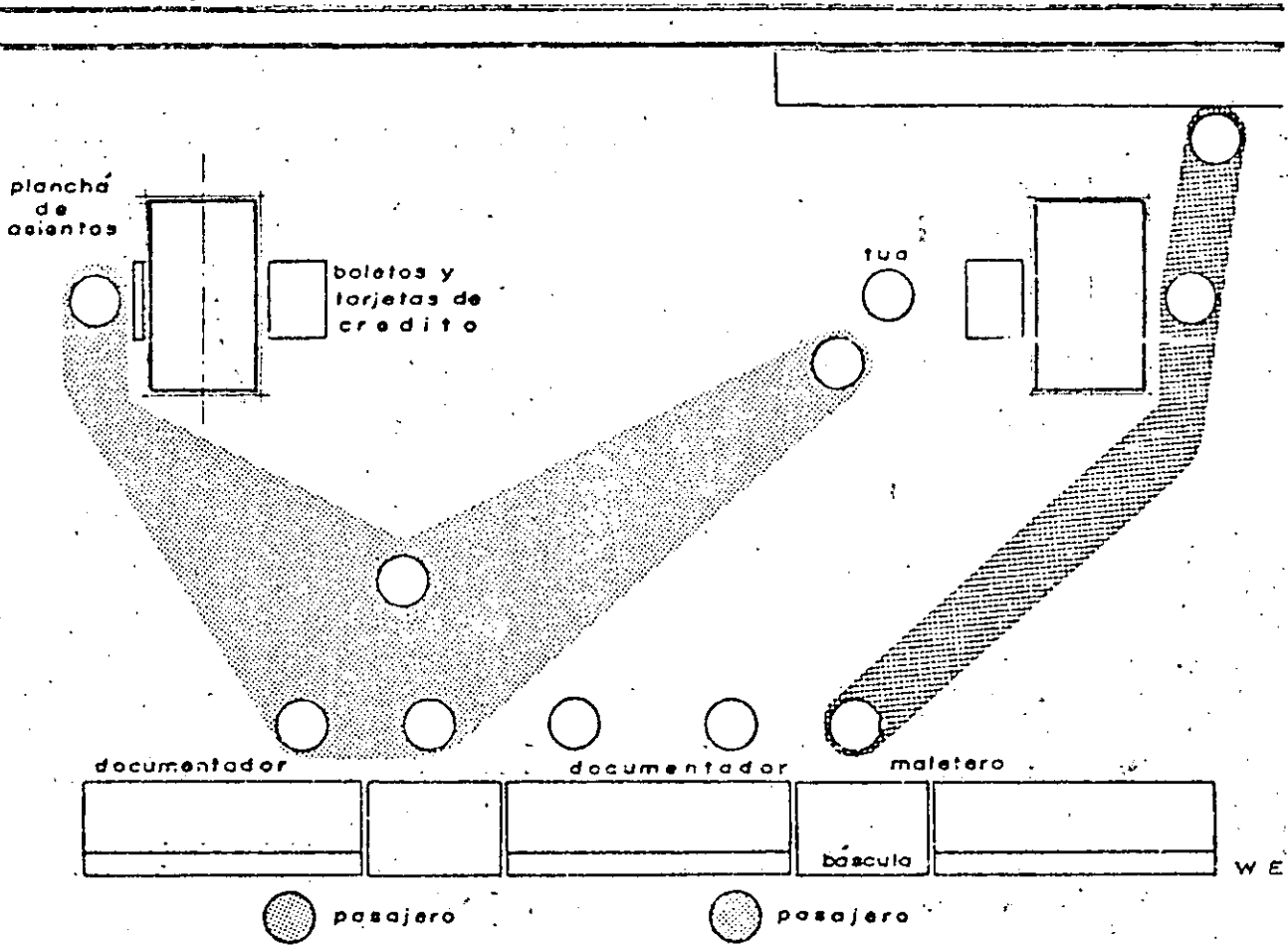
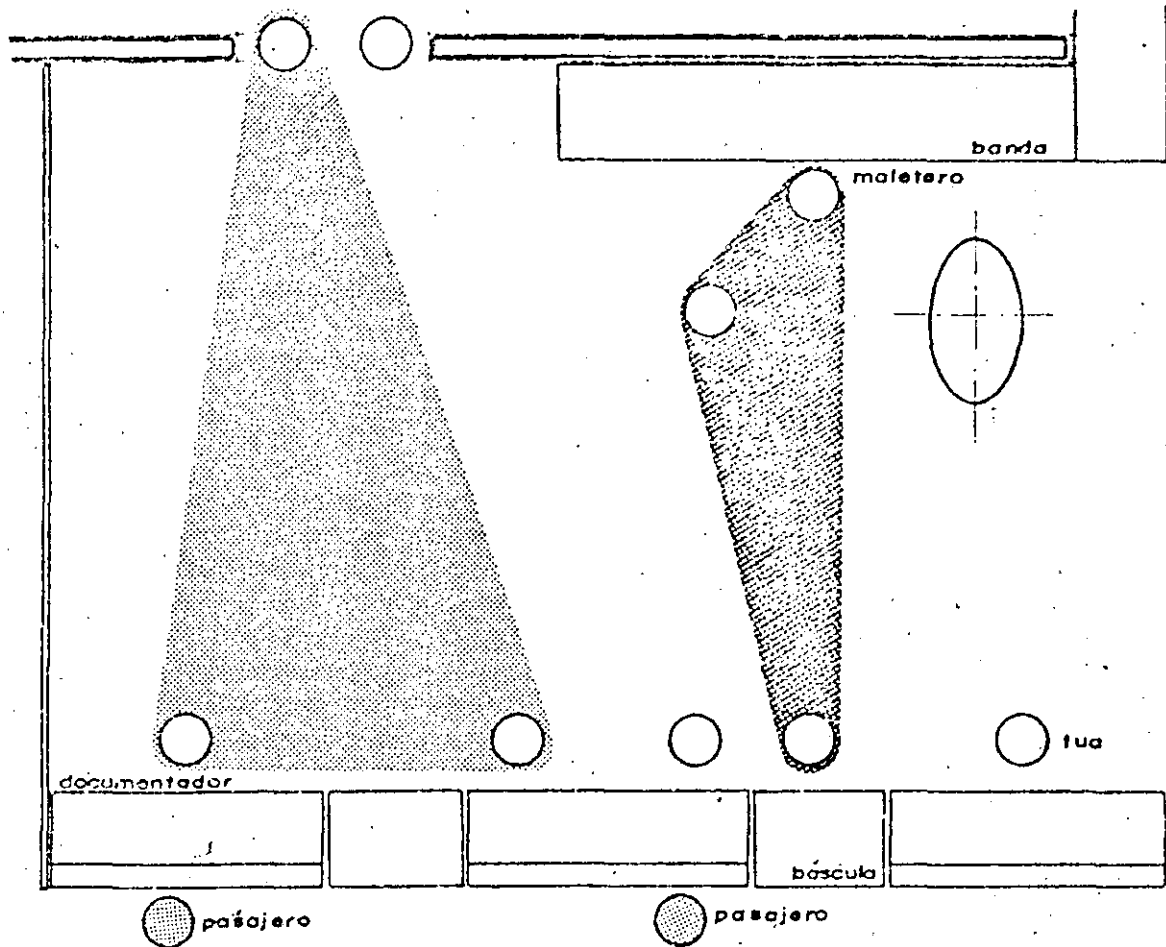


DIAGRAMA QUE MUESTRA LOS DESPLAZAMIENTOS DE PASAJEROS 1977  
AICM

El pasajero forma cola frente al mostrador y tiende a salirse de ésta para pasar las maletas a la báscula. El segundo pasajero en fila se coloca frente al mostrador a un lado de la persona a la que se está atendiendo, la cual con frecuencia abandona su lugar para ir a otro mostrador a pagar la tarifa de uso de aeropuerto (TUA), una vez que ha pagado regresa al mostrador y se coloca al lado de la persona en turno de manera que el empleado tiene frente al mueble tres o cuatro personas que solicitan su atención al mismo tiempo.



LONG. MOSTRADOR	7M.
No. AGENTES	5
AREA	28M <sup>2</sup> .
EQUIPO	DC-10-30
TIEMPO DOC.	140 Min.
MEX	1977.

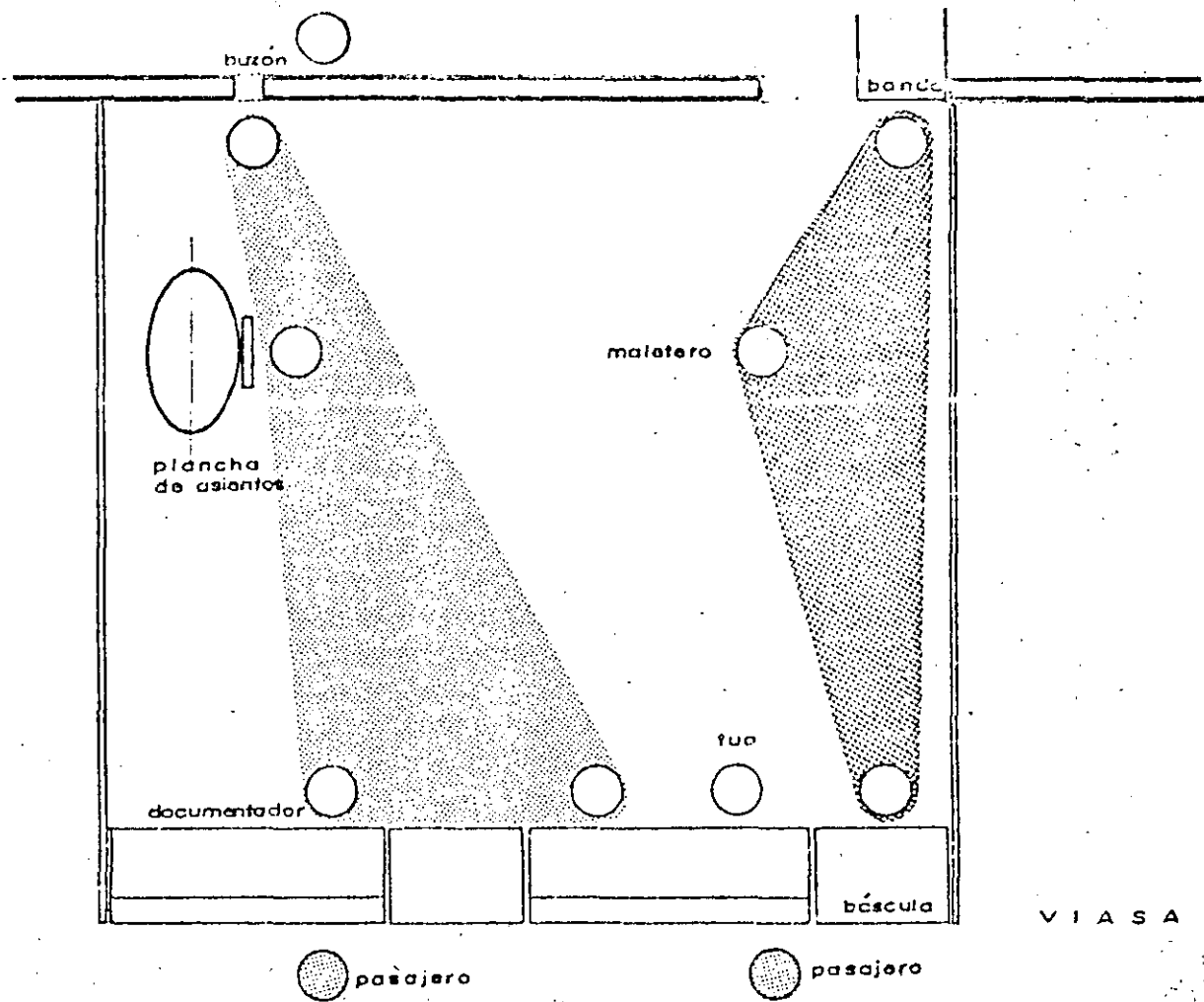


T A N

LONG. MOSTRADOR	5 M.
No. AGENTES	5
AREA	18 M. <sup>2</sup>
TIEMPO DOC.	140 MIN.
EQUIPO	727-200

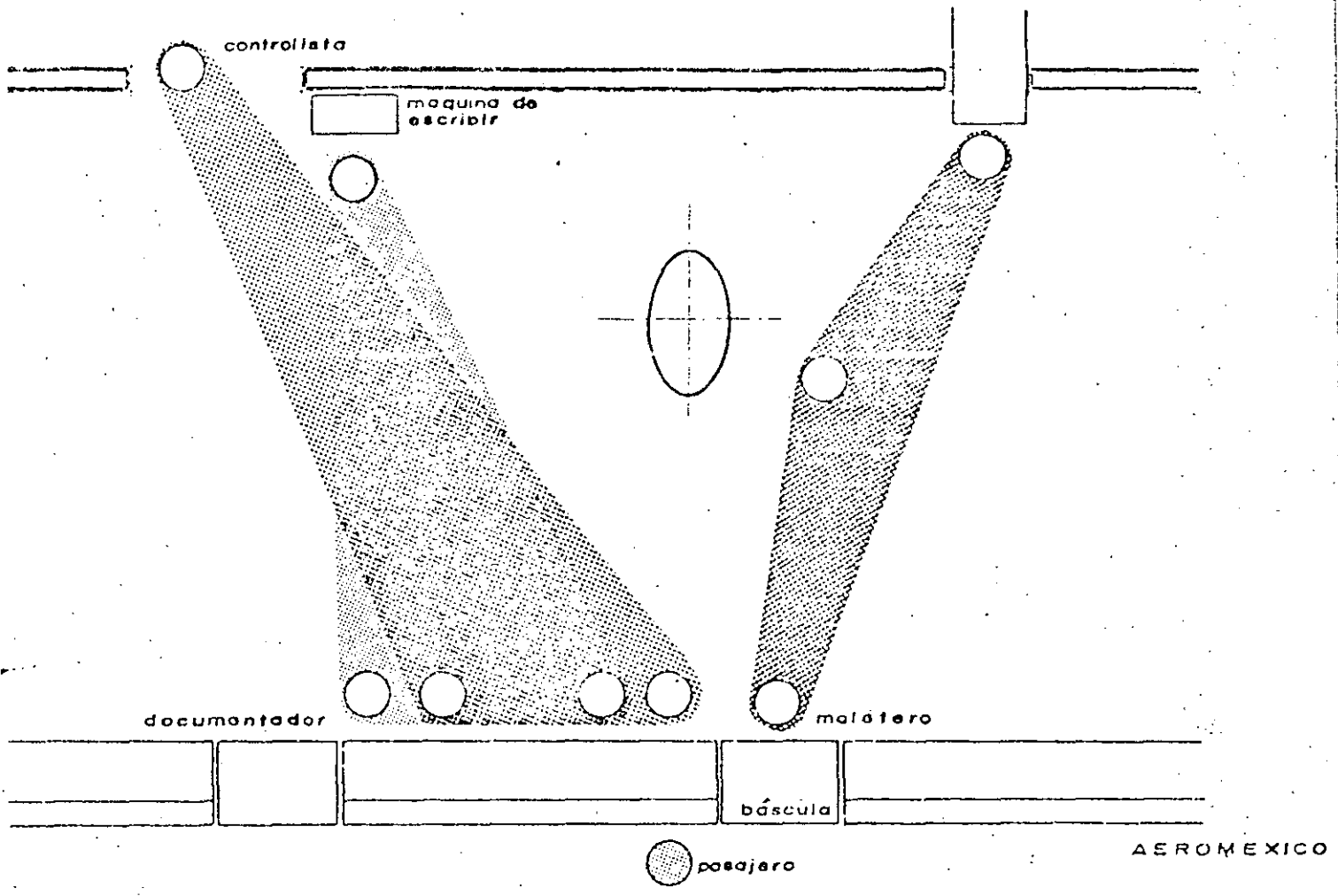
MEX. 1977



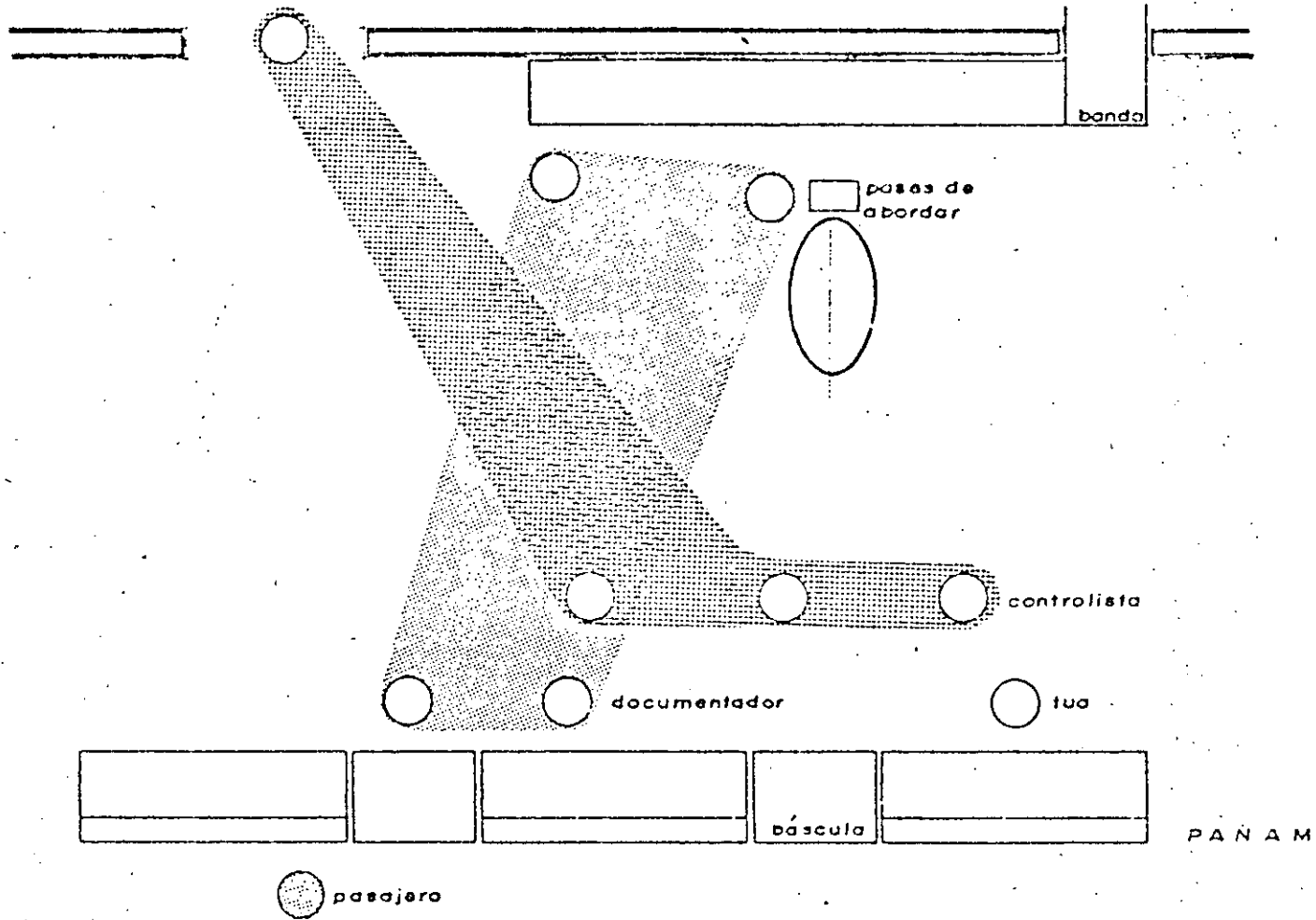


V I A S A

LONG. MOSTRADOR	4.5 M.
No. AGENTES	4
AREA	16 m <sup>2</sup>
TIEMPO DOC.	120 Min.
EQUIPO	727-200



LONG. MOSTRADOR	5 m.
No. AGENTES	4
AREA	18 m <sup>2</sup> .
TIEMPO DOC.	120 Min.
EQUIPO	727-200

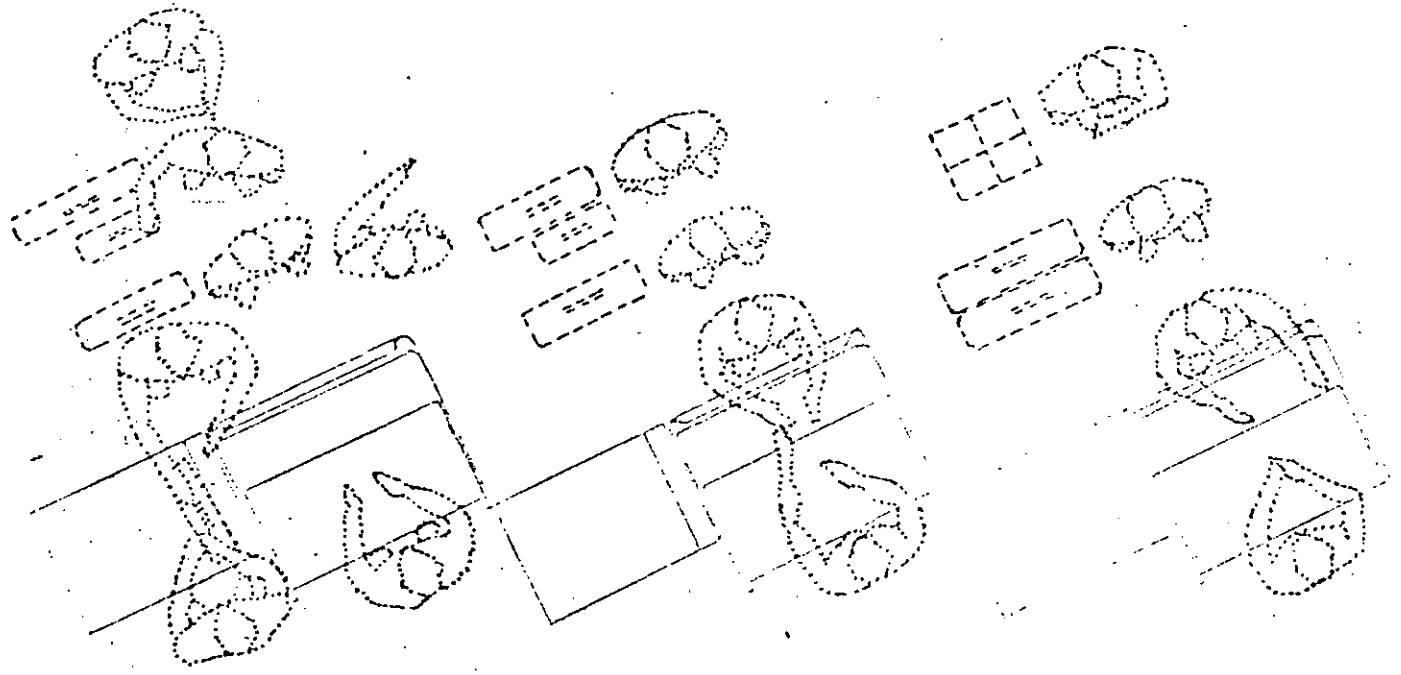


LONG. MOSTRADOR	7 m.
No. AGENTES	4
EQUIPO	727-200
AREA	35 m <sup>2</sup>
TIEMPO DOC.	90 Min.

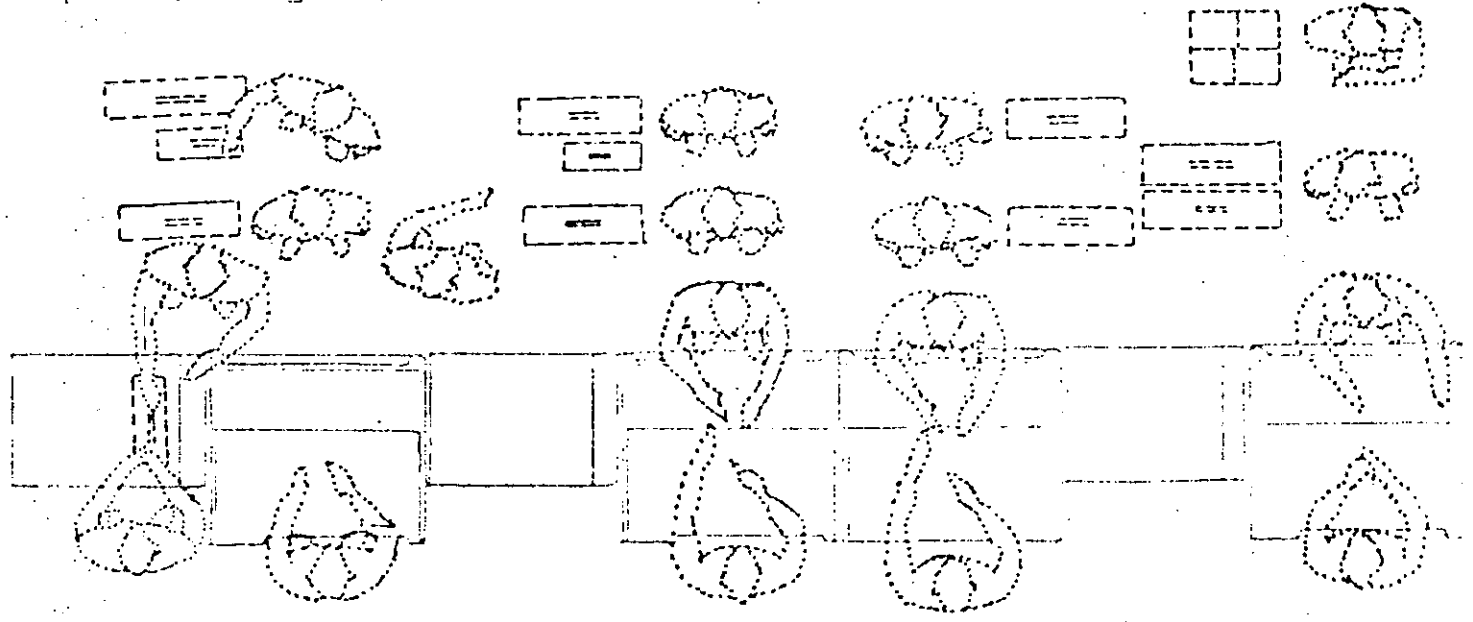
MEX.

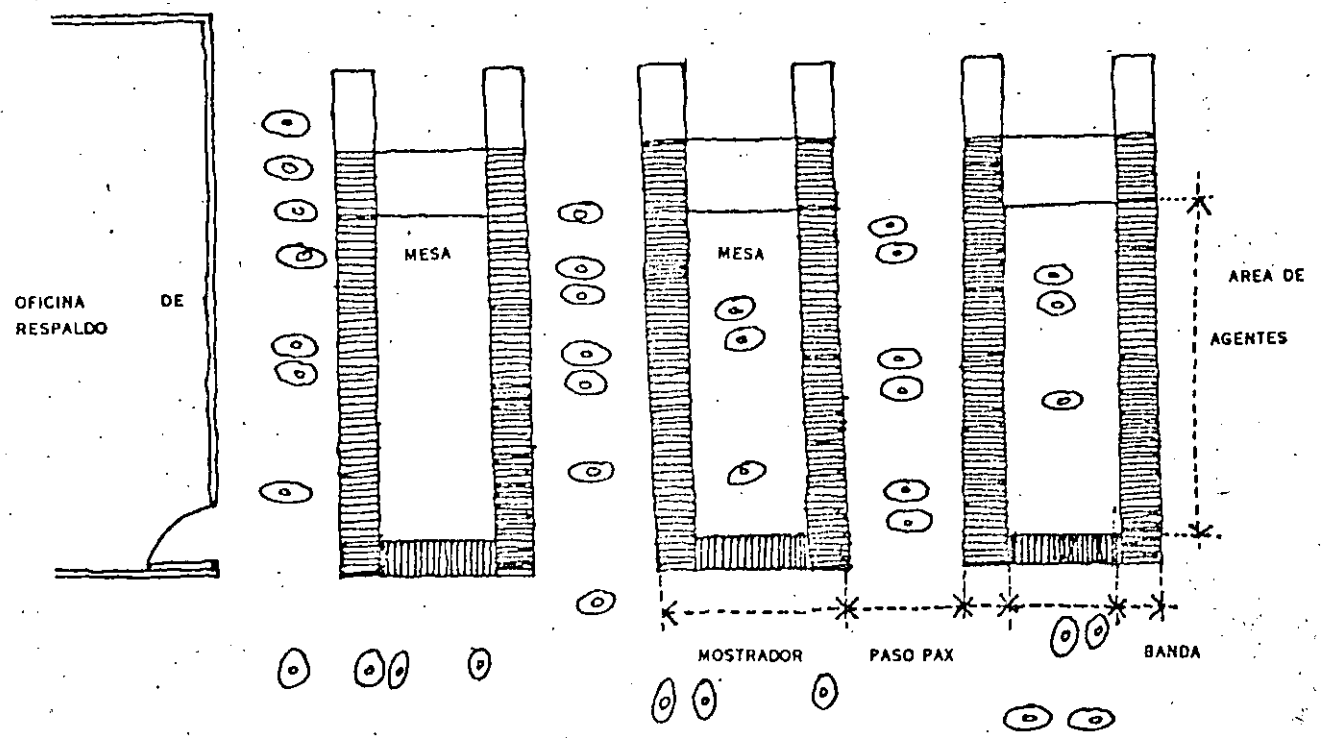
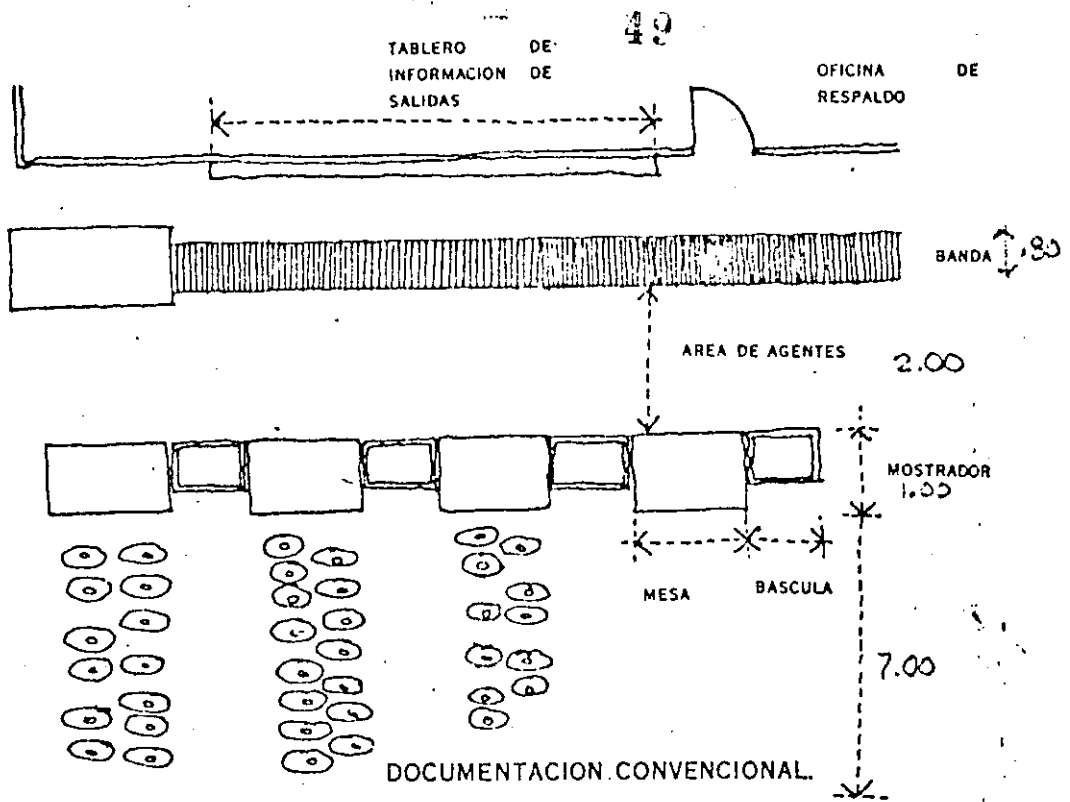
1977

colocar el ... en el orden de la tierra en los casos en que se presenten, colas  
 (truncado a la izquierda)



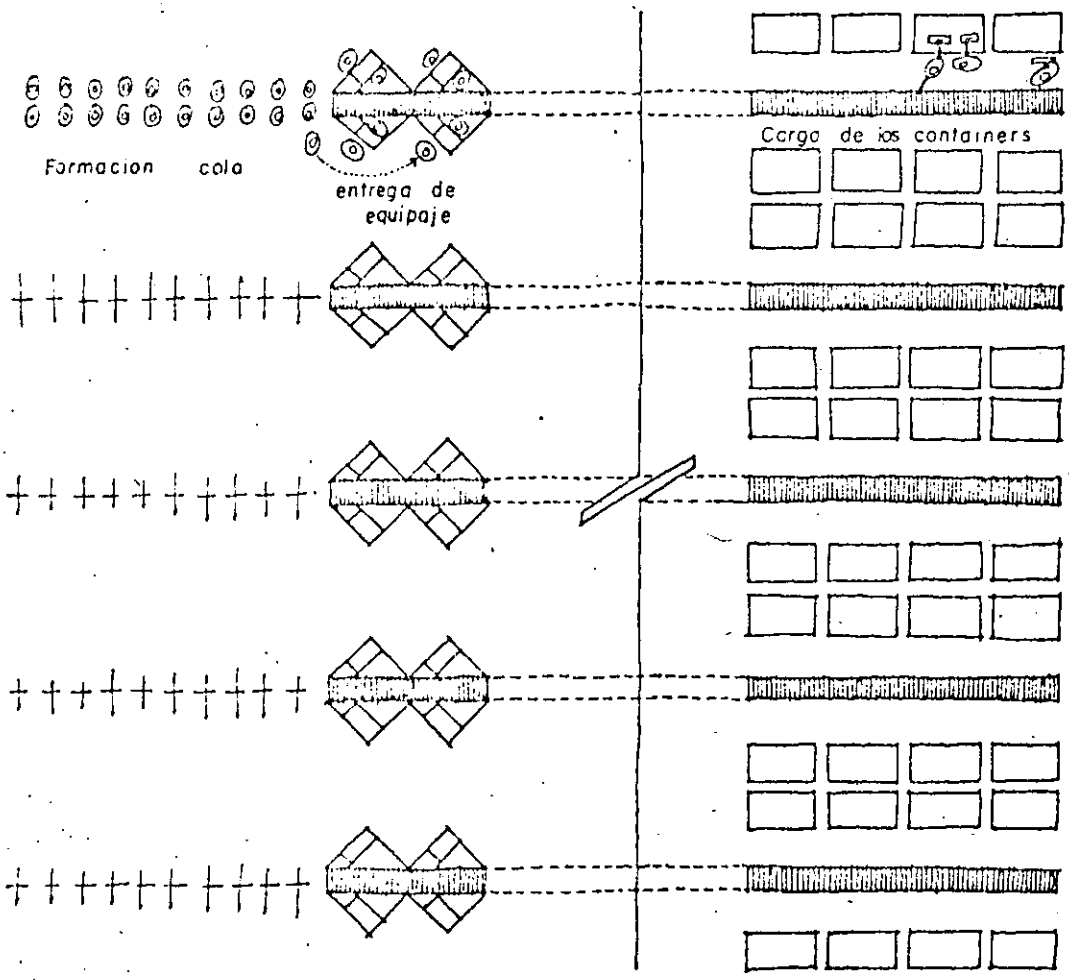
Adaptarse se coloca el ... en ... (truncado a la izquierda)





DOCUMENTACION DONDE SE ATRAVIEZA EL CONTADOR.

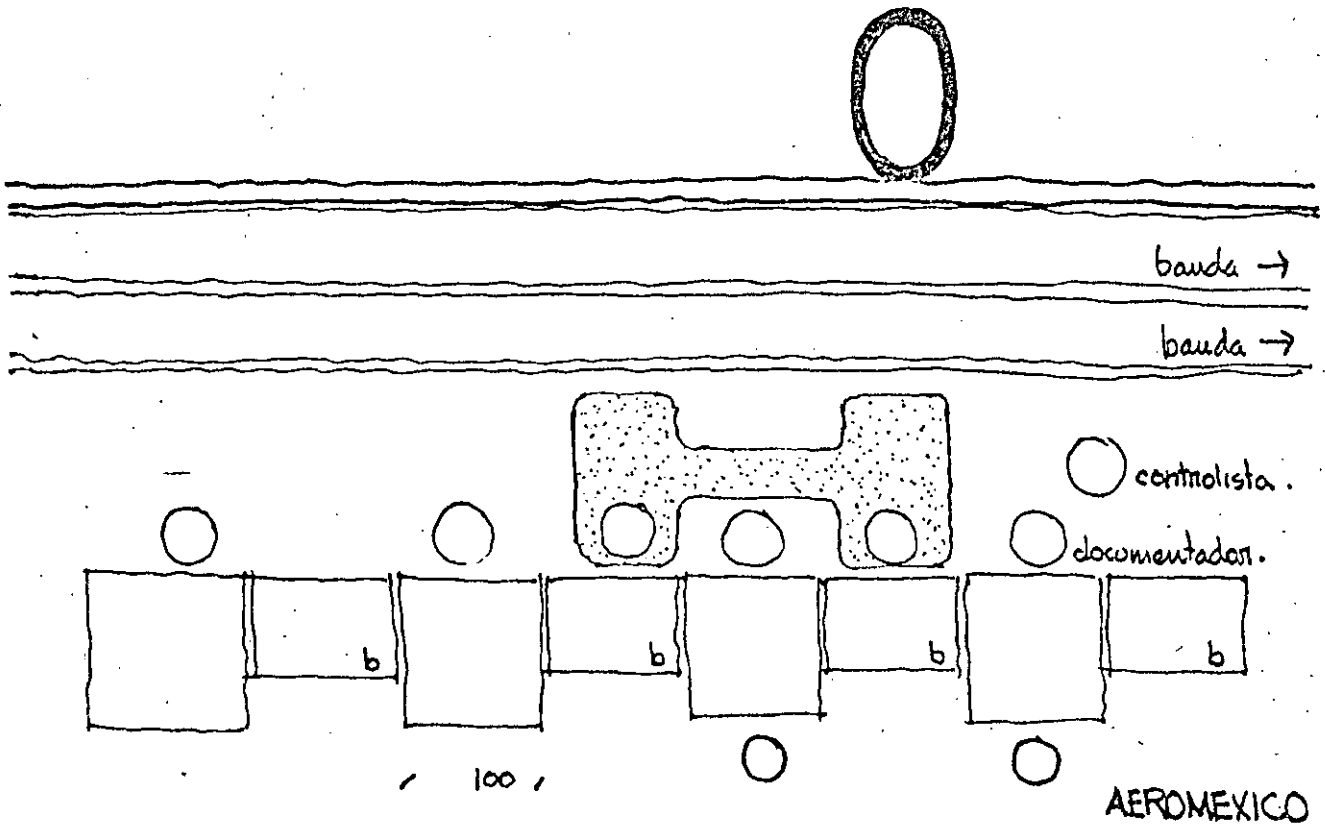




DOCUMENTACION

POSTPADOR LIBRE

TICKETING.



LONG. MOSTRADOR	4m.
No. AGENTES	3
EQUIPO	727-200
AREA	20 m <sup>2</sup> .
TIEMPO DOC.	90 min.

AICM

1979

# ANÁLISIS DE EFICIENCIA

## MOSTRADORES DE DOCUMENTACION.

- 52

Para el estudio de longitud de los Mostradores de Documentación se toman en cuenta diversos factores como son, lapso de tiempo, desde la llegada del primer pasajero hasta la salida del avión, de dos horas y media, cerrando el vuelo en quince minutos antes de la salida del avión. Otro de los factores que afectan es la velocidad de proceso de los agentes de documentación, observándose una mínima de 2.7 minutos por pasajero y una máxima de 1.7 pasajeros por minuto.

En las líneas con más de una frecuencia diaria se toman en cuenta los picos simultáneos ocasionados por sus operaciones, además de sus horarios de verano o de invierno. A continuación se muestran ejemplos de tabla de velocidad de proceso de pasajeros, así como gráficas de capacidad de proceso para 2, 3, 4 y 5 mostradores simultáneos, y gráficas de capacidad de documentación en invierno y en verano y por último gráfica de operaciones simultáneas en hora y día pico para determinar el número de mostradores mínimo de acuerdo a los datos anteriores.

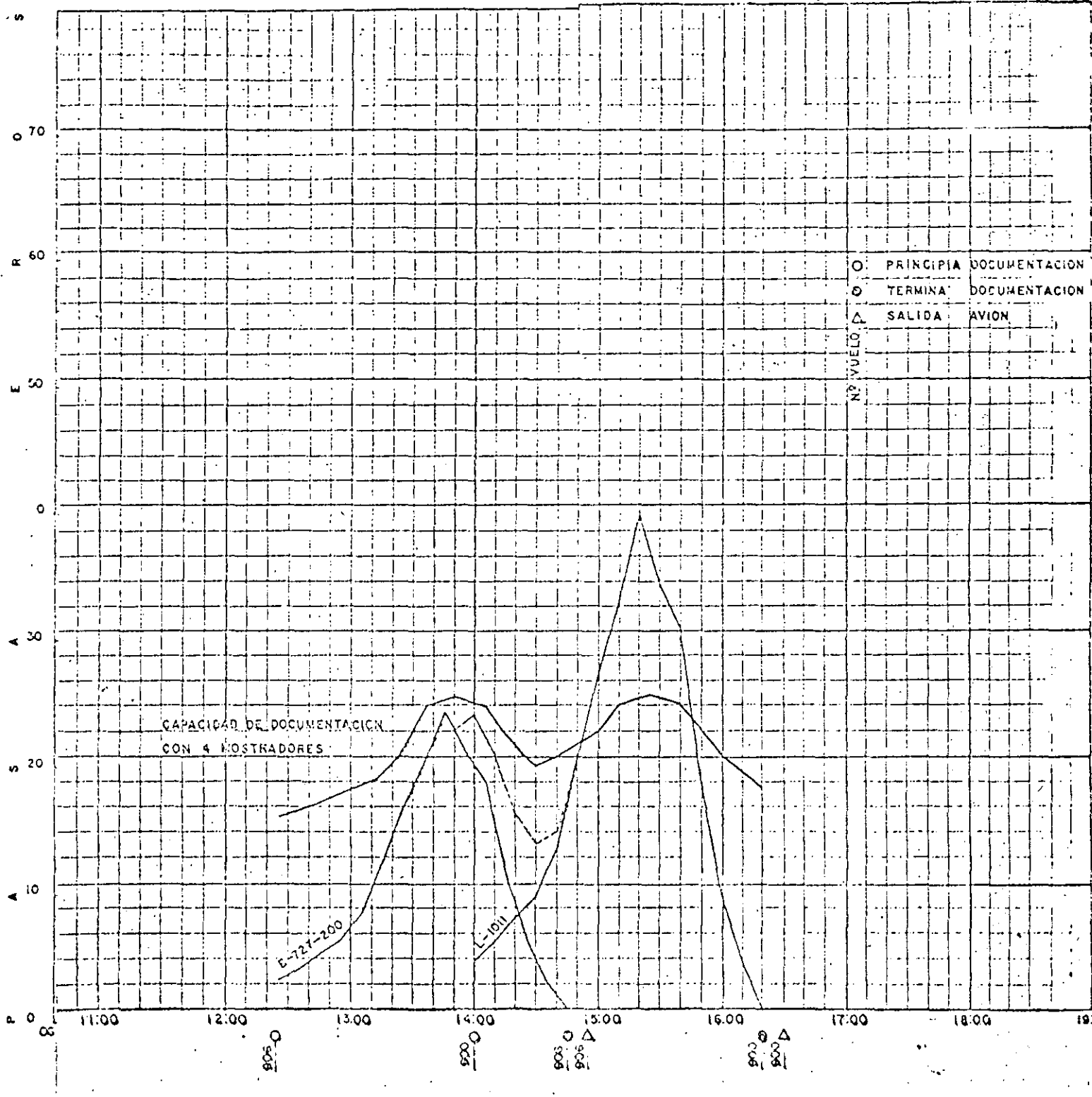
### VELOCIDAD DE PROCESO DE PASAJEROS

EFICIENCIA	TIEMPO PROCESO PAX			10'	10'	10'	10'
	min	seg		2 MOST Nº PAX	3 MOST Nº PAX	4 MOST Nº PAX	5 MOST Nº PAX
MINIMA	2.7	160	inicio del proceso	7.5	11.25	15.0	18.75
		150		8.0	12.0	16.0	20.0
		140		8.6	12.9	17.2	21.5
MEDIA	2.2	130	cuando se inicia la cola	9.2	13.8	18.4	23.0
		120		10.0	15.0	20.0	25.0
		110		10.9	16.35	21.8	27.25
MAXIMA	1.7	100		12.0	18.0	24.0	30.0

INVIERNO

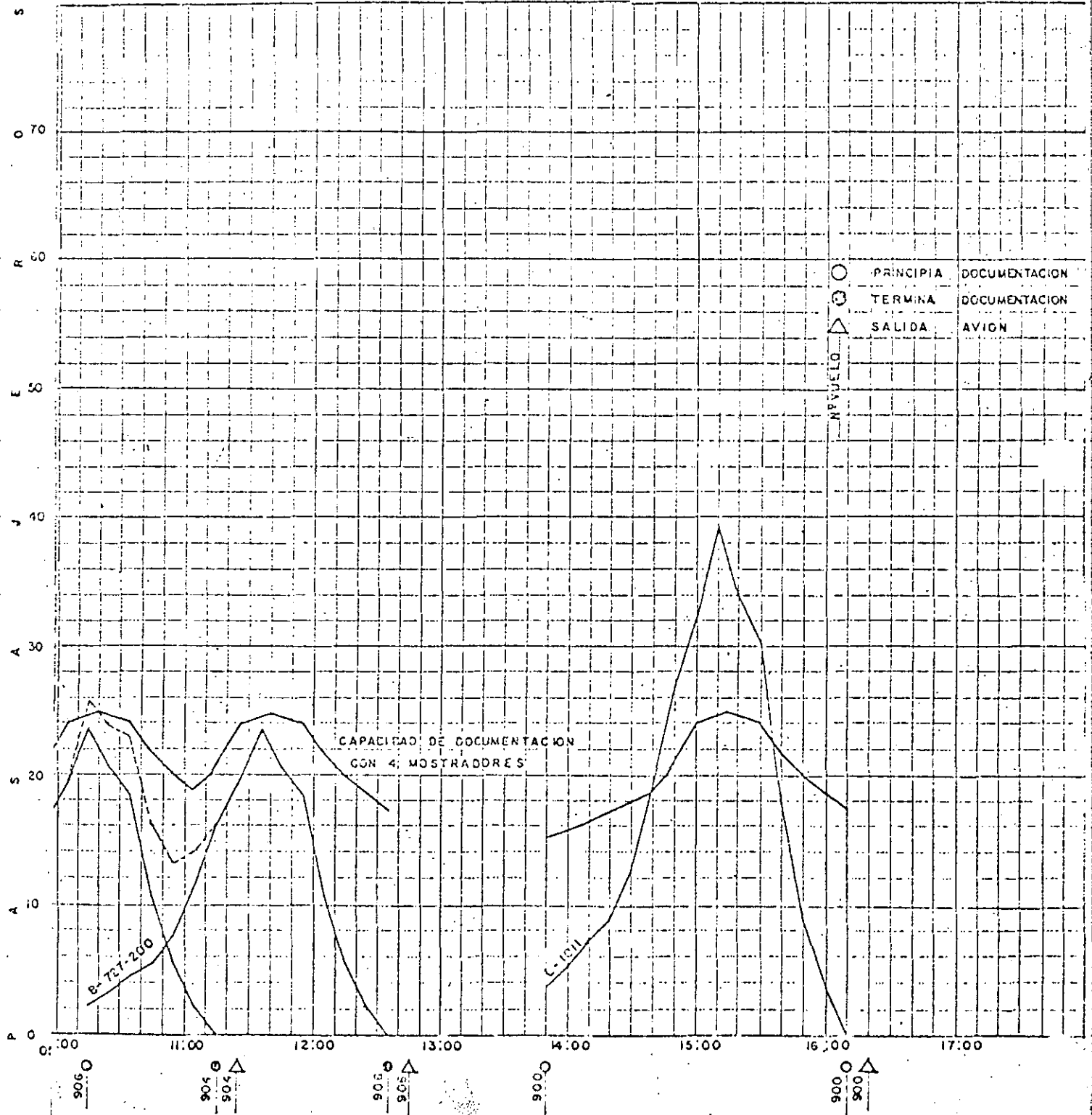
1977

COMPANIA : EA  
EASTER AIRLINES

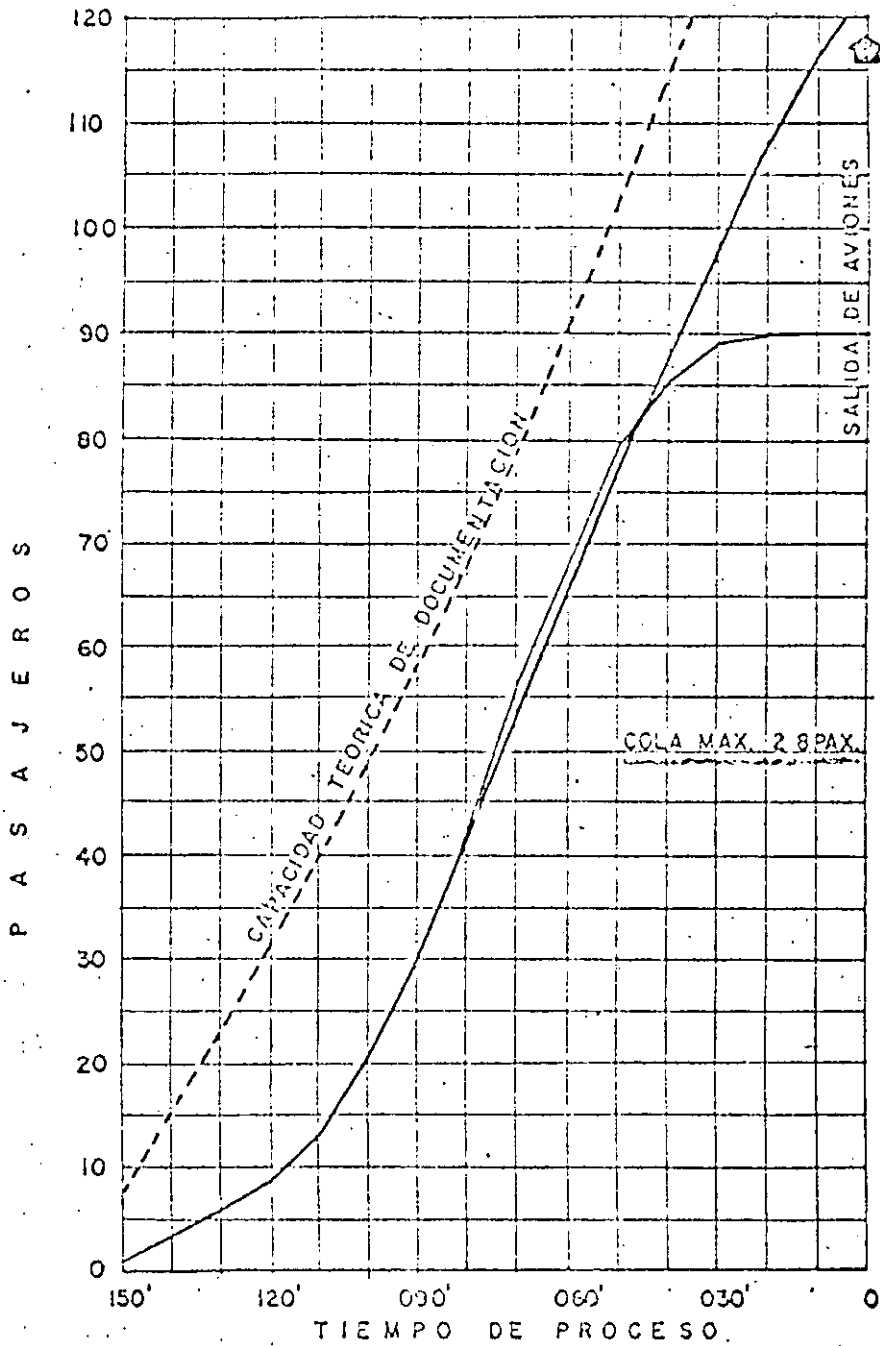


VERANO

COMPANIA: E A  
EASTERN AIRLINES



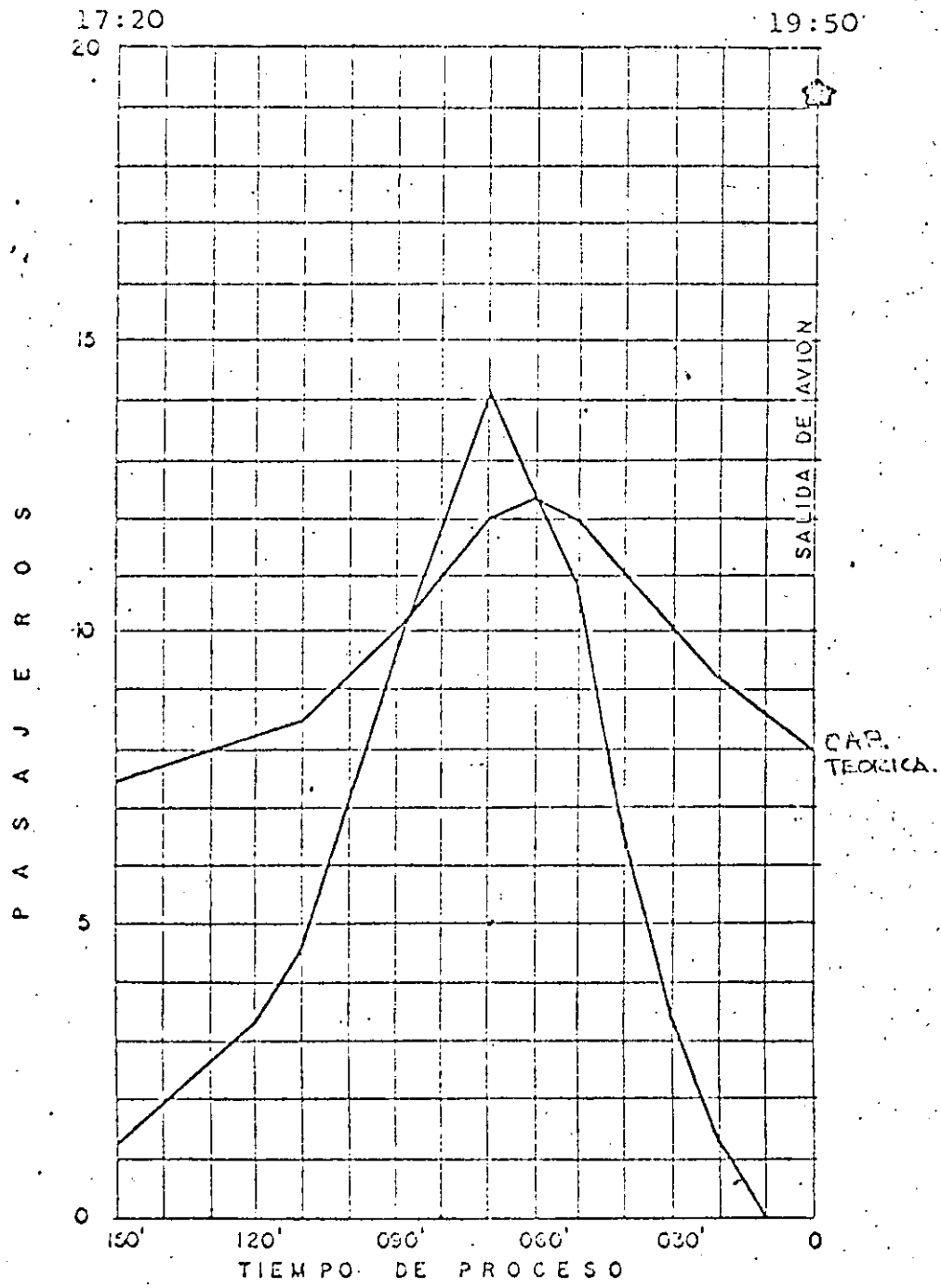
AVIATECA  
BAC-111



ACUMULADO DE PASAJEROS Y FORMACION EN COLA

CAPACIDAD MAXIMA 90 PAX.

2 MOSTRADORES DC-9 BAC-III



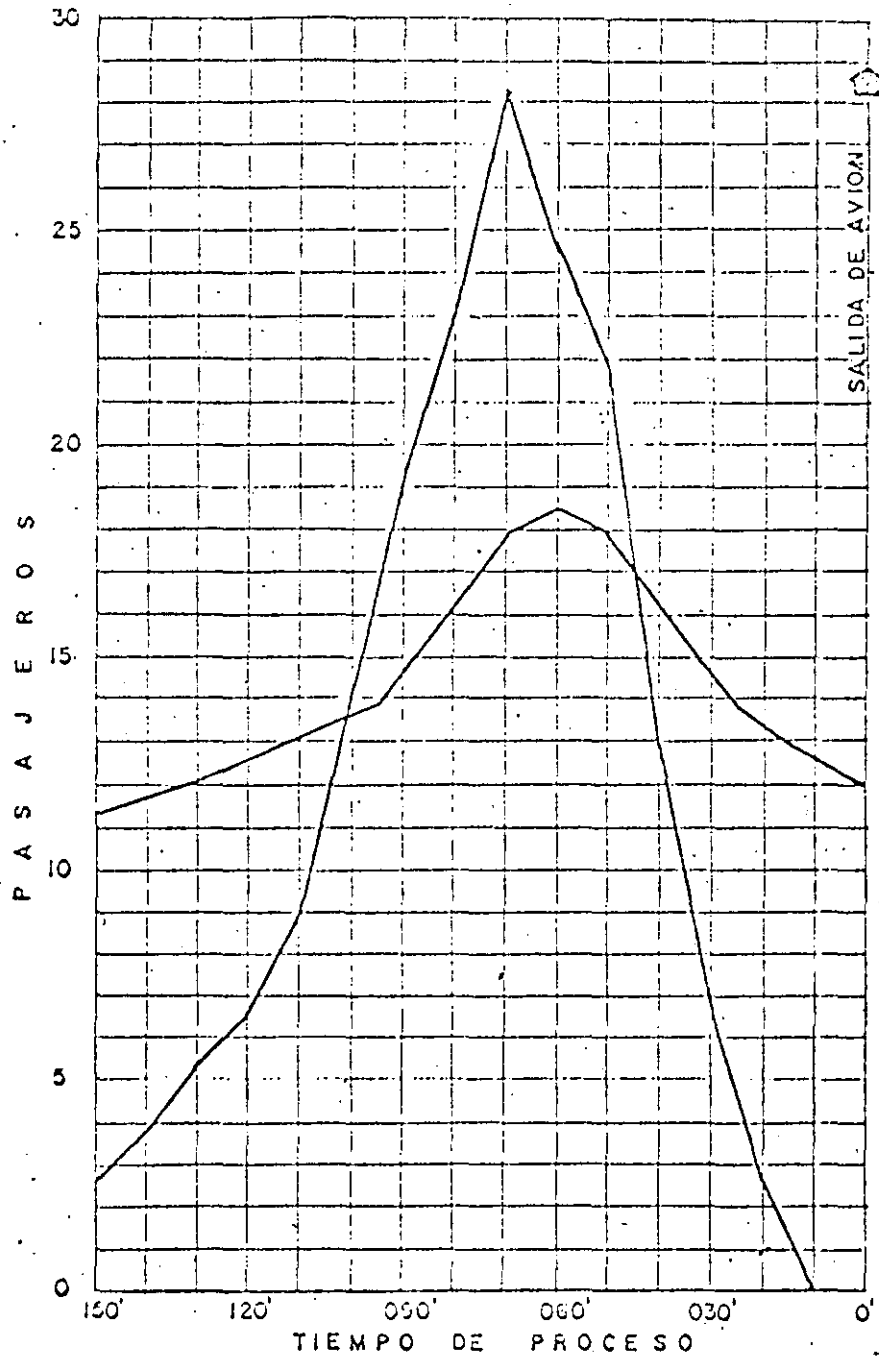
LLEGADA DE PASAJEROS A DOCUMENTAR

CAPACIDAD MAXIMA 180 PAX.

3 MOSTRADORES DC-8-50

14:00

16:30

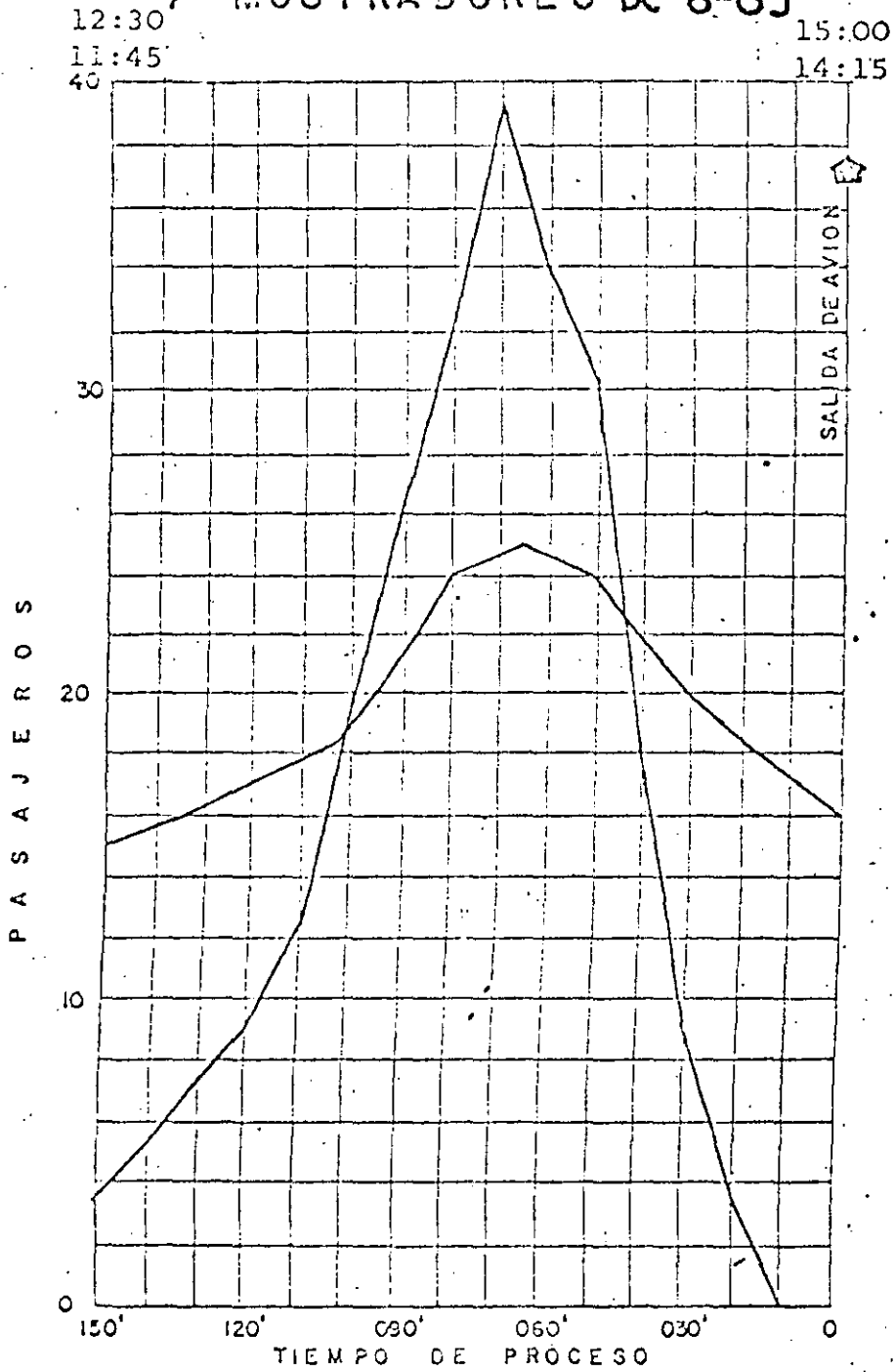


LLEGADA DE PASAJEROS A DOCUMENTAR



CAPACIDAD MAXIMA 250 PAX.

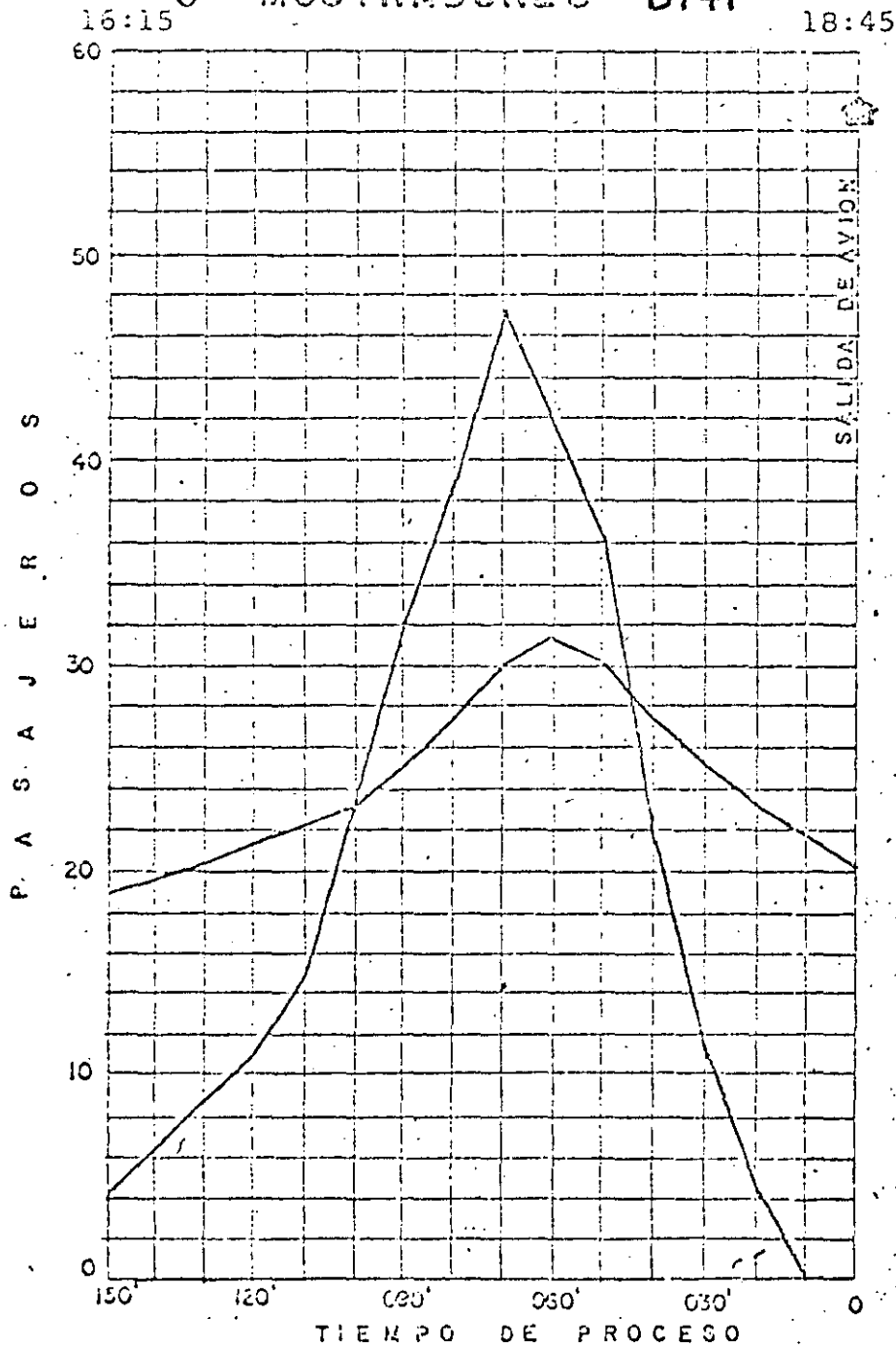
4 MOSTRADORES DC-8-63



LLEGADA DE PASAJEROS A DOCUMENTAR

CAPACIDAD MAXIMA 300 PAX.

5 MOSTRADORES B747



LLEGADA PASAJEROS A DOCUMENTAR

PROBLEMATICA ACTUAL

- REMODELACION Y AMPLIACION:

- En un aeropuerto las operaciones se incrementan por varios factores como son:
  - . Crecimiento de la población a la que apoya y por tanto crecimiento natural del comercio, necesidades mayores de comunicación, transporte y obtención y prestación de servicios.
  - . Integración de un sistema de aeropuertos, para el desarrollo equilibrado de una región y en última instancia del país.
  - . La propia respuesta que origina la construcción de un aeropuerto, que en algunos casos convierte una región con vocación de desarrollo, en lo que conocemos como polo de desarrollo y que es efecto y a la vez causa del desarrollo del propio aeropuerto.
- Existen en el sistema aeroportuario nacional, edificios terminales que no han sido modificados esencialmente desde hace más de 15 años y que han resistido las principales evoluciones y adaptaciones al modo de operar de la actualidad.

Los cambios fundamentales en la operación y el proceso son:

1. Cambio de equipo por parte de las compañías aéreas, transportándose cada vez más pasajeros -- por vuelo, DC-3 a DC-10.
2. Evolución de los sistemas de control, manejo y seguridad de pasajeros, maletas y aeronaves, -- ERPE, bandas y tractores.
3. Aumento no previsto de las horas pico, quedando saturado el sistema en algunas horas y vacío en otras, por lo que se hace difícil la administración del espacio.
4. Integración de conceptos nuevos de tipo comercial.
5. Desarrollo de actividades indirectamente relacionadas con el proceso de los pasajeros que podrían desarrollarse en otra área o edificio; comisariato.

- De acuerdo a lo anterior, en un momento dado se hace necesario ampliar el número de posiciones en plataforma, la capacidad de proceso del edificio terminal y los demás elementos de que consta el sistema a fin de soportar en un nivel de eficiencia aceptable los movimientos que originan el crecimiento, así como, los esperados en un futuro a corto y mediano plazo, y si es posible a largo plazo también.
- Como solución lógica desde el punto de vista económico y operativo, se ha planteado la remodelación de los edificios y área terminal como opción viable, para dar respuesta a las necesidades presentes con los recursos existentes y en lo posible las futuras. En la remodelación y ampliación se busca aumentar la capacidad y eficiencia del sistema, simplificándolo y optimizándolo racionalmente, evitando la contaminación por actividades poco o nada relacionadas con el edificio terminal, y buscando adecuar el uso del espacio existente para hacer directo e inmediato el tránsito de pasajeros y maletas al avión y viceversa, es decir en el sentido transversal y corto, concentrando los servicios, proporcionando una mayor fluidez y comodidad al usuario, a los prestadores de servicios, a las autoridades y administradores.

Como es lógico, lo anterior a veces se consigue también con la evolución tecnológica, pasando de sistemas manuales a electromecánicos, y a veces hasta electrónicos y computarizados.

Dentro de todo proyecto de remodelación se plantea simultáneamente si es necesaria una ampliación, como respuesta a la demanda, así como las ampliaciones subsiguientes, siguiendo ya el criterio operativo y el concepto de área terminal que sea más adecuado, a las características propias del aeropuerto de acuerdo a su tipología, velocidad de crecimiento, inversión programada y alternativas del plan que se proponga.

Las remodelaciones y ampliaciones, normalmente implican un difícil proceso de obra, ya que los aeropuertos, tienen que seguir operando por lo que en esta simplificación del proceso, requiere de evaluar el proyecto a través de una estrategia de obra que permita la operación y proceso al mismo tiempo de la obra, sin menoscabo de ninguna de las dos necesidades.

## EDIFICIO PARA EL CUERPO DE RESCATE Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS.

= C R E I =

El espacio mínimo para satisfacer las necesidades requeridas por el Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios en los diferentes aeropuertos en realización de su tarea diaria, consta de una área construida de aproximadamente 500 m<sup>2</sup>, dividida en dos zonas:

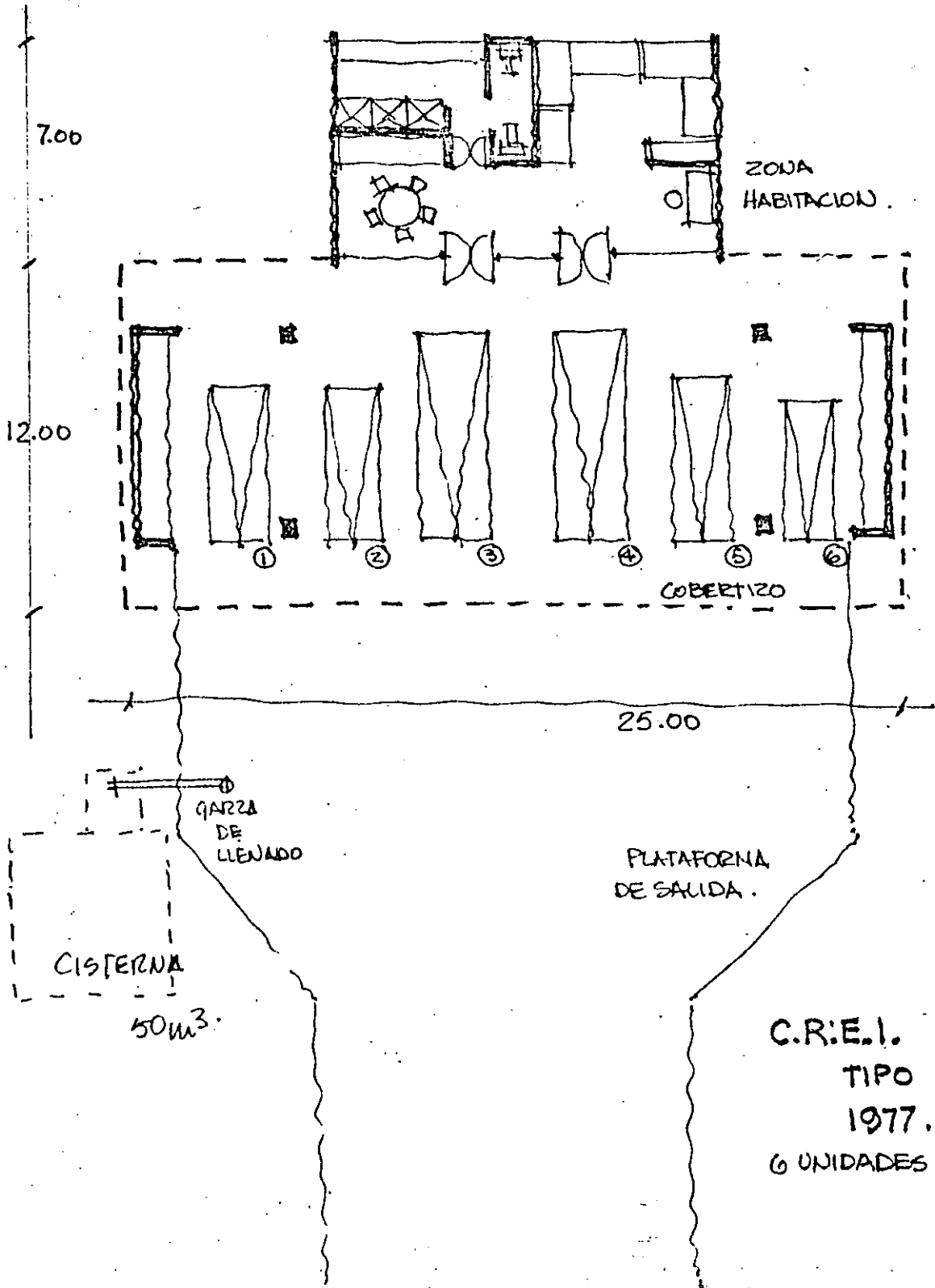
- Zona cobertizo con una área total de 380.65 m<sup>2</sup> con capacidad para estacionamiento de los siguientes vehículos:

	Cant.
- Unidad extintora Yankee Walter	Una
- Unidad extintora John Beam	Una
- Unidad rescate Unimog	Una
- Unidad rescate Ambulancia	Una
- Unidad apoyo Cisterna	Una
- Unidad limpieza Barredora	Una

Con dos áreas laterales para bodega y trabajo.

- Zona de servicios y dormitorios con una área de 119.35 m<sup>2</sup>, en la que se ubican los siguientes locales:

- Vestíbulo de distribución
- Oficina del Comandante
- Dormitorios generales para 14 personas incluyendo dormitorio para el oficial.
- Sala de estar.
- Cocineta
- Area destinada a guardado de objeto de uso común
- Sanitarios, regaderas y vestidores con una área de guardado (lockers).



## AEROPUERTO DE CORTO ALCANCE.

## TORRE DE CONTROL, CORTO ALCANCE 10.40 M. DE ALTURA VISUAL.

Existen en el sistema aeroportuario algunos edificios que por sus características se pueden considerar idénticos, aunque estén en diferentes aeropuertos con diversas necesidades, como es el caso de los CREI que con algunas variantes se pueden ubicar en cualquier aeropuerto, o el caso de la torre de control.

La torre tiene una altura visual mínima de 10.40 m, con visibilidad a las cabeceras de la pista. Consta fundamentalmente del cuerpo de la torre con cabina y subcabina, y en estos locales todo el equipo completo que requiere una torre de esas características y que fundamentalmente es:

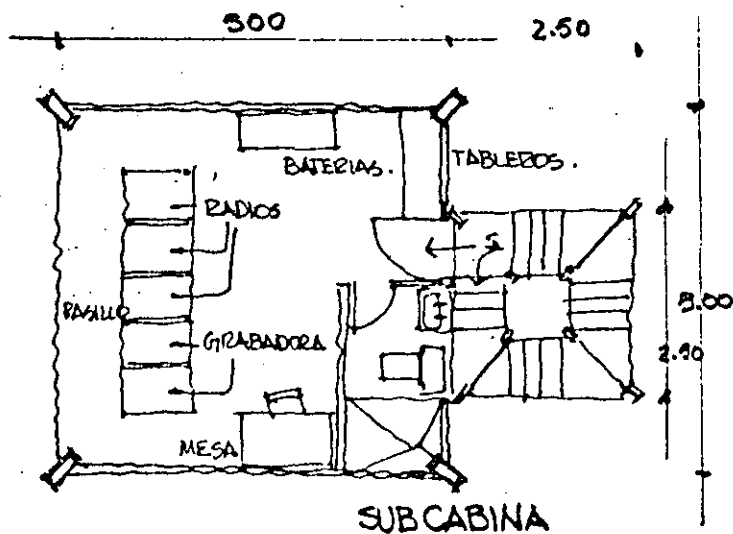
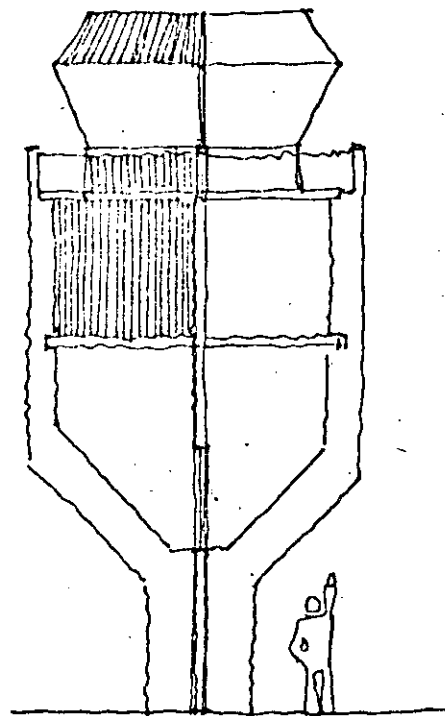
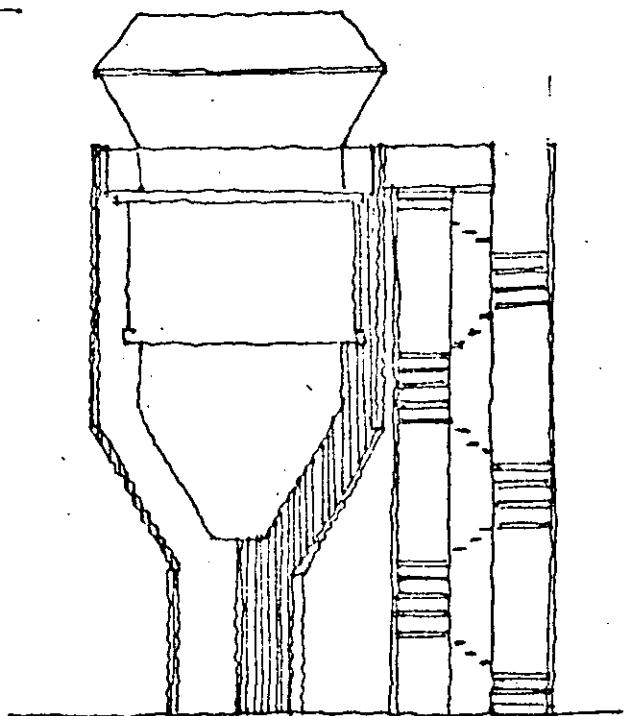
## En subcabina:

- Radios
- Grabadoras
- Mesa de trabajo
- Sanitario con regaderas
- Baterías y equipo de apoyo

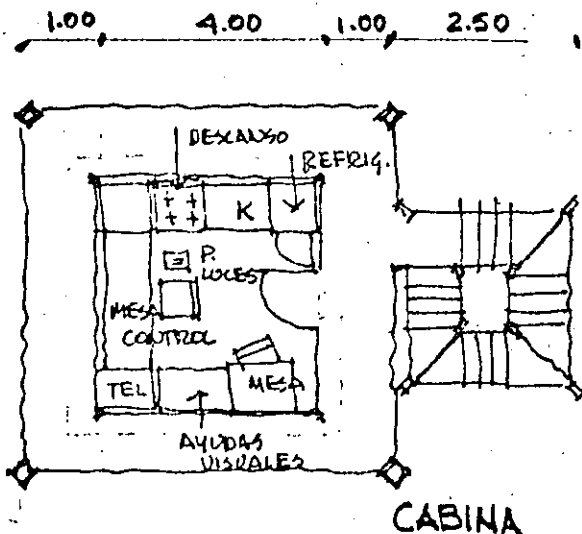
## En cabina:

- Consola de control
- Consola de ayudas visuales
- Consola de teléfonos
- Pistola de luces
- Area de descanso
- Mesa de trabajo
- Cocineta y guardado.

65



SUBCABINA



CABINA

TORRE DE CONTROL.

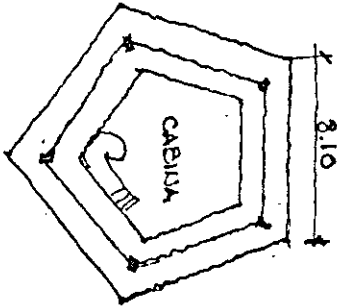
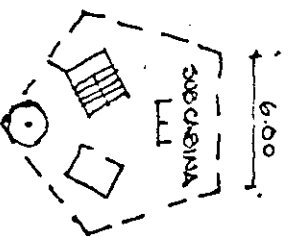
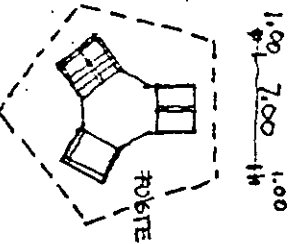
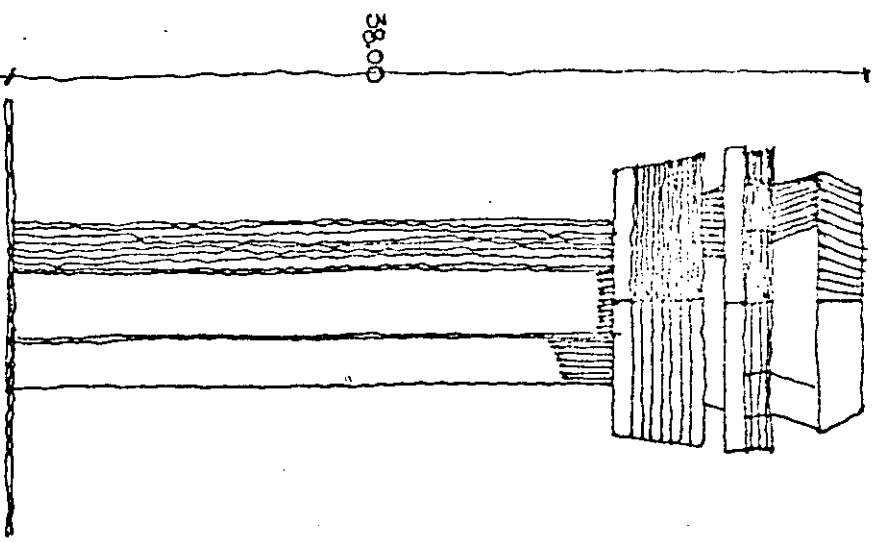
LEO - GYM

1978

CERTEO ALCANCE.

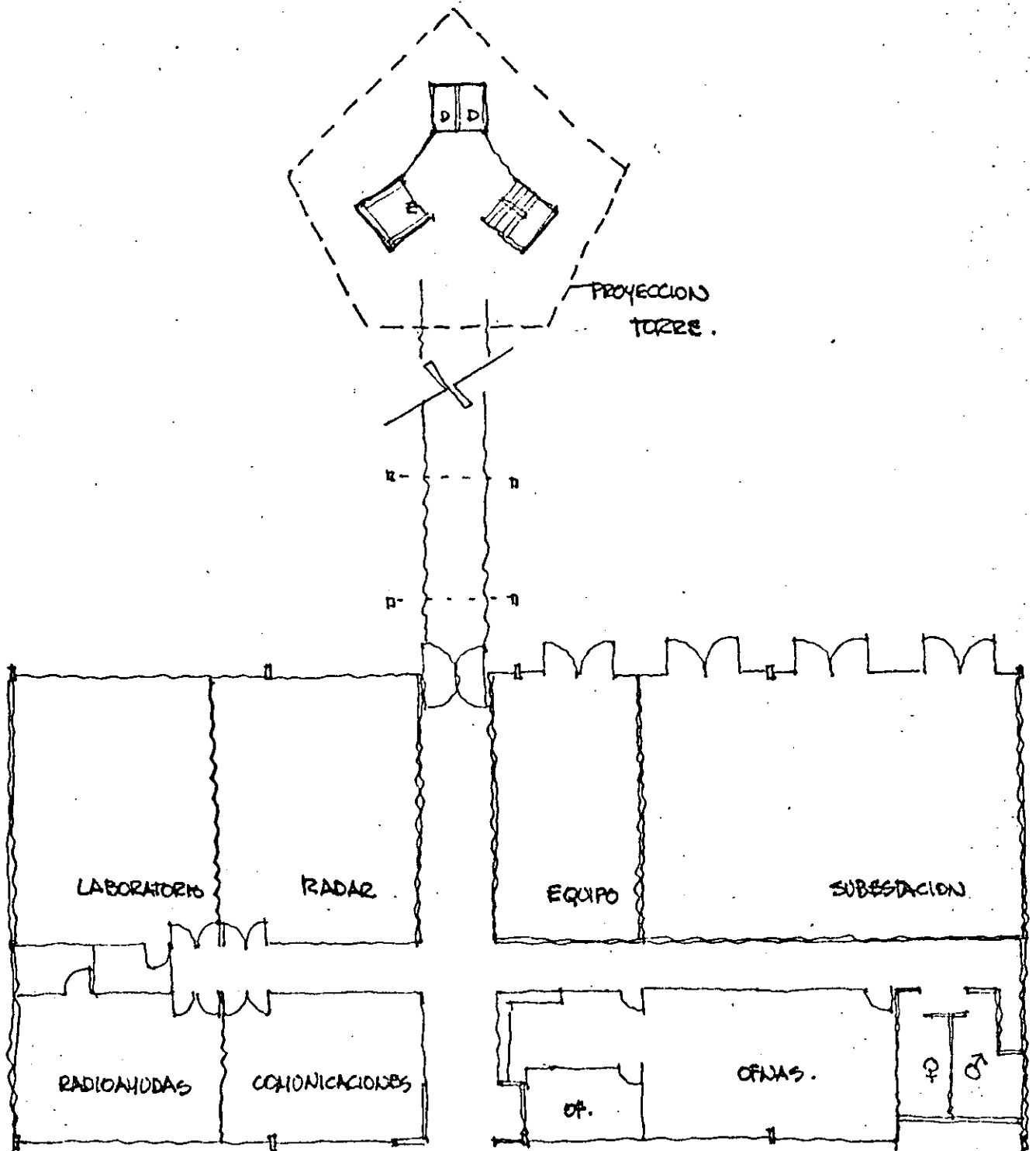
SIN ESCALA.





TORRE DE CONTROL  
AICM

LARGO ALCAUCE .

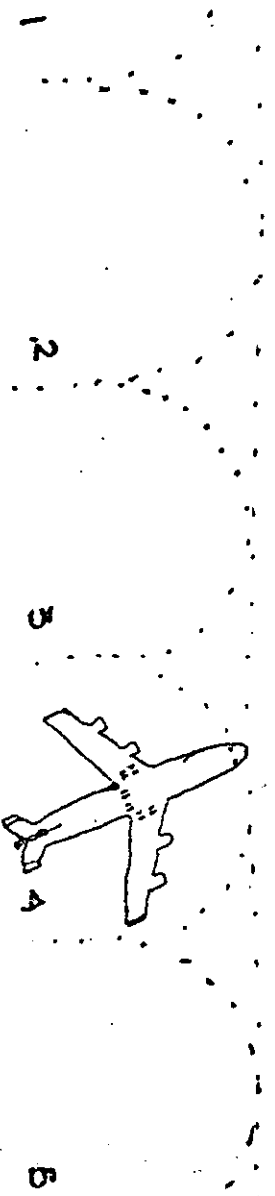
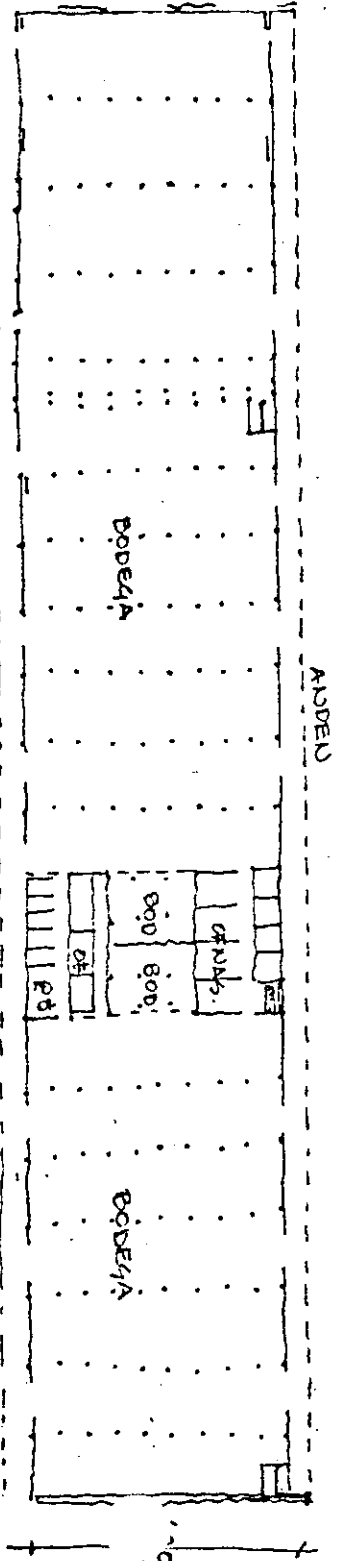


ANEXO A TORRE DE CONTROL  
AICM.  
LARGO ALCANCE.

ESTACIONAMIENTO

MINIOBRAS CARGA

350.00

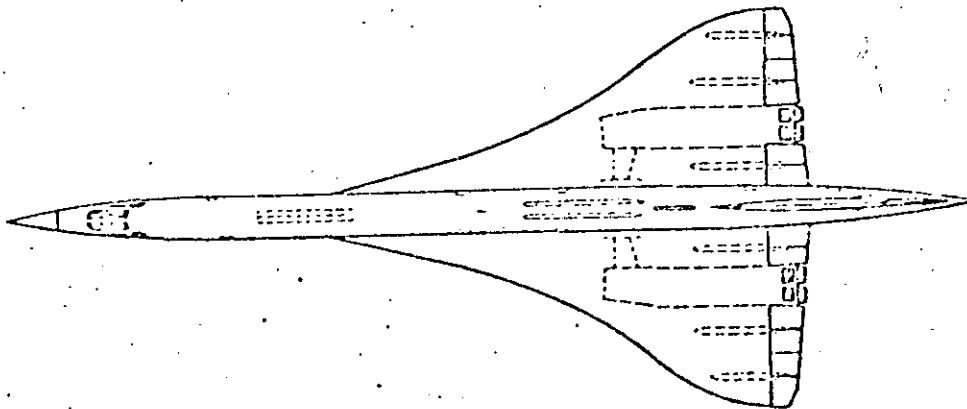
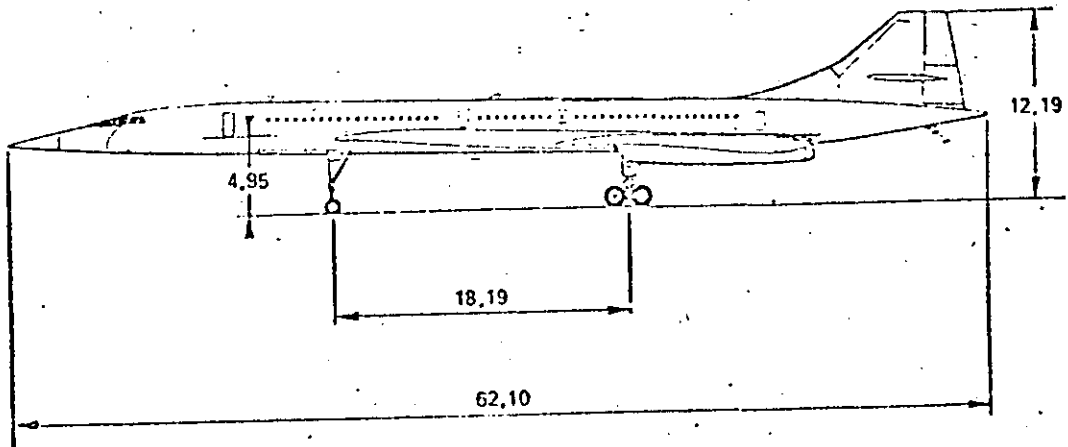
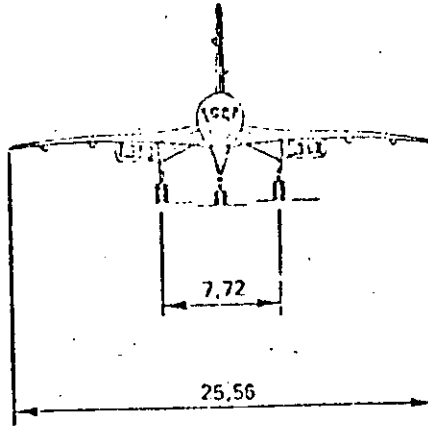


ADUANA

MCM. 1977

21000 m<sup>2</sup>.

69  
Concorde



ECHELLE : 1/400



1

Concorde		Constructeur AEROSPATIAL/BAC INTERNATIONAL
Séries existantes	Cote AEROPORT DE PARIS	1er vol commercial
1er vol prototype série	SSC	03 - 1969 01 - 1976
Séries		

### Caractéristiques techniques

Masses - Capacité					
Masse maximale au décollage (t)	132				
Masse maximale à l'atterrissage (t)	112				
Charge marchande maximale (t)	12,7				
Nombre de sièges (Air France maxi)	108 / 144				
Volume de fret (m3)	20				
Capacité des réservoirs (milliers de l.)	119,7				

### Moteurs

Nombre	4				
Type	RR. SNECMA Olympus 593				
Poussée unitaire (t)	17,3				

### Bruit

(1) Normes OACI	(2) Bruit mesuré	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Survol au décollage (EPNdb)											
Latéral au décollage (EPNdb)											
Survol en approche (EPNdb)											
Total trois points (EPNdb)											

### Performances

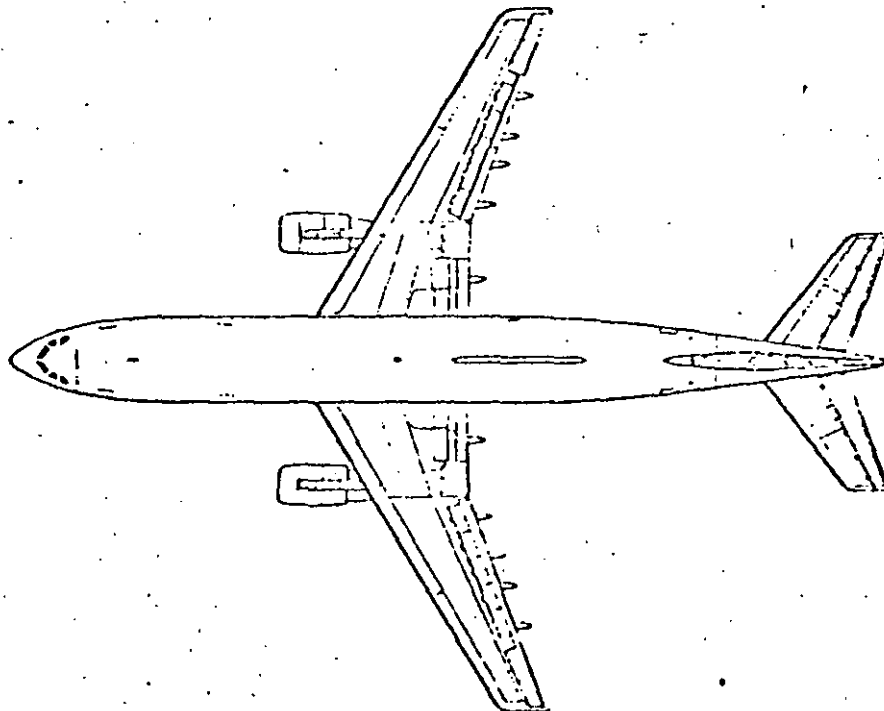
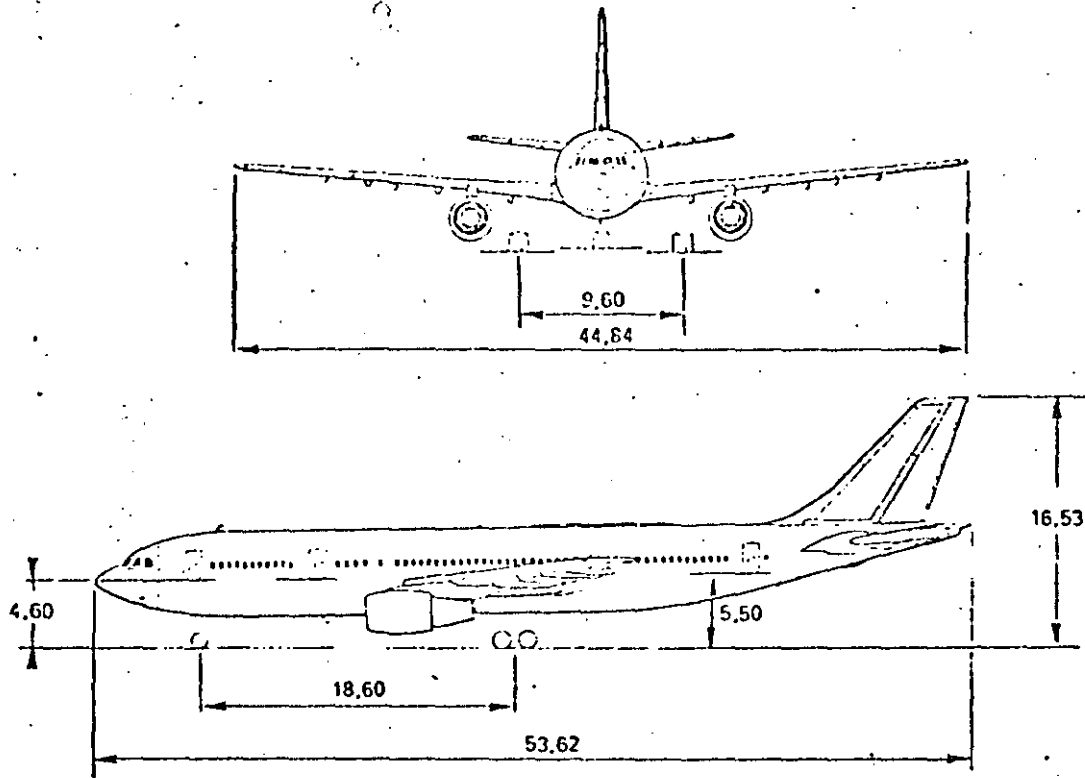
Vitesse croisière	Macl: 2,02				
Rayon d'action (km) (avec charge marchande maximale)	6140				
Longueur piste au décollage (m) (conditions standards)	3230				
Longueur piste à l'atterrissage (m) (conditions standards)	2440				

### Exploitation

Compagnies utilisatrices sur les plates-formes d'AEROPORT DE PARIS :	AF	Avions commandés :	9
		Avions livrés :	9

Observations

# Airbus A 300 B2 /B4



AÉROPORT  
DE PARIS

2

## Airbus A 300 B

Constructeur  
AIRBUS INTERNATIONAL

Séries existantes	Code AÉROPORT DE PARIS	1er vol commercial
A 300 B1 *	AB1	
A 300 B2	AB2	05 - 1974
A 300 B4	AB4	05 - 1975

Caractéristiques  
techniques

Séries

## Masses - Capacité

	A 300 B2	A 300 B4	A 300 B4 FC** Fret		
Masse maximale au décollage (t)	137 / 142	150 / 158	158		
Masse maximale à l'atterrissage (t)	130	133	133		
Charge marchande maximale (t)	30,6	35	40		
Nombre de sièges (standard - maxi)	269 / 336	269 / 336			
Volume de fret (m3)	140	140	293		
Capacité des réservoirs (milliers de l.)	43	56,6	56,6		

## Moteurs

Nombre	2	2	2		
Type	GE CF6.50 C	GE CF6.50 C	GE CF6.50 C		
Poussée unitaire (t)	23,1	23,1	23,1		

## Bruit

(1) Normes OACI	(2) Bruit mesuré		(1)		(2)		(1)		(2)	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Survol au décollage (EPNdb)	103	87,1	103,7	89						
Latéral au décollage (EPNdb)	106	91	106,3	92,4						
Survol en approche (EPNdb)	106	101,1	106,3	101,9						
Total trois points (EPNdb)	315	279,2	316,3	283,3						

## Performances

Vitesse croisière (km/h)	850	850			
Rayon d'action (km)	3330	4630	4200		
(avec charge marchande maximale)					
Longueur piste au décollage (m)	1950	2500			
(conditions standards)					
Longueur piste à l'atterrissage (m)	1630	1660			
(conditions standards)					

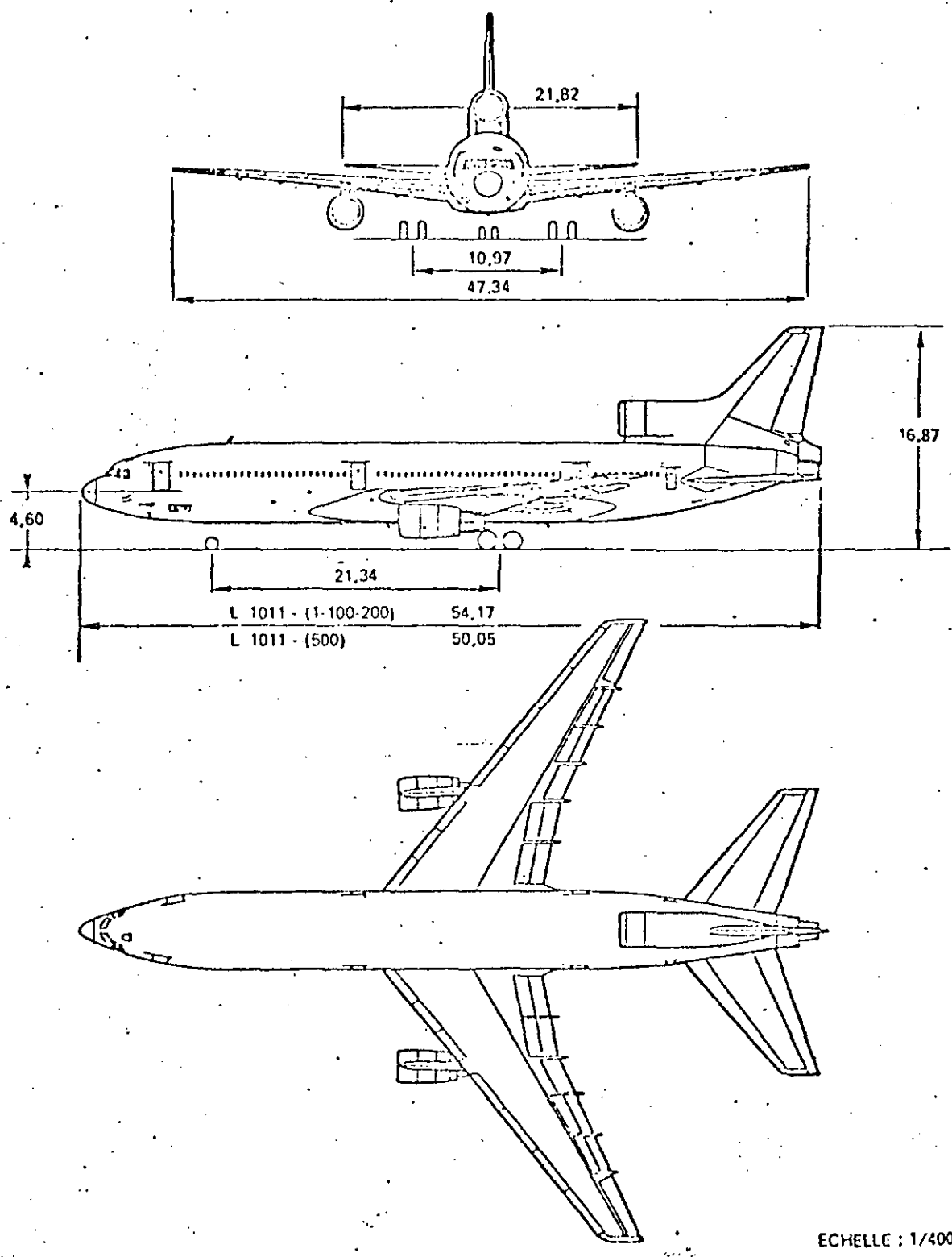
## Exploitation

Compagnies utilisatrices sur les plates-formes d'AÉROPORT DE PARIS : IT - AF - LH	Avions commandés : 53
	Avions livrés : 35

## Observations. Les caractéristiques techniques indiquées pour chaque série correspondent au P.M.D. souligné

- \* La série "A300B1" n'a été construite qu'à 2 exemplaires
- \*\* La version "A300B4FC" (Freighter conversion) est une série dérivée du A300B4

# L - 1011 - Tristar







AEROPORT DE PARIS

21

<b>L 1011 Tristar</b>		Constructeur <b>LOCKHEED</b> U.S.A.
Séries existantes	Code AEROPORT DE PARIS	1er vol commercial
L 1011 - 1 100 200 250 500	L10 L10 L10 L10 L10	04 - 1972

**Caractéristiques techniques**

**Masses - Capacité**

	1	100	200	250	500
Masse maximale au décollage (t)	196	205 / 212	205 / 212	225	225
Masse maximale à l'atterrissage (t)	163	167	167	167	167
Charge marchande maximale (t)	38,4	34,4	33	40,3	44,4
Nombre de sièges (standard - maxi)	256 / 400	256 / 400	256 / 400	253 / 300	253 / 300
Volume de fret (m3)	110,4	110,4	110,4		
Capacité des réservoirs (milliers de l.)	90,1	100,3	100,3	119,7	119,7

**Moteurs**

	3	3	3	3	3
Nombre	3	3	3	3	3
Type	RR RB 211	RR RB 211	RR RB 211	RR RB 211	RR RB 211
Poussée unitaire (t)	22 B 19,05	22 B 19,05	524 21,8	524 B 21,7	524 B 22,7

**Bruit**

	(1) Normes OACI		(2) Bruit mesuré		(1)		(2)		(1)		(2)	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Survol au décollage (EPNdb)	105,6	95,9										
Latéral au décollage (EPNdb)	107,1	91										
Survol en approche (EPNdb)	107,1	103,4										
Total trois points (EPNdb)	319,8	290,3										

**Performances**

	806	806	838	842	842
Vitesse croisière (km/h)	806	806	838	842	842
Rayon d'action (km)	5760	7080	7160		
Longueur piste au décollage (m) (conditions standards)	2425	3245	2460		
Longueur piste à l'atterrissage (m) (conditions standards)	1735	1770	1770		

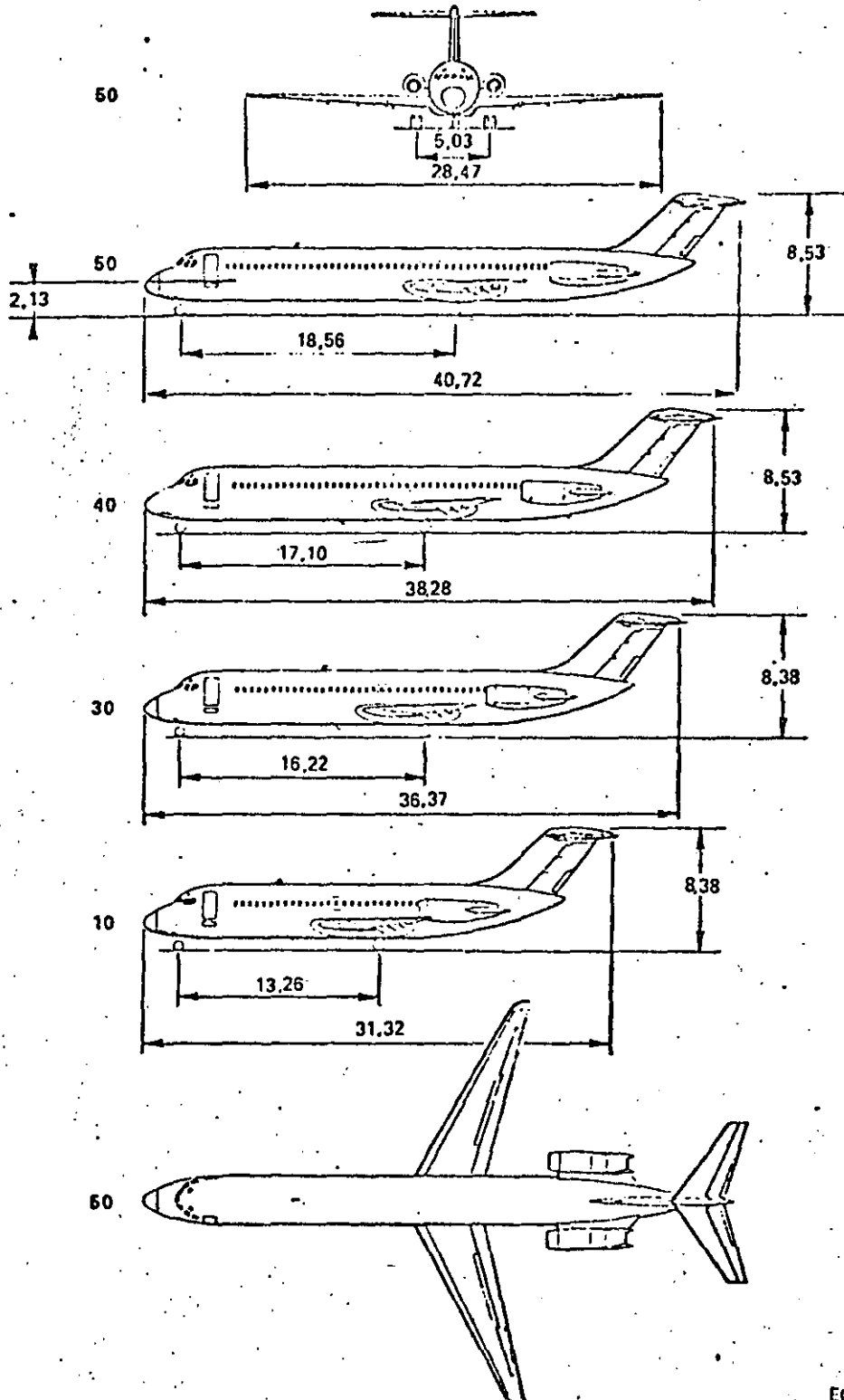
**Exploitation**

Compagnies utilisatrices sur les plates-formes d'AEROPORT DE PARIS :	AC-BA-BE-GF-SV	Avions commandés :	170
		Avions livrés :	149

**Observations** Les caractéristiques techniques indiquées pour chaque série correspondent au PMD souligné

75

# DC 9



ECHELLE : 1/400

AEROPORT  
DE PARIS

33

## Douglas DC-9

Constructeur  
Mc Donnell Douglas  
U.S.A.

Séries existantes

Code AEROPORT DE PARIS

1er vol commercial

DC 9 - 10  
DC 9 - 20  
DC 9 - 30  
DC 9 - 40  
DC 9 - 50D91  
D92  
D93  
D94  
D9512 - 1965  
01 - 1969  
01 - 1967  
02 - 1968  
08 - 1975

Séries

Caractéristiques  
techniques

## Masses - Capacité

	10	20	30	40	50
Masse maximale au décollage (t)	36 / <u>42</u>	45	45 / <u>55</u>	52 / <u>55</u>	55
Masse maximale à l'atterrissage (t)	37	43	50	50	50
Charge marchande maximale (t)	9,3	10,6	12,7	14,4	15,6
Nombre de sièges (standard - maxi)	63 / 90	63 / 90	80 / 115	87 / 125	97 / 139
Volume de fret (m <sup>3</sup> )	17	17	25,3	28,9	29,3
Capacité des réservoirs (milliers de l.)	14	13,9	13,9	13,9	19

## Moteurs

	2	2	2	2	2
Nombre	P et W	P et W	P et W	P et W	P et W
Type	JT8 D1	JT8 D9	JT8 D11	JT8 D15	JT8 D17
Poussée unitaire (t)	6,3	6,6	6,8	7	7,2

## Bruit

	(1) Normes OACI		(2) Bruit mesuré		(1)		(2)		(1)		(2)	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Survol au décollage (EPNdb)	94,4	87	94,9	87			96	92,8	96,5	95		
Latéral au décollage (EPNdb)	102,5	98	102,8	99			103,2	96,5	103,4	99		
Survol en approche (EPNdb)	102,5	109	102,8	109			103,2	99,4	103,4	102		
Total trois points (EPNdb)	299,4	294	300,5	295			302,4	288,7	302,3	296		

## Performances

	907	915	907	898	898
Vitesse croisière (km/h)					
Rayon d'action (km)	2946	2974	3095	2880	3326
(avec charge marchande maximale)					
Longueur piste au décollage (m)	1970	1495	2225	2225	2445
(conditions standards)					
Longueur piste à l'atterrissage (m)	1535	1355	1425	1440	1440
(conditions standards)					

## Exploitation

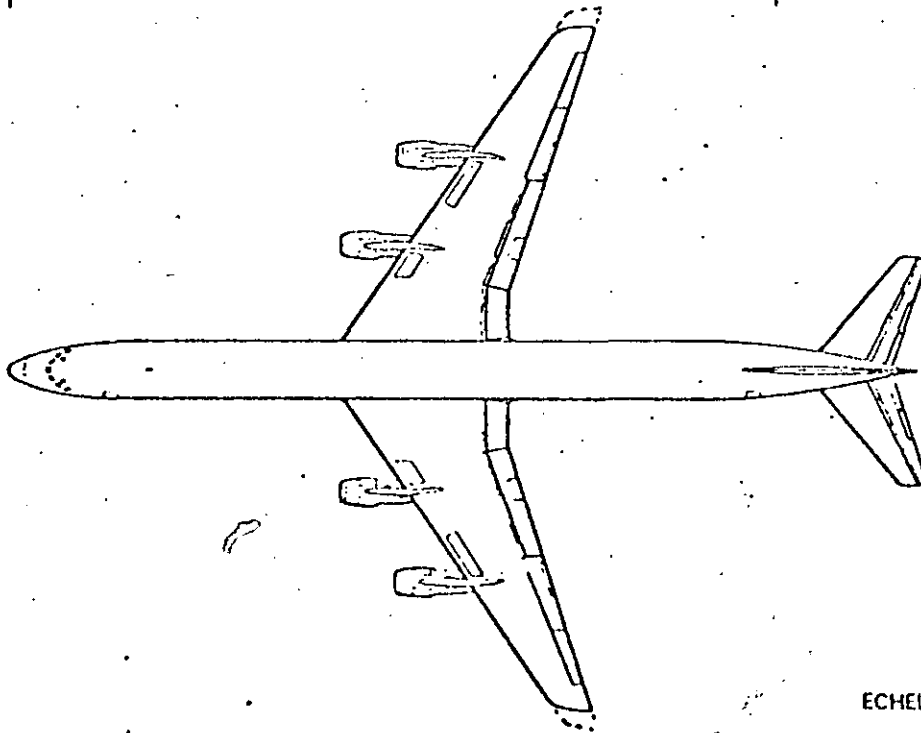
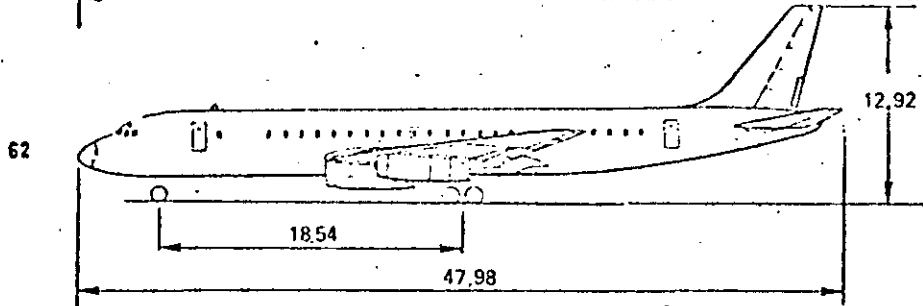
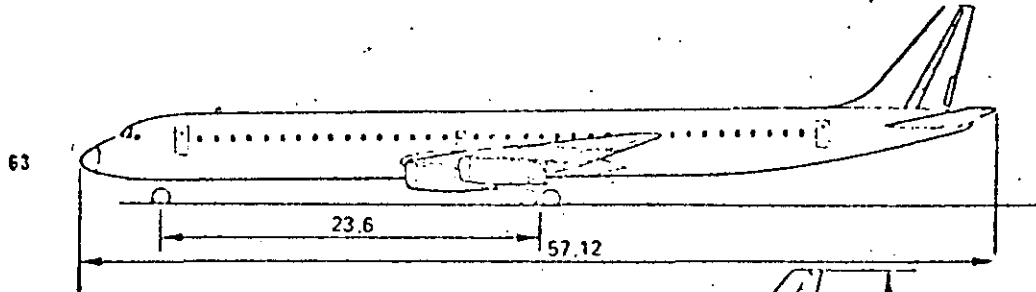
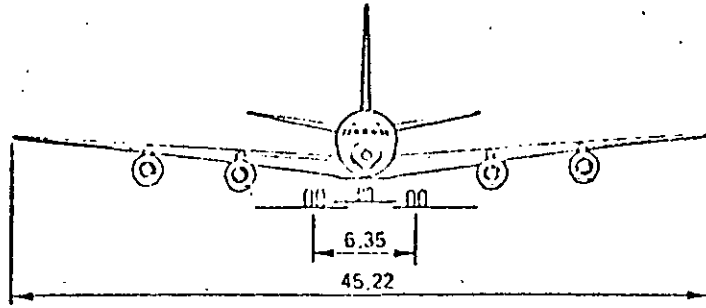
Compagnies utilisatrices sur les plates-formes d'AEROPORT DE PARIS :	AZ-IB-JU-KL OS-SK-SR	Avions commandés :	926
		Avions livrés :	871

Observations: Les caractéristiques techniques indiquées pour chaque série correspondent au PMD souligné

\* Les DC9 existent en versions - Cargo - Convertible ou passagers + Cargo

77  
DC-3

62 - 63



ECHELLE : 1/400

AÉROPORT  
DE PARIS

32

## Douglas DC-8

Constructeur  
de Donnell Douglas  
U.S.A.

Séries existantes	Code AÉROPORT DE PARIS	1er vol commercial
DC8-20-30-40-50	D85	09 - 1959
DC8-61 - 61F *	D86 - DSP	02 - 1967
DC8-62 - 62F *	D81 - D8U	05 - 1967
DC8-63 - 63F *	D8A - D8C	07 - 1967

Caractéristiques  
techniques

## Masses - Capacité

	30	50	Super 61	Super 62	Super 63
Masse maximale au décollage (t)	141 / 143	143 / 148	148 / 149	152 / 159	159 / 162
Masse maximale à l'atterrissage (t)	94	99	109	109	112
Charge marchande maximale (t)	15,6	15,6	30,2	21,5	30,7
Nombre de sièges (standard - maxi)	132 / 179	132 / 179	259	189	259
Volume de fret (m3)	39,3	39,3	70,8	45,7	70,8
Capacité des réservoirs (milliers de l.)	87,4	88,5	88,5	91,9	91,9

## Moteurs

	4	4	4	4	4
Nombre	P et W	P et W	P et W	P et W	P et W
Type	JT4 A9	JT3 D3	JT3 D3	JT3 D3	JT3 D7
Poussée unitaire (t)	7,6	8,2	8,2	8,2	8,6

## Bruit

(1) Normes OACI	(2) Bruit mesuré	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Survol au décollage (EPNdb)		103,4	113	103,4	114	103,6	115,2				
Latéral au décollage (EPNdb)		106,1	109	106,1	106	106,2	103,2				
Survol en approche (EPNdb)		106,1	111	106,1	118	106,2	117				
Total trois points (EPNdb)		315,6	333	315,6	338	316	335,6				

## Performances

	30	50	Super 61	Super 62	Super 63
Vitesse croisière (km/h)	952	933	965	965	965
Rayon d'action (km) (avec charge marchande maximale)			6035	9640	7240
Longueur piste au décollage (m) (conditions standards)	3020	3220	3042	3133	3627
Longueur piste à l'atterrissage (m) (conditions standards)	2073	1713	1870	1870	1905

## Exploitation

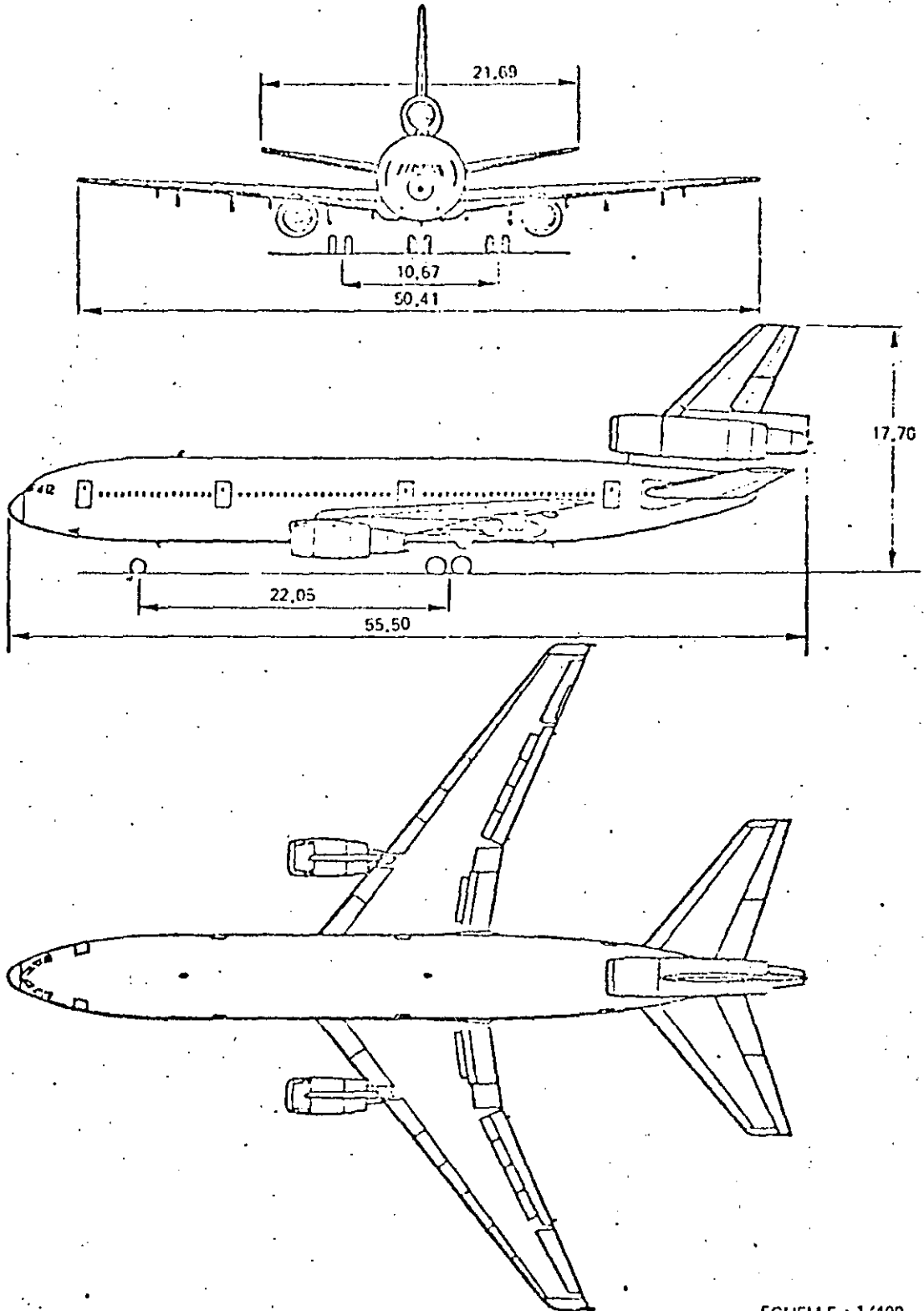
Compagnies utilisatrices sur les plates-formes d'AÉROPORT DE PARIS :	AC - AE - IB UT - JL - RK	Avions commandés :	
		Avions livrés :	311

## Observations

Les caractéristiques techniques indiquées pour chaque série correspondent au PMSD souligné  
\* Les DC8-61/62/63 existent en versions Fret sous les dénominations DC8 61F/62F/63F

79

# DC-10-30



ECHELLE : 1/400

AÉROPORT  
DE PARIS

31

## Douglas DC-10

Constructeur  
Mc Donnell Douglas  
F.S.A.

Séries existantes	Code AÉROPORT DE PARIS	1er vol commercial
DC 10 - 10 *	D11	08 - 1971
DC 10 - 30 *	D1C	11 - 1972
DC 10 - 40	D1C	11 - 1972

Caractéristiques  
techniques

## Masses - Capacité

	10	30	40		
Masse maximale au décollage (t)	200	252 / 257	252 / 257		
Masse maximale à l'atterrissage (t)	165	183	183		
Charge marchande maximale (t)	46,1	47,4	46,2		
Nombre de sièges (standard - maxi)	270 / 380	270 / 380	270 / 380		
Volume de fret (m <sup>3</sup> )	107	107	107		
Capacité des réservoirs (milliers de l.)	82,5	135,5	135,5		

## Moteurs

	3	3	3		
Nombre	3	3	3		
Type	GE CF6 6 D 1	GE CF6 50 C	PW ** JT9D 20		
Poussée unitaire (t)	18,6	23,	22,4		

## Bruit

(1) Normes OACI	(2) Bruit mesuré	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Survol au décollage (EPNdb)		105,8	96,2	107,5	102						
Latéral au décollage (EPNdb)		107,1	91,4	107,8	93,3						
Survol en approche (EPNdb)		107,1	105,4	107,8	103						
Total trois points (EPNdb)		320	293	323,1	298,3						

## Performances

	10	30	40		
Vitesse croisière (km/h)	925	908	906		
Rayon d'action (km)	4350	7130	6500		
(avec charge marchande maximale)					
Longueur piste au décollage (m)	2743	3565	3730		
(conditions standards)					
Longueur piste à l'atterrissage (m)	1770	1815	1840		
(conditions standards)					

## Exploitation

Compagnies utilisatrices sur les plates-formes d'AÉROPORT DE PARIS :	-AN-GA-IB-KE-NA -PK-QC-RG-RK-UT-TC -VA	Avions commandés :	275
		Avions livrés :	245

## Observations

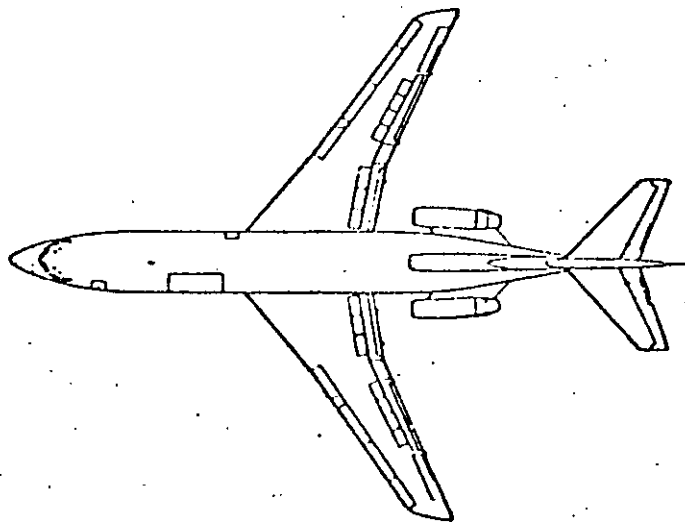
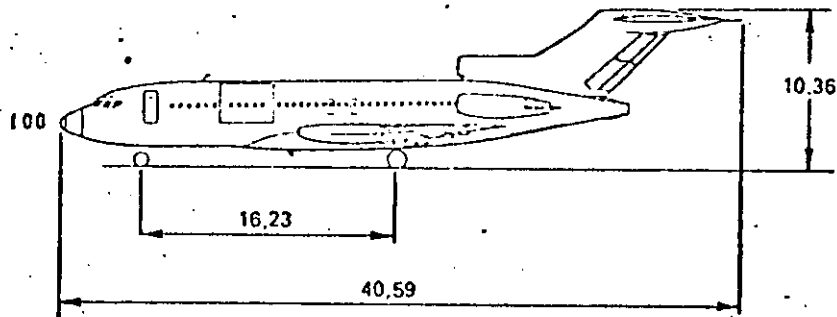
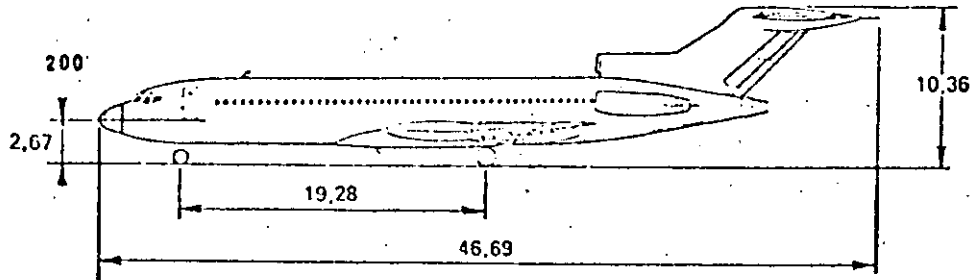
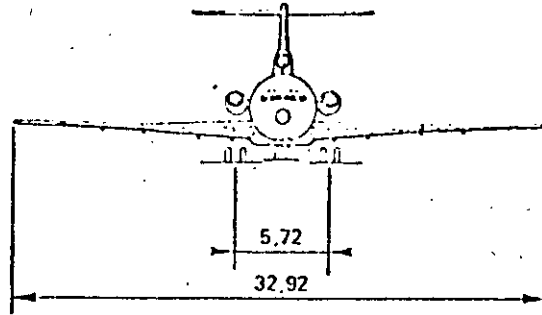
Les caractéristiques techniques indiquées pour chaque série correspondent au P.D. souligné

\* Il existe aussi des versions 10 et 30 convertibles sous les dénominations de 10 CF et 30 CF

\*\* La version DC 10-40 peut être équipée de moteurs JT9D 59 A

81

# Boeing 727



ECHELLE : 1/400



AÉROPORT  
DE PARIS

27

## Boeing 727

Constructeur  
BOEING U.S.A.

Séries existantes	Code AÉROPORT DE PARIS	1er vol commercial
B727-100	721	02 - 1964
100C	721	01 - 1966
100QC *	721	
B727-200	72S	12 - 1967

Caractéristiques  
techniques

## Masses - Capacité

	100	100C Convertible	200 **		
Masse maximale au décollage (t)	73 / 77	73 / 77	79 / 95		
Masse maximale à l'atterrissage (t)	65	65	68		
Charge marchande maximale (t)	15,4	15,4	16,3		
Nombre de sièges (standard - maxi)	94 / 131	94 / 131	155 / 189		
Volume de fret (m3)	25,5		43		
Capacité des réservoirs (milliers de l.)	29	29	30,6		

## Moteurs

	3	3	3		
Nombre	P et W	P et W	P et W		
Type	JT8D 7	JT8D 9	JT8D 9		
Poussée unitaire (t)	6,6	6,6	6,6		

## Bruit

(1) Normes OACI	(2) Bruit mesuré		(1)		(2)		(1)		(2)	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Survol au décollage (EPNdb)	98,5	99			99	100,7				
Latéral au décollage (EPNdb)	104,2	96,5			104,4	96,4				
Survol en approche (EPNdb)	104,2	110,5			104,4	109,5				
Total trois points (EPNdb)	306,9	306			307,8	306,6				

## Performances

	917	917	917		
Vitesse croisière (km/h)					
Rayon d'action (km)	3300	3300	2685		
(avec charge marchande maximale)					
Longueur piste au décollage (m)	2210	2210	2847		
(conditions standards)					
Longueur piste à l'atterrissage (m)	1420	1420	1430		
(conditions standards)					

## Exploitation

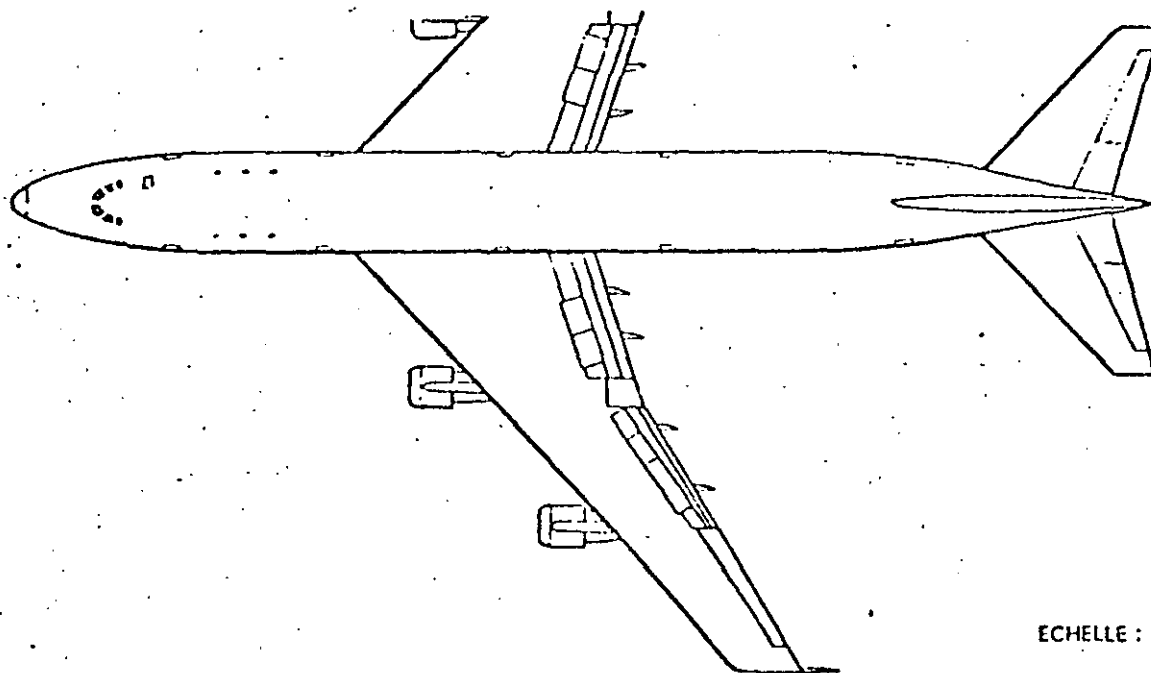
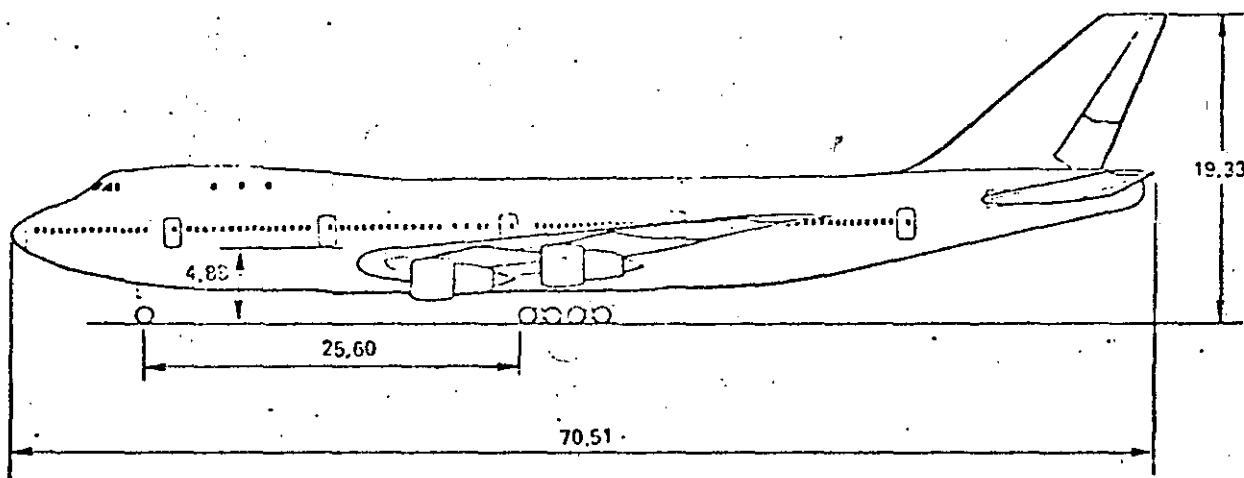
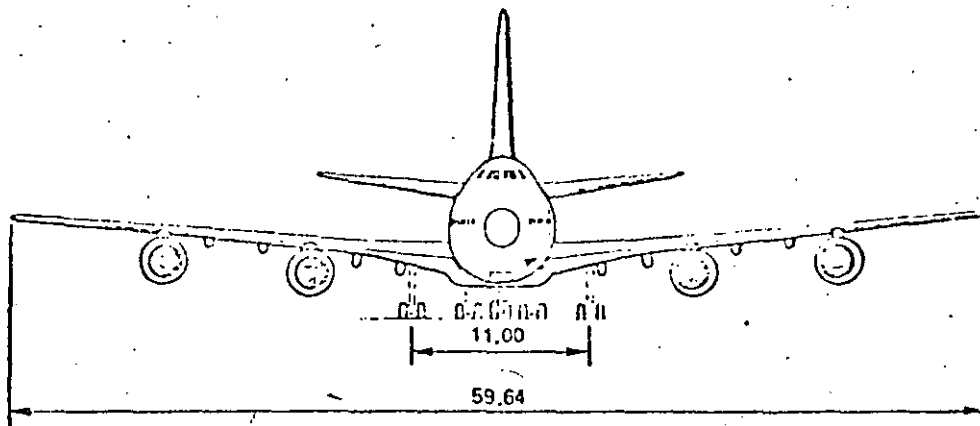
Compagnies utilisatrices sur les plates-formes d'AÉROPORT DE PARIS :	AF - AH - AT - AZ	Avions commandés : 1500
	IB - JU - LH - NE - OA	
	RB - RJ - TP - TK - TI	

**Observations** - Les caractéristiques techniques indiquées pour chaque série correspondent au PMD souligné

\* La série "100QC" est une série convertible à transformation rapide de l'aménagement intérieur

\*\* La série "200 advanced" est une série dont le PMD varie de 87t à 95t les derniers avions livrés dans cette série étaient équipés de moteurs P et W JT8D.15 de 7t de poussée unitaire

# Boeing 747



AÉROPORT  
DE PARIS

24

## Boeing 747

Constructeur  
BOEING U.S.A.

Séries existantes	Cote AÉROPORT DE PARIS	1er vol commercial
B 747 100	741	01 - 1970
B 747 SR	74R	02 - 1973
B 747 200 B-200 C*	74B	04 - 1973
B 747 200 F	74F	03 - 1972
B 747 200 B Combi		03 - 1975

Caractéristiques  
techniques

## Séries

Masses - Capacité	100	SR	200 B	200 F	200 B Combi
Masse maximale au décollage (t)	323 / 333	235 / 273	352 / 357	352 / 372	352 / 357
Masse maximale à l'atterrissage (t)	256	229	256	286	266
Charge marchande maximale (t)	79	59	73	115,5	77,8
Nombre de sièges (standard - maxi)	385 / 500		385 / 500	/	281 sièges + 26,5 t de fret
Volume de fret (m <sup>3</sup> )	175		175	670,3	
Capacité des réservoirs (milliers de l.)	178,7		194,7	194,7	194,7

## Moteurs

	4	4	4	4	4
Nombre	4	4	4	4	4
Type	P et W JT9 D3A	P et W JT9 D7A	P et W ** JT9 D7A	P et W ** JT9 D7FW	P et W ** JT9 D7A
Poussée unitaire (t)	19,7	20,6	20,6	21,3	20,6

## Bruit

(1) Normes OACI	(2) Bruit mesuré		(1)		(1)		(1)		(1)	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Survol au décollage (EPNdb)	108	112,4			108	107				
Latéral au décollage (EPNdb)	108	103,3			108	98,2				
Survol en approche (EPNdb)	108	114,4			108	105,5				
Total trois points (EPNdb)	324	330,1			324	312				

## Performances

	958	978	978	978
Vitesse croisière (km/h)	958	978	978	978
Rayon d'action (km)	9136	10000	4630	10 000
(avec charge marchande maximale)				
Longueur piste au décollage (m)	3170	3200	3320	3 200
(conditions standards)				
Longueur piste à l'atterrissage (m)	2060	1880	2210	2 100
(conditions standards)				

## Exploitation

Compagnies utilisatrices sur les plates-formes d'AÉROPORT DE PARIS :	AF-AC-AJ-AR-AV CN-IR-JL-LY-PK GA-QF-SA-SR-SQ-TW	Avions commandés : compris série SP : 357
		Avions livrés : 315

## Observations. Les caractéristiques techniques indiquées pour chaque série correspondent au P.M.D. souligné

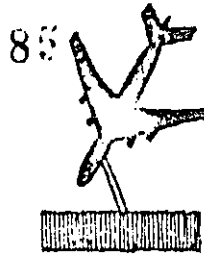
- \* La série 200 C est une version convertible du 200 B qui peut transporter jusqu'à 107 t de fret en tout cargo.
- \*\* Des moteurs CF6 50E - RB 211-524 - JT9 D70A et JT9 D7F équipent certaines versions des séries 200.

**A.**



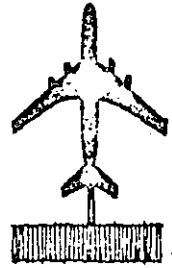
PROA HACIA DENTRO

**B.**



PROA EN DIAGONAL HACIA DENTRO

**C.**



PROA HACIA AFUERA

AVION

-FACILIDAD DE ACCESO

-PUEDE O NO SALIR POR SU PROPIO IMPULSO

-SALE POR SU PROPIO IMPULSO

CONECTOR

-EL CONECTOR PUEDE SER FIJO

-EL CONECTOR DEBE SER MOVIL (TIPO PASILLO TELESCOPICO)

-NO EXISTE CONECTOR SALIDA A NIVEL DEL PISO

VENTAJA

-RUIDO Y EFECTOS DE ESCAPE MINIMO

-EL CONECTOR ESTA MUY CERCA DEL EDIFICIO

-ADAPTACION DE LAS PUERTAS TRASERAS DEL AVION

DESVENTAJA

-EL AVION DEBE SALIR CON LA AYUDA DE UN REMOLQUE O TRACTOR

-MAXIMO RUIDO DE SALIDA

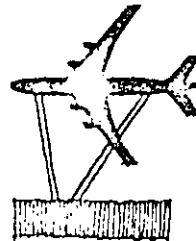
-PUEDE LLEGAR A DAÑAR LOS VIDRIOS DEL EDIFICIO Y EL RUIDO ES EL MAS INTENSO

**D.**



PROA EN DIAGONAL HACIA FUERA

**E.**



PARALELO DE LAS EDIFICACIONES

-SALE POR SU PROPIO IMPULSO

-SALE POR SU PROPIO IMPULSO

-EL CONECTOR DELANTERO ES MUY LARGO, EL TRACERRO ES MUY CORTO

-NECESITA UN PASILLO TELESCOPIO (OVER-THE-WING QUE PUEDA ALCANZAR EL FUSELAJE

-PREFERIDO POR SU MANIOBRA ABIERTA DE SALIDA

-DISMINUYE LOS EFECTOS DE RUIDO EN LA SALA DE ULTIMA ESPERA

-PRODUCE RUIDO INTENSO CON MENOS PROBLEMAS DE RUIDO QUE PROA HACIA FUERA

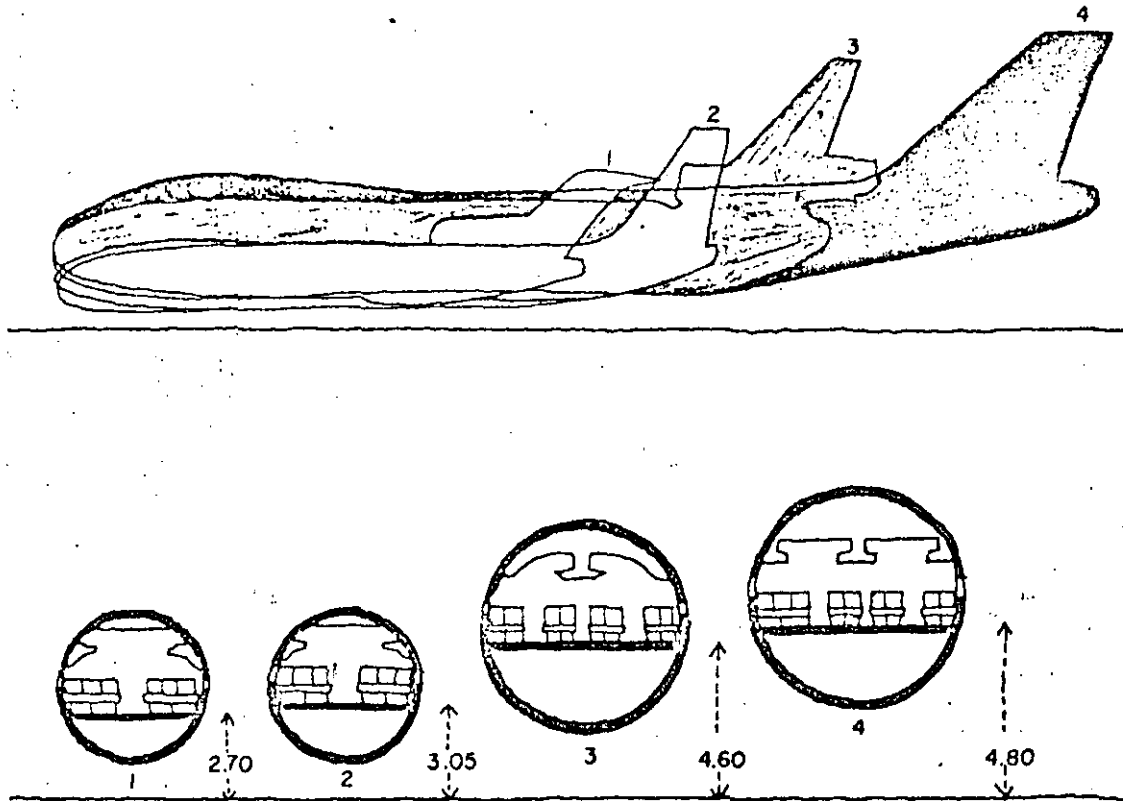
-EL AVION ESTA LO MAS ALEJADO DEL CONECTOR

**FORMAS**

**DE**

**ATRAQUE**

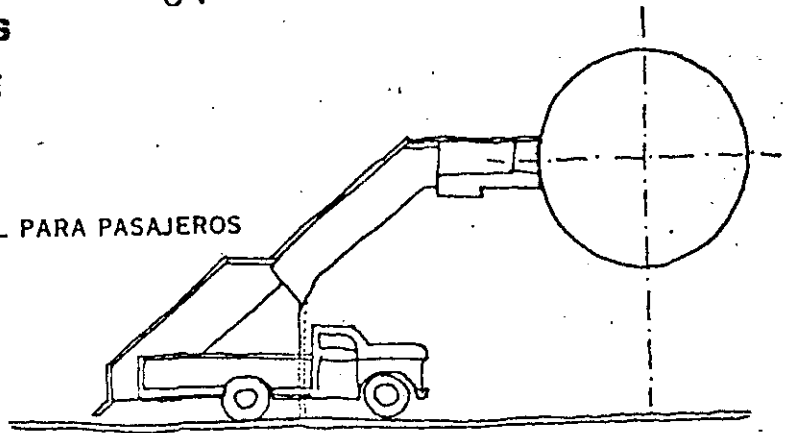
# COMPARACIONES DE FUSELAJE Y ALTURAS DE AVIONES



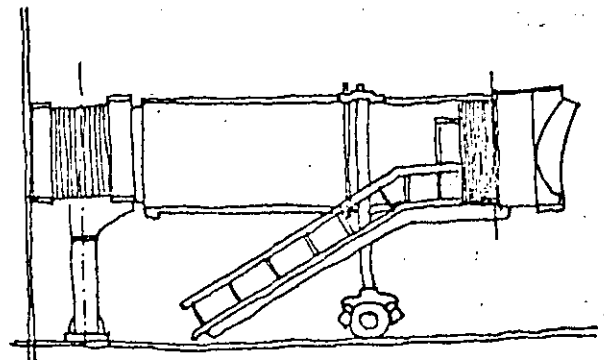
- |    |              |
|----|--------------|
| 1- | B 727        |
| 2- | B 707        |
| 3- | DC 10 L 1011 |
| 4- | B 747        |

# DISPOSITIVOS DE ABORDAJE

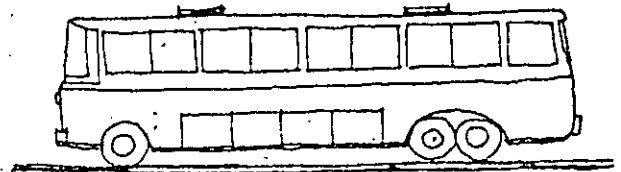
ESCALERA MOVIL PARA PASAJEROS



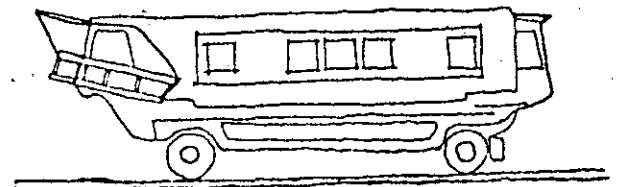
PASILLO TELESCOPICO O  
PUENTE DE CONEXION  
DIRECTA DEL EDIFICIO  
TERMINAL AL AVION



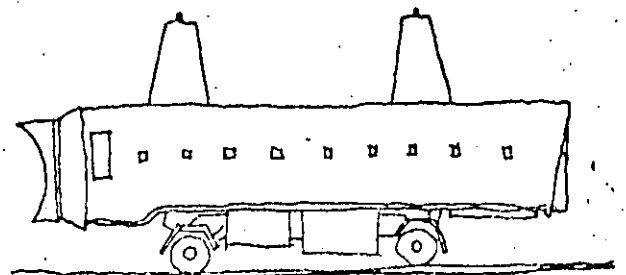
AUTOBUS COMUN



TRANSPORTADOR CON  
ESCALERA AJUSTABLE A  
LA ALTURA DEL AVION



"PLANE MATE"  
TRANSPORTADOR DE TIPO  
ELEVADOR QUE SE AJUS-  
TA MECANICAMENTE A LA  
ALTURA DEL AVION



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  
100





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

CURSO : PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE MAYO  
MEXICO, D.F

PROYECTOS AERONAUTICOS

ING. HECTOR MARTINEZ SANDOVAL  
MAYO DE 1985



✓  
DESPEGUES 1

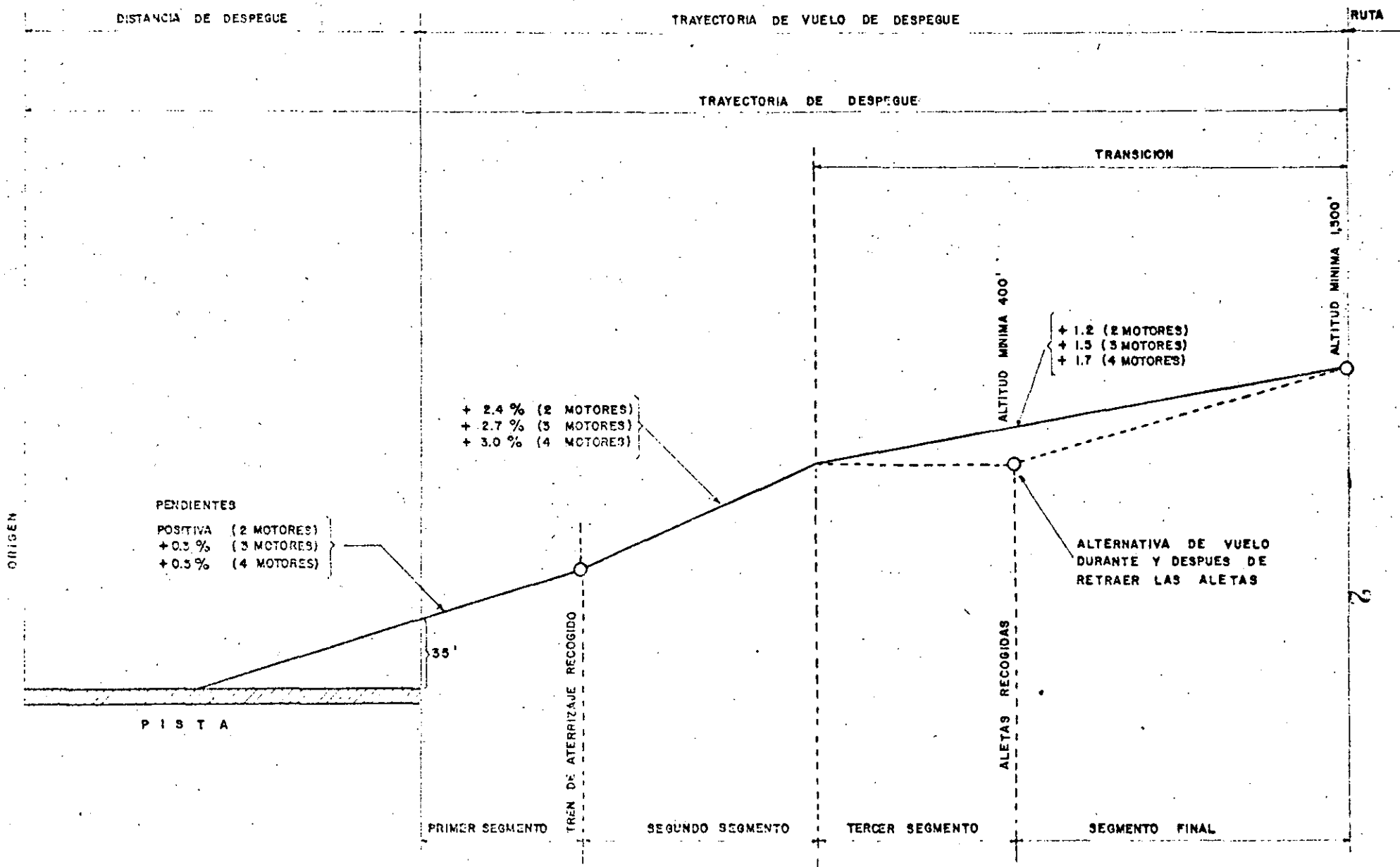
La trayectoria de vuelo de despegue se divide en varios segmentos: primero, segundo, tercero y final; algunas veces los segmentos tercero y final se reconocen como segmento de transición. En cada segmento hay varias pendientes de ascenso, dependiendo del número de turbinas de los aviones.

Las pendientes mayores corresponden al segundo segmento; por lo tanto, dicho segmento es el crítico para determinar el peso máximo en ascenso. Este segmento se inicia en el punto en que se retrae el tren de aterrizaje, y termina cuando el avión alcanza una altura de 400' sobre la elevación del umbral de la pista. En el segmento de transición, el piloto tiene varias opciones de ascender, siempre que las pendientes promedio no sean menores que las especificadas en la figura.

Las normas de Ascenso correspondientes a la trayectoria de vuelo de despegue, se aplican desde que el avión alcanza una altura de 35' sobre el umbral, hasta el punto donde se logra una altura de 1500'.

Cuando se encuentran obstáculos en la trayectoria de vuelo las pendientes que se muestran en la figura no se aplican.

# UN MOTOR INOPERANTE — PENDIENTES DE ASCENSO MINIMAS PARA AVIONES COMERCIALES DE TURBINA SIN CONSIDERAR OBSTACULOS EN LA TRAYECTORIA DE VUELO



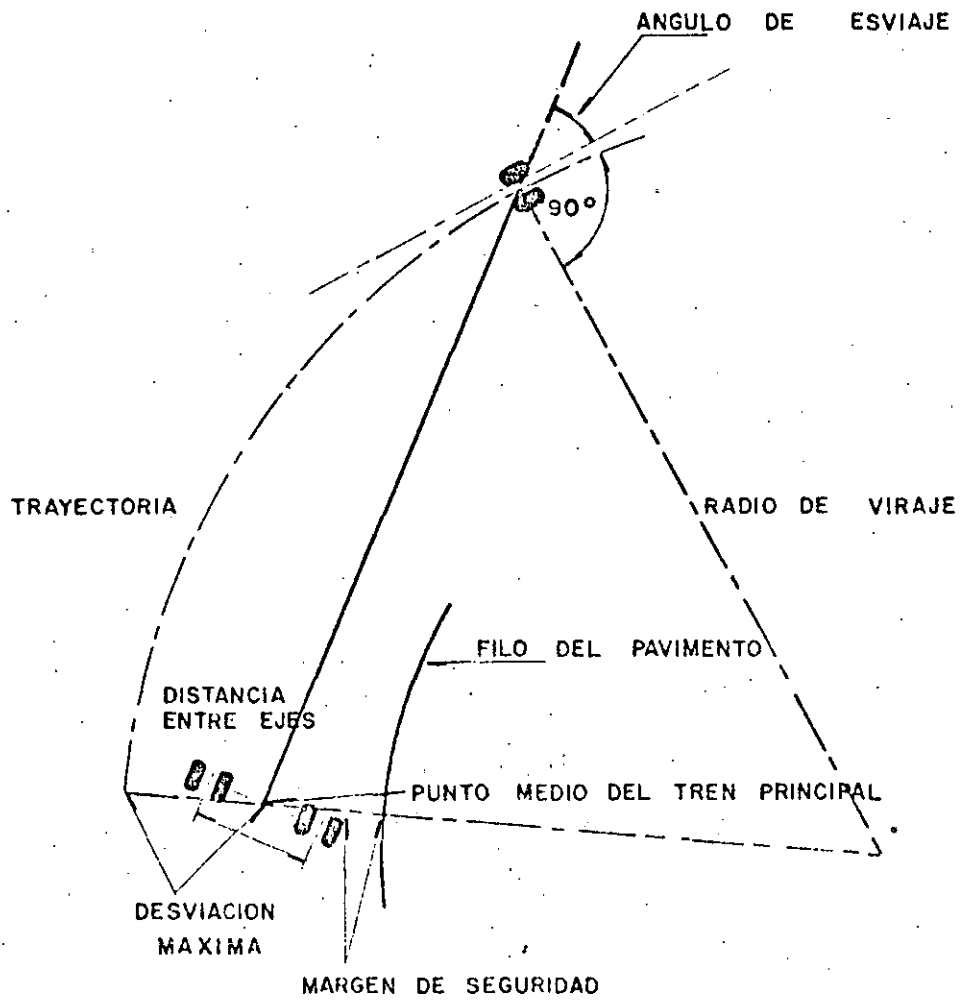
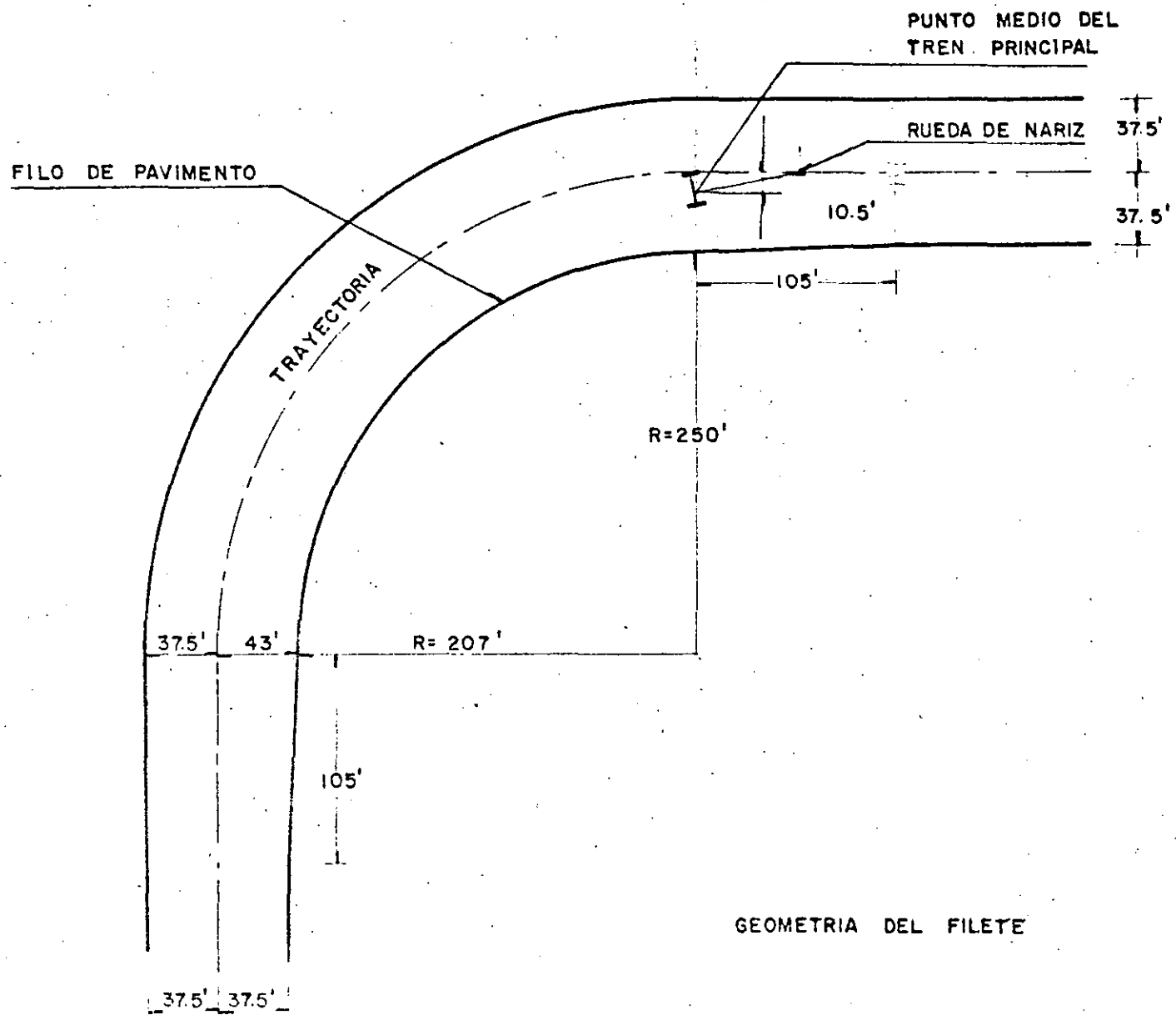
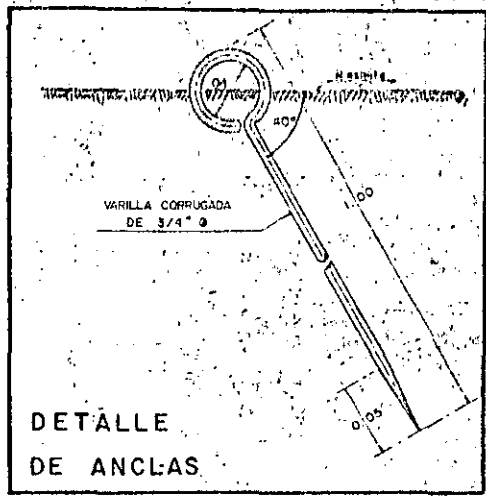
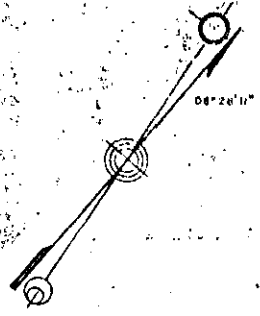


FIG. 1



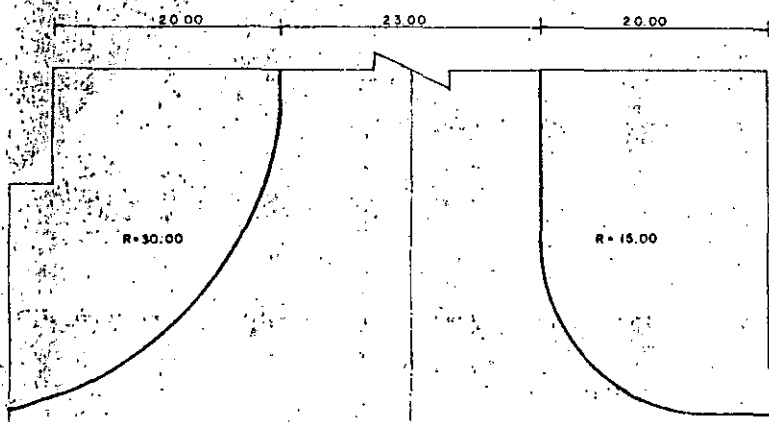
GEOMETRIA DEL FILETE

FIG. 6.

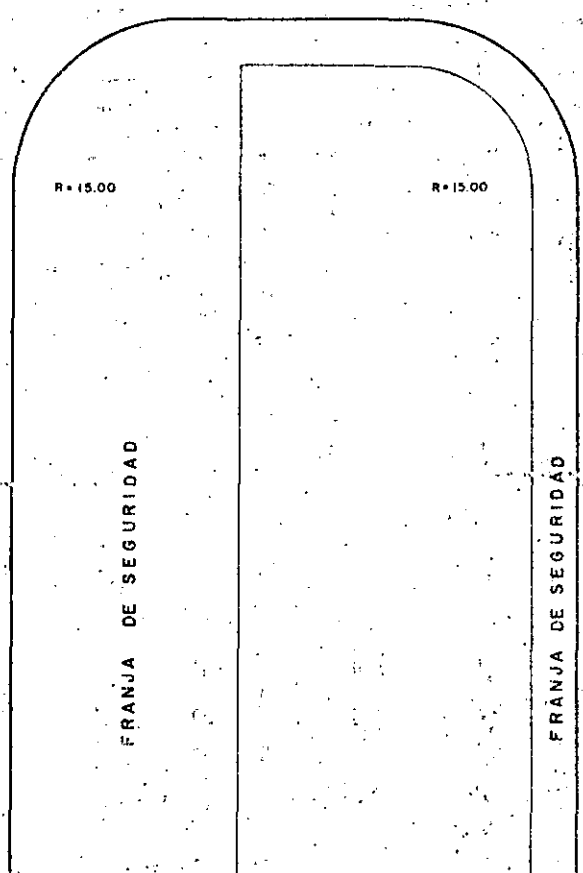


DETALLE DE ANCLAS

FRANJA

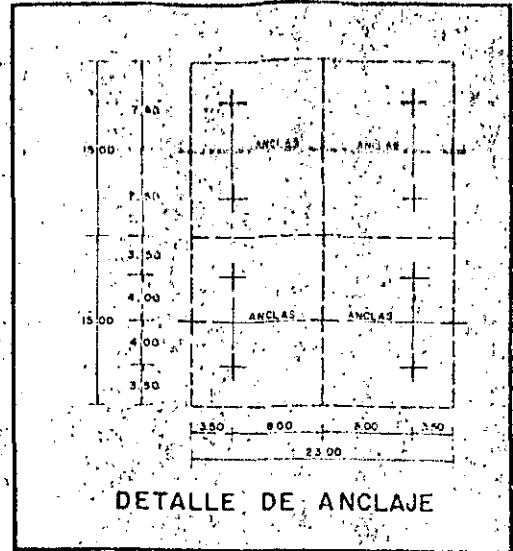
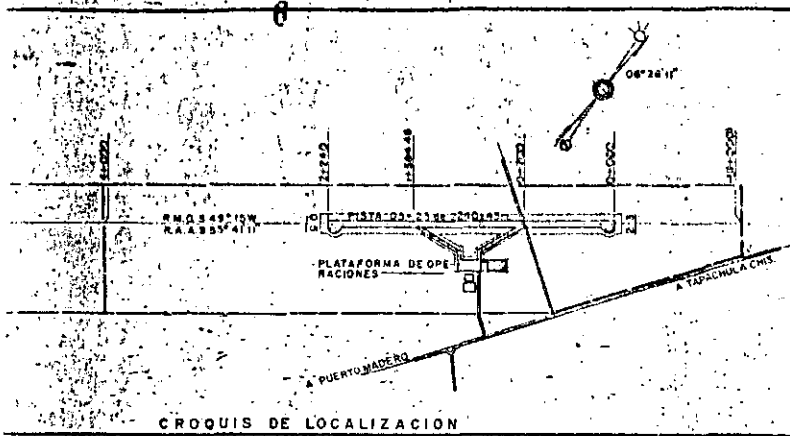


PLATAFORMA DE OPERACIONES

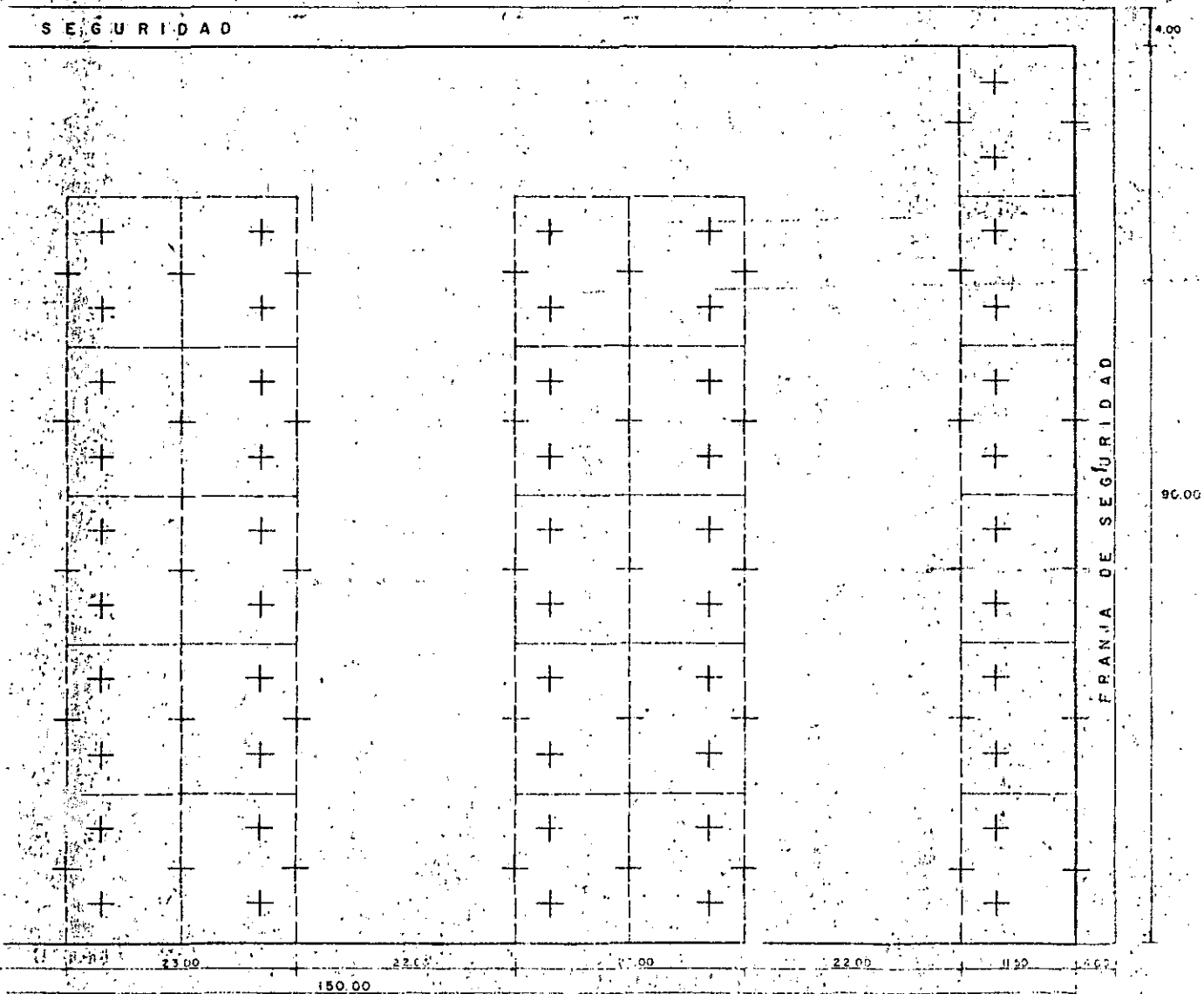


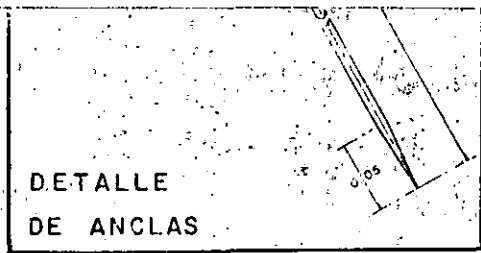
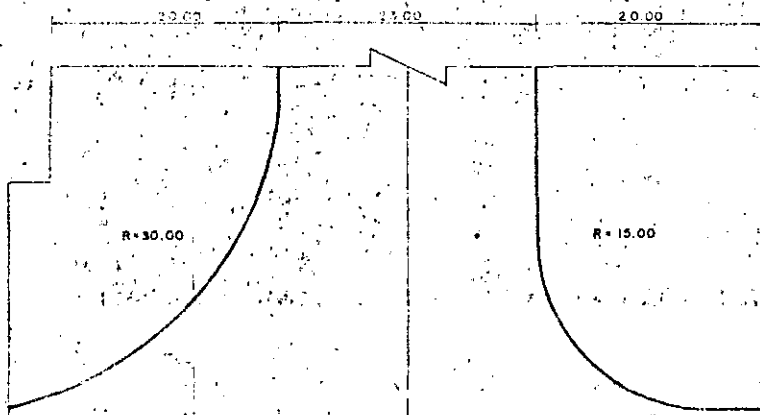
22.00 26.00 1.00 15.00 11.00

50.50

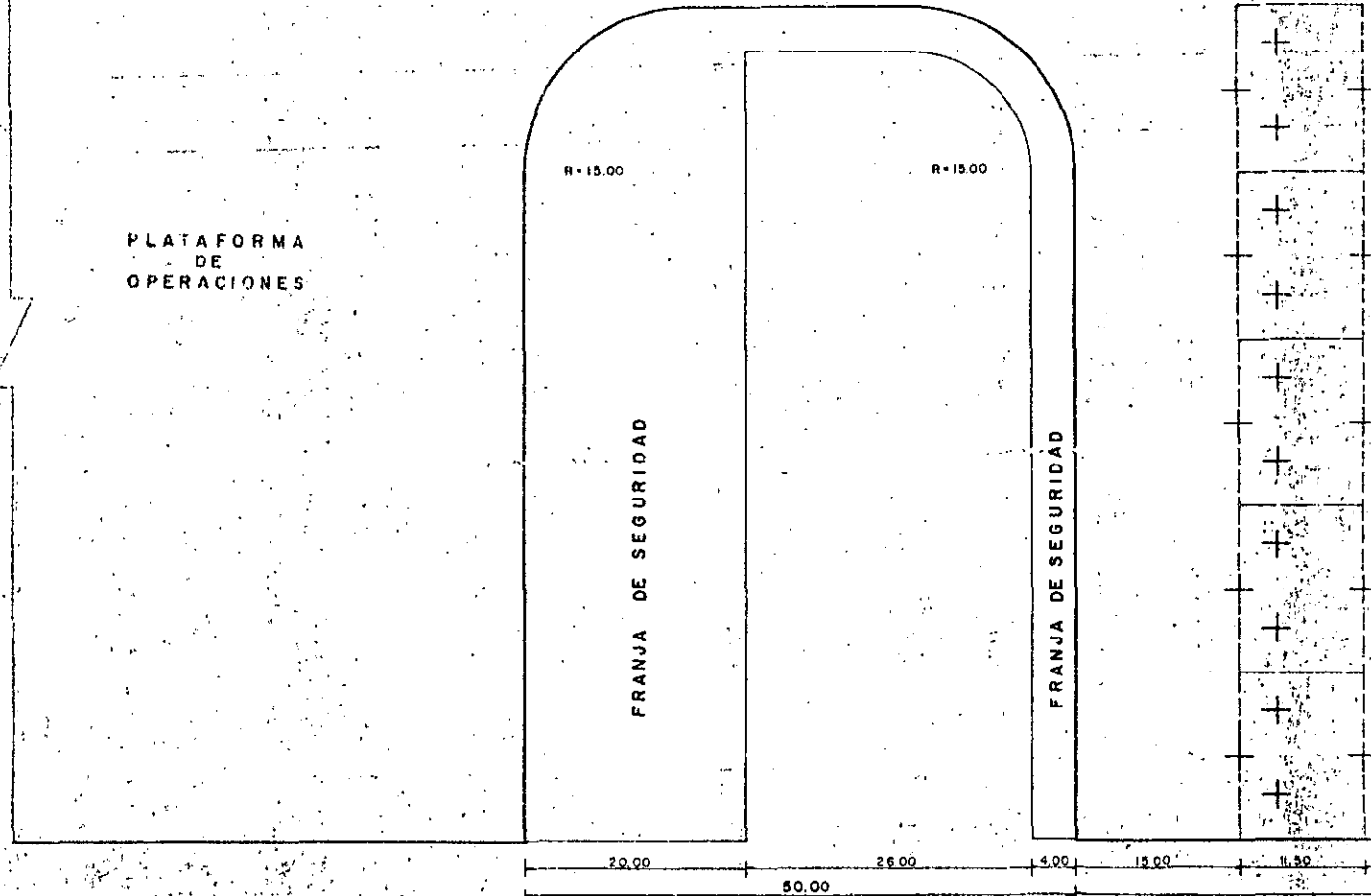


SEGURIDAD

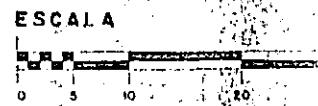




FR

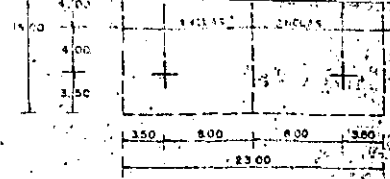


PROYECTO	Edificio de Oficinas A	DIBUJO	Detalle de Seguridad
Elaborado por	Ing. Gabriel Martínez N.	Verificado por	Ing. Gabriel Martínez N.



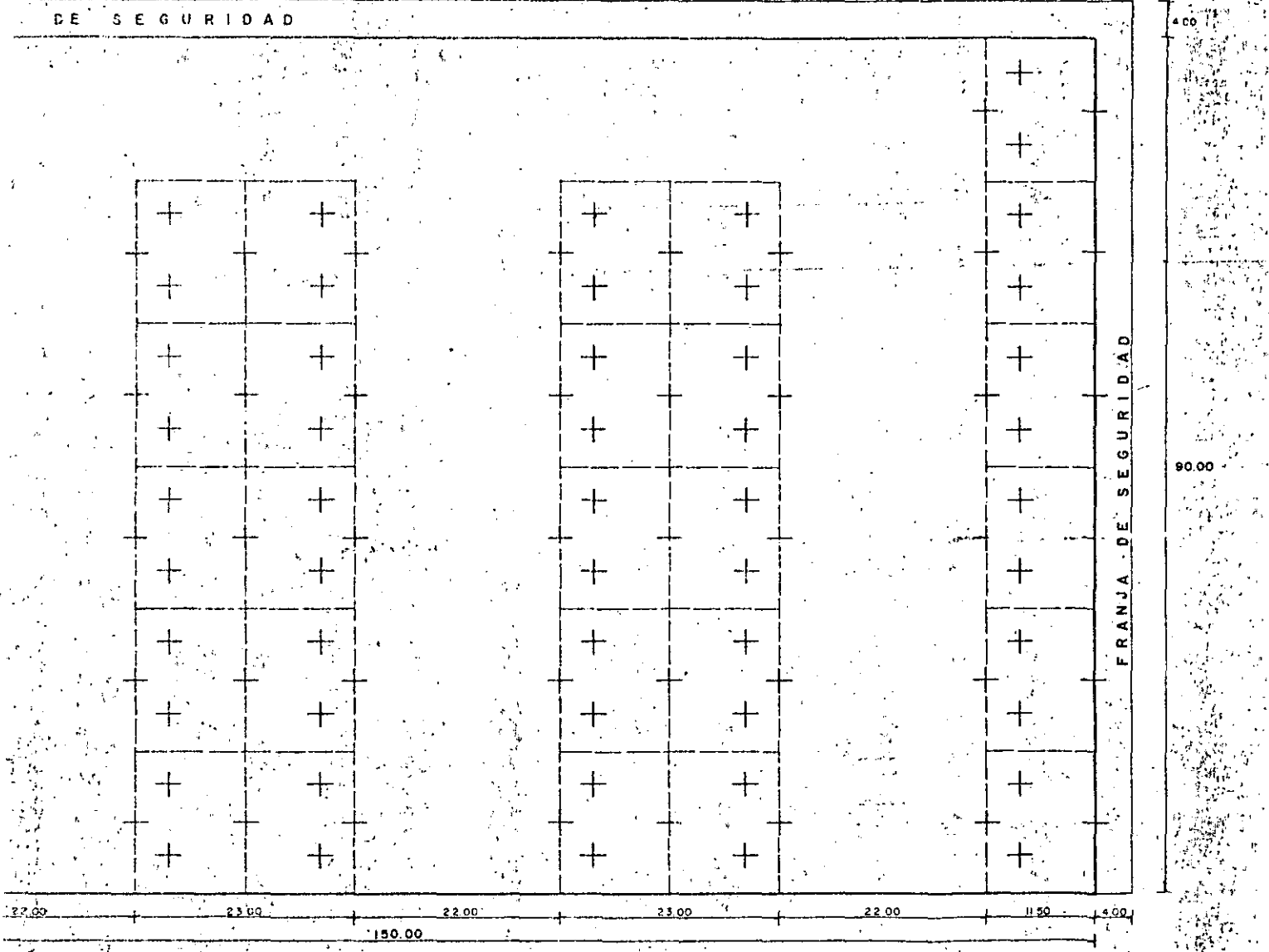
A PUERTO MADERO

CROQUIS DE LOCALIZACION



DETALLE DE ANCLAJE

DE SEGURIDAD



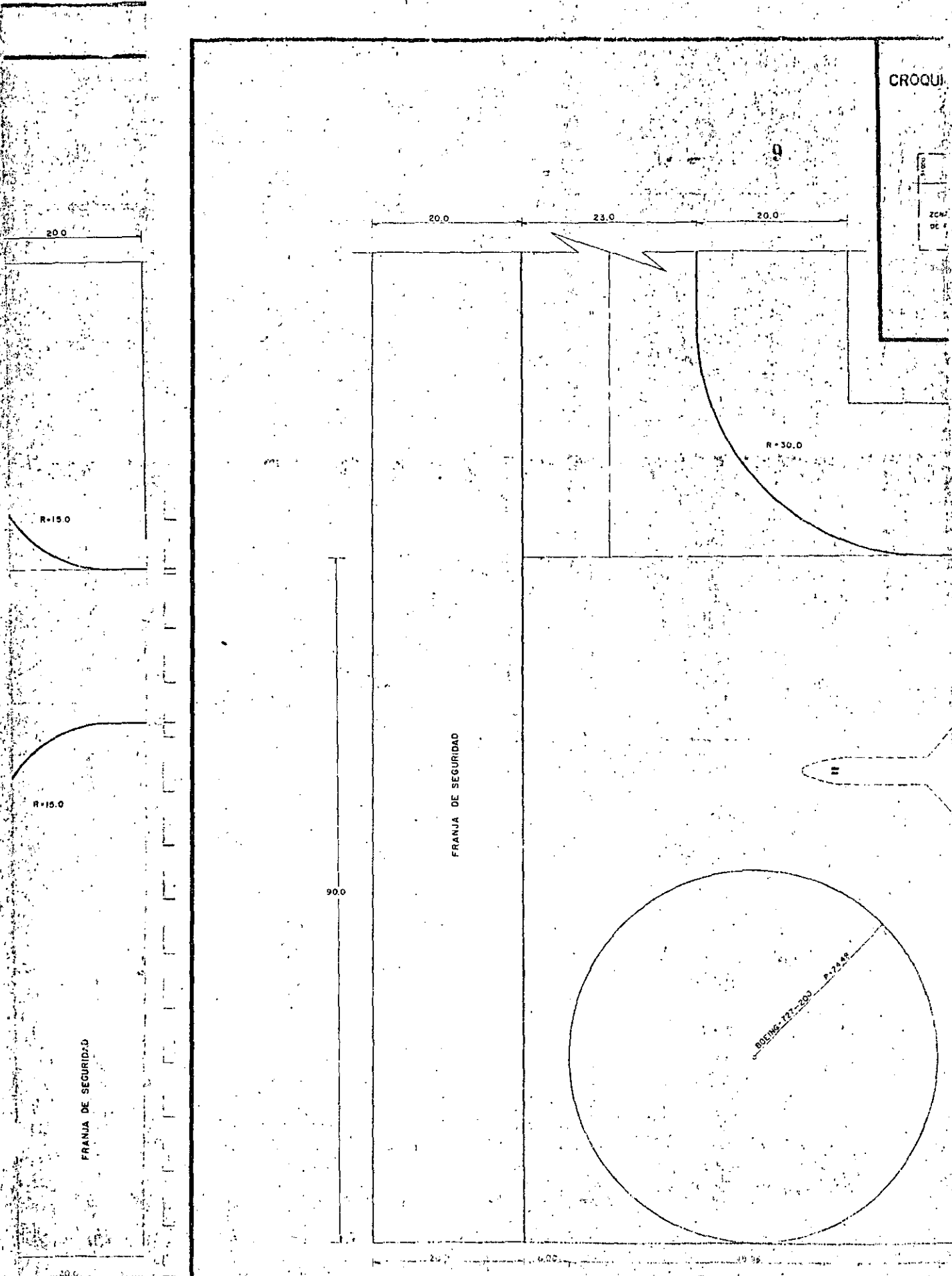
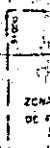
**NOTAS:**  
 1. ADICIONES Y ESTACIONES EN METROS, SIEMPRE LAS INDICARAS EN UNIDADES.  
 2. LAS ORIENTACIONES ESTAN REFERIDAS AL NORTE MAGNETICO  
 3. LA PLATAFORMA PERMITE EL ESTACIONAMIENTO SIMULTANEO DE 10 AVIONES

DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS DEPARTAMENTO DE PROYECTOS REGION DE PROYECTOS AERONAUTICOS	
AEROPUERTO DE TAPACHULA, CHIS. SITIO PTO. MADERO PLATAFORMA DE AVIONES	
PROYECTO: El jefe del Departamento	APROBADO: El Director General
Mexico, D.F. Marzo de 1977	

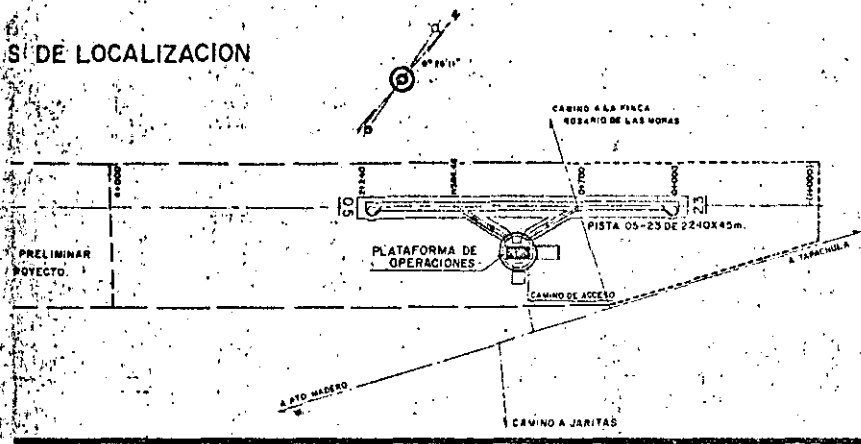
1250



CROQUI



SÍ DE LOCALIZACION

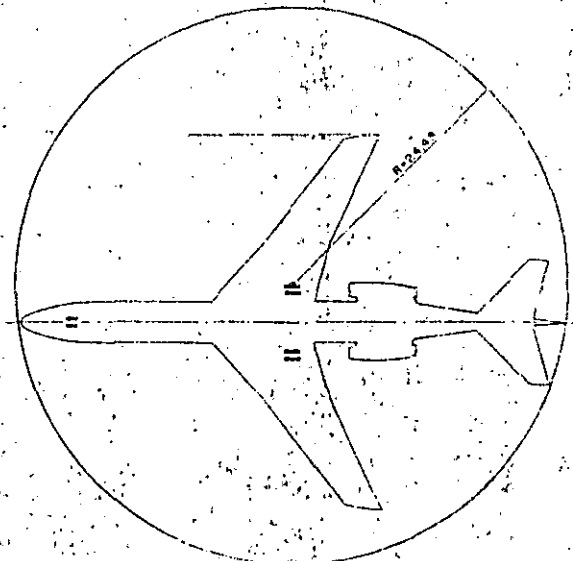
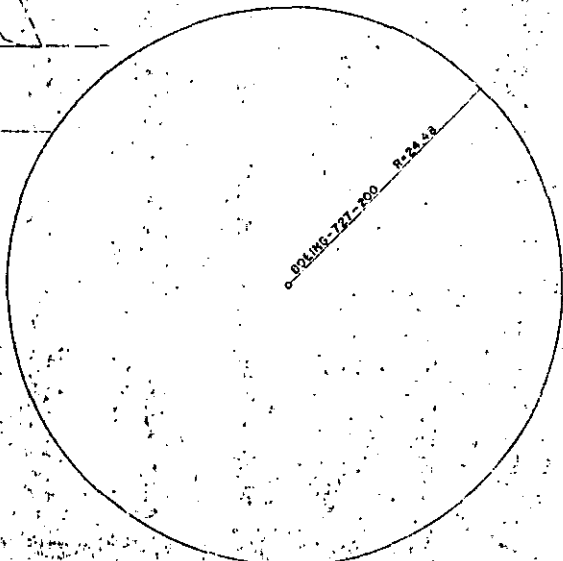
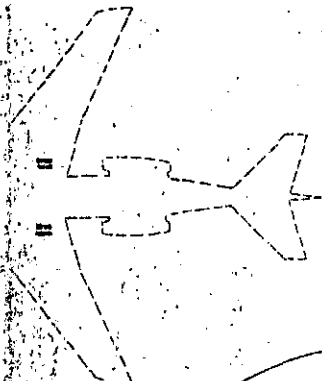


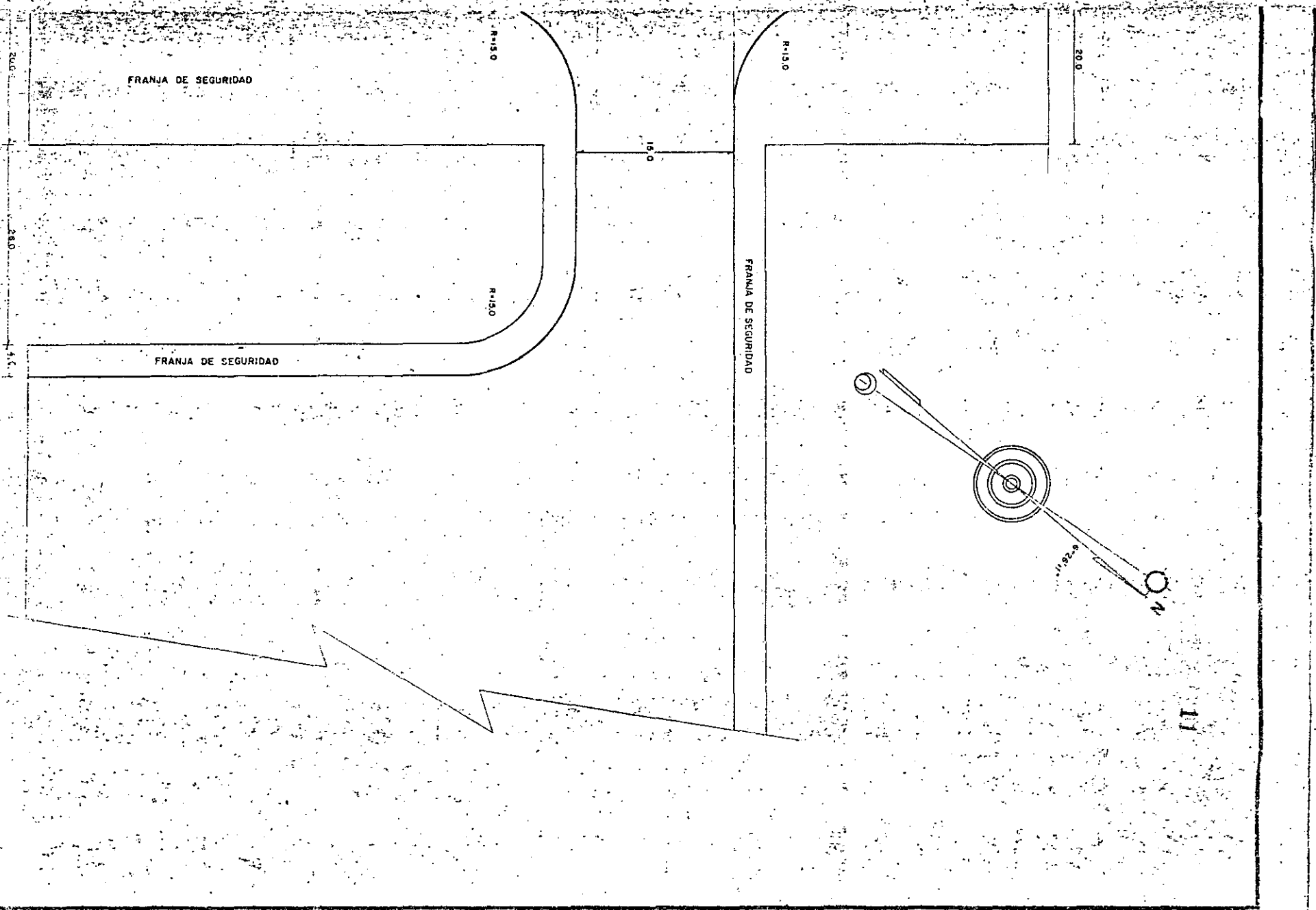
10

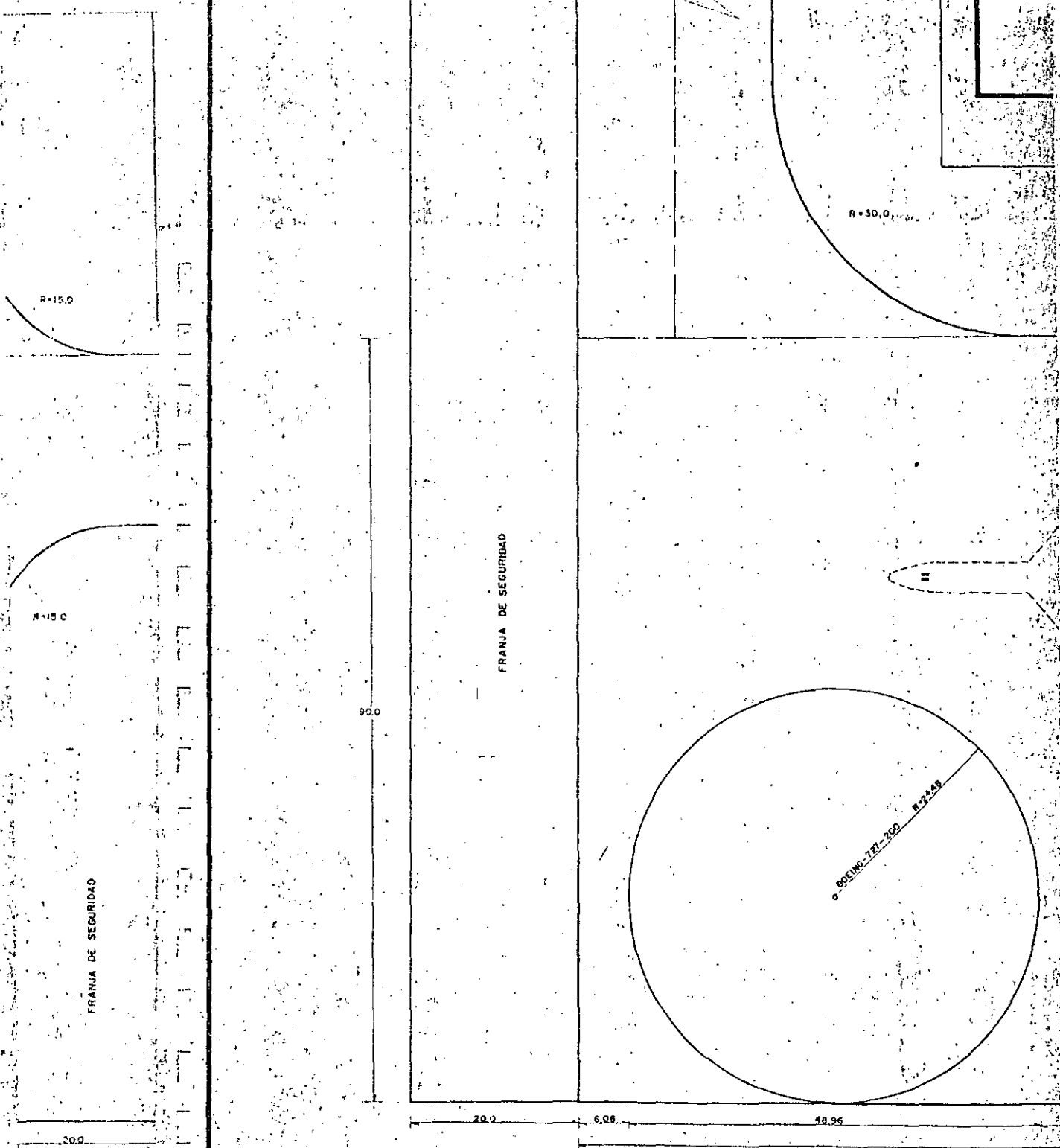
20.0 23.0

FRANJA DE SEGURIDAD

R=30.0







FRANJA DE SEGURIDAD

FRANJA DE SEGURIDAD

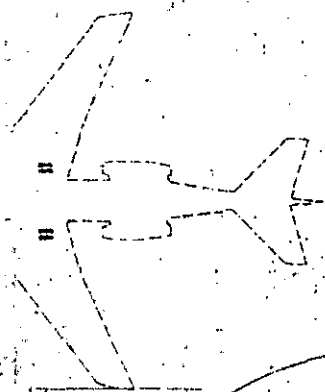
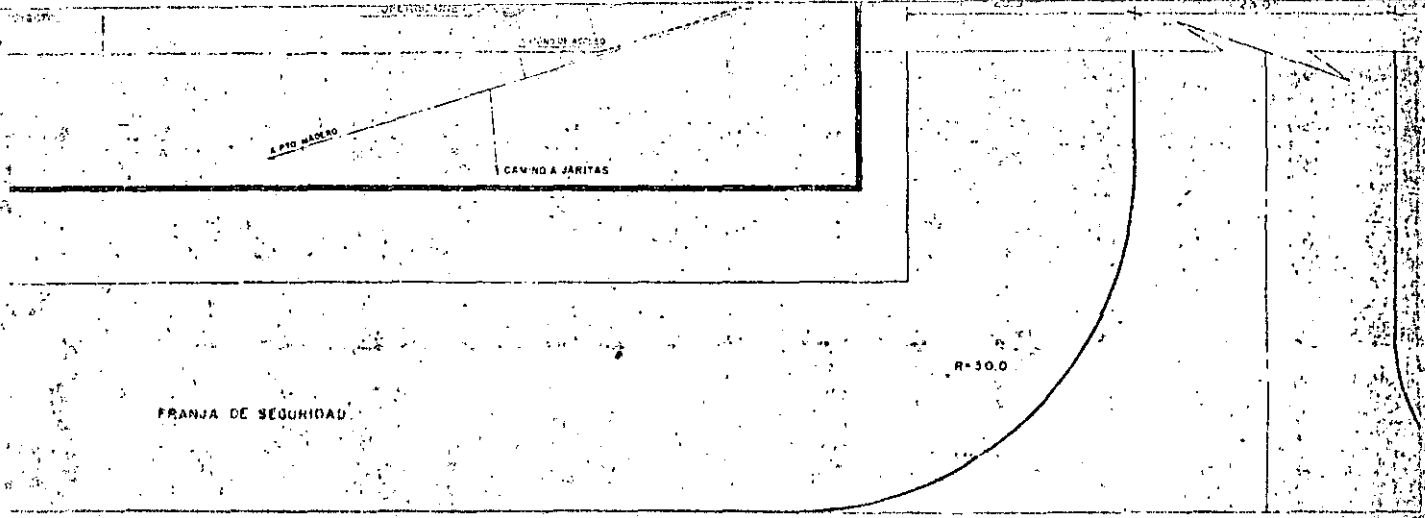
BOEING-727-200 R-27.43

12

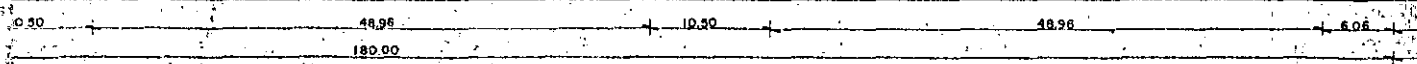
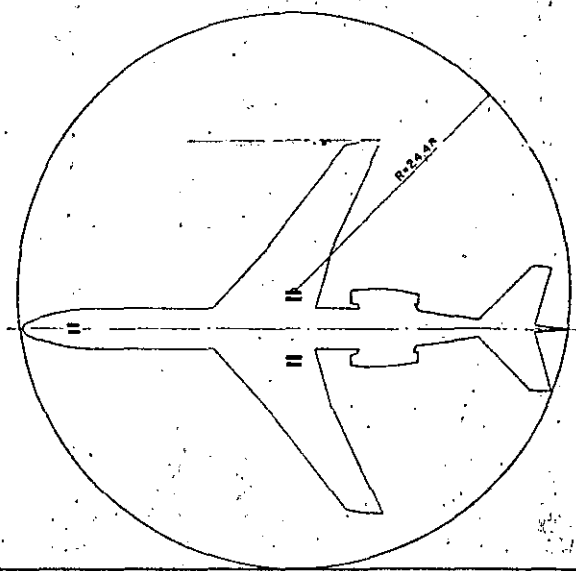
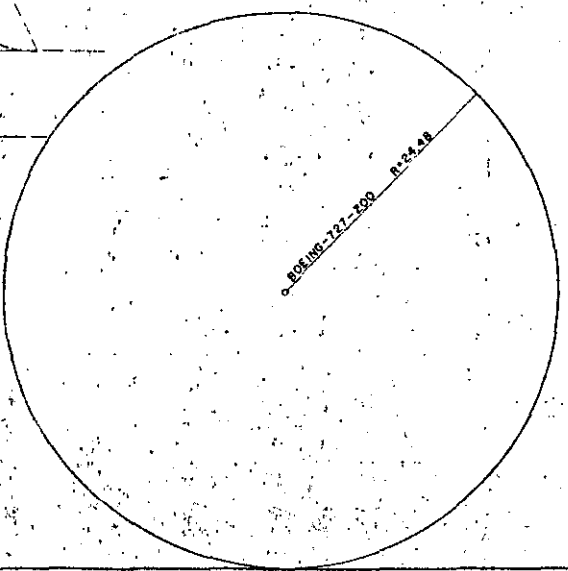
NOTAS: ACOTACIONES EN METROS EXCEPTO INDICADAS EN OTRA UNIDAD.  
 LA PLATAFORMA PERMITE EL ESTACIONAMIENTO SIMULTANEO DE 3 AVIONES DEL TIPO B-727-200

PROYECTO: *Millonarios* DISEÑO: *Rubén Velasco*  
 DIRECTOR: INGENIERO MARTINEZ  
 EL JEFE DE LA OFICINA:  
 ING. JORGE GARCIA URIBE

50



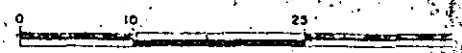
7.50

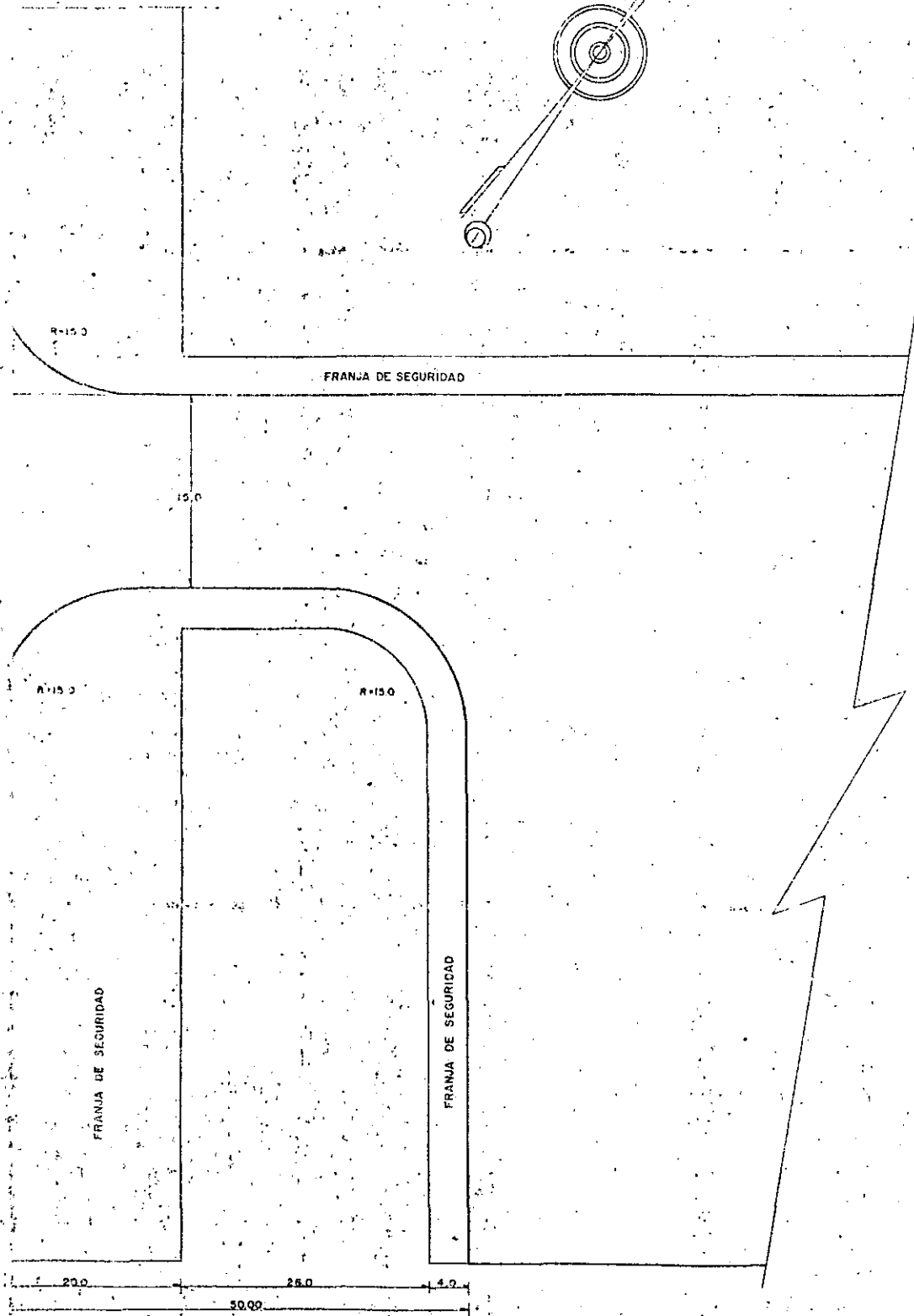
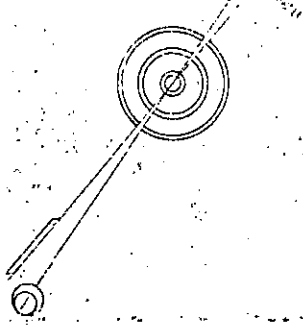


TO LAS  
ESTAD-  
IONES

13

ESCALA 1:25





14

<b>S. O. P.</b> DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS DEPARTAMENTO DE PROYECTOS OFICINA DE ESTUDIOS DE CAMPO Y PROYECTO AERONAUTICO	
<b>AEROPUERTO DE TAPACHULA, CHIS.</b> <b>SITIO PTO. MADERO</b> <b>PLATAFORMA DE OPERACIONES</b>	
PROPUISO EL JEFE DEL DEPARTAMENTO	APROBO EL DIRECTOR GENERAL
FEELIX ACOSTA SALDIVAR	J. FERNANDO GONZALEZ RAMOS
México, D. F. Febrero de 1972	No. de PROJ. No. A-

50 METROS

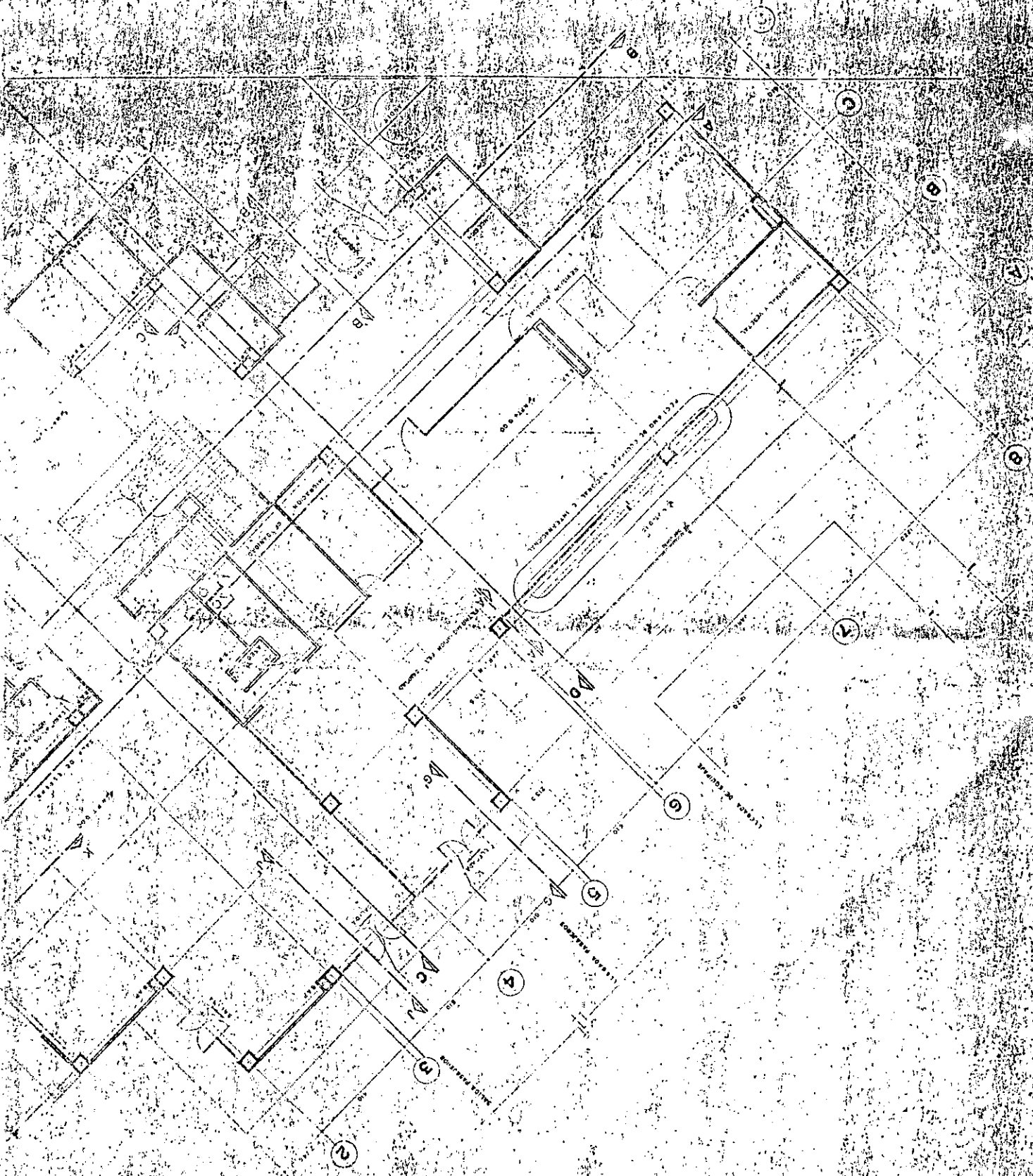


**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE MAYO  
MEXICO, D.F.

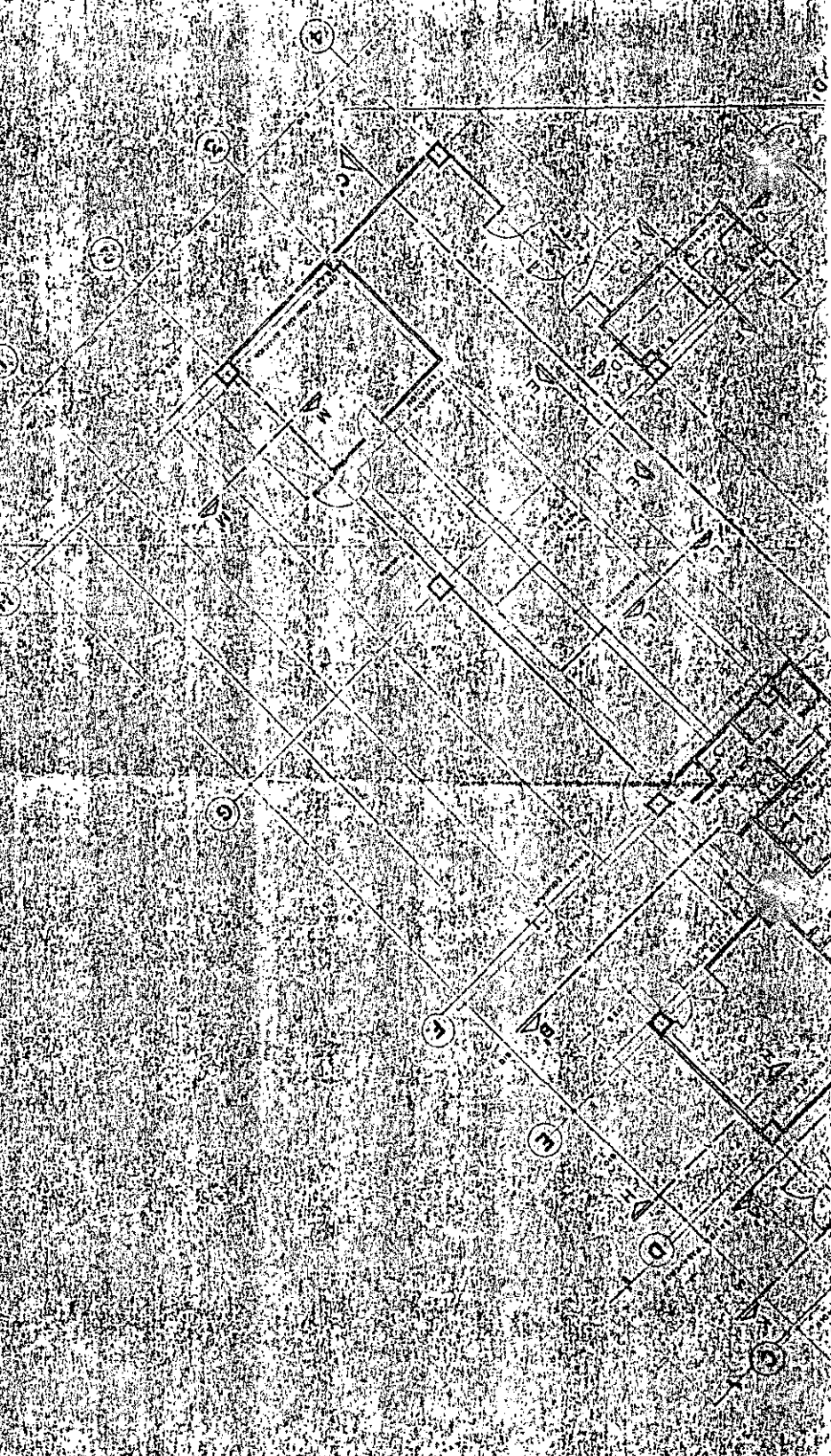
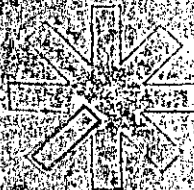
PROYECTOS ARQUITECTONICOS

ARQ. MARIO ANTONIO ORTIZ F.  
MAYO 1985



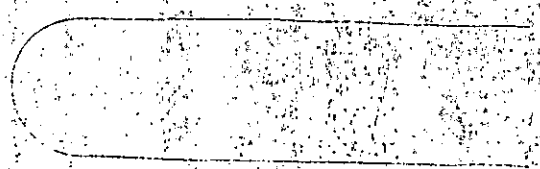
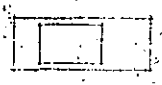


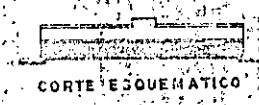
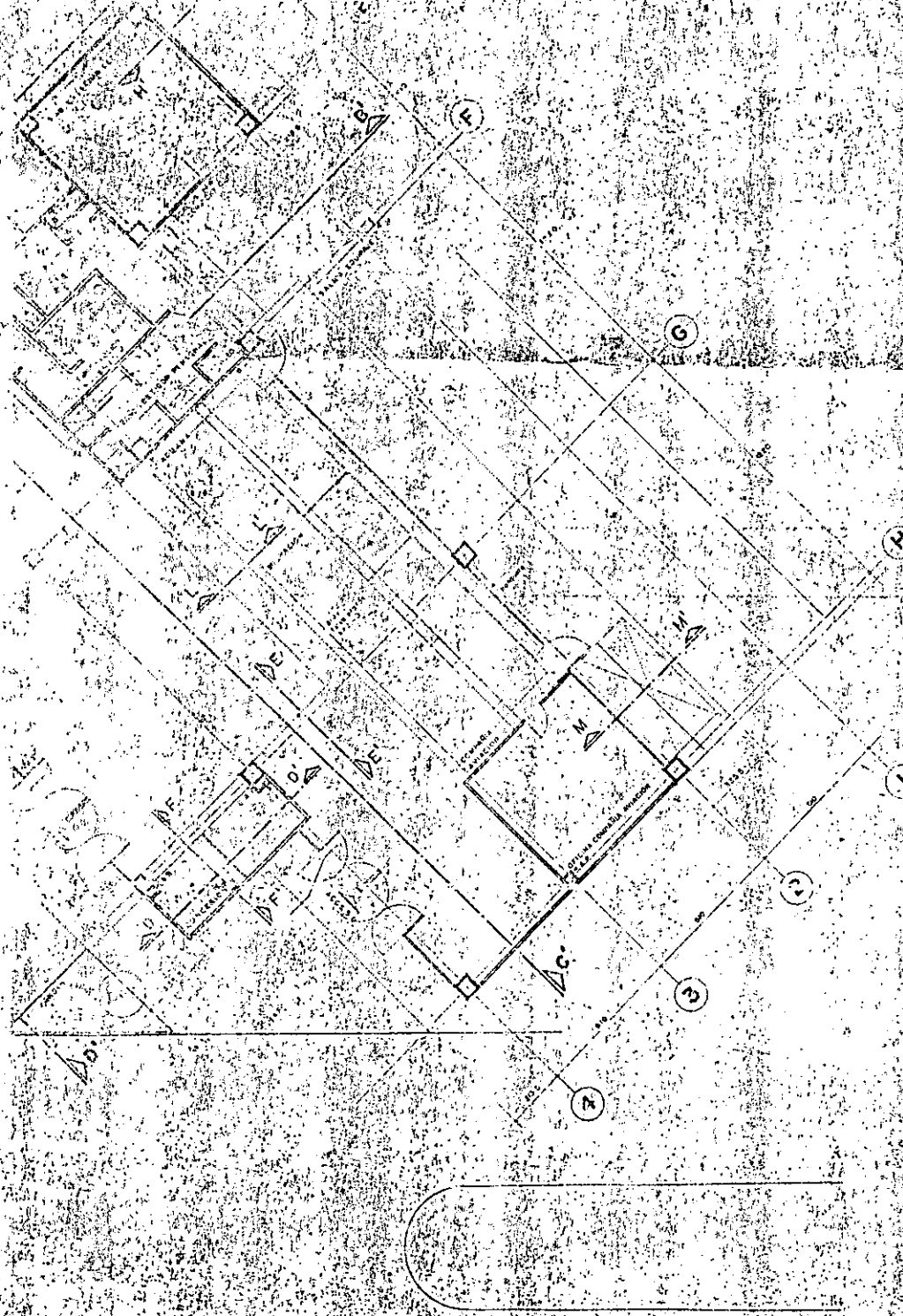
COPIED FROM ORIGINAL



ARI  
ARI  
ARI  
ARI

3

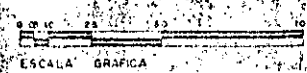
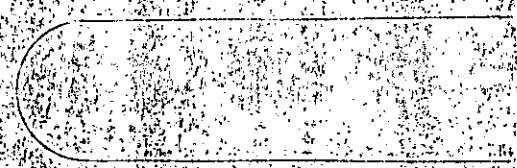




CORTE ESQUEMATICO



PLANTA LOCALIZACION

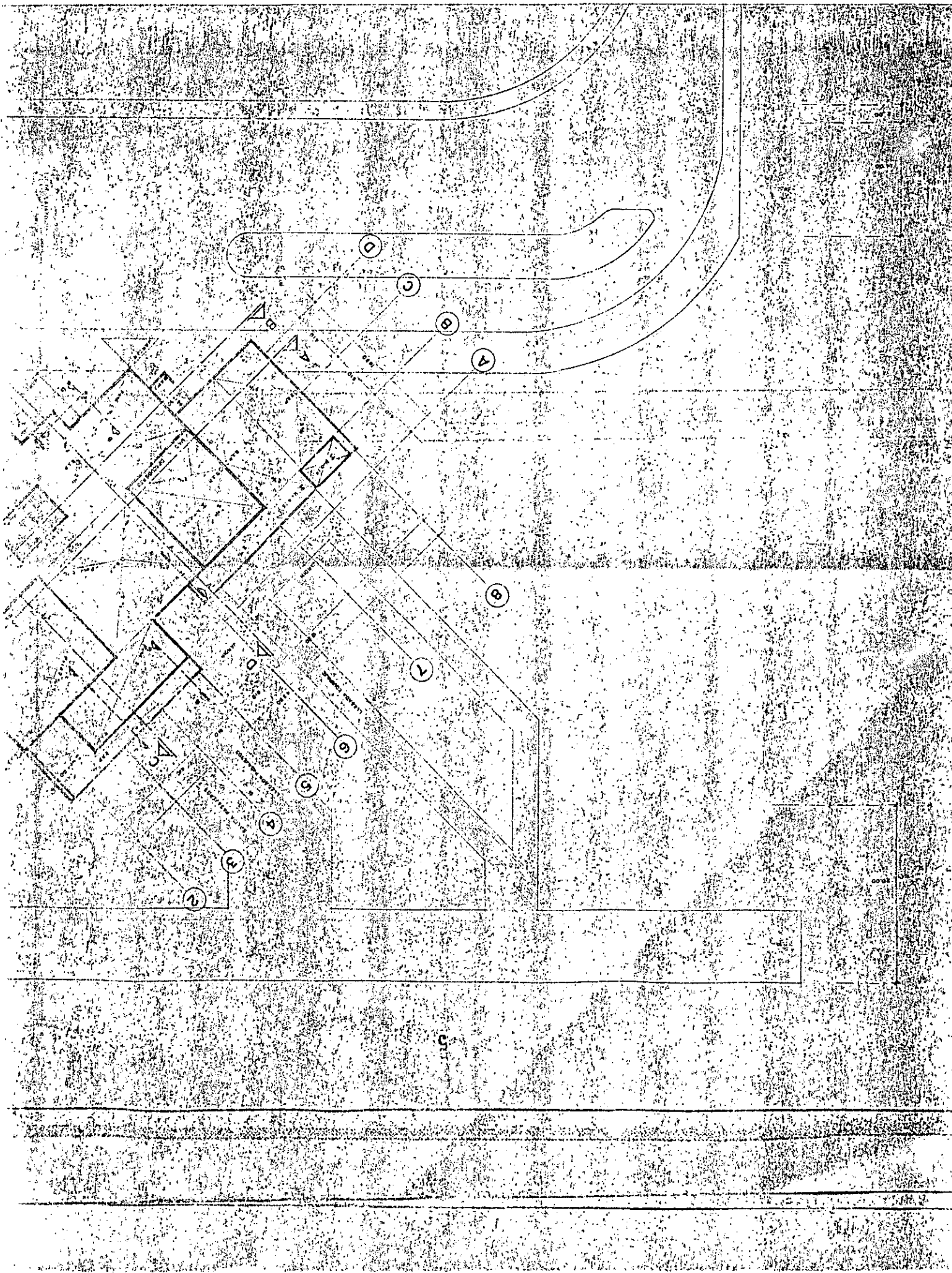


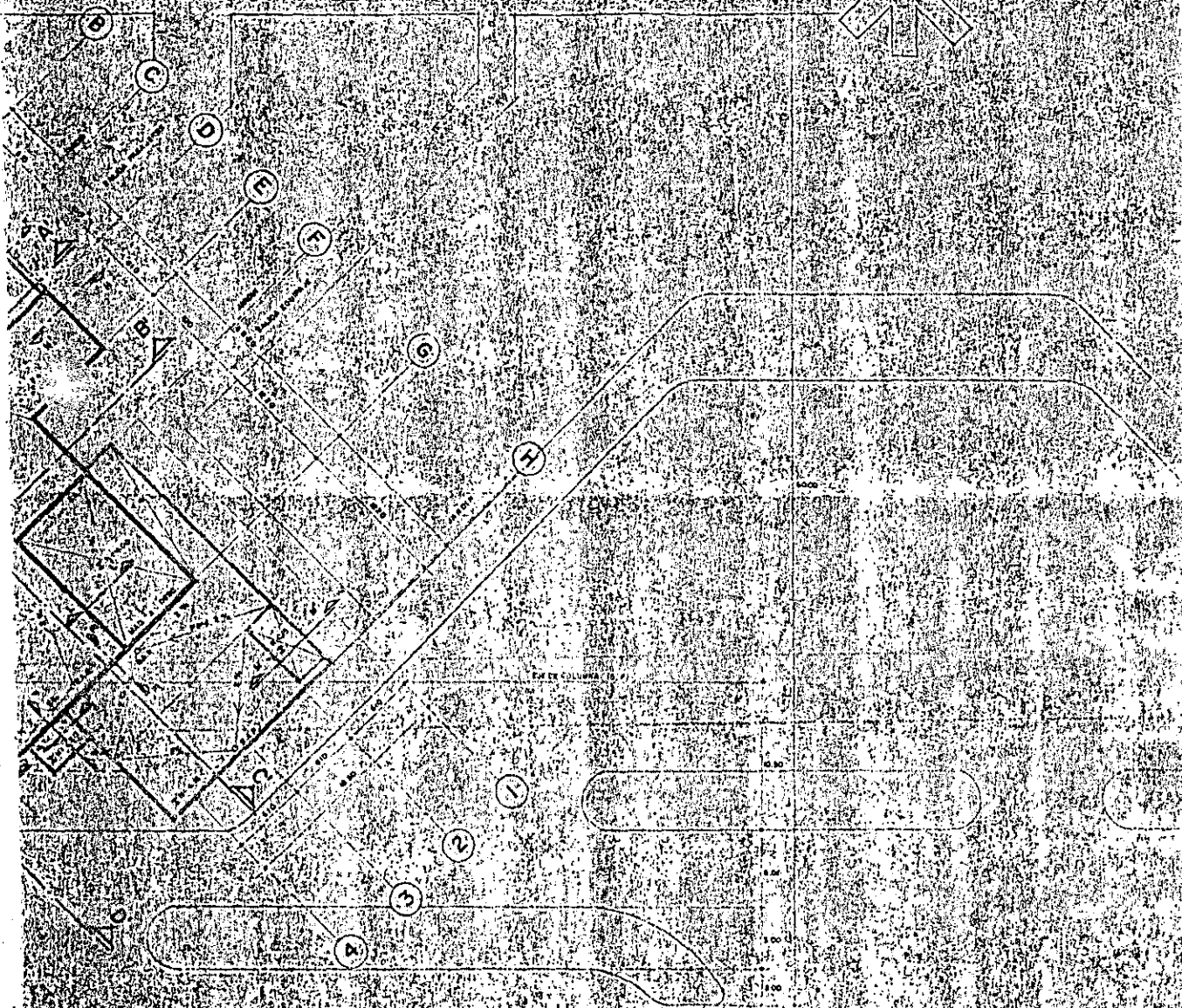
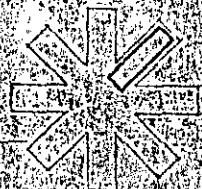
ESCALA GRAFICA

TRUJADA NO. 1697-30 M2  
 P.B. 300-60 M2  
 1966-13 M2  
 TRUJADA NO. 1697-30 M2  
 P.B. 300-60 M2  
 1966-13 M2

PROYECTO:	DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS DEPARTAMENTO DE PROYECTOS OFICINA DE PROYECTOS ARQUITECTONICOS Y ESTRUCTURALES
ARQUITECTO:	
DISEÑO:	AEROPUERTO DE TAPACHULA, CHIAPAS EDIFICIO TERMINAL DE PASAJEROS PLANTA BAJA
REVISOR:	
FECHA DE ENTREGA DE PLANOS:	
OTROS DATOS:	
NOTAS:	



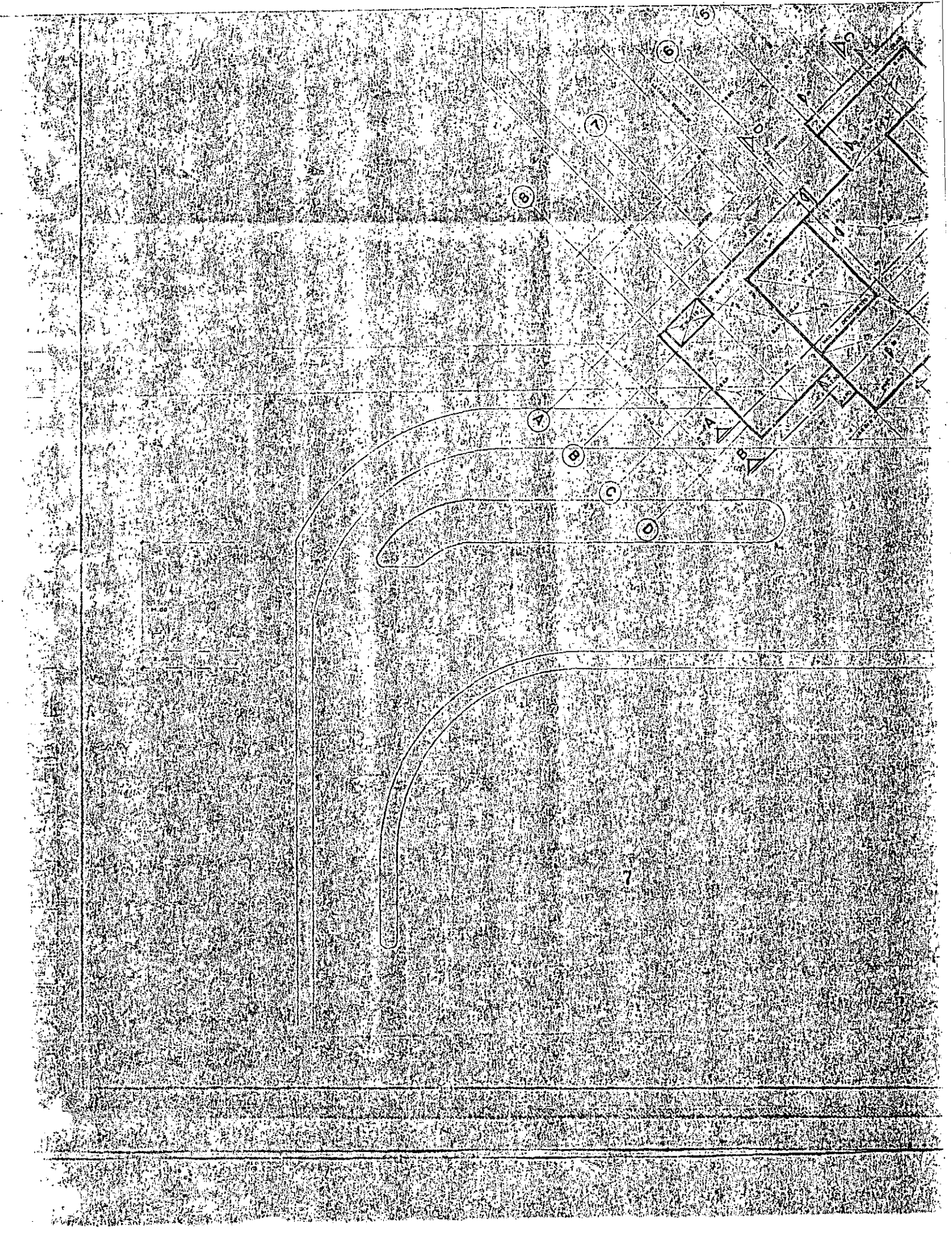


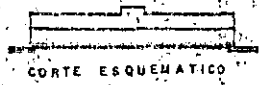
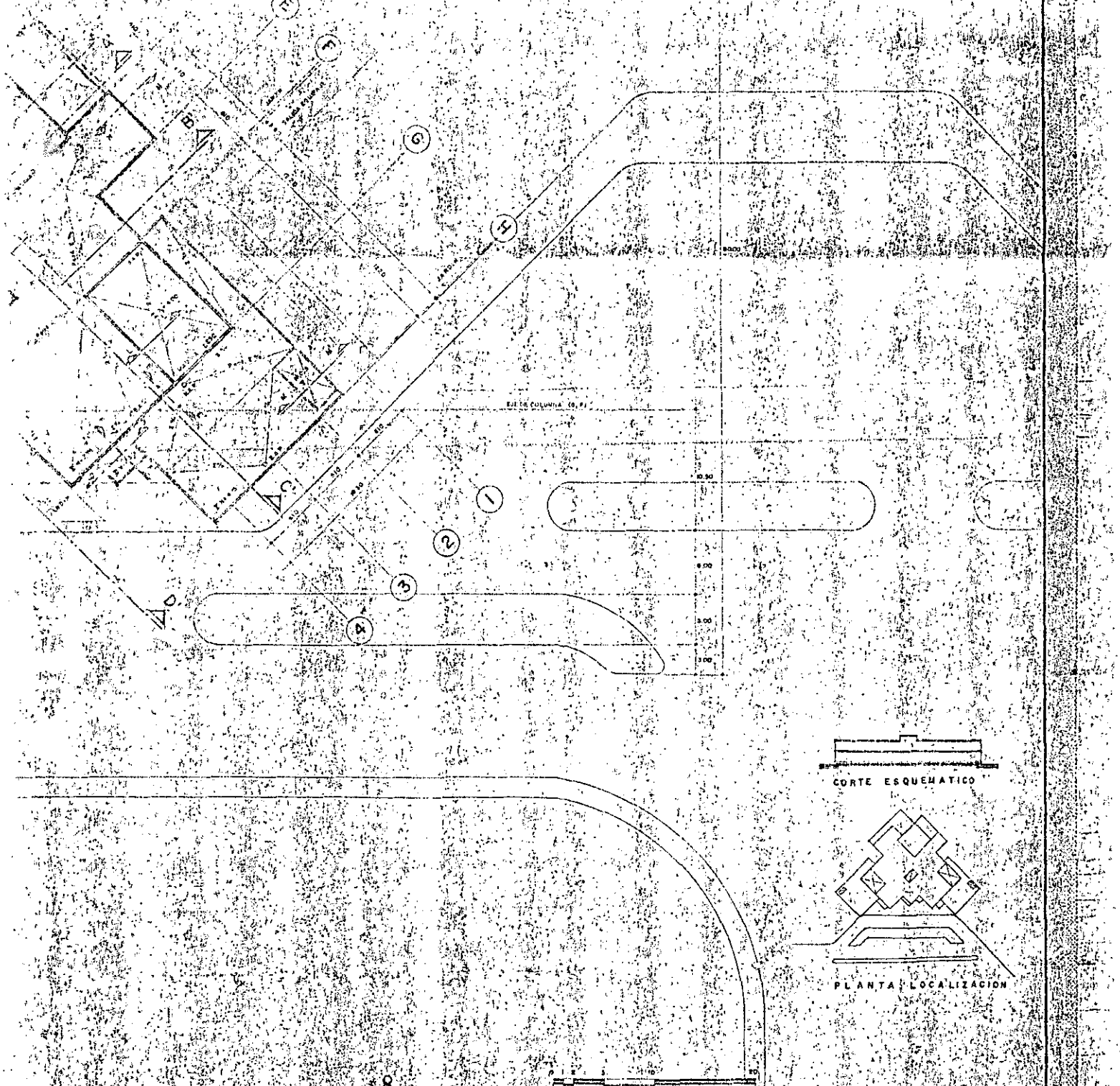


ESQUEMA DE LA PLANTA DE LA CATEDRAL DE SEVILLA  
Corte esquemático

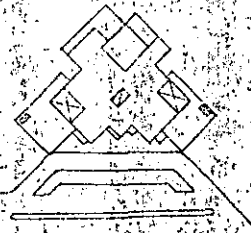




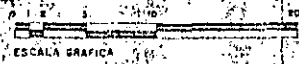




CORTE ESQUEMATICO



PLANTA LOCALIZACION



PROYECTO:	TAPACHULA - A - 02511	
ARQUITECTO:	SALM	
DISEÑO:	DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS	
REVISOR:	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS	
FECHA:	OFICINA DE PROYECTOS MULTITECNOLOGIA Y FUERTALES	
AEROPUERTO DE TAPACHULA - CHIAPAS		
EDIFICIO TERMINAL DE PASAJEROS		
PLANTA DE ACOFRAS		
ESTADO:	NOV. 1974	PAIS: MEXICO



PLATAFORMA DE OPERACIONES

PLATAFORMA DE A

BOMBA DE COMBUSTIBLE

PLATAFORMA PARA EQUIPO DE RAMPA

PLATAFORMA PARA CONTROL DE VUELO

EDIFICIO TERMINAL

EDIFICIO ANEXO

SUB-ESTACION

CISTERNA

ZONA DE ANTENAS

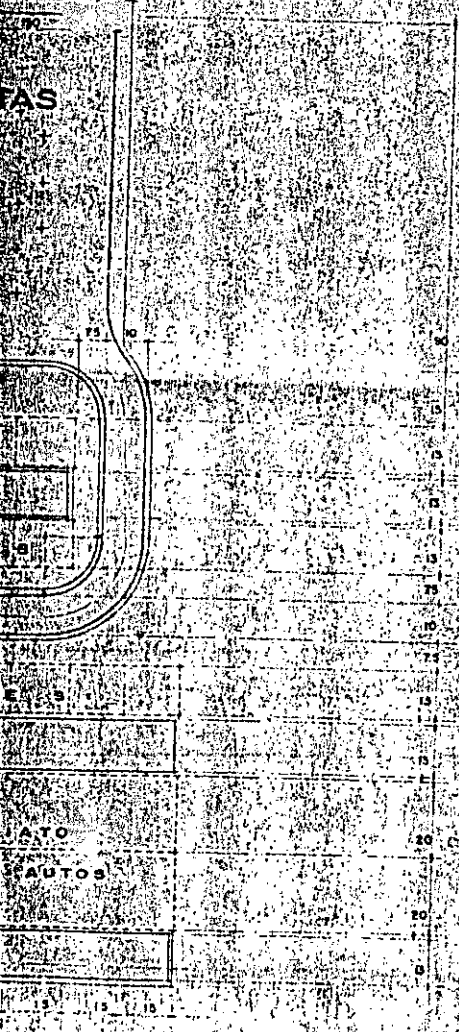
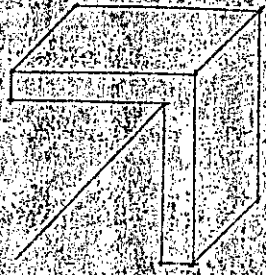
BODEGAS ARRENDADAS

ESTACIONAMIENTO PARA 212 AUTOMOVILES

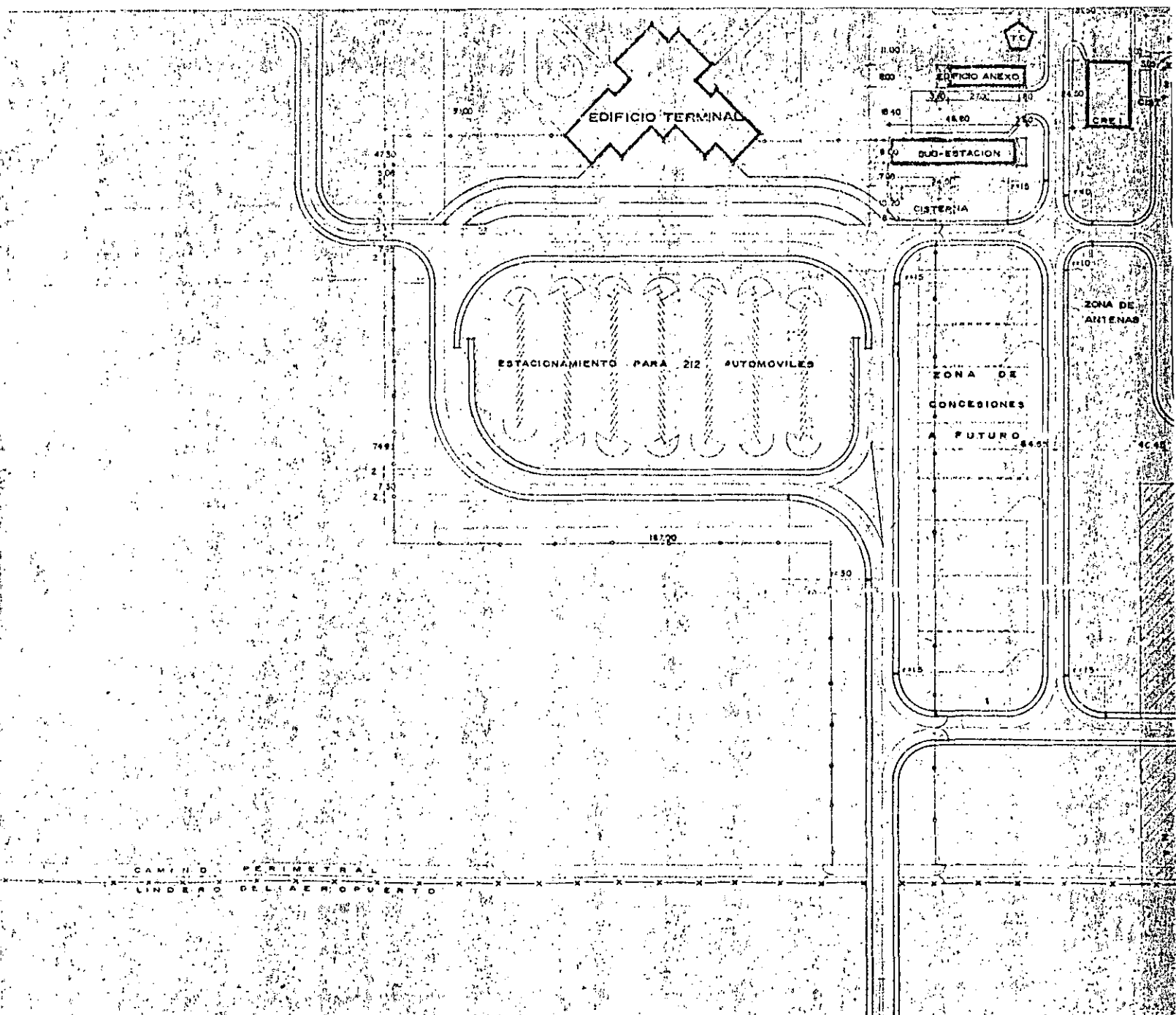
ZONA DE CONCESIONES FUTURO



10



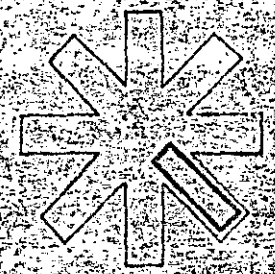
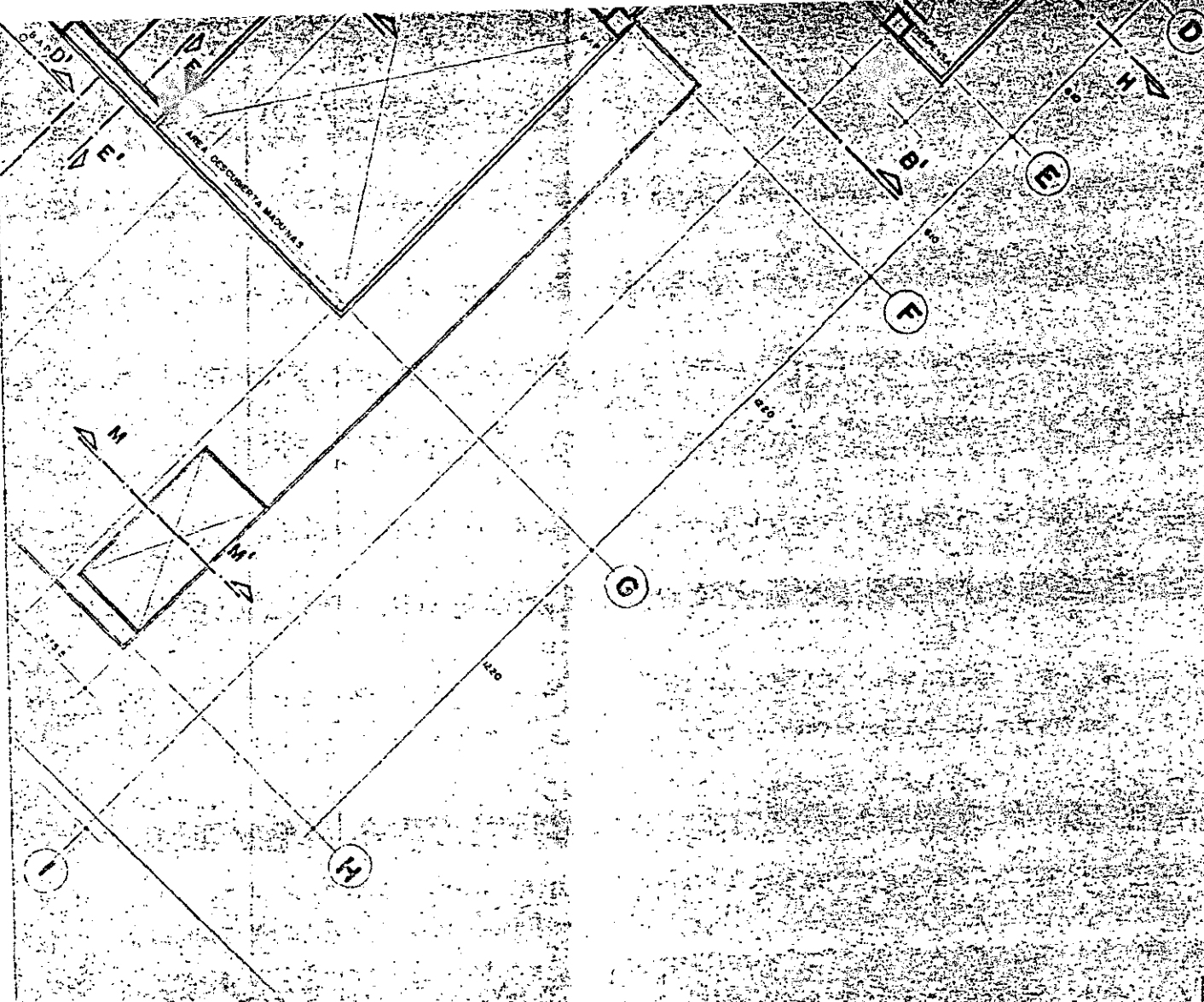
CROQUIS DE LOCALIZACION











19















- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤
- ⑥
- ⑦
- ⑧
- ⑨

SC 2100



(A)

(B)

(C)

(D)

0.15  
2.10

7.50

7.50

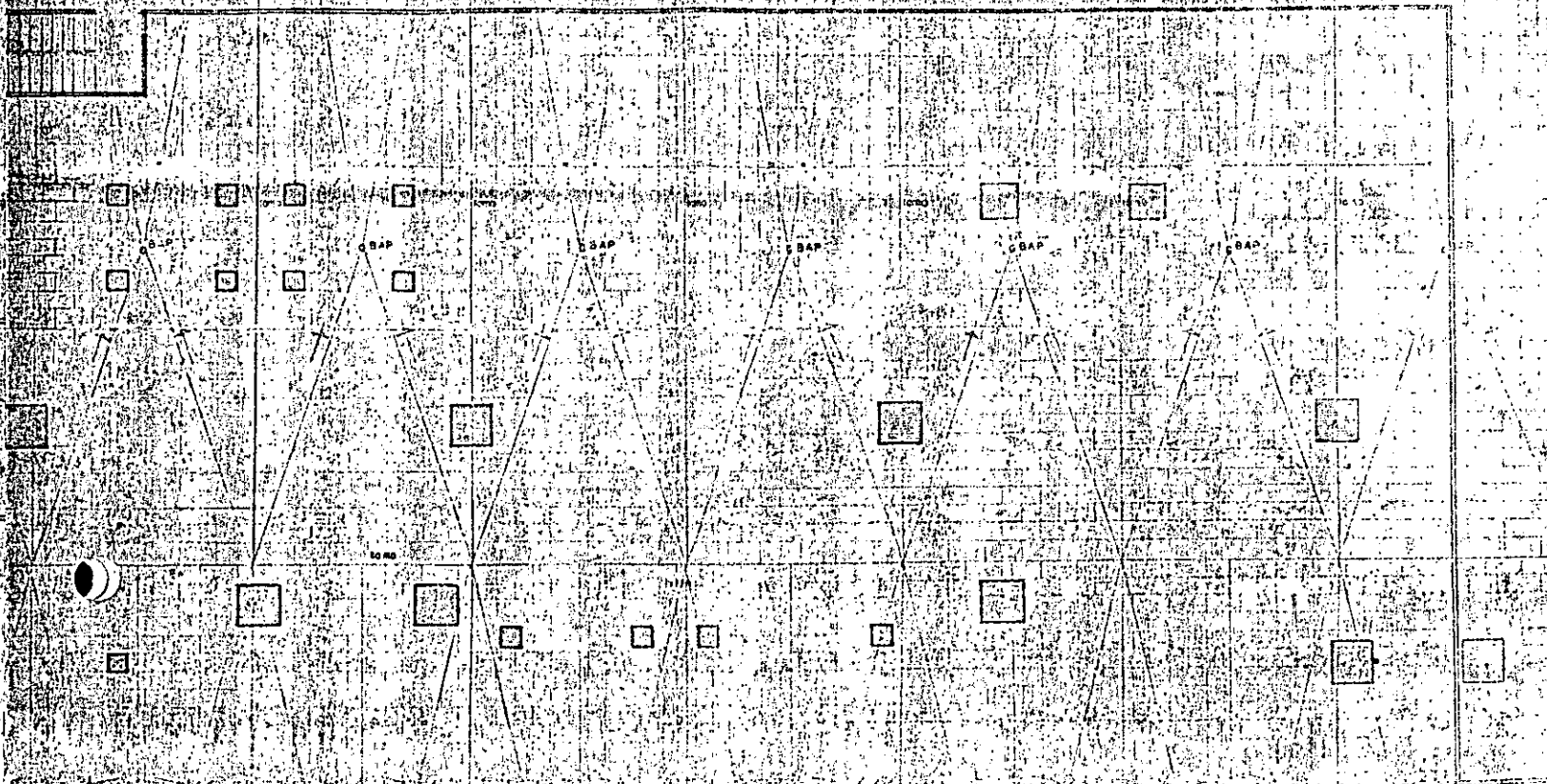
7.50

2.20

3.45

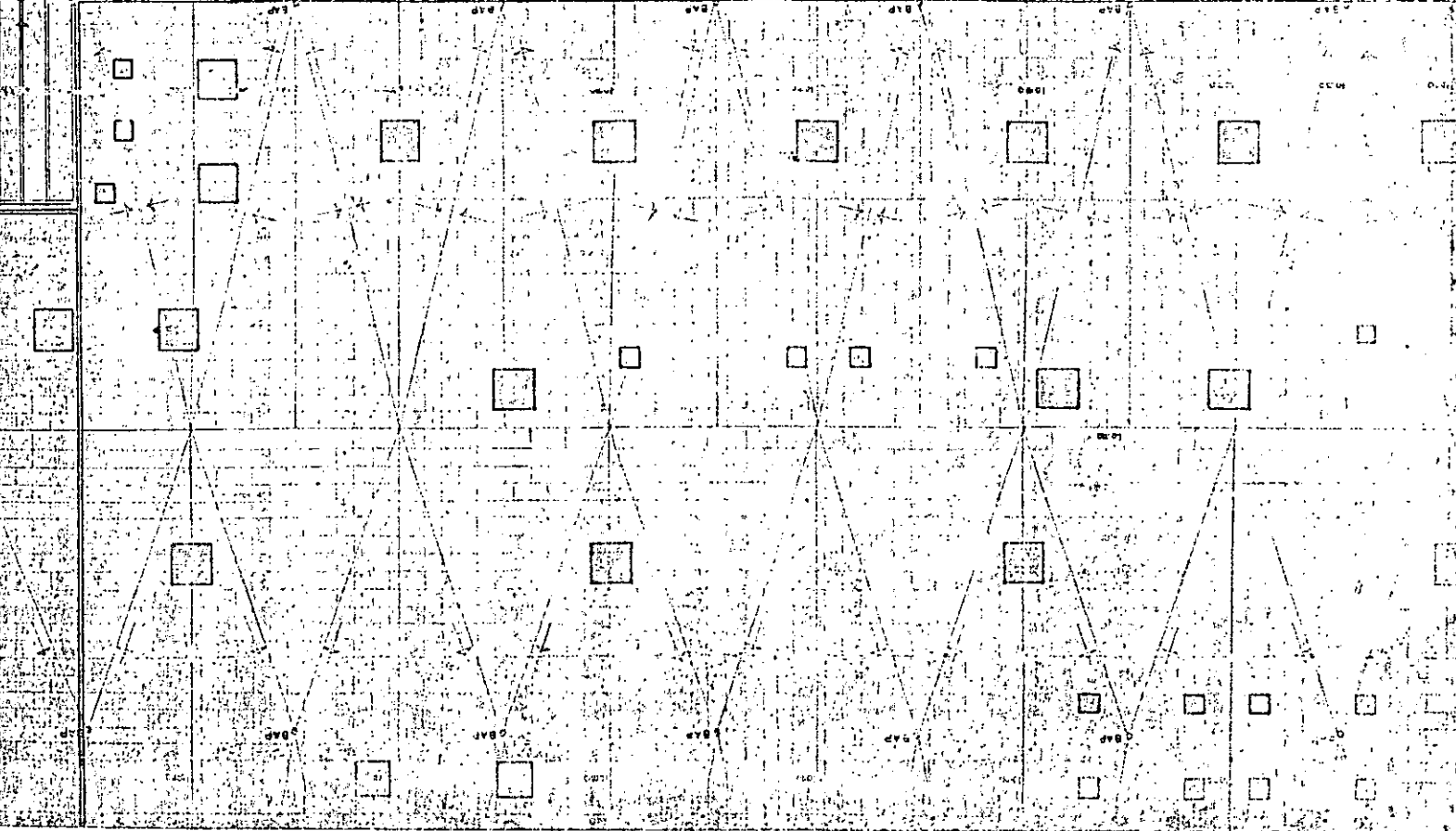
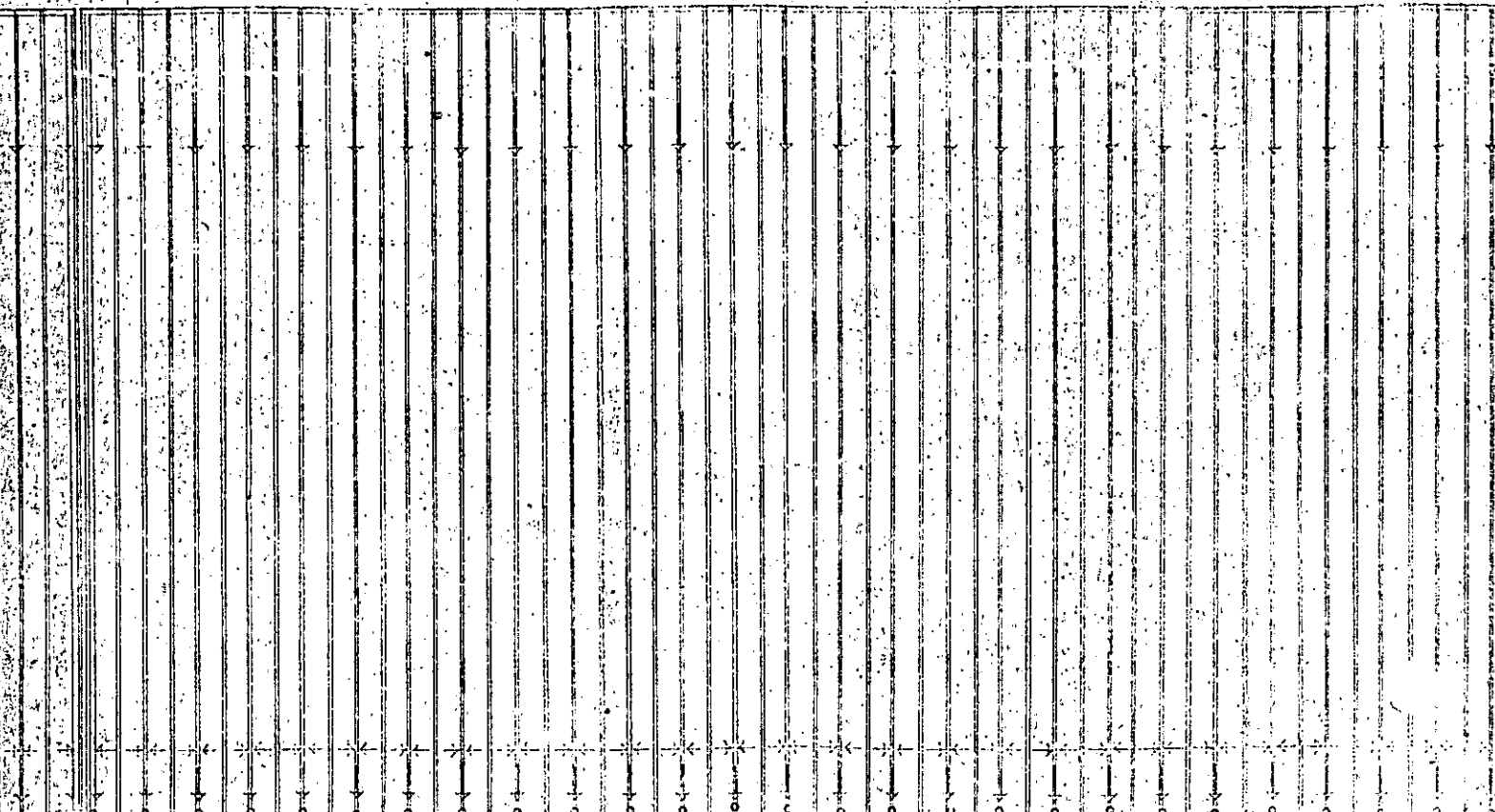
42,825

ERNATA

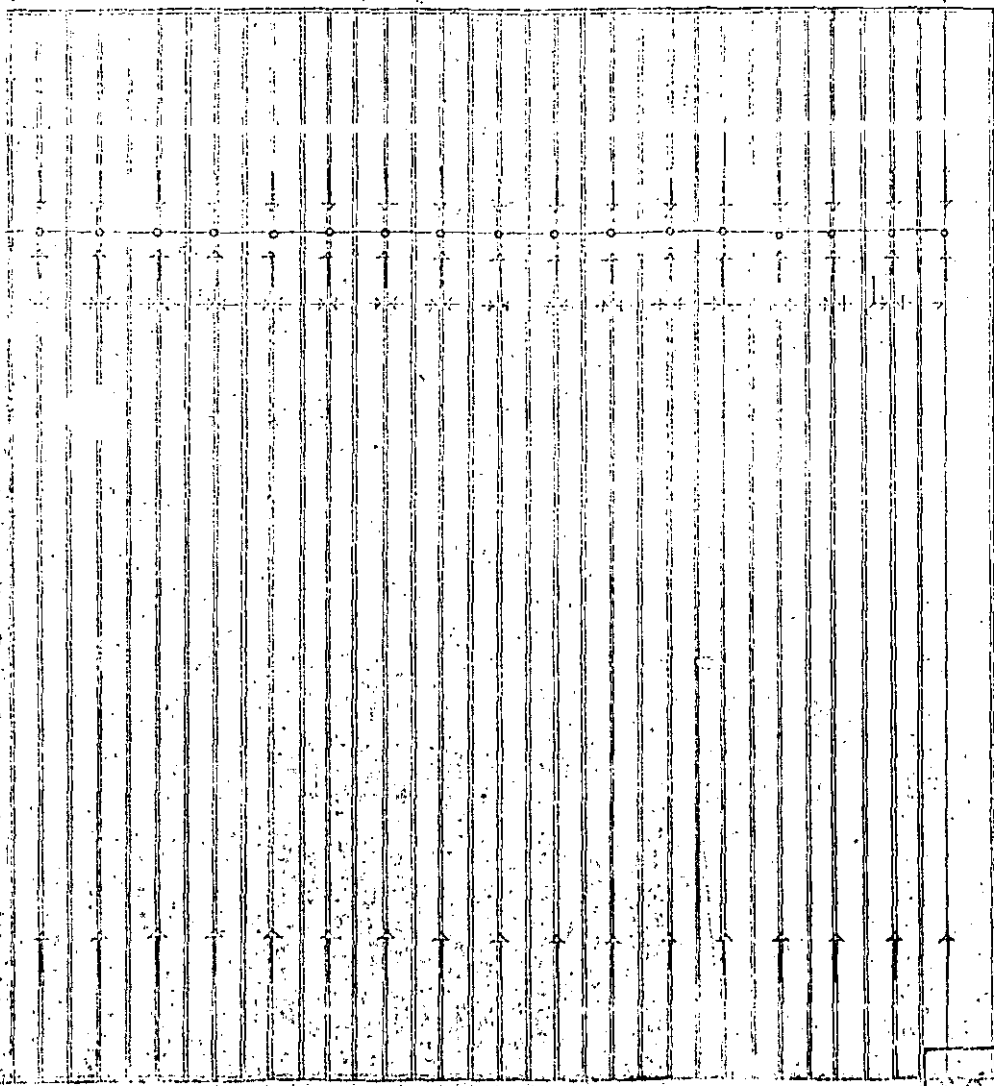




① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺



19



MODIFICADO EN AGOSTO 26 DE 1967

15 16 17 18 19

26

DIRECCION GENERAL DE EDIFICIOS		
DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA Y URBANISMO		
60 P	EDIFICIO MUNICIPAL	EDIFICIO MUNICIPAL
AGRO PUERTO	ARTEA	ARTEA
NACIONAL	DEPARTAMENTAL	PLANTA
DEPARTAMENTO	DEPARTAMENTO	DIRECCION GENERAL
DEPARTAMENTO	DEPARTAMENTO	DEPARTAMENTO
DEPARTAMENTO	DEPARTAMENTO	DEPARTAMENTO



A

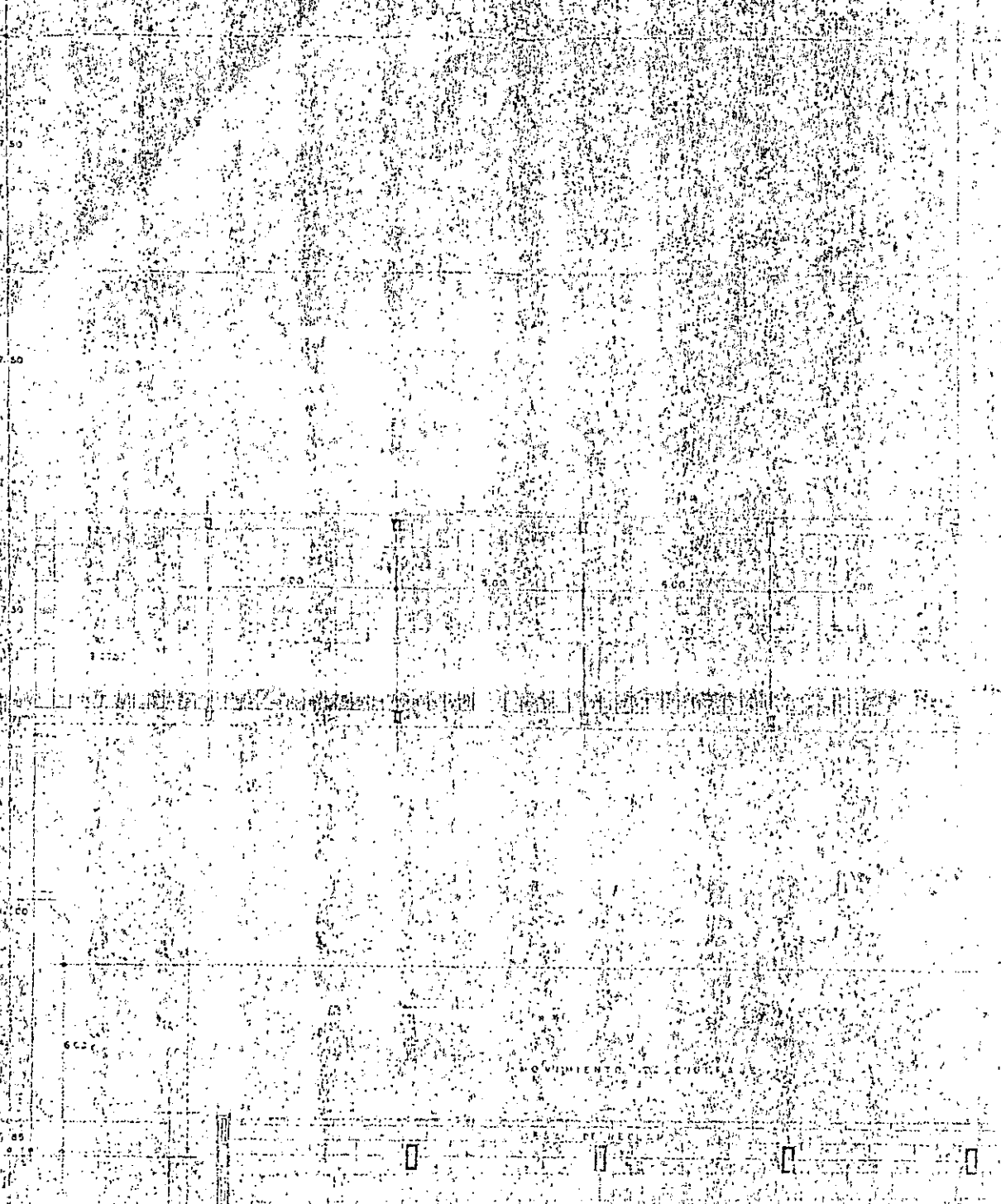
B

C

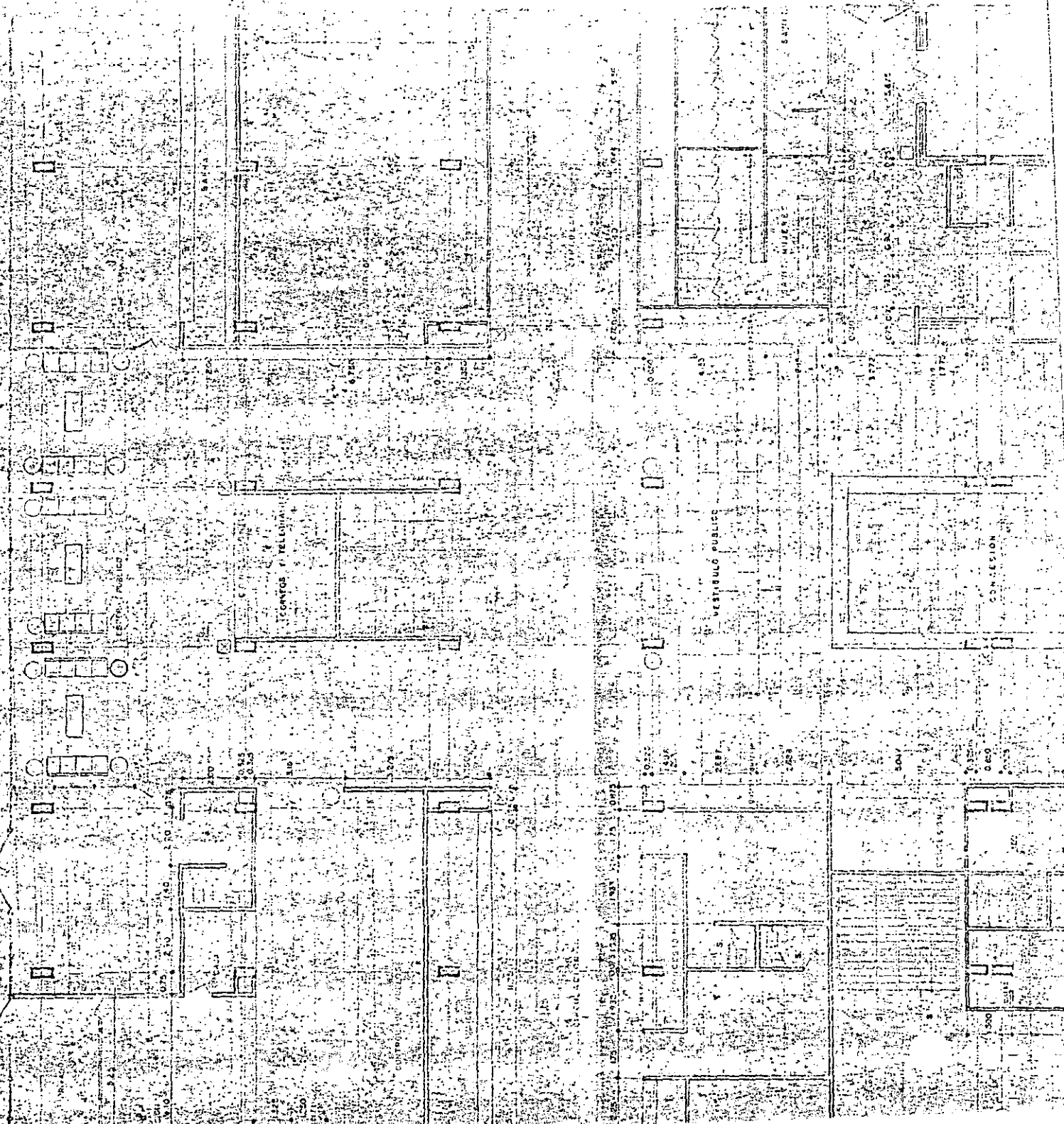
D

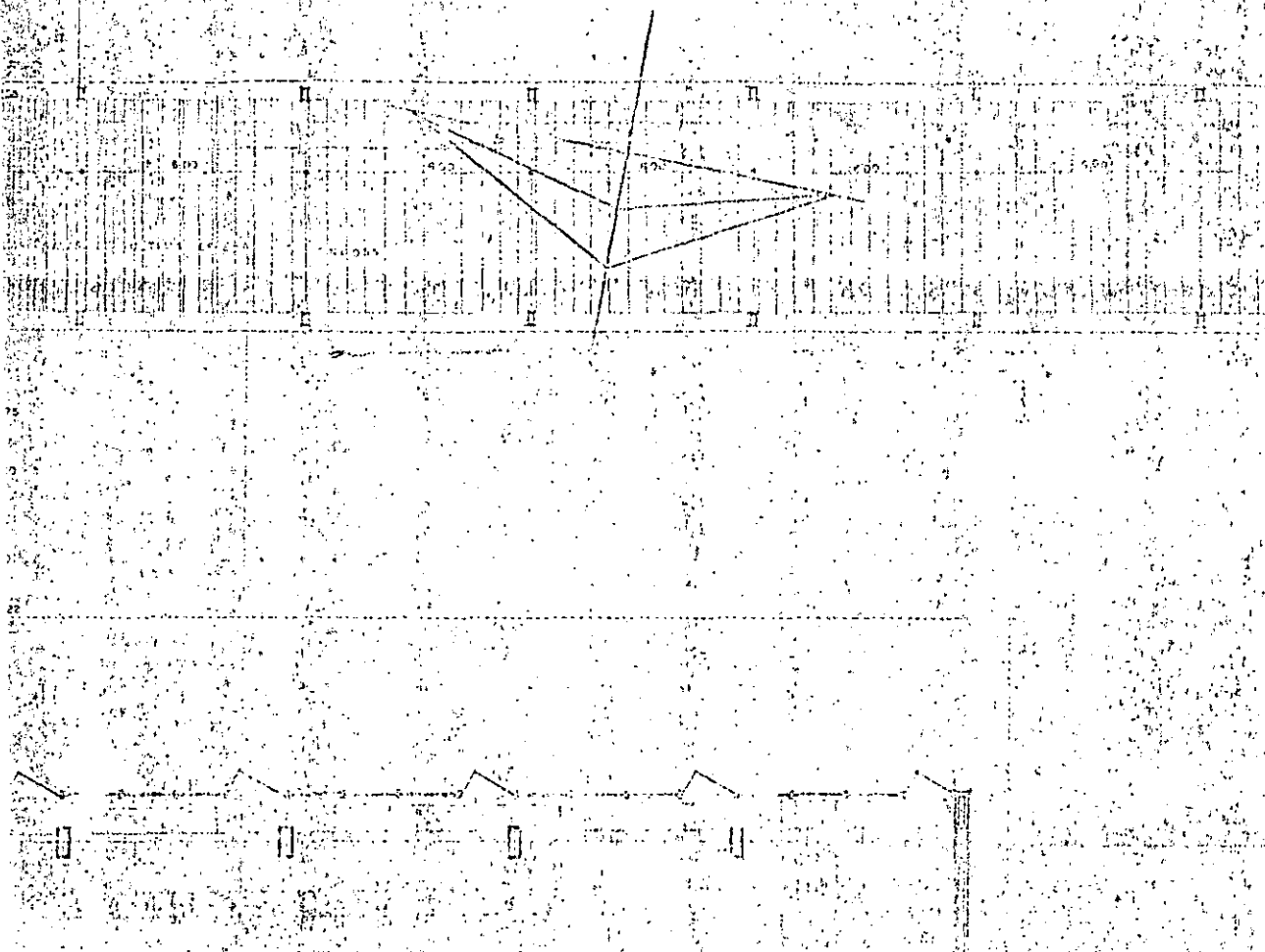
E

F

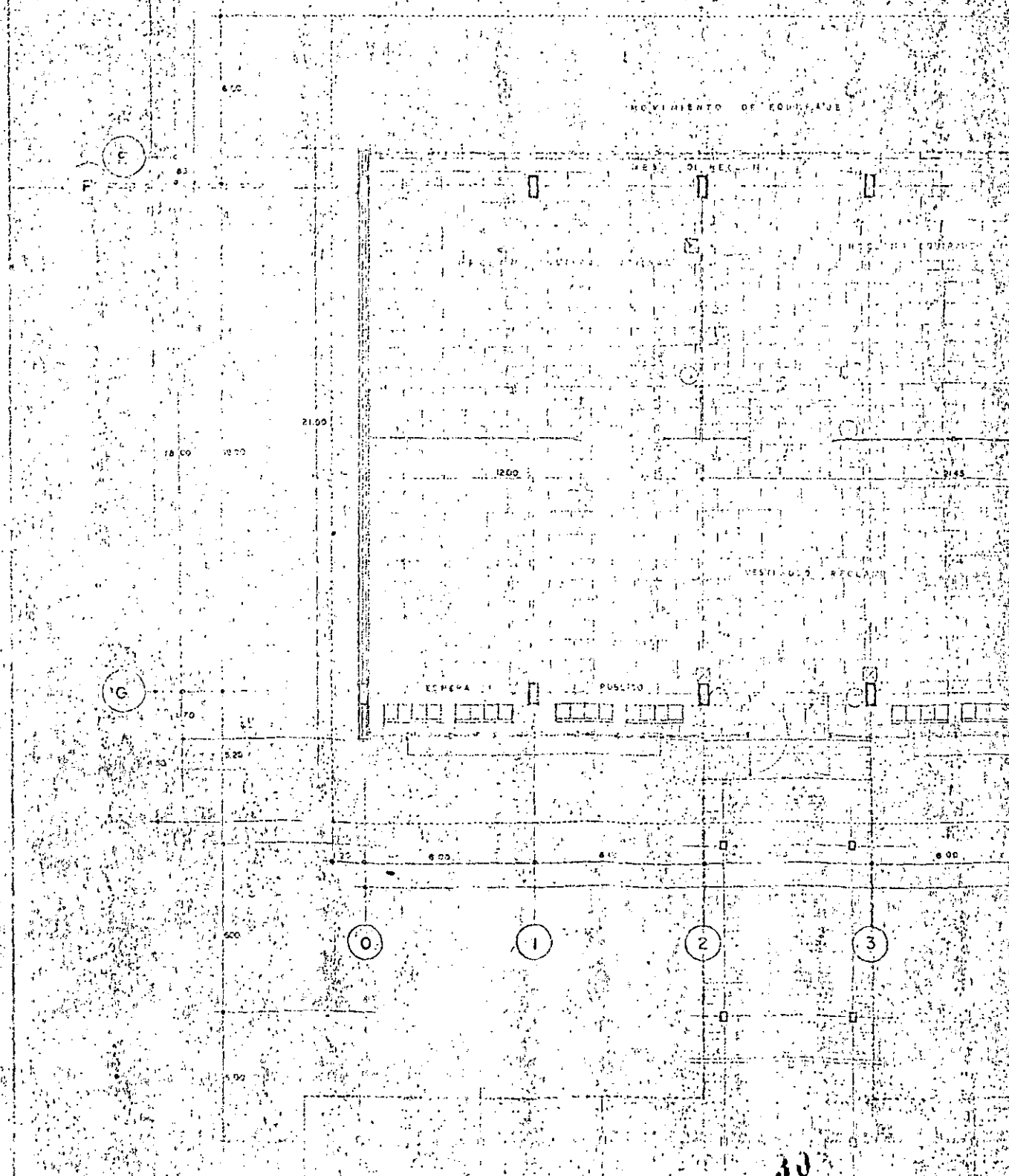


22



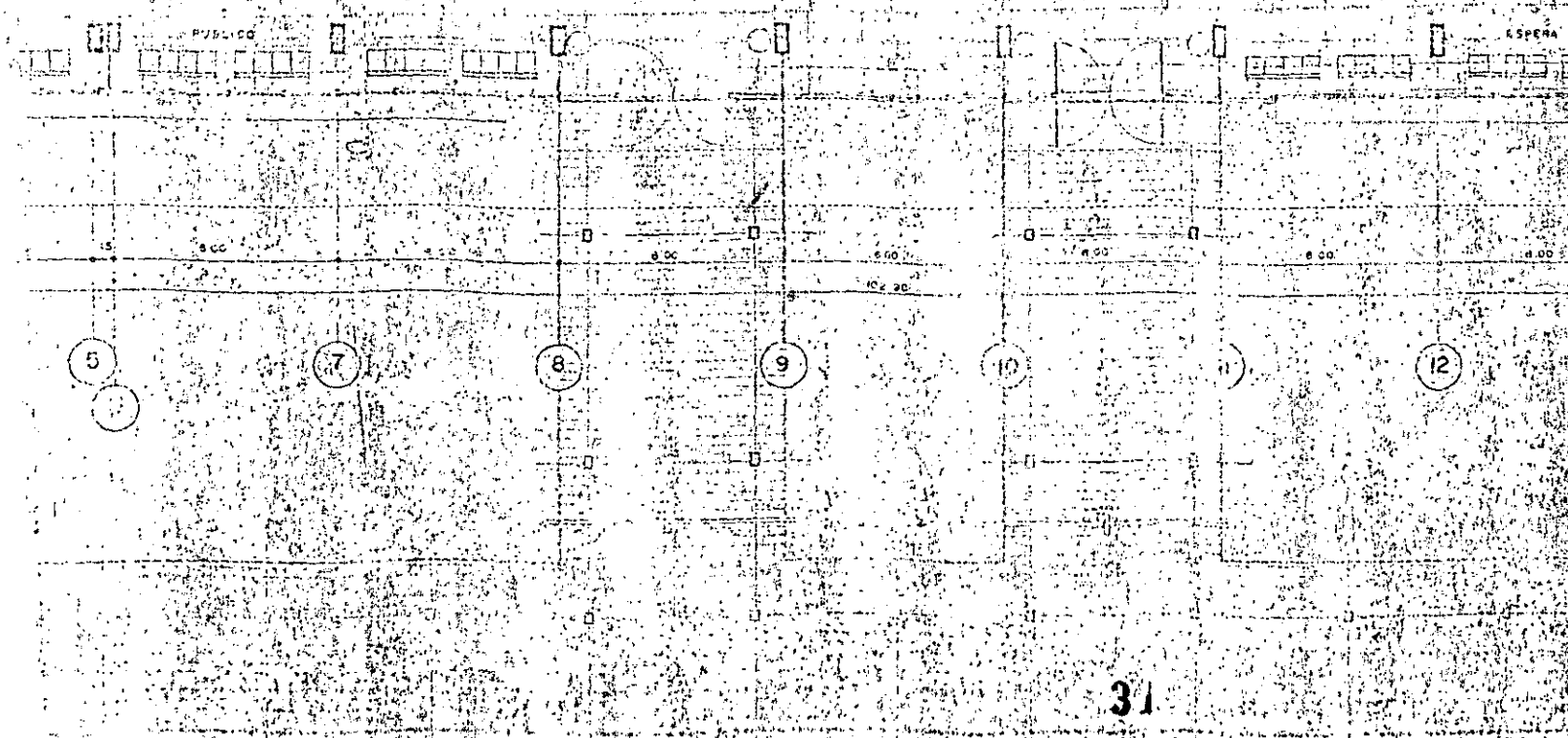
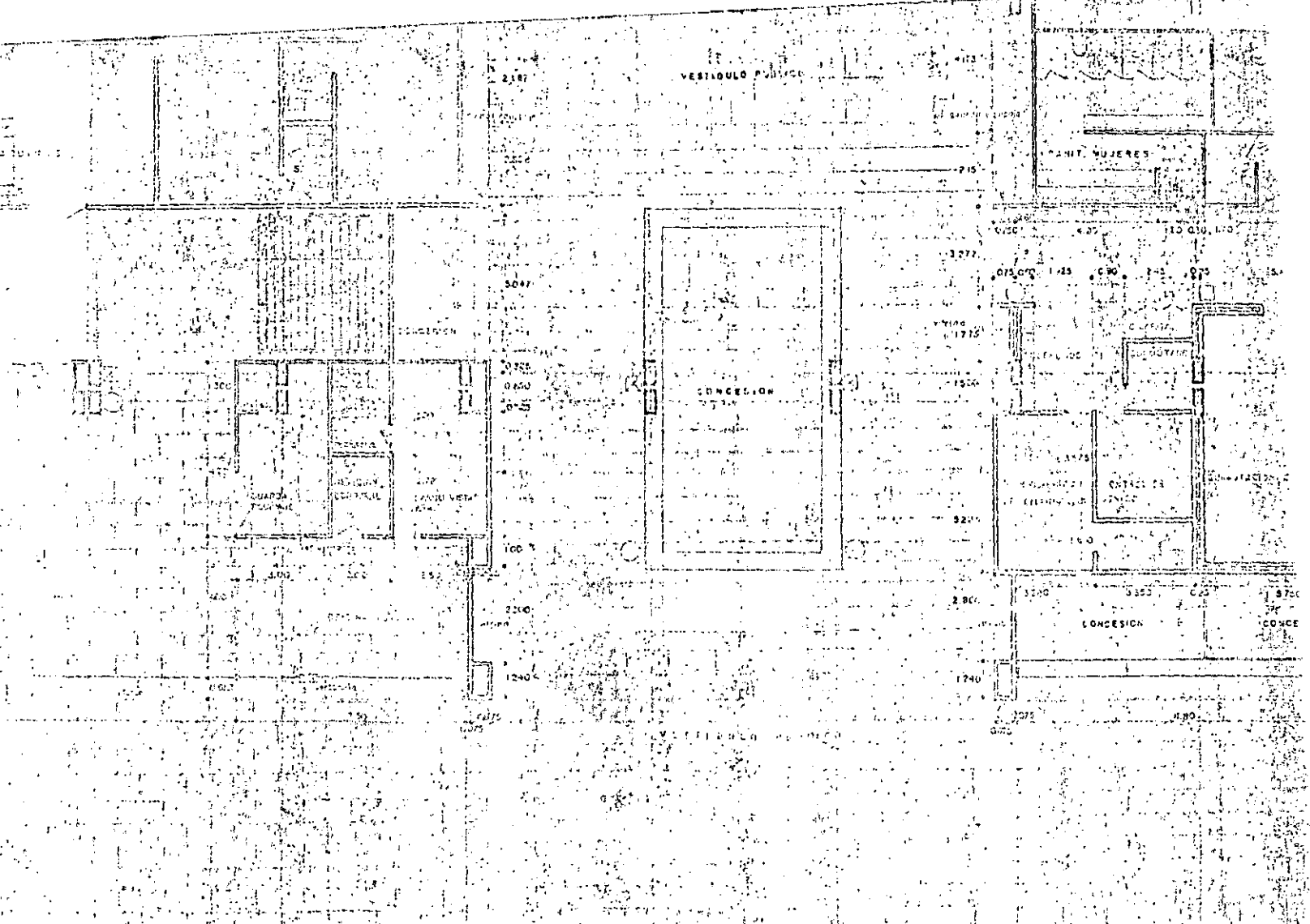


MOVIMIENTO DE EQUIPAJE



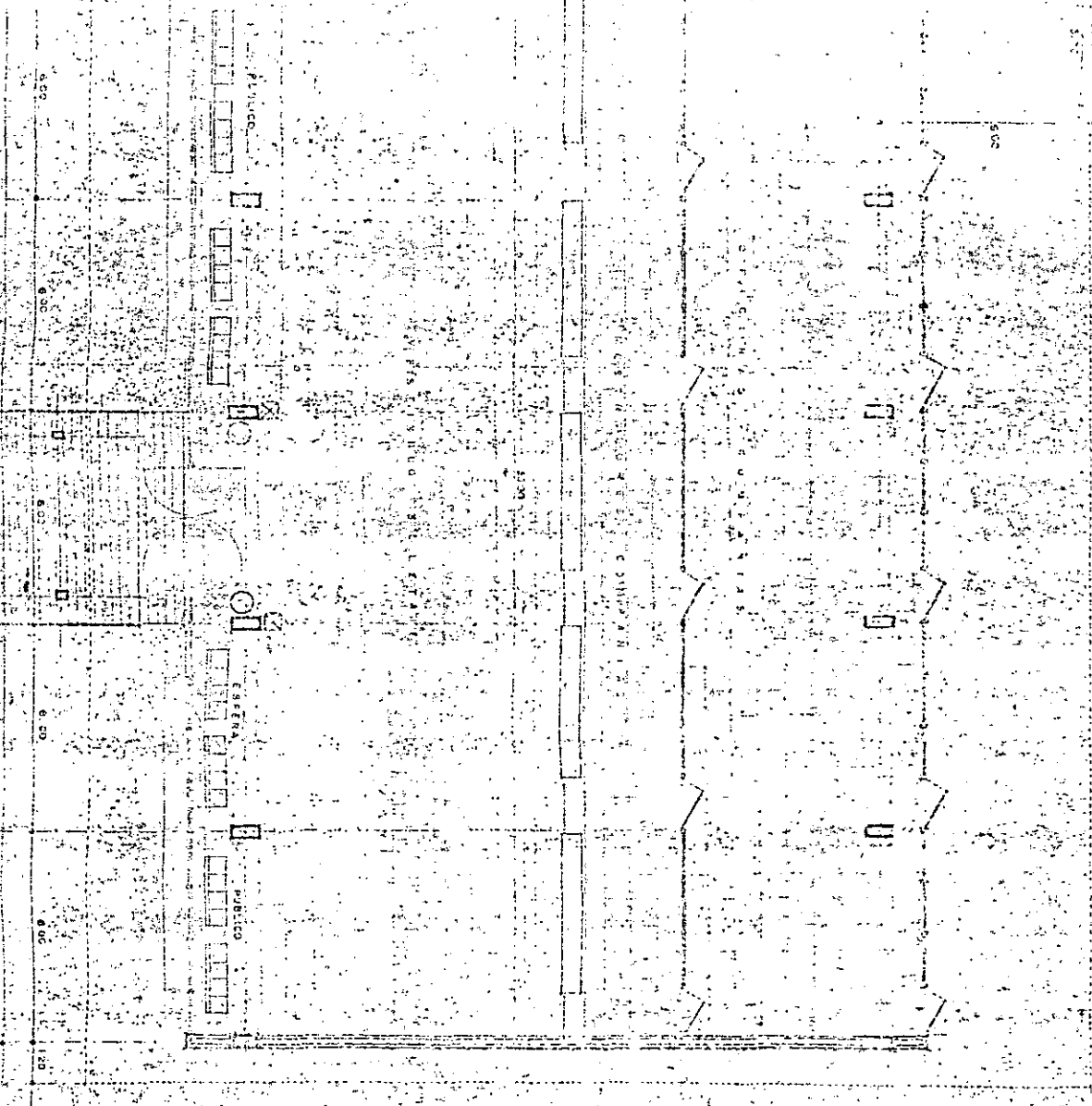
30

NO.	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR
1	...	...	...	...
2	...	...	...	...
3	...	...	...	...
4	...	...	...	...
5	...	...	...	...
6	...	...	...	...
7	...	...	...	...
8	...	...	...	...
9	...	...	...	...
10	...	...	...	...



<p>32</p> <p><b>ALMOGILBERTO</b></p> <p>DEPARTAMENTO DE CENTRA BAJA</p>		<p>Com. Municipal</p> <p>Com. Municipal</p>	
<p>PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCION DE LA ESCUELA PRIMARIA N.º 1</p> <p>DEPARTAMENTO DE CENTRA BAJA</p>		<p>Com. Municipal</p> <p>Com. Municipal</p>	
<p>ESTADO DE OBRAS</p> <p>ESTADO DE OBRAS</p>		<p>Com. Municipal</p> <p>Com. Municipal</p>	
<p>ESTADO DE OBRAS</p> <p>ESTADO DE OBRAS</p>		<p>Com. Municipal</p> <p>Com. Municipal</p>	

(15) (16) (17) (18) (19)



PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCION DE LA ESCUELA PRIMARIA N.º 1  
 DEPARTAMENTO DE CENTRA BAJA





MOVIMIENTO DE CUENTA

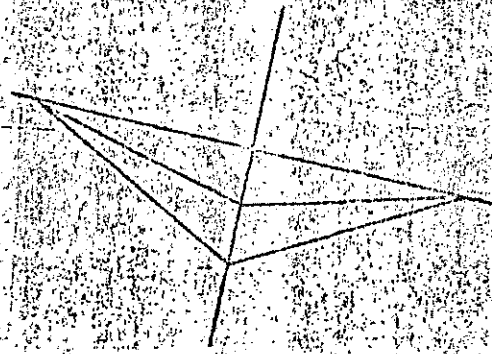
NETA

DECLARO EQUIPES IN

OFFICIAL



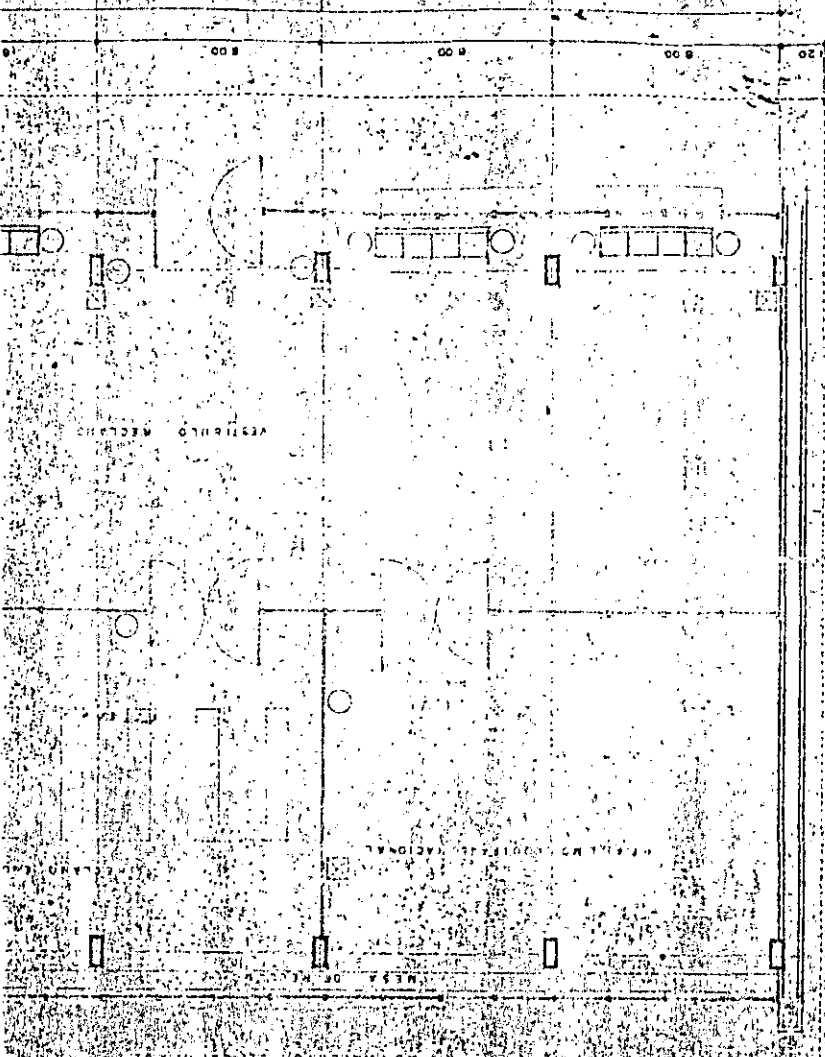




PROYECTO	FECHA	ESCALA	HOJA

30

0 1 2 3



4

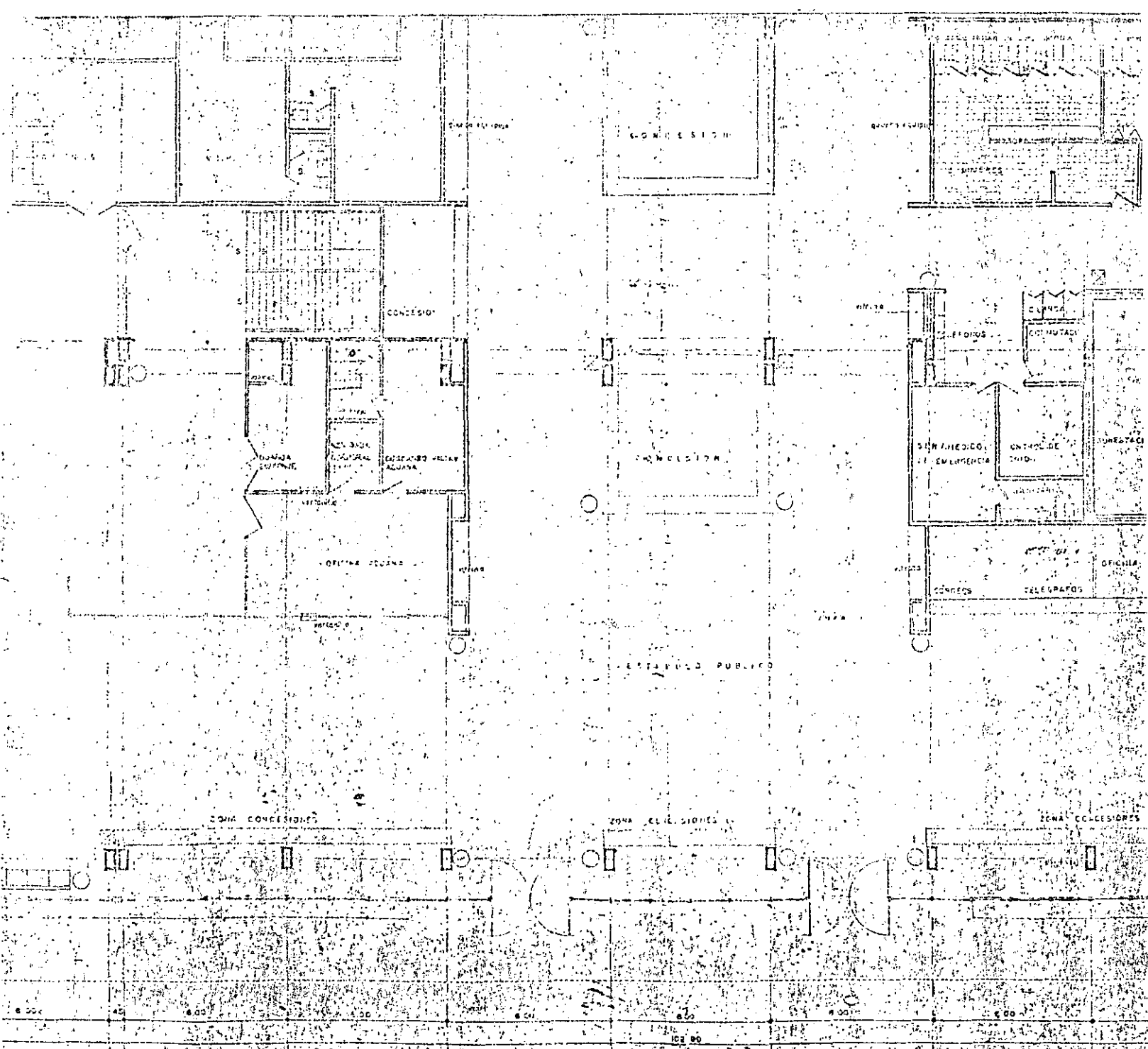
5

6

7

D





5      7      8      9      10      11      12

OFICINAS COMPANIAS

OFICINAS COMPANIAS

VESTIBULO BOLETAGE

15

16

17

18

19

ESTE PLANO ANULA EL ANTERIOR 815-2 DE FECHA MARZO DE 1947

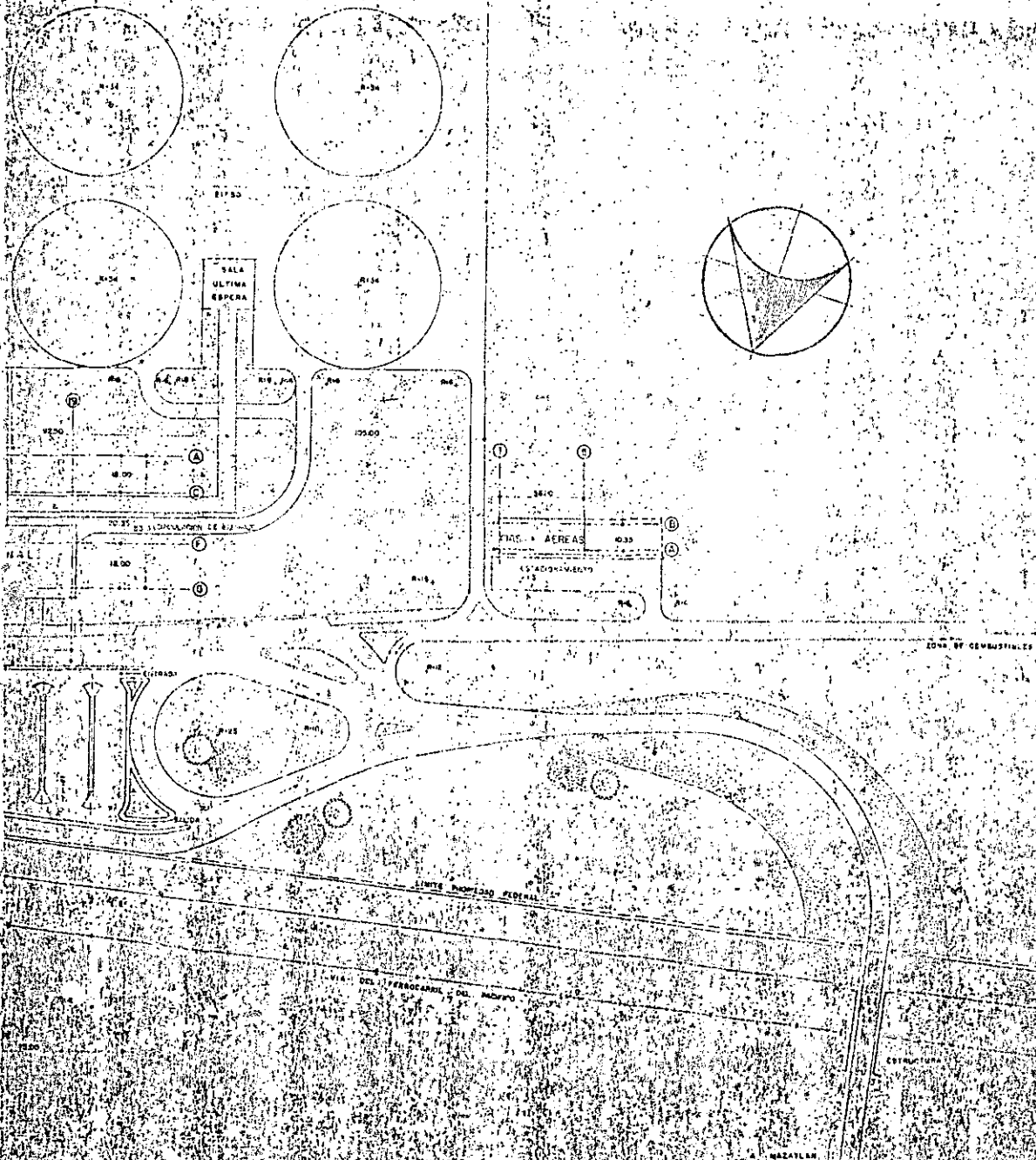
38

MOBILIARIO	PLANTA	ALTA	PIEDRES	TOTAL
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...

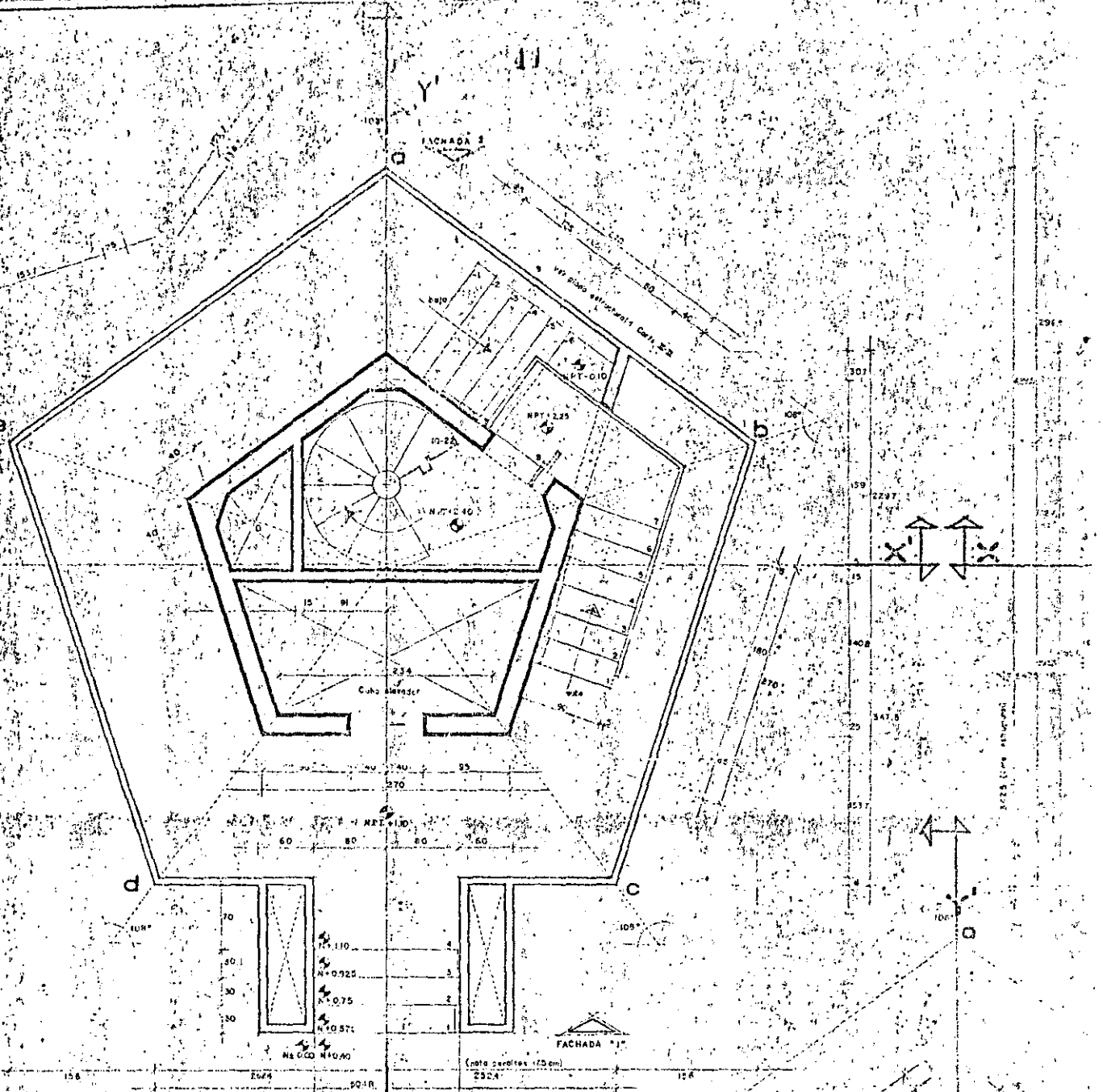
**SOP** DIRECCION GENERAL EDIFICIOS  
 DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
 AEROPUERTO PLAN DE BAJA  
 INTERIO GENERAL  
 ANEXO DEL PLAN  
 ANEXO DEL PLAN  
 ANEXO DEL PLAN





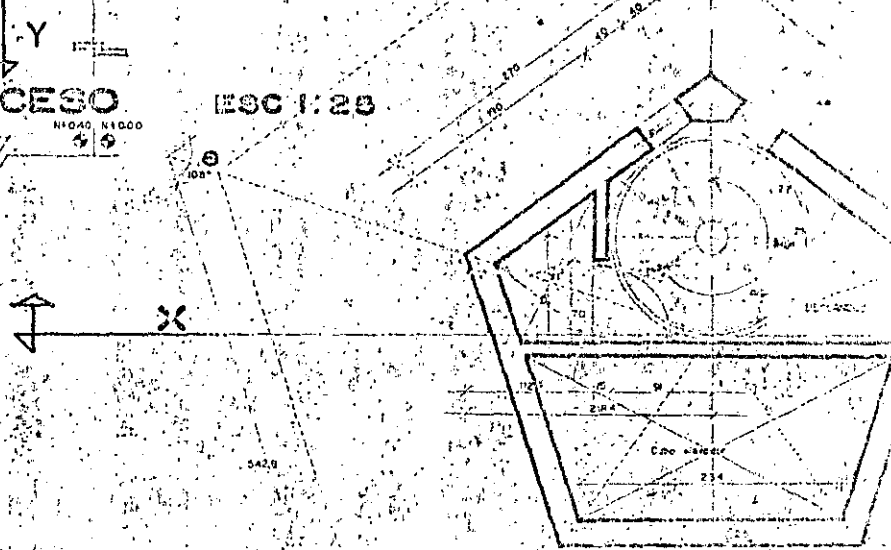


<b>SOP</b> DIRECCION GENERAL DE EDIFICIOS DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA Y ORGANIZACION			
MAZATLAN, PUEBLA, MEXICO <b>AEROPUERTO</b> NACIONAL E INTERNACIONAL		<b>PLANTILLA</b> CONJUNTO DE ACCESOS	
EL JEFE DEL DEPARTAMENTO ING. HECTOR VELAZQUEZ		EL INGENIERO GENERAL ING. DANIEL GARCIA LUNA	
FECHA: 1970	ESCALA: 1/500	HOJA NO. 1	DE 1



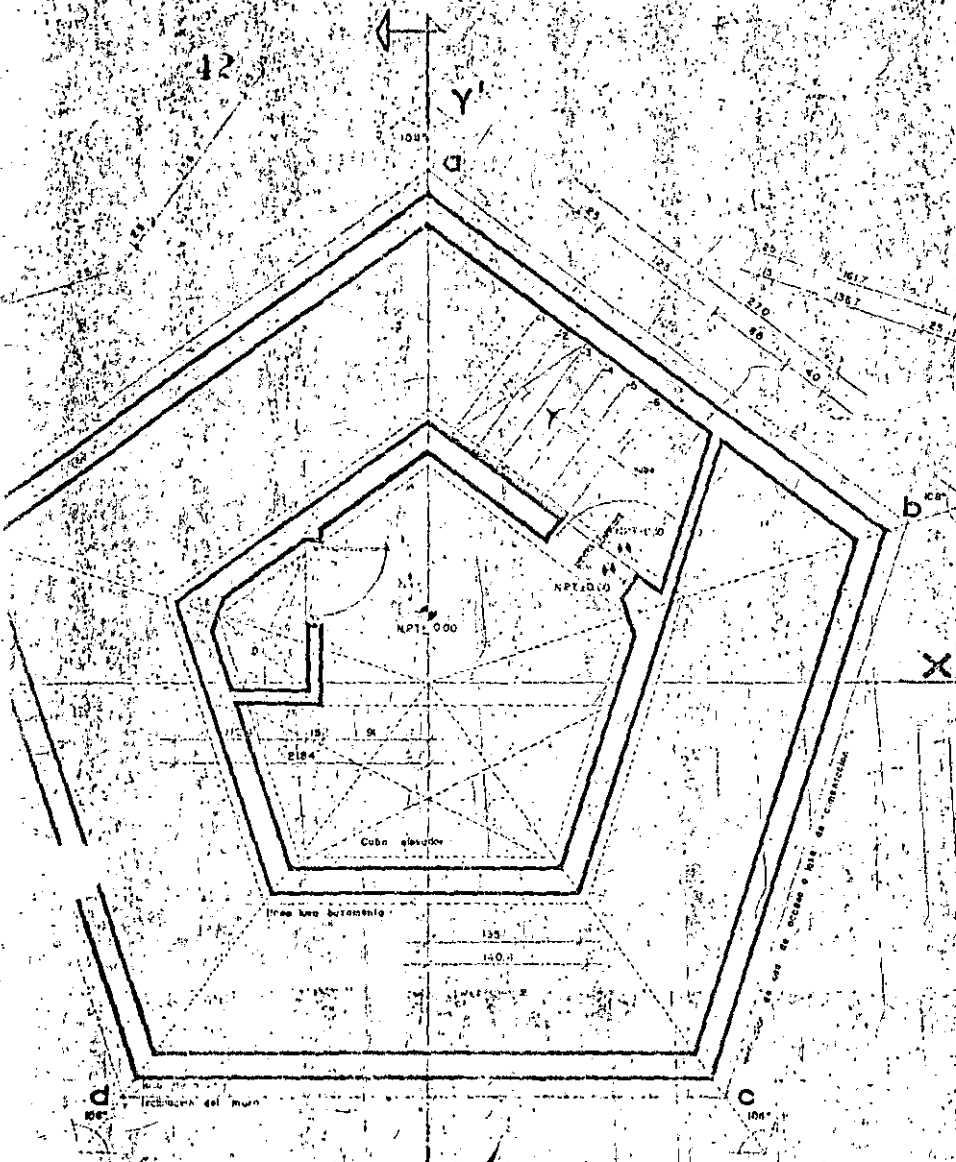
**PLANTA DE ACCESO**

**ESC 1:25**



3475 (CO) (SUCESIVALES)  
 3475 (CO) (SUCESIVALES)  
 3475 (CO) (SUCESIVALES)

3425 (CO) (SUCESIVALES)  
 3425 (CO) (SUCESIVALES)  
 3425 (CO) (SUCESIVALES)



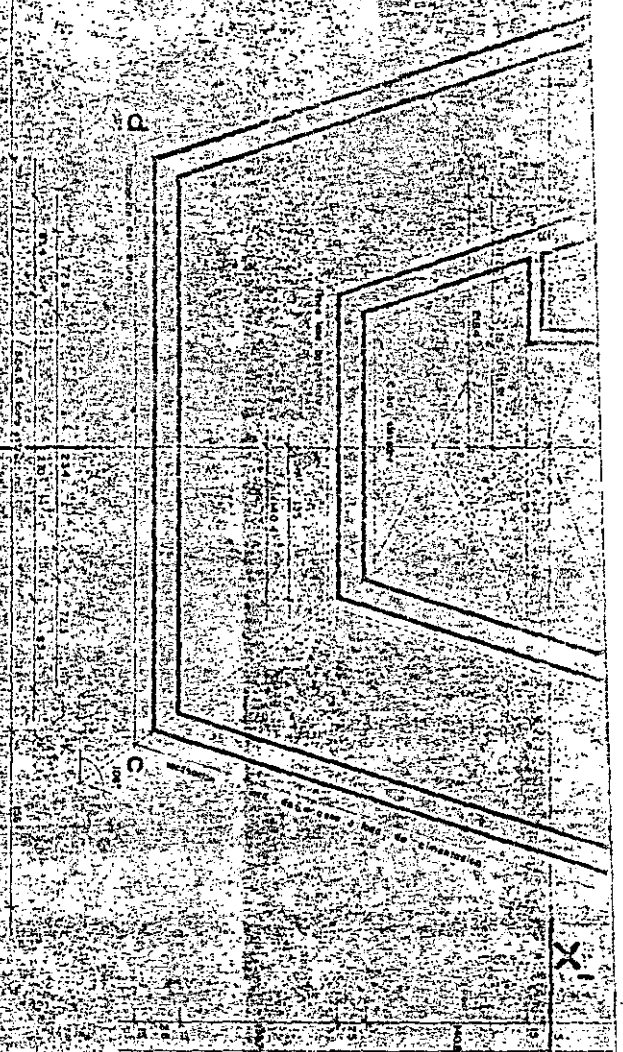
**PLANTA BASAMENTO ESC 1:25**

(Continuar, ver plano)  
 - Secciónes de 20 cm.  
 - Secciónes de 20 cm.  
 - Secciónes de 20 cm.  
 - Secciónes de 20 cm.









PLANTA BASAMENTO ESC 1:25



ESC 1:25


**SCIT**  
 SUBSECCION GENERAL DE ASESORIA TECNICA  
 DIRECCION GENERAL DE ASESORIA TECNICA  
 DIRECCION GENERAL DE ASESORIA TECNICA  
 DIRECCION GENERAL DE ASESORIA TECNICA

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
 INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
 INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
 INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

15

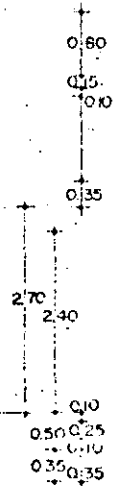


ESCALERA MARINA

CABINA

SUBCABINA

NIVEL SUBCABINA



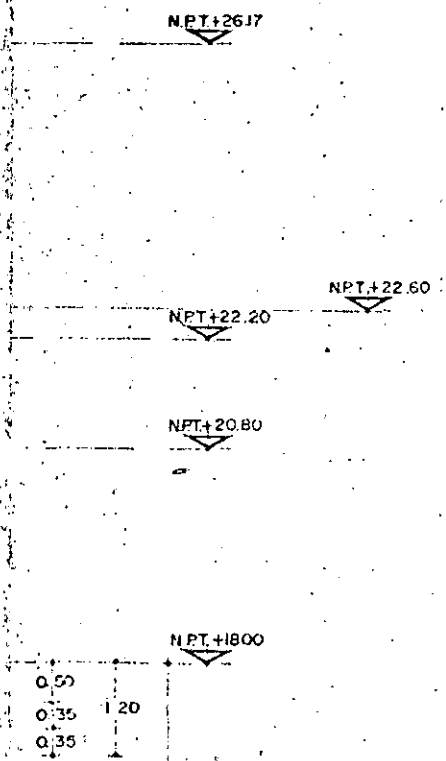
3.735

4.10

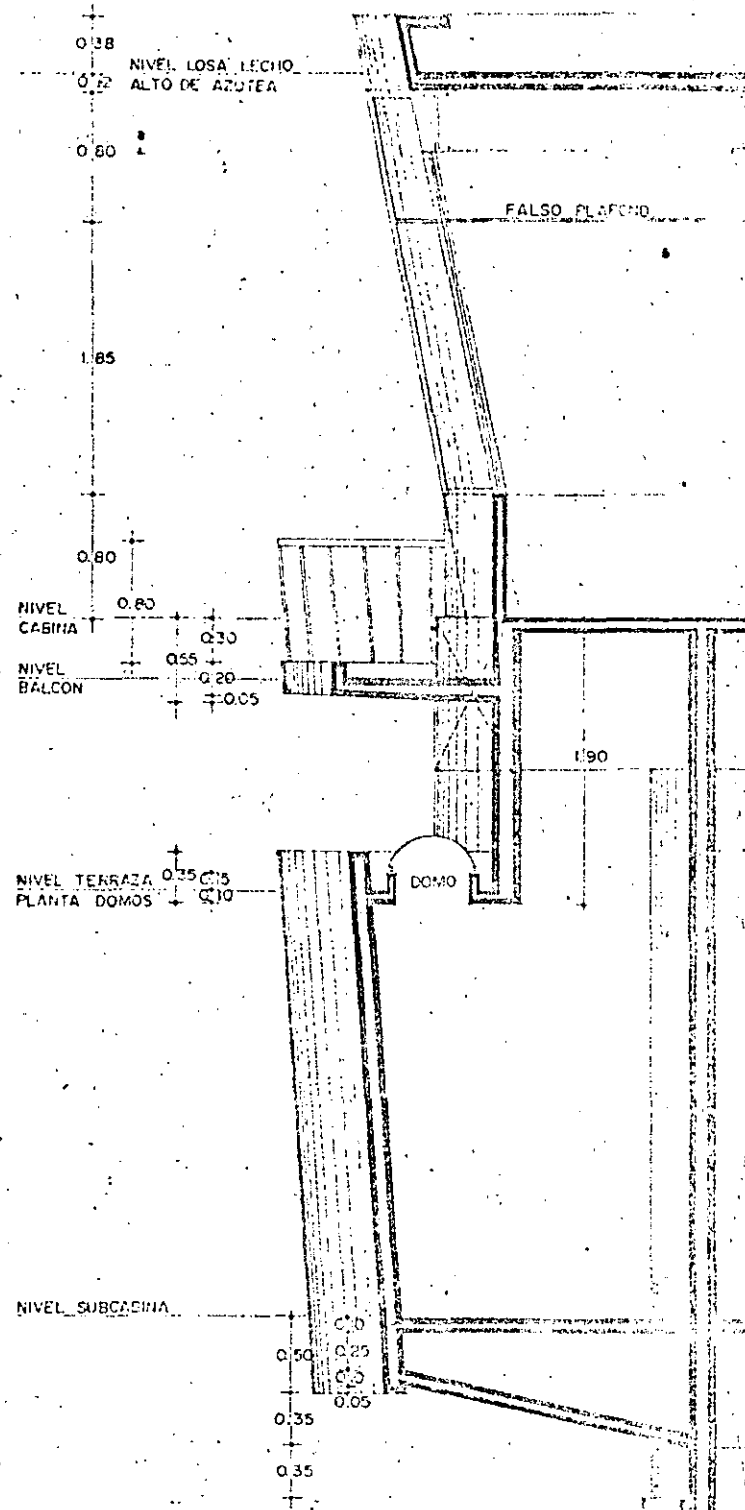
450 (COTA TOTAL SUBCABINA)

4.15 (COTA TOTAL FUSTE-EJE Y)





15.80



47

NPT. +26.17

CABINA

N + 23.10

NPT. +22.60

NPT. +22.20

0.30  
0.55  
0.20  
0.05

0.80

0.10

1.90

DQ740

VERTICE (b)

NPT. +20.80

SUBCABINA

NPT. +18.00

VERTICE (b)

0.50

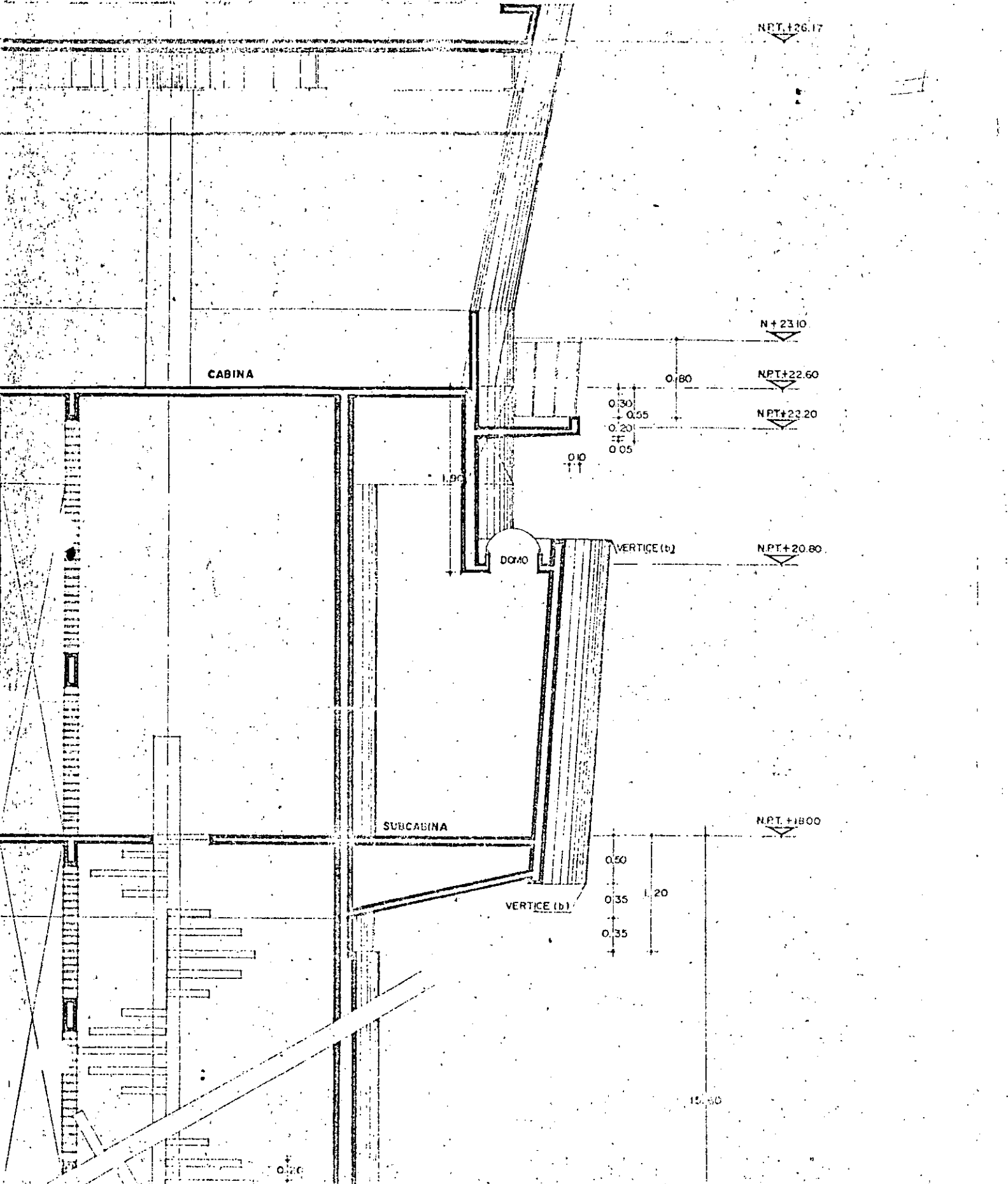
0.35

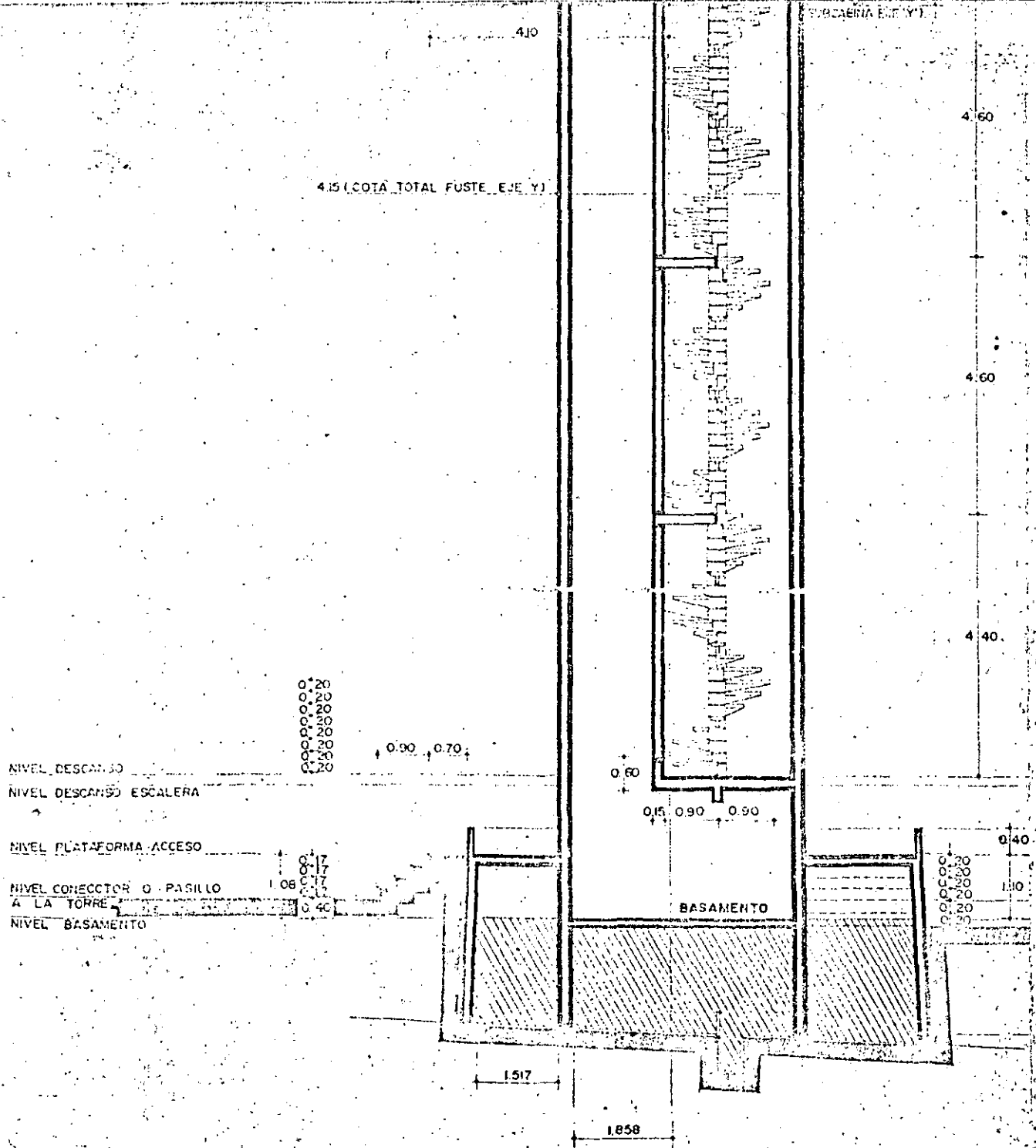
0.35

1.20

15.50

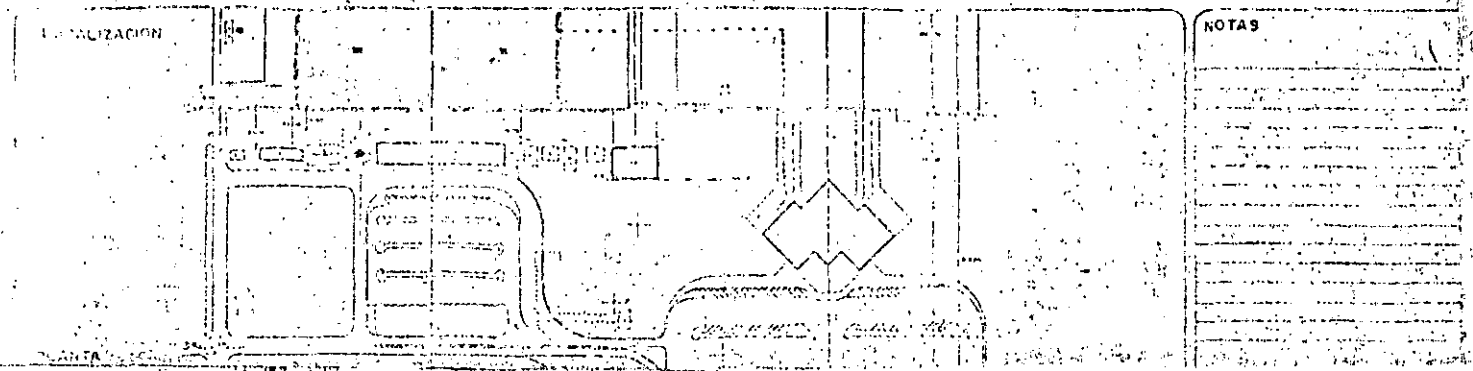
0.20  
0.20





# CORTE Y-Y' ESC. 1/50

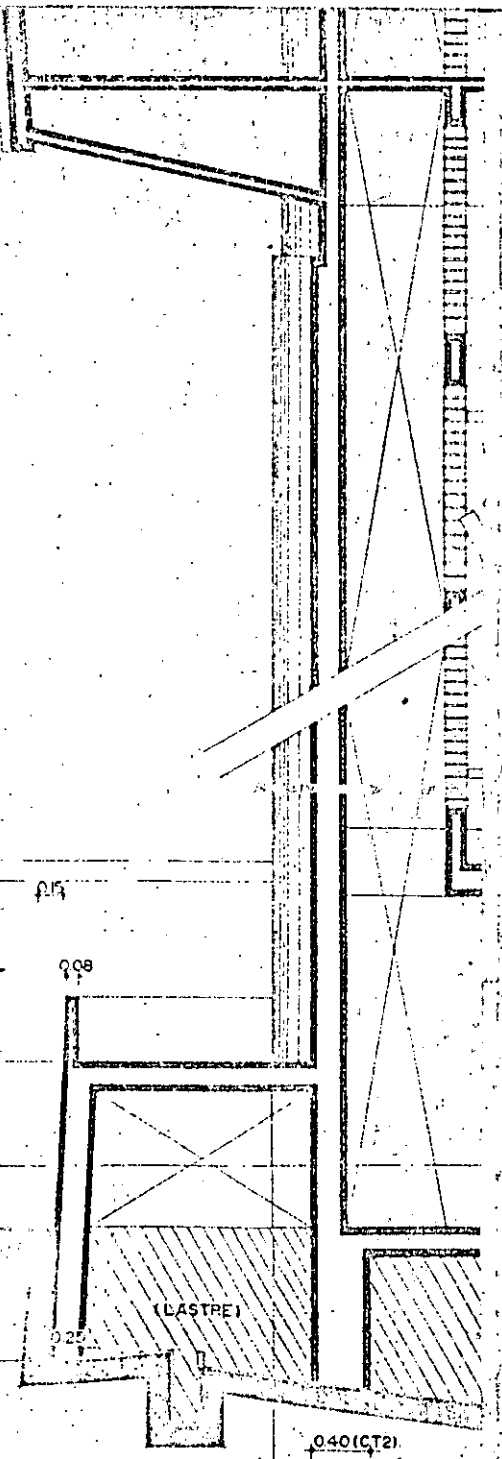
48



15.80

NIVEL SUPERABIMANTENIMIENTO

0.20  
0.25  
0.35  
0.35



NIVEL ACCESO ESCALERA FUSTE  
NIVEL DESCANSO ESCALERA  
PLATAFORMA

0.15

NPT 2.25      NPT 2.40

NPT 1.10

NIVEL PLATAFORMA DE ACCESO

0.20

NPT 10.40  
NPT 10.00

NPT 10.10

NIVEL PASILLO  
CONECTOR ACCESO

NIVEL BARRAMENTO

0.30

0.08

(LASTRE)

0.25

0401CT21

NIVEL DE REFERENCIA FABA  
DESFAJAMIENTO

VERTICE (0.0)

COTA M

# CORTE X-

49

### MODIFICACIONES

FECHA	MODIFICACIONES	MONEDA	FINAN

PROYECTO: *[Handwritten Signature]*

OFICINA DE PROYECTOS ARQUITECTONICOS

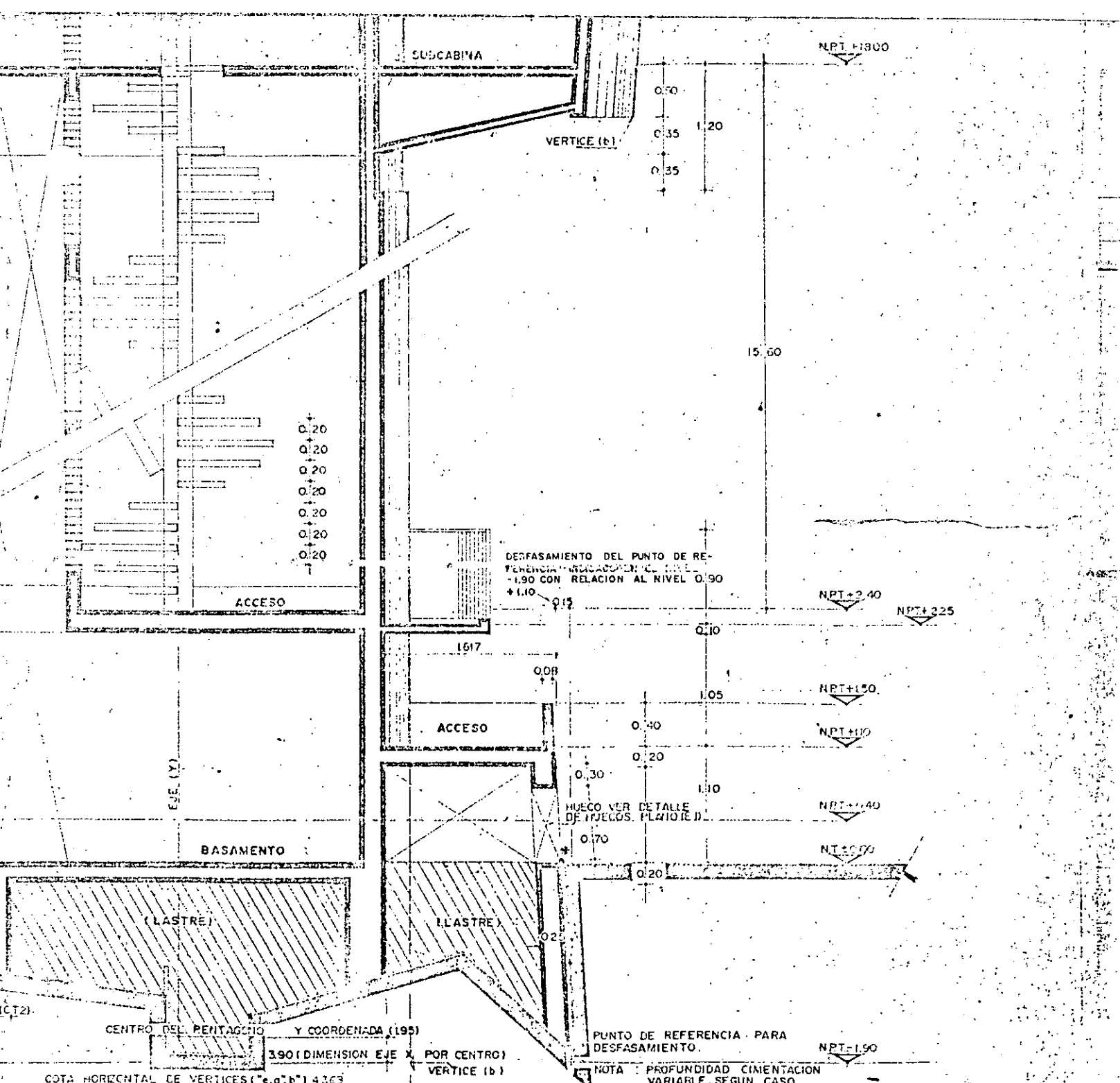
ENCARGADO: *[Handwritten Signature]*

FECHA: *[Handwritten]*

ESCALA: *[Handwritten]*

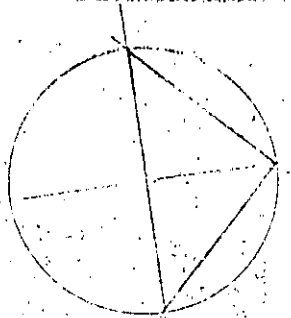
1:50

1:25



E X-X' Esc. 1:25

50



ELABORADO EL 1970 DEL DEPARTAMENTO 1110

*[Signature]*

INGENIERO EN AERONAUTICA

APROBADO EL DIRECTOR DE AFSA

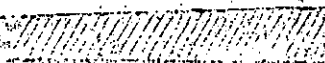
**SCT**

SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA  
 DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
 DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
 SUBDIRECCION DE PROYECTOS  
 DEPARTAMENTO DE DISEÑOS ARQUITECTONICOS

AEROPUERTO DE CULIACAN, SINALOA  
 TORRE DE CONTROL A-104  
 CORTES GENERALES







007.00

007.20

007.40

007.60

007.80

008.00

008.20

008.40

008.60

008.80

009.00

007.00

007.20

007.40

007.60

007.80

008.00

008.20

008.40

008.60

008.80

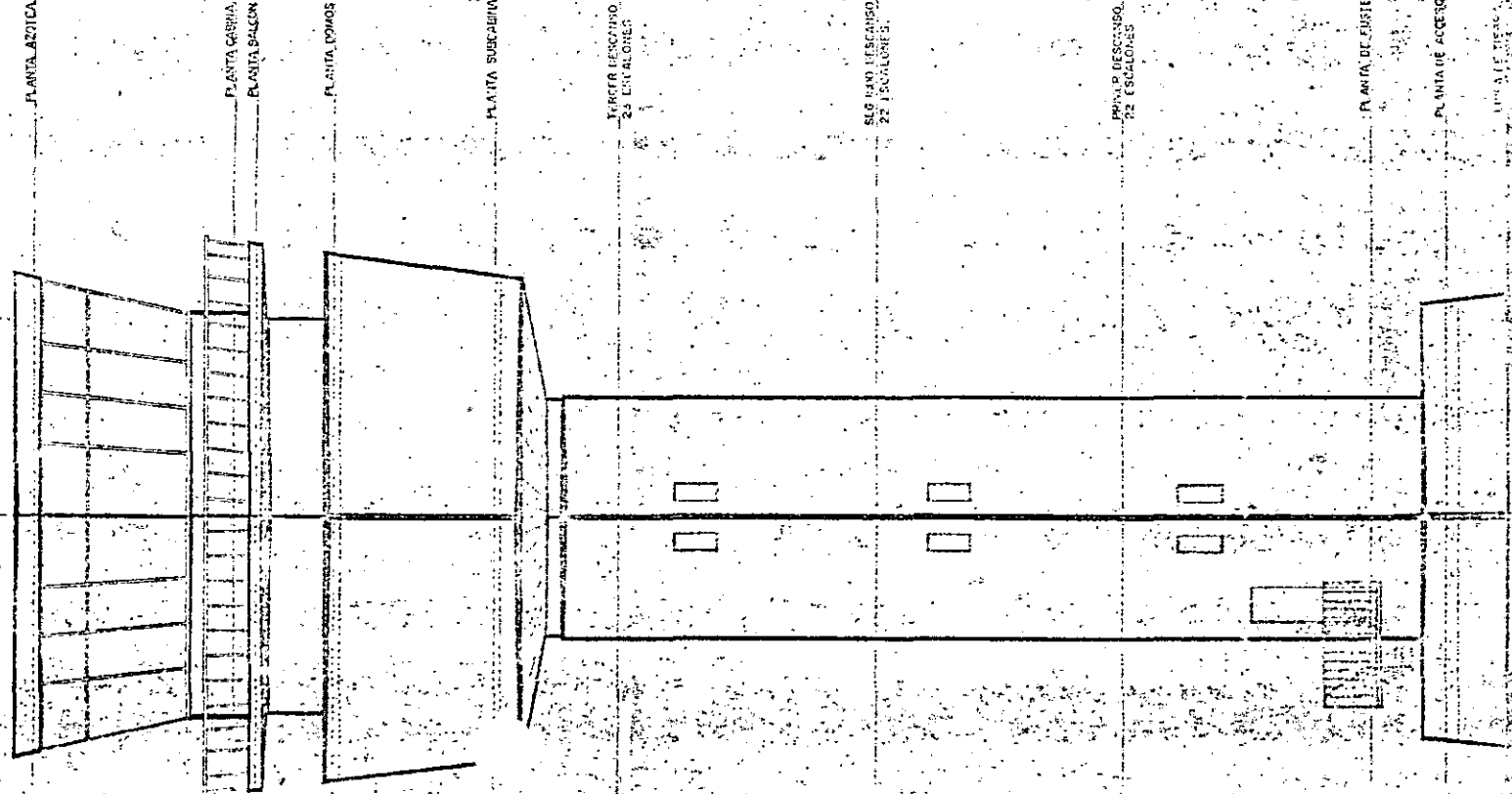
009.00

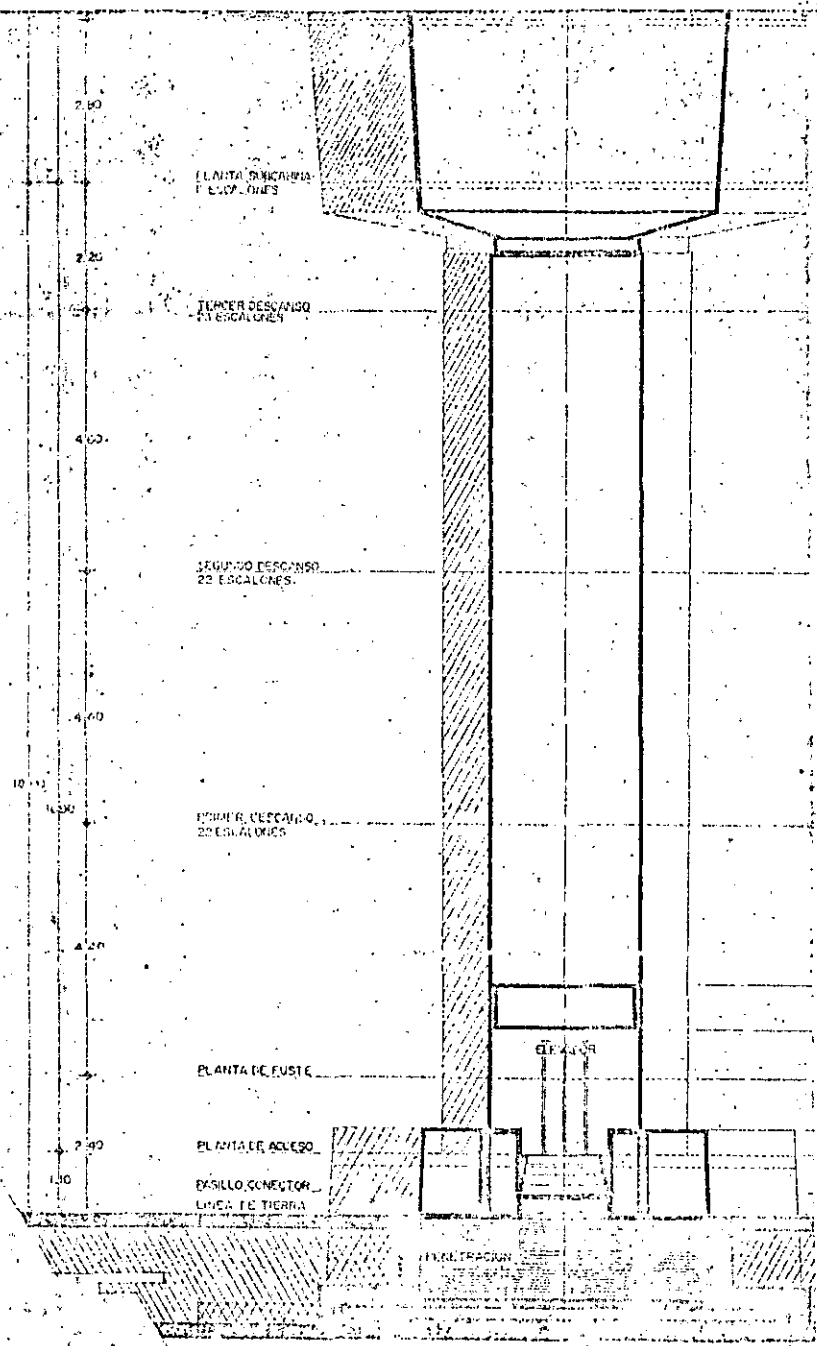
009.20

009.40

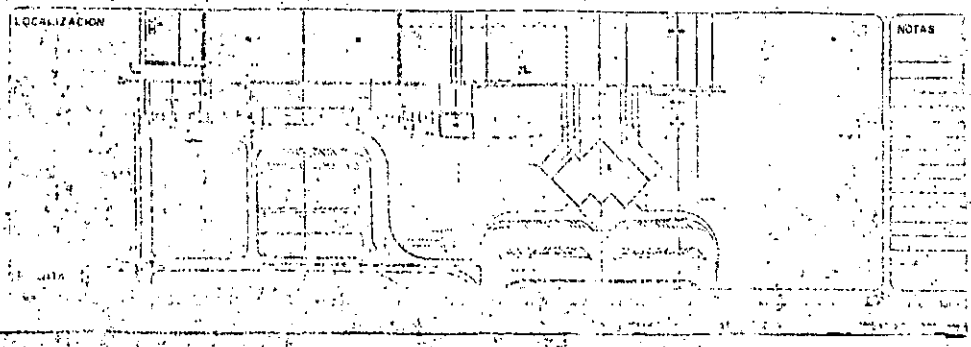
53

53





FACHADA I



NPT-1100

NPT-1100

NPT-1580

NPT-1580

NPT-2120

NPT-2120

NPT-3640

NPT-3640

NPT-410

NPT-410

NPT-730

NPT-730

NPT-1340

NPT-1340

NPT-150

NPT-150

NPT-140

NPT-140

NPT-2010

NPT-2010

NPT-210

NPT-210

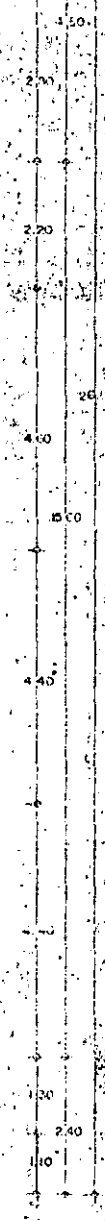
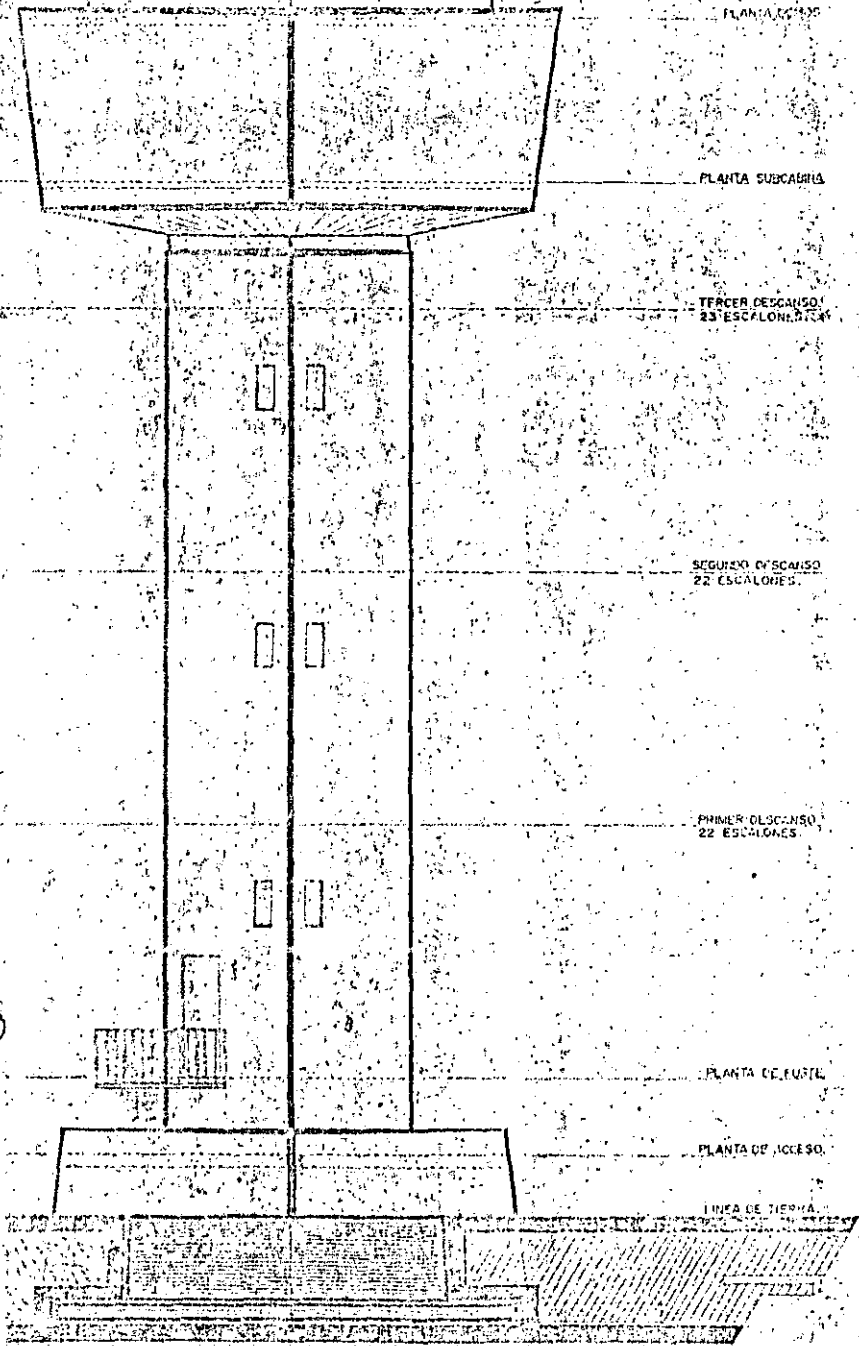


FACH

55

MODIFICACIONES

	INDICACION	FECHA	FIRMAS	FIRMA



HADA 2

58

<p>PROYECTO DISEÑO DE PLANTA Y SECCIONES</p>	<p>NORTE</p>	<p>PROMOTOR DEL PROYECTO</p>	<p>SC</p> <p>SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION SUBDIRECCION DE PROYECTOS DEPARTAMENTO DE PLANTA Y SECCIONES</p> <p>AEROPUERTO DE CULIACAN SINALOA TORRE DE CONTROL A-103 FACIADAS GENERALES</p>
--------------------------------------------------	--------------	------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

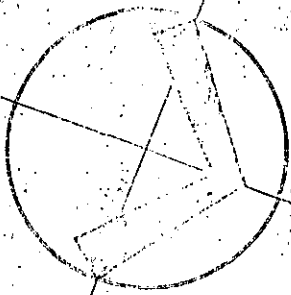








63



(C)

(B)

(A)

(F)

(E)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)

(8)



M.L. + 1.90

M.R.T. + 6.60

M.L. + 0.02

M.L. + 1.20

CIVILISIRRA

TAPA SIKUT

M.L. + 0.10

CIVISIRRA

M.L. + 1.90

M.L. + 0.02

(1)

M.L. + 0.02

M.L. + 0.02

M.L. + 0.02

6



11

12

13

14

15

16

17

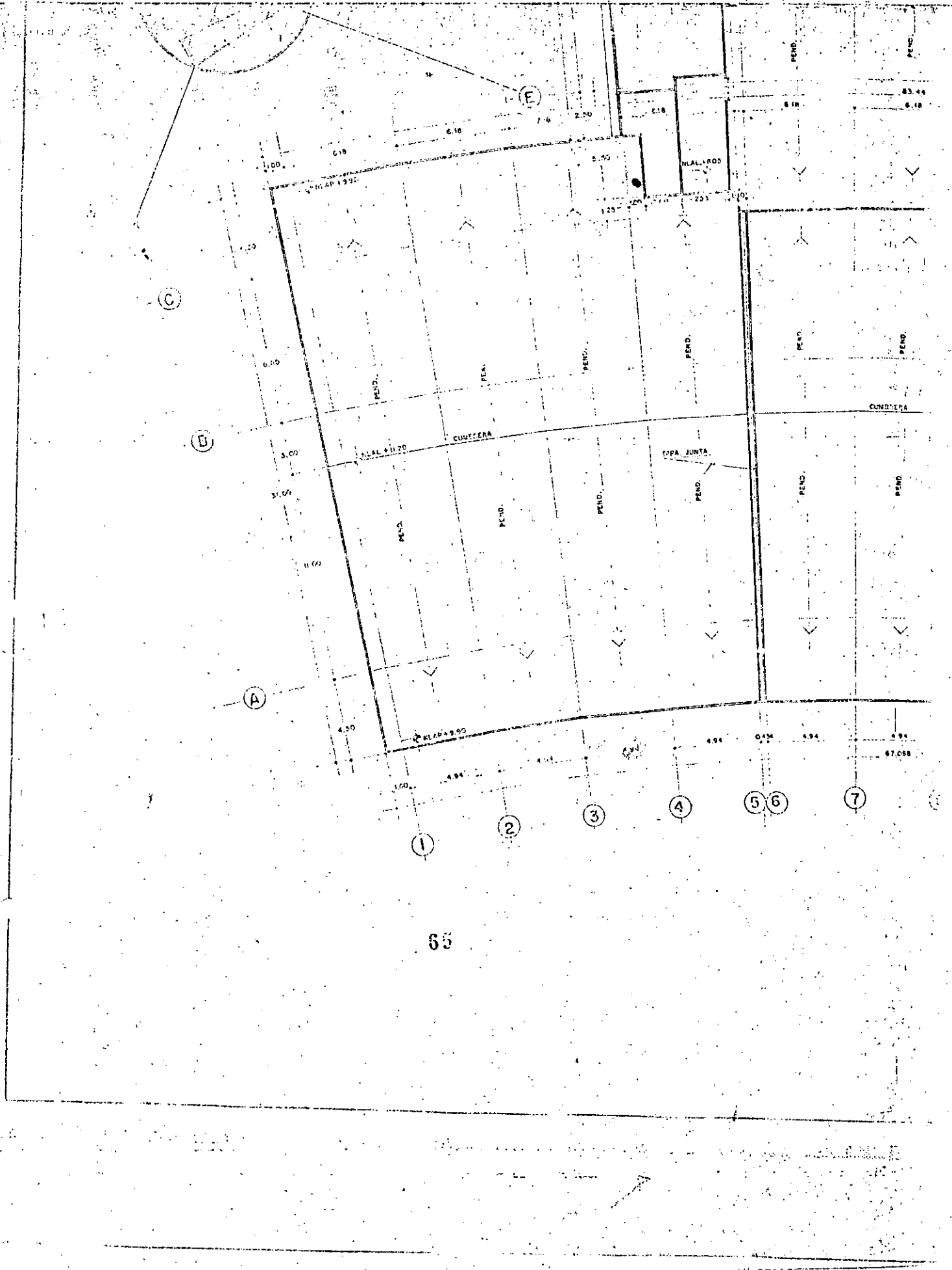
18

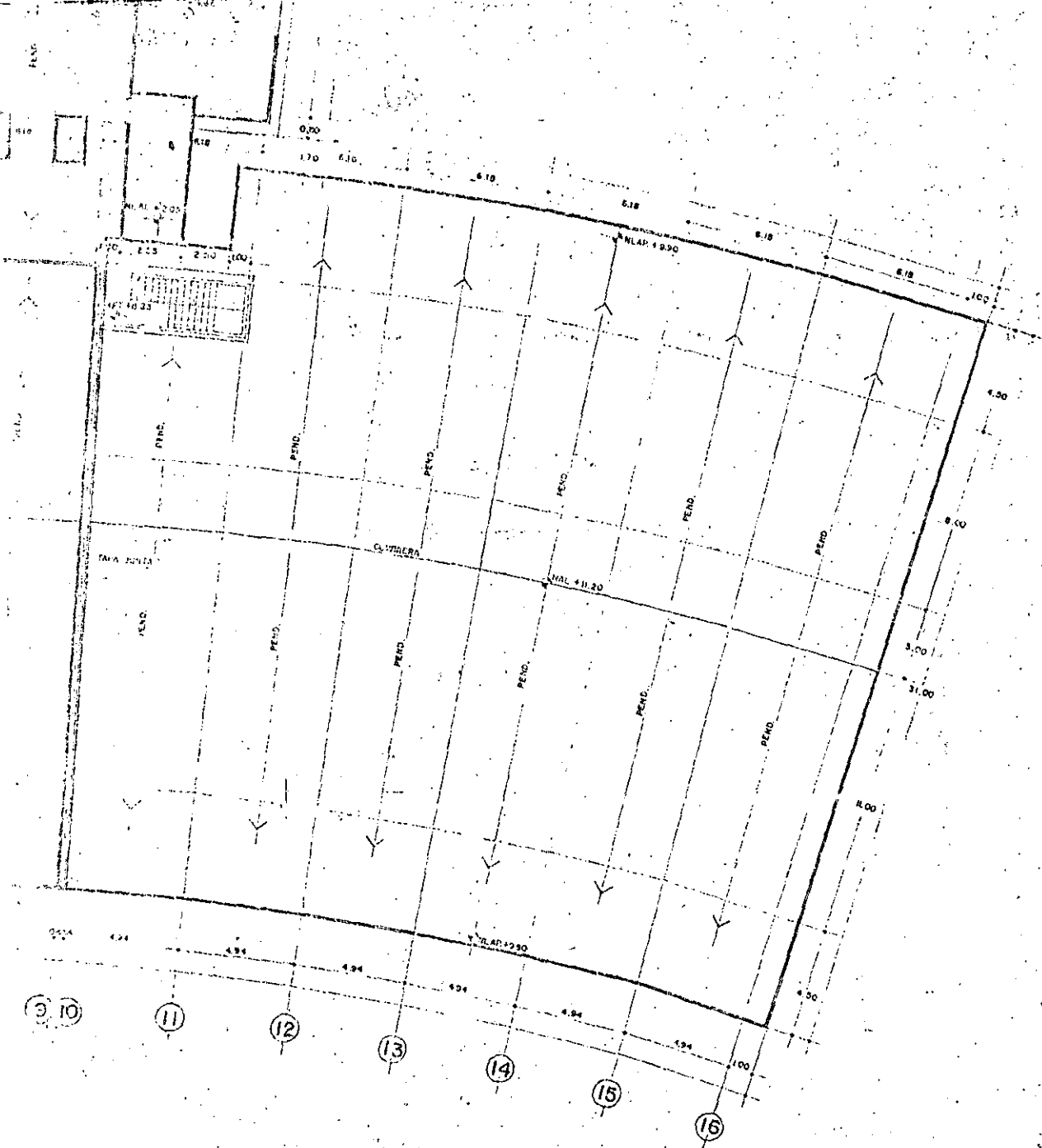
19

20

21

22



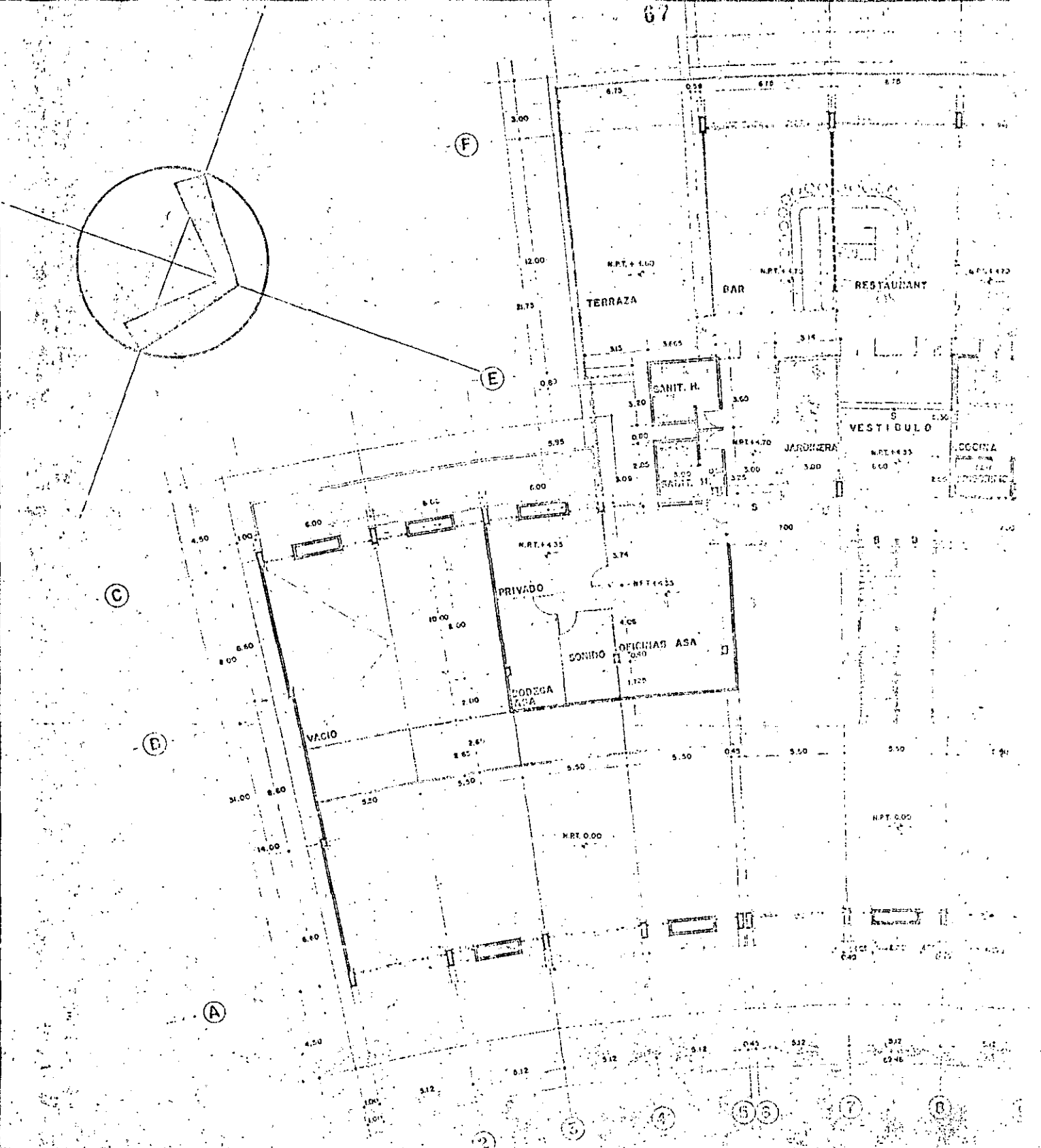


66

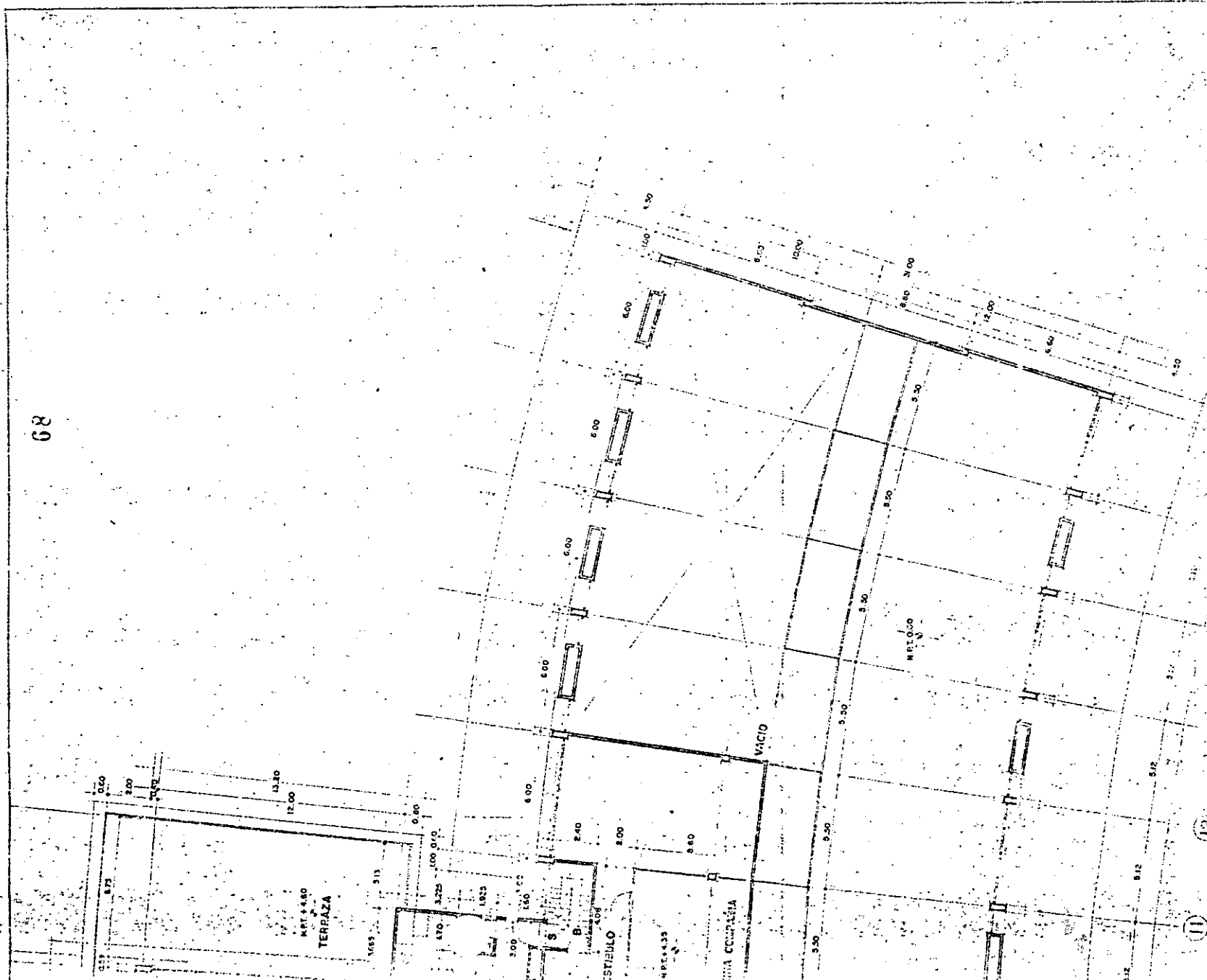


<p>PROYECTO: OPERA. DE PROYECTOS ARQ. Y ESTR.</p>		<p><b>SADOP</b> DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS DEPARTAMENTO DE PROYECTOS OFICINA DE PROYECTOS ARQUITECTONICOS Y ESTRUCTURALES</p>	
<p>DISEÑO: OPERA. DE PROYECTOS ARQ. Y ESTR.</p>		<p><b>AEROPUERTO DE OAXACA, OAX.</b> <b>EDIFICIO TERMINAL DE PASAJEROS.</b> <b>PLANTA DE AZOTITAS</b></p>	
<p>REVISOR: ING. RA. ANTONIO ESCOBAR</p>		<p>PROYECTO: EL QUE PUE. EN LA OAXACA</p>	
<p>COORDINADOR: ABD. ALVARO ESCOBAR</p>		<p>APROBADO: EL DIRECTOR GENERAL</p>	
		<p>ING. RAFAEL MONTEA APR. EDUARDO LUNA TRUJILLO</p>	
<p>MEXICO, D.F. SEPT. DE 1964. 37E-1A</p>			

67

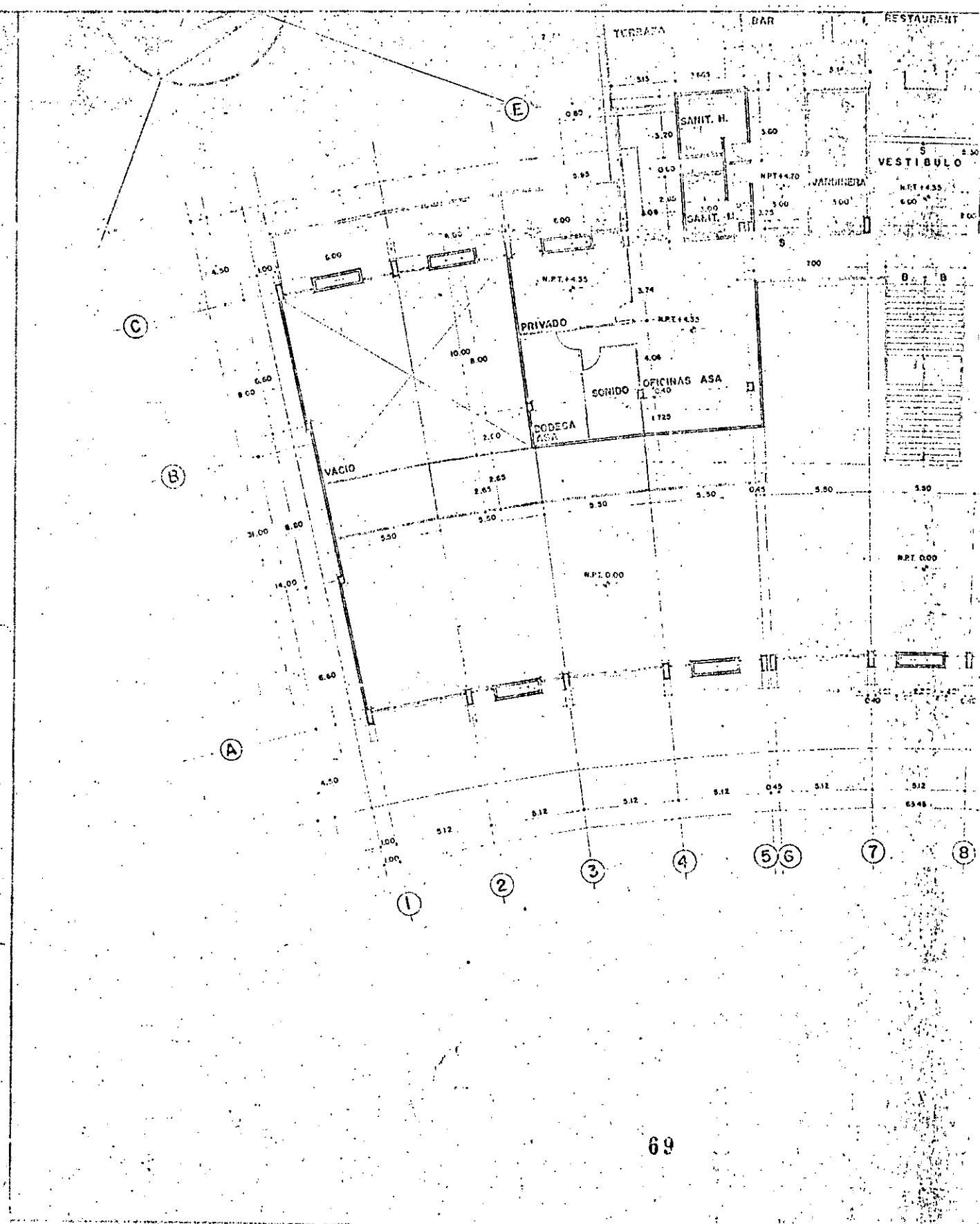


88

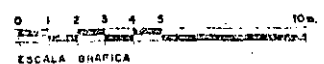
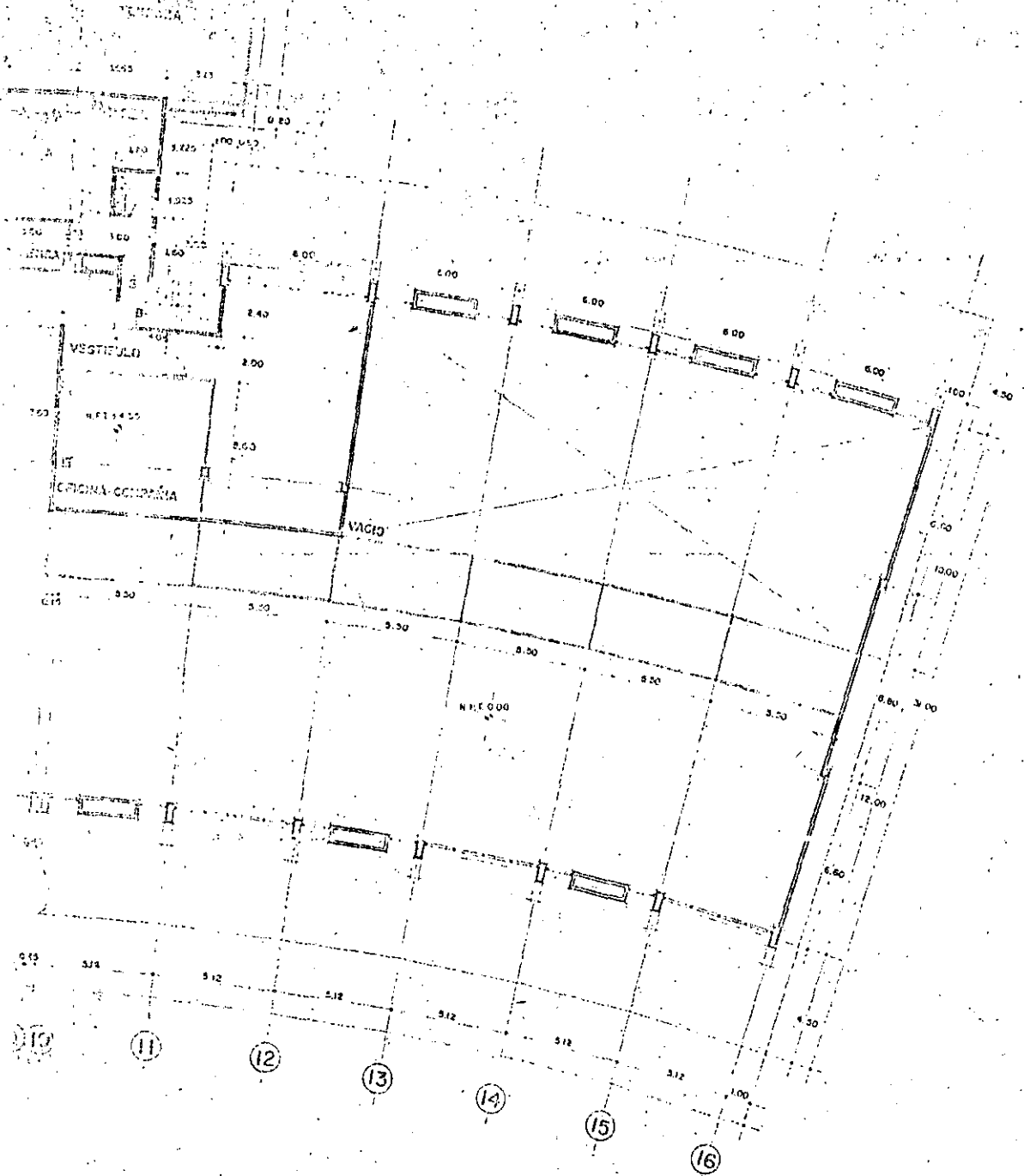


(12)

(11)



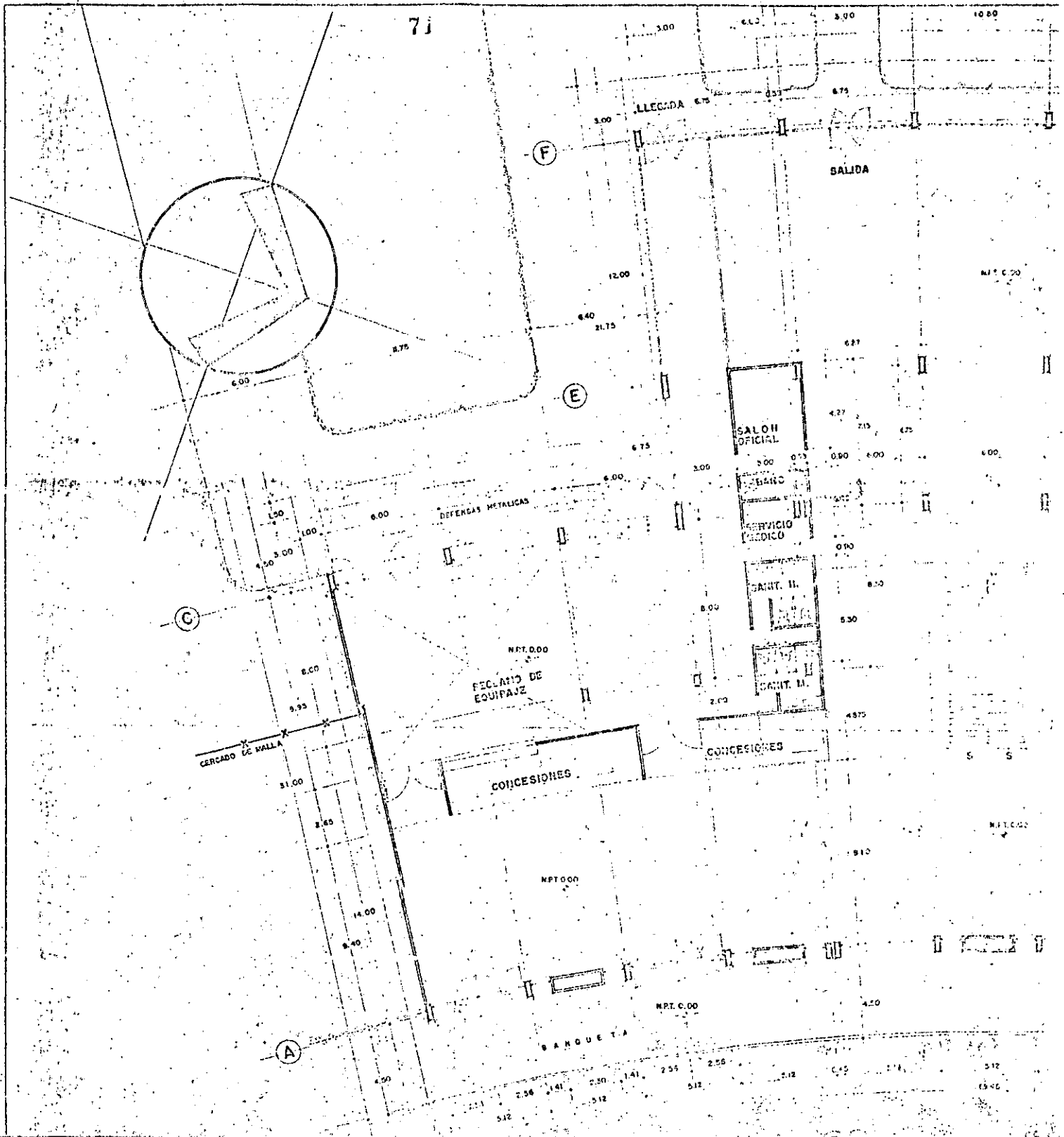


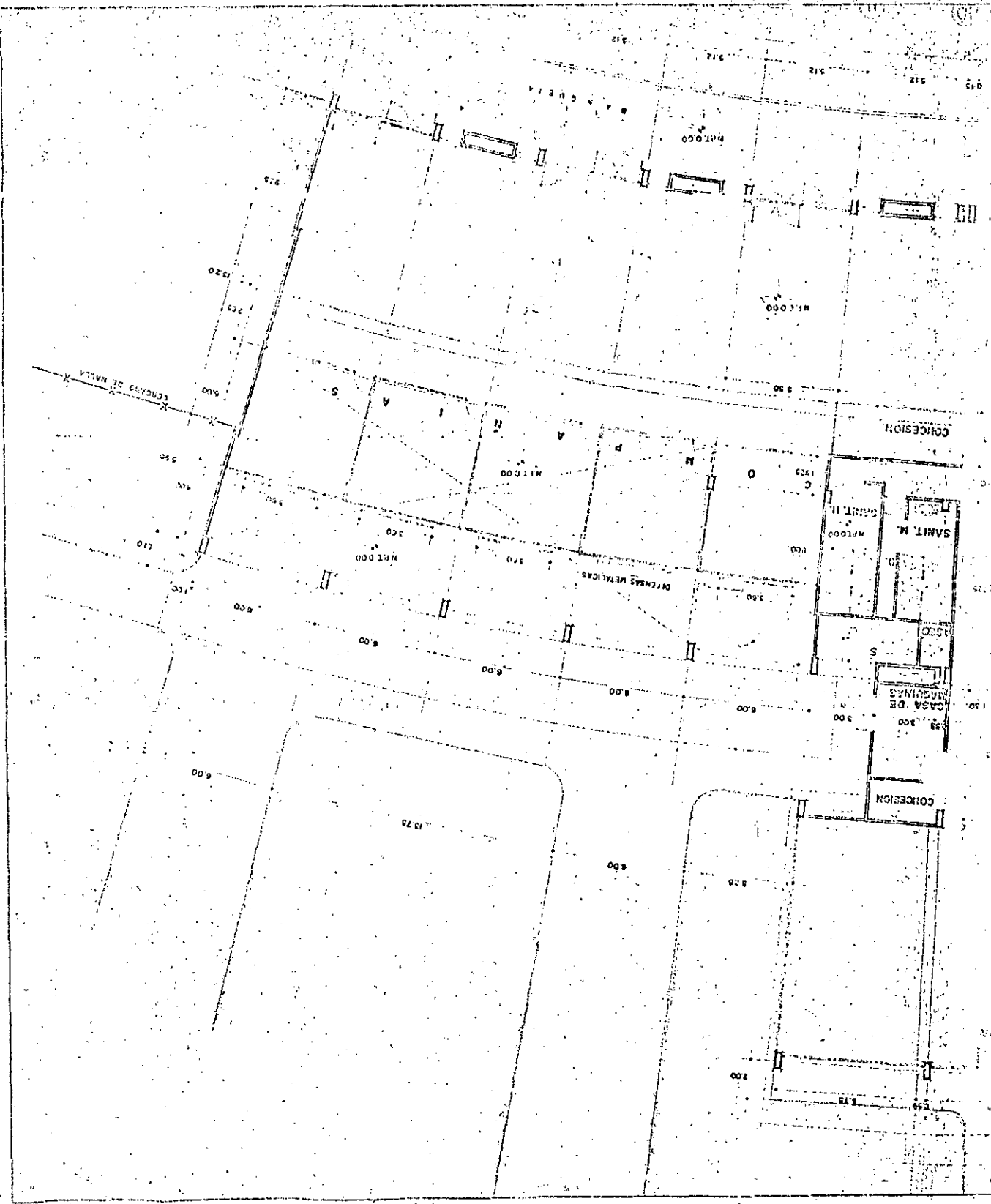


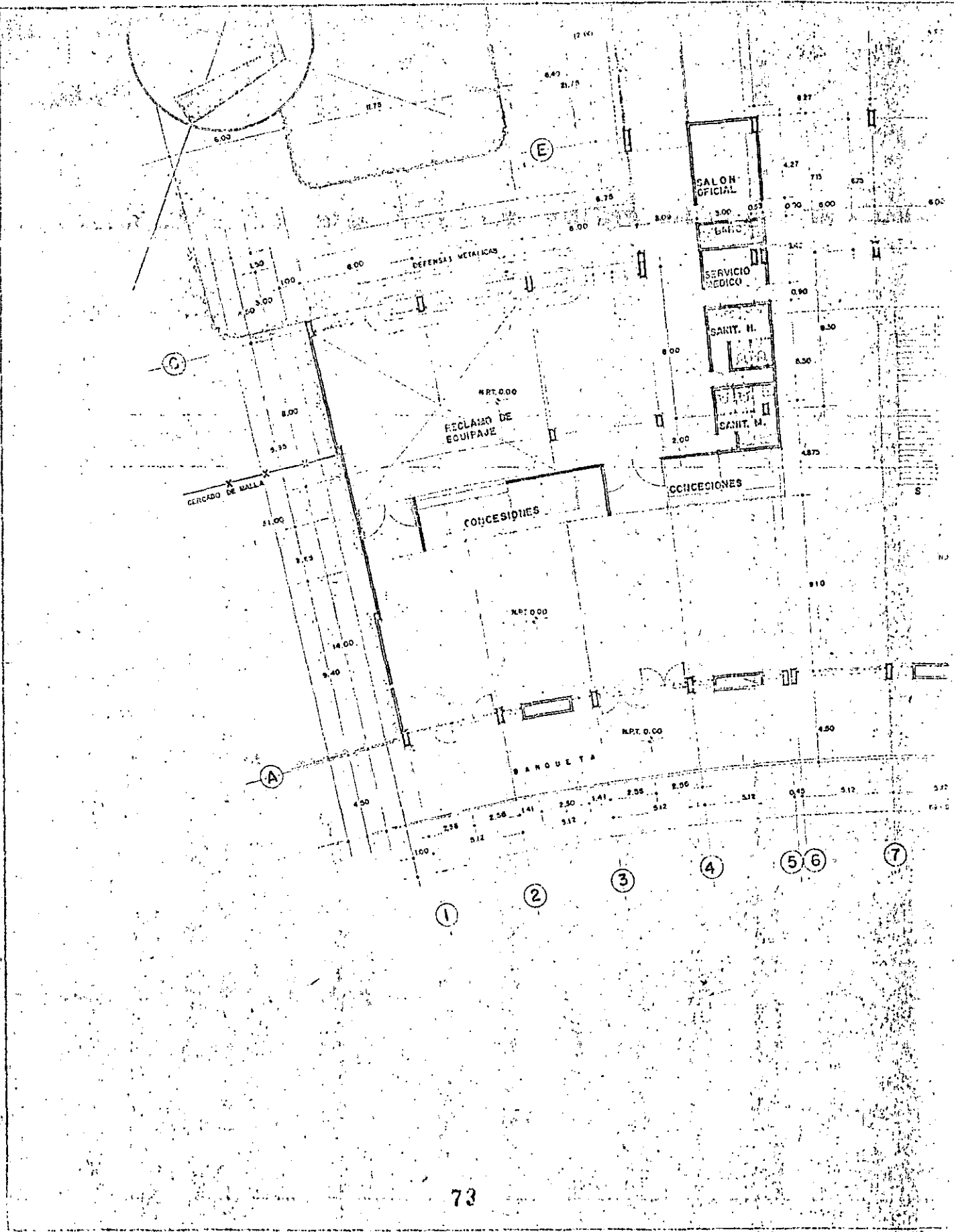
PROYECTO: DISEÑO DE PROYECTOS ARQ. Y ESTR.		<b>SALOP</b> DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS DEPARTAMENTO DE PROYECTOS OFICINA DE PROYECTOS ARQUITECTONICOS Y ESTRUCTURALES	
DISEÑADO: OFICINA DE PROYECTOS ARQ. Y ESTR.		<b>AEROPUERTO DE OAXACA, OAX.</b> <b>EDIFICIO TERMINAL DE PASAJEROS.</b> <b>PLANTA ALTA</b>	
ARQ. MA. ANTONIO ESTEBAN CODISEÑO:		PRODUCCION: EL OFICINA DE PROYECTOS	
APO. SIMON MONTAÑA		APROBADO: EL DIRECTOR GENERAL	

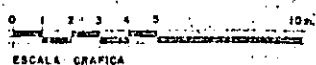
70

7j



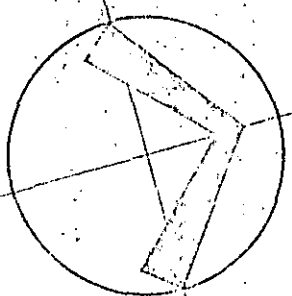




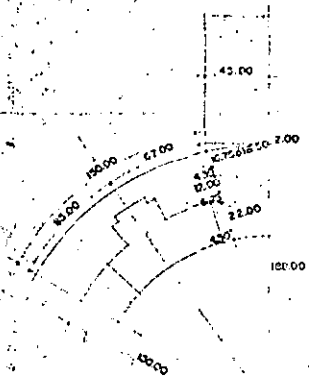


<p>PROYECTO:</p> <p>OPERA DE PROYECTOS ARQ. Y ESTR.</p> <p>DISEÑO:</p> <p>OPERA DE PROYECTOS ARQ. Y ESTR.</p> <p>REV. 00:</p> <p>ELABORADO POR:</p> <p>CHAVEZ</p> <p>APR. 1960</p>			<p>DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS</p> <p>DEPARTAMENTO DE PROYECTOS</p> <p>OFICINA DE PROYECTOS ARQUITECTONICOS Y ESTRUCTURALES</p>
<p>74</p>			<p>AEROPUERTO DE TOLUCA OAX.</p> <p>EDIFICIO TERMINAL DE PASAJEROS</p> <p>PLANTA BAJA</p> <p>ELABORADO POR: EL DISEÑADOR GENERAL</p>

73



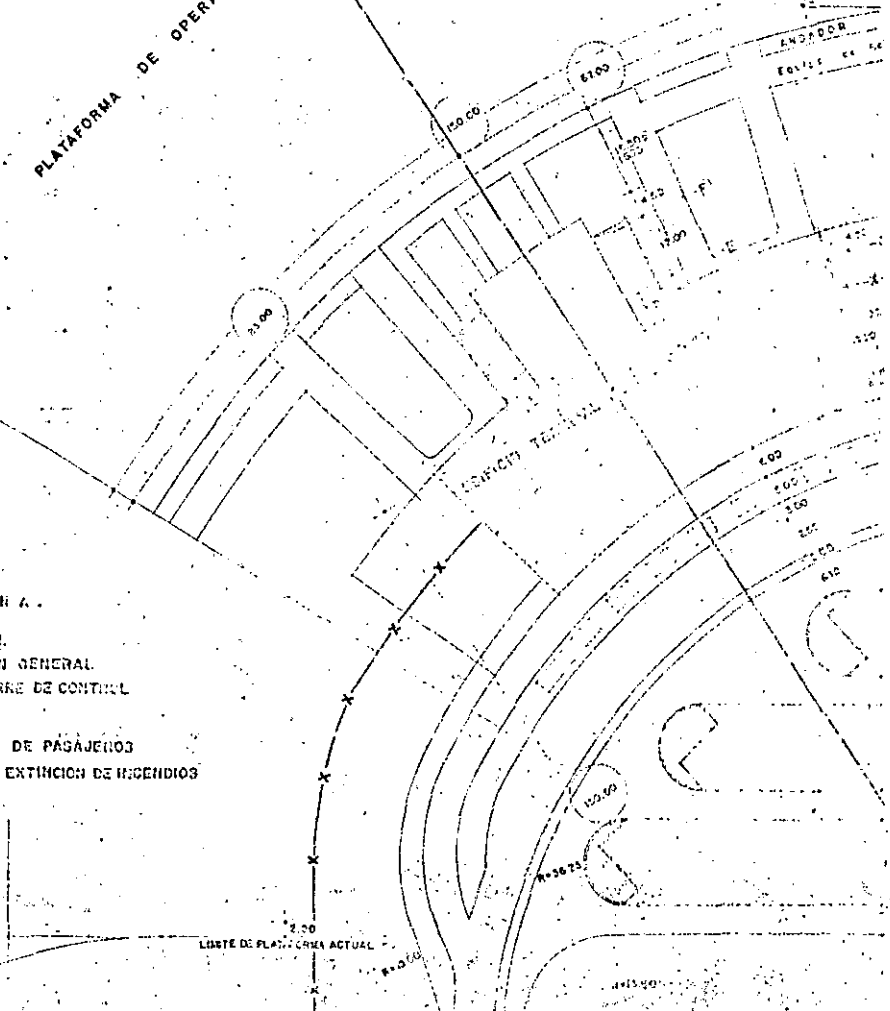
PLATAFORMA DE OPERACIONES  
EJE DE PLATAFORMA



**NOMENCLATURA.**

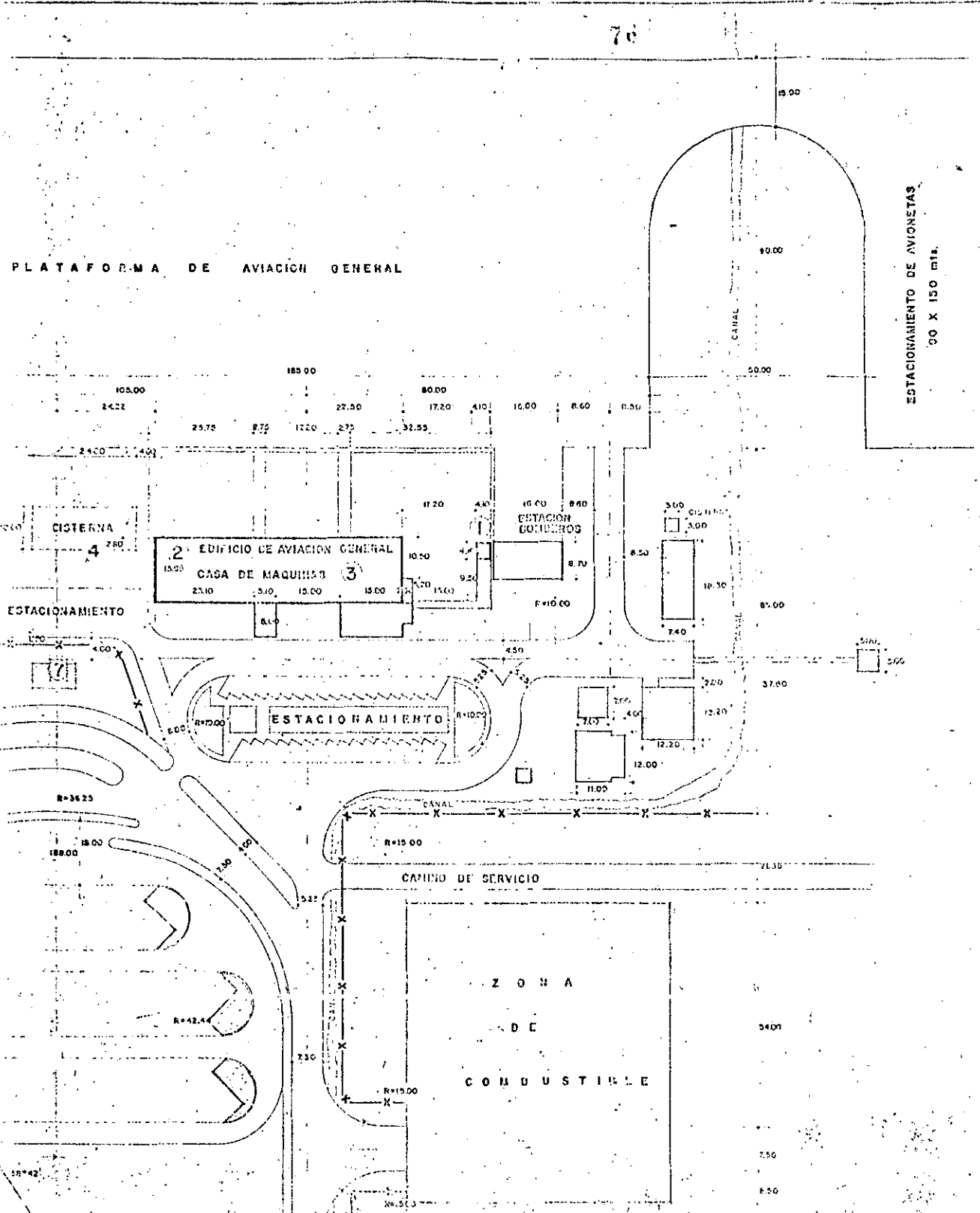
- 1 TORRE DE CONTROL.
- 2 EDIFICIO DE AVIACION GENERAL
- 3 EDIFICIO ANEXO A TORRE DE CONTROL
- 4 CISTERNA
- 5 EDIFICIO TERMINAL DE PASAJEROS
- 6 SERV. DE RESCATE Y EXTINCION DE INCENDIOS
- 7 ASTA BANDERA

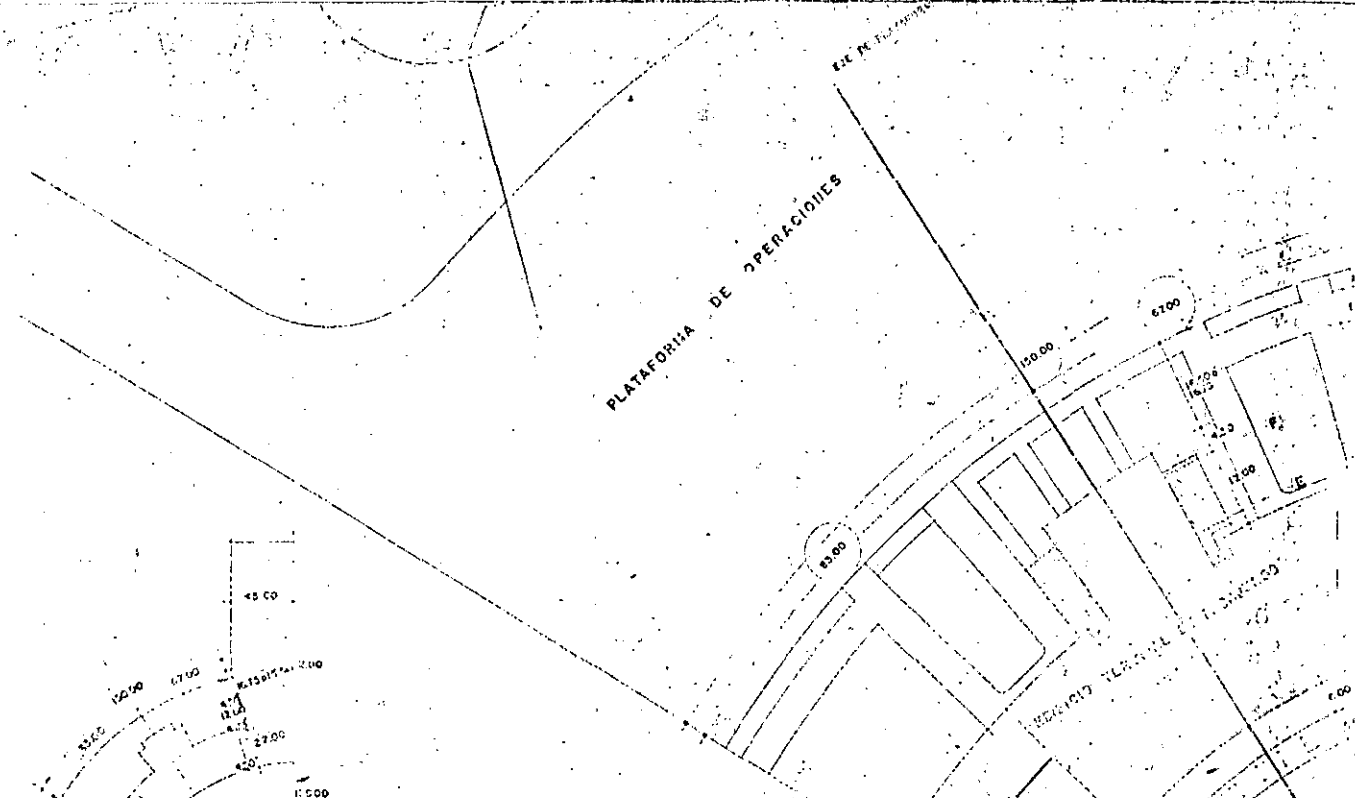
LIBRE DE PLATAFORMA ACTUAL



### PLATAFORMA DE AVIACION GENERAL

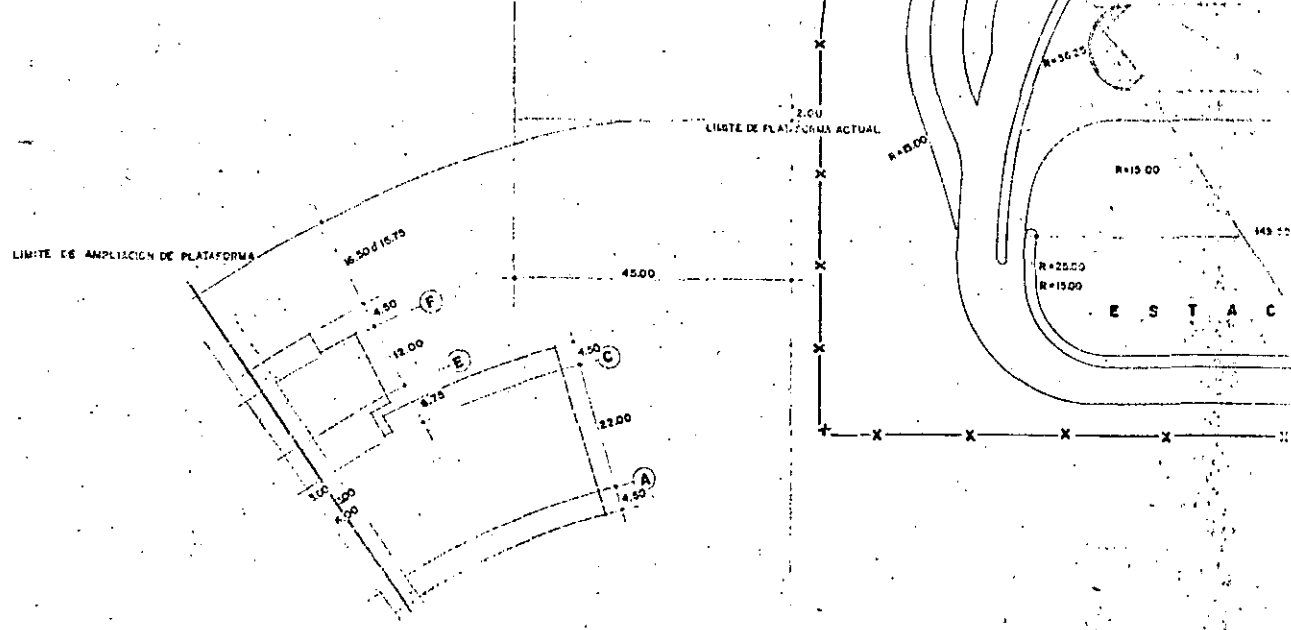
ESTACIONAMIENTO DE AVIONETAS  
90 X 150 mts.





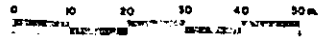
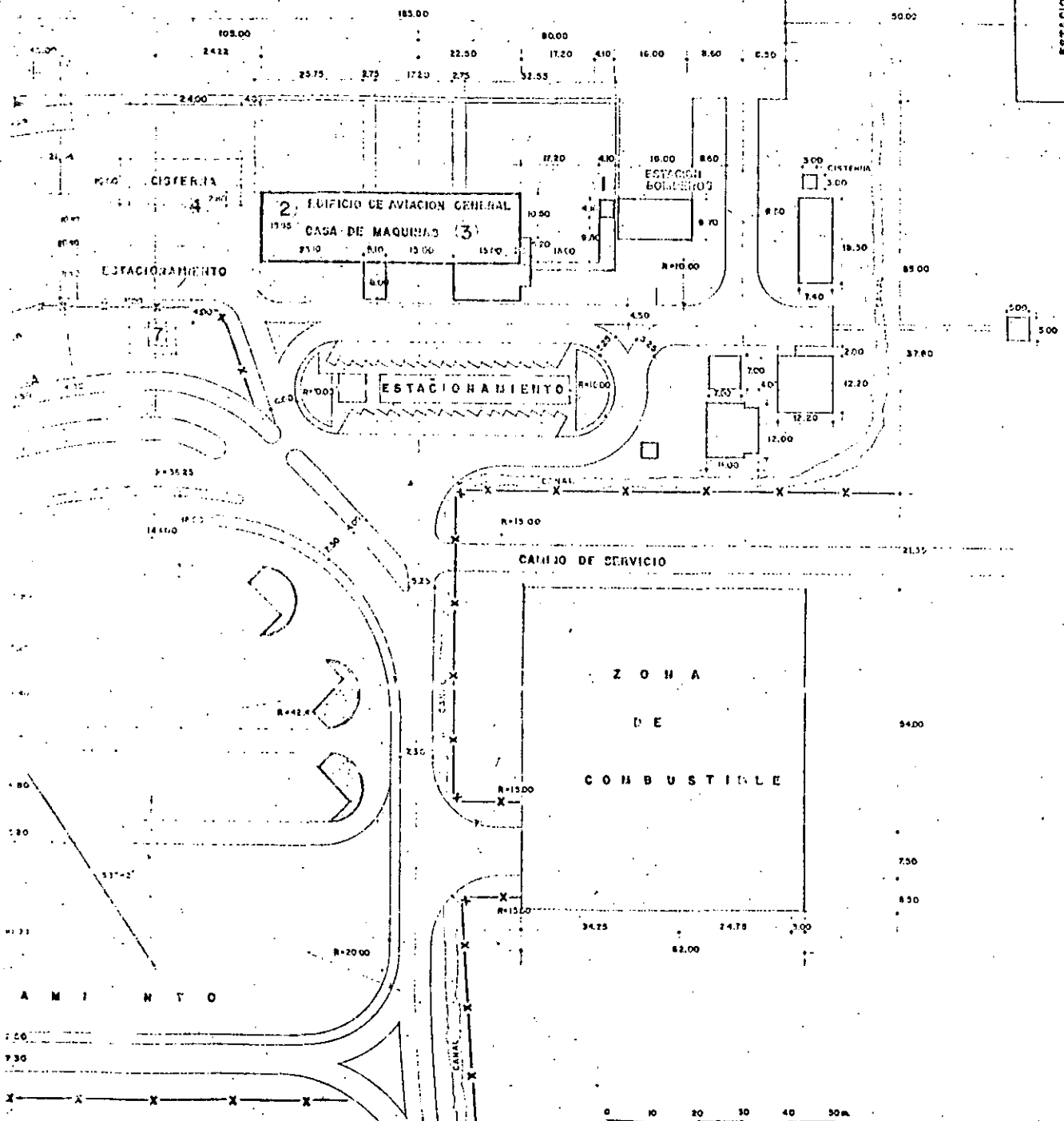
**NOMENCLATURA.**

- 1 TORRE DE CONTROL
- 2 EDIFICIO DE AVIACION GENERAL
- 3 EDIFICIO ANEXO A TORRE DE CONTROL
- 4 CISTERNA
- 5 EDIFICIO TERMINAL DE PASAJEROS
- 6 SERV. DE RESCATE Y EXTINCION DE INCENDIOS
- 7 ASTA BARDERA





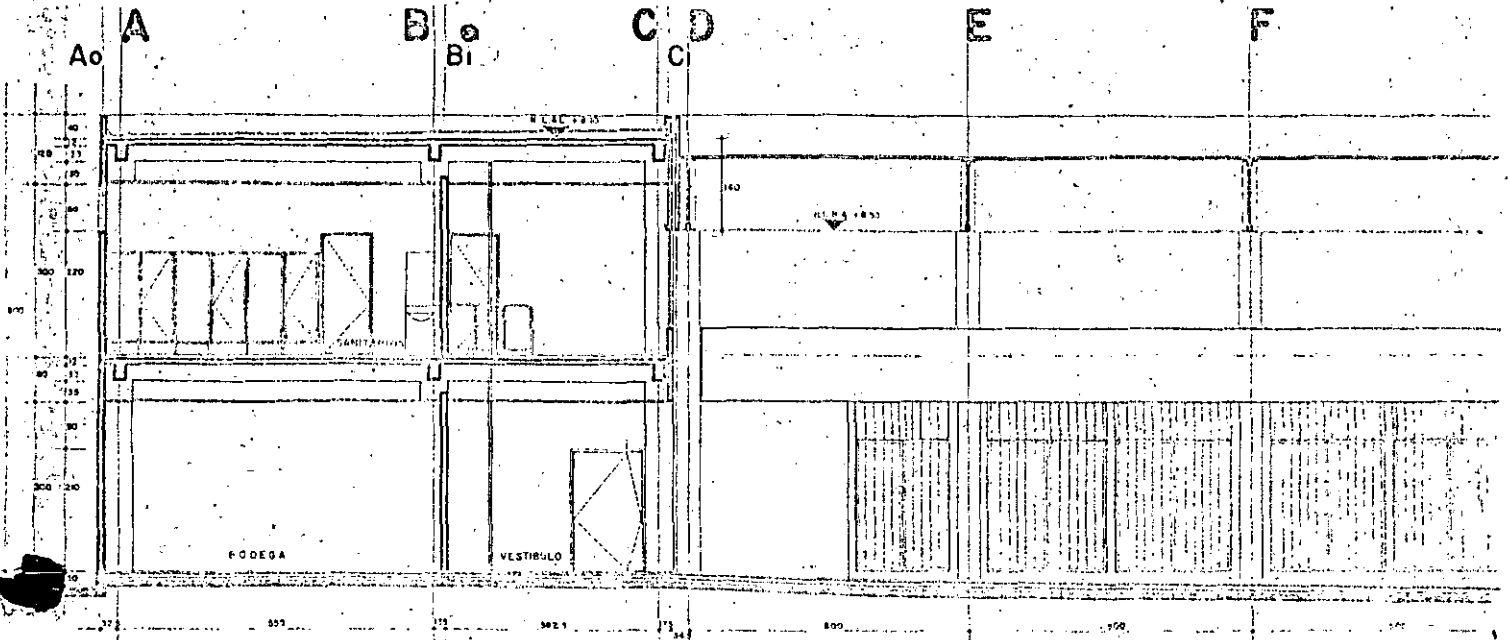
ESTACIONAMIENTO  
20 X 150



ESCALA GRAFICA  
 PROYECTO:  
 OFICINA DE PROYECTOS AREA Y EXTR.  
 SIGUAL  
 OFICINA DE PROYECTOS PASAJEROS  
 AEROPUERTO

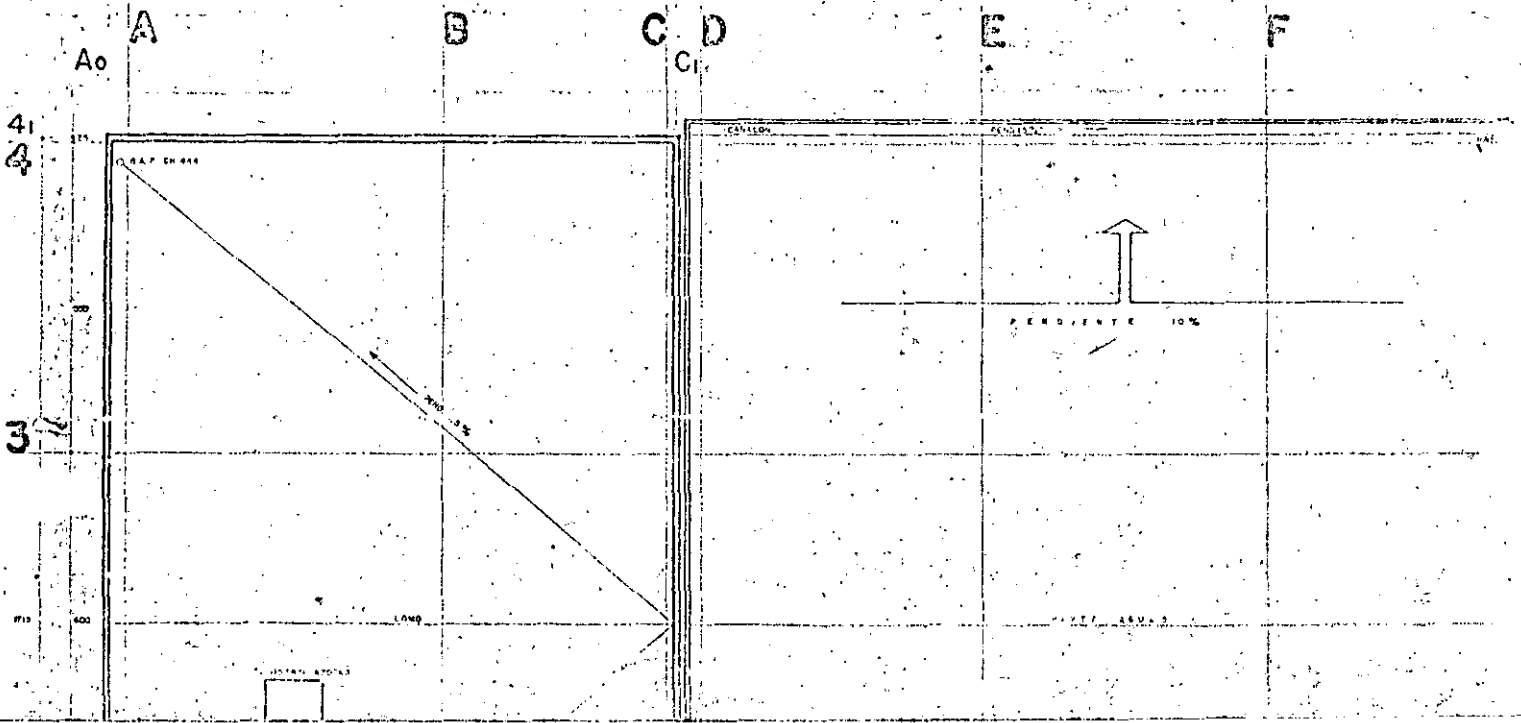
**SALOP** DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
 DEPARTAMENTO DE PROYECTOS  
 OFICINA DE PROYECTOS PASAJEROS Y ESTACIONALES  
**AEROPUERTO DE OAXACA, OAX.**  
**EDIFICIO TERMINAL DE PASAJEROS.**  
**PLANTA DE CONSTRUCCION**

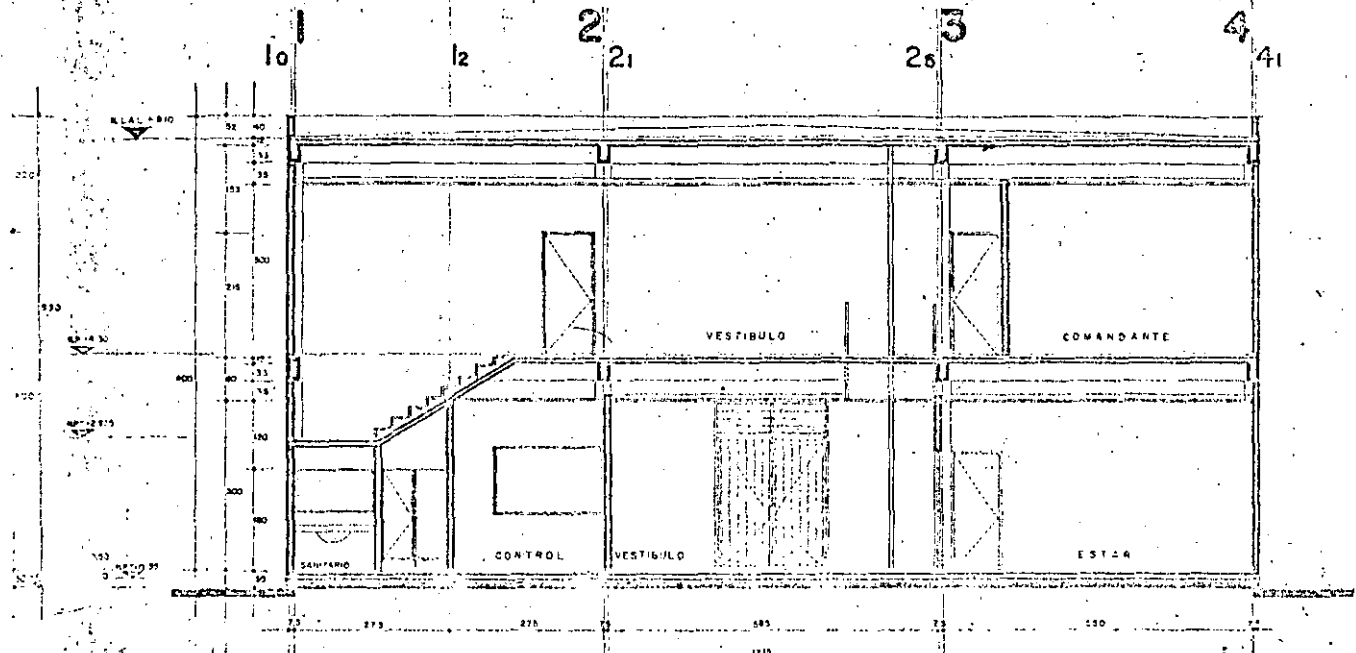
79



CORTE B-D

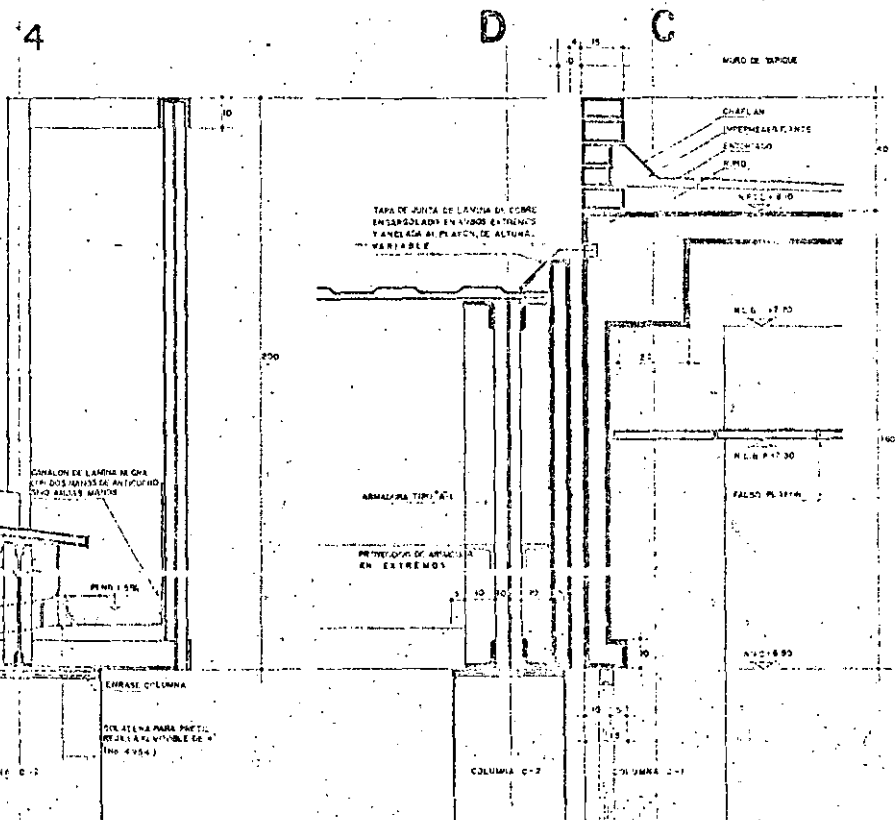
ESCALA 1:50



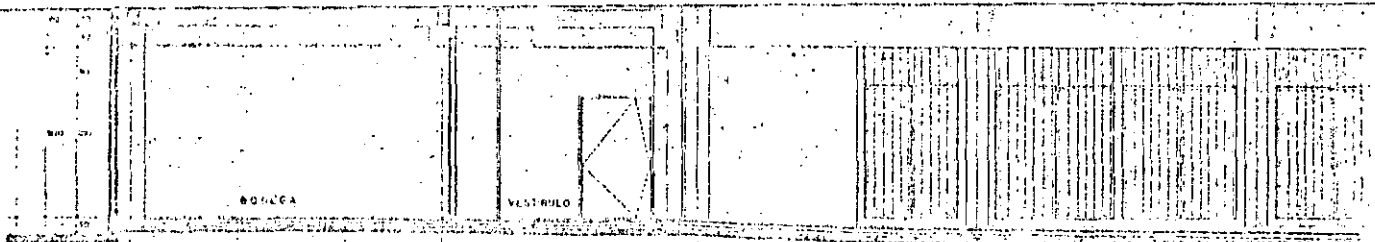


CORTE A-A ESCALA 1/50

PROYECTO:
OFICINA DE PROYECTOS
DEBIDO
ARQ. OSCAR PADILLA P.
REVISO
VS. 80.
EL JEFE DE LA OFICINA

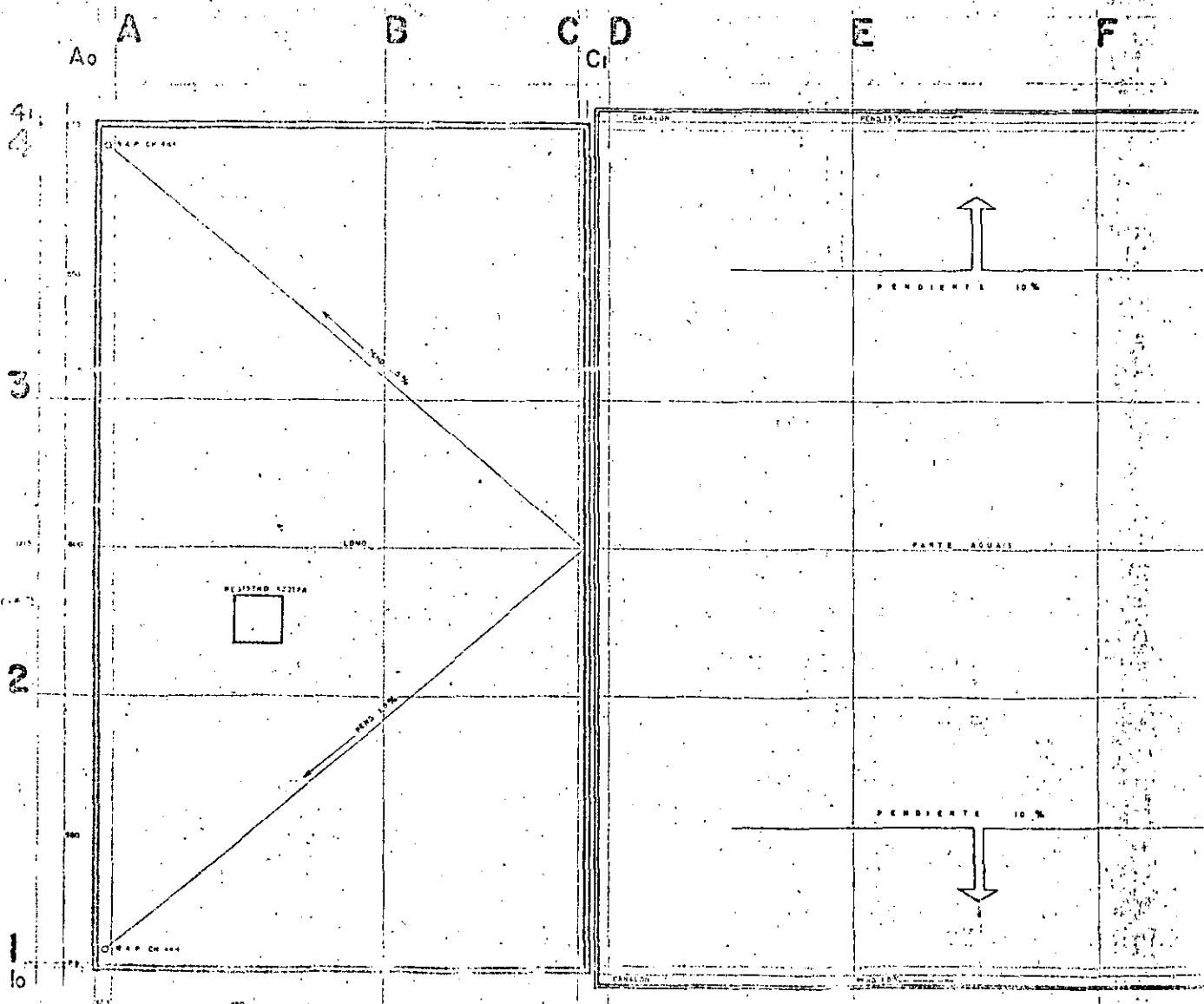


DETALLE DE FALDÓN ESCALA 1/50



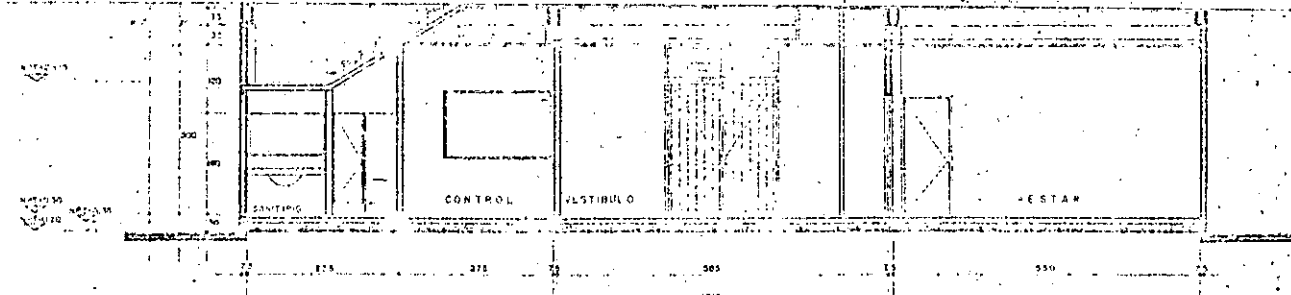
CORTE B-B

ESCALA 1:50



PLANTA DE AZOTEA

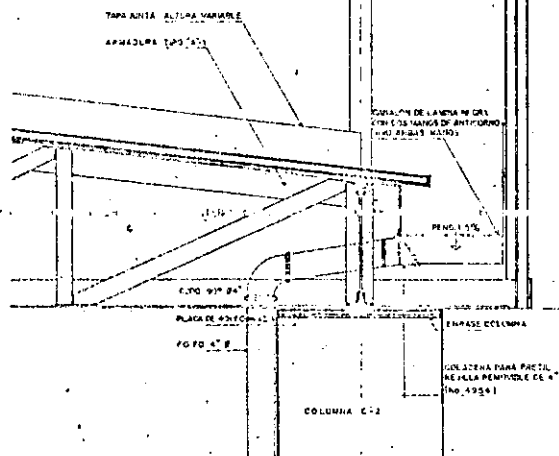
ESCALA 1:50



**CORTE A-A**

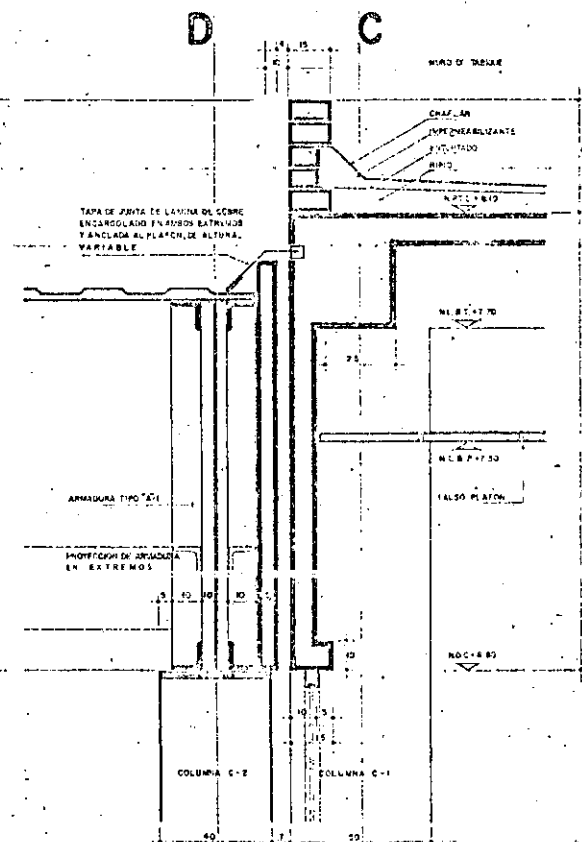
ESCALA 1:50

<b>PROYECTO</b>	
OFICINA DE PROYECTOS	DISEÑO
ARQ. OTACON, ARDILLA Y P.	REVISOR
DR. SO.	
EL JEFE DE LA OFICINA	



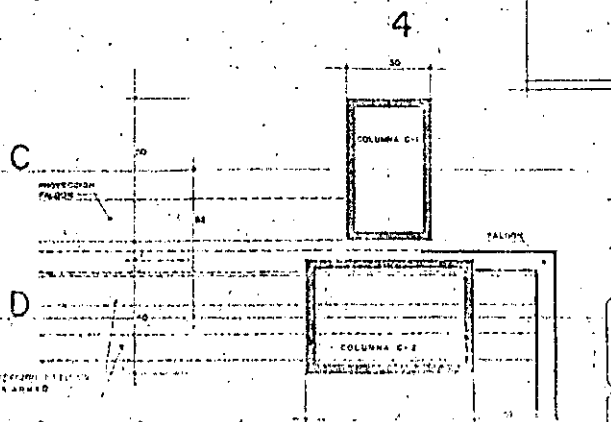
**DETALLE DE FALDON**

ESCALA 1:10



**DETALLE DE JUNTA**

ESCALA 1:10



**PLANTA DE DETALLES**

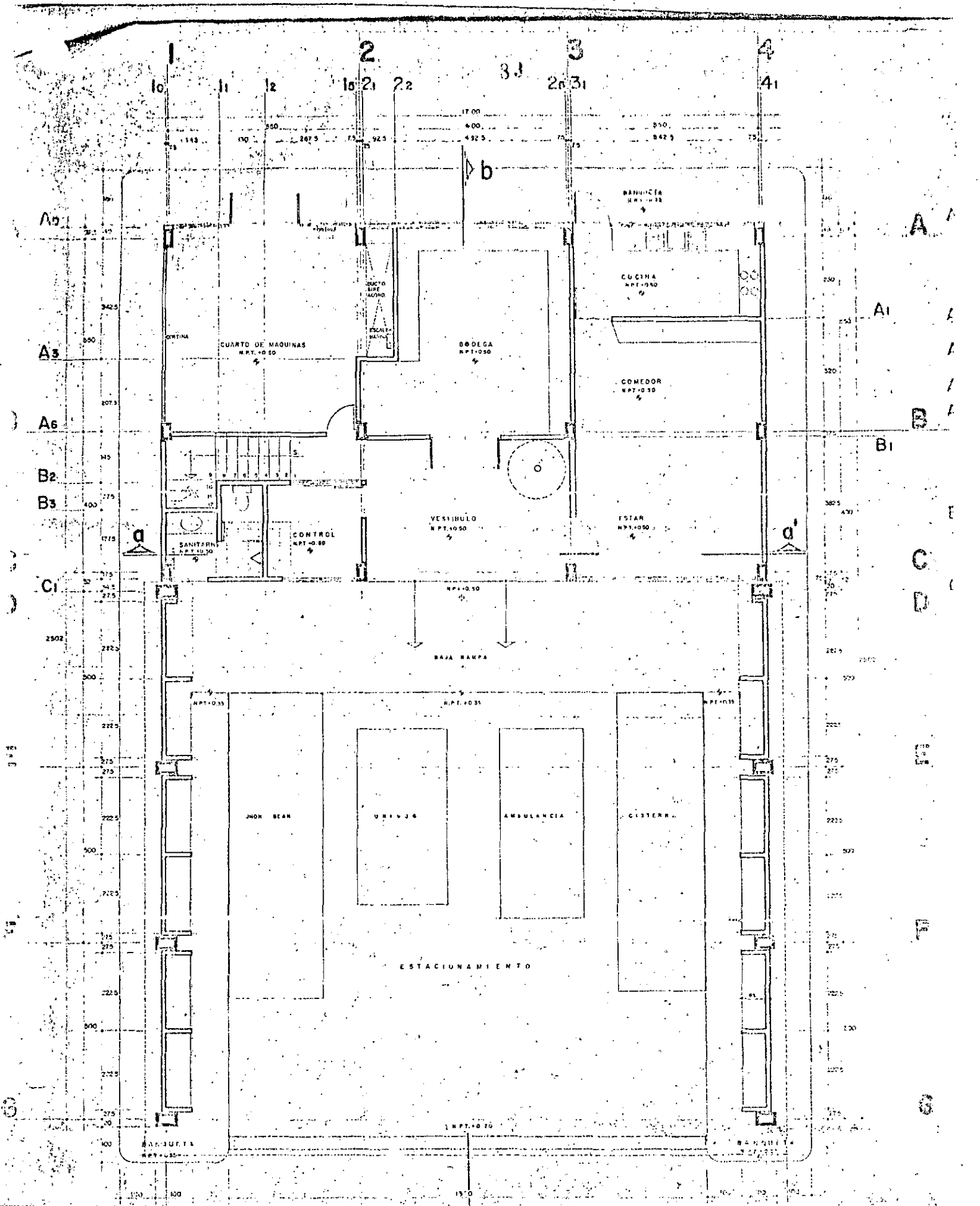
ESCALA 1:10

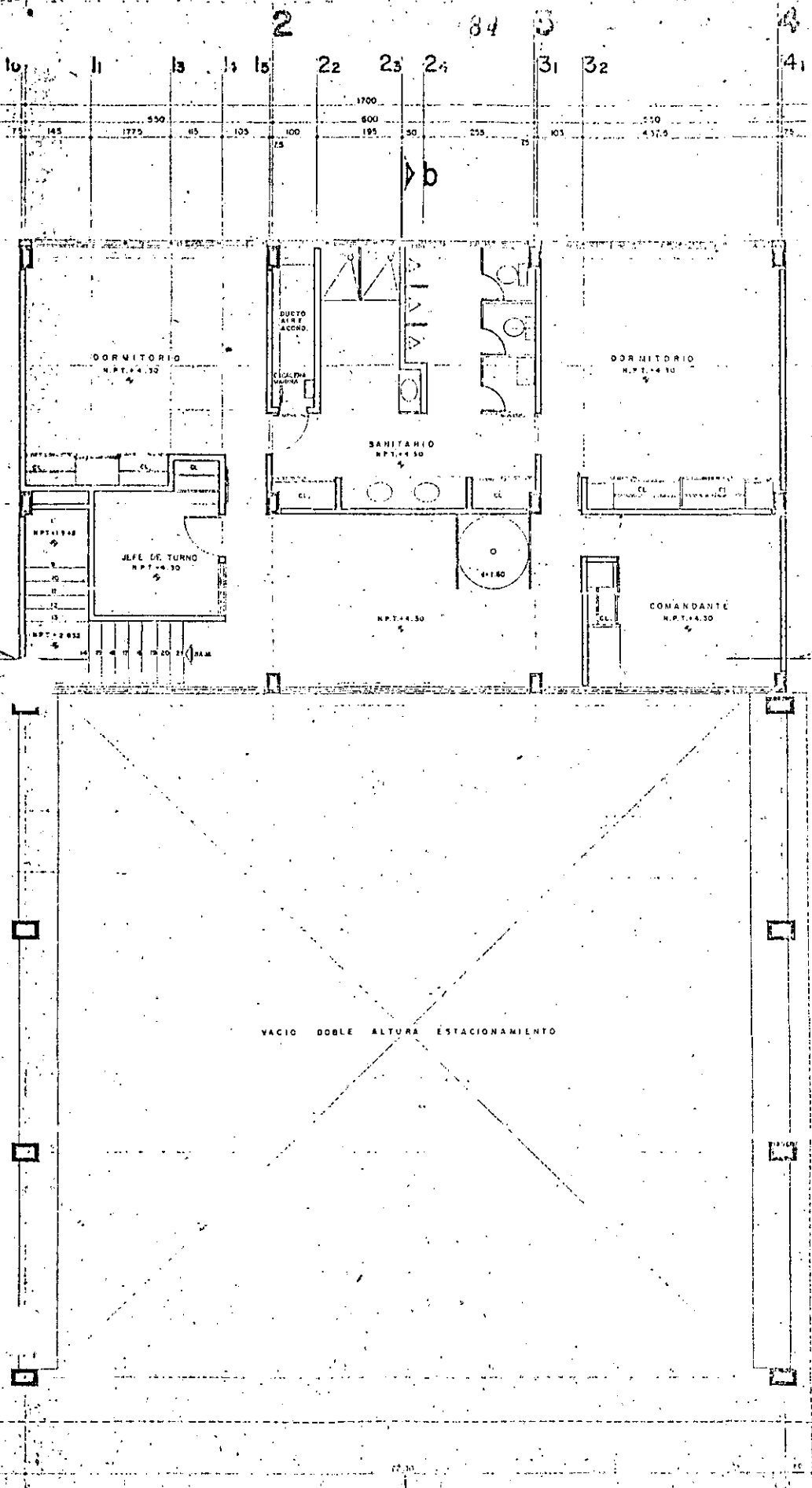
- NOMENCLATURA**
- 1 TOPAZ DE COBRE
  - 2 ANEJO ORIGINAL
  - 3 ANEJO A MAQUINAR
  - 4 ESPACIO TERMINAL
  - 5 ERAS

ESTACIONAMIENTO CROQUIS DE LOCALIZACION

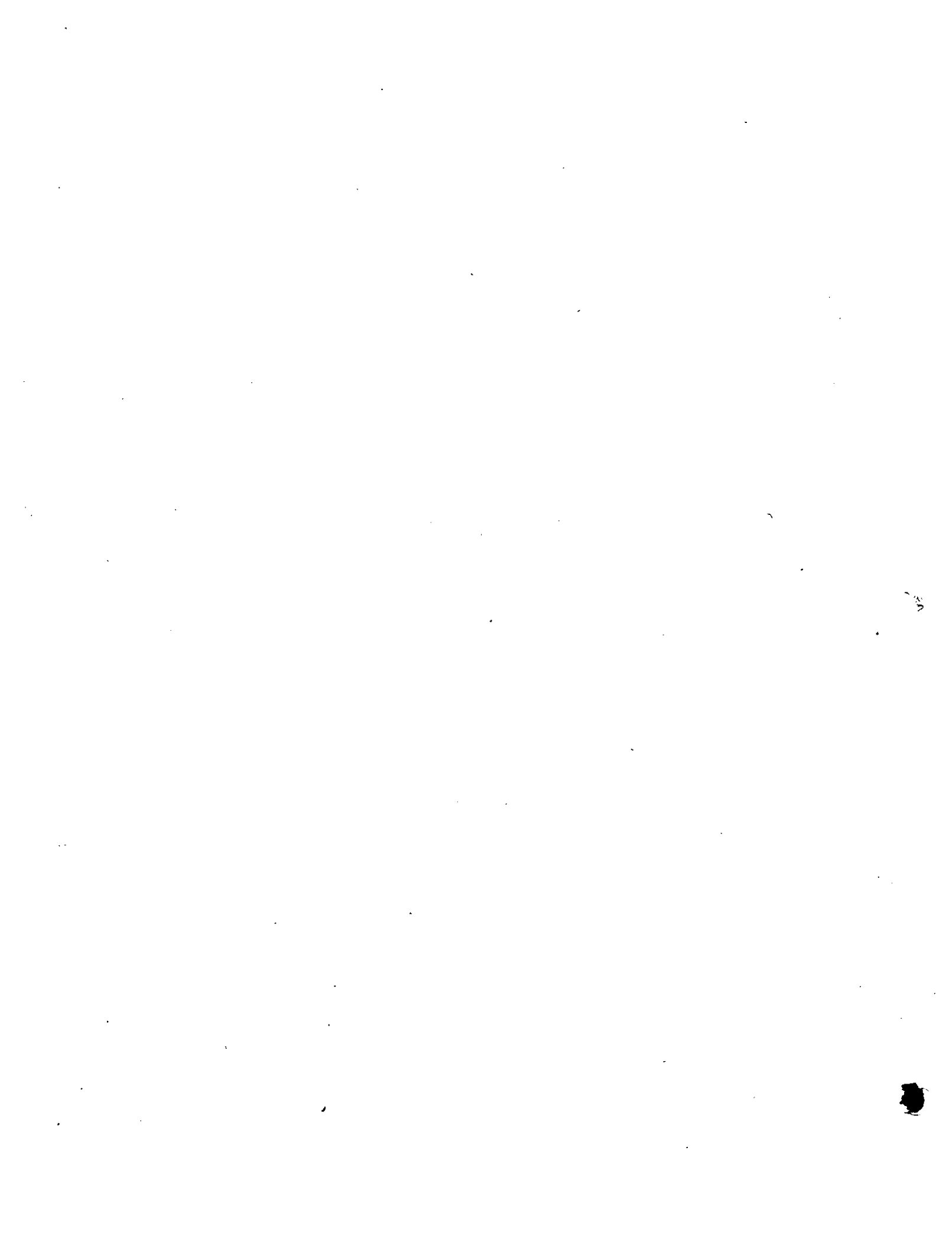
PRIMUS EL JEFE DEL DEPARTAMENTO  
**82**  
ARQ. ALVARO HERNANDEZ CANADA  
VIA DE LA SUBDIRECCION DE PROYECTOS  
EL JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PROYECTOS  
EL JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PROYECTOS

**SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA**  
**DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS**  
**DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION**  
**DEPARTAMENTO DE PROYECTOS**  
**ESTACIONAMIENTO DE PROYECTOS**  
**AEROPUERTO DEL MARQUELE, MICHUACAN**  
**EDIFICIO DE SERVICIO DE RESCATE**  
**CORTE A-A PLANTA DE AZOTEA Y DETALLES**



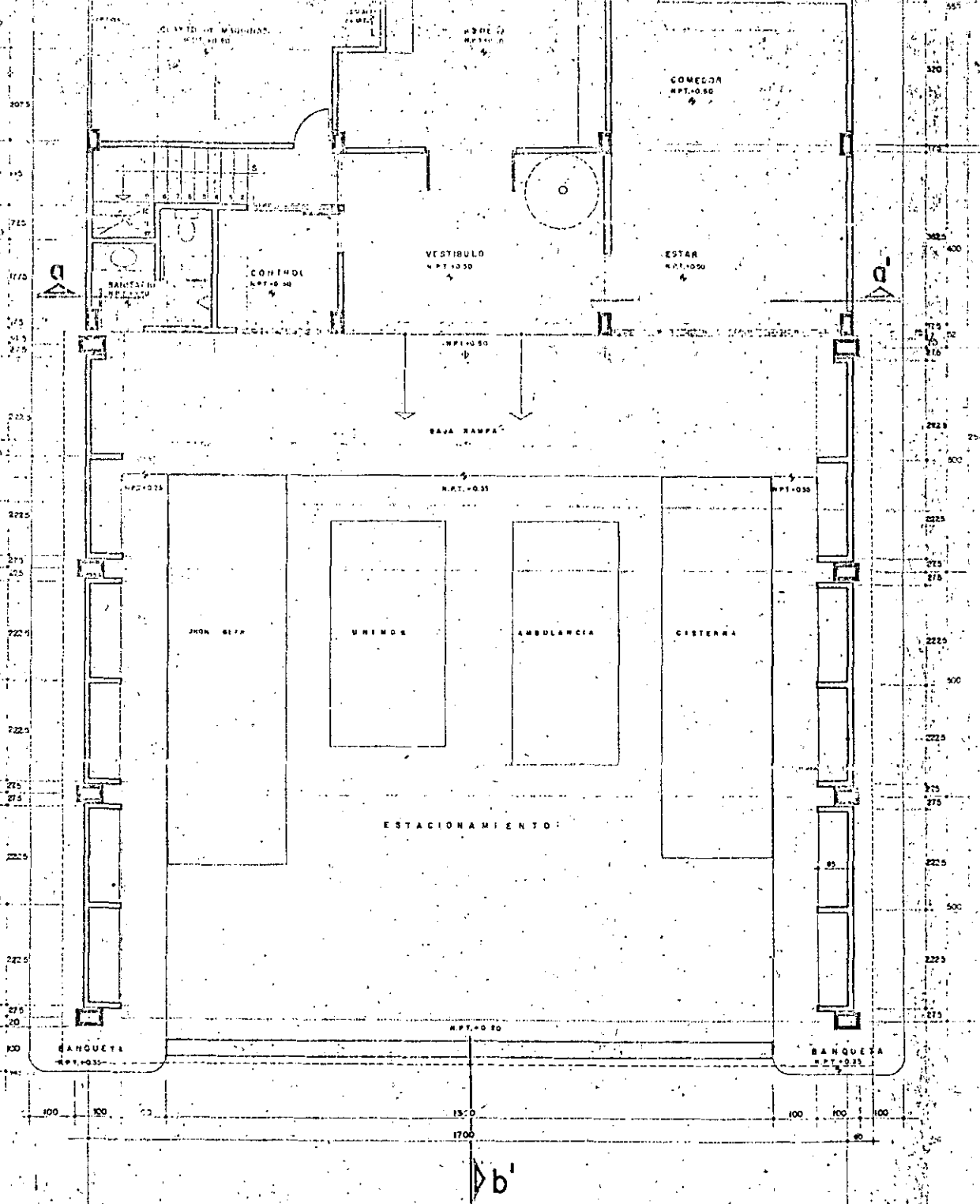


A<sub>0</sub> A  
 B  
 B<sub>1</sub>  
 C  
 D  
 E  
 F  
 G





A5  
A6  
B2  
B3  
C1  
C  
D  
E  
F  
G

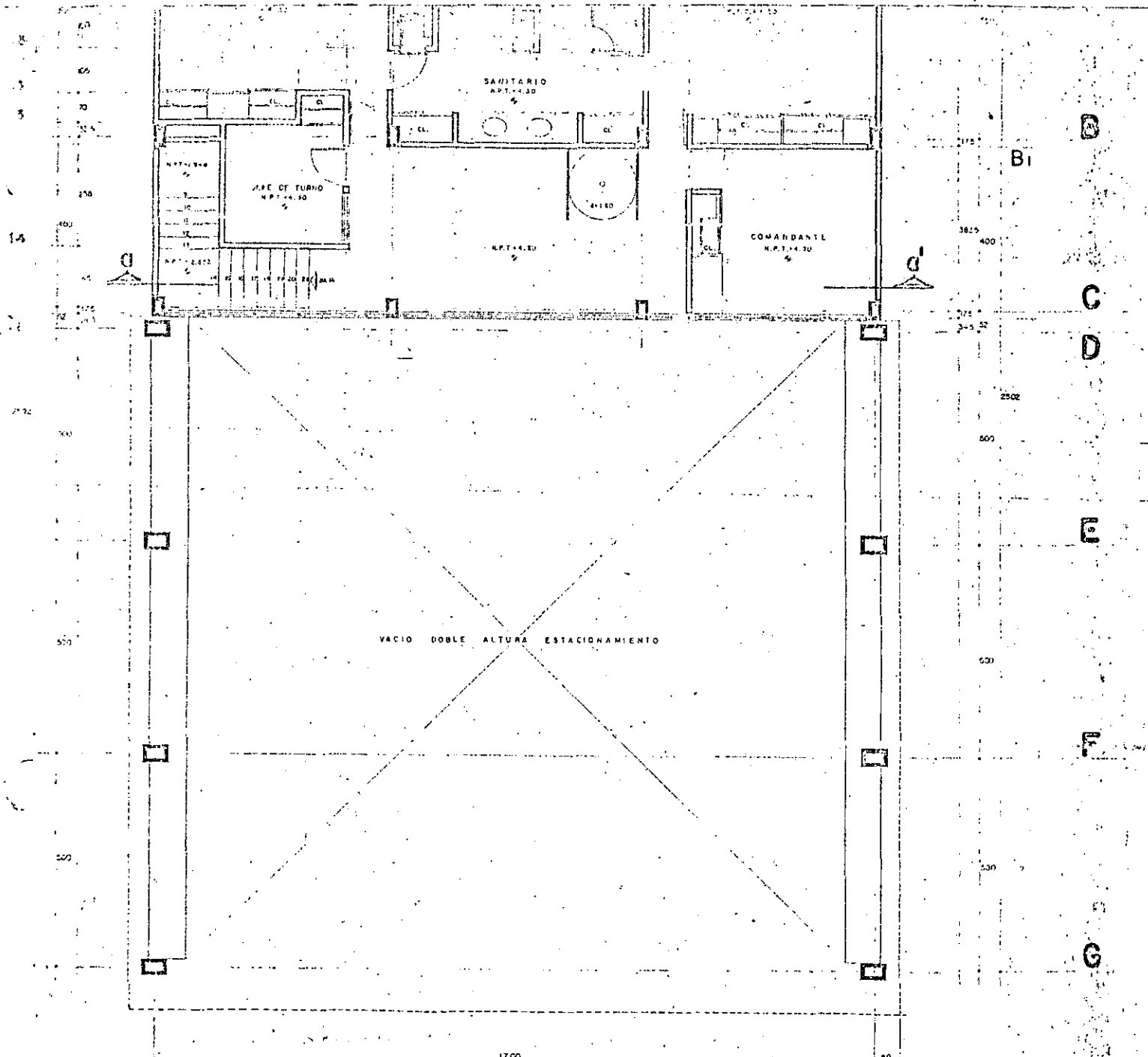


PLANTA BAJA

83

ESCALA 1:50

PROYECTO:	
ORIGEN DE PLANOS	
DIAGRAMA	
FECHA	
PROYECTISTA	
PROYECTO	
PROYECTISTA	
PROYECTO	

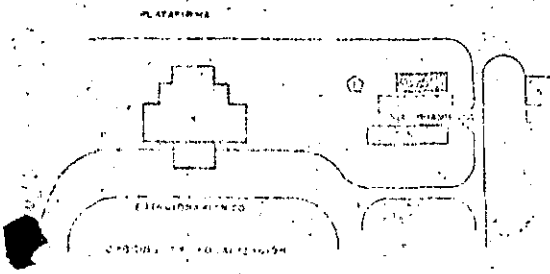


**PLANTA ALTA**

ESCALA 1:50

86

b'



- NOMENCLATURA**
- 1. TORRE DE CONTROL
  - 2. AREA DE SERVICIO
  - 3. AREA DE MANTENIMIENTO
  - 4. EDIFICIO TERMINAL
  - 5. CENSO

PROPUESTO EL JEFE DEL DEPARTAMENTO  
 ING. ALBERTO HERNANDEZ CABAYAS  
 DIRECTOR GENERAL DE AEROPUERTOS  
 SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA

ING. MIGUEL HERNANDEZ ROSALES  
 ASISTENTE DEL DIRECTOR GENERAL DE AEROPUERTOS

ING. LUIS A. MARTIN CHEVET  
 ASISTENTE DEL DIRECTOR GENERAL DE AEROPUERTOS

SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA  
 DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
 DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
 SUBDIRECCION DE PROYECTOS  
 DEPARTAMENTO DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA

AEROPUERTO DE MORELIA, MICHOACAN  
 EDIFICIO DE SERVICIO DE RESCATE  
 Y EXTINGUICION DE INCENDIOS  
 PLANTAS DE AGUA Y VALENTA

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO "PROYECTO DE AEROPUERTOS". IMPARTIDO EN ESTA DIVISION DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE MAYO DE 1985.

1. ALVAREZ RAMIREZ E. GALDINO  
DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
CALCULISTA  
CHIAPAS 121  
COL. ROMA  
TEL:
2. ALVARADO ROSAS RENE DAVID.  
INGENIERO DE OPERACIONES.  
AEROMEXICO  
BOULEVARD AEROPUERTO No. 375  
COL. MOCTEZUMA.  
C.P. 0600  
TEL: 5 71 71 97
3. ANGELES GALICIA LUIS EDGAR  
ANALISTA DE PRECIOS UNITARIOS  
DIRECCION GENERAL DE CONTROL TECNICO  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
EUGENIA 197 - 6° PISO  
COL. VERTIZ NARVARTE  
DEL. BENITO JUAREZ  
TEL: 5 79 62 41
4. CARMONA ORTEGA MARTHA  
SERVICIO SOCIAL.  
AEROMEXICO.  
BOULEVARD AEROPUERTO N° 375  
COL. MOCTEZUMA  
TEL: 5 71 71 97
5. CORTES ROMERO JORGE  
JEFE DE LA OFNA. DE CONCESIONES COM.  
AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES.  
AV. 602 N° 161  
COL: ARAGON  
TEL: 7 62 79 44
6. CRESPO FUENTES RAUL  
JEFE DE OFICINA  
EUGENIA 197 PISO 10  
COL. NARVARTE  
DEL. BENITO JUAREZ  
TEL: 5 94 62 50
7. FERNANDEZ VAGIO LUIS ALBERTO  
JEFE DE SECCION DE INGENIERIA CIVIL.  
DIRECCION GENERAL DE AVIACION  
CIVIL DE COSTA RICA.  
SABANA NORTE OFICINAS CENTRALES DEL  
I.C.E. 150 m OESTE.  
TEL: 31 31 84

8. GARCIA TREVINO JOSE  
SUPERVISOR TECNICO  
DIRECCION GENERAL DE CONTROL TECNICO  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
EUGENIA 197 PISO 10  
COL: NARVARTE  
DEL. BENITO JUAREZ  
TEL: 5 90 42 90
9. HERNANDEZ DIAZ JUAN CARLOS  
JEFE DE PROYECTO  
INGENIERIA Y PROCESAMIENTO ELECTRONICO S.A.  
SAN LORENZO 153. 5° PISO  
COL. DEL VALLE  
TEL:
10. HERNANDEZ GARCIA OTONIEL FERNANDO  
ASISTENTE DE INGENIERIA  
DIRECCION GENERAL DE AERONAUTICA CIVIL.  
AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA Z 13  
GUATEMALA C.A.  
TEL:
11. JIMENEZ AVILA JORGE  
INGENIERO ESPECIALIZADO.  
DIRECCION GENERAL DE AERONAUTICA CIVIL.  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.  
AV. UNIVERSIDAD N° 170 4° PISO  
COL: NARVARTE.  
DEL. BENITO JUAREZ  
C.P. 03028  
TEL: 5 30 60 21
12. LOZA GUERRERO DARIO ALEJANDRO.  
PROFESOR. ASIGNATURA "A".  
COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
PLANTEL NAUCALPAN. UNAM.  
AV. DE LOS REMEDIOS  
NAUCALPAN, EDO. DE MEXICO.  
TEL:
13. MARTINEZ SANDOVAL FERNANDO.  
JEFE DE LA SECCION DE PROYECTOS  
AERONAVES DE MEXICO S.A.  
RIO LERMA N° 256-6°  
COL: CUAUHTEMOC.  
TEL: 2 86 22 44 EXT 412-387  
5114-315
14. MENDOZA MAYORAL FRANCISCO  
AYUDANTE TECNICO B  
AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES  
AV. 602 N° 161  
COL. SAN JUAN DE ARAGON  
DEL: VENUSTIANO CARRANZA  
TEL: 7 62 79 44 EXT. 121

15. MORENO GONZALEZ CARLOS.  
JEFE DE LA OFNA. DE PROYECTOS.  
AEROPUERTOS Y SERVICIOS AUXILIARES  
AV. 602. N° 161  
COL: SAN JUAN DE ARAGON  
TEL: 7 62 79 44
16. PEREZ ABREU CARRION LUIS F.  
JEFE DE OFNA. DE PROGRAMAS E INVERSIONES.  
DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.  
CHIAPAS 121. 4° PISO.  
COL. ROMA  
TEL: 5 74 83 10.
17. RANGEL SANCHEZ MA. ISAURA.  
JEFE DE PROYECTO  
DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
CHIAPAS 121. 4° PISO.  
COL. ROMA.  
TEL: 5 74 82 99
18. REYES AGUIRRE JOSE ANTONIO.  
INGENIERO.  
DIRECCION GENERAL DE AERONAUTICA CIVIL.  
AV. UNIVERSIDAD N°. 70  
COL. NARVARTE.  
DEL. BENITO JUAREZ  
TEL:
19. RIOS SOLORZANO FCO. JAVIER  
TECNICO ESPECIALIZADO.  
DIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURA BASICA  
SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO.  
REFORMA 350  
COL. BENITO JUAREZ  
DEL. CUAHUTEMOC  
TEL: 2 86 10 00 EXT. 3202-03
20. ROMERO VIVEROS JOSE LUIS.  
PASANTE DE INGENIERIA AERONAUTICA.  
COMPANIA MEXICANA DE AVIACION  
ORIENTE 174 N° 427.  
COL. MOCTEZUMA. 2a. SECCION  
DEL. VENUSTIANO CARRANZA.  
TEL: 5 71 55 33.
21. RODRIGUEZ GOMEZ JOSE DOLORES  
JEFE DE SECCION  
DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS.  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.  
CHIAPAS 121. 4° PISO.  
COL. ROMA  
DEL. CUAHUTEMOC  
TEL: 5 74 09 23

1951 7 24 10 11 AM  
RECEIVED  
DEPARTMENT OF STATE  
COMMUNICATIONS SECTION  
WASHINGTON, D. C.

SECRET  
RECEIVED  
DEPARTMENT OF STATE  
COMMUNICATIONS SECTION  
WASHINGTON, D. C.

22. RODRIGUEZ VELASCO JESUS.  
INGENIERO  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.  
XOLA Y UNIVERSIDAD CENTRO SCOP  
TEL: 5 30 75 08

23. ZAPATA THOMAS DIOGENES ANDRES.  
ASISTENTE PLANTA FISICA-INGENIERIA  
DEPARTAMENTO AEROPORTUARIO  
PLAZA DE LA INDEPENDENCIA 27 DE FEBRERO  
SANTO DOMINGO, REPUBLICA DOMINICANA  
TEL: 5 33 61 71







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

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE  
MAYO.  
MEXICO, D. F.

LA METEOROLOGIA APLICADA AL PROYECTO, PLANEACION  
Y CONSTRUCCION DE AEROPUERTOS.

NET. J. CLEMENTE ARCIGA MARROQUIN.

LA METEOROLOGIA APLICADA AL PROYECTO, PLANEACION Y  
CONSTRUCCION DE AEROPUERTOS.

APUNTES DE METEOROLOGIA

I.- INTRODUCCION

- 1.- La meteorología a nivel popular
- 2.- Los usos de la meteorología en la vida cotidiana
- 3.- La importancia de la meteorología en las actividades aeronáuticas
- 4.- Servicios meteorológicos en aeropuertos
- 5.- La otra meteorología aeronáutica

II. PERO ANTES DE ENTRAR EN MATERIA

- 1.- Definición de meteorología y meteoros
- 2.- Definición y descripción de la atmósfera
- 3.- La tropósfera
- 4.- Circulación general
- 5.- Ciclones y anticiclones
- 6.- Las masas de aire, su movimiento y características
- 7.- El enfrentamiento de dos masas de aire
- 8.- Las alteraciones a escala local
- 9.- Aquí llueve, allí no llueve

III. ESTUDIOS METEOROLOGICOS PARA EL PROYECTO DE AEROPUERTOS

- 1.- Porqué se requiere la instalación de estaciones?
- 2.- Criterios para la ubicación de estaciones
- 3.- Parámetros que se miden y registran
- 4.- Instrumentos de registro continuo
- 5.- Instrumentos de medida directa
- 6.- Parámetros que se estiman

IV.- PROCESAMIENTO DE INFORMACION

- 1.- Temperatura y temperatura de referencia
- 2.- Humedad relativa
- 3.- Precipitación pluvial
- 4.- Viento

V.- EVALUACIONES SENSORIALES

- 1.- Techo
- 2.- Visibilidad
- 3.- Nubes
- 4.- Fenómenos que obstruyen la visión
- 5.- Mínimos meteorológicos
- 6.- Instrucción de operadores

VI.- CALCULO DE ROSAS DE VIENTO

- 1.- Integración de datos
- 2.- Obtención de porcentajes
- 3.- Cálculo
- 4.- Conclusiones
- 5.- Recomendaciones para el cálculo de la FAA
- 6.- Obtención de constantes
- 7.- 95% coeficiente de utilización de las pistas
- 8.- Utilización de la información
- 9.- Utilización potencial

EXPOSITOR: MET. J. CLEMENTE ARCIGA MARROQUIN

APUNTES  
DE  
METEOROLOGIA

## BREVES DATOS HISTORICOS DEL DESARROLLO DE LAS CIENCIAS ATMOSFERICAS.

Muchas personas consideran que un meteorólogo es un pronosticador o previsor del tiempo, pero esta actividad, aunque es de las más conocidas por su influencia en aspectos cotidianos de la vida es solo una de las muchas aplicaciones de la meteorología.

Va alrededor del Siglo V a.C. se registraban informes sobre vientos y se daban a conocer públicamente para beneficio de los navegantes.

Aproximadamente 300 a.C. el naturalista griego Teofrasto escribió un libro que fue básico durante los siguientes 2000 años, para el pronóstico del tiempo.

Sin embargo es el astrónomo Urbano Leverrier quien primeramente organizó un servicio meteorológico a mediados del Siglo XIX.

Cuando Galileo Galilei inventó el termómetro en el Siglo XVIII, inició una nueva etapa en la observación y medición meteorológica ya que a los pocos años su alumno Evangelista Torricelli inventó un aparato para medir la presión atmosférica al que se dió el nombre de barómetro.

Aproximadamente en 1850, los científicos se dieron cuenta que los fenómenos atmosféricos evolucionan a medida que se desplazan sobre la faz de la tierra, pero este conocimiento no tuvo mayor aplicación sino hasta que llegó el telégrafo.

Así la meteorología apenas en su despertar teórico, todavía lejos de disponer de técnicas adecuadas, era utilizada para la prestación de un servicio público de fuerte demanda. Entre el período comprendido de 1860 a 1890, se establecieron servicios meteorológicos regulares en muchos países. Sus actividades se enfocaban preponderantemente a la satisfacción de necesi-

secundario.

Durante el resto del Siglo XIX y hasta muy avanzado el siglo actual, el conocimiento específico de los fenómenos atmosféricos era muy vago. Sin embargo, la experiencia práctica, aunque desordenada, que lograron acumular -- los estudiosos de la atmósfera, por un lado y una serie de teorías no comprobadas, por otro, se vieron amalgamadas gracias a los avances tecnológicos recientes.

#### ALGUNAS APLICACIONES DE LA METEOROLOGIA

Sería difícil encontrar una actividad humana que no necesite el concurso de la meteorología. El meteorólogo recibe innumerables peticiones acerca de las más diversas características del tiempo atmosférico; pronósticos de lluvias; pronósticos generales de nevadas; de vientos; de estados del mar; de temperaturas; de humedad; de heladas; de niebla; estudios climatológicos; estadísticas de vientos; de temperatura-humedad; de solemiento; de índices de confort, etc.

Esta información tiene muy variadas aplicaciones, en la industria de construcción; empresas cinematográficas; trabajos al aire libre; espectáculos; seguros; publicidad; agricultura; salud humana; exportación; turismo; industria del vestido; deportes; planeación y desarrollo urbano, etc.

Todo lo anterior, independientemente de la difusión periódica de los informes generales a través de la prensa, la radio y la televisión; que cada cual de los millones de usuarios aplica según su criterio y necesidades.

Existen también los pronósticos especiales para la navegación marítima; para la agricultura; conservación de bosques; explotación de los recursos acuáticos; de embalses; lanzamientos de naves espaciales y satélites artificiales, en cuya trayectoria inicial y buen funcionamiento influyen de manera especial, tanto las características del viento como la densidad del aire.

#### METEOROLOGIA AERONAUTICA

No obstante, dentro de las incontables aplicaciones de la meteorología, la aeronáutica es el campo donde mayormente se utiliza esta ciencia, lo que es razonable si se toma en cuenta que es la aviación la que más ha aportado y ayudado al desarrollo de la meteorología. Además, tal vez sea la aeronáutica la actividad que más requiere de las ciencias atmosféricas, porque precisamente en el seno de la atmósfera es donde se desarrollan las actividades aéreas.

Por un lado, la rápida evolución y perfeccionamiento de las máquinas aéreas, y por otro, la creciente demanda de servicios aéreos para una población en constante desarrollo, han incrementado las operaciones aéreas en tal forma, que éstas tienen que realizarse de manera continua durante la mayor parte del tiempo.

La finalidad de la aviación moderna es la de volar siempre que se requiera y para ese efecto la utilización de la meteorología es mucho más compleja que la elaboración de un pronóstico: su papel es eminentemente operacional. Por tal motivo, independientemente de los servicios meteorológicos que se prestan en cada aeropuerto, las grandes compañías aéreas ocupan sus propios meteorólogos.

La información meteorológica utilizada como apoyo específico para las operaciones aéreas, se concentra básicamente en los pronósticos de ruta y en los pronósticos de aeródromo. El pronóstico de ruta describe las variaciones de los parámetros meteorológicos, a lo largo del camino que habrá de recorrer la aeronave para llegar de un punto a otro, su información se refiere a las diversas características de las nubes, precipitaciones, condiciones de engelamiento y turbulencia, vientos y fenómenos atmosféricos que pudieran afectar la trayectoria. Con toda esta información se integra el llamado mapa del tiempo significativo, del cual se entrega una copia a las tripulaciones de los aviones que vayan a volar en la ruta estudiada.

Los pronósticos de aeródromo, preparados básicamente para el aterrizaje, informan la variación prevista de los parámetros meteorológicos a lo largo del tiempo para el aeropuerto de partida; el de destino, y para los aeropuertos alternos que pudieran usarse en caso de emergencia.

La información básica que permite mantener operativo el servicio meteorológico aeronáutico, se recaba en la red de estaciones climatológicas que existen en los aeropuertos, complementando sus datos con los del servicio meteorológico oficial.

#### LA OTRA METEOROLOGIA AERONAUTICA

Mucho antes de que un aeropuerto sea una realidad operante; cuando apenas se tiene considerado el desarrollo de una terminal aérea y se ha llegado a determinar un sitio para su probable y futura construcción, deben llevarse a cabo los estudios que permitan conocer su entorno físico con la anticipación necesaria, para que, cuando llegue el momento de la toma de decisiones, se cuente con los suficientes elementos que permitan el óptimo desarrollo de proyectos y obras.



En el caso específico de los estudios meteorológicos, se requiere cuenten con una densidad de datos lo más amplia que sea posible; por esta razón la evaluación de los parámetros que integran dichos estudios se debe iniciar con varios años de anticipación.

#### A CERCA DE LA ATMOSFERA

Nuestro planeta está rodeado por una gran masa de aire, constituida por diferentes gases que son atraídos hacia la tierra por efecto de la gravedad.

De manera convencional, se establece el límite de la atmósfera a una altura aproximada de 1,000 kilómetros sobre el nivel medio del mar. No obstante, la mayoría de los científicos prefieren considerar que el aire atmosférico, llega hasta confundirse con los gases raros y el polvo del espacio interplanetario. Desde ese punto de vista no existe un límite definido entre la atmósfera y este espacio.

Los componentes de la atmósfera se pueden clasificar en fijos y variables y las proporciones que a continuación se expresan, son válidas hasta una altura de 20 km. como mínimo.

Componentes Fijos: Nitrógeno 78%; Oxígeno 21%; gases raros (Argon, Xenon, Cripton, Radon, etc) 1%.

Componentes Variables: Agua en sus diferentes fases; bióxido de carbono; polvo; humo; bacterias; hongos, etc.

Para su estudio la atmósfera ha sido dividida en diferentes capas según su temperatura. Estas capas son la Tropósfera, la Estratósfera, la Mesósfera y la Termósfera. Para la meteorología aeronáutica, la Tropósfera reviste un interés muy especial.

## LA TROPOSFERA

Es la capa más baja de las que componen la atmósfera, está en contacto con la tierra y es la parte en que se desarrollan casi todas las formas de vida terrestre. Si comparásemos la atmósfera con un océano gigantesco, resultaría que los seres humanos habitamos en el fondo de ese mar de aire.

En la tropósfera ocurren la gran mayoría de los fenómenos atmosféricos tales como: vientos, lluvias, tormentas eléctricas, granizadas, trombas, tolvaneras, huracanes, etc. Su espesor en los polos es de aproximadamente 9 km y en el ecuador aumenta hasta 17 km.

Dentro de esta capa se encuentra el 99% del agua existente en la atmósfera. Su temperatura va descendiendo proporcionalmente, conforme va aumentando la altura; los estudios más recientes indican una disminución de  $9.8^{\circ}\text{C}$  por cada km y el aire es normalmente respirable hasta los 3 km.

Para tener una idea del enrarecimiento del aire con la altura, basta decir que a 6 km de la superficie terrestre, la presión atmosférica es igual a la mitad de la que existe al nivel del mar, 29.92 pulgadas de mercurio; es el valor de la presión al nivel del mar; a 300 km la presión equivale tan solo a un centímetro de mercurio; a 450 km apenas un milímetro; a una altura de 1,000 km las moléculas de aire se encuentran tan separadas entre sí, que una de ellas tendría que recorrer varios kms para poder hacer contacto con otra.

En lo referente a la distribución de la masa de la atmósfera, se ha comprobado que la mitad de ella está comprendida en los cinco primeros kilómetros de esta capa.

## EFECTOS DE LA ENERGIA EN LA ATMOSFERA

Los tres elementos básicos del tiempo atmosférico son el sol, el viento y el agua, el primero suministra la energía que impulsa la masa atmosférica, produciendo como consecuencia los vientos. Esta energía es enorme y la que incide sobre nuestro planeta en una sola semana supera toda la producida por el carbón, la gasolina, y otros combustibles que el hombre haya quemado jamás.

La tierra intercepta tan sólo una pequeña parte de la energía solar, que resulta suficiente y muy eficiente, para producir el viento y las olas; evaporar el agua del mar; originar la lluvia; erosionar los escudos glaciales; pulverizar el suelo de las llanuras y los valles; mantener la vida fotosintética de las plantas; y poner en movimiento la cadena vital bajo los mares, a través de la fotosíntesis realizada por las algas microscópicas en las aguas superficiales de los océanos.

## BALANCE ENERGETICO.

Cuando la energía radiante proveniente del sol alcanza la atmósfera terrestre, gran parte se refleja y dispersa; pero otra parte la atraviesa hasta llegar a la superficie de nuestro planeta y es absorbida por mares y continentes, que posteriormente irradian una buena parte de esta energía en forma de calor.

Después de un tiempo, la tierra devuelve al espacio la misma cantidad de energía que recibió como radiación solar de onda corta, pero lo hace en forma de energía térmica, es decir, como radiación de onda larga.

Si no ocurriera de esta manera nuestro clima se volvería muy cálido o muy frío con los años; en cambio permanece prácticamente igual.

Por la inclinación que tiene sobre su eje y por su movimiento de -- traslación alrededor del sol, cerca del ecuador nuestro planeta absorbe mayor cantidad de energía, que irradia posteriormente hacia el espacio y hacia los polos. Esta transferencia se realiza mediante el proceso de convección, en el que un fluido se calienta y al desplazarse transporta este calor; en la atmósfera esto se opera por obra del movimiento de las masas de aire.

#### MOVIMIENTO ATMOSFERICO Y METEOROS.

Existen básicamente tres escalas de movimiento en la atmósfera, que constituyen el factor funcional del tiempo atmosférico; la Circulación General, los grandes Sistemas Anticiclónicos y Ciclónicos y el Movimiento Local.

#### LA CIRCULACION GENERAL.

La circulación general constituye el movimiento atmosférico a mayor escala y constituye el mecanismo básico que transporta energía del ecuador a los polos. Dicho movimiento comienza a lo largo del ecuador, donde el aire caliente se eleva en volúmenes ascendentes creando una faja de baja presión en esta zona.

A medida que el aire tropical ascendente se acumula a gran altitud, se va extendiendo hacia el norte y hacia el sur, descendiendo posteriormente en ambos hemisferios, aproximadamente a los treinta grados de latitud en cada uno.

Al llegar a la superficie el aire descendente se divide; una parte regresa al ecuador y otra parte va hacia los polos, dando lugar a dos grandes flujos de viento en la superficie terrestre.

Los movimientos antes descritos reciben el nombre técnico de célula de circulación y se han identificado hasta tres de ellas en cada hemisfe-

rio.

### CICLONES Y ANTICICLONES

Los grandes sistemas ciclónicos y anticiclónicos, aunque de menores dimensiones que la circulación general, tienen diámetros de cientos de kilómetros. Si el sistema circula en sentido opuesto al de las manecillas del reloj, en torno a un centro de baja presión atmosférica, es un ciclón; pero también se le llama baja o depresión.

Cuando el sistema tiene el sentido de giro de las manecillas del reloj, se le denomina anticiclón, o alta.

Los sistemas atmosféricos de escala ciclónica producen la alternación del mal y del buen tiempo, cuando provocan el choque de masas de aire de características distintas.

### CONDICIONES LOCALES

La alteración del tiempo en la escala local, que es la menos amplia de las tres, es de carácter más súbito e impredecible, en comparación con las escalas mayores.

En algún lugar del planeta, el tiempo puede ser excelente, pero si se van produciendo ciertas condiciones físicas en el aire y si además estas ocurren en una secuencia determinada, podemos tener un fuerte cambio climático en un lapso relativamente corto.

ESTUDIO  
METEOROLOGICO  
PARA PROYECTO  
DE AEROPUERTOS

## I.- GENERALIDADES

El estudio meteorológico para aeropuertos, consiste básicamente en analizar los datos estadísticos de los fenómenos atmosféricos ocurridos en el lugar de estudio.

Los fenómenos más importantes para el caso de los aeropuertos, son: viento, temperatura, lluvia, humedad, techo y visibilidad; cuyos datos son recopilados por estaciones meteorológicas instaladas en los sitios más apropiados para llevar a buen fin su cometido.

En el trabajo de gabinete se traducen a cifras y lenguaje comunes los datos proporcionados por las estaciones, se clasifican en forma estadística y posteriormente se analizan de acuerdo a normas establecidas para conocer su magnitud, así como sus consecuencias en las partes que integrarán el aeropuerto que se proyecta.

## II.- LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS

1.- LOCALIZACION.- Las estaciones meteorológicas que han de proporcionar los datos para la elaboración del estudio, deberán instalarse lo más cerca posible del área por estudiar, ya que de ello dependerá lo exacto de los proyectos parciales en los que tienen influencia directa los fenómenos atmosféricos.

En coordinación con las brigadas de topografía y la Sección de Estudios Aeronáuticos, se analiza el área en estudio y se localiza la estación meteorológica, tomando en consideración los siguientes criterios:

- a).- El sitio más elevado del área en estudio.
- b).- Lo más cercano a la pista o pistas propuestas.
- c).- Que no sea un lugar inaccesible.
- d).- Sitio despejado, donde se pueda captar la mayor parte lluvia y el viento corra libremente.

2.- INSTALACION Y FUNCIONAMIENTO.- La estación meteorológica, deberá estar protegida mediante un cercado de malla de alambre de 2 m de altura; los aparatos, exceptuando el pluviógrafo (lluvia) y el anemocienógrafo (dirección y velocidad del viento), se alojarán en un abrigo de madera con paredes que a la vez que los protejan de la lluvia y los rayos solares, permitan la circulación del viento, te-

niendo su base una altura de 1 a 1.5 m. sobre el terreno, En casos donde se tenga a mano una edificación que lo permita, se podrá instalar la estación sobre la azotea del edificio, prescindiéndose en este caso del cercado y procurando anclar tanto el abrigo como los aparatos a la intemperie, de tal forma que no sean derrivados por vientos fuertes.

Las estaciones que tiene instaladas la Dirección General de Aeropuertos, se componen de aparatos registradores que tienen la ventaja sobre los aparatos de medición directa, de proporcionar un mayor número de datos y en forma continua.

El equipo que forma la estación meteorológica es:

Anemocinógrafo.- Registra direcciones y velocidades de vientos.

Higrotermógrafo.- Registra temperaturas y humedad relativas.

Pluviógrafo.- Registra las cantidades de precipitación.

Proyector de Techo.- Ayuda a estimar la altura de las nubes.

La visibilidad horizontal también se estima con relación a distancias de objetos fijos y conocidos, tales como árboles grandes, montañas, torres, edificios, etc.

### III.- ANALISIS ESTADISTICO.

1. - HUMEDAD RELATIVA. - Se traduce la parte respectiva de las gráficas del higrotermógrafo en lecturas horarias de por ciento, se suman y se calculan los promedios mensuales y anuales; como se puede apreciar en las hojas de " Humedad Relativa " .
2. - LLUVIA.- Se traducen las gráficas del pluviógrafo en lecturas horarias de milímetros, se calculan los promedios de intensidades, la acumulación de lluvia en 24 hrs. así como la acumulación anual y se seleccionan las intensidades máximas; como se puede ver en las hojas de "Regimen Pluvial".
3. - TEMPERATURA. - Se efectúa la lectura horaria en °C de la parte respectiva de las gráficas del higrotermógrafo, se seleccionan las temperaturas máximas y mínimas diarias, se calculan los promedios mensuales y anuales de temperaturas medias, mínimas y máximas; véase hojas de " Temperaturas " .
4. - TECHOS Y VISIBILIDADES. - Se registran en las hojas de "Techos y Visibilidades " de los datos anotados en las hojas de "Reporte de Techos y Visibilidades", los que se han estimado en el lugar de la estación con ayuda del proyector de techos, se seleccionan los datos reportados a



1000 pies o menos de techo, así como los de 3 millas ó menos de visibilidad horizontal, a tales datos se les considerará como horas cerradas y se calcula el porcentaje anual de horas cerradas; tal consideración se basa en lo especificado en el anexo No. 2 el reglamento de la O.A.C.I., "Reglas de Vuelo Visual".

1.- Criterio para estimar techos.- Ante la imposibilidad de medir con exactitud la altura de las nubes, se hacen estimaciones al respecto basándose en comparaciones con alturas fijas y conocidas, en mediciones hechas con globos o desde aeronaves teniendo como guía la apariencia característica de las nubes, de acuerdo con la altura en que tienen origen, haciéndose la siguiente clasificación de nubes:

A.- Nubes altas (altura media de su base 6,000 m 20,000 pies). Componen esta familia: Cirros, Cirrocúmulos y Cirrostratos.

Cirros (Ci).- Nubes dispersas de apariencia delicada y fibrosa, sin sombras, generalmente de color blanco y apariencia sedosa.

Cirrocúmulos (Cc).- Capa o Mancha cirriforme compuesta de pequeños copos blancos o de masas globulares muy pequeñas, aparecen colocadas en grupos o hileras y más a menudo en ondulaciones parecidas a las que quedan en la arena de las playas.

Cirrostratus (Cs).- Delgado velo blanquecino que no empaña los contornos del sol ni de la luna, pero que ordinariamente da lugar a la formación de "Halos".

A veces están sumamente dilatadas, dando al cielo un aspecto lechoso, también suelen presentarse en forma distante y en forma desordenada.

B.- Nubes Medias (altura media de su cúspide 6,000 m 20,000 pies, altura media de su base 2,000 m 6,500 pies). Forman esta familia: Alto cúmulos y Altoestratos.

Altocúmulos (Ac).- Capa o mancha compuesta de masas globulares aplastadas, en que los elementos mas pequeños de la capa dispuesta regularmente, con bastante pequeños y delgados, pudiendo tener sombra o carecer de ella. Dichos elementos están dispuestos en grupos, hileras u ondas tan próximos que a veces sus bordes se unen.

Altoestratos (As).- Velo estriado o fibroso más o menos de color gris azulado. Esta nube se parece a un Cirrostratos grueso y desprovisto de halo; el sol y la luna se ven vagamente a través de ella y su leve resplendor parece haber pasado a través de un vi-

drio esmerilado.

C.- Nubes bajas (altura media de su cúspide 2,000 m. - 6,500 pies, altura media de su base cerca de la superficie).

Pertenecen a esta familia; Estratocúmulos, Estratos y Nimboestratos.

Estratocúmulos (Sc).- Capa o mancha compuesta de láminas, masas globulares o rollos, los menores de los elementos dispuestos regularmente son bastante grandes, suaves y grises con porciones oscuras; sus elementos están agrupados en hileras, ondas o alineados en una o dos direcciones, a menudo los rollos están tan próximos que sus bordes se unen, cuando cubren la totalidad del cielo, le dan un aspecto ondulado.

Estratos (St).- Baja capa de nubes con aspecto de niebla pero que no toca el suelo.

Nimboestratos (Ns).- Capa baja de nubes de lluvia amorfa de color gris obscuro y casi uniforme, con apariencia de estar iluminada desde el interior; cuando produce lluvia, lo hace en forma continua.

D.- Nubes de Desarrollo Vertical (altura media de su cúspide = altura media de los cirros, altura media de su base 500 m - 1,600 pies).

Esta familia está formada por: Cúmulos y Cumulonimbus.

Cúmulos (Cu).- Nubes densas de gran desarrollo vertical, su parte superior tiene la forma de una cúpula que muestra protuberancias redondas, en tanto que su base es casi horizontal.

Cumulonimbus (Cb).- Inmensas masas de nubes de gran desarrollo vertical, cuyas cimas cumuliformes tienen forma de montaña o torres, teniendo en las partes superiores apariencia fibrosa, teniendo a menudo forma de yunque, son nubes muy oscuras con la base horizontal pero con salientes considerables.

Un buen auxiliar para medir la base de las nubes es el proyecto de techo. Consiste en un reflector que proyecta un haz luminoso hacia la base de las nubes y mediante un clinómetro se mide el ángulo, calculándose la distancia vertical, según se puede ver en la figura No. 1.

L.- DISTANCIA FIJA Y CONOCIDA

$$H = L(\operatorname{tg} \alpha)$$

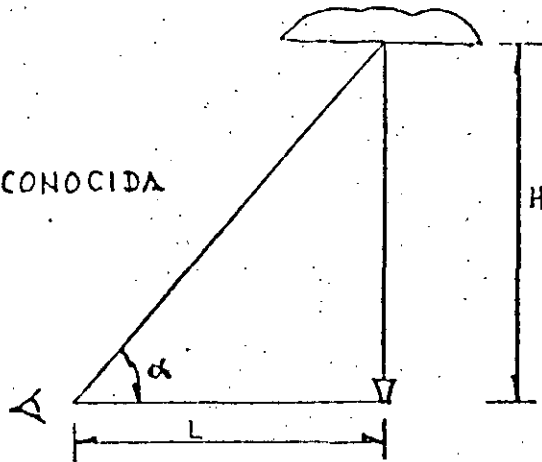


Figura No. 1.- Medición de techos con proyector.

4.2.- Forma de estimar la visibilidad horizontal.- La visibilidad horizontal se define como la máxima distancia a la que puede distinguirse un objeto de características bien definidas, sin ayuda de aparatos ópticos, se estima en millas náuticas y mediante la identificación de objetos fijos alrededor de la estación, tales como árboles robustos, cerros aislados, torres, etc.

Al reportar la visibilidad estimada en las hojas de "Reporte de Techos y Visibilidades", deberán reportarse también los fenómenos que en el momento de la observación puedan obstruir la visión, estos fenómenos son:

Niebla (F).- Es prácticamente una nube en contacto con el suelo, se diferencia de la bruma por su color gris y su humedad, puede ser ligera o densa.

Niebla Baja (GF).- Cuando no llega a cubrir la mitad del cielo o cuando no alcanza la base de otras nubes.

Niebla Helada (IF).- Cuando la temperatura es muy baja y sin viento, a veces se observan pequeños cristales de hielo.

Tolvanera (BD).- Grandes cantidades de polvo levantadas por el viento.

Ventisca (BS).- Nieve levantada por el viento a más de 2 m de altura.

Tempestad de Arena (BN).- Arena levantada por el viento y acarreada en forma de nubarrones.

Bruma (H).- Partículas de <sup>sales</sup> ~~sales~~ en suspensión en el aire, no se ven ni se sienten pero reducen la visión.

Lluvia (R).- Precipitación de agua líquida cuyos elementos individuales tienen un diámetro de 0.5 mm. ó mayor.

Humo (H).- Partículas finas de cenizas en suspensión en el aire a distancia es de color gris, cerca tiene un olor característico.

Polvo (P).- Partículas de materiales orgánicos, tierra, arena, etc., a distancia le dan un color gris ó cobrizo al cielo.

Llovizna (L) Precipitación de agua líquida cuyos elementos individuales tienen un diámetro menor de 0.5 mm.

5.- Viento.- El análisis de vientos, se realiza a través de la Rosa de Vientos, que es una representación gráfica de la forma en que inciden los vientos en el lugar de estudio, componiéndose el análisis de Rosa de Vientos Directos y Rosa de Vientos Cruzados.

5.1.- Rosa de Vientos.- Se calculan como sigue:

a).- Se traducen las gráficas del anemocinógrafo, anotando los datos en las hojas de " Direcciones y Velocidades de Vientos ".

b).- Se seleccionan los datos anteriores de acuerdo a su dirección que se clasifican en : Norte (N) Nornoreste (NNE), Noreste (NE), Estenoreste (ENE), Este (E), Estesureste (ESE), Sureste (SE), Sursureste (SSE), Sur (S) Sursuroeste (SSW), Suroeste (SW), Oestesuroeste (WSW); Oeste (W) Oestenoroeste (WNW), Noroeste (NW), Hornoroeste (NNW); y también de acuerdo a su velocidad conforme a: Calmas de 0 a 4.8 km/hr (0 a 2.7 Nudos), anotándose en renglón especial.

Rango I de 4.9 a 24.0 Km/Hr ( 2.7 a 13 Nudos), anotándose en la parte superior del renglón de su dirección.

Rango II de 24.1 a 48.3 Km/Hr ( 13.1 a 26 Nudos), anotándose en la parte media del renglón de su dirección.

Rango III mayores de 48.3 Km/Hr ( 26.1 Nudos), anotándose en la parte inferior del renglón de su dirección.

Todo lo anterior se lleva a cabo en la hoja. " Selección Mensual de Datos ".

c).-Se suman los datos anteriores en las columnas del extremo derecho de la misma hoja, siendo tantas sumas como se tengan datos.

d).-Suma total de lecturas de cada dirección y en cada velocidad de los años disponibles, anotándose los resultados en las columnas del extremo izquierdo de la hoja de "Cálculo de Porcentajes para Vientos Directos."

e).- Se calcula un factor de porcentaje unitario, sacando el recíproco del total de lecturas y multiplicando por cien; este factor se multiplica por cada lectura, obteniéndose el porcentaje correspondiente a cada dirección y a cada rango, que aparecerán anotados en las columnas de la izquierda, de la última hoja mencionada.

así como de la hoja "Cálculo de Vientos Cruzados"

f).- Con estos resultados se está en posibilidad de dibujar las gráficas de las rosas de vientos, tanto directos como cruzados. Las tablas que aparecen en dichas gráficas, que servirán para normar el criterio respecto a la orientación de pistas, se elaboran de la siguiente manera:

5.2.- Tabla de Vientos Directos.- Para elaborar esta tabla se emplea la rosa de vientos cruzados y una plantilla en forma de corbata de moño, véase la figura No. 2, cuya abertura angular es de 45°. Este ángulo se basa en especificaciones de la F.A.A., para aeronaves y es el ángulo máximo que el viento puede formar con la trayectoria de vuelo y considerarse aún como viento directo.

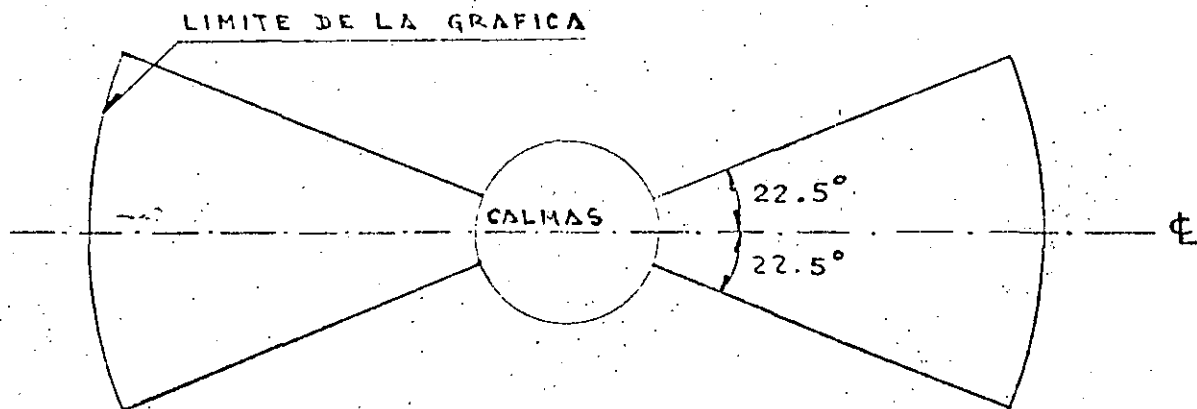


Figura No. 2.- Plantilla para Vientos Directos.

El análisis se inicia colocando la línea de centros de la plantilla con el eje del rumbo 00-18, se aprecia que la plantilla cubre la mitad de los gajos NNW, NNE, SSW y SSE, cubriendo completamente los gajos N y S, una vez que estas fracciones se han multiplicado por los porcentajes correspondientes de los rumbos afectados se tabulan, girándose la plantilla 10° encontrándose las fracciones que en cada caso va cubriendo la plantilla y tabulándose los resultados, se continúa girando la plantilla cada 10° hasta terminar con el rumbo 17-35.

5.3.- Tabla de Vientos Cruzados.- Se elabora a partir de la rosa de vientos cruzados y una plantilla rectangular de ancho igual a 30 millas/Hr. medidas a la misma escala de la rosa de vientos cruzados y de longitud igual al diámetro máximo de la misma rosa, véase la figura No. 3.

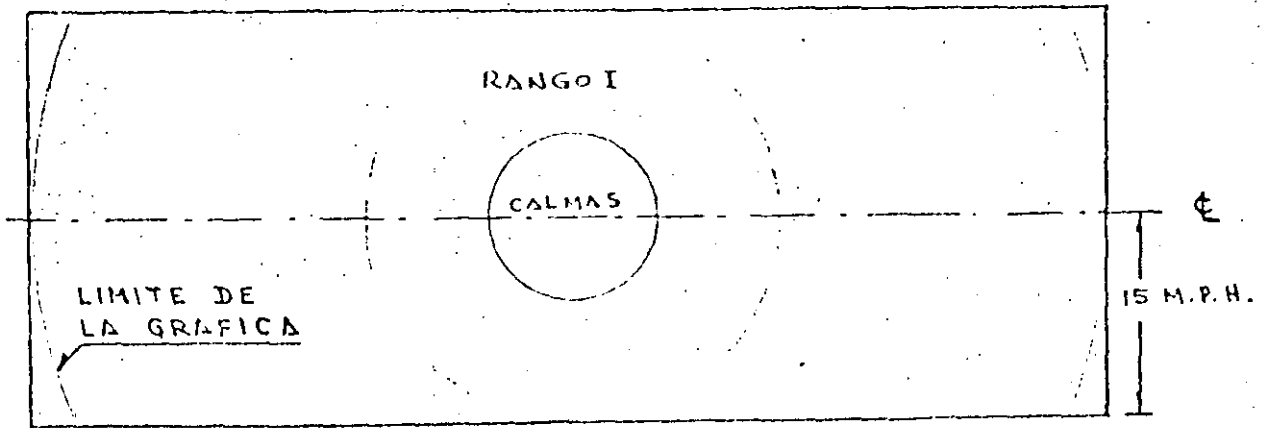


Figura No. 3 Plantilla para Vientos Cruzados.

La razón de las 30 millas/Hr. en el ancho de la plantilla es que según la F.A.A., vientos hasta de 15 millas/Hr. no afectan la operación de aeronaves aún formando ángulos mayores de 45° respecto a su trayectoria. Tanto la plantilla como las áreas de los gajos de la rosa se dividen en áreas unitarias para poder determinar con exactitud la parte de la rosa que cubre la plantilla. Esta se coloca en la posición 00-18, se analiza que porciones de área cubre en cada rumbo y por cada rango, tabulándose el resultado de multiplicar dichas porciones por los porcentajes correspondientes.

La plantilla se girará de 10 en 10° hasta la posición 17-35 tabulándose en cada caso los resultados obtenidos.

5.4.- Cálculo Simplificado.- En la Dirección General de Aeropuertos, dado el volumen de rosas de viento por calcular y viendo que las porciones de área cubiertas por las plantillas son constantes y que solamente varían los porcentajes de viento en cada rumbo y por cada rango, se tabularon las porciones de área cubiertas por las plantillas en forma de factores, tal como aparecen indicados en las columnas de la parte derecha de las hojas "Cálculo de Porcentajes para Vientos Directos" y "Cálculo de Vientos Cruzados"; reduciéndose el cálculo de las rosas de vientos a simples operaciones aritméticas.

Para lograr lo anterior, se dibujó la rosa de vientos cruzados a una escala en la que 1 centímetro representa 1 milla/Hr. y tanto los gajos de la rosa como la plantilla se dividieron en áreas unitarias de 2 x 2 mm., lográndose así una exactitud adecuada a los fines propuestos.

#### IV.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El estudio meteorológico para aeropuertos tiene como meta determinar la variación de los fenómenos atmosféricos en los sitios propuestos, logrando conocer la magnitud de estos y proporcionando datos que resultan auxiliares eficaces en el proyecto general de un aeropuerto. A continuación se expresa la inter-relación que tienen los diversos fenómenos meteorológicos, su variación y su magnitud con diferentes aspectos en el proyecto de aeropuertos:

- 1.- Humedad relativa: Es determinante en el cálculo y selección de equipo para acondicionamiento del clima en áreas donde se requiera; auxilia en la estimación del tiempo de fraguado de concreto y morteros.
- 2.- Lluvia. De su magnitud depende el cálculo de la capacidad de drenado de la zona, su periodicidad auxilia a la programación de la obra, así como utilización de impermeabilizantes.
- 3.- Temperatura. Indispensable en el cálculo de la longitud de pistas; selección de materiales para la construcción de pistas, plataformas, rodajes y accesos en general; cálculo de equipo para clima acondicionado.
- 4.- Techos y Visibilidades. Norman en criterio para la selección y uso de ayudas visuales o radio ayudas, tanto en el proyecto como en la operación de los aeropuertos.
- 5.- Viento. Importante en la orientación de pistas, orientación de edificios, cálculo de ventilación natural en edificios, capacidad del equipo para clima acondicionado y cálculo de estructuras en determinados casos..

A simple vista salta la importancia de llevar a cabo un buen estudio meteorológico como antecedente para tener proyectos confiables, máxime en la rama aeronáutica en donde los valores manejados son muy altos, el más importante es la vida humana, por lo tanto, y sin menospreciar el confort y buen funcionamiento, deberá buscarse a toda costa la seguridad en los proyectos aeroportuarios, lo cual se logrará si se tienen antecedentes de un estudio meteorológico bien hecho y con datos que den plena confianza al Proyectista.

S. O. P.

23

D. G. A.

ESTACION METEOROLOGICA No. 3 EN LOS MOCHIS, SIN.

## REPORTE DE TECHOS Y VISIBILIDADES

FECHA	HORA	TECHO	EDO. DEL CIELO	VISIBILIDAD				OBST. A LA VISION	NOTAS
				NE	SE	NW	SW		
10/VII/74	8:00	+1,500	⊖ SC	3+	3+	3+	3+		
✓ ✓ ✓	14:00	+6,500	⊖ AS	3+	3+	3+	3+		
✓ ✓ ✓	18:00	+6,500	⊖ AC	3+	3+	3+	3+		
2/VII/74	8:00	+6,500	⊖ AC	3+	3+	3+	3+		
✓ ✓ ✓	14:00	+20,000	⊖ CC	3+	3+	3+	3+		
✓ ✓ ✓	18:00	+1,500	⊖ SC	3+	3+	3+	3+		
3/VII/74	8:00	+1,500	⊖ SC	3+	3+	3+	3+		
✓ ✓ ✓	14:00	+6,500	⊖ AC	3+	3+	3+	3+		
/ / /	18:00	+6,500	⊖ AS	3+	3+	3+	3+		
4/VII/74	8:00	+6,500	⊖ AC	3+	3+	3+	3+		
✓ ✓ ✓	14:00	+1,500	⊖ CU	3+	3+	3+	3+		
✓ ✓ ✓	18:00	+1,500	⊖ CB	3+	3+	3+	3+		
5/VII/74	8:00	+1,500	⊖ SC	3+	3+	3+	3+		
✓ ✓ ✓	14:00	+1,500	⊖ SC	3+	3+	3+	3+		
✓ ✓ ✓	18:00	+1,500	⊕ NS	3+	3+	3+	3+		
6/VII/74	8:00	+1,500	⊕ NS	3+	3+	3+	3+		
✓ ✓ ✓	14:00	+1,500	⊕ NS	3+	3+	3+	3+		
✓ ✓ ✓	18:00	+1,500	⊕ NS	3+	3+	3+	3+		
7/VII/74	8:00	+1,500	⊕ NS	20	20	25	25	L	
✓ ✓ ✓	14:00	+1,500	⊕ NS	25	25	30	30	L	
✓ ✓ ✓	18:00	+1,500	⊕ NS	25	25	20	20	L	



S. O. P.	DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS	OFICINA DE PROYS. AERONAUTICOS	SECCION METEOROLOGIA	AEROPUERTO LOS MOCHIS, SIN.
	<b>TECHOS Y VISIBILIDADES</b>				FECHA
					MES <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">JULIO</span> AÑO <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1974</span>

DIA DEL REG.	HORARIO DEL REGISTRO																HORAS CERRAS DAS.										
	8.00		9.00		10.00		11.00		12.00		13.00		14.00		15.00			16.00		17.00		18.00		19.00			
	T.	V.	T.	V.	T.	V.	T.	V.	T.	V.	T.	V.	T.	V.	T.	V.		T.	V.	T.	V.	T.	V.	T.	V.		
01																										0	
02																										0	
03																										0	
04																										0	
05																										0	
06																										0	
07		2.0												2.5								2.0				3	
08		2.5																								1	
09																										0	
10																										0	
11																										0	
12																										0	
13																										0	
14																										0	
15																										0	
16																										0	
17																										0	
18																										0	
19																										0	
20																										0	
21																										0	
22																										0	
23																										0	
24																										0	
25																										0	
26																										0	
27																										0	
28																										0	
29																										0	
30																										0	
31																										0	
																											4

4.3%  
93 | 400.0  
280  
=1

72

NOIA: TECNO EN MILES DE PIES Y V. EN MILLAS N. CAS. I - ILIMITADO Σ TOTAL

S. D. E. C. C. I. O. N. O. G. E. N. E. R. A. L. D. E. P. A. E. R. O. P. U. E. R. T. O. S.	DEPARTAMENTO DE	O F I C I N A	E S E C C I O N	A E R O P U E R
	PROYECTOS	PROYS. AERONAUTICOS	METEOROLOGIA	TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.
	R E G I M E N			I N T. M E D. P L U V I A L [7.4mm/h]

DIA Hr.	I N T E N S I D A D E S																								A C U M . I N T.		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24 Hr.	MED.	
01																											
02														2.5						5.1						7.6	3.3
03													25.4							7.6	5.1					25.4	25.4
04													5.1							7.6	5.1					11.8	5.9
05																											
06																				12.7					20.3	33.0	16.5
07	2.5																			27.9	5.1					35.5	11.8
08		2.5																								2.5	2.5
09																				7.6						7.6	7.6
10		2.5																								2.5	2.5
11		2.5																								2.5	2.5
12																											
13																											
14																	5.1									5.1	5.1
15															7.6									10.2	17.8	8.9	
16	5.1															10.2										15.3	7.7
17																											
18																											
19																											
20			2.5		2.5			10.2								2.5									12.7	30.4	6.1
21		12.7	12.7		12.7	12.7	12.7	5.1	5.1	5.1	2.5									2.5				2.5	26.3	7.3	
22	2.5		2.5				2.5																			7.5	2.5
23																											
24																											
25	2.5			2.5						2.5										2.5	2.5					12.5	2.5
26							2.5											38.1	12.7	5.1						58.4	14.6
27																											
28	2.5																									2.5	2.5
29																				5.1		2.5				7.6	3.8
30																		2.5		20.3						22.3	11.4
31						2.5	2.5	2.5		2.5	2.5	2.5	5.1	2.5						7.6						30.2	3.4

L E C T U R A S   E N   m . m .

154.8

S. O. P.	DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS	DEPARTAMENTO DE	OFICINA	DE	SECCION	AEROPUERTO						
		PROYECTOS	PROY. AERONAUTICOS		METEOROLOGIA	VILLAHERMOSA, TAB.						
		MAXIMA			PROMEDIO			FECHA				
37 °C			TEMPERATURAS			26.8 °C			MES	MAYO	AÑO	1974.

DIA DE LECT.	HORARIO DE LECTURA																								TEMPS.	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	T.M.D.	T.P.D.
01	22	21	21	20	20	20	20	22	24	26	28	29	30	31	31	31	31	30	28	26	24	24	23	23	31	25.2
02	22	22	21	20	20	19	20	21	23	26	28	30	31	31	32	32	31	30	29	27	25	24	23	22	32	25.4
03	22	22	21	21	20	20	20	22	25	27	29	30	31	32	31	32	32	31	29	27	25	24	24	23	32	25.9
04	22	22	21	21	21	20	20	21	24	26	29	31	32	32	32	32	32	30	29	26	25	24	23	22	32	25.7
05	22	22	21	21	20	20	20	22	25	27	29	31	31	31	32	32	32	31	30	28	27	26	26	25	32	26.3
06	25	24	24	23	23	22	22	22	28	30	31	32	35	32	31	30	29	29	27	26	25	25	24	23	35	26.8
07	23	23	22	22	22	22	22	25	28	30	31	32	33	33	32	32	31	29	27	26	25	25	24	24	33	26.8
08	24	24	24	24	23	23	23	26	29	32	33	34	35	36	37	36	33	30	28	26	25	25	24	24	37	26.3
09	23	23	23	23	23	23	23	24	27	30	32	33	34	35	35	34	33	32	29	28	27	26	25	25	35	27.9
10	25	24	24	24	23	23	23	25	29	31	33	34	36	36	37	36	36	35	34	32	30	29	28	28	37	29.8
11	27	26	25	24	24	24	24	26	28	30	32	35	37	37	37	36	36	35	33	32	30	29	28	27	37	30.1
12	26	26	26	26	26	25	25	27	29	31	32	33	34	36	35	33	31	30	29	28	27	27	26	26	36	28.9
13	26	26	25	23	22	21	22	22	28	31	33	35	36	35	34	33	31	29	27	26	25	25	24	24	36	27.7
14	24	23	23	23	22	23	26	30	32	33	34	35	36	35	35	35	33	32	30	29	29	29	28	27	35	29.4
15	26	25	24	23	23	25	27	30	32	34	35	35	35	35	35	34	32	30	28	27	26	27	26	26	35	29.2
16	25	24	24	23	23	24	26	29	31	33	34	35	35	35	34	34	33	30	28	27	27	26	25	24	35	26.7
17	24	23	23	22	22	23	25	27	29	31	32	32	33	33	33	32	31	29	29	25	21	21	21	21	33	26.7
18	20	20	20	19	19	19	21	23	26	27	29	30	31	31	31	31	28	26	22	22	21	20	20	20	31	24.0
19	20	19	19	19	18	19	21	24	25	27	29	30	31	29	28	27	28	26	24	23	22	20	21	20	31	23.7
20	20	20	19	19	19	20	22	26	28	30	32	33	34	34	31	31	29	27	25	24	23	23	22	22	34	25.5
21	21	21	21	21	20	20	23	27	29	31	32	33	33	33	31	30	29	27	26	25	25	24	24	23	33	26.2
22	24	24	20	21	21	21	21	22	25	29	30	31	32	31	31	30	28	27	26	25	24	23	22	22	31	25.4
23	22	22	21	21	21	21	24	26	29	30	31	32	32	32	31	30	28	26	25	24	24	23	23	22	32	25.8
24	22	22	22	22	22	22	23	25	28	29	29	30	31	32	30	29	25	23	22	22	22	22	22	22	32	24.9
25	22	22	22	22	22	22	23	24	26	28	29	30	31	32	32	32	31	30	27	26	25	25	24	23	32	26.3
26	23	23	22	22	22	22	23	25	27	28	29	31	32	32	32	32	31	30	29	27	26	25	25	25	32	26.9
27	24	24	24	24	24	23	23	24	25	27	31	33	33	33	32	31	29	27	26	25	25	22	21	21	33	26.3
28	21	21	21	21	21	21	22	22	24	26	26	28	29	29	30	30	25	24	22	22	22	22	22	22	30	23.9
29	22	22	21	21	21	22	25	26	28	29	30	31	32	32	33	32	31	30	28	27	25	25	24	24	33	26.7
30	24	23	23	22	22	23	25	27	29	30	31	32	33	34	34	33	32	30	29	28	27	26	26	26	34	27.9
31		24	24	23	22	23	25	27	29	31	32	33	33	34	34	33	33	32	30	28	27	26	26	26	34	28.3

LECTURAS EN °C. T.M.D. TEMPERATURA MAXIMA DIARIA. T.P.D. TEMPERATURA PROMEDIO DIARIA. TOTAL LECT. 630.4

S. O. P.	DIRECCION	DEPARTAMENTO DE	OFICINA	SECCION	AEROPUERTO
	GENERAL DE	PROYECTOS	PROYS. AERONAUTICOS	METEOROLOGIA	VILLAHERMOSA, TAB.
AEROPUERTOS		HUMEDAD RELATIVA			PROMEDIO
		81.3%			FECHA
					MES MARZO AÑO 1974

DIA HR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	HUMEDAD PROMEDIO
01	100	100	100	100	100	100	100	100	100	70	70	65	65	60	50	50	50	90	90	100	100	100	100	100	85.8
02	100	100	100	100	100	100	100	100	90	80	70	60	50	50	50	50	50	50	60	70	90	90	100	100	79.6
03	100	100	100	100	100	100	100	100	80	60	60	60	50	50	50	50	50	60	70	70	75	80	90	90	76.5
04	90	90	90	90	100	100	100	100	75	65	55	50	50	50	50	50	55	70	30	80	30	80	80	90	75.8
05	90	95	100	100	100	100	100	80	75	70	65	60	55	50	45	50	35	70	80	80	75	75	85	95	77.1
06	95	90	85	90	95	100	95	85	75	70	65	60	55		50	55	60	70	80	85	90	90	95	100	79.8
07	100	100	100	100	100	100	100	80	75	70	65	60	55	50	55	55	60	70	70	80	80	95	100	100	80.0
08	100	90	90	90	95	100	100	90	75	70	65	60	55	50	55	55	55	60	75	80	90	95	95	95	78.5
09	90	90	95	95	100	100	100	80	75	70	65	65	60	60	55	55	60	70	70	75	80	80	80	75	76.9
10	80	85	90	90	95	100	95	80	75	70	65	60	60	60	60	60	60	65	75	75	90	90	95	95	77.7
11	90	90	95	95	100	100	100	80	70	65	60	60	60	60	65	70	80	95	95	95	100	100	100	100	84.4
12	100	100	100	100	100	100	100	80	75	70	65	60	60	50	50	50	50	60	70	75	80	100	95	95	78.5
13	100	100	100	100	100	100	100	100	90	70	65	60	60	50	55	70	70	80	90	90	100	100	100	100	85.4
14	100	100	100	100	100	100	100	100	80	70	65	60	50	60	60	55	55	70	90	100	100	100	100	100	83.9
15	100	100	100	100	100	100	100	80	75	70	65	60	60	60	55	50	60	70	85	95	95	95	95	95	81.9
16	100	90	90	100	100	100	100	100	90	80	75	70	65	65	70	65	70	70	85	90	100	100	100	100	86.5
17	100	100	100	100	100	100	100	100	90	80	70	70	70	70	70	70	80	90	95	95	100	100	100	100	89.6
18	100	100	100	100	100	100	90	90	80	70	65	60	60	60	55	55	55	65	75	80	85	90	95	100	80.4
19	100	100	100	100	100	100	100	80	75	70	65	60	60	55	55	60	65	75	85	85	85	90	90	95	81.3
20	100	100	100	100	100	100	100	90	80	70	65	65	60	60	60	60	60	70	75	80	80	85	90	95	81.0
21	100	100	100	100	100	100	100	90	60	60	60	55	55	50	50	50	60	80	85	100	100	100	100	100	81.5
22	100	100	100	100	100	100	100	100	80	70	65	60	60	55	55	55	70	80	90	95	100	100	100	100	84.8
23	100	100	100	100	100	100	100	100	75	65	60	60	55	55	55	55	60	65	80	85	85	100	100	100	81.5
24	100	100	100	100	100	100	100	80	75	70	65	65	60	55	50	55	70	80	90	90	95	100	100	100	83.3
25	100	100	100	100	100	100	100	90	80	60	60	55	55	60	60	65	70	80	90	90	95	100	100	100	83.8
26	100	100	100	100	100	100	90	80	75	65	60	60	60	60	60	60	60	80	85	100	100	100	100	100	93.1
27	100	100	100	100	100	100	100	100	85	75	70	65	60	50	50	50	60	30	90	95	100	100	100	100	84.6
28	100	100	100	100	100	100	95	80	75	70	70	60	55	50	50	50	55	60	85	90	95	100	100	100	80.8
29	100	100	100	100	100	100	100	100	90	70	65	55	55	50	50	50	50	65	75	100	100	100	100	100	82.3
30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	65	60	55	50	45	50	60	65	90	95	95	100	100	100	83.5
31	100	100	100	100	100	100	100	80	65	60	55	50	45	45	40	40	40	45	50	60	65	70	80	90	70.0

LECTURAS EN %

2519.8

S. O. P.	DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS	OFICINA PROY. AERONAUTICOS	DE	SECCION METEOROLOGIA	AEROPUERTO SAN LUIS POTOSI, S.L.P.
	<b>SELECCION MENSUAL DE DATOS</b>					FECHA MES <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">MARZO</span> AÑO <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1973</span>

RUMBOS	HORARIO DEL REGISTRO INCIDENTE																								SPAR MEN.			SPAR				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	R1	R2	R3	R1	R2	R3		
CALMAS	12	12	13	12	14	14	13	7	5	2	2						2	3	3	4	8	9	10	145			← CALMAS →					
N		1									1	1			1	1					1	2	1	10								
NNE											1											1	1	1	4							
NE	1	1		1													1	1						5			EQUIVALENCIAS CALMAS					
ENE																											0 → 2.6 NUDOS					
E																								7			R1					
ESE	2										2			1	1		2	3						17			R2					
SE		1			1	1	2	2	3				1					2		2				18			R3					
SSE			1				2	2	2		2	1	1							1	1			13			26.1 → 52.1 NUDOS					
S	1	1			1	1	1	3		1											4	4	1	19								
SSW	2	3	5	5	3	3	6	7	7	5	5	3	3	2	3	3	1	5	9	4	3	8	4	99	6	1						
SW	11	11	10	7	10	10	6	7	7	12	9	9	7	10	9	11	10	18	18	13	11	9	8	11	244	41	2					
WSW			1	2		1						1	1	1	2	4	5	5	7	11	3	2	1	2	1	1	52	9	2			
W	1	1	1	3		1	3				1	2	3	2	3	2		1		1			1	26								
WNW				1			1	1					1											4								
NW				1					1	1	1	1	2	1	1							2	1	12								
NNW										1	1	2											1	5								
Σ M.H.	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	535	56	5						
Σ TOT. MENS.																								741			= 741			TOT. PAR.		

22

S. O. P.	DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS	DEPARTAMENTO DE	OFICINA	DE	SECCION	AEROPUERTO				
		PROYECTOS	PROY.	AERONAUTICOS	METEOROLOGIA	SAN LUIS POTOSI, S.L.P.				
DIRECCIONES Y VELOCIDADES DE VIENTOS						FECHA				
						MES	MARZO	AÑO	1973	

DIAS DE REG.	HORARIO DEL REGISTRO																							
	13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24	
	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
01	NW	3.0	NW	3.0	NW	3.0	W	4.0	NE	1.4	NE	1.4	SE	2.0	E	2.0	SSE	3.0	C	-	C	-	C	-
02	WNW	4.0	W	4.0	W	5.0	W	5.0	WSW	5.0	SW	3.0	SW	2.0	SW	2.0	NW	2.0	C	-	C	-	C	-
03	WSW	5.0	WSW	6.0	WSW	5.0	WSW	5.0	WSW	4.0	W	5.0	SW	1.8	SSW	1.6	SSW	1.6	C	-	C	-	C	-
04	SW	6.0	SW	6.0	SW	6.7	SW	7.0	WSW	6.0	SW	6.0	SW	2.5	SW	2.5	NW	1.4	N	1.4	N	2.0	C	-
05	SW	6.0	SW	7.0	SW	6.7	WSW	8.0	SW	6.7	SW	5.0	SW	4.0	SSW	2.5	SSW	2.5	SSW	3.0	SSW	4.0	SW	5.0
06	W	7.0	WSW	6.7	WSW	6.7	WSW	6.0	WSW	4.0	SW	2.0	SW	2.0	SW	2.0	SW	4.0	SW	2.0	SSW	1.4	SW	1.4
07	WSW	6.7	WSW	6.0	SW	6.0	SW	6.0	SW	4.0	SW	5.0	SSW	1.6	SW	1.6	S	1.4	N	1.4	SSW	1.8	SW	1.8
08	SW	6.0	SW	6.7	WSW	6.0	SW	6.7	SW	5.0	SW	3.0	SSW	2.0	SW	2.5	SW	1.4	NNE	1.4	C	-	C	-
09	SW	9.0	SW	9.0	SSW	9.0	SW	9.0	SSW	9.0	SW	10.0	SW	5.0	SSW	6.0	SSW	7.0	SSW	6.0	SSW	4.0	S	2.5
10	SW	3.4	SSW	3.4	SW	9.0	SW	9.0	SW	7.0	SW	5.0	SW	2.5	SW	1.4	S	1.4	WSW	1.4	WSW	5.0	WSW	3.0
11	SSE	3.0	SSE	2.5	ESE	2.5	ESE	2.0	ESE	2.0	ESE	3.0	ESE	1.8	ESE	1.8	C	-	C	-	C	-	C	-
12	SSW	4.0	SSW	5.0	SW	6.7	SSW	6.7	SSW	4.0	SW	3.0	SW	4.0	SW	4.0	E	2.0	E	2.0	SSW	4.0	SW	5.0
13	SSW	6.7	SSW	6.7	SSW	8.0	SSW	6.7	SSW	6.0	SSW	5.0	SSW	3.0	SW	2.0	SW	4.0	SW	5.0	SW	5.0	SW	3.0
14	SW	6.7	SW	6.7	SW	6.7	SW	6.7	SW	6.7	SW	6.0	SW	3.0	SSW	1.6	SW	1.6	SW	2.5	SW	4.0	WSW	5.0
15	SW	8.0	SW	7.0	SSW	8.0	SSW	6.7	SSW	6.0	SW	5.0	SW	4.0	SSW	3.0	SSW	4.0	SSW	3.0	SSW	3.0	SSW	4.0
16	NW	3.0	N	3.0	N	2.5	N	5.0	E	5.0	ESE	4.0	SE	2.0	SSE	2.5	SE	5.0	ESE	5.0	ESE	4.0	ESE	4.0
17	SE	2.5	ESE	4.0	E	4.0	E	5.0	ESE	4.0	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-
18	WSW	6.0	SW	6.0	WSW	6.0	WSW	6.0	WSW	6.0	SW	4.0	SW	3.0	SW	3.0	SW	5.0	SW	4.0	SW	4.0	SW	1.8
19	SW	6.7	SW	6.0	SW	5.0	WSW	5.0	WSW	5.0	SW	3.0	SSW	2.5	SSW	4.0	WSW	3.0	WSW	4.0	W	2.5	NNW	2.0
20	SW	6.0	SW	6.0	SW	6.7	SW	6.0	SW	6.0	SW	5.0	SW	4.0	W	3.0	SE	3.0	S	1.4	NW	1.4	SW	1.4
21	SW	6.0	SW	5.0	SW	5.0	SW	4.0	WSW	6.0	WSW	6.0	WSW	4.0	WSW	3.0	N	3.0	C	-	C	-	C	-
22	SSW	4.0	SW	6.0	SW	6.7	SW	6.0	SW	5.0	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-
23	SW	8.0	SW	10.0	SW	8.0	SW	9.0	SW	9.0	SW	8.0	SW	6.0	SSW	5.0	SW	4.0	SW	6.7	SW	6.0	SW	6.0
24	SW	8.0	SW	9.0	WSW	8.0	WSW	6.7	SW	6.0	SW	6.0	SW	5.0	SW	3.0	SW	2.5	S	2.5	SW	3.0	SW	3.0
25	WSW	6.7	WSW	6.0	WSW	6.0	SW	5.0	WSW	5.0	WSW	4.0	SW	1.8	SW	1.8	SW	2.5	SW	1.6	NNE	1.6	NNE	1.4
26	W	5.0	WSW	6.0	W	6.7	WSW	6.7	WSW	5.0	ESE	4.0	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-
27	SW	9.0	SW	9.0	SW	9.0	SW	7.0	SW	7.0	SW	7.0	SW	6.0	SW	5.0	SW	3.0	S	2.5	SSW	4.0	SW	4.0
28	SW	3.4	WSW	9.0	SW	8.0	SW	6.7	WSW	6.0	WSW	6.0	WSW	4.0	SW	2.0	SW	2.0	SW	3.0	SW	3.0	SSW	4.0
29	SW	9.0	SW	8.0	SW	9.0	SW	6.7	SW	6.7	SW	6.7	SW	5.0	SSW	4.0	SW	4.0	SW	4.0	SW	3.0	SW	4.0
30	WSW	9.0	WSW	10.0	SW	10.0	SW	8.0	WSW	8.0	SW	5.0	SW	2.0	SE	1.8	S	1.8	S	2.5	SSW	2.5	SSW	2.5
31	W	5.0	W	5.0	W	5.0	WSW	4.0	WSW	4.0	SW	2.0	SSW	2.0	SSW	2.0	S	2.5	SW	5.0	SW	5.0	SSW	3.0

S. O. P.	DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS	OFICINA PROY.	DE AERONAUTICOS	SECCION METEOROLOGIA	AEROPUERTO SAN LUIS POTOSI, S.L.P.				
	DIRECCIONES Y VELOCIDADES DE VIENTOS						FECHA			
							MES	MARZO	AÑO	1973

DIAS DE REG.	HORARIO DEL REGISTRO																							
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
01	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	SSW	1.6	SSW	1.6	NNW	2.5	NNW	3.0
02	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	S	1.4	SSW	2.5	NNW	2.5
03	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	WSW	4.0
04	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-
05	C	-	C	-	SSE	1.4	W	1.4	C	-	C	-	C	-	SSE	2.0	C	-	SSW	5.0	SW	6.7	SW	6.0
06	SW	6.0	SW	6.0	SW	6.0	SW	5.0	SW	6.0	SW	2.0	SW	2.0	SW	4.0	SW	6.0	SW	5.0	W	5.0	W	7.0
07	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	NW	2.5	NNW	2.5	SW	5.0	SW	5.0
08	SW	2.5	SSW	2.5	SW	2.5	WSW	3.0	SW	2.5	WSW	2.5	SSW	2.5	S	2.5	S	3.0	SW	5.0	SW	5.0	WSW	6.0
09	C	-	N	1.4	SSW	1.4	NE	1.4	C	-	C	-	C	-	SSW	4.0	SW	6.0	SW	6.7	SW	8.0	SW	9.0
10	S	3.0	S	2.0	SW	5.0	SW	5.0	SW	6.0	SW	5.0	W	3.0	WSW	5.0	SSW	5.0	SW	7.0	SW	9.0	SW	10.0
11	SW	1.8	SW	1.8	SW	1.8	SW	1.8	C	-	C	-	C	-	SSE	3.0	SSE	2.5	SSE	2.5	SSW	3.0	SSE	3.0
12	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	SE	2.5	SSE	2.5	ESE	2.5	SSE	2.5
13	ESE	2.0	C	-	C	-	C	-	SW	5.0	SW	3.0	SSW	6.0	SW	6.0	SW	8.0	SW	7.0	SW	6.7	SW	7.0
14	SW	3.0	SW	5.0	SW	5.0	SW	5.0	SW	6.0	SW	5.0	SSW	2.0	SSW	4.0	SW	5.0	SW	5.0	SSW	4.0	SW	3.0
15	WSW	7.0	SW	6.0	SW	5.0	SW	5.0	SW	5.0	SW	3.0	SW	1.4	SW	1.4	SW	6.0	SW	6.0	SW	6.0	SW	6.7
16	SW	2.5	SW	2.5	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	WNW	4.0	WNW	4.0	NW	6.7	N	4.0
17	ESE	4.0	SE	2.0	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	SE	2.5	SE	2.5	SE	1.6	E	2.0	ESE	2.5
18	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	S	2.5	SSE	2.5	NNE	3.0	SW	6.7
19	SW	1.8	SW	3.0	SSW	4.0	SSW	2.5	SSW	2.5	SSW	3.0	SSW	5.0	SSW	6.0	SSW	6.0	SSW	6.0	SW	6.0	SW	7.0
20	W	2.0	W	2.0	W	1.4	SW	1.4	NW	1.8	SW	3.0	SW	4.0	SSW	4.0	SSW	6.0	SSW	6.0	SSW	6.7	SSW	6.7
21	SW	1.4	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	SW	4.0	SW	5.0
22	C	-	C	-	C	-	SE	1.8	SE	1.8	SE	1.8	SE	1.4	SE	1.4	SE	1.4	N	1.4	NW	1.4	SW	5.0
23	C	-	SW	3.0	SW	3.0	SSW	2.5	SSW	4.0	SSW	2.0	SSW	3.0	SW	5.0	SW	5.0	SW	6.0	SW	9.0	SW	6.0
24	SSW	6.0	SW	5.0	SSW	5.0	SSW	6.0	SSW	6.0	SSW	6.0	SSW	6.7	SSW	8.0	SSW	6.0	SW	9.0	WSW	8.0	WSW	8.0
25	NE	1.8	NE	1.8	SW	3.0	W	3.0	SW	6.0	SW	5.0	W	4.0	SW	4.0	SW	5.0						
26	SW	1.4	SSW	2.5	SW	3.0	WSW	4.0	SW	3.0	SW	4.0	SW	5.0	SSW	3.0	SSW	3.0	SSW	4.0	SSW	5.0	SSW	3.0
27	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	C	-	SSW	6.0	SSW	6.0	SW	6.7	SW	6.0
28	SW	5.0	SW	4.0	SW	5.0	SW	5.0	SW	5.0	SW	6.0	SW	6.0	SW	6.0	SW	6.7	SW	9.0	WSW	3.4	WSW	3.4
29	SSW	2.5	SSW	3.0	SSW	3.0	SSW	2.0	S	2.5	S	2.5	S	2.5	S	4.0	SW	8.0	SW	7.0	SW	8.0	SW	2.0
30	S	3.0	SW	5.0	WSW	4.0	W	4.0	WNW	3.0	W	3.0	W	4.0	SW	4.0	WSW	6.7	SW	8.0	SW	10.0	SW	9.0
31	S	4.0	SW	2.5	SSW	2.0	SSW	2.0	SW	4.0	SW	2.5	SW	4.0	SSW	4.0	SSW	5.0	SSW	4.0	SW	15.0	W	6.0

S. O. P.	DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS	DEPARTAMENTO DE	OFICINA	SECCION	AEROPUERT
		PROYECTOS	PROYS. AERONAUTICOS	METEOROLOGIA	MANZANILLO, COL.
		PRESION			PROMEDIO
			ATMOSFERICA	778.9mm.	MES MAYO AÑO 1974.

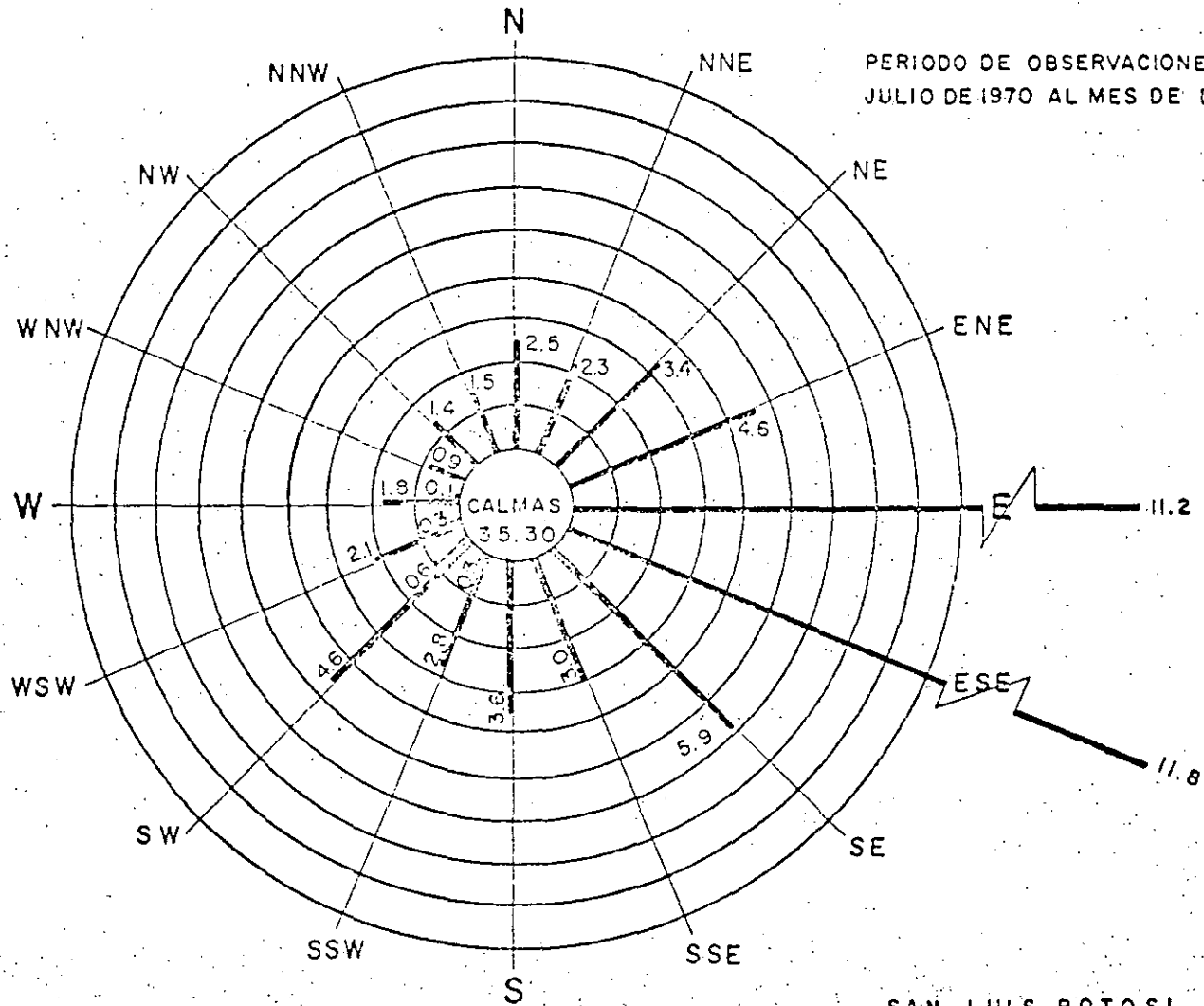
DIA /Hr.	LECTURAS																								SUMA	PROM DIARIO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
01	781	781	781	781	781	781	781	781	781	781	781	781	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	18732	780.5
02	780	780	780	780	781	781	781	781	781	781	781	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	18727	780.3
03	780	780	780	780	781	781	781	781	781	781	781	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	18727	780.3
04	780	780	780	780	780	781	781	781	781	781	780	780	780	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	18714	779.8
05	778	778	778	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	18692	778.4
06	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	18673	778.0
07	778	778	778	778	778	778	779	779	779	779	779	779	778	778	778	777	777	777	777	777	778	778	779	779	19577	778.2
08	779	779	779	779	779	779	780	780	780	780	780	780	780	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	18703	779.3
09	779	779	779	779	779	779	780	780	780	780	780	780	780	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	18703	779.3
10	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	778	778	778	778	778	778	778	778	779	779	779	18690	778.8
11	779	779	778	778	778	778	779	779	779	779	779	778	778	778	778	777	777	777	777	778	778	778	778	778	13675	778.1
12	778	778	778	778	778	779	779	779	780	780	780	780	779	779	778	778	778	778	778	778	778	779	779	779	18699	778.7
13	779	778	778	778	778	778	779	779	779	779	779	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	13678	778.3
14	779	779	779	779	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	8716	779.2
15	779	779	779	779	780	780	780	780	780	780	779	779	779	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	18691	778.8
16	778	778	778	778	779	779	779	779	778	778	778	777	777	777	777	777	777	777	777	777	778	778	778	778	8667	777.8
17	778	778	778	778	778	778	779	778	778	778	778	778	778	777	777	777	777	777	777	778	778	778	778	778	8667	777.8
18	778	778	778	778	778	778	779	779	779	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	8675	778.1
19	778	778	778	778	779	779	779	779	779	779	779	779	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	18690	778.3
20	778	778	778	778	778	779	779	779	779	778	778	778	777	777	777	777	777	777	777	777	777	777	777	777	18664	777.7
21	777	777	777	777	778	779	779	780	780	779	779	779	778	778	777	777	777	777	777	777	777	778	778	778	8671	777.9
22	778	778	778	778	779	779	779	779	779	779	779	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	8679	778.3
23	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	778	778	778	778	778	778	779	779	779	779	779	779	18690	778.8
24	779	779	779	779	779	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	8715	779.2
25	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	779	778	778	778	778	778	778	778	778	778	779	779	779	779	8609	779.1
26	778	778	778	778	778	778	779	779	779	779	779	779	778	778	778	778	778	778	779	779	779	779	779	779	8684	778.5
27	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	780	780	780	780	8700	779.2
28	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	18720	780.0
29	779	778	777	776	774	773	775	778	779	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	8589	778.7
30	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	779	779	779	779	778	778	778	778	779	779	779	779	8704	779.3
31	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	779	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	778	8685	778.5

LECTURAS EN m.m. DE Hg. 24144.4

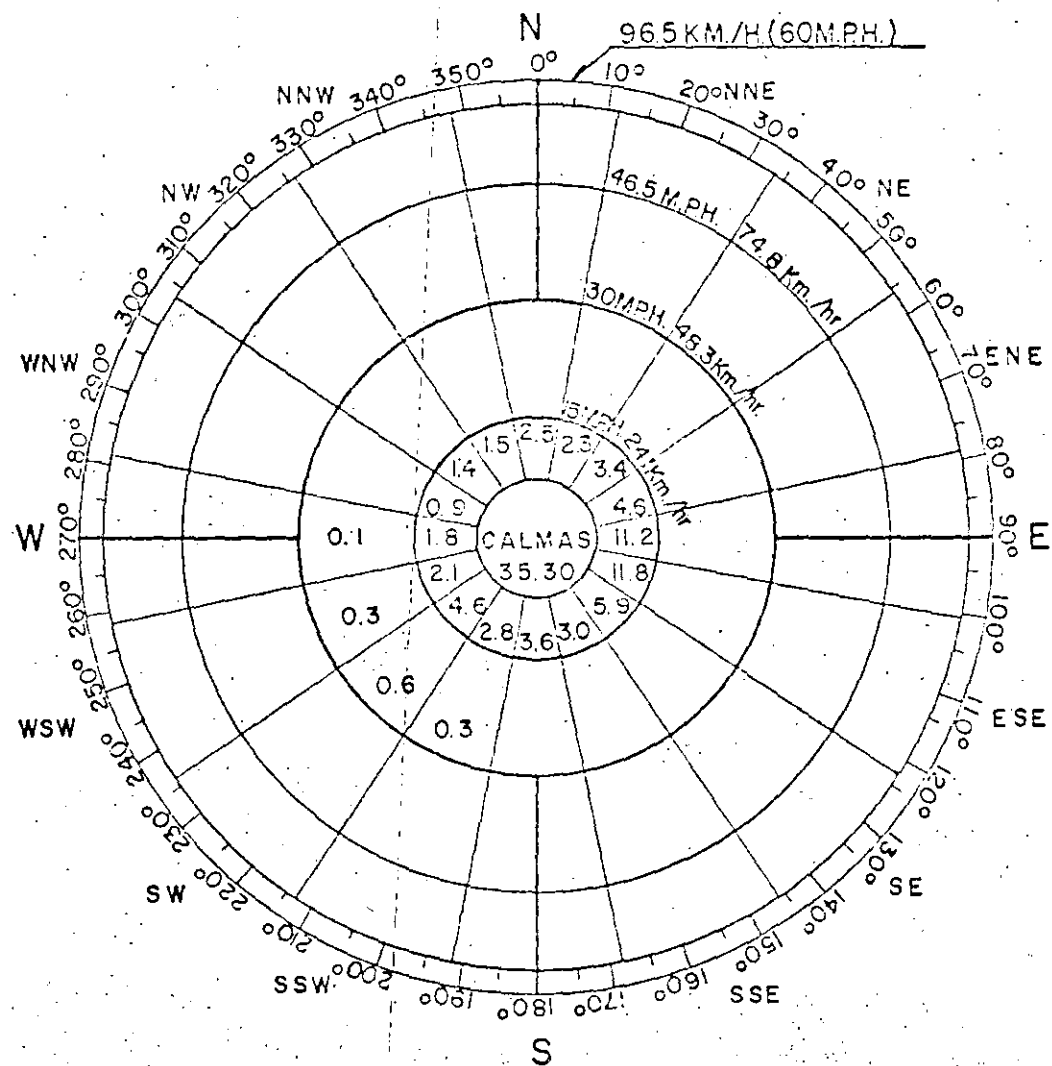


TABLA DE PORCENTAJE DE VIENTOS DIRECTOS CUBIERTOS EN CADA UNA DE LAS DIRECCIONES DE PISTA INDICADAS

DIRECCION DE LA PISTA	18-33 00-13	01-19	02-20	03-21	04-22	05-23	06-24	07-25	08-26	09-27	10-28	11-29	12-30	13-31	14-32	15-33	16-34	17-35
% Calmas y de 0 a 3 M.P.H.	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30
% Vientos	11.05	11.45	12.47	13.58	14.45	15.15	16.35	18.34	20.41	22.95	25.47	23.54	20.97	17.72	14.08	11.60	11.07	10.65
Total.	46.35	46.75	47.77	48.88	49.75	50.45	51.65	53.64	55.71	58.25	60.77	58.84	56.27	53.02	49.38	46.90	46.37	45.95



DIRECCION DE LA PISTA	13-36	00-18	01-19	02-20	03-21	04-22	05-23	06-24	07-25	08-26	09-27	10-28	11-29	12-30	13-31	14-32	15-33	16-34	17-35
% Calmas y de 0 a 3 M.P.H.	35.50	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30
% Vientos de 3.1a 5 M.P.H.	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40
% Vientos de 5.1a 30 M.P.H.	0.49	0.76	0.95	1.11	1.19	1.20	1.16	1.04	0.85	0.65	0.48	0.28	0.17	0.12	0.10	0.12	0.20	0.33	0.33
% Vientos mayores de 30 M.P.H.																			
% Total Cubierto.	99.19	99.46	99.65	99.81	99.89	99.90	99.86	99.74	99.55	99.35	99.18	99.98	98.87	98.82	98.80	99.82	98.90	99.06	99.06



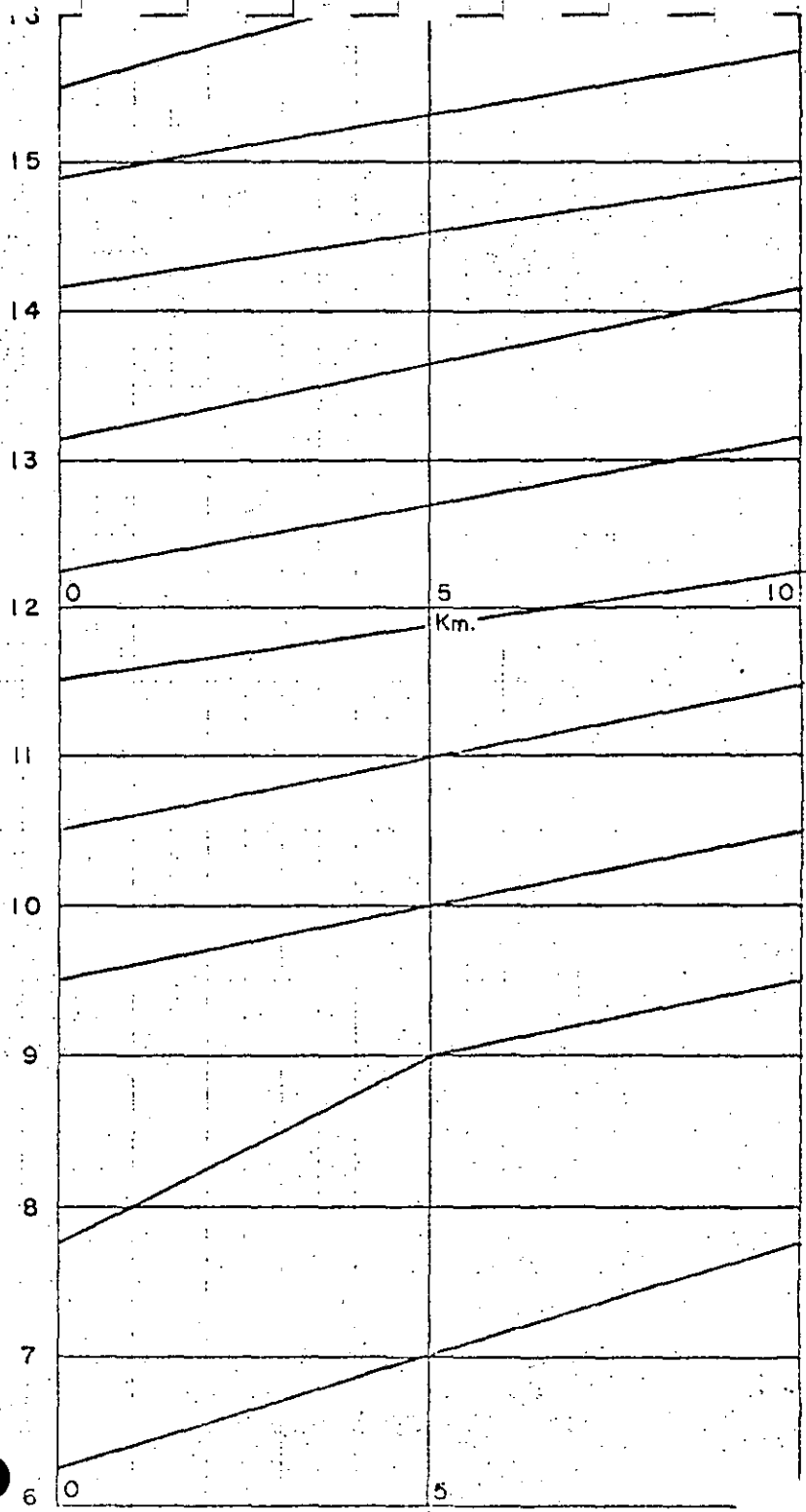
33

6-VIII-73

SAN JOSE  
DEL CABO,  
B. C.

0°      90      180      270      360  
N      E      S      W      N

90      180      270      360



78

24-VI-74

VILLAHERMOSA, TAB.

LUNES

MARTES

MIERCOLES

JUEVES

VIERNES

8 12 16 20 24 2 4 6 8 12 16 20 24 2 4 6 8 12 16 20 24 2 4 6 8

780

780

770

770

760

760

750

750

740

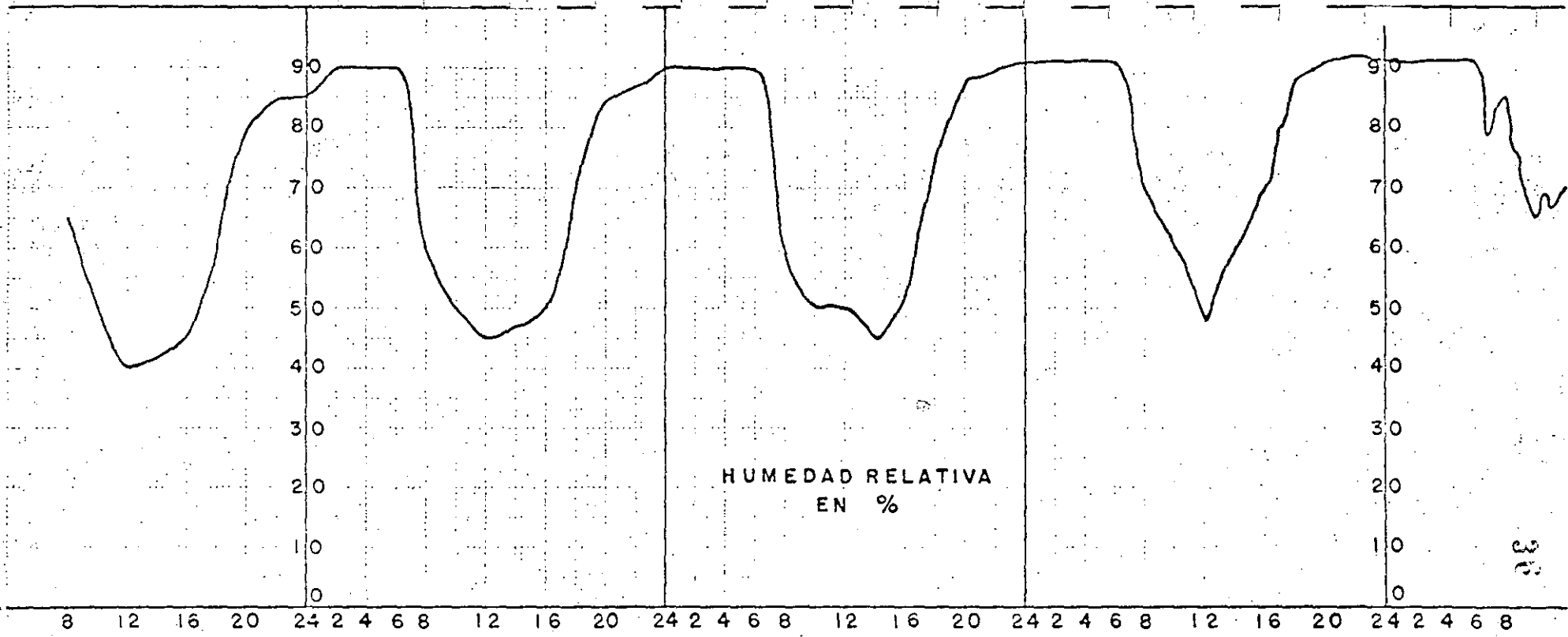
740

730

730

PRESION ATMOSFERICA EN MILIMETROS DE MERCURIO

8 12 16 20 24 2 4 6 8 12 16 20 24 2 4 6 8 12 16 20 24 2 4 6 8

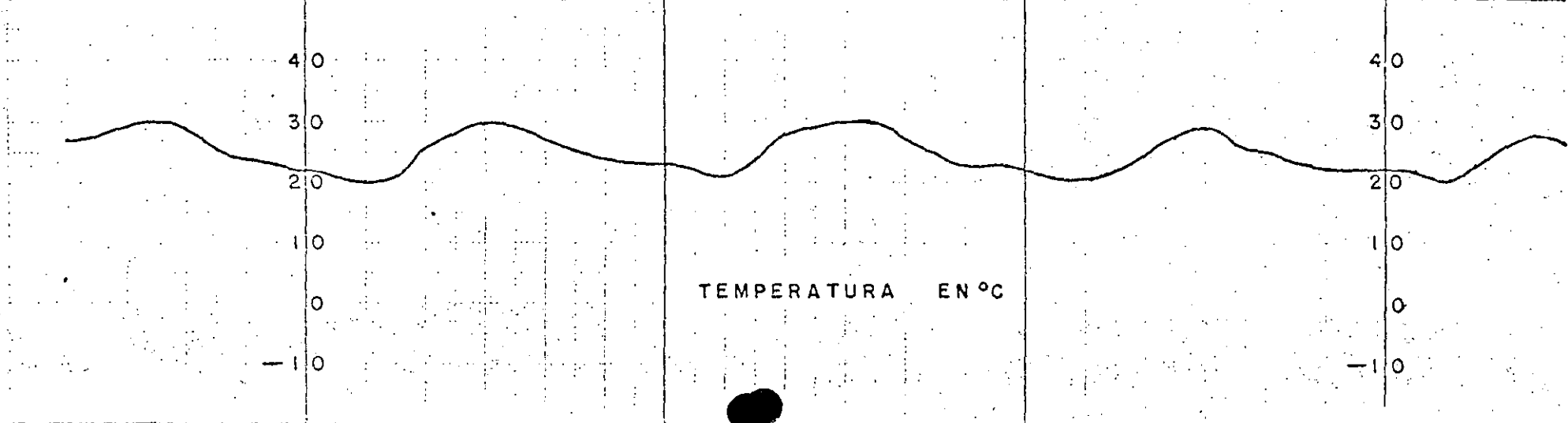


22-VII-74

POZA RICA, VER.

LUNES MARTES MIERCOLES JUEVES VIERNES

8 12 16 20 24 2 4 6 8 12 16 20 24 2 4 6 8 12 16 20 24 2 4 6 8



MIÉRCOLES

MIÉRCOLES

JUEVES

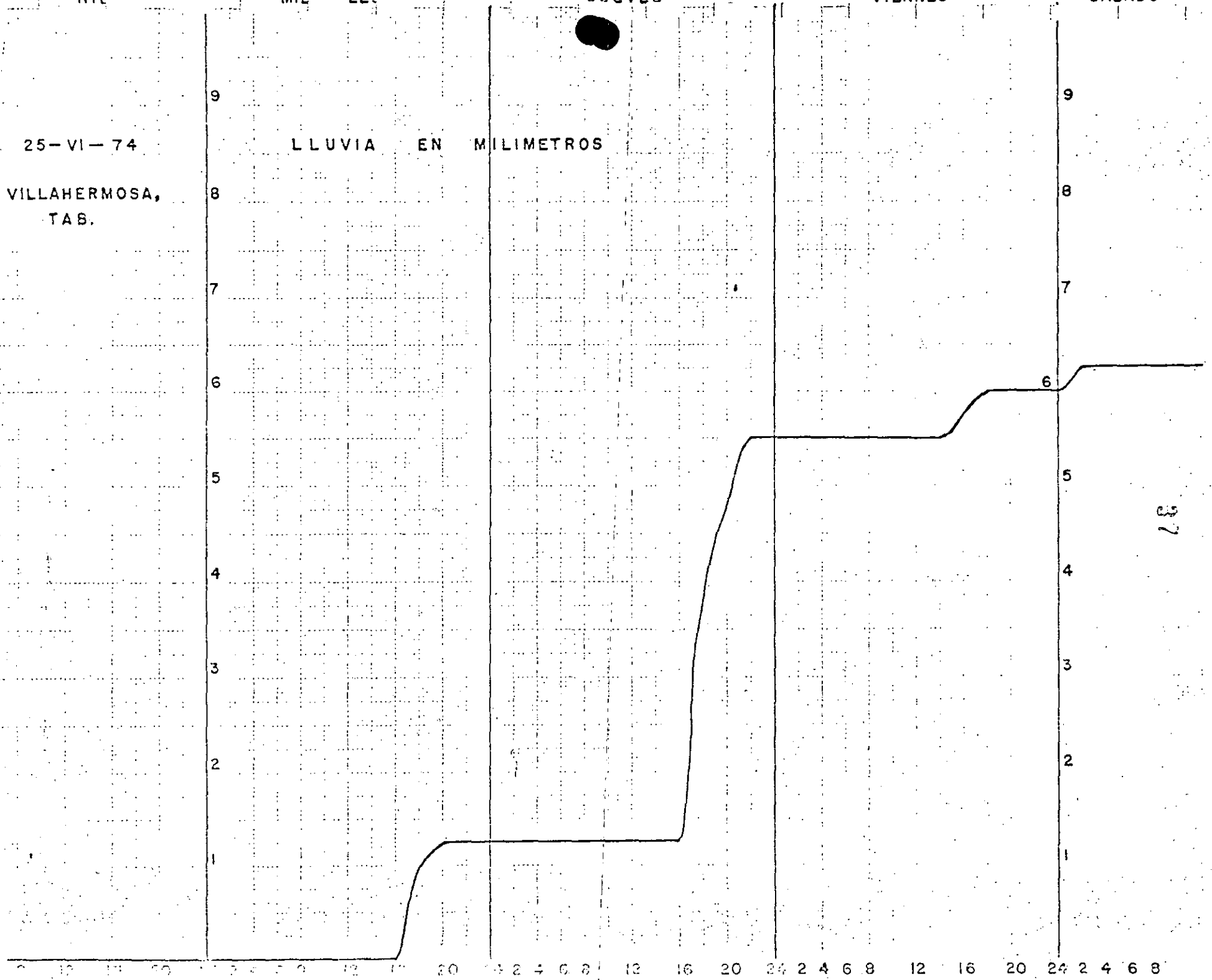
VIERNES

SABADO

25-VI-74

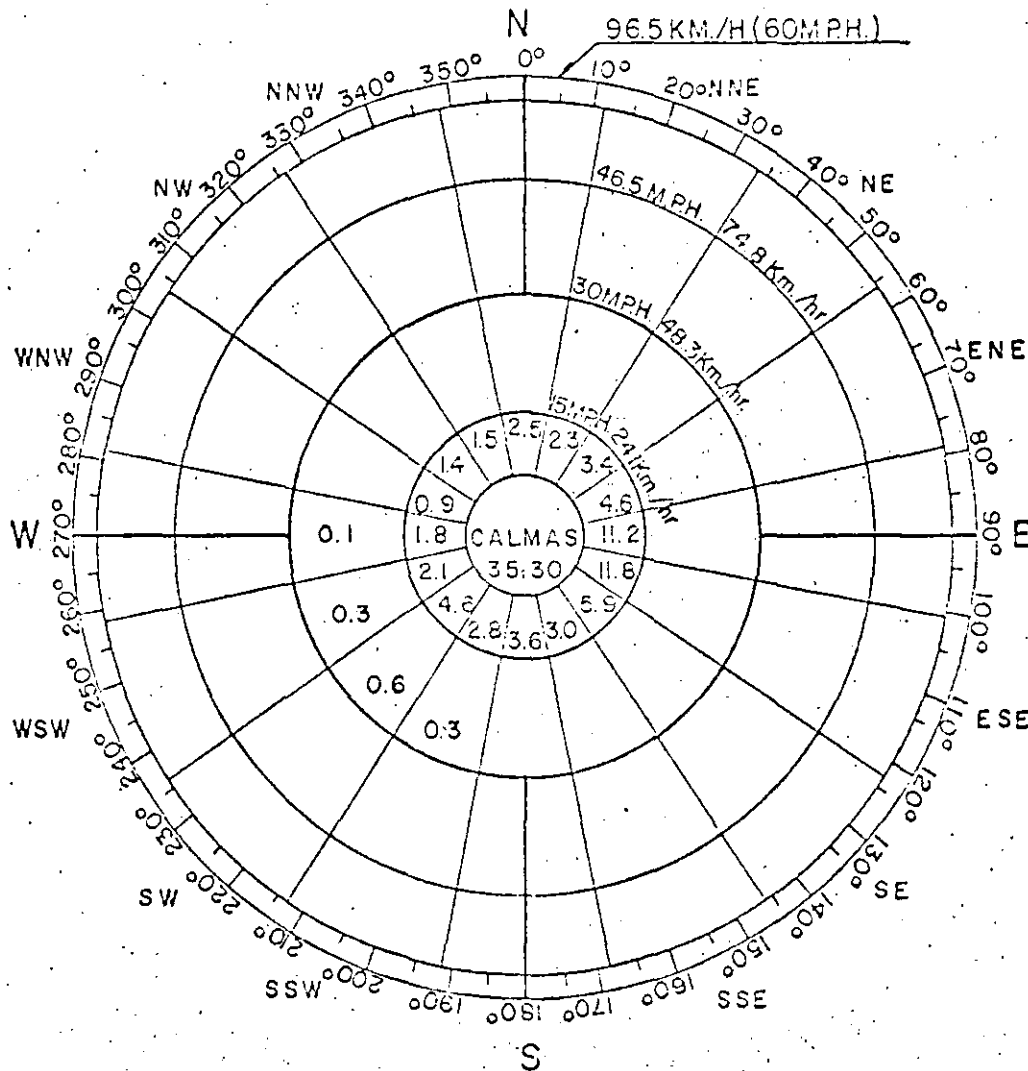
VILLAHERMOSA,  
TAB.

LLUVIA EN MILIMETROS



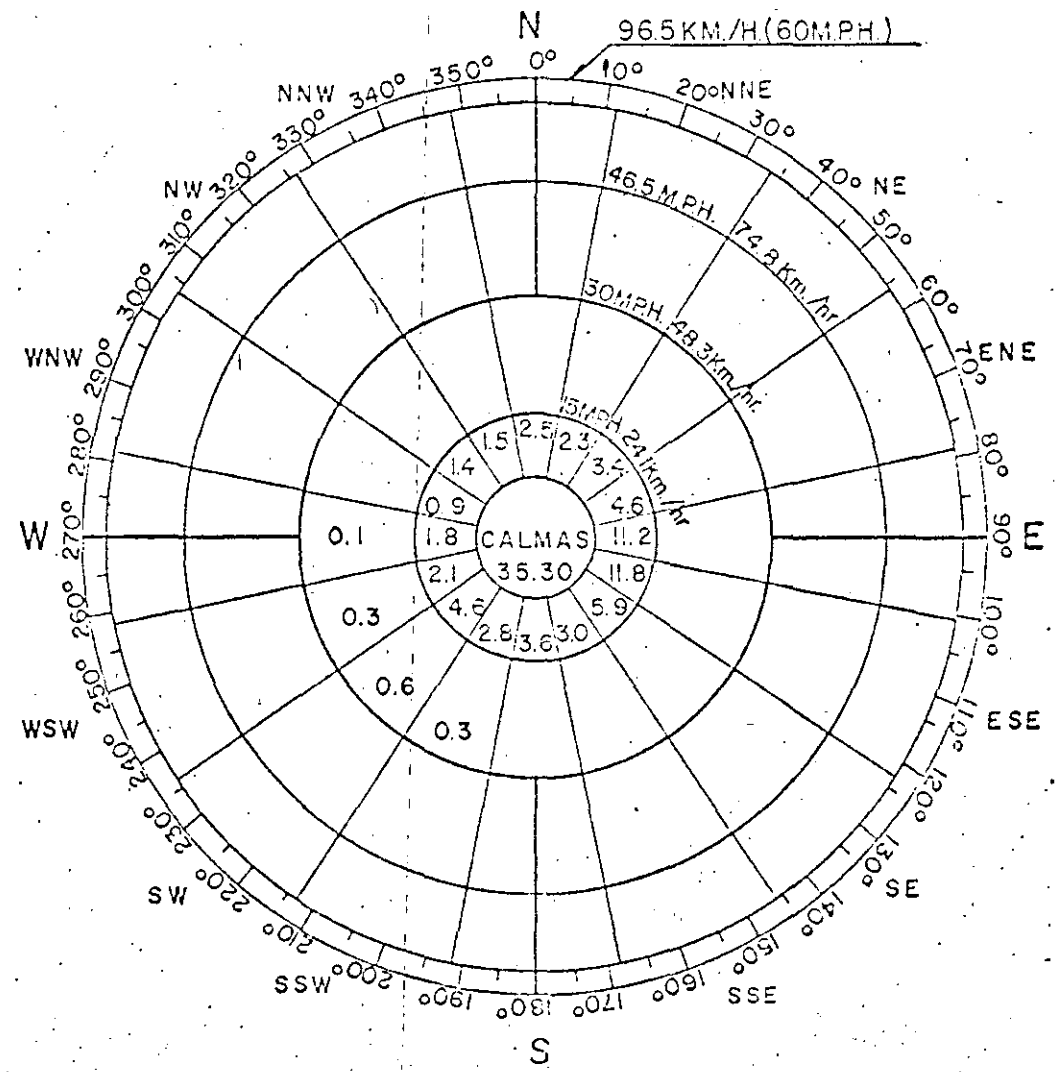
37

DIRECCION DE LA PISTA	18-36 00-18	01-19	02-20	03-21	04-22	05-23	06-24	07-25	08-26	09-27	10-28	11-29	12-30	13-31	14-32	15-33	16-34	17-35
% Calmas y de 0 a 3 M.P.H.	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30
% Vientos de 3.1 a 15 M.P.H.	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40
% Vientos de 15.1 a 30 M.P.H.	0.49	0.76	0.95	1.11	1.19	1.20	1.16	1.04	0.85	0.65	0.48	0.28	0.17	0.12	0.10	0.12	0.20	0.35
% Vientos mayores de 30 M.P.H.																		
% Total Cubierto.	99.19	99.46	99.65	99.81	99.69	99.90	99.86	99.74	99.55	99.35	99.18	99.96	98.87	98.62	98.80	98.82	98.90	99.06



SAN LUIS POTOSI, S. L. P.

DIRECCION DE LA PISTA	18-36 00-18	01-19	02-20	03-21	04-22	05-23	06-24	07-25	08-26	09-27	10-28	11-29	12-30	13-31	14-32	15-33	16-34	17-35
% Calmas y de 0 a 3 M.P.H.	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30
% Vientos de 3.1 a 15 MPH	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40
% Vientos de 15.1 a 30 MPH	0.49	0.76	0.95	1.11	1.19	1.20	1.16	1.04	0.85	0.65	0.48	0.28	0.17	0.12	0.10	0.12	0.20	0.33
% Vientos mayores de 30 MPH																		
% Total Cubierto.	99.19	99.46	99.65	99.81	99.69	99.90	99.86	99.74	99.55	99.35	99.18	99.93	98.27	92.62	95.80	92.82	98.90	99.02



26



S O P	DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS		D PTO. DE PROYECTOS		OF EDCY PROY. AERONAUTICO		SECCION. METEOROLOGIA		AEROPUERTO																		
									SAN LUIS POTOSI, S. L. P.																		
									PERIODO DE OBSERVACION																		
CALCULO DE PORCENTAJES PARA VIENTOS DIRECTOS									JULIO-70 - D.C.E. - FEB-73																		
RUMBO	RANGO LECT.	RANGO LECT.	RANGO LECT.	RANGO LECT.	PORCENTAJES CUBIERTOS EN CADA RUMBO																						
					01-19	02-20	03-21	04-22	05-23	06-24	07-25	08-26	09-27	10-28	11-29	12-30	13-31	14-32	15-33	16-34	17-35						
N	711	2.45	2.5	2	0000	0			0.000	0.25	0.25	1.53	0.42								0.42	1.53	2.50				
NNE	665	2.30	2.3	6	0020	0			0.000	1.15	2.17	2.30	2.30	1.66	0.64									2.30			
NE	973	3.37	3.4	1	0000	0			0.000			1.32	2.83	3.40	3.40	2.83	1.32										
ENE	1314	4.55	4.6						0.000				1.28	3.32	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60			
E	3222	1.87	1.8	1	0000	0			0.000					1.87	6.84	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20			
ESE	3405	1.83	1.8	12	0040	0			0.000					0.65	5.90	11.14	11.14	11.14	11.14	11.14	11.14	11.14	11.14	11.14			
SE	1702	3.97	3.9						0.000												2.30	4.91					
SSE	874	3.75	3.0						0.000	1.50	0.17												0.83	2.17			
S	1032	3.58	3.6	7	0020	0			0.000	3.60	3.60	2.20	0.60										0.60	2.20			
SSW	758	2.70	2.8	73	025	0.3	1	0000	0	1.55	2.93	3.10	3.10	2.24	0.86								0.60	2.24			
SW	334	4.62	4.6	173	060	0.6	2	0000	0			2.02	4.33	5.20	5.20	4.33	2.02										
WSW	619	2.47	2.1	70	024	0.3	2	0000	0			2.02	1.73	0.67	1.73												
W	517	1.79	1.8	18	004	0.1			0.000					0.32	1.16	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90			
WNW	251	2.1	2.0	6	000	0			0.000												0.05	0.45	0.85	0.90			
NW	413	1.43	1.4	10	004	0			0.000												0.54	1.17	1.40	1.40			
NNW	426	1.47	1.5	1	0000	0			0.000	0.75	0.08												0.42	1.08			
CLIMAS	3256	1.46	1.3	380	1.38	1.3	5	0047	0	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30			
NOTAS: Con un promedio de 23 lecturas diarias										46.35	46.75	47.77	48.88	49.75	50.45	51.65	53.64	55.71	58.25	60.77	58.84	56.27	53.02	49.33	46.90	46.30	45.58
NOTAS: RANGO DE CALMAS = 10177										RANGO DE CALMAS = 128818										FACTOR % = 100.00/4 = 0.00347							

S. O. P.	DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS		OFNA. DE PROY. AERONAUTICOS		SECCION DE METEOROLOGIA		AEROPUERTO																													
			SAN LUIS POTCSI, S.L.P.																																			
			PERIODO DE OBSERVACIONES																																			
			JULIO-70 - DICIEMBRE-73																																			
CALCULO DE VIENTOS CRUZADOS																																						
PERCENTUALES			18-19		02-20		03-21		04-22		05-23		06-24		07-25		08-26		09-27		10-28		11-29		12-30		13-31		14-32		15-33		16-34		17-35			
RANGOS			R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.	R. I.	R. II.				
N			X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00		
NNE			X.05	X.04	X.00	X.05	X.00	X.00	X.08	X.00	X.06	X.08	X.09	X.05	X.00	X.03	X.07	X.00	X.09	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	
NE			X.03	X.00	X.06	X.00	X.02	X.03	X.00	X.08	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	
ENE			X.02	X.00	X.03	X.00	X.03	X.00	X.08	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00
E			X.01	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00
ESE			X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00
SE			X.03	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00
ESE			X.05	X.04	X.03	X.06	X.04	X.03	X.03	X.03	X.04	X.02	X.01	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00
S			X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00
SSW 0.3			X.04	X.04	X.00	X.05	X.00	X.00	X.03	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04	X.04
SW 0.6			X.03	X.06	X.00	X.02	X.03	X.00	X.08	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00
WSW 0.3			X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00
W 0.1			X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00
WNW			X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00
NW			X.03	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00
NNW			X.05	X.04	X.04	X.06	X.04	X.03	X.03	X.03	X.04	X.02	X.01	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00	X.00
CALMAS			35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	35.30	
RANGO I			63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	63.40	
RANGO II			0.49	0.76	0.95	1.11	1.19	1.20	1.16	1.04	0.85	0.65	0.48	0.23	0.17	0.12	0.10	0.12	0.20	0.32																		
TOTALES			99.19	99.46	99.65	99.81	99.89	99.90	99.86	99.74	99.55	99.35	99.18	98.98	98.87	98.82	96.20	98.82	98.90	99.06																		

01-115-303  
 02-115-214  
 03-115-303



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

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE  
MAYO.  
MEXICO, D.F.

PROYECTO AERONAUTICO

ING. HECTOR MARTINEZ SANDOVAL

PROYECTO AERONAUTICO

TEMAS:

- 1.- EVALUACION Y SELECCION DEL EMPLAZAMIENTO DEL AEROPUERTO
- 2.- CALCULO DE LONGITUDES DE PISTA PARA DESPEGUE Y ATERRIZAJE
- 3.- SUPERFICIES LIMITADORAS DE OBSTACULOS
  - a) Normas OACI
  - b) Normas TERPS
- 4.- PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES TERPS
  - a) Aterrizajes (VOR/DME e ILS)
  - b) Despegues
  - c) Aproximaciones fallidas
- 5.- DISEÑO DE FILETES
- 6.- SEÑALAMIENTO
  - a) Horizontal
  - b) Vertical
  - c) Horizontal para plataformas

EXPOSITOR: ING. HECTOR MARTINEZ SANDOVAL

CAPITULO 5. - EVALUACION Y SELECCION DEL EMPLAZAMIENTO DEL AEROPUERTO

	<u>Página</u>
5.1 De qué se ocupa este Capítulo	1-47
5.2 Determinación general de la superficie necesaria	1-48
5.3 Factores que influyen en el emplazamiento del aeropuerto	1-53
5.4 Estudio preliminar de los posibles emplazamientos	1-54
5.5 Inspección de los emplazamientos	1-54
5.6 Estudio ecológico	1-59
5.7 Examen de los emplazamientos posibles	1-59
5.8 Preparación de planos esquemáticos y cálculo de los gastos e ingresos	1-60
5.9 Evaluación definitiva	1-60
5.10 Informe y recomendaciones	1-61
Bibliografía	1-61

5.1.- De qué se ocupa este Capítulo

La construcción de un nuevo aeropuerto o la ampliación de uno ya existente, exige grandes inversiones de capital y la ejecución de trabajos de gran envergadura. Para evitar que quede prematuramente anticuado y que no se derrochen valiosos recursos financieros y materiales, es importante que su vida útil sea lo más dilatada posible. Para lograr este fin, debería contarse con suficiente terreno para llevar a cabo las progresivas ampliaciones, al mismo ritmo al que crezca la demanda de tráfico aéreo. A fin de que la inversión rinda los máximos beneficios, además de disponer de suficiente terreno, es igualmente necesario velar por la seguridad de las operaciones aeronáuticas y evitar peligros o molestias a las poblaciones vecinas, sin coartar el crecimiento y la eficacia del aeropuerto. Por consiguiente, deberían elegirse emplazamientos en los terrenos que ofrezcan las máximas posibilidades de ampliación a largo plazo, con las mínimas cargas financieras y sociales.

El punto de partida en la selección del emplazamiento de un aeropuerto o en la evaluación de la conveniencia de un emplazamiento existente, consiste en determinar la finalidad a la que debe destinarse el aeropuerto. Para ello, deben considerarse las previsiones de la futura demanda y el volumen y tipo de tráfico que haya que atender, detalles que deben obtenerse de los pronósticos operacionales y económicos (Capítulo 3). A continuación, es necesario determinar el tipo de aeropuerto y los sistemas operacionales, para efectuar los pronósticos del tráfico de pasajeros y de mercancías. A base de esta información, el verdadero método de selección del emplazamiento se divide en varias etapas principales, que comienzan con la determinación de la forma y dimensiones del área necesaria para el aeropuerto, el emplazamiento de las zonas que ofrecen posibilidades de ampliación, y el examen y evaluación de dichos emplazamientos.

### 5.1.1 Etapas principales del proceso de evaluación y selección del emplazamiento

Las etapas principales de toda evaluación o selección del emplazamiento, ya sea de un aeropuerto existente o de uno de nueva planta son, entre otras, las siguientes:

- a) Determinación general de la extensión de terreno necesaria
- b) Situación de los emplazamientos
- c) Estudio preliminar, sobre papel, de los emplazamientos probables
- d) Inspección del terreno
- e) Examen de los posibles emplazamientos
- f) Preparación de los planos esquemáticos y cálculo de gastos e ingresos
- g) Evaluación y selección definitiva
- h) Informe y recomendaciones

### 5.2.- Determinación general de la superficie necesaria

Antes de proceder a la inspección de cualquiera de los emplazamientos probables, incluso de los existentes, es necesario determinar, en líneas generales, la extensión de terreno que probablemente se necesitará. Para ello, se considera el espacio necesario para la ampliación de las pistas que, por lo general, constituyen la mayor parte del terreno exigido por un aeropuerto. A este fin, deben examinarse los siguientes factores:

Longitud de las pistas

Orientación de las pistas

Número de pistas

La combinación de la longitud, número y orientación de las pistas para trazar a grandes rasgos la configuración de las mismas, a efectos de calcular aproximadamente el orden de magnitud del terreno necesario.

#### 5.2.1 Longitud de las pistas

El Manual de proyecto de aeródromos de la OACI, Parte I - Pistas, contiene una explicación de los parámetros que afectan a la longitud de las pistas, junto con nomogramas para calcular la longitud de las mismas en función de determinados tipos de aeronaves, a efectos de la planificación de un aeropuerto. Asimismo, explica el concepto de utilizar una combinación de pista, zona de parada y zona libre de obstáculos, como una de las etapas de la ampliación a largo plazo.

A fin de no imponer innecesariamente limitaciones de utilización a las aeronaves ni de incurrir en gastos desproporcionados de construcción y mantenimiento, debería preverse suficiente espacio para que las pistas puedan ampliarse de acuerdo con las necesidades a largo plazo. En consecuencia, es importante conocer las características de performance de las aeronaves críticas actuales y futuras, es decir, las que presentan las máximas exigencias dentro del grupo general de las que se prevé que utilizarán el aeropuerto. Aun en el caso de que las aeronaves cuya entrada en servicio esté prevista dentro de un futuro próximo no exigieran, para efectuar etapas de longitud similar, pistas más largas que las grandes aeronaves civiles actuales, es preciso tener presente factores tales como la posibilidad de que se efectúen vuelos directos más largos y de que se releguen a rutas secundarias los aviones de gran tonelaje actuales, lo que impondría la necesidad de ampliar y renovar las pistas.

A los efectos de la planificación a largo plazo, no pueden definirse con certeza los pormenores de la longitud necesaria de las pistas. No obstante, la planificación sería sumamente deficiente si no se previese un margen razonable para el futuro y no se adquiriese ó reservase terreno suficiente para la máxima ampliación de las pistas, incluso la protección de las aproximaciones y la instalación de las correspondientes ayudas visuales y radioayudas (no visuales) para la navegación. Al considerar las necesidades a largo plazo, debería recabarse asesoramiento de los explotadores en lo que concierne a las características de utilización de sus futuras aeronaves. Aunque probablemente no se utilice toda la extensión de terreno reservada para su utilización a largo plazo, los errores de cálculo por defecto pueden resultar posteriormente insolubles.

### 3.2.2 Orientación de las pistas

En el Anexo 14 - Aeródromos, Capítulo 3 y Adjunto B, figuran detalles sobre los diversos aspectos relativos a la orientación de las pistas.

En términos generales, las pistas deben estar orientadas de manera que las aeronaves no tengan que pasar sobre zonas pobladas y eviten los obstáculos. Siempre que todos los demás factores no varíen, deberían estar orientadas en la dirección del viento predominante, en el caso de que éste sople persistentemente en una dirección.

Por regla general, la pista principal de un aeropuerto debería estar orientada, en la mayor medida posible, en la dirección del viento predominante. Durante el aterrizaje y el despegue, las aeronaves pueden maniobrar en una pista siempre que la componente del viento en ángulos rectos a la dirección del movimiento de la aeronave (definida como viento transversal) no sea excesiva. El viento transversal máximo permisible depende no solamente del tamaño de la aeronave, sino también de la configuración alar y también del estado de la superficie pavimentada. Las aeronaves de transporte pueden maniobrar en vientos transversales de una velocidad máxima de 30 nudos, pero es bastante difícil hacerlo, por lo que en la planificación de aeropuertos, se utilizan valores inferiores.

En el anexo 14 se recomienda que el número y orientación de las pistas de un aeródromo deberían ser tales que el coeficiente de utilización del aeródromo no sea inferior al 95% para los aviones que el aeródromo esté destinado a servir.

#### Elección de la componente transversal máxima admisible del viento.

37 km/h (20 kt), cuando se trata de aviones cuya longitud de campo de referencia es de 1 500 m o más, excepto cuando se presenten con alguna frecuencia condiciones de eficacia de frenado deficiente en la pista debido a que el coeficiente de fricción longitudinal es insuficiente, en cuyo caso debería suponerse una componente transversal del viento que no exceda de 24 km/h (13 kt);

24 km/h (13 kt) en el caso de aviones cuya longitud de campo de referencia es de 1 200 m o mayor de 1200 pero inferior a 1 500 m; y

19 km/h (10 kt) en el caso de aviones cuya longitud de campo de referencia es inferior a 1 200 m.

Una vez elegida la componente máxima transversal del viento permisible, puede determinarse la orientación más conveniente de las pistas para tener en cuenta los vientos, examinando las características de los mismos en lo que respecta a las condiciones siguientes:

- a) todos los vientos, cualquiera que sea la visibilidad o el techo de nubes, y
- b) las condiciones del viento cuando el techo se encuentra entre 61 m (200 pies) y 305 m (1 000 pies) y(o) la visibilidad es de 0,8 km (1/2 milla) a 4,8 km (3 millas).

La primera condición representa toda la gama de visibilidad, desde excelente a muy deficiente. La segunda representa varios grados de visibilidad deficiente que exigen la utilización de instrumentos para el aterrizaje. Cuando la visibilidad es limitada, es importante conocer la fuerza del viento. Normalmente, cuando la visibilidad se acerca a 0,8 km y el techo es de 61 m, hay muy poco viento y por consiguiente la niebla, la calima, el humo y la niebla mezclada con humo, reducen la visibilidad. A veces, la visibilidad puede ser sumamente deficiente y aún así no haber un techo de nubes apreciable; tal vez, incluso, ni siquiera haya nubes. La niebla, calima, humo, etc., constituyen ejemplos de esta condición.

El criterio del "95%" recomendado por la OACI es aplicable a todas las condiciones meteorológicas, pero, pese a ello, no deja de ser conveniente examinar los datos separadamente, siempre que sea posible.

Los registros meteorológicos pueden obtenerse normalmente de las oficinas meteorológicas estatales. Las velocidades se dividen generalmente en incrementos de 22,5° (16 puntos de la brújula). Dichos registros contienen el porcentaje del tiempo en que se producen determinadas combinaciones de techo de nubes y visibilidad (por ejemplo, techo: de 500 a 274 m; visibilidad, 4,8 a 9,7 km), y el porcentaje del tiempo en que predominan vientos de determinada velocidad, procedentes de distintas direcciones; por ejemplo, NNE: de 2,6 a 4,6 nudos (de 4 a 7 mph). Las direcciones se indican en relación con el norte verdadero.

Frecuentemente, no se han registrado los datos relativos a los vientos predominantes en un emplazamiento totalmente nuevo. De ser así, deberían consultarse los registros de las estaciones meteorológicas cercanas. Si el terreno circundante es bastante llano, los registros de dichas estaciones deberían indicar las características de los vientos predominantes en el emplazamiento del aeropuerto propuesto. No obstante, si el terreno es accidentado, la configuración de los vientos viene dictada por la topografía y es peligroso utilizar los registros de las estaciones situadas a cierta distancia. En este caso, puede ser útil estudiar la topografía de la región y consultar a los que la habitan desde hace tiempo.

La orientación de las pistas puede determinarse gráficamente como se indica a continuación. Supongamos que los datos relativos al viento, en todas las condiciones de visibilidad, son los indicados en la Tabla 5-1.

Partiendo de estos datos puede trazarse una rosa de los vientos, como la de la Figura 5-1.

El porcentaje de vientos que corresponde a una dirección y velocidad determinadas, se marca en el sector apropiado de la rosa de los vientos. Utilizando una franja de material transparente, en la que se hayan trazado tres líneas paralelas e igualmente espaciadas entre sí, puede determinarse la orientación óptima de las pistas. La línea central representa el eje de la pista y la distancia entre las dos líneas exteriores es, a escala, el doble de la componente transversal del viento permisible (en el ejemplo, 19,9 nudos ó 30 mph).

La franja transparente se coloca encima de la rosa de los vientos, de tal manera que la línea central de la franja pase por el centro de la misma. Utilizando el centro de ésta como eje de rotación, se hace girar la franja transparente hasta que la suma de los porcentajes comprendidos entre las líneas exteriores sea un máximo. Cuando una de las líneas exteriores de la franja transparente divide un segmento de dirección del viento, la parte fraccionaria se calcula visualmente al 0,1% más próximo. Este procedimiento no va en menoscabo de la precisión de los datos relativos al viento.

El paso siguiente consiste en leer la marcación de la pista en la escala exterior de la rosa de los vientos, en el punto en que la línea central de la franja transparente cruza la escala de direcciones. Debido al hecho de que en los datos publicados sobre el viento se utiliza el norte verdadero, normalmente esta marcación será distinta de la utilizada en la numeración de

Tabla 5-1

## Porcentaje de los vientos

Dirección del viento	4-15 mph	15-31 mph	31-47 mph	Total
N	4,8	1,3	0,1	6,2
NNE	3,7	0,8	---	4,5
NE	1,5	0,1	---	1,6
ENE	2,3	0,3	---	2,6
E	2,4	0,4	---	2,8
ESE	5,0	1,1	---	6,1
SE	6,4	3,2	0,1	9,7
SSE	7,3	7,7	0,3	15,3
S	4,4	2,2	0,1	6,7
SSW	2,6	0,9	---	3,5
SW	1,6	0,1	---	1,7
WSW	3,1	0,4	---	3,5
W	1,9	0,3	---	2,2
WNW	5,8	2,6	0,2	8,6
NW	4,8	2,4	0,2	7,4
NNW	7,8	4,9	0,3	13,0
Viento en calma		0-4 mph		4,6
Total				100,0%



las pistas, que se basa en la marcación magnética. En cuanto a la Figura 5-1, se observará que una pista cuya orientación sea de 150 a 330° (S30°E verdadero) podrá utilizarse el 95% del tiempo con componentes transversales del viento que no excedan de 10 nudos o 15 mph.

Hasta ahora, hemos hablado de este procedimiento aplicándolo a un valor máximo de las componentes transversales del viento de 10 nudos o 15 mph. No obstante, también puede utilizarse para obtener estimaciones de los vientos cuyo valor máximo de las componentes transversales sea distinto. Los círculos concéntricos de la rosa de los vientos están trazados a escala y representan los valores máximos de los datos relativos a la velocidad del viento. Supongamos que el valor máximo es de 8 nudos en vez de 10 nudos (12 en vez de 15 mph). En ese caso, las dos líneas paralelas que representan la componente máxima del viento transversal permisible de 10 nudos o 15 mph no son tangentes al círculo de 8 nudos o 12 mph, sino que estarán fuera del mismo. En ese caso, debe calcularse el segmento de porcentaje fraccional que se encuentra entre el círculo de 8 nudos (12 mph) y las líneas paralelas de 10 nudos (15 mph), y agregarse al segmento de porcentaje que está entre el círculo de 8 nudos (12 mph) y las líneas paralelas de 10 nudos (15 mph) y agregarse al segmento de porcentaje situado entre el círculo de 8 nudos (12 mph).

5.2.2.1 Análisis del viento en condiciones de escasa visibilidad

Seguidamente deben examinarse los datos relativos al viento en condiciones de escasa visibilidad, mencionadas anteriormente, y trazar una rosa de los vientos que corresponda a esta condición. Gracias a este análisis puede determinarse si las pistas pueden admitir aeronaves, por lo menos el 95% del tiempo, cuando la visibilidad es escasa. El análisis proporcionará, asimismo, información sobre el porcentaje del tiempo total en que predominan dichas condiciones. En la Figura 5-2 se da un ejemplo de la manera en que se presentan, en forma de tabla, los datos relativos a las condiciones de escasa visibilidad. En ella se indican las observaciones de los vientos efectuadas únicamente en una dirección de la brújula, en este caso del nordeste. El número total de observaciones, para todas las direcciones de la brújula, es de 24 081, de las cuales 1 106 corresponden a vientos del nordeste. Para completar el análisis, tendrían que trazarse cartas de este tipo para otras direcciones de la brújula. A efectos del ejemplo, se partió del supuesto de que un techo de 950 pies equivalía a 1 000 pies. El número 7 rodeado de un círculo significa que se hicieron siete observaciones cuando el viento era del nordeste, de velocidades que oscilaban de 5 a 9 mph, el techo estaba comprendido entre 0 y 150 pies, y la visibilidad entre 0 y 1/4 de milla. La parte marcada con líneas entrecruzadas se ciñe a los criterios anteriormente citados, con respecto al techo y a la visibilidad.

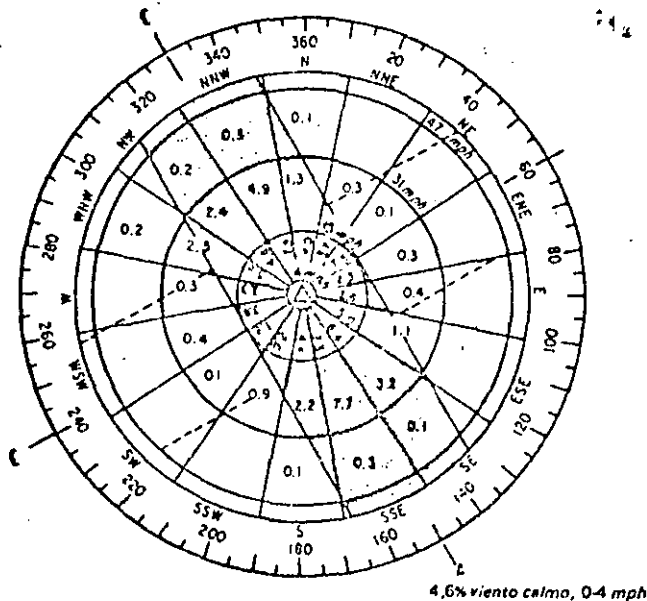


Figura 5-1. ROSA DE LOS VIENTOS TÍPICA

Viento NE		Total de observaciones 24 (31)							
Grupos de techos (pies)	Grupos de velocidades (millas)	Visibilidad-millas							Total Obs.
		0-1/4	1/4-1/2	1/2-3/4	3/4-1	1-1-1/2	1-1/2-3	3+	
1000	01-04	4		1	2	4	14	202	227
	05-09	1	5	1	1	6	17	383	416
	10-14	2			1		5	277	285
	15-30							114	114
	30+								
	Total	7	5	2	6	10	36	976	1042
600 hasta 900	01-04		1			1		1	3
	05-09			1	1	1	1	8	12
	10-14				1		3	4	8
	15-30								
	30+								
	Total		1	1	2	2	4	13	23
500	01-04			1				1	2
	05-09						2		2
	10-14								
	15-30								
	30+								
	Total			1			2	1	4
400	01-04			1					1
	05-09				1	1	2		4
	10-14						1		1
	15-30								
	30+								
	Total			1	1	1	3		6
300	01-04	1	1		1	1	1		5
	05-09	1						1	2
	10-14						1	1	2
	15-30								
	30+								
	Total	2	1		1	1	2	2	9
200	01-04					1			1
	05-09	1	1	1			1	1	5
	10-14						1		1
	15-30				1				1
	30+								
	Total	1	1	1	1	1	2	1	8
100	01-04	3							3
	05-09	7	1						8
	10-14		3						3
	15-30								
	30+								
	Total	10	4						14
	% por grupos de velocidades		1-4 ml. 10	5-9 19	10-14 12	15-29 5	30 ml.		

Observaciones que deben considerarse debido a las condiciones del techo.

Observaciones que deben considerarse debido a las condiciones de visibilidad.

Observaciones que deben considerarse debido a las condiciones del techo y de visibilidad.

Figura 5-2. EJEMPLO DE DATOS PARA ANALIZAR LOS VIENTOS PREDOMINANTES EN UNA DIRECCION DETERMINADA DURANTE PERIODOS DE ESCASA VISIBILIDAD

5.2.3 Número de pistas

En el Anexo 14 - Aeródromos, Capítulo 3 y Adjunto B, se da información relativa a los factores que afectan al número de pistas.

Se necesita un número suficiente de pistas para satisfacer las exigencias del tránsito previsto, es decir, el número de aeronaves, la variedad de tipos de éstas y la combinación de llegadas y salidas que pueden admitirse en una hora durante los períodos de máxima actividad.

El 95% de utilización especificado en el Anexo 14, en lo que se refiere a la velocidad del viento transversal en la superficie, constituye un mínimo. En los aeropuertos muy activos, la imposibilidad de funcionar durante el período remanente del 5%, valor que corresponde aproximadamente a 18 días por año, puede representar un serio inconveniente. En consecuencia, además de las pistas principales, tal vez sea necesario prever una o más pistas adicionales para poder admitir las aeronaves en condiciones de viento transversal fuerte. Pueden proporcionarse pistas secundarias en el caso de que se considere probable que los trabajos de mantenimiento del aeropuerto puedan interrumpir la regularidad del servicio aéreo. No obstante, como las pistas para vientos transversales se utilizarían solamente con fuertes componentes de viento frontal, pueden ser considerablemente más cortas que las pistas principales.

5.3.- Factores que influyen en el emplazamiento del aeropuerto

Una vez hecha la evaluación general del terreno necesario, a base de un trazado provisional que pueda satisfacer las exigencias del plan general del aeropuerto, se inicia la recopilación de antecedentes. Esta información puede ser igualmente útil al evaluar un emplazamiento existente o el previsto para un nuevo aeropuerto. Los factores acerca de los cuales debería recopilarse información son, entre otros, los siguientes:

- a) Actividad aeronáutica - Consultar a los explotadores de aeronaves, confirmados y posibles, y a las asociaciones de pilotos.
- b) Desarrollo de la zona circundante - Establecer contacto con las autoridades y entidades de planificación, a fin de obtener planos de la utilización, presente y futura, de los terrenos.
- c) Condiciones atmosféricas - Obtener datos acerca de la presencia de niebla, calima, humo, etc., que puedan reducir la visibilidad y, en consecuencia, la capacidad del aeropuerto.

Preparar una lista de todos los factores meteorológicos locales, de carácter especial; por ejemplo, variaciones climatológicas, vientos predominantes, niebla, nubes bajas, precipitación lluviosa, nieve, turbulencia, etc.

- d) Accesibilidad al transporte de superficie - Observar el emplazamiento de las carreteras, vías férreas y rutas de transporte público.
- e) Disponibilidad de terrenos para ampliar un aeropuerto existente o construir uno nuevo - Es necesario disponer de terreno adecuado para futuras ampliaciones.

Estudiar mapas aeronáuticos, geográficos, de carreteras y topográficos, así como fotografías aéreas, etc.

Estudiar mapas topográficos para determinar las zonas que presentan pendientes y drenajes adecuados.

Examinar mapas geológicos que muestren la distribución de los diversos tipos de suelo y de rocas. Determinar el emplazamiento y disponibilidad de materiales de construcción, canteras, etc.

Determinar el valor general de los terrenos, según las diversas zonas y su utilización (residencial, agrícola, ganadera, industrial, etc.).

- 9
- f) Topografía - Observar los factores importantes que repercutan en el precio de la construcción, tales como la necesidad de excavar o rellenar, condiciones de drenaje y deficiencias del terreno.
  - g) Medio ambiente - Observar el emplazamiento de las zonas naturales reservadas a la flora y fauna y las destinadas a refugios migratorios, así como también de las sensibles al ruido, por ejemplo, escuelas y hospitales.
  - h) Existencia de otros aeropuertos - Observar el emplazamiento de los aeropuertos y de las rutas ATS existentes, con sus respectivos espacios aéreos, así como todo plan de que se tenga noticia para modificar los mismos en el futuro.
  - j) Disponibilidad de servicios de utilidad pública - Observar las redes principales de distribución de energía eléctrica y de conducción de agua, alcantarillado y gas, servicios telefónicos, abastecimiento de combustible, etc.

#### 5.4.- Estudio preliminar de los posibles emplazamientos

Una vez determinadas las dimensiones aproximadas y tipo del aeropuerto, según se indica en 5.2, y tabulados los factores mencionados en 5.3, es preciso analizar estos datos y, después de haberlo hecho, trazar en cartas y mapas los posibles emplazamientos del nuevo aeropuerto o el terreno adicional necesario para el aeropuerto existente.

La finalidad de este estudio es eliminar los emplazamientos inapropiados o determinar la idoneidad de un emplazamiento existente, antes de iniciar las inspecciones sobre el terreno, siempre costosas.

#### 5.5.- Inspección de los emplazamientos

Después de establecida la lista de todos los emplazamientos probables que se consideran interesantes para realizar estudios más amplios, es necesario llevar a cabo un reconocimiento completo sobre el terreno y desde el aire, a fin de que sirva de base para evaluar las ventajas e inconvenientes de cada uno de los lugares considerados. Los aeropuertos deberían emplazarse de manera que las aeronaves puedan utilizarse con eficacia y seguridad, en forma compatible desde el punto de vista social y de manera que los gastos de construcción se mantengan al nivel óptimo, teniendo en cuenta todos los factores, entre los cuales los más importantes pueden agruparse según consideraciones operacionales, sociales y económicas.

##### 5.5.1 Consideraciones operacionales

##### 5.5.1.1 Espacio aéreo

El Anexo 14 y el documento titulado "Procedimientos para los servicios de navegación aérea - Operación de aeronaves" de la OACI, contienen información detallada sobre los procedimientos de espera y de aproximación para el aterrizaje y los sistemas y ayudas de aproximación por instrumentos - Procedimientos y franqueamiento de obstáculos.

El espacio aéreo apropiado es tan importante para el funcionamiento eficaz de un aeropuerto, que exige particular atención para cerciorarse de que cada emplazamiento satisface las condiciones a este respecto y, en caso contrario, para determinar la magnitud de cualquier restricción y sus probables efectos. Un lugar situado cerca de un núcleo de demanda, aunque imponga ciertas restricciones al espacio aéreo, puede ser preferible a uno en cuyo espacio aéreo no existen restricciones, pero que, por su situación alejada e difícil acceso, origine una demanda de tráfico limitada o nula. Estos factores tienen que ponderarse para lograr el mejor equilibrio. Cuando dos aeropuertos tengan que compartir el mismo espacio aéreo, tal vez haya que limitar el ritmo del movimiento combinado de aeronaves. En lugar de poder operar de manera totalmente independiente uno de otro, hasta el límite de sus propias posibilidades, será necesario que cada

aeropuerto combine con el otro los movimientos de aeronaves, de manera que se pueda mantener la necesaria separación entre ellas. En consecuencia, los nuevos aeropuertos deberían estar emplazados de manera que se reduzca al mínimo toda superposición del espacio aéreo requerido por las aeronaves que utilizan otros aeropuertos y la consiguiente limitación de la capacidad total. Por la misma razón, es preciso estudiar los posibles emplazamientos de aeropuerto en relación con las rutas ATS, para evitar problemas similares.

#### 5.5.1.2 Obstáculos

En el Anexo 14 - Aeródromos, Capítulo 4 y Adjunto A, figuran detalles de los requisitos relativos a la restricción de obstáculos. El Manual de servicios de aeropuerto, Parte 6 - Limitación de obstáculos, proporciona más información, entre ella un texto de orientación sobre el levantamiento topográfico de obstáculos.

En general, a causa de las grandes extensiones de terreno que abarcan los aeropuertos - 15 km (50 000 pies) a lo largo de los ejes de las pistas, a partir de sus límites, es difícil conseguir terrenos que ofrezcan todos los márgenes deseados y, en consecuencia, tienen que evitarse accidentes del relieve, tales como elevaciones del terreno, árboles y estructuras artificiales que constituyan obstáculos. Es importante mantener un margen de separación con mástil y otras armazones estructurales poco perceptibles porque, pese a que el señalamiento y el balizaje ayudan a distinguirlos, estas medidas no ofrecen una protección total, especialmente cuando la visibilidad es reducida.

Cualquier objeto que limite las trayectorias de vuelo existentes puede limitar la eficiencia de las operaciones. La presencia de estructuras elevadas en áreas (o en sus cercanías) adecuadas bajo los demás conceptos para las aproximaciones por instrumentos, podría obligar a establecer alturas reglamentarias distintas de las normales, con la consiguiente prolongación de los procedimientos de aproximación y la demanda de que se asignen altitudes útiles a las aeronaves en los circuitos de espera conexos. Tales estructuras pueden, por otra parte, limitar la conveniente flexibilidad de las aproximaciones iniciales dirigidas por radar y la posibilidad de efectuar un viraje en ruta durante el ascenso de salida.

Al evaluar las posibilidades de facilitar aproximaciones libres de obstáculos, éstas deberían ponderarse en función de las longitudes máximas de pista previstas en el plan general. Si el emplazamiento es adecuado para las ampliaciones máximas previstas, probablemente impondrá pocas restricciones, caso de haberlas, en las primeras fases del plan.

#### 5.5.1.3 Peligros

Los factores locales pueden tener importancia en lo que respecta a la ubicación de cada uno de los emplazamientos. Los centros industriales, por ejemplo, pueden producir humo que se concentre en determinada dirección bajo el efecto de los vientos predominantes. Debido a ello, en ciertas zonas la visibilidad puede ser limitada, excluyendo así las operaciones VFR. Los emplazamientos adyacentes a reservas destinadas a la fauna, lagos, ríos y zonas costeras, vertederos de basura y bocas de descarga del alcantarillado, etc., pueden no ser adecuados porque existe el peligro de que atraigan a las aves con las que pueden chocar las aeronaves. Este peligro reviste especial importancia cuando se trata de aeronaves rápidas y de gran tonelaje. Asimismo, debe considerarse la situación del emplazamiento en relación con el régimen migratorio y las rutas seguidas por las aves, especialmente las de gran tamaño, tales como los cisnes y los gansos. El Manual de servicios de aeropuertos, Parte 3, contiene información detallada para evaluar el peligro potencial que representan las aves en un emplazamiento.

#### 5.5.1.4 Condiciones meteorológicas

Las condiciones meteorológicas pueden variar considerablemente entre emplazamientos situados en la misma zona. La distribución de los vientos combinada con la visibilidad y el techo de nubes, son elementos de primordial importancia para decidir la orientación de las pistas y tomar medidas en previsión de que las operaciones se realicen en todo tiempo o solamente en condiciones visuales. Ciertas localidades pueden estar sujetas a la formación de niebla, fenómenos de turbulencia, o mayor precipitación lluviosa, lo cual puede restar eficiencia y regularidad a las operaciones.

### 5.5.1.5 Ayudas para la aproximación y el aterrizaje

En el Anexo 14 - Aeródromos, Capítulo 5, y en el Manual de proyecto de aeródromos, Parte 4, se encontrarán detalles sobre las ayudas visuales. El Anexo 10 - Telecomunicaciones Aeronáuticas, contiene referencias relativas al emplazamiento y requisitos en materia de franqueamiento de obstáculos de las radioayudas (no visuales) para la navegación.

Las ayudas para la navegación, la aproximación y el aterrizaje, son elementos esenciales del sistema de transporte aéreo. Las ayudas no visuales (electrónicas) para guía de las aeronaves, especialmente con nubes bajas y poca visibilidad, tienen mayor importancia desde el punto de vista del emplazamiento del aeropuerto, a causa del margen vertical necesario sobre los objetos (líneas de alta tensión, grandes edificios, vehículos en movimiento, etc.), que pueden afectar la seguridad de su funcionamiento. Deben emplazarse en relación con el aeropuerto, el espacio aéreo y las trayectorias de vuelo de las aeronaves a que han de servir, y los lugares considerados deberían comprender áreas idóneas para su instalación.

### 5.5.2 Consideraciones de carácter social

Es preciso elegir con gran cuidado el emplazamiento de los aeropuertos en relación con las zonas pobladas circundantes y las pistas deberían orientarse de manera que las trayectorias de vuelo no pasen sobre centros habitados, mientras las aeronaves se encuentren por debajo de ciertas alturas. Pero, por otra parte, es también necesario que los aeropuertos estén situados cerca de las ciudades o de las zonas comerciales a las que sirven. Por lo general, será preciso llegar a una solución intermedia entre estos dos principios antagónicos, para encontrar el emplazamiento que, en conjunto, presente las mayores ventajas.

#### 5.5.2.1 Proximidad con respecto a los centros de demanda

Los aeropuertos deberían estar convenientemente situados desde el punto de vista de la distancia y el tiempo necesario para poder trasladarse a ellos desde los núcleos de población existentes y futuros, así como desde las zonas comerciales e industriales que estén destinados a servir. Por consiguiente, es preciso considerar el posible lugar de emplazamiento desde el punto de vista general de los pasajeros, expedidores de mercancías, explotadores de aeronaves y personal empleado, mano de obra, etc. La conveniencia del emplazamiento de un aeropuerto con relación a las zonas que sirve, puede medirse en función del tiempo y el precio del viaje hasta el mismo. A título de guía, para evaluar las ventajas relativas de determinados emplazamientos, se pueden trazar gráficos que indiquen el tiempo invertido por los diversos medios de transporte, en relación al centro de las distintas zonas de demanda. Por ejemplo, considerando el transporte por carretera y los límites de velocidad impuestos en las carreteras que enlacen las zonas de demanda, se pueden trazar las curvas de tiempo en incrementos adecuados, de unos cinco a diez minutos, tanto para el presente como para el futuro.

#### 5.5.2.2 Facilidad de acceso por tierra

Para que un aeropuerto pueda prestar servicios eficientes, es indispensable que los pasajeros y las mercancías tengan acceso rápido y cómodo al mismo. Los posibles emplazamientos que cuenten con sistemas de transporte ineficientes o inadecuados, que no permitan la circulación uniforme del tráfico en todo momento, exigirán desembolsos para remediar estas deficiencias. En igualdad de condiciones, son preferibles los emplazamientos que estén comunicados por una red de carreteras apropiada y, cuando corresponda, por ferrocarriles y vías navegables.

En las primeras etapas de la investigación, debería comunicarse a las dependencias oficiales encargadas de los sistemas de transporte público y por carretera, toda propuesta de construcción de un nuevo aeropuerto y de obras importantes de ampliación de los ya existentes. Debería recabarse su asistencia para obtener detalles de las instalaciones existentes y de las mejoras previstas. Con ello se logrará que dichas dependencias estén debidamente informadas y se creará un clima propicio a la colaboración futura.

Cuando el tiempo invertido en el viaje por tierra sea aproximadamente igual entre varios emplazamientos posibles, el precio del viaje será el factor determinante. La comodidad de los pasajeros que se trasladan al aeropuerto por medios de superficie es, igualmente, un aspecto que merece detenido estudio. Por ejemplo, una autopista de varias vías, con un número limitado de intersecciones, es evidentemente preferible a una carretera congestionada, con numerosos semáforos, o a una estrecha carretera de montaña. Además de los vehículos particulares, es importante tener en cuenta los servicios de transporte público, tales como autobuses, ferrocarriles, taxis, y, en ciertos casos, aeronaves de despegue vertical o corto (V/STOL).

### 5.5.2.3 Ruido

El ruido producido por las aeronaves en las inmediaciones de los aeropuertos constituye un serio problema. Entre los factores que deben considerarse al proyectar un aeropuerto se cuentan, por ejemplo: la medición y descripción del ruido producido por las aeronaves, la reglamentación de la utilización de los terrenos, los procedimientos para atenuar el ruido de los motores en tierra y en vuelo, la certificación de aeronaves en cuanto al ruido, la tolerancia humana al ruido de las aeronaves, el efecto que tiene en la vecindad de los aeropuertos el aumento del tráfico y la entrada en servicio de nuevos tipos de aeronaves.

Para prevenir una reacción social adversa, no es siempre factible situar un aeropuerto en un lugar suficientemente apartado de los núcleos de población. La construcción de aeropuertos en lugares alejados es a la vez poco práctica y costosa, sin contar que va contra el objetivo de reducir la duración del viaje de puerta a puerta. Por lo tanto, es importante adquirir o disponer de una extensión suficiente de terreno para salvar o mitigar el problema del ruido, tanto en el propio aeropuerto como en los núcleos de población. Es preciso determinar el nivel que pueden alcanzar las molestias debidas al ruido, en términos que indiquen la relación existente entre el nivel y duración de la exposición al ruido y la reacción humana.

Al tratar de evaluar la magnitud de las molestias que puede causar en el futuro el ruido en los emplazamientos que se estén considerando, es importante conocer el ritmo previsto de movimientos de aeronaves y las fases en que se efectuarán las obras, así como los tipos de aeronaves y las horas en que tendrá lugar su utilización. No obstante, cabe pensar que los cálculos y evaluaciones a largo plazo de la perturbación debida al ruido serán en tanto hipotéticos y menos fidedignos que los que se hagan a corto plazo. En la Circular 116-AN/86 y en el Anexo 16 de la OACI se encontrará información más detallada con respecto a la evaluación del ruido.

El nivel de ruido producido por las aeronaves en el aeropuerto y en sus inmediaciones, se considera generalmente una partida principal de gastos adscrita al medio ambiente y relacionada con la instalación. El terreno mayormente expuesto al ruido se encuentra directamente debajo y a ambos lados de las trayectorias de aproximación y despegue. En general, los niveles de ruido se miden aplicando alguna fórmula en la que intervengan el número de decibeles y el de veces en que se perciben, así como la duración. Existe un gran número de técnicas para medir el ruido (véase el Anexo 16 y la Circular 16-AN/86 de la OACI). La selección de un emplazamiento adecuado y la planificación atinada de la utilización del terreno circundante pueden contribuir enormemente a mitigar, o acaso a eliminar totalmente, el problema del ruido inherente al aeropuerto.

### 5.5.2.4 Utilización de los terrenos

Las ventajas e inconvenientes de los distintos emplazamientos dependerán de la utilización de los terrenos circundantes. Los aeropuertos deberían emplazarse de manera que se cree o se preserve la compatibilidad, sin que las modalidades existentes de utilización del terreno se vean perturbadas por las aeronaves. Con ello se evitaría la adquisición de terrenos costosos y se facilitaría la implantación de medidas normativas en materia de utilización de los terrenos, que pudieran considerarse necesarias para soslayar los problemas planteados por el ruido o los obstáculos. En general, son preferibles los emplazamientos cuyas trayectorias de aproximación pasen sobre extensiones de agua, pero exentos del peligro que representan las aves, y en los que las ayudas para la aproximación puedan instalarse donde sea necesario, etc., en vez de los adyacentes a las zonas residenciales.

Cuando en un posible emplazamiento sea necesario modificar la utilización de los terrenos, pueden plantearse problemas sociales evidentes, así como dificultades de carácter legal y económico. En ciertos casos, tal vez sea necesario recurrir a la compra o expropiación forzosa, con las consiguientes complicaciones jurídicas y demoras, aunque, mediante acuerdos apropiados con las autoridades competentes para que reglamenten la utilización de manera que se conserven los terrenos actualmente compatibles, quizás se logre aminorar los problemas en el futuro. En el Manual de proyecto de aeródromos, de la OACI, Parte 2, se proporcionan más detalles relativos a la utilización de los terrenos.

### 5.5.3 Consideraciones de orden económico

Con objeto de sacar el mejor partido posible de las inversiones necesarias para su construcción, los aeropuertos deberían emplazarse de manera que los gastos de construcción se reduzcan al mínimo. Por consiguiente, la topografía, la naturaleza del suelo y los materiales de construcción, los servicios disponibles y el valor del terreno con factores de particular importancia.

#### 5.5.3.1 Topografía

La topografía es importante por la pendiente del terreno, por la situación y por la variedad de características naturales, por ejemplo, árboles y cursos de agua; así como la existencia de estructuras artificiales; edificios, carreteras, líneas de alta tensión, etc., puede influir en la necesidad de efectuar trabajos de desmonte, terraplenado, nivelación y drenaje. La pendiente natural y el drenaje del terreno son importantes desde el punto de vista del proyecto y construcción, porque determinan el volumen y la magnitud de los trabajos de movimiento de tierras y de nivelación, necesarios para contener las pendientes deseadas y, por ende, el coste de preparación del emplazamiento. Un terreno que se ajuste de cerca a los niveles previstos, y que cuente con un buen drenaje, puede ahorrar sumas considerables.

En aquellas regiones donde las enfermedades tropicales son endémicas, al proyectar los aeropuertos debería procurarse que no exista la posibilidad de que los insectos vectores de enfermedades entren en las aeronaves, teniendo en cuenta las distancias, reconocidas internacionalmente, que pueden volar los mosquitos.

En la Guía para la Higiene y los Aspectos Sanitarios de la Aviación, de la Organización Mundial de la Salud, figuran recomendaciones relativas a la lucha antivectorial en los aeropuertos. Para mantener el recinto aeroportuario libre del "aedes aegypti" en sus fases larval y adulta, es necesario tomar medidas contra los mosquitos dentro de una zona protegida que se extienda a una distancia mínima de 400 m (1 300 pies), alrededor del perímetro. Las extensiones de agua que no sea posible eliminar y que puedan constituir criaderos de mosquitos deberán ser tratadas debidamente.

#### 5.5.3.2 Naturaleza del suelo y materiales de construcción

Desde el punto de vista del coste, la clasificación de los suelos naturales de los posibles emplazamientos es importante. Es preciso proceder a un reconocimiento general del suelo y obtener muestras para confeccionar un plano de los diversos tipos de suelo y localizar los depósitos rocosos extensos. Asimismo, es importante localizar las fuentes de abastecimiento de agua, ya que su abundancia y la distancia a la que tengan que transportarse repercutirá en el coste de construcción. En estos aspectos, conviene contar con el asesoramiento de expertos.

#### 5.5.3.3 Servicios

Los emplazamientos considerados deberían, en lo posible, encontrarse en las cercanías de las fuentes de suministro de energía eléctrica y agua, conducciones principales de alcantarillado y gas, canales de desagüe, hilos telefónicos, etc. El hecho de contar con estos servicios puede eliminar la necesidad de tener que suministrarlos expresamente para el aeropuerto, reduciendo así los costes.

#### 5.5.3.4 Valor de los terrenos

Los aeropuertos necesitan espacio suficiente para futuras ampliaciones, por lo que el valor del terreno es un factor que debe tenerse en cuenta. En general, la demanda de transporte aéreo guarda relación con el sector de población al que sirve y, en consecuencia, puede preverse que, en gran parte, la construcción de futuros aeropuertos se llevará a cabo en las cercanías de las zonas metropolitanas. Dado el crecimiento de las poblaciones urbanas, la mejora del nivel de vida y la ampliación de las redes de carreteras, la superficie ocupada por los distritos metropolitanos continuará dilatándose. Por lo general, el valor de los terrenos aumenta considerablemente a medida que la zona pasa de rural a urbana, razón por la cual la oportuna reserva de los emplazamientos adecuados permitirá, casi siempre, que los aeropuertos estén mejor situados y su coste sea menos elevado.



Frecuentemente, las nuevas carreteras y servicios públicos necesarios para un aeropuerto se construyen en terrenos baldíos o cerca de ellos, lo que constituye un incentivo para la urbanización. El número de personas empleadas en los grandes aeropuertos crea una demanda de construcción de viviendas e industrias auxiliares que, de crecer indiscriminadamente, pueden redundar en detrimento de la eficiencia del aeropuerto. Cuando se considera la conveniencia de un emplazamiento, a menos que se pueda regular la planificación de la zona para evitar que se desarrolle para fines incompatibles, puede plantearse la cuestión de saber si se podrá disponer de terrenos suficientes para futuras ampliaciones. El hecho de adquirir, desde un principio, todo el terreno que se considera necesario garantiza la posibilidad de efectuar futuras ampliaciones y, con frecuencia, es el procedimiento más económico. No obstante, al comparar simplemente los gastos previstos para la adquisición presente y futura de terrenos no se tiene en cuenta el importante factor tiempo, por lo que no constituye una base satisfactoria para decidir si ha de comprarse o no de antemano la tierra. El dinero abonado al contado tiene más valor que el gastado en el futuro, ya que, si se aplaza el desembolso puede invertirse el capital que devenga intereses inmediatos. Antes de obtener una buena base para cualquier decisión, convirtiendo los pagos futuros a su valor potencial de ingresos en la actualidad, es preciso tener en cuenta el valor actual de los terrenos y las fluctuaciones que pueden producirse en los precios de la propiedad, así como la revalorización que puede aportar el desarrollo de viviendas, industria, agrícola o de otra naturaleza.

#### 5.6.- Estudio ecológico

Los aspectos relativos al medio ambiente deben ponderarse cuidadosamente al construir un nuevo aeropuerto o ampliar uno ya existente. Deben efectuarse estudios del impacto que tendrá la construcción y funcionamiento de un aeropuerto o la ampliación de uno existente y los niveles aceptables de la calidad del aire y del agua, niveles de ruido, procesos ecológicos y expansión demográfica de la zona, a fin de determinar cómo pueden satisfacerse mejor las exigencias del aeropuerto.

El ruido producido por las aeronaves es el problema más grave, en materia de medio ambiente, que debe considerarse al proyectar las instalaciones aeroportuarias. Se ha hecho muchísimo para fabricar motores más silenciosos y modificar los procedimientos de vuelo, lo que ha dado lugar a una atenuación considerable del ruido. Otro medio eficaz para lograrlo consiste en planificar convenientemente la utilización de los terrenos que circundan el aeropuerto. Cuando se trata de aeropuertos existentes pueden plantearse dificultades, por que el terreno puede estar ya edificado. Debería hacerse todo lo posible para apartar el tránsito aéreo de las zonas edificadas.

Otros factores importantes en este campo son la contaminación atmosférica y del agua, los desperdicios industriales y las aguas residuales del propio aeropuerto, así como la perturbación de los valores ecológicos. Un aeropuerto puede contribuir considerablemente a la contaminación del agua si no se construyen instalaciones para tratar los desperdicios del aeropuerto. En el estudio ecológico es preciso considerar cómo puede superarse el problema de la contaminación del agua.

La construcción de un nuevo aeropuerto o la ampliación de uno existente pueden tener repercusiones importantes en el entorno natural, especialmente cuando entran en juego largas extensiones en las que deban desviarse corrientes de agua o canales de drenaje, la vida de la fauna puede verse perturbada y tal vez sea necesario modificar nuevamente los bosques y espacios recreativos. El estudio debería indicar cómo podría mitigarse esta perturbación de la naturaleza.

#### 5.7.- Examen de los emplazamientos posibles

A estas alturas, debería disponerse de información suficiente para ir eliminando emplazamientos y reducir su número a los que merecen consideración detallada. El proyectista debería examinar los resultados del estudio y de la investigación sobre el terreno. Basándose en este examen, deberían eliminarse los emplazamientos que no son adecuados y que no justifiquen un examen más a fondo.

### 5.8.- Preparación de planos esquemáticos y cálculo de los gastos e ingresos

Para considerar las ventajas relativas de los emplazamientos restantes, se necesita lo siguiente:

- Levantamiento topográfico detallado de cada emplazamiento, incluyendo el de los obstáculos.
- Preparación de un plano esquemático del trazado del aeropuerto, en cada uno de los emplazamientos contemplados.
- Preparación de un cálculo global de los costes, que abarque el total de los gastos de capital y de explotación necesarios, e incluso los no pertenecientes propiamente al aeropuerto, como son las vías de acceso, las comunicaciones con los núcleos de población, los planes de reglamentación de las zonas adyacentes y los cálculos del porcentaje de fluctuación anual del valor de las tierras durante toda la vida útil probable del aeropuerto, así como los plazos en que se prevé efectuar los desembolsos.
- Cuando se trate de la ampliación o del abandono de emplazamientos existentes, los valores amortizados y actuales de toda instalación existente, junto con el valor de las propiedades conexas situadas fuera del aeropuerto, incluso las vías de servicio, instalaciones de servicio público, zonas sujetas al régimen de atenuación del ruido, etc.

### 5.9.- Evaluación definitiva

En esta fase, cuando se están considerando varios emplazamientos posibles, la cuestión relativa al coste desempeña un papel importante en la elección definitiva. Si todos los emplazamientos posibles presentaran en conjunto las mismas ventajas, lógicamente la selección debería basarse en el coste mínimo. Lamentablemente, en la práctica, rara vez existe una situación tan netamente definida, por lo que, normalmente, es necesario ponderar las ventajas e inconvenientes en sus diversos grados, antes de llegar a una decisión. Los factores económicos son de gran importancia porque el índice y las características de crecimiento de una economía obedecen, no sólo a la cuantía de la inversión de capital, sino también a la manera en que éste se utiliza. En general, el capital es escaso y puede invertirse de varias maneras. Puede malgastarse si se destina a usos antieconómicos, pero empleado con inteligencia y eficacia, una cantidad más modesta puede lograr el objetivo perseguido.

La dependencia encargada de financiar las obras de un aeropuerto puede, en cualquier momento, tener que hacer frente a peticiones destinadas a aumentar los gastos para atender a un sinnúmero de otras finalidades. El problema que se presenta a menudo cuando se considera aisladamente cada proyecto, cualquiera que sea su valor intrínseco, es que no pueden satisfacerse simultáneamente todas las propuestas con los recursos financieros disponibles. Es preciso considerar las propuestas que representen gastos con arreglo a sus propios méritos, pero puede también ser necesario considerarlas comparativamente con otras propuestas similares. La necesidad de considerar los costes con relación a su eficacia ha llevado a conceder una atención creciente a la ponderación y evaluación de las ventajas y de los gastos, mediante la técnica conocida como análisis de la relación "coste/ventajas". La finalidad de estos análisis consiste en comparar las ventajas que se obtienen de los proyectos en relación con su coste, de tal manera que se superen las dificultades inherentes a la división del proyecto en fases. Analizando la corriente prevista de gastos y ventajas respecto a la vida útil del aeropuerto, es posible determinar relaciones que sirvan de guía, en cuanto a la utilidad del proyecto, y para seleccionar el emplazamiento más conveniente.

Es necesario proceder a dos tipos distintos de análisis de la relación coste/ventajas: uno de carácter operacional y otro social. La evaluación definitiva exige que la determinación se base en la comparación de la eficacia en materia de coste, operacional y social:

#### Operacional

- 1) terrenos disponibles
- 2) espacio aéreo disponible
- 3) efecto de toda restricción de la eficacia operacional
- 4) capacidad potencial

Social

- 1) proximidad a los centros de demanda
- 2) suficiencia de vías de acceso
- 3) posibles problemas causados por el ruido
- 4) utilización actual del terreno y necesidad de imponer medidas reguladoras

Coste

- 1) análisis de la relación coste/ventajas.

## 5.10.- Informe y recomendaciones

Redacción de un informe completo, acompañado de planos, etc., que contenga:

- 1) los resultados del examen y evaluación de los emplazamientos considerados
- 2) el orden de preferencia de los emplazamientos, explicando los motivos en que se basa
- 3) las recomendaciones pertinentes.

Bibliografía

"Report of the International Conference on the Reduction of Noise and Disturbance caused by Civil Aircraft" - Her Majesty's Stationery Office - Londres, noviembre de 1966.

"Recommendation R507 (enmendada) - Procedure for Describing Aircraft Noise Around an Airport" - Organización Internacional de Normalización (ISO), octubre de 1966.

"Airport Master Plans", U.S. Federal Aviation Administration, AC150/5070-6, febrero de 1971.

Manual de planificación de aeropuertos, Parte 2, Utilización del terreno y control del medio ambiente, Doc 9184-AN/902, de la OACI.

Evaluación del ruido para planificar la utilización de los terrenos, Circular de la OACI 116-AN/86 1974.

Anexo 16 de la OACI, Ruido de las Aeronaves, agosto de 1971.

"Planning and Design of Airports" por Robert Horonjeff, segunda edición, 1975, McGraw-Hill Book Company.

Características de los aviones - manuales publicados por todos los fabricantes de células, en los que se detallan el tamaño, dimensiones, utilización, etc., de las aeronaves.

## APENDICE 1

## CLASIFICACION DE AVIONES POR LETRA Y NUMERO DE CLAVE

Modelo de aeronave	Clave	Longitud de campo de referencia del avión (m)	Envergadura (m)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)
1	2	3	4	5
Beaver DHC-2	1A	381	14,6	3,3
Turbo Beaver DHC-2T	1A	427	14,6	3,3
Beechcraft A24R	1A	603	10	3,9
Beechcraft A36	1A	670	10,2	2,9
Beechcraft 76	1A	430	11,6	3,3
Beechcraft B55	1A	457	11,5	2,9
Beechcraft B60	1A	793	12,0	3,4
Beechcraft B100	1A	579	14,0	4,3
Britten Norman Islander BN2A	1A	353	14,9	4,0
Cessna 152	1A	408	10,0	-
Cessna 172	1A	381	10,9	-
Cessna 180	1A	367	10,9	-
185	1A	416	10,9	-
Cessna Stationair 6	1A	543	10,9	-
Turbo 6	1A	500	10,9	-
Cessna Stationair 7	1A	600	10,9	-
Turbo 7	1A	567	10,9	-
Cessna Skylane	1A	479	10,9	-
Turbo Skylane	1A	479	10,9	-
Cessna 310	1A	518	11,3	-
310 Turbo	1A	507	11,3	-

Modelo de aeronave	Clave	Longitud de campo de referencia del avión (m)	Envergadura (m)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)
1	2	3	4	5
BAC 1-11-200	4C	1 884	27,0	5,2
BAC 1-11-300	4C	2 484	27,0	5,2
BAC 1-11-400	4C	2 420	27,0	5,2
BAC 1-11-475	4C	2 286	28,5	5,4
BAC 1-11-500	4C	2 408	28,5	5,2
B-727-100	4C	2 502	32,9	6,9
B-727-200	4C	3 176	32,9	6,9
B-737-100	4C	2 499	28,4	6,4
B-737-200	4C	2 295	28,4	6,4
B-737 Advanced-200	4C	2 707	28,4	6,4
Caravelle 12	4C	2 600	34,3	5,9
Concorde	4C	3 400	25,5	8,8
DC-9-10	4C	1 975	27,2	5,9
DC-9-30	4C	2 134	28,5	6,0
DC-9-40	4C	2 091	28,5	5,9
DC-9-50	4C	2 451	28,5	5,9
DC-9-80	4C	2 195	32,9	6,2
Trident 1E	4C	2 590	29,0	7,3
2E	4C	2 780	29,9	7,3
3	4C	2 670	29,0	7,3
Viscount 800	4C	1 859	28,6	7,9

Modelo de aeronave	Clave	Longitud de campo de referencia del avión (m)	Envergadura (m)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)
1	2	3	4	5
Airbus A310	4D	1 845	43,9	10,9
Airbus A300 B4	4D	2 605	44,8	10,9
B-707-100	4D	2 454	39,9	7,9
B-707 Advanced-100	4D	3 206	39,9	7,9
B-707-200	4D	2 697	39,9	7,9
B-707-300	4D	3 088	44,4	7,9
B-707-400	4D	3 277	44,4	7,9
B-720	4D	1 981	39,9	7,5
B-757-200 (Preliminary)	4D	2 057	38,0	8,7
B-767-200 (Preliminary)	4D	1 981	47,6	10,8
Canadair CL-44D-4	4D	2 240	43,4	10,5
Convair 880	4D	2 652	36,6	6,6
880M	4D	2 316	36,6	6,6
Convair 990-30-5	4D	2 788	36,6	7,1
990-30-6	4D	2 956	36,6	7,1
DC-8-43	4D	2 947	43,4	7,5
DC-8-55	4D	3 048	43,4	7,5
DC-8-61	4D	3 048	43,4	7,5
DC-8-63	4D	3 179	45,2	7,6
DC-10-10	4D	3 200	47,4	12,6
DC-10-30	4D	3 170	50,4	12,6

Modelo de aeronave	Clase	Longitud de campo de referencia del avión (m)	Envergadura (m)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)
1	2	3	4	5
DC-10-40	4D	3 124	50,4	12,6
Ilyushin 18V	4D	1 980	37,4	9,9
Ilyushin 62M	4D	3 280	43,2	8,0
Lockheed L-100-20	4D	1 829	40,8	4,9
L-100-30	4D	1 829	40,4	4,9
Lockheed L-188	4D	2 066	30,2	10,5
Lockheed L-1011-1	4D	2 426	47,3	12,8
L-1011-200	4D	2 469	47,3	12,8
L-1011-500	4D	2 844	47,3	12,8
TU-134A	4D	2 400	29,0	10,3
TU-154	4D	1 160	37,6	12,4
B-747-100	4E	3 060	59,6	12,4
B-747-200	4E	3 150	59,6	12,4
B-747-SR	4E	1 860	59,6	12,4
B-747-SP	4E	2 710	59,6	12,4

MODELOS	1 PESO MAXIMO DESPEQUE		3 PESO MAXIMO ATERRIZAJE		5 PESO BASICO DE OPERACION		7 PESO CERO COMBUSTIBLE	
	LBS		LBS		LBS		LBS	
	KG.		KG.		KG.		KG.	
DC-9-15	90 619		81 627		52 350		73 532	
	4 105		37 026		23 746		33 536	
DC-9-32	108 000		98 100		60 800		87 000	
	48 989		44 49A		27 579		39 463	
DC-9-82	147 000		128 000		80 900		102 000	
	66 679		58 061		36 696		55 339	
B-727-200	190 496		142 488		101 027		136 998	
	86 409		64 637		45 826		61 503	
DC-8-51	285 998		199 499		141 417		171 468	
	129 729		90 493		64 147		75 699	
DC-10-15	454 990		363 494		243 046		324 593	
	206 384		164 881		110 246		151 353	
DC-10-30	554 990		402 993		264 109		357 993	
	251 744		182 708		119 800		164 322	
B-747	710 000		564 000		343 750		526 500	
	322 054		255 829		156 068		239 819	



SCT

ON GENERAL DE AEROPUERTOS  
 MENTO DE INGENIERIA BASICA

20

N.º DE PASAJEROS	PESO POR PASAJERO		PESO TOTAL DE PASAJE		PESO DE EXPRESS Y CO.		CARGA PAGABLE TOTAL		CONSUMO DE COMBUSTIBLE		VELOCIDAD (MUDOS)
	LBS	KG	ROS.	LBS	PRED.	LBS	LBS	KG	LBS/HR	KG/HR	
85	209.43		17 802		3780		21 562		6000		473
	95		8 075		1715		19 790		2722		
115	209.43		24 035		2115		26 200		6500		473
	95		10 925		959		11 884		2948		
155	209.43		32 462		3988		36 450		8000		473
	95		14 725		1809		16 534		3679		
155	198.41		30 754		8216		38 970		11420		500
	90		13 950		3727		17 877		5180		
153	198.41		30 397		1724		32 081		12350		473
	90		11 708		782		14 552		5602		
315	198.41		62 500		29047		91 347		16487		480
	90		28 350		13357		41 707		7678		
301	209.43		63 040		40844		103 884		17354		477
	95		28 595		18527		47 122		7872		
490	205		100 450		42300		142 750		25156		500
	93		45 564		19187		64 751		11411		

## CAPITULO 3

## CRITERIOS RELATIVOS A LA LONGITUD DE PISTA

## 3.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA LONGITUD DE LAS PISTAS

3.1.1 Los factores que influyen en la longitud de pista que habrá de facilitarse son los siguientes:

- a) características de performance y masas de operación de los aviones a los que se prestará servicio;
- b) condiciones meteorológicas, principalmente viento y temperatura en la superficie;
- c) características de la pista tales como pendiente y estado de la superficie; y
- d) factores relacionados con el emplazamiento del aeropuerto, por ejemplo, elevación del aeropuerto (que incide en la presión barométrica) y limitaciones topográficas.

3.1.2 La relación entre la longitud de la pista y las características de performance del avión se describe en el Capítulo 4. Cuanto mayor sea el viento de frente que sopla en una pista, más corta será la longitud de pista que requerirá un avión para despegar o aterrizar y, a la inversa, un viento de cola aumenta la longitud de pista requerida. Cuanto más elevada sea la temperatura, mayor longitud habrá de tener la pista requerida porque las temperaturas elevadas se traducen en densidades menores del aire, factor que reduce el empuje producido así como la sustentación. En el Apéndice 2 se detalla el efecto de las pendientes de la pista en sus requisitos de longitud; con todo, es evidente que un avión que despegue en una pendiente ascendente requiere una mayor longitud de pista que si ésta se encontrase a nivel o tuviese una pendiente descendente; la longitud requerida dependerá de la elevación del aeropuerto y de la temperatura. En condiciones equivalentes, cuanto mayor sea la elevación del aeropuerto (con una presión barométrica en consecuencia menor), mayor longitud habrá de tener la pista requerida. La longitud que tendrá la pista de un aeropuerto puede verse limitada por el perímetro del terreno o por factores topográficos tales como montañas, el mar o valles profundos.

## 3.2 LONGITUD EFECTIVA DE LAS PISTAS

Pistas principales

3.2.1 Salvo cuando una pista vaya asociada con una zona de parada y/o con una zona libre de obstáculos, la longitud verdadera de toda pista principal debería ser adecuada para satisfacer los requisitos operacionales de los aviones para los que se proyecte la pista y no debería ser menor que la longitud más larga determinada por la aplicación o las operaciones de las correcciones correspondientes a las condiciones locales y a las características de performance de los aviones que tengan que utilizarla. Este requisito no significa necesariamente que se tengan en cuenta las operaciones del avión crítico con masa máxima.

3.2.2 Al determinar la longitud de pista que ha de proporcionarse, es necesario considerar tanto los requisitos de despegue como de aterrizaje, así como la necesidad de efectuar operaciones en ambos sentidos de la pista. Entre las condiciones locales que pueden considerarse figuran la elevación, temperatura, pendiente de la pista, humedad y características de la superficie de la pista.

3.2.3 Cuando no se conocen los datos sobre la performance de los aviones para los que se destine la pista, cabe determinar la longitud de toda pista principal por medio de la aplicación de los coeficientes de corrección generales descritos en 3.5.

Pistas secundarias

3.2.4 La longitud de toda pista secundaria debería determinarse de manera similar a la de las pistas principales, excepto que necesita ser apropiada únicamente para los aviones que requieran usar dicha pista secundaria además de la otra pista o pistas, con objeto de obtener un coeficiente de utilización de por lo menos el 95%.

3.2.5 Se dispone de manuales de vuelo con datos sobre las características de performance y operaciones de la mayoría de los aviones modernos. También se han preparado curvas y tablas de performance de los aviones para los efectos básicos de la planificación de pistas. El Apéndice 3 contiene información sobre las curvas y tablas de performance de los aviones.

## 3.3 PISTAS CON ZONAS DE PARADA Y/O ZONAS LIBRES DE OBSTACULOS

3.3.1 Cuando una pista esté asociada con una zona de parada o una zona libre de obstáculos, puede considerarse satisfactoria una longitud verdadera de pista inferior a la que resulta de la aplicación de 3.2.2 ó 3.2.3, según corresponda; pero en ese caso toda combinación de pista, zona de parada y/o zona libre de obstáculos, debería permitir el cumplimiento de los requisitos de operación para despegue y aterrizaje de los aviones para los que esté prevista la pista.

3.3.2 La decisión de proporcionar una zona de parada, o una zona libre de obstáculos, como otra solución al problema de prolongar la longitud de la pista dependerá de las características físicas de la zona situada más allá del extremo de la pista y de los requisitos de performance de los aviones que utilicen la pista. La longitud de la pista, de la zona de parada y de la zona libre de obstáculos, se determinan en función de la performance de despegue de los aviones, pero debería comprobarse también la distancia de aterrizaje requerida por los aviones que utilicen la pista, a fin de asegurarse de que la pista tenga la longitud adecuada para el aterrizaje. No obstante, la longitud de una zona libre de obstáculos no puede exceder de la mitad de la longitud del recorrido de despegue disponible.

## 3.4 CALCULO DE LAS DISTANCIAS DECLARADAS

3.4.1 La introducción de zonas de parada y de zonas libres de obstáculos, y la utilización de umbrales desplazados en las pistas, han creado la necesidad de disponer de información precisa que se ha de declarar con respecto a las diferentes distancias físicas disponibles y adecuadas para el aterrizaje y el despegue de los aviones. Para poner de manifiesto esta necesidad con un sentido inteligible, se emplea el término "distancias declaradas", con las cuatro distancias siguientes asociadas con una pista determinada:

- a) Recorrido de despegue disponible (TORA), es decir, la longitud de la pista que se ha declarado disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que despegue.
- b) Distancia de despegue disponible (TODA), es decir, la longitud del recorrido de despegue disponible más la longitud de la zona libre de obstáculos, si la hubiera.
- c) Distancia de aceleración-parada disponible (ASDA), es decir, la longitud del recorrido de despegue disponible más la longitud de zona de parada, si la hubiera.
- d) Distancia de aterrizaje disponible (LDA), es decir, la longitud de la pista que se ha declarado disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que aterrice.

3.4.2 En el Anexo 14 se exige calcular las distancias declaradas para una pista prevista para ser utilizada por el transporte aéreo comercial internacional, y en el Anexo 15 se exige la notificación de las distancias declaradas para cada sentido de la pista en la publicación de información aeronáutica (AIP) del Estado. En la Figura 3-1 se ilustran casos típicos y en la Figura 3-2 se ofrece una tabla de las distancias declaradas.

3.4.3 Si la pista no está provista de una zona de parada ni de una zona libre de obstáculos y además el umbral está situado en el extremo de la pista, de ordinario, las cuatro distancias declaradas tendrán una longitud igual a la de la pista, según se indica en la Figura 3-1A.

3.4.4 Si la pista está provista de una zona libre de obstáculos (CWY), entonces en la TODA se incluirá la longitud de la zona libre de obstáculos; según se indica en la Figura 3-1B.

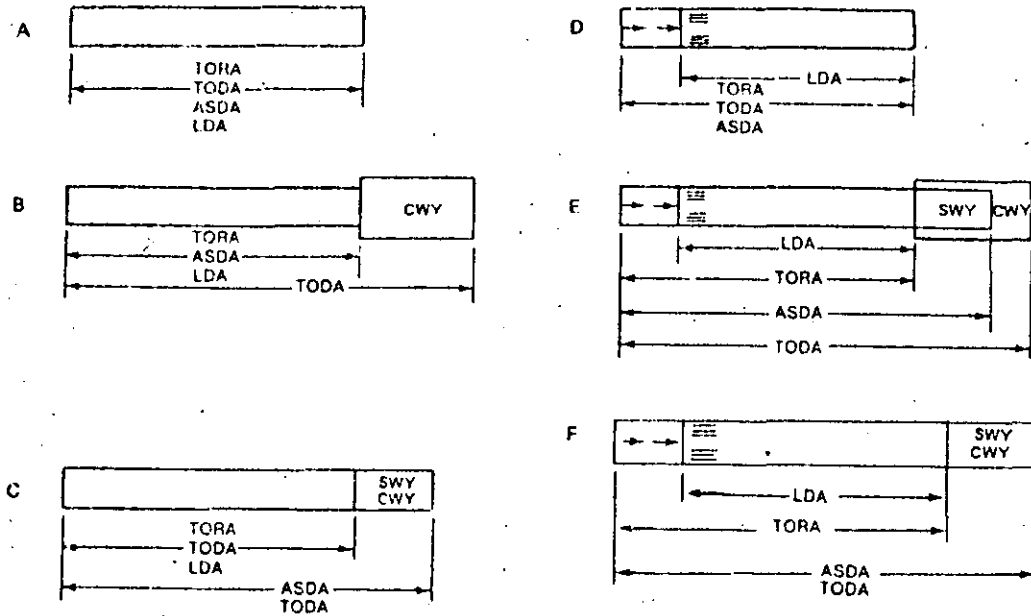
3.4.5 Si la pista está provista de una zona de parada (SWY), entonces en la ASDA se incluirá la longitud de la zona de parada, según se indica en la Figura 3-1C.

3.4.6 Si la pista tiene el umbral desplazado, entonces en el cálculo de la LDA se restará de la longitud de la pista la distancia a que se haya desplazado el umbral, según se indica en la Figura 3-1D. El umbral desplazado influye en el cálculo de la LDA solamente cuando la aproximación tiene lugar hacia el umbral; no influye en ninguna de las distancias declaradas si las operaciones tienen lugar en la dirección opuesta.

3.4.7 Los casos de pistas provistas de zona libre de obstáculos, de zona de parada, o que tienen el umbral desplazado, se esbozan en las Figuras 3-1B a 3-1D. Si concurren más de una de estas características habrá más de una modificación de las distancias declaradas, pero se seguirá el mismo principio esbozado. En las Figuras 3-1E y 3-1F se presentan dos ejemplos en los que concurren todas estas características.

3.4.8 Se sugiere el formato de la Figura 3-2 para presentar la información concerniente a las distancias declaradas. Si determinada dirección de la pista, no puede utilizarse para despegar o aterrizar, o para ninguna de estas operaciones por estar prohibido operacionalmente, ello debería indicarse mediante las palabras "no utilizable" o con la abreviatura "NU".

3.4.9 Cuando el procurar áreas de seguridad de extremo de pista requiera atravesar áreas en las que esté particularmente prohibido el implantarlas, la autoridad competente podría reducir las distancias declaradas, si considera que se requieren áreas de seguridad de extremo de pista.



(En todos estos ejemplos de distancias declaradas las operaciones tienen lugar de izquierda a derecha)

Figura 3-1. Ilustración de las distancias declaradas

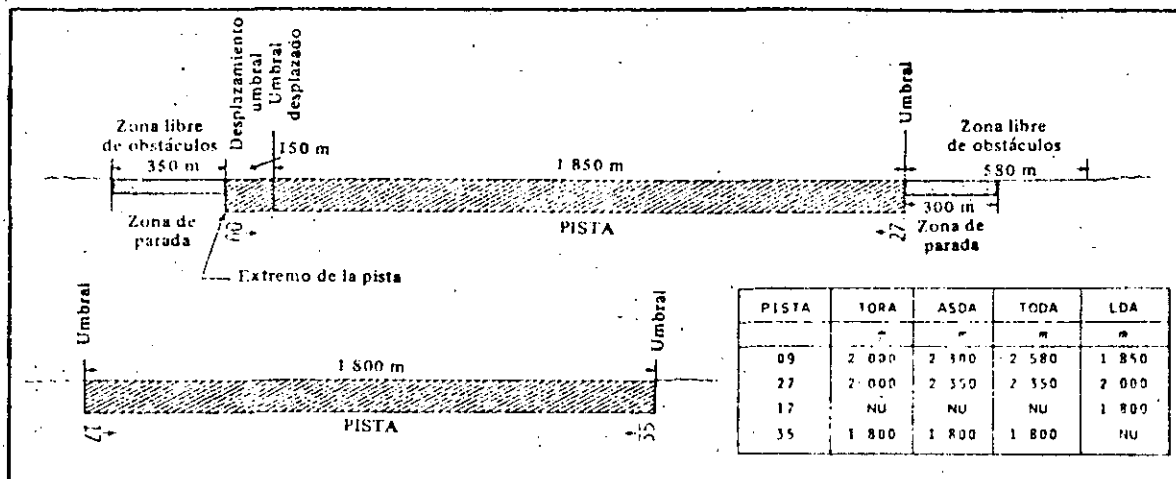


Figura 3-2. Determinación de las distancias declaradas

3.5 CORRECCION DE LA LONGITUD DE LA PISTA POR ELEVACION, TEMPERATURA Y PENDIENTE

3.5.1 Tal como se afirma en 3.2.3, cuando no se dispone del manual de vuelo adecuado, la longitud de la pista debe determinarse aplicando factores de corrección generales. Como primera medida debería elegirse para la pista una longitud básica que le permita atender los requisitos operacionales de los aviones para los que esté prevista la pista. Esta longitud básica es la longitud de pista seleccionada a los fines de planificación de aeródromos, que es necesaria para el despegue o el aterrizaje en condiciones correspondientes a la atmósfera tipo, a la elevación cero, con viento y pendiente de pista nulos.

3.5.2 La longitud básica seleccionada para la pista debería aumentarse a razón del 7% por cada 300 m de elevación.

3.5.3 La longitud de la pista determinada a tenor de 3.5.2 debería aumentarse a su vez a razón del 1% por cada 1°C en que la temperatura de referencia del aeródromo exceda a la temperatura de la atmósfera tipo correspondiente a la elevación del aeródromo. Sin embargo, si la corrección total por elevación y temperatura fuera superior al 35%, las correcciones necesarias deberían obtenerse mediante un estudio al efecto. Las características operacionales de determinados aviones pueden indicar que estas constantes de corrección, por elevación y temperatura, no son adecuadas, y que podría ser necesario modificarlas en base a los resultados que se obtengan en un estudio aeronáutico que tome en consideración las condiciones que existan en el lugar en cuestión y los requisitos operacionales de tales aviones.

3.5.4 Cuando la longitud básica determinada por los requisitos del despegue sea de 900 m o más, dicha longitud debería a su vez aumentarse a razón de un 10% por cada 1% de pendiente de pista determinada como se indica en 5.1.2. Los requisitos de distancia de aterrizaje pueden verse también afectados por la pendiente de la pista. El Apéndice 2 contiene información detallada sobre el efecto de las pendientes de la pista en los requisitos de longitud de las pistas.

3.5.5 En los aeródromos donde tanto la humedad como la temperatura son elevadas, acaso sea necesario aumentar la longitud de pista determinada con arreglo a 3.5.4, aunque no se pueden dar cifras exactas acerca de las mayores longitudes requeridas.

#### Ejemplos de aplicación de correcciones de longitud de pista

3.5.6 Los ejemplos siguientes ilustran la aplicación de las correcciones de la longitud de la pista.

##### Ejemplo 1:

##### a) Datos:

- |                                                                                                                                  |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1) longitud de pista requerida para aterrizar a nivel del mar en condiciones de atmósfera tipo                                   | 2 100 m  |
| 2) longitud de pista requerida para despegar en un emplazamiento plano situado al nivel del mar en condiciones de atmósfera tipo | 1 700 m  |
| 3) elevación del aeródromo                                                                                                       | 150 m    |
| 4) temperatura de referencia del aeródromo                                                                                       | 24°C     |
| 5) temperatura a 150 m en la atmósfera tipo                                                                                      | 14,025°C |
| 6) pendiente de pista                                                                                                            | 0,5%     |

##### b) Correcciones de la longitud de pista para el despegue:

- 1) longitud de pista para el despegue corregida por elevación =

$$\left[ 1\,700 \times 0,07 \times \frac{150}{300} \right] + 1\,700 = 1\,760 \text{ m}$$

- 2) longitud de pista para el despegue corregida por elevación y temperatura =

$$\left[ 1\,760 \times (24 - 14,025) \times 0,01 \right] + 1\,760 = 1\,936 \text{ m}$$

- 3) longitud de pista para el despegue corregida por elevación, temperatura y pendiente =

$$\left[ 1\,936 \times 0,5 \times 0,10 \right] + 1\,936 = 2\,035 \text{ m}$$

- c) Corrección de la longitud de pista para el aterrizaje:

longitud de pista para el aterrizaje corregida por elevación =

$$\left[ 2\,100 \times 0,07 \times \frac{150}{300} \right] + 2\,100 = 2\,175 \text{ m}$$

- d) Longitud efectiva de la pista = 2 175 m

Ejemplo 2:

- a) Datos:

- |                                                                                                                             |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1) longitud de pista requerida para el aterrizaje al nivel del mar en condiciones de atmósfera tipo                         | 2 100 m  |
| 2) longitud de pista requerida para el despegue en un emplazamiento plano al nivel del mar en condiciones de atmósfera tipo | 2 500 m  |
| 3) elevación del aeródromo                                                                                                  | 150 m    |
| 4) temperatura de referencia del aeródromo                                                                                  | 24°C     |
| 5) temperatura a 150 m en la atmósfera tipo                                                                                 | 14,025°C |
| 6) pendiente de pista                                                                                                       | 0,5%     |

- b) Corrección de la longitud de pista para el despegue:

- 1) longitud de pista para el despegue corregida por elevación =

$$\left[ 2\,500 \times 0,07 \times \frac{150}{300} \right] + 2\,500 = 2\,587 \text{ m}$$



- 2) longitud de pista para el despegue corregida por elevación y temperatura =

$$\left[ 2\,587 \times (24 - 14,025) \times 0,01 \right] + 2\,587 = 2\,845 \text{ m}$$

- 3) longitud de pista para el despegue corregida por elevación, temperatura y pendiente =

$$\left[ 2\,845 \times 0,5 \times 0,10 \right] + 2\,845 = 2\,985 \text{ m}$$

- c) Corrección de la longitud de pista para el aterrizaje:

longitud de pista para el aterrizaje corregida por elevación =

$$\left[ 2\,100 \times 0,07 \times \frac{150}{300} \right] + 2\,100 = 2\,175 \text{ m}$$

- d) Longitud efectiva de la pista = 2 985 m
-

CALCULO DE LONGITUDES DE PISTA.

La longitud de pista necesaria para el despegue o aterrizaje de los aviones está influida por factores tales como:

Performance (funcionamiento) del avión

Peso de despegue o aterrizaje

Grado de aletas seleccionado

Pendiente de la pista

Dirección y velocidad del viento

El peso de despegue depende, a su vez, de estos otros factores:

Elevación y temperatura del aeropuerto (segundo segmento)

Distancias de itinerario y del aeropuerto alterno

Grado de aletas

Para efectos de ilustración, el cálculo de longitud de pista que seguiremos como ejemplo, será el concerniente para un avión del tipo DC-9-15, de los que Aeroméxico posee, suponiendo que despegue de Salina Cruz, Oax., con destino a la Cd. de México, D.F., y aeropuerto alterno, el de Acapulco, Gro. En la hoja correspondiente se observará la secuencia seguida para el cálculo de su longitud.

Primeramente se anotan los datos del aeropuerto, haciendo hincapié en que para cuestión de proyecto, al no existir la pista, la temperatura usada debe ser la media máxima mensual y la pendiente y vientos deben considerarse de magnitud cero. Seguidamente se anotan las distancias a los aeropuertos de destino y alterno en millas náuticas. En el recuadro de caracteris-

34

ticas del avión, se anotan las concernientes al tipo de avión -  
utilizado y que son dadas por el fabricante. A partir de este-  
momento comienza el verdadero cálculo de la longitud de pista,-  
calculando primeramente --en el recuadro siguiente el peso máxi-  
mo de despegue, el cual estará afectado por las condiciones de  
elevación y temperatura del aeropuerto (segundo segmento) y que  
variará también de acuerdo con el grado de aletas utilizable. -  
Estos pesos se calculan utilizando las gráficas marcadas como -  
Fig. 1 y 2 que se anexan.

A continuación se procede al cálculo del peso con que el-  
avión debe despegar, que no necesariamente debe ser igual al --  
calculado por segundo segmento o al máximo estructural, sino e-  
necesario para cubrir la etapa bajo las condiciones de carga de  
seadas. Primeramente al peso básico de operación (peso del - -  
avión sin carga, pasajeros ni combustibles), se le añaden el pe-  
so de los pasajeros y el de carga, lo que constituye el total de  
la carga pagable. A esto se le añaden los pesos de combustible  
para el itinerario indicado y alterno, que se obtienen de las -  
gráficas de las Fig. 3, y 4. El peso del combustible de espera  
se obtiene calculando el 75% del monto de combustible consumido  
en una hora. Este consumo de combustible por hora está anotado  
dentro de las características del avión y así, sumando todos es-  
tos elementos, obtendremos el peso total del avión. Acto segui-  
do se procede a seleccionar el grado de aletas más apropiado pa-  
ra el despegue; para esto buscamos en los pesos limitados por  
segundo segmento, aquel que sobrepone el peso total calculado -  
anteriormente y ese grado de aletas será el seleccionado. Si -

el peso limitado por segundo segmento correspondiente a otros grados de aletas, también sobrepasan al peso total del avión, se elegirá entre éstos al que tenga mayor grado de aletas, puesto que es el que menos longitud de pista necesita. Con el pesos total del avión y el grado de aletas seleccionado, finalmente se procede a utilizar la gráfica correspondiente entre las figuras 5, y 6 para el cálculo de la longitud necesaria de pista para el despegue. En este caso, se ha hecho el cálculo con los dos grados de aletas para ilustrar la diferencia en longitudes necesarias a cada una.

Para el cálculo de la longitud necesaria para el aterrizaje, se procede a utilizar la gráfica de la Fig. No. 7, que supone una superficie de pavimento seca, habiendo de añadir un 15% a la longitud así calculada, cuando la superficie se encuentra mojada.

NOTAS: Se observará que las cantidades anotadas en los pesos limitados por segundo segmento, no corresponden a los encontrados en las gráficas, esto debido a que en ningún caso debe darse la impresión que el avión puede despegar con un peso mayor al limitado estructuralmente, por lo que es este peso el que se toma a la vez, como limitado por segundo segmento.

En todos los casos en que se necesite del peso aproximado de despegue, Aeroméxico ha recomendado que se tome un promedio de 75,000 lb.

## DEPARTAMENTO DE PROYECTOS - OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS

CÁLCULO DE LONGITUDES DE PISTA

AEROPUERTO DE: SALINA CRUZ, OAX.

ELEVACION (S.N.M.) NIVEL DEL MAR TEMPERATURA 35°C

DISTANCIA DEL DESTINO MEXICO, D. F. 363 M.N.

ITINERARIO ALTERNO ACAPULCO, GRO. 166 M.N.

CARACTERISTICAS DEL AVION

TIPO DC-9-15

VELOCIDAD 473 NUDOS

CONSUMO DE COMBUSTIBLE 6000 LB/H

PESO DE LOS PASAJEROS 17786 lb 85 x 209.25 lb.

PESO CARGA, EXPRES Y CORREO 5519 lb

PESO TOTAL DE LA CARGA PAGABLE 23305 lb

PESO MAXIMO DE DESPEGUE (ESTRUCTURAL) 90619 lb

PESO MAXIMO DE ATERRIZAJE (ESTRUCTURAL) 81627 lb

PESO BASICO DE OPERACION 50627 lb

PESO MAXIMO DE DESPEGUE (SEGUNDO SEGMENTO) LIMITADO POR ELEVACION Y TEMPERATURA

ALETAS (10°) 90619 lb ALETAS (20°) 90619 lb ALETAS ( )

## PESOS (AVION+CARGA+COMBUSTIBLE) PARA EL ITINERARIO INDICADO

PESO BASICO DE OPERACION + CARGA PAGABLE = 50627+23305 = 73932 lb

PESO COMBUSTIBLE ETAPA 5900 lb

PESO COMBUSTIBLE ESPERA 4500 lb

PESO COMBUSTIBLE ALTERNO 2550 lb

PESO TOTAL 86882 lb

LONGITUDES NECESARIAS DE PISTA

ALETAS (10°) 7250' = 2210 m

ALETAS (20°) 6750' = 2057 m

RESTRICCION DE LA CARGA PAGABLE = 0 %

31

### PESO DE DESPEGUE LIMITADO POR SEGUNDO SEGMENTO

#### ALETAS 10°

MOTORES JT8D-7A

POTENCIA DE DESPEGUE

UN MOTOR OPERATIVO

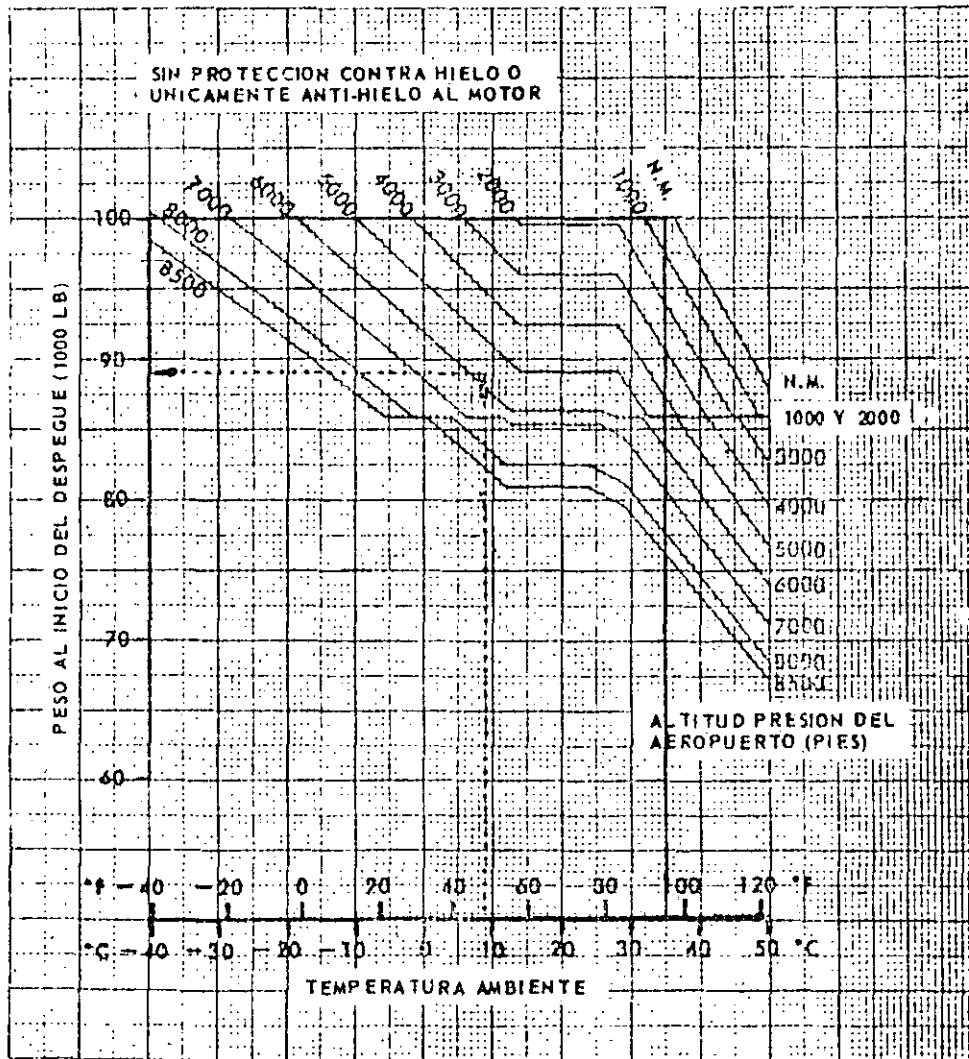
TREN ARRIBA

$V_{CL} = V_2$

AIRE ACONDICIONADO

CORTADO

NOTA:  
OBSERVAR LAS LIMITACIONES  
ESTRUCTURALES DE PESO.



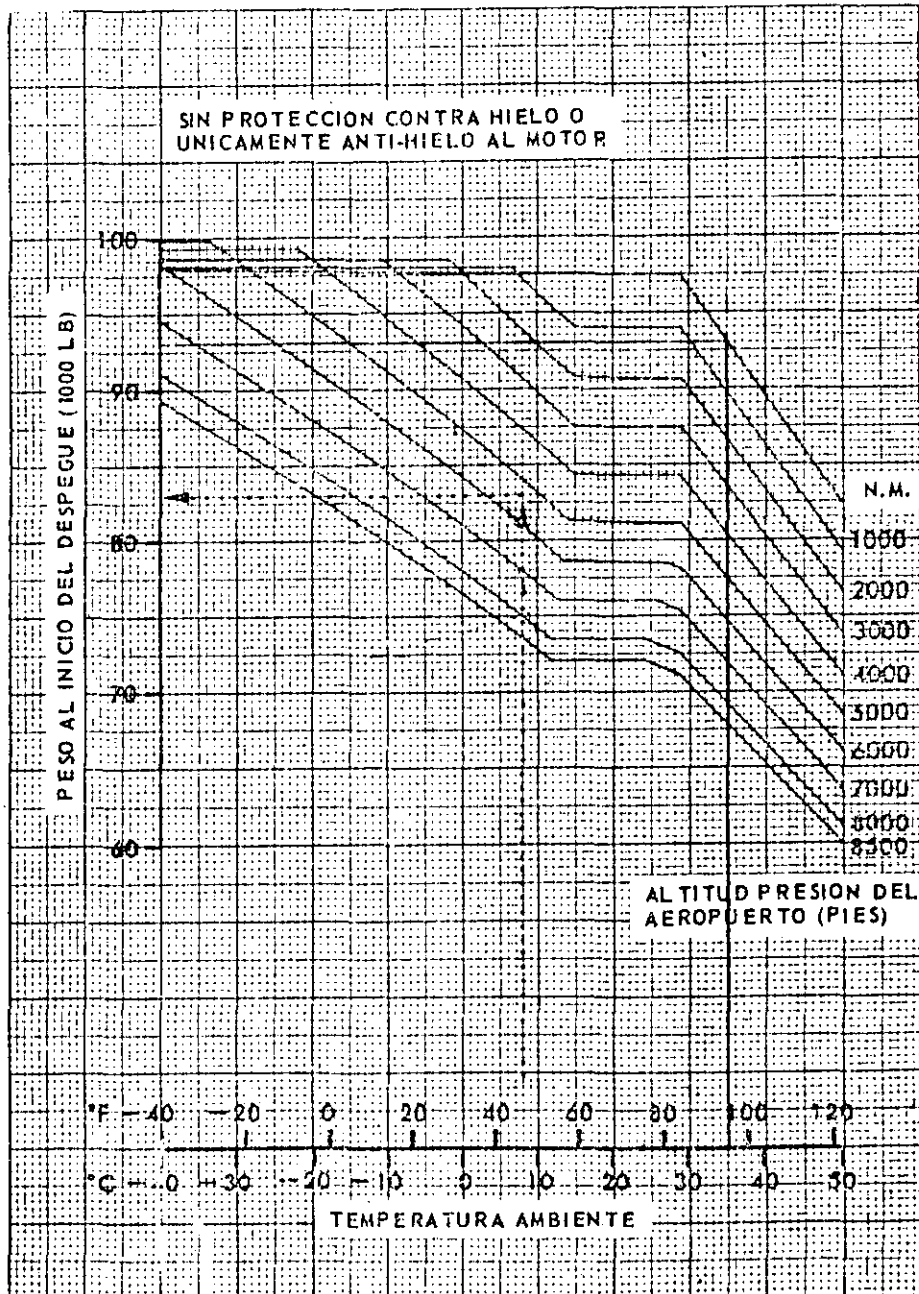
PESO DE DESPEGUE LIMITADO POR SEGUNDO SEGMENTO

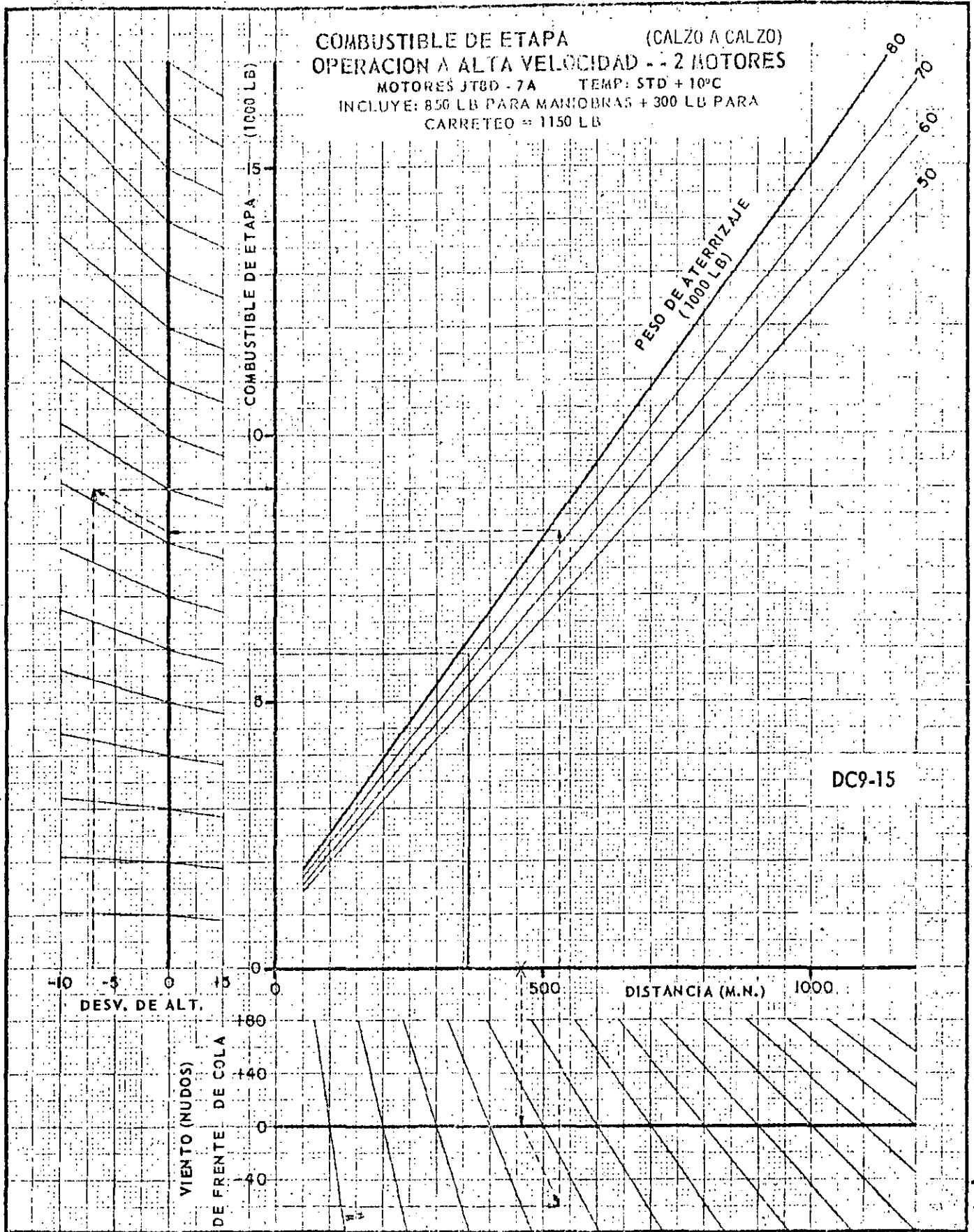
ALETAS 20°

MOTORES JT8D-7A

POTENCIA DE DESPEGUE UN MOTOR OPERATIVO  
 TREN ARRIBA  $V_{CL} = V_2$  AIRE ACONDICIONADO CORTADO

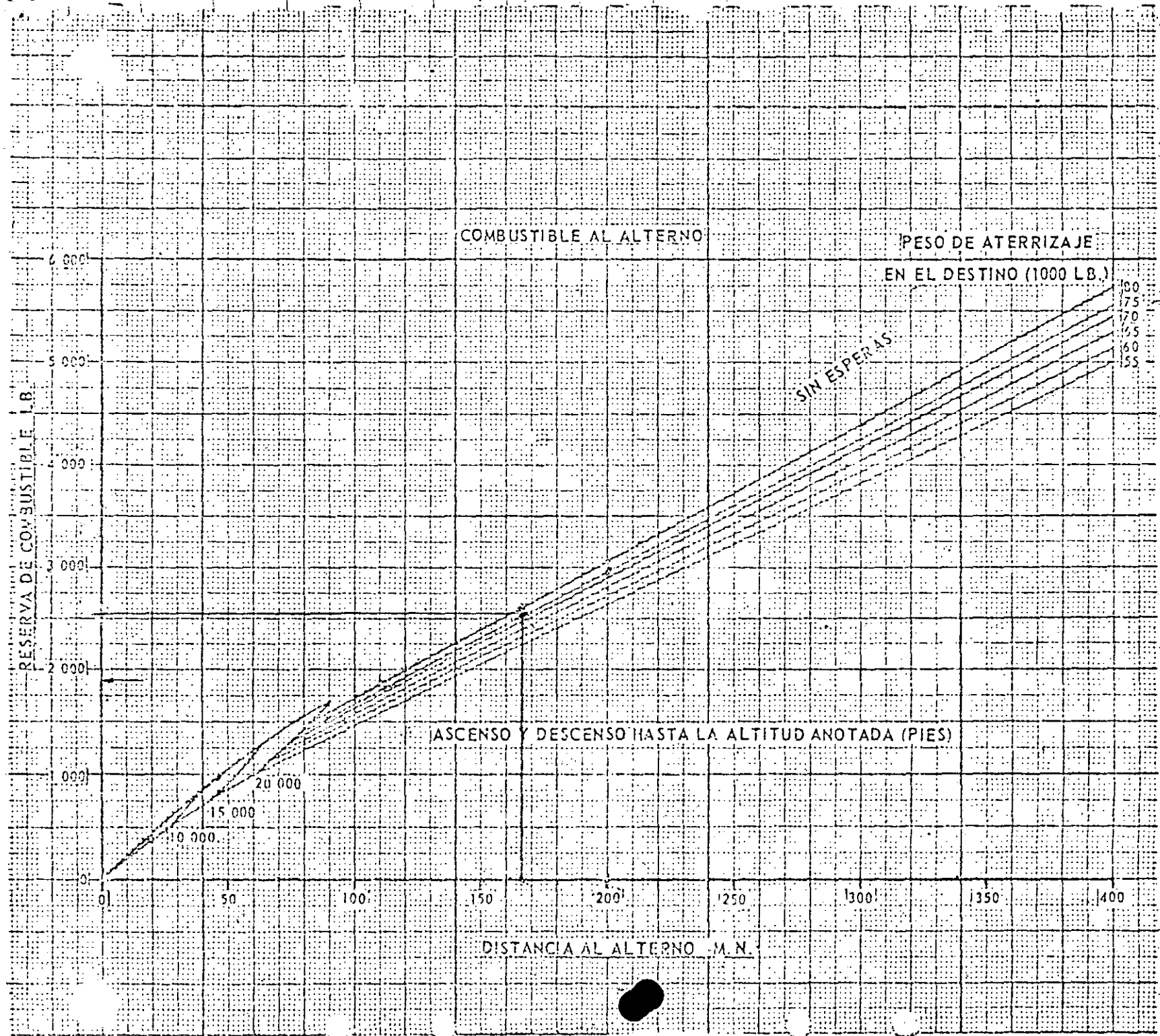
NOTA:  
 OBSERVAR LAS LIMITACIONES  
 ESTRUCTURALES DE PESO







3-1-8



5670-  
MAN  
75000

40

FIG. N°4

19-NOV-69



# MANUAL DE VUELO DC-9

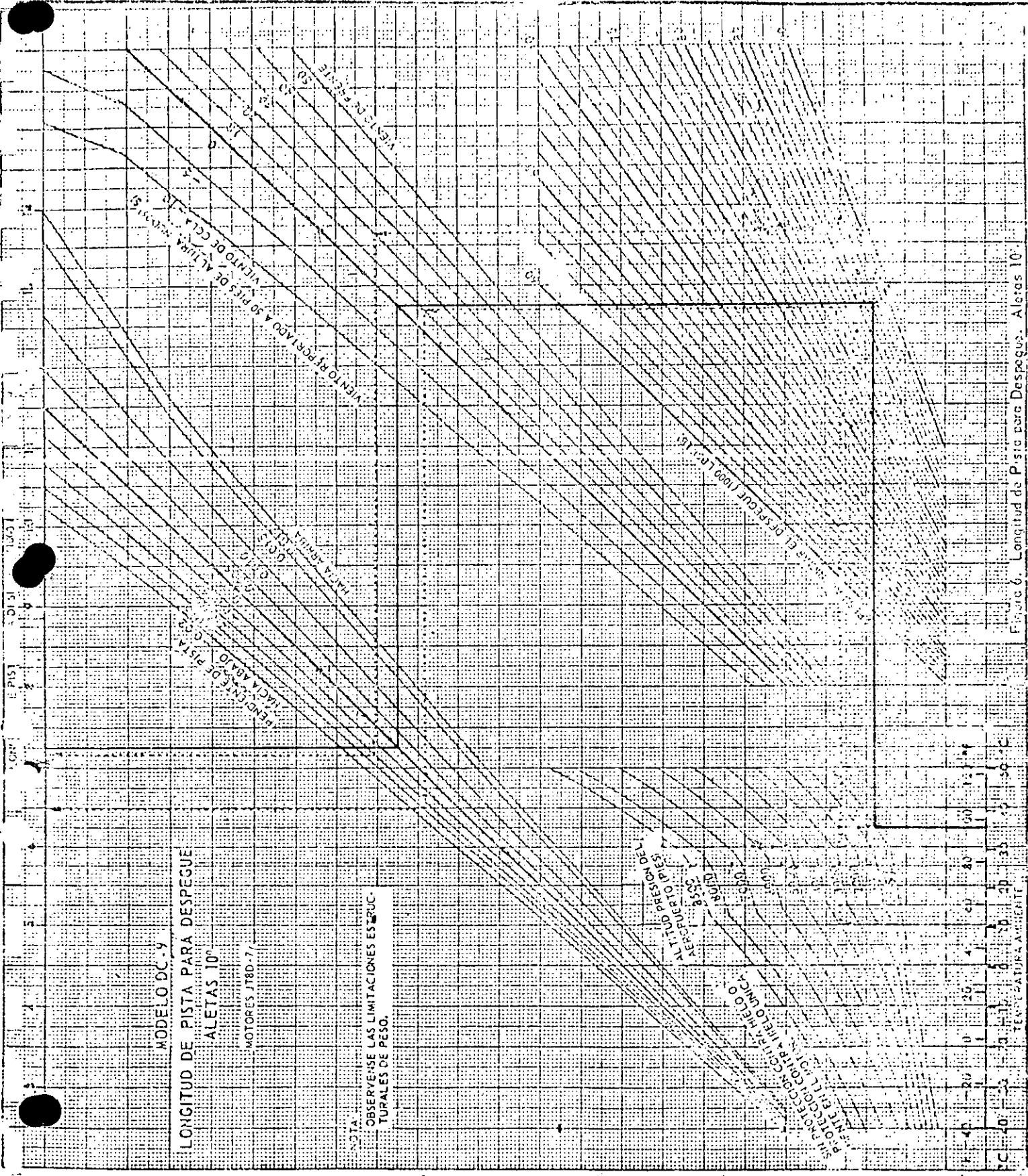
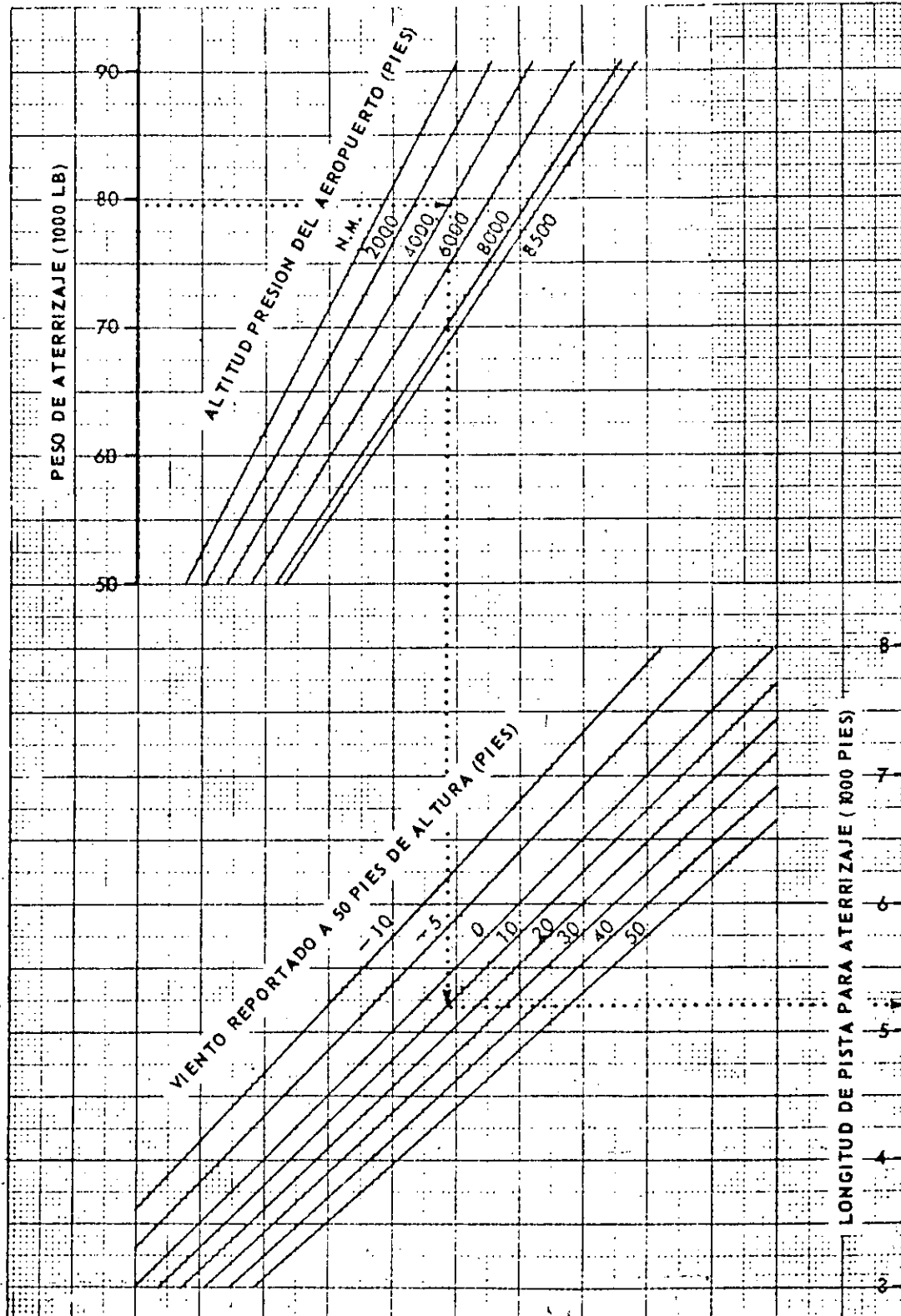


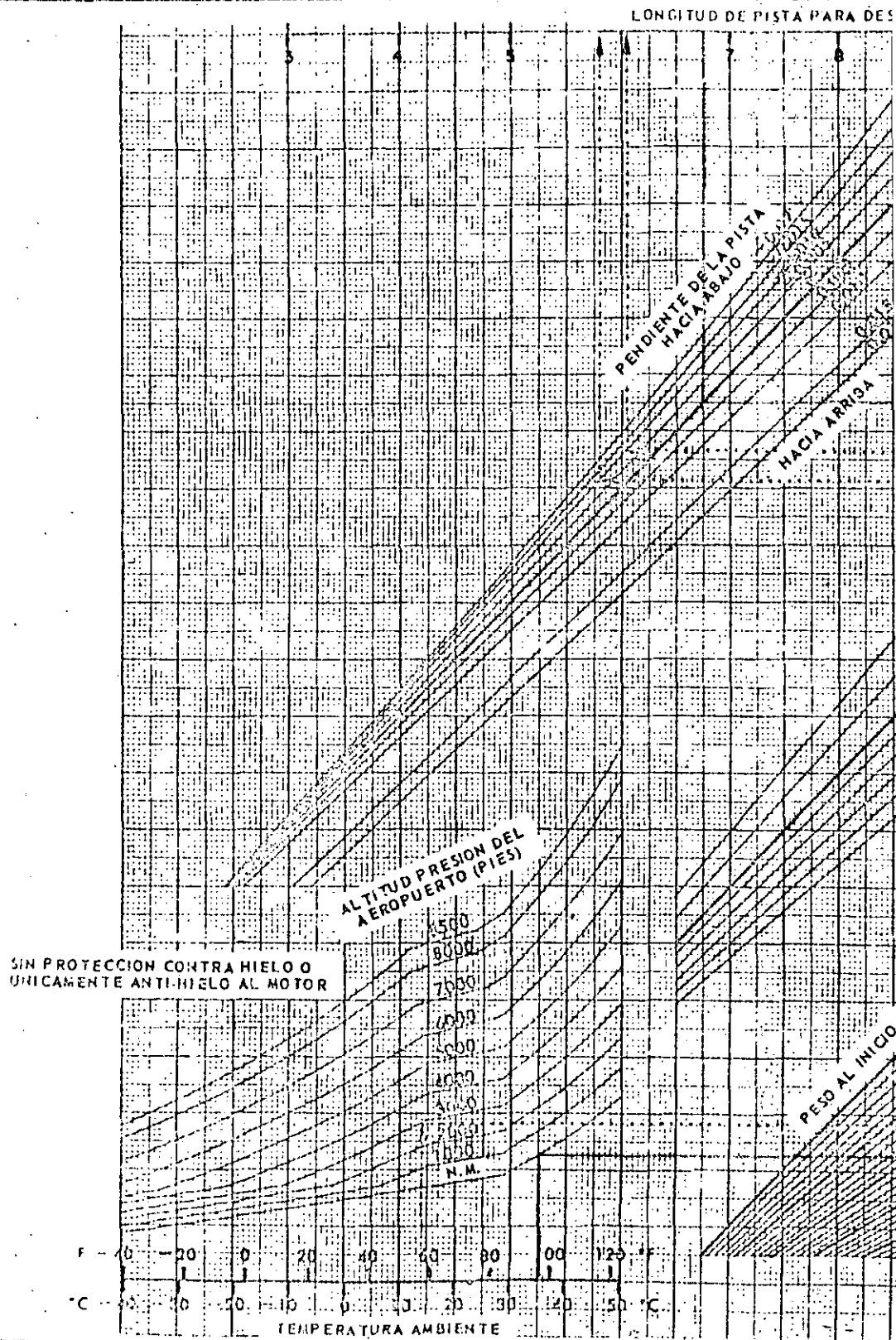
Figure 6. Longitud de Pista para Despeque - Aletas 10

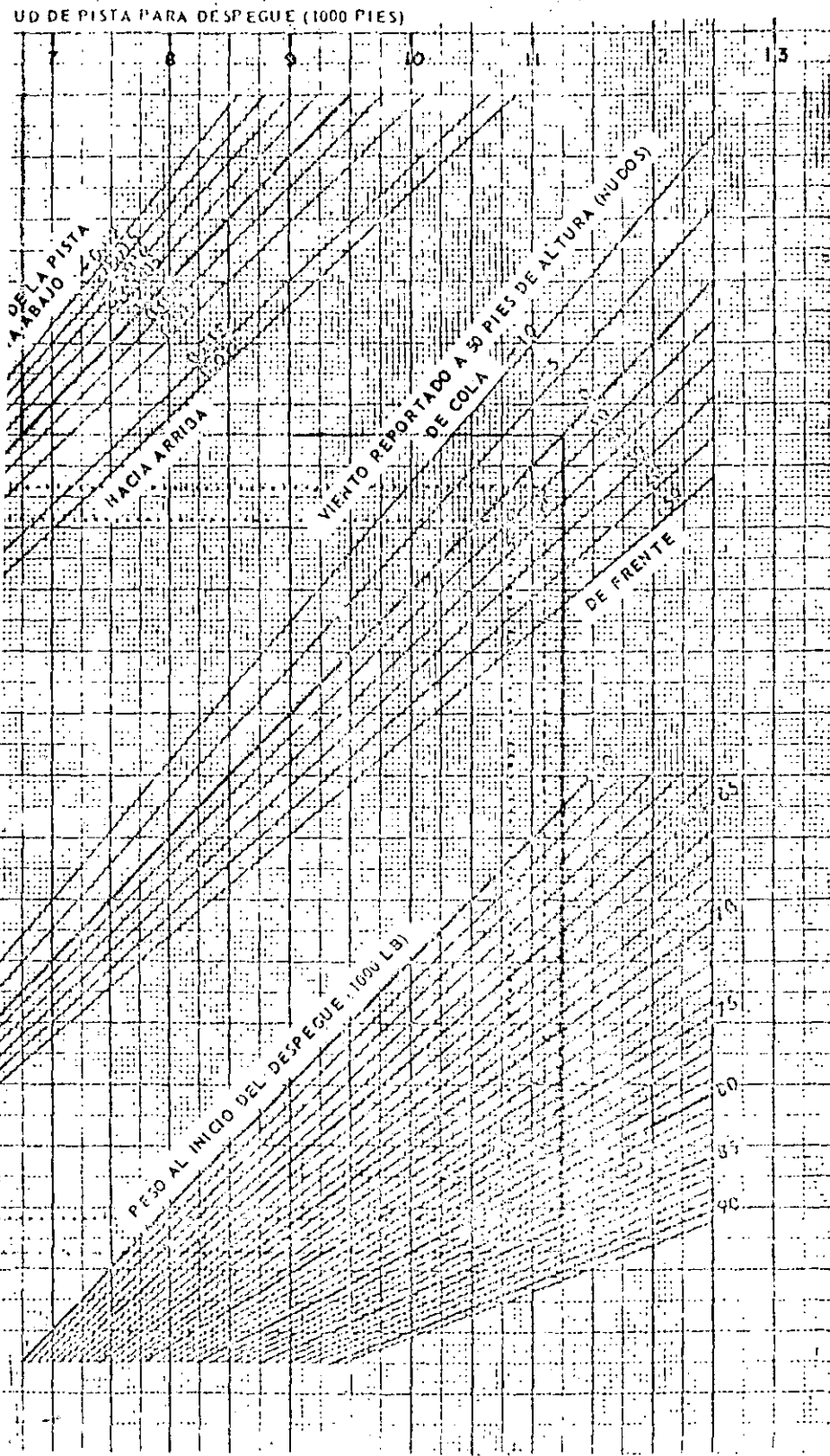


### LONGITUD DE PISTA PARA ATERRIJAJE ALETAS TOTALMENTE ABAJO

NOTA: OBSERVAR LAS LIMITACIONES ESTRUCTURALES DE PESO







LONGITUD DE PISTA PARA DESPEGUE

ALETAS 20°

MOTORES J18D-7A

NOTA:

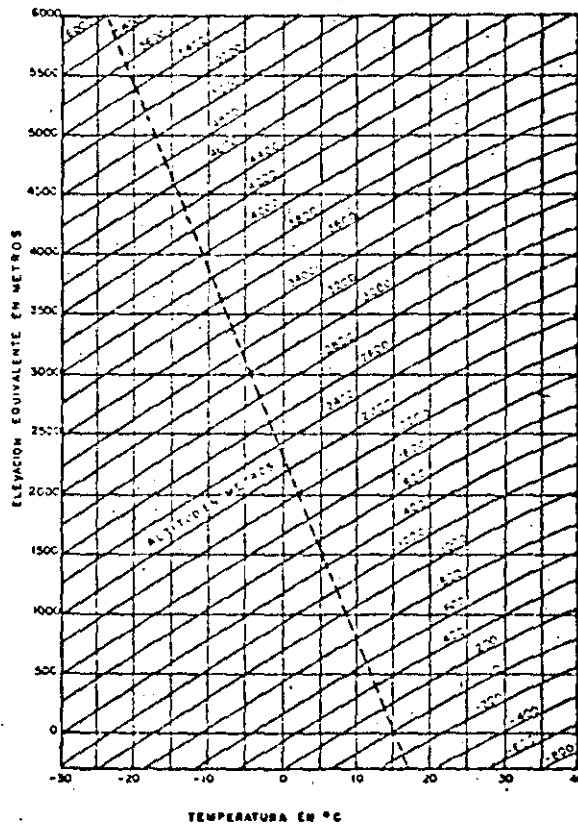
OBSERVAR LAS LIMITACIONES ESTRUCTURALES DE PESO

LABORATORIO EXPERIMENTAL

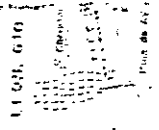
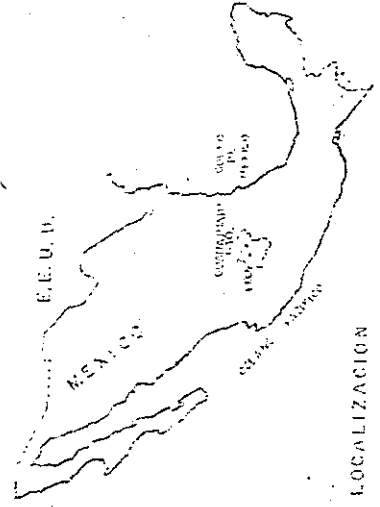
PARTE SEGUNDA

GRAFICA I.

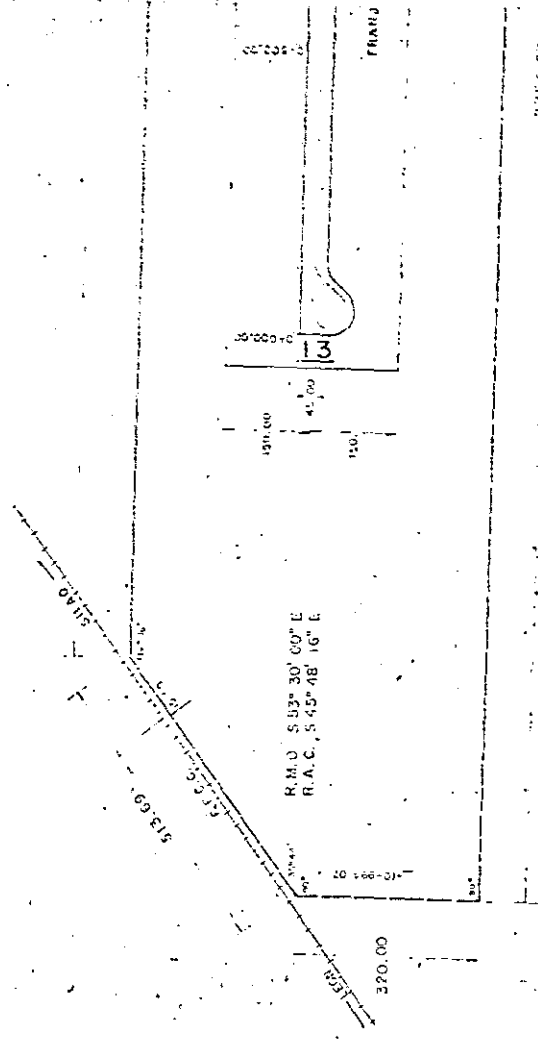
ELEVACIONES EQUIVALENTES



14



LOCALIZACION

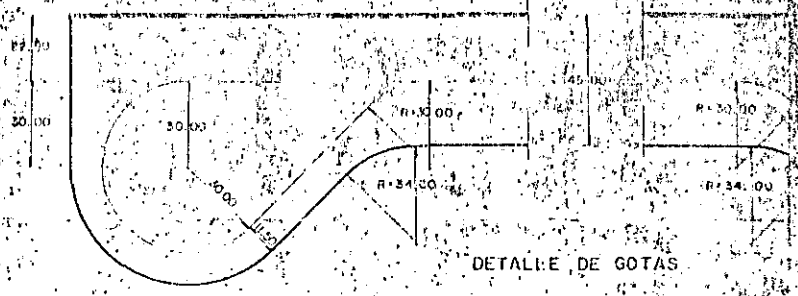
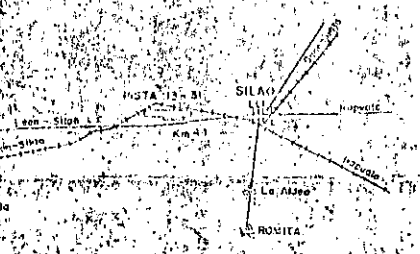


NOTA: Las aclaraciones y adiciones  
 están en el ejemplo las indicadas en  
 otro unidad.

ESCALA

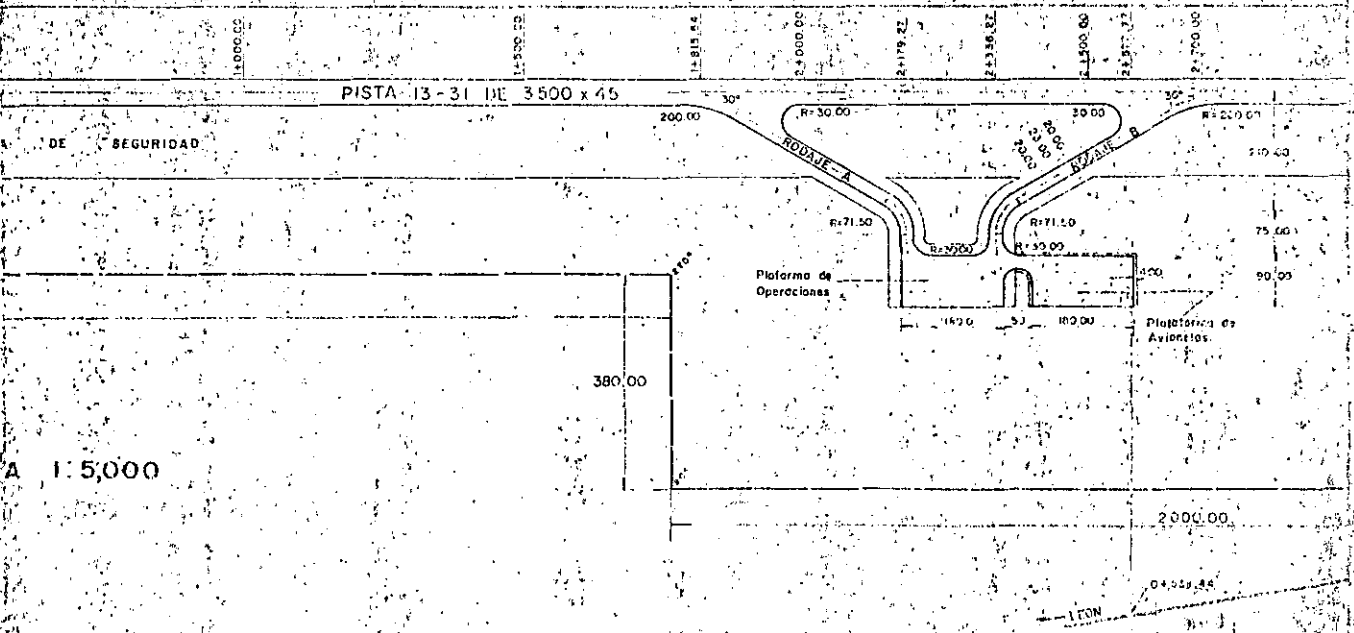
TECNOLOGIA  
 140000  
 TECNOLOGIA S.A. DE C.V.  
 REV. 1.0  
 TECN. FIBRES S.A.

CROQUIS DE LOCALIZACION



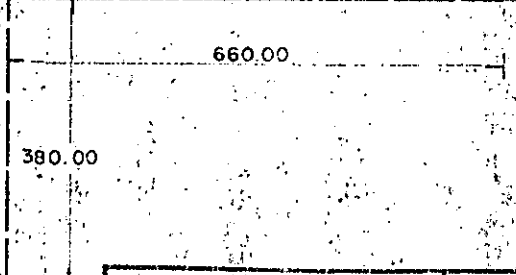
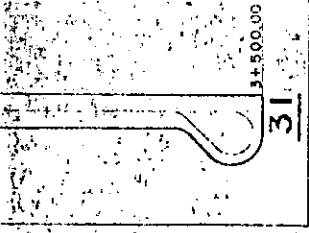
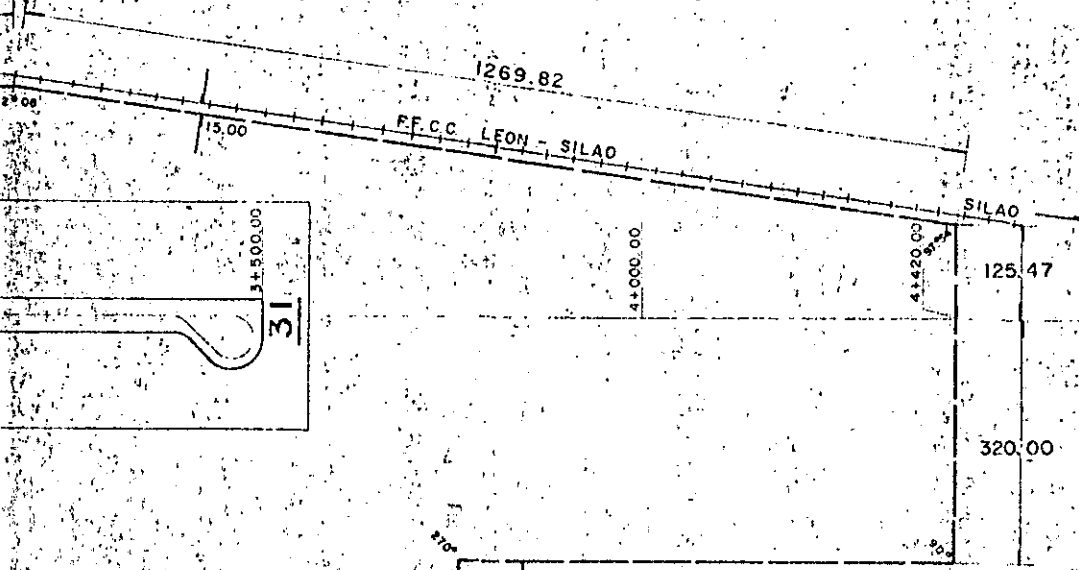
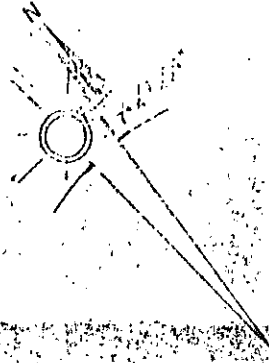
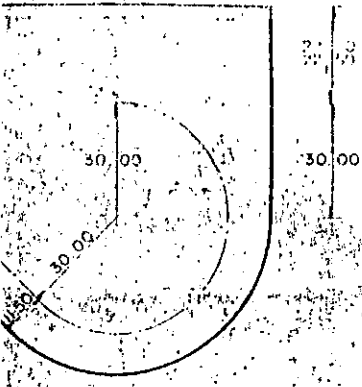
DETALLE DE GOTAS

3739.32



A 1:5,000





PROPUSO: EL JEFE DEL DEPARTAMENTO

ING.

Vs. Sr. EL SUBDIRECTOR DE PROYECTOS

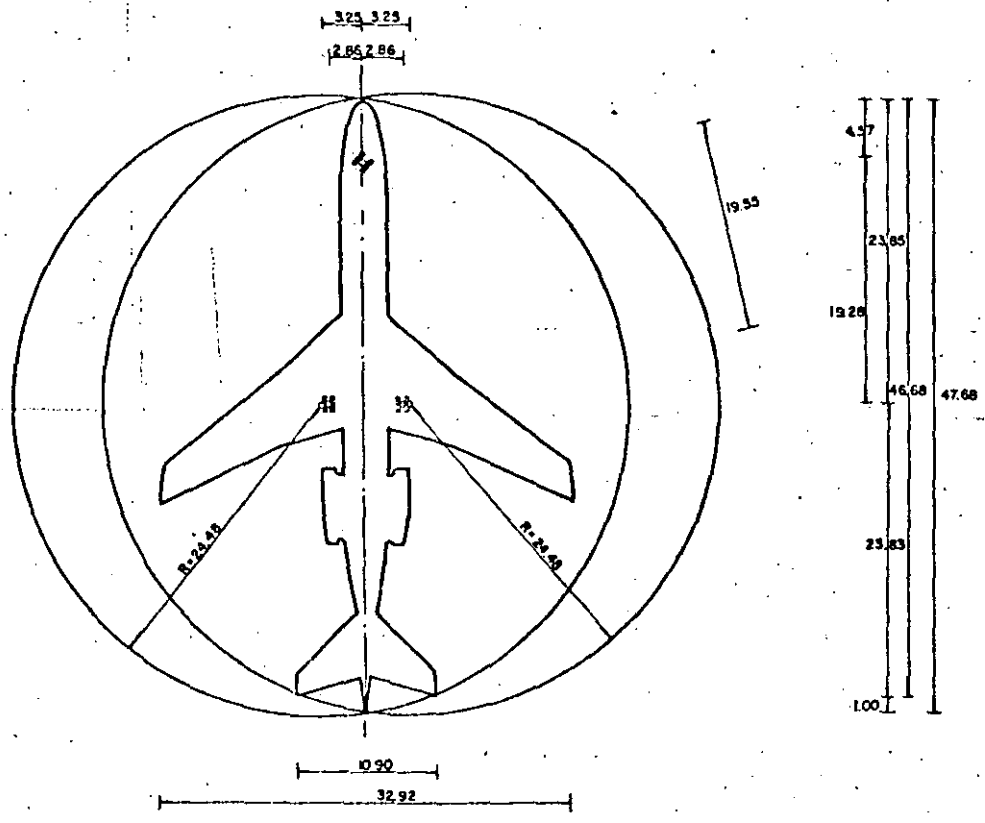
ING. ROBERTO V. ARCE

APROBO: EL DIRECTOR DE AREA

SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA  
 DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
 DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
 SUBDIRECCION DE PROYECTOS  
 DEPARTAMENTO DE PROYECTOS CIVILES

**AEROPUERTO DE LEON, GTO.**  
**SITIO NUEVO MEXICO**  
**PLANO GENERAL**

**B-727-200**



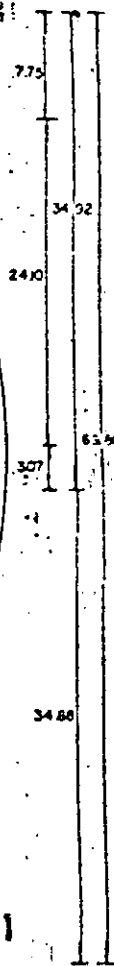
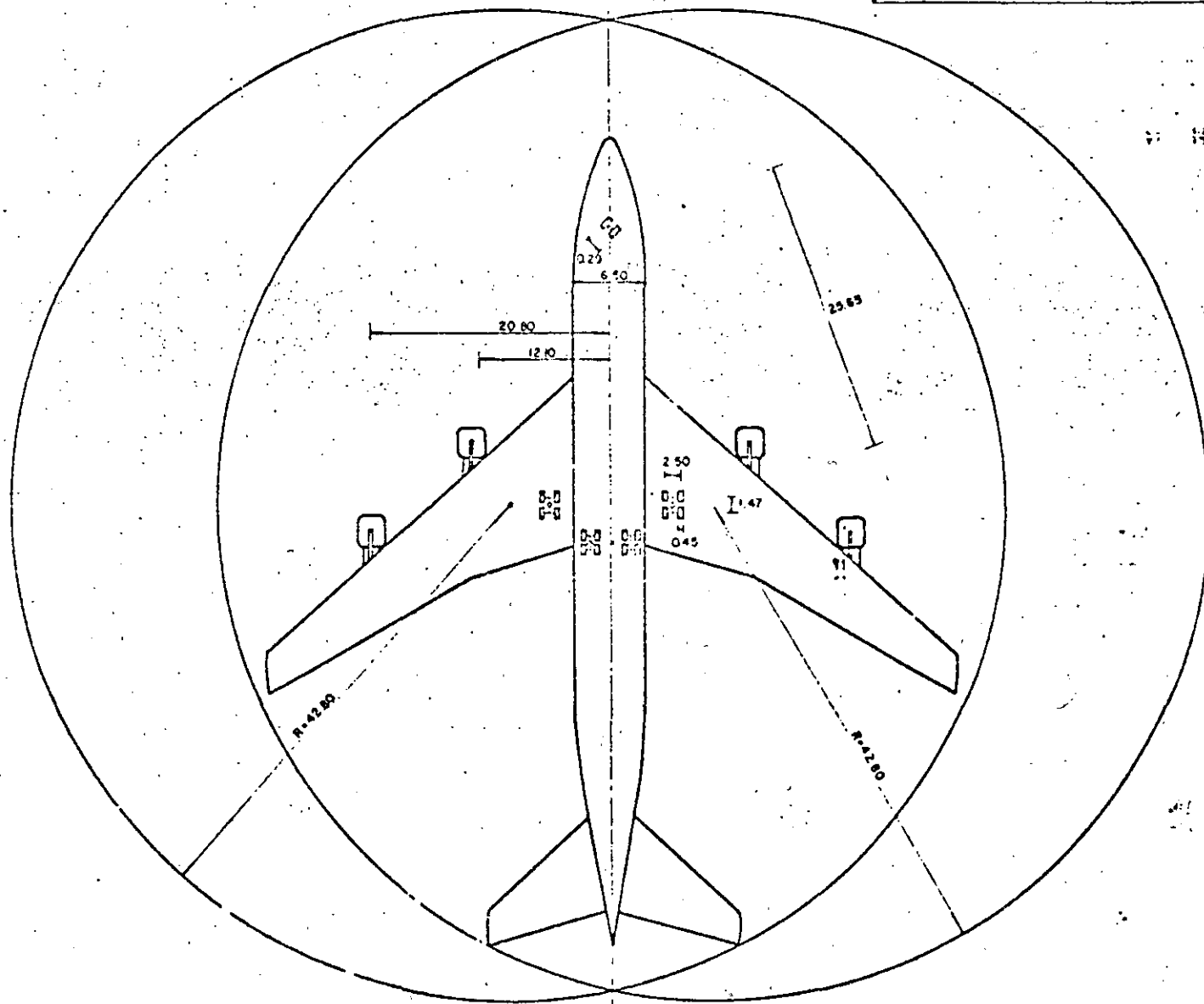
FORMO:  
DIBUJO: *Eduardo Arenas*  
EDUARDO ARENAS E.

Vo Do.:  
EL JEFE DE LA OFICINA  
ING JORGE OCARIZ U.

ESCALA 1: 25  
ACOTACIONES EN METROS

**S. O. P.**  
**D. G. A.**  
OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
MEXICO, D.F., ABRIL DE 1975

B-74



FORMO: *[Signature]*  
 DIBUJO: *[Signature]*  
 EDUARDO ARELLANO T.

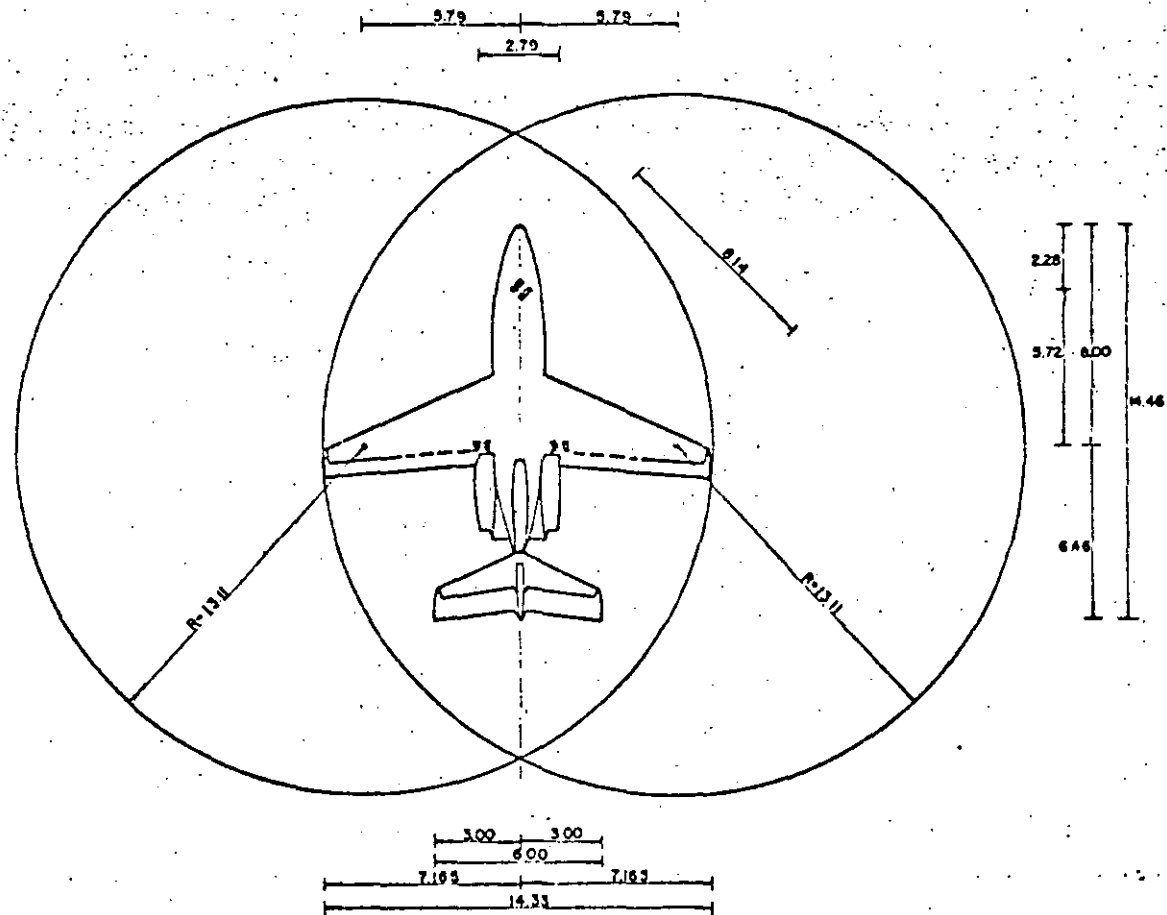
Va. Bo.: *[Signature]*  
 EL JEFE DE LA OFICINA  
 ING. JUAN CARLOS M.

ESCALA 1:250  
 ACOTACIONES EN METROS

S. O. P.  
 D. G. A.  
 OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
 MEXICO, D.F., ABRIL DE 1950

50

HAWKER SID  
DH-125

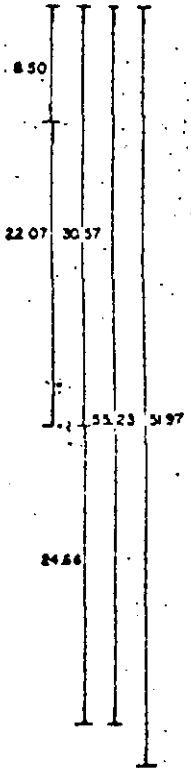
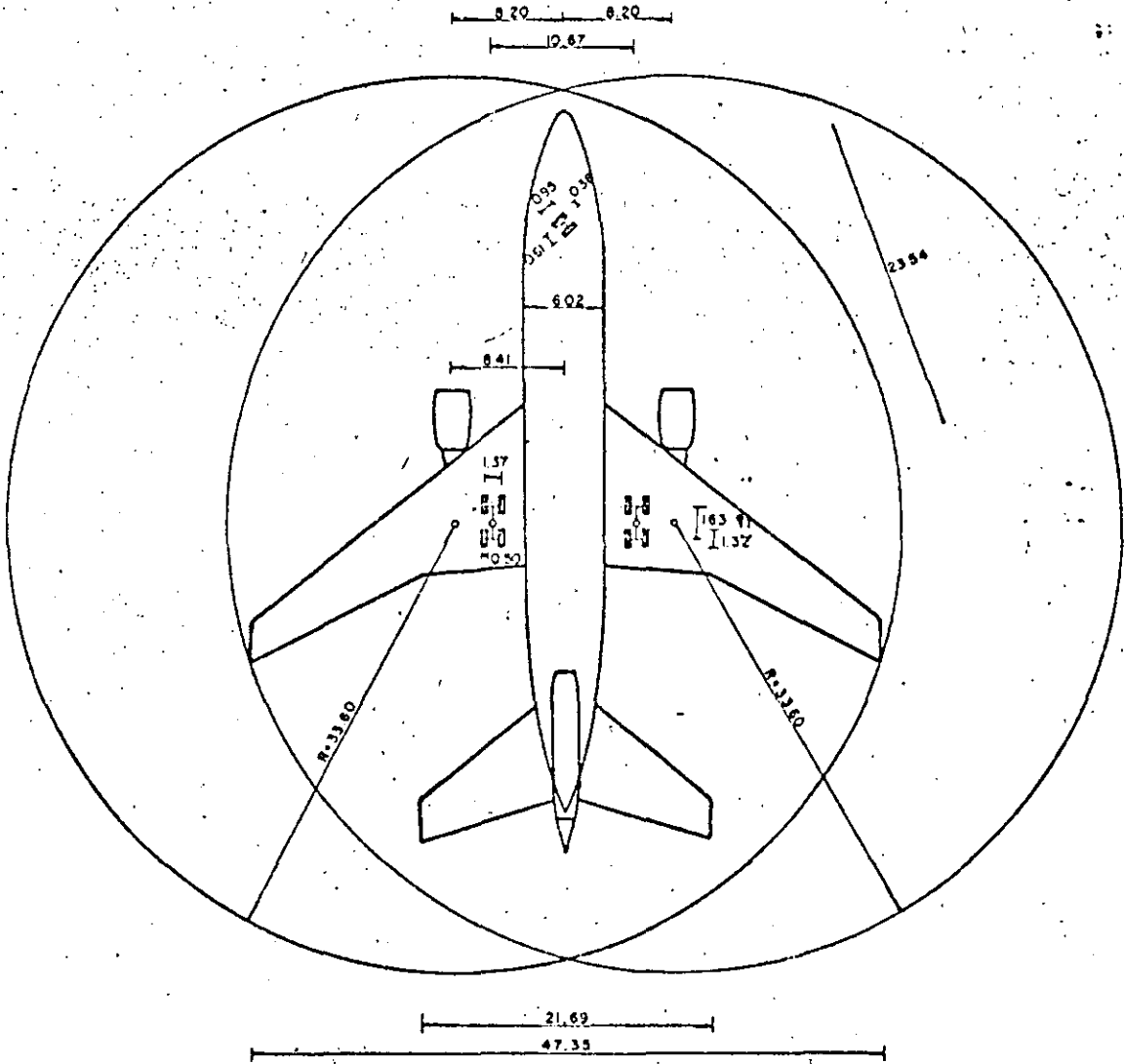


FORMO:  
DIBUJO: *[Signature]*  
EDUARDO ARENAS T.

Ve Bo. EL JEFE DE LA OFICINA  
ING. JUAN C. FARIAS U.

ESCALA 1:125  
ACOTACIONES EN METROS

S. O. P.  
D. G. A.  
OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
MEXICO, D.F., ABRIL DE 1975



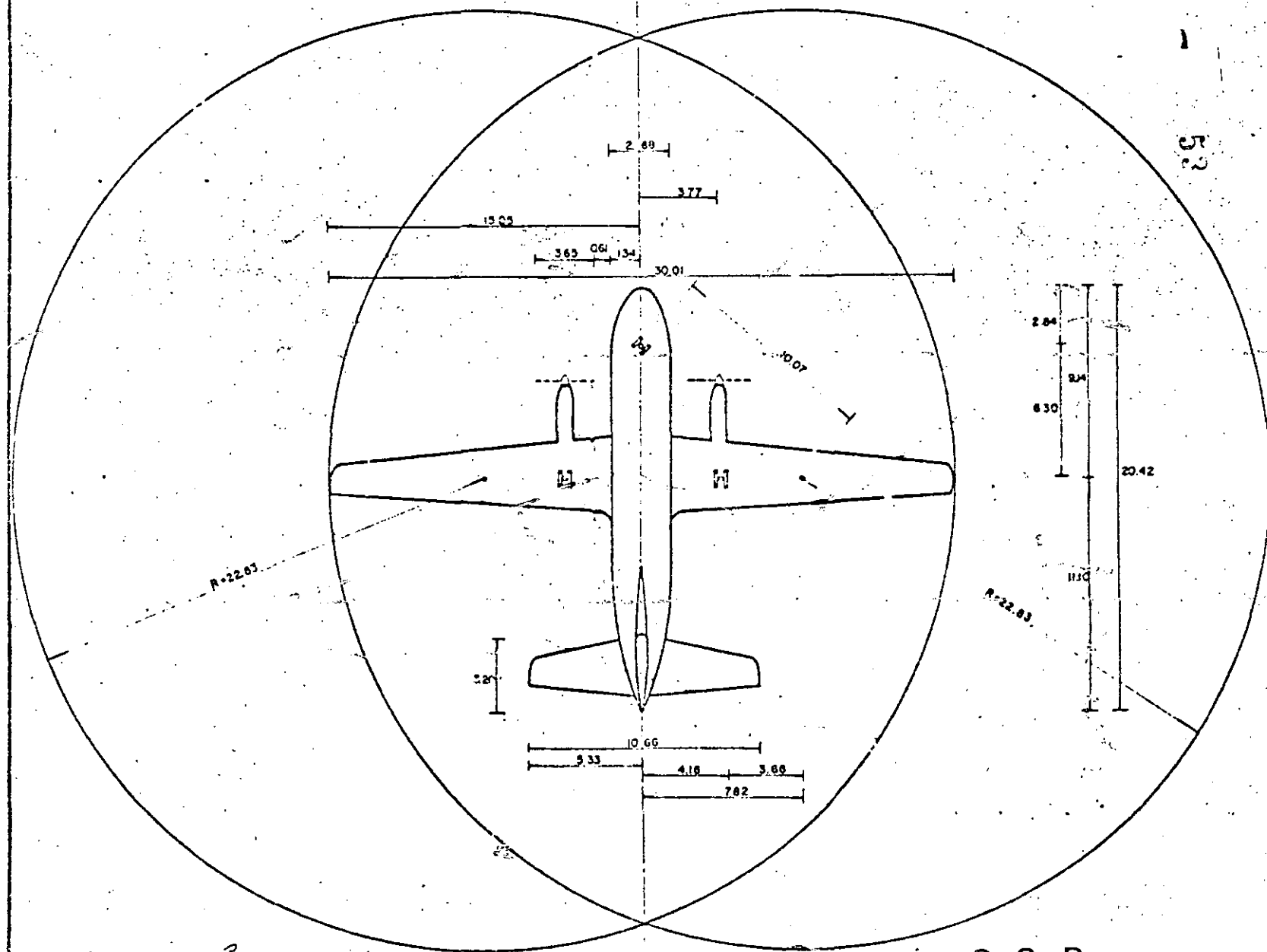
FORMO: *[Signature]*  
DIBUJO: *[Signature]*  
ELVARDO ARENAS T.

Va.Bo.:  
EL JEFE DE LA OFICINA  
ING. JORGE CLAVIERE V.

ESCALA 1:250  
ACOTACIONES EN METROS

S. O. P.  
D. G. A.  
OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
MEXICO, D.F., ABRIL DE 19

HS-7

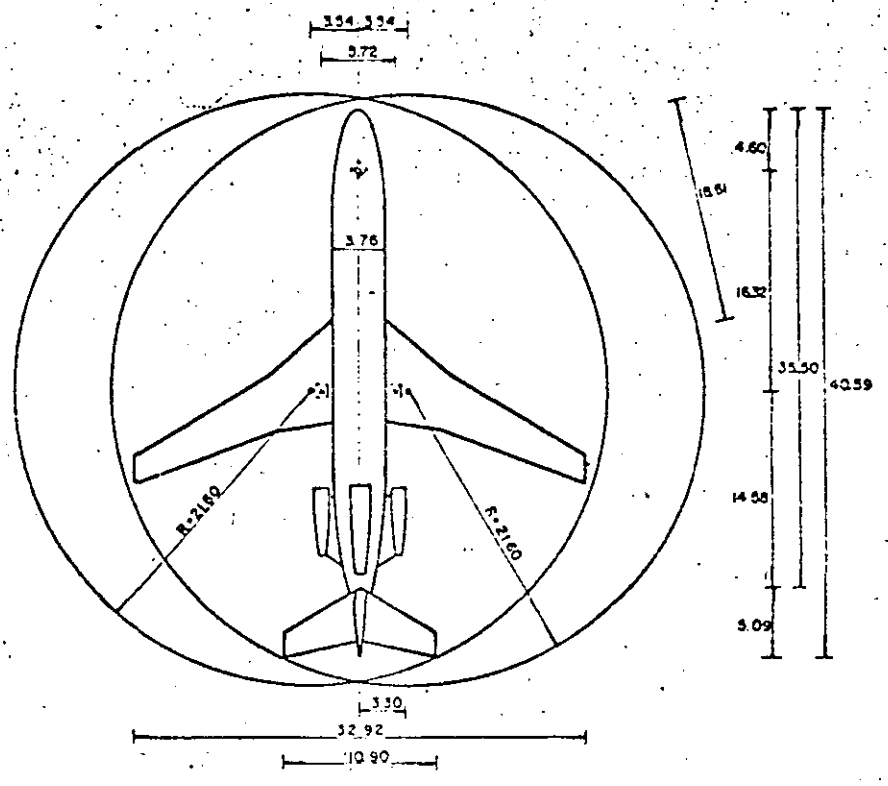


FORMO: *Rosendo*  
DIBUJO: *Rosendo*  
ELABORADO POR: *Rosendo*

Vo Bo:   
EL JEFE DE LA OFICINA  
ING. JUAN CARLOS U.

ESCALA 1:125  
ACOTACIONES EN METROS

S. O. P.  
D. G. A.  
OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
MEXICO, D.F., ABRIL DE 1975



52

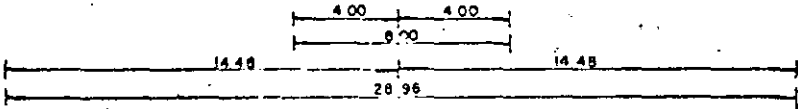
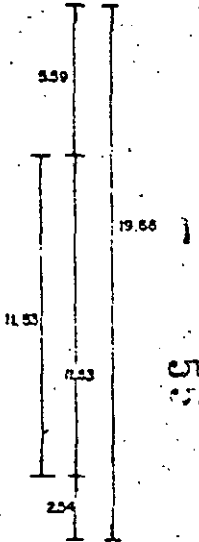
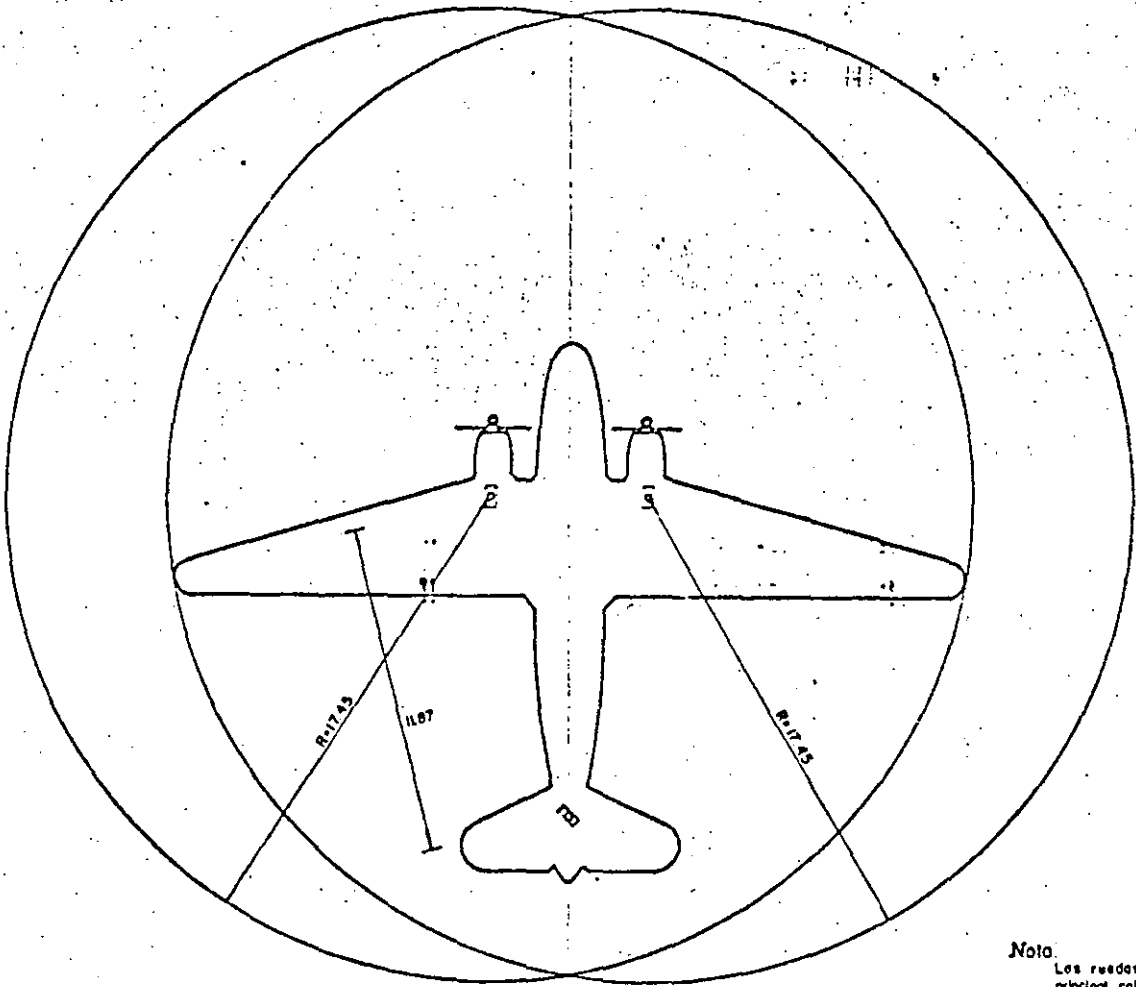
FORMO:  
 DIBUJO: *[Signature]*  
 EGUANGO A. L. N. S. T.

Va Be.  
 EL JEFE DE LA OFICINA  
 ING. JORGE L. CAHIZO

ESCALA 1:250  
 DIMENSIONES EN METROS

S.O.P.  
 D.G.A.  
 OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
 MEXICO, D.F. ABRIL DE 1975

3.04  
2.82 2.82



Nota.  
Los radios del tren de aterrizaje principal coinciden con los origenes de los radios de giro.

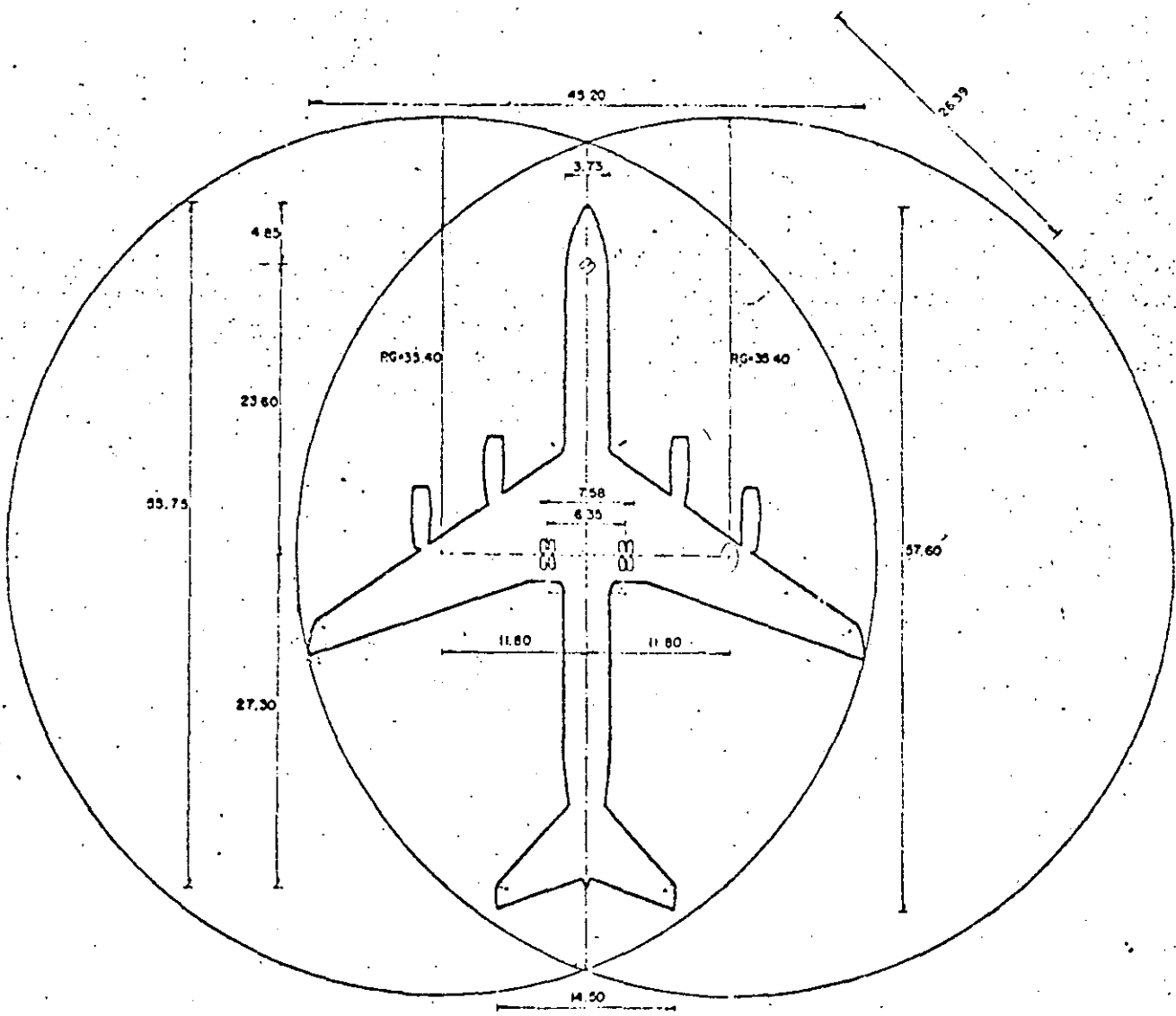
FORMO: *[Signature]*  
DIBUJO: *[Signature]*  
EL CARCO CALNAS

No 80  
EL JEFE DE LA OFICINA  
ING. JUAN COANIZ U.

ESCALA 1:125  
ACOTACIONES EN METROS

S. O. P.  
D. G. A.  
OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
MEXICO, D.F., ABRIL DE 1975





FORVO: *[Signature]*  
 DIBUJO: *[Signature]*  
 LUIS JO. ARENAS

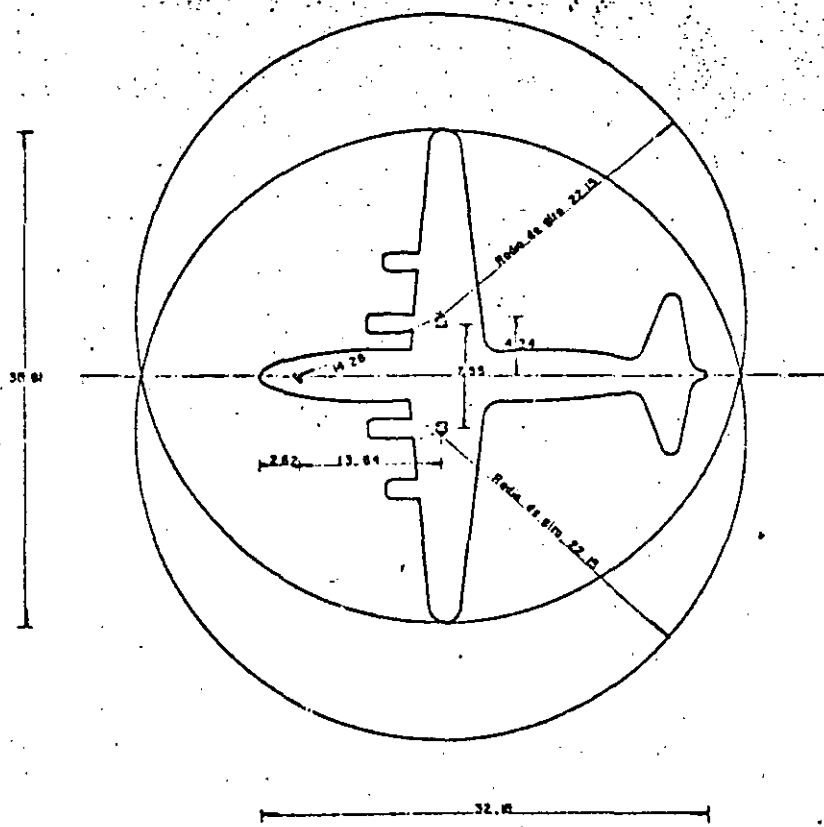
Vo Bo.: \_\_\_\_\_  
 EL JEFE DE LA OFICINA  
 DE PROYECTOS AERONAUTICOS

ESCALA 1:250  
 UNIDADES EN METROS

S.O.P.  
 D.G.A.  
 OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
 MEXICO, D.F., ABRIL DE 1975

52

DC - 6B



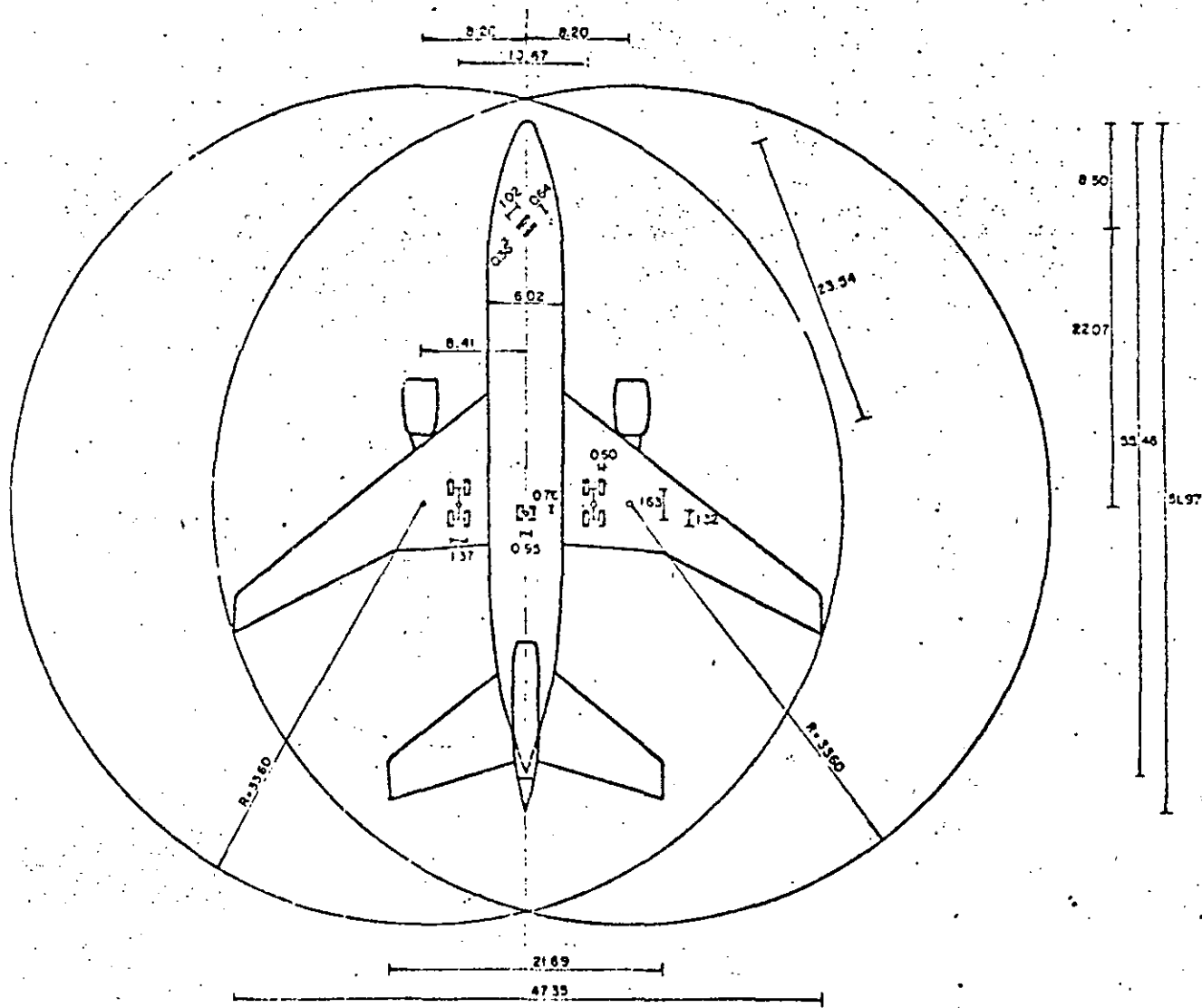
57

FORMO EUGENIO ARNAL Y

DISEÑO C. ESCOBAR TILLES Y

OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS

S. O. P.  
D. G. A.  
OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
FEBRERO 75

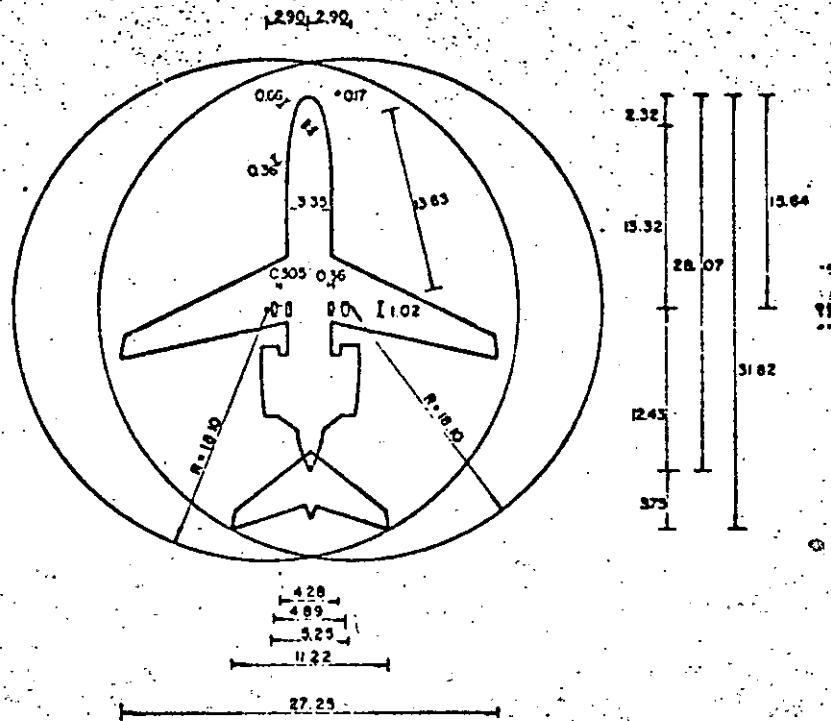


OPMO:  
DIBUJO: *[Signature]*  
EDUARDO GARCIA

Vo Bo:  
EL JEFE DE LA OFICINA  
ING. J. M. GARCIA

ESCALA 1:250  
COTACIONES EN METROS

S. O. P.  
D. G. A.  
OFICINA DE PROYECTOS AERNAUTICOS  
MEXICO, D.F., ABRIL DE 19



FORMO:  
DIBUJO:

*[Signature]*  
LIVIANO ARENAS

NO 00:

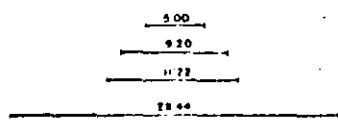
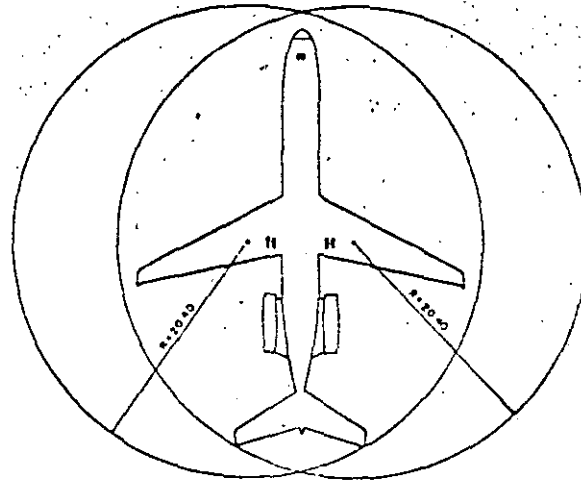
EL JEFE DE LA OFICINA  
ING. JOAQUIN CARRIZO

ESCALA 1:250  
ACOTACIONES EN METROS

S.O.P.  
D.G.A.  
OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
MEXICO, D.F. ABRIL DE 1975

50

DC-9-32

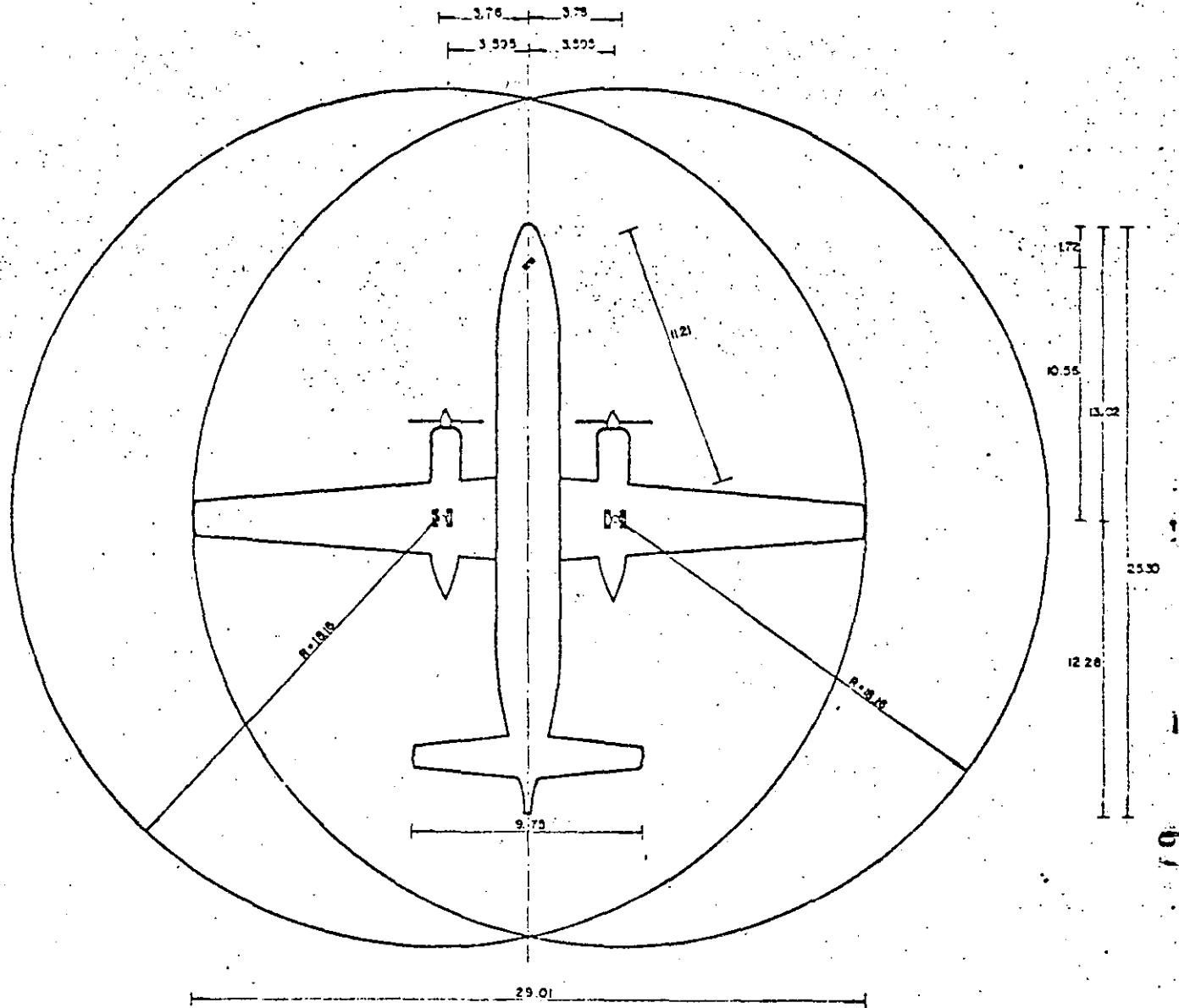


ACOTACIONES EN METROS  
ESCALA 1:250

S.A.H.O.P.  
D.G.A.  
OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
MEXICO, D.F. AGOSTO DE 1960

DIBUJO DAVID CARRILLO G. V. R. EL JEFE DE LA OFICINA  
ING. HECTOR MARTINEZ SANDOVAL

60



FORMA:  
DIBUJO: *Eduardo Arenas*  
EDUARDO ARENAS

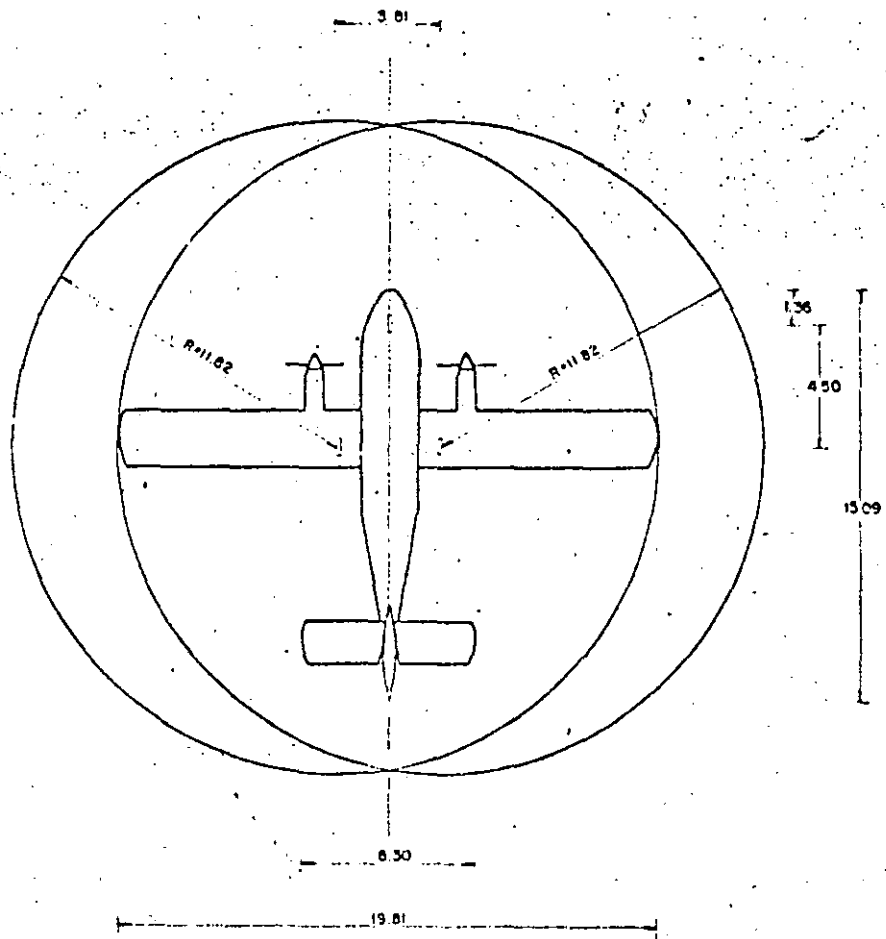
Va Bo. \_\_\_\_\_  
EL JEFE DE LA OFICINA  
INGENIERO CARLOS V.

ESCALA 1:125  
ACOTACIONES EN METROS

S.O.P.  
D.G.A.  
OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS  
MEXICO, D.F., ABRIL DE 1975

61

TWIN OTTER DHC-6



62

FORMA EDUARDO ESTEBAN TRUJILLO

DIBUJO JOSÉ LUIS ZALDARÁN MANSOUR

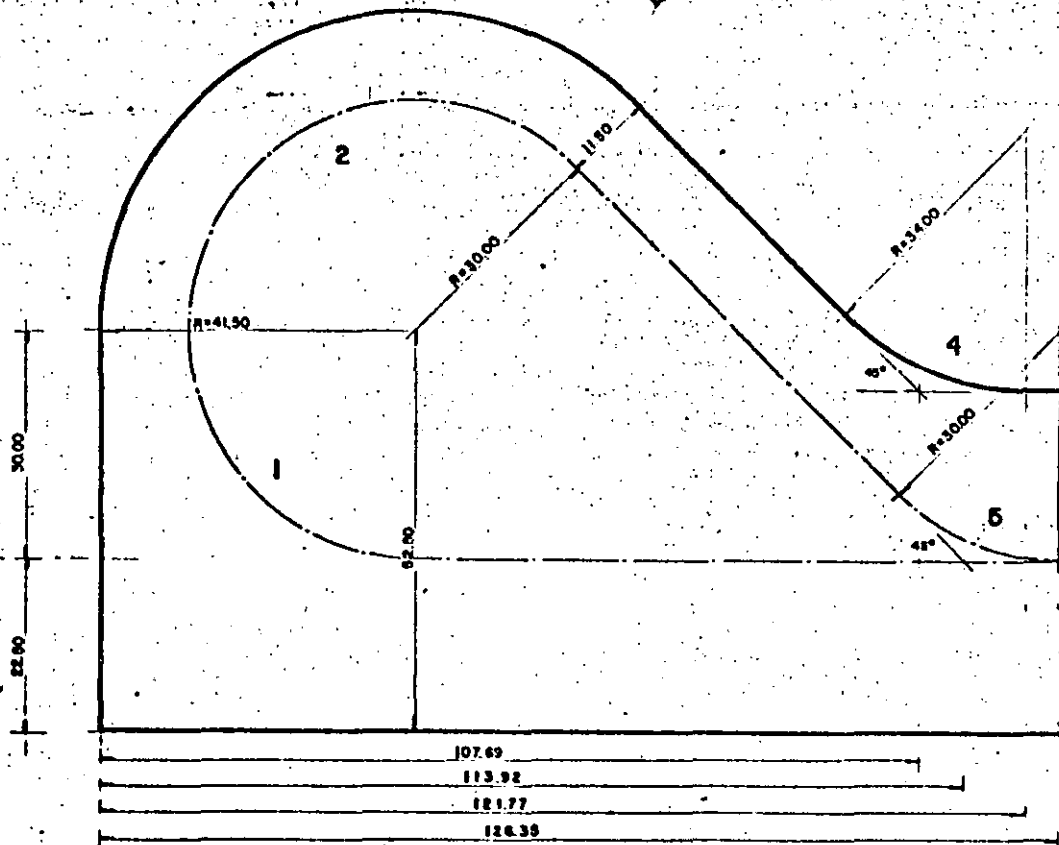
VO. B. EL JEFE DE LA OFICINA  
ING. J. J. DE ANDRÉS

ESCALA 1:125  
ACOTACIONES EN MTS.

S O P  
D G A

OFICINA DE PROYECTOS AERONÁUTICOS

MEXICO, D. F., FEBRERO 1975



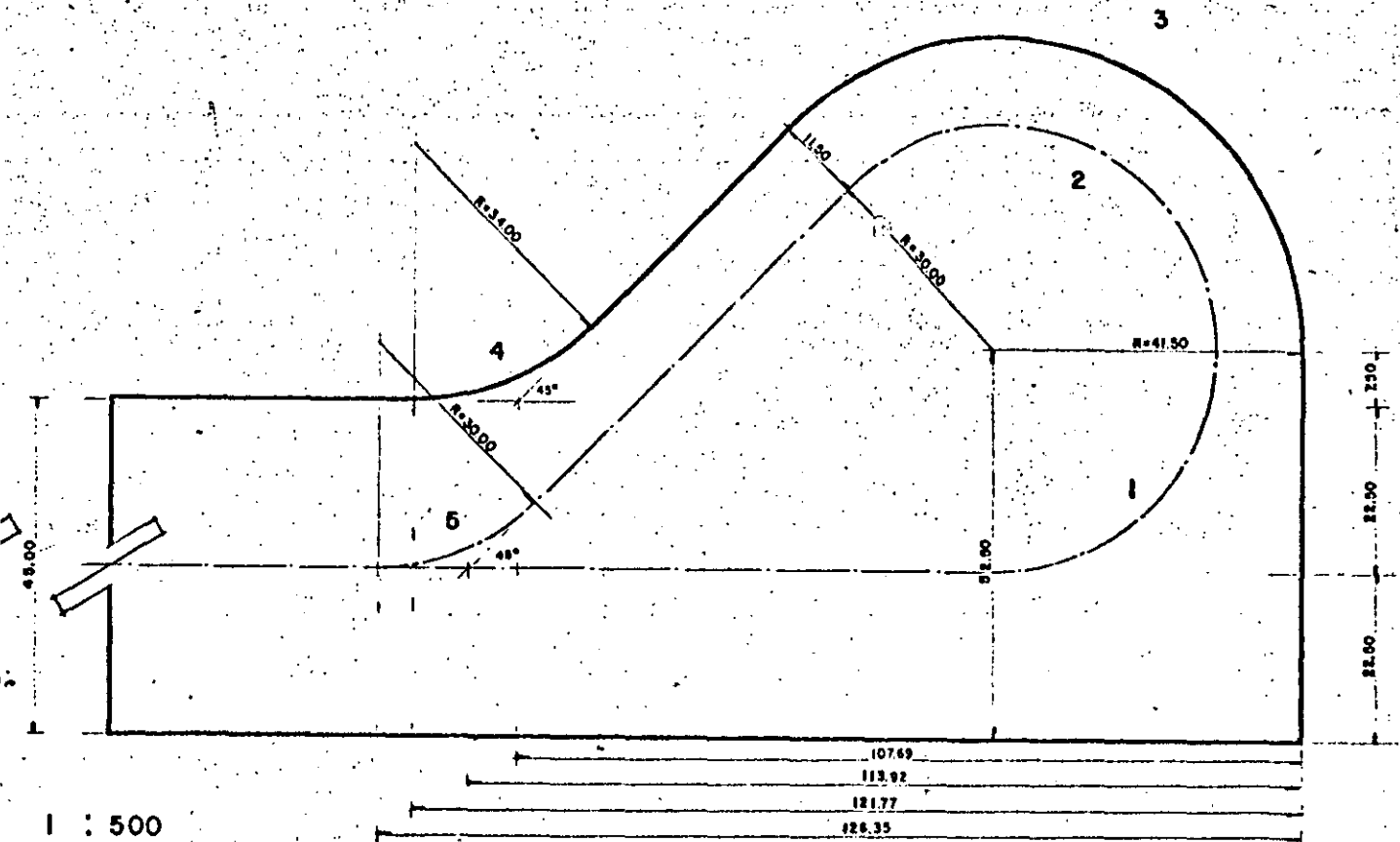
ESCA  
ACOT

DATOS DE CURVA				
	1	2	3	4
$\Delta$	90° 00' 00"	135° 00' 00"	135° 00' 00"	45° 00' 00"
R	30.00 m	30.00 m	41.50 m	34.00 m
G	38° 11' 50" 4	38° 11' 50" 4	27° 36' 45" 11	33° 41' 50" 4
ST	30.00 m	72.43 m	100.19 m	14.00 m
LG	47.12 m	70.69 m	97.78 m	26.70 m

PROYECTA: *[Signature]*  
 C. J. MONTELLERANATE  
 REVISOR: *[Signature]*  
 C. J. MONTELLERANATE



64  
 $1 \times 3 = 100\%$



1 : 500  
 METROS EN METROS

S	5
"	45° 00' 00"
	30.00 m
71	38° 11' 50"
	12.43 m
	23.56 m

PROPUISO EL JEFE DEL DEPARTAMENTO

1<sup>o</sup> Sr. HECTOR MARTINEZ SANDOVAL  
 Vº DE EL SUBDIRECTOR DE PROYECTOS

2<sup>o</sup> Sr. HECTOR RODRIGUEZ REGUERO  
 APROBO EL DIRECTOR DE AREA

3<sup>o</sup> Sr. LUIS A. MARTIN CHAVEZ

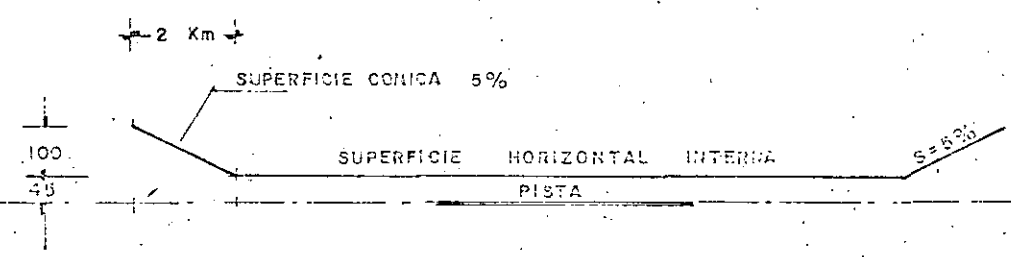
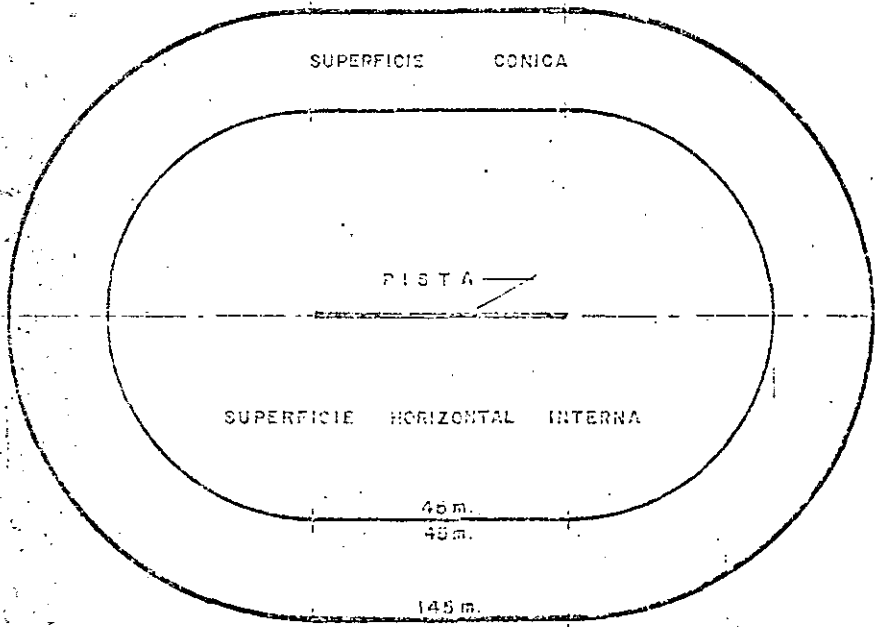


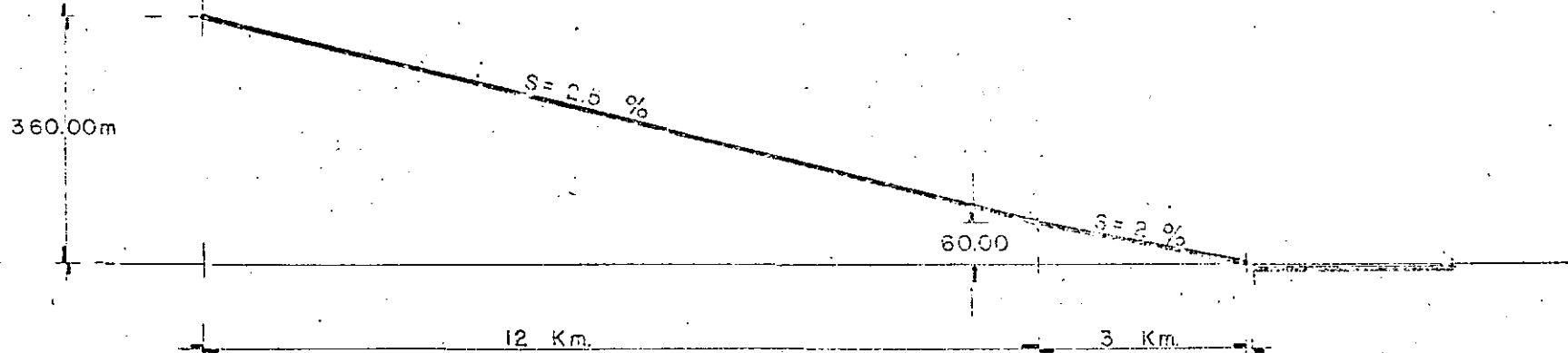
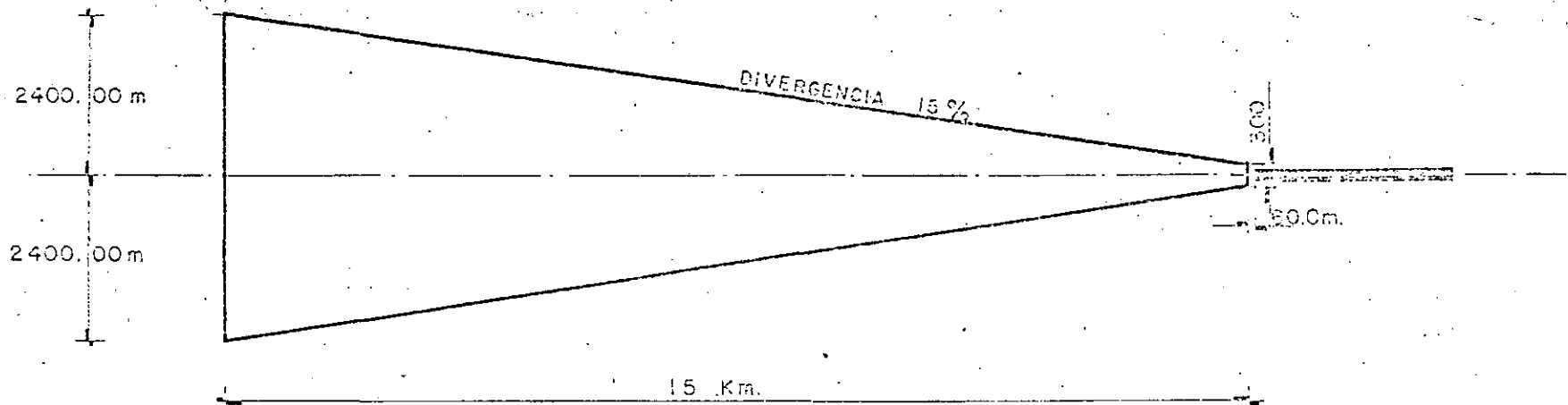
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA  
 DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
 DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
 SUBDIRECCION DE PROYECTOS  
 DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS BASICOS DE INGENIERIA

**G O T A D E R E T O R N O**  
**P A R A P I S T A D E 4 5 m**

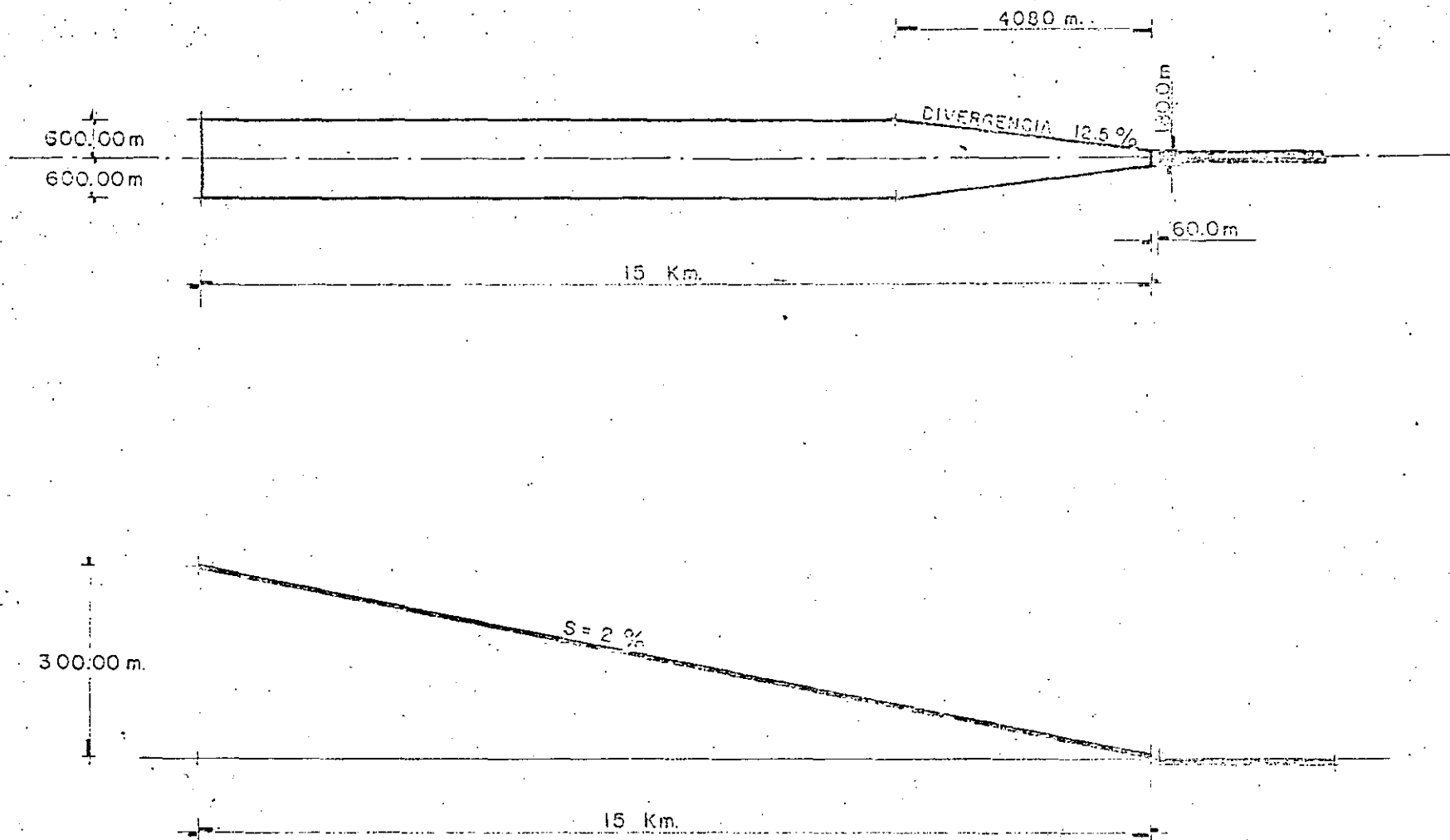
MEXICO, D.F. Junio de 1984 Hoja No. No. A-

# NORMAS O A C I    P R O T E C C I O N   D E   O B S T A C U L O S



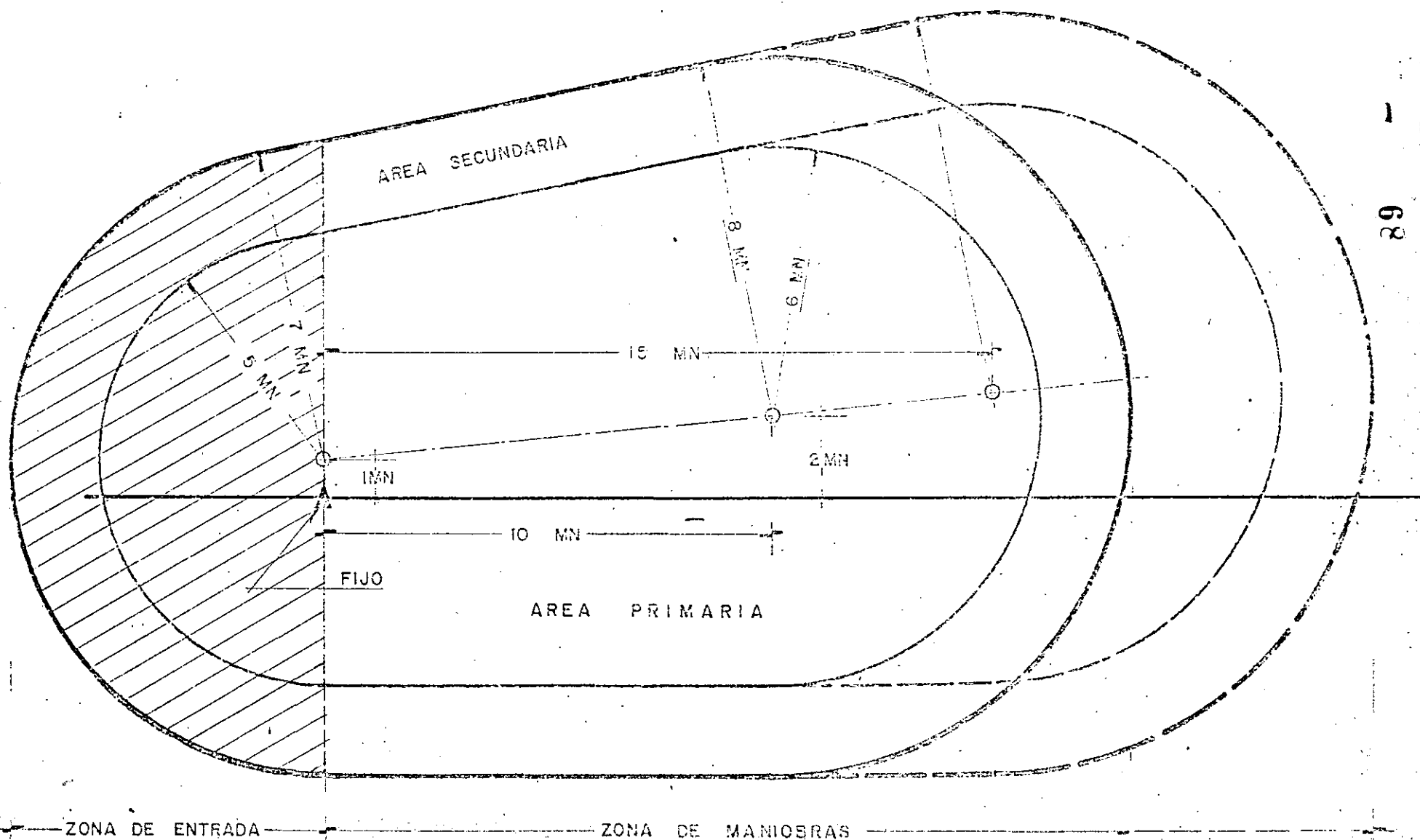


NORMAS OACI PARA APROXIMACION

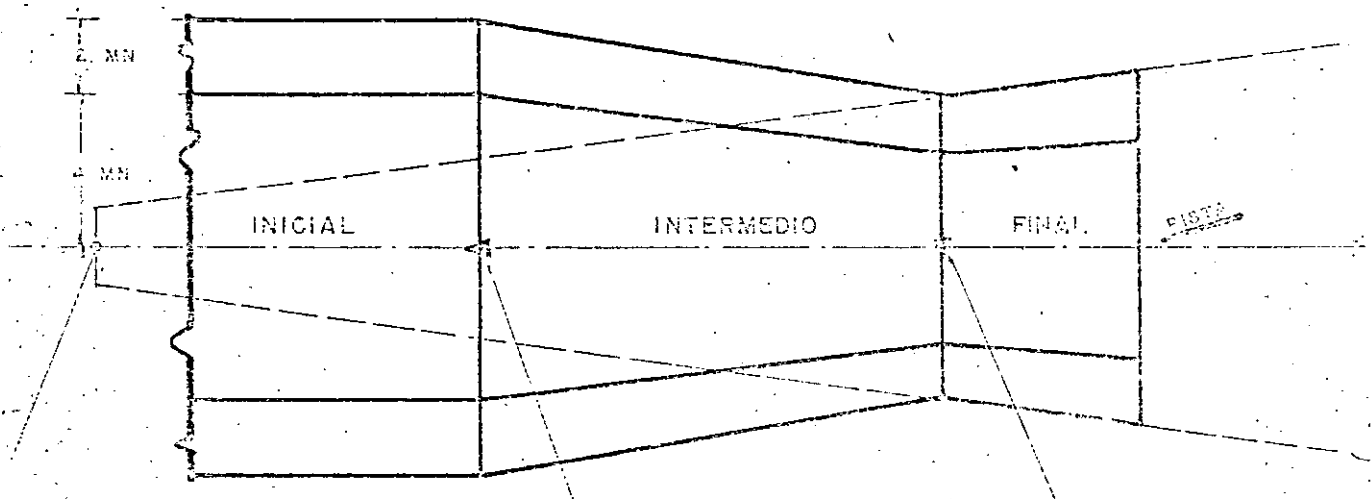


NORMAS OACI PARA DESPEGUE

# VIRAJE DE PROCEDIMIENTO



# SEGMENTOS DE APROXIMACION



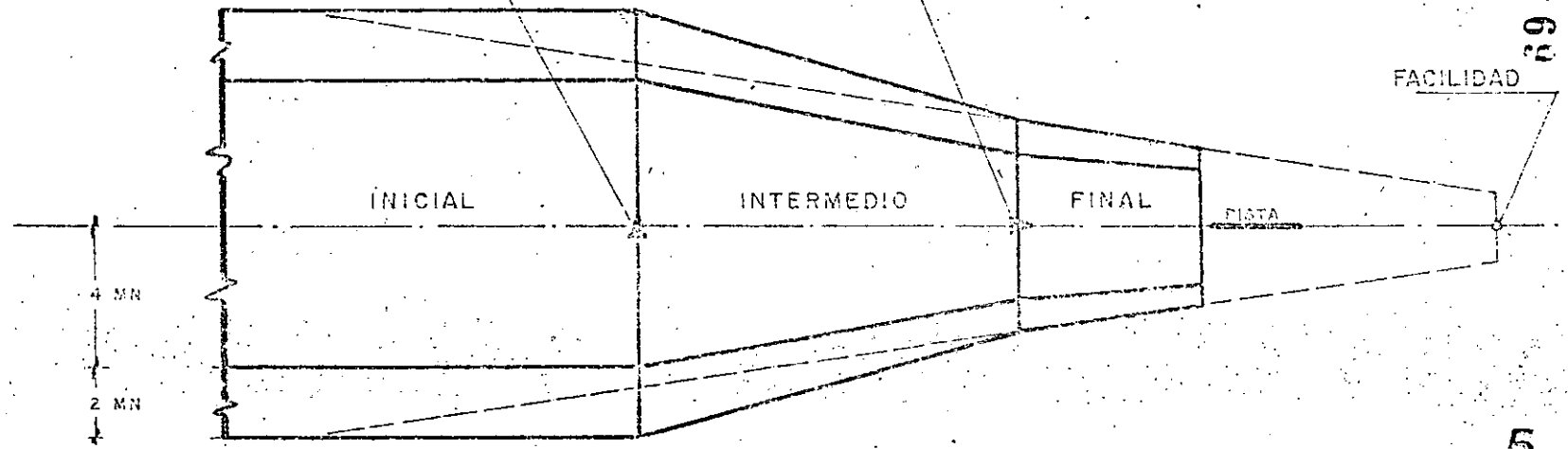
LONGITUD MINIMA DEL SEGMENTO INTERMEDIO

ANGULO (GRADOS)	LONGITUD (MILLAS)
91-96	6
97-102	7
103-108	8
109-114	9
115-120	10

FACILIDAD

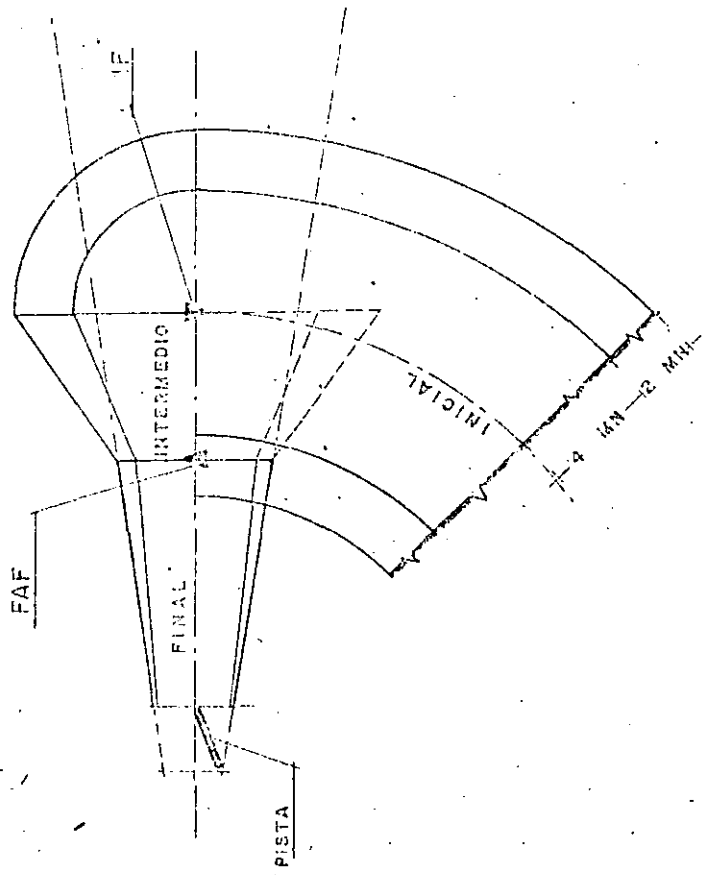
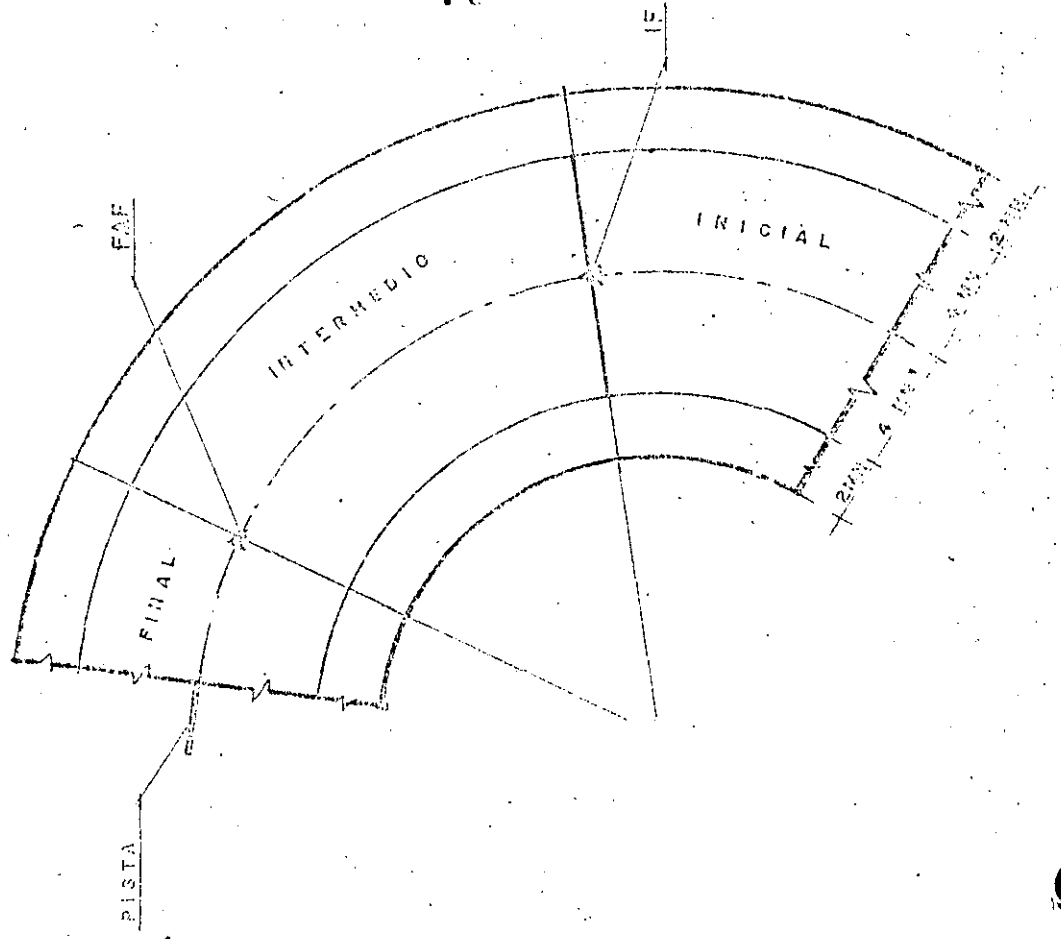
IF

FAF



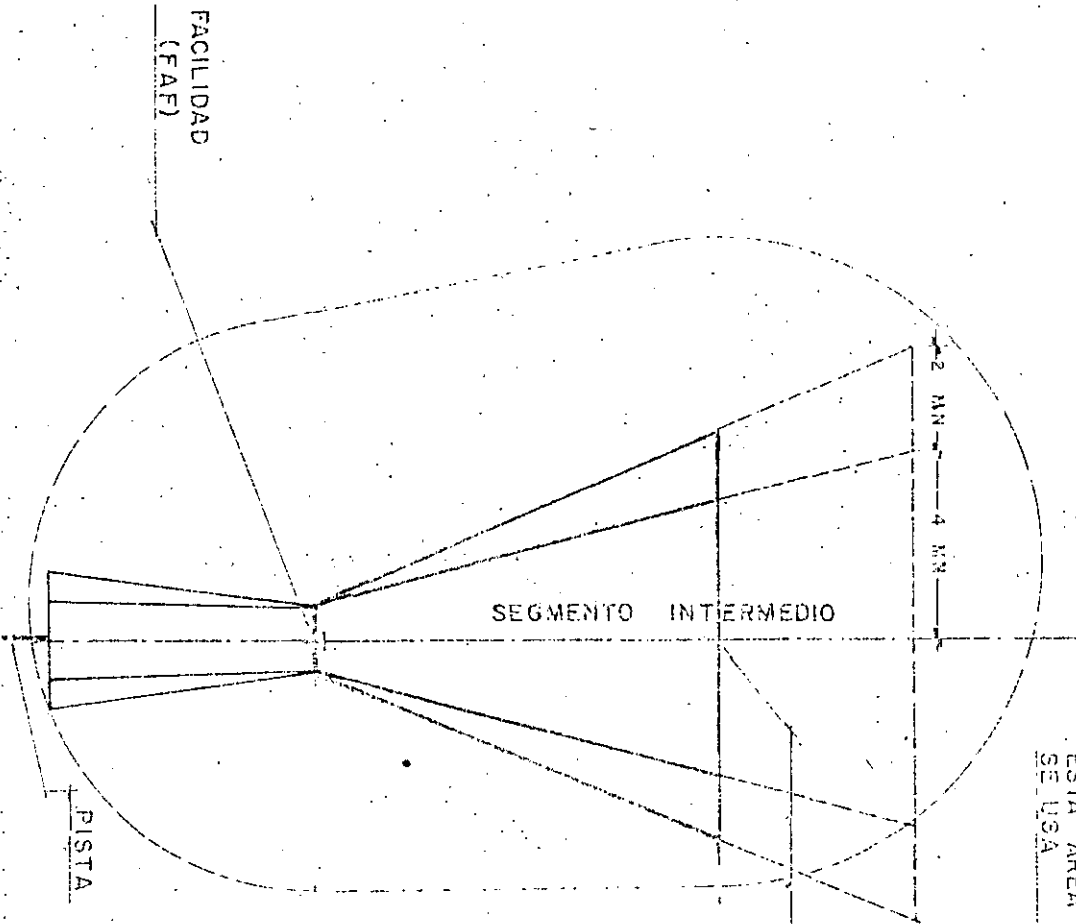
FACILIDAD

SEGMENTOS DE APROXIMACION

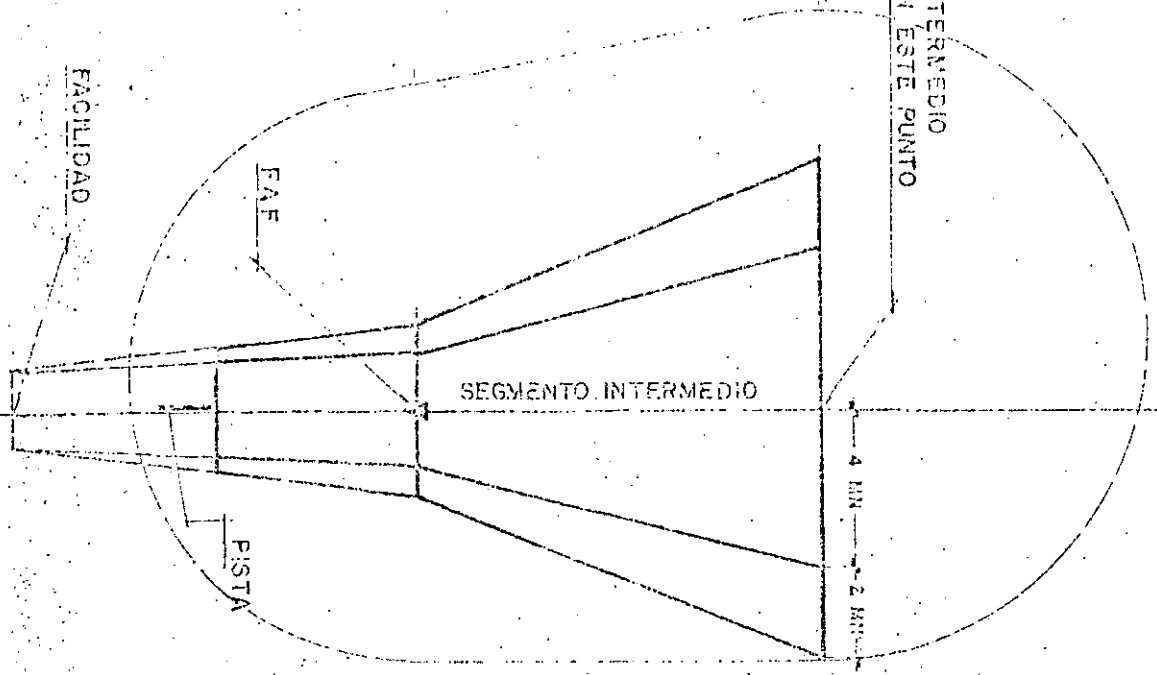


# SEGMENTO INTERMEDIO CON VIRAJE DE PROCEDIMIENTO

ESTA AREA NO  
SE USA



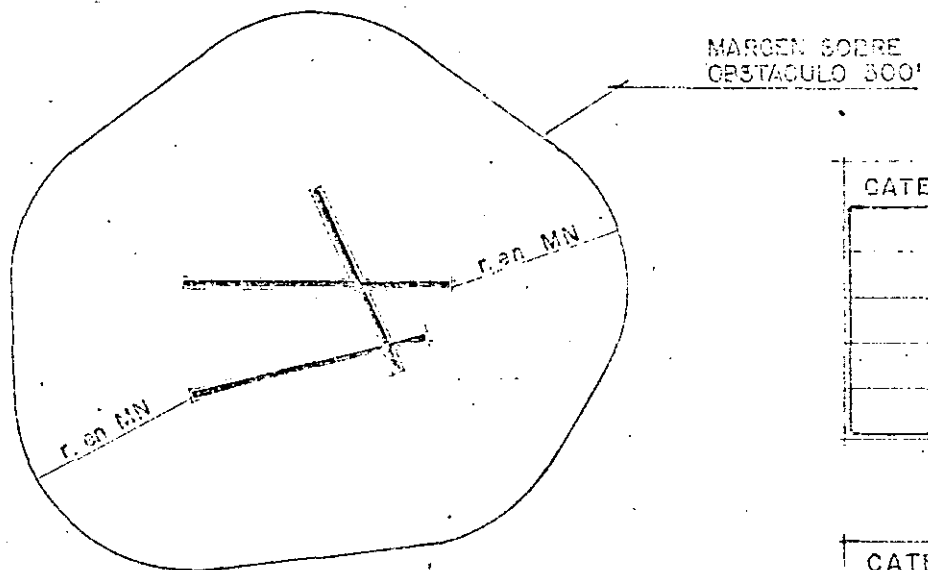
FAF ES LA FACILIDAD



FAF NO ES LA FACILIDAD



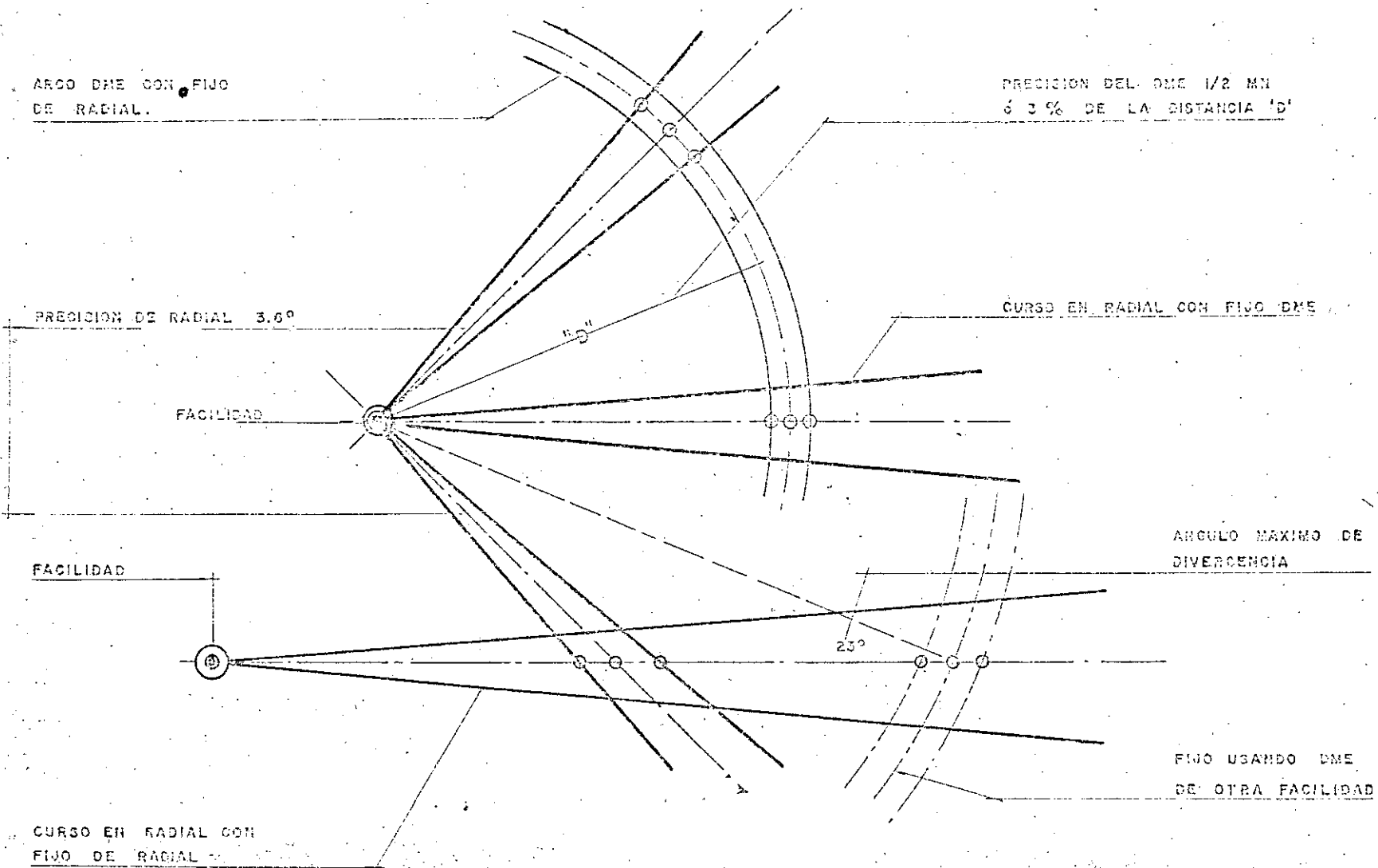
# APROXIMACION CIRCULANDO



CATEGORIA DE APROXIMACION	RADIOS EN MILLAS NAUTICAS
A	1.3
B	1.5
C	1.7
D	2.3
E	4.5

CATEGORIA DE APROXIMACION	N	U	D	O	S
A		-	-	91	
B		91	111	121	
C		121	-	141	
D		141	-	156	
E		MAYOR DE		166	

# ERROR DE FIJOS



# OPCIONES PARA TRAYECTORIAS DE APROXIMACION FINAL POR FUERA DEL AEROPUERTO

ANGULO MAXIMO EN  
CUALQUIER PUNTO

3 000'

EJE DE PISTA

PISTA

30°

PUNTO OPTIMO DE  
INTERCEPCION  
(umbral)

LIMITE MAXIMO

CURSO OPTIMO

APROXIMACION DIRECTA

FACILIDAD

G

LIMITE

CURSO OPTIMO

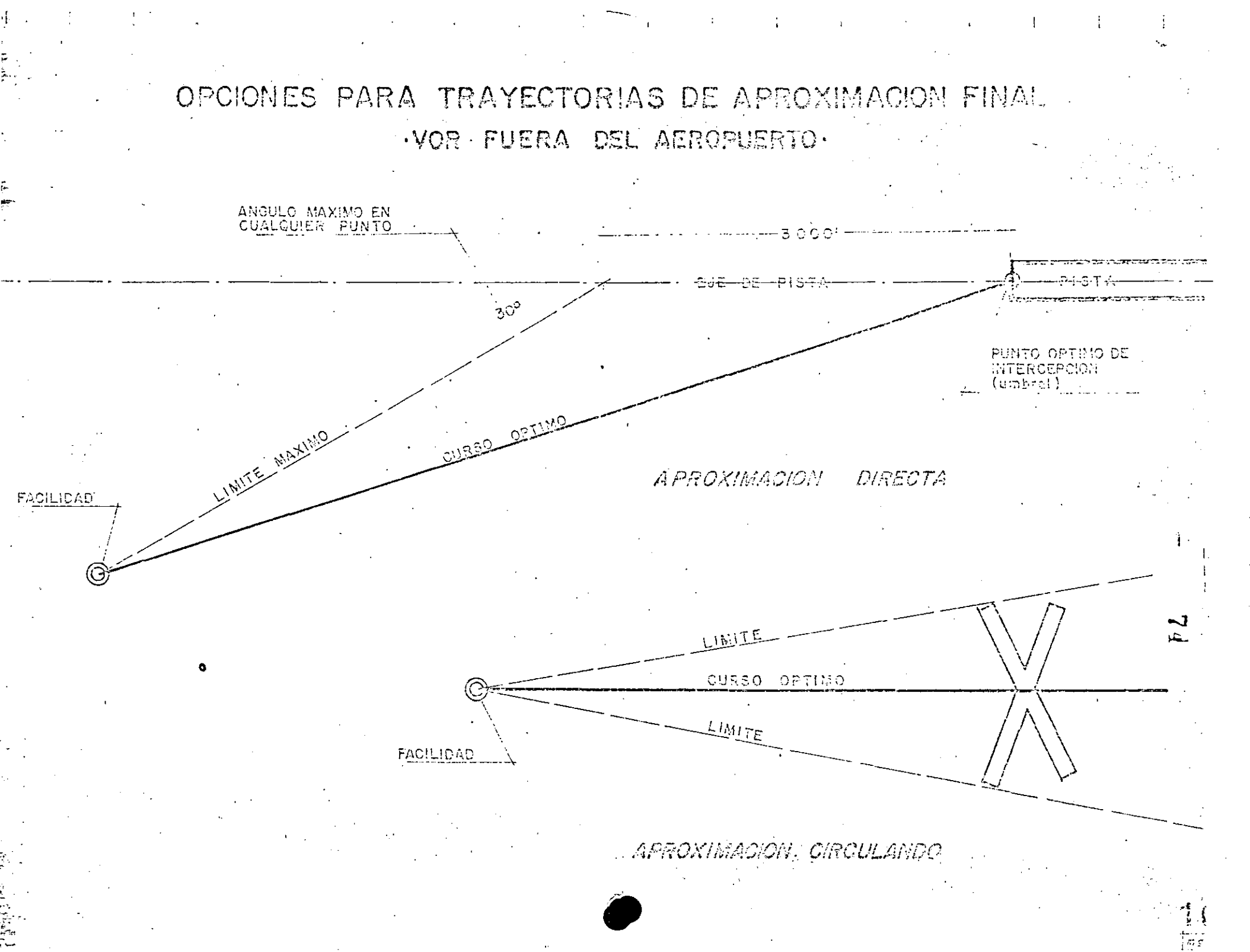
LIMITE

FACILIDAD

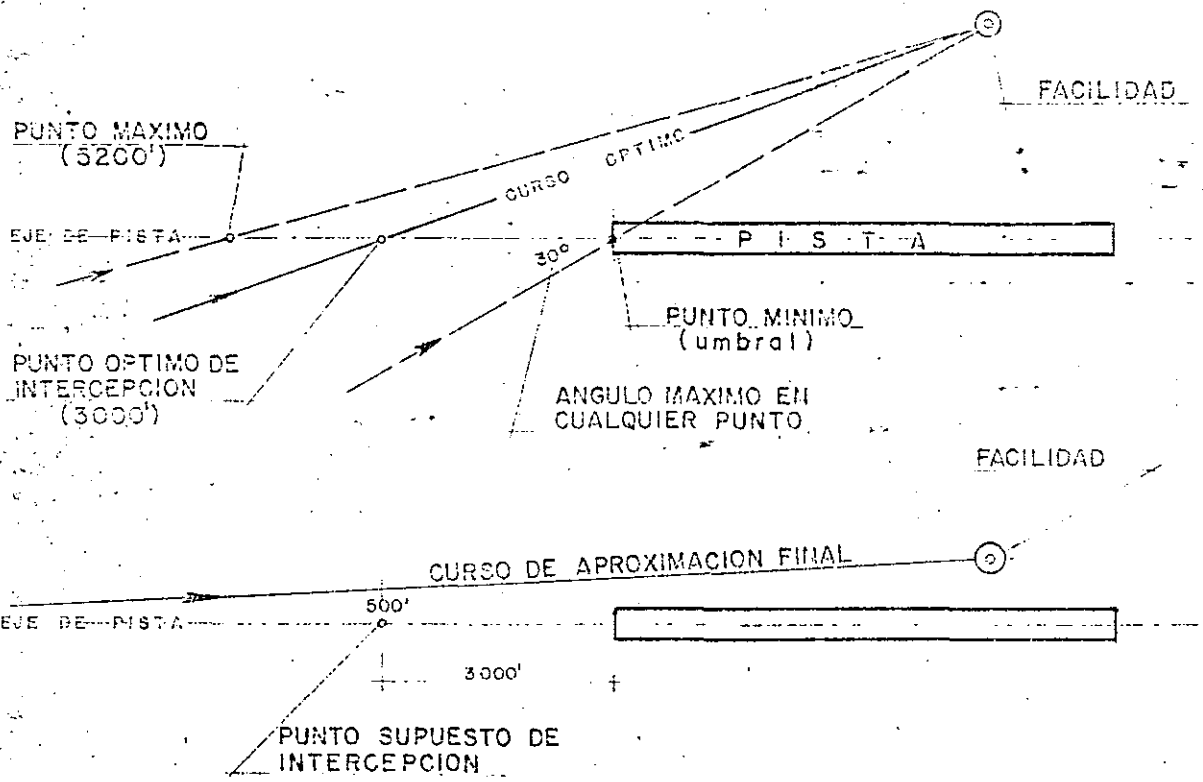
C

74

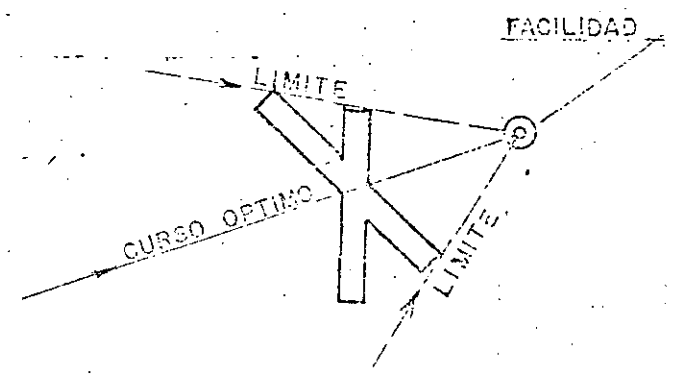
APROXIMACION CIRCULANDO



# OPCIONES PARA TRAYECTORIAS DE APROXIMACION FINAL DENTRO DEL AEROPUERTO:

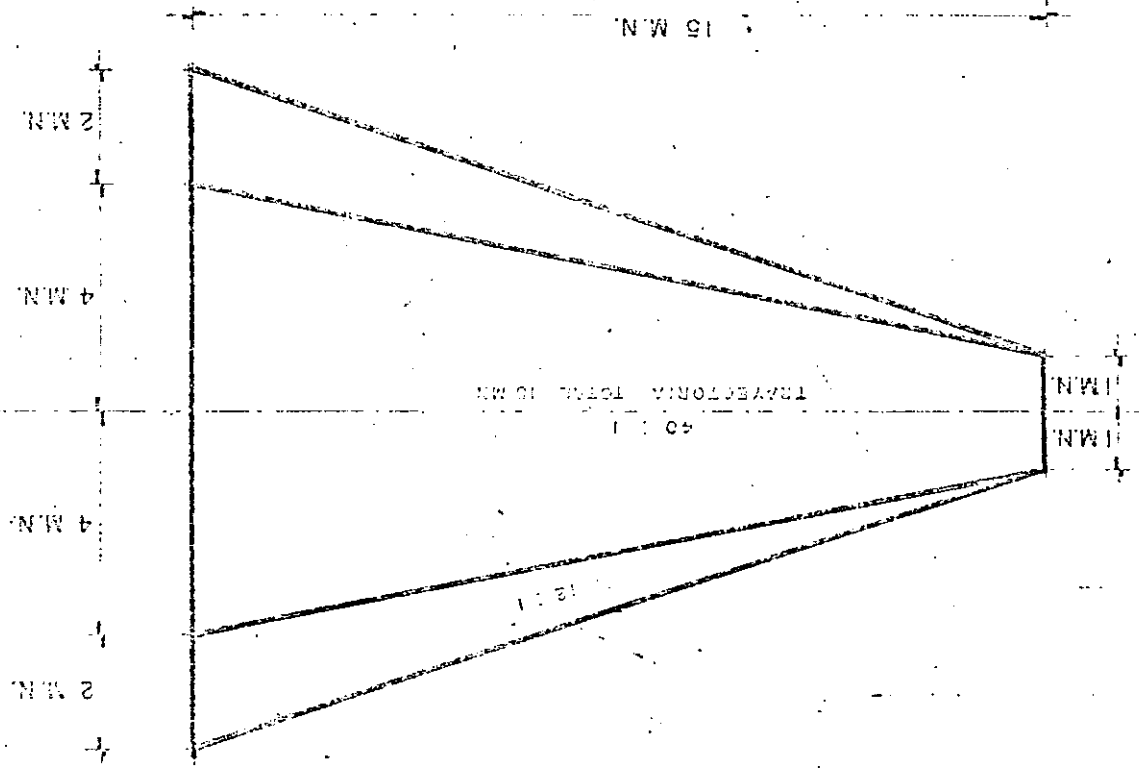


APROXIMACION DIRECTA



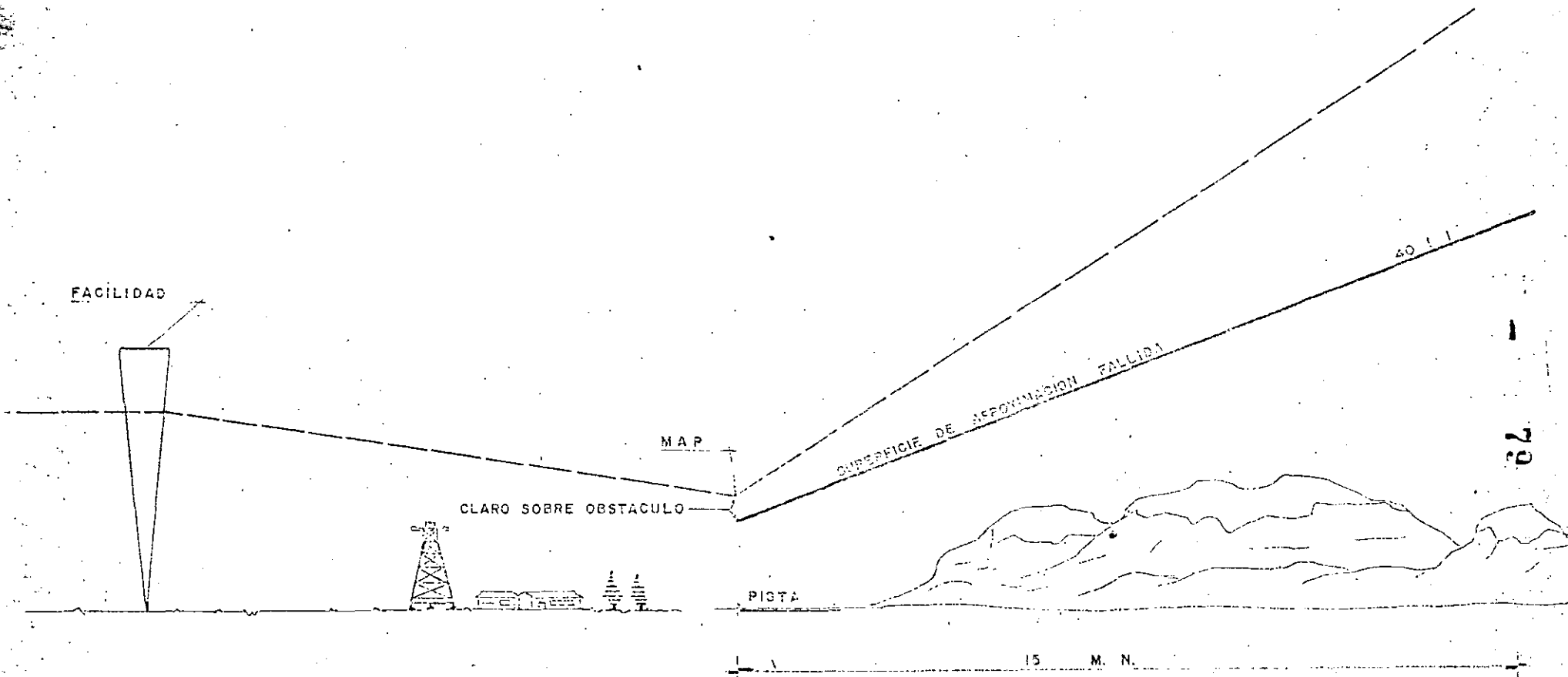
APROXIMACION CIRCULANDO

FALLIDA POR RECTA



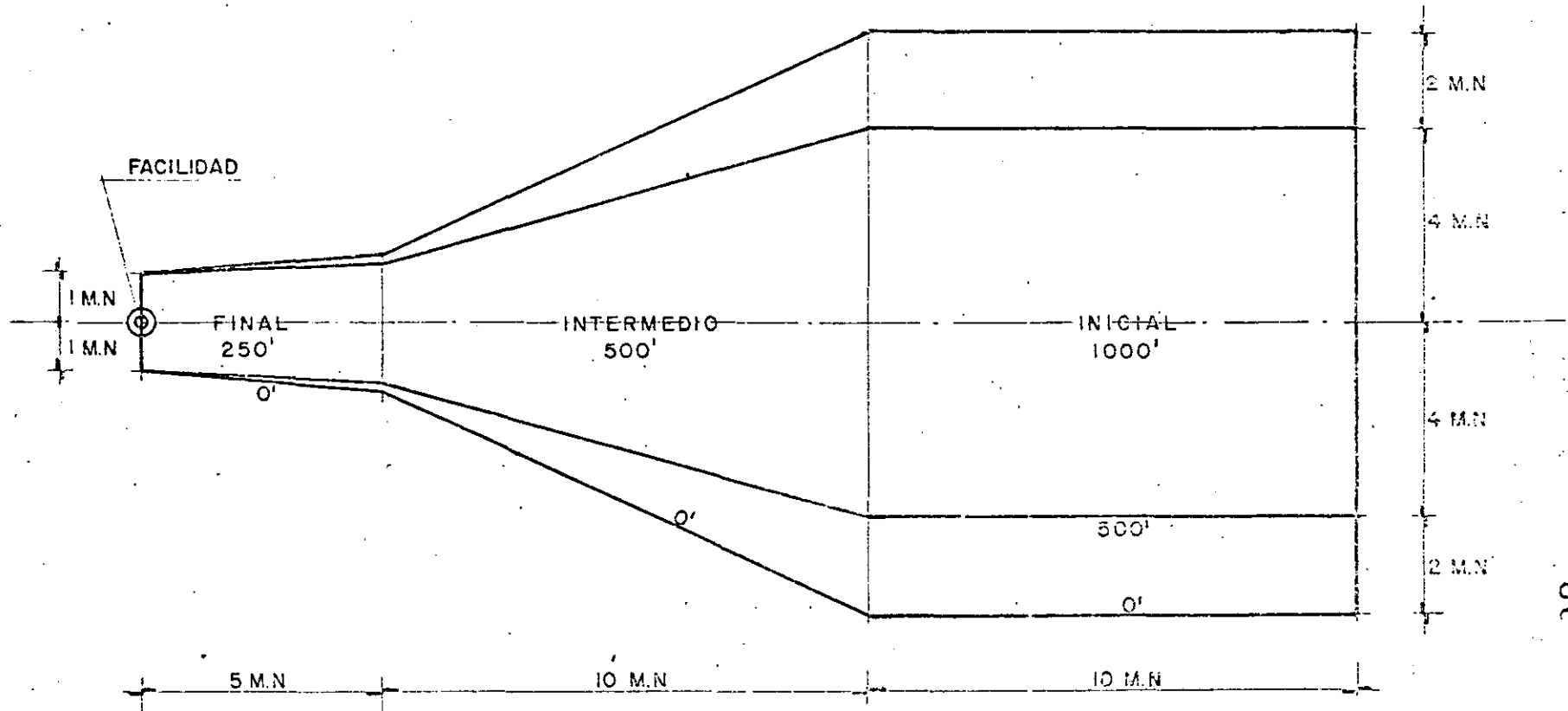
32

# APROXIMACION FALLIDA RECTA



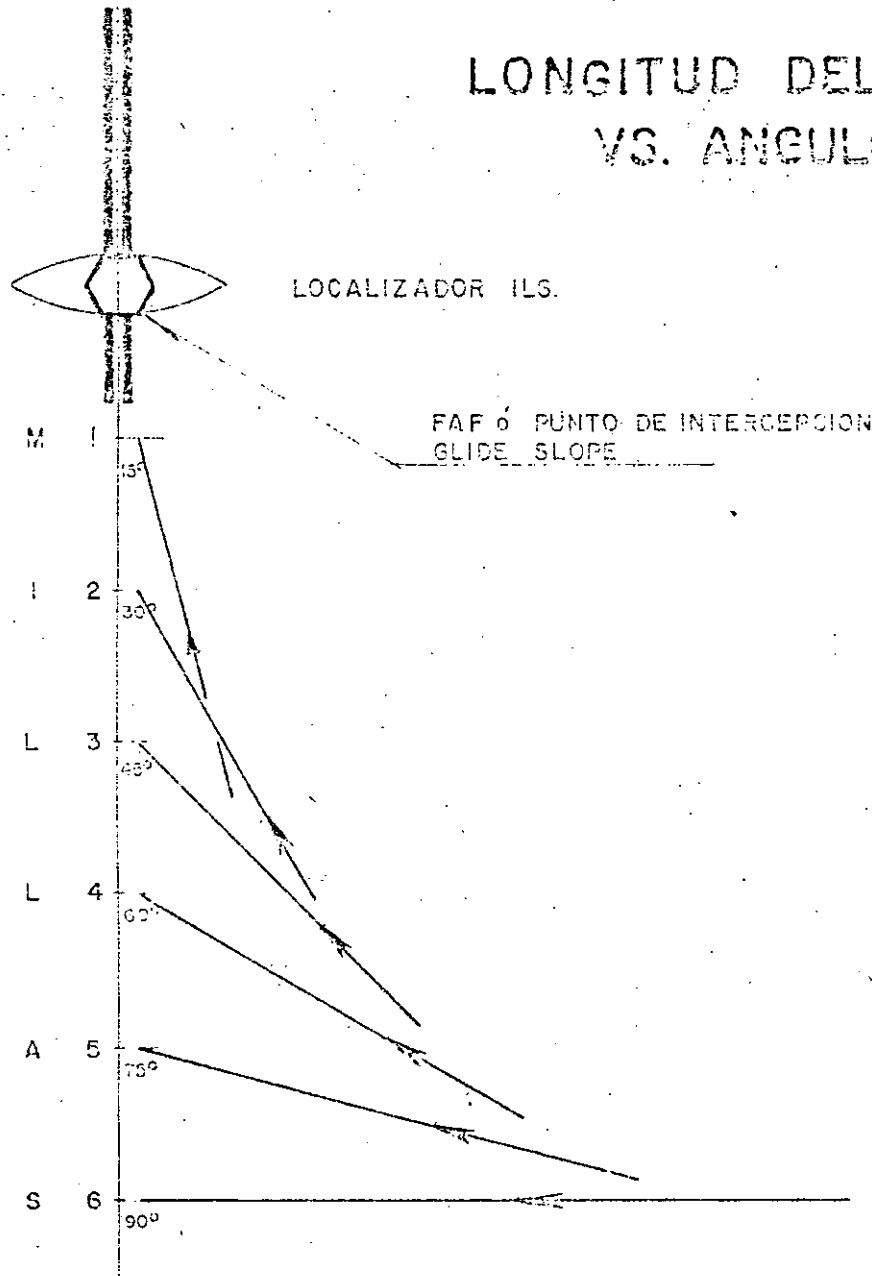
79

# PROCEDIMIENTOS VOR DME



SEGMENTO	LONGITUD (M.N.)		GRADIENTE FT/M.N.		CLARO SOBRE OBSTACULOS FT	
	HASTA	OPTIMO	HASTA	OPTIMO	PRIMARIA	SECUNDARIA
FINAL	HASTA 10	OPTIMO 5	HASTA 400	OPTIMO 300	PRIMARIA 250	SECUNDARIA 0-250
INTERMEDIO	5 - 15	OPTIMO 10	HASTA 300	OPTIMO 150	PRIMARIA 500	SECUNDARIA 0-500
ICIAL	INDEFINIDO		HASTA 500	OPTIMO 250	PRIMARIA 1000	SECUNDARIA 0-500

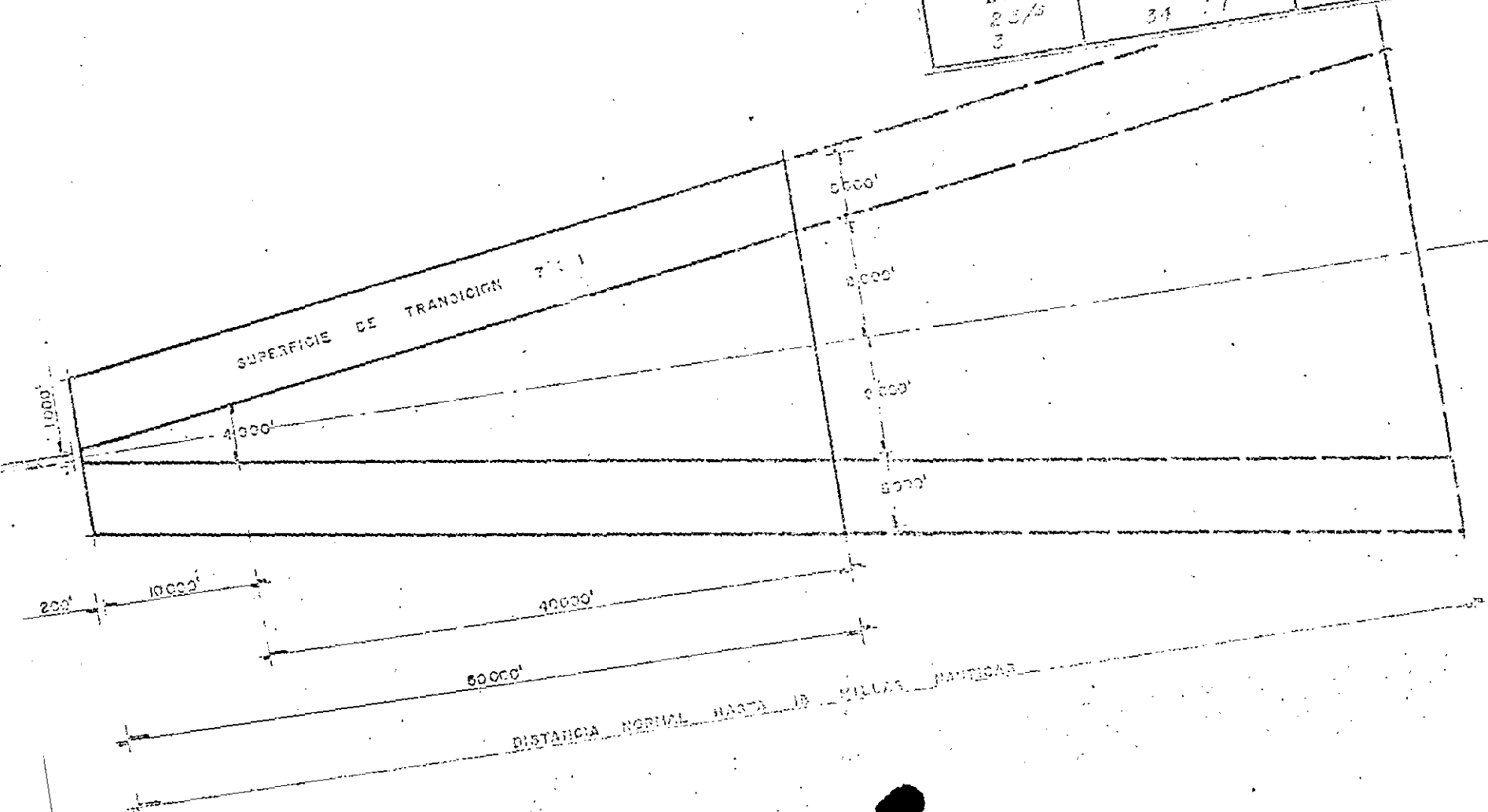
# LONGITUD DEL SEGMENTO INTERMEDIO VS. ANGULO DE INTERCEPCION



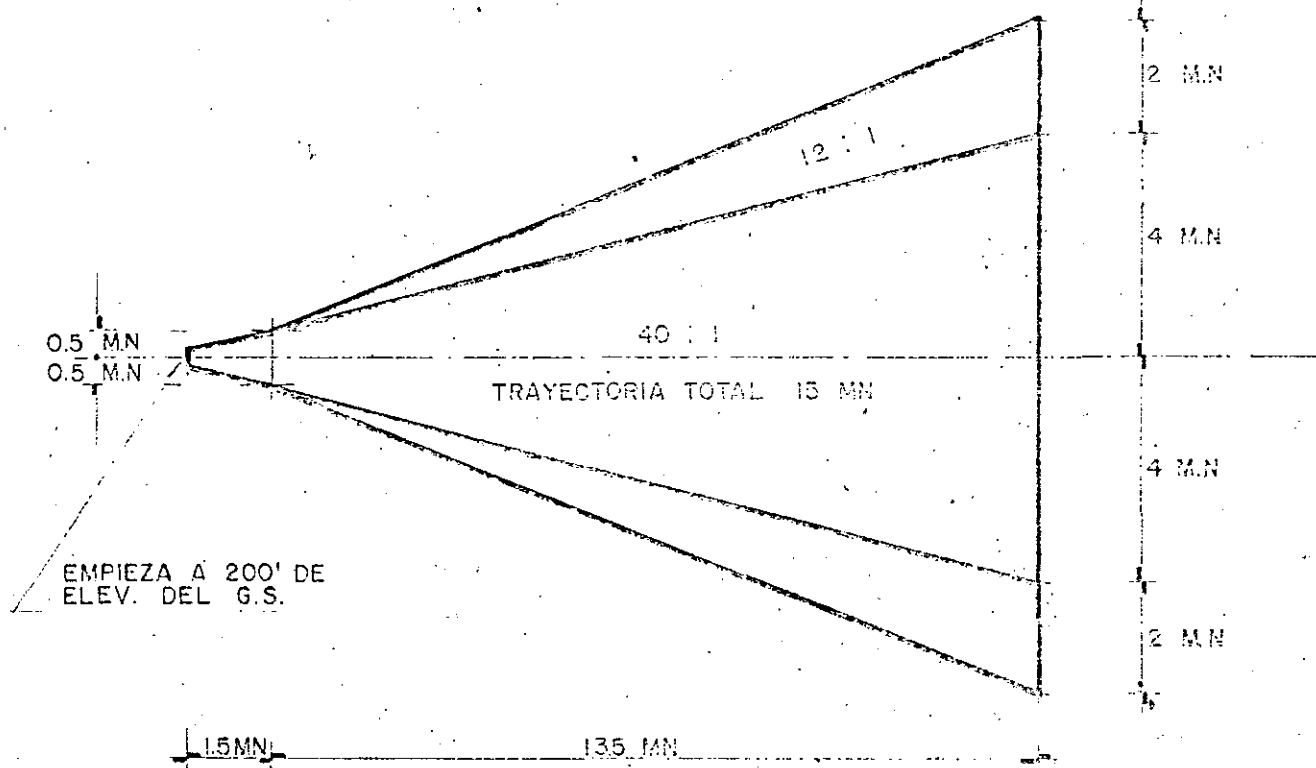


# AREA DE APROXIMACION FINAL ILS

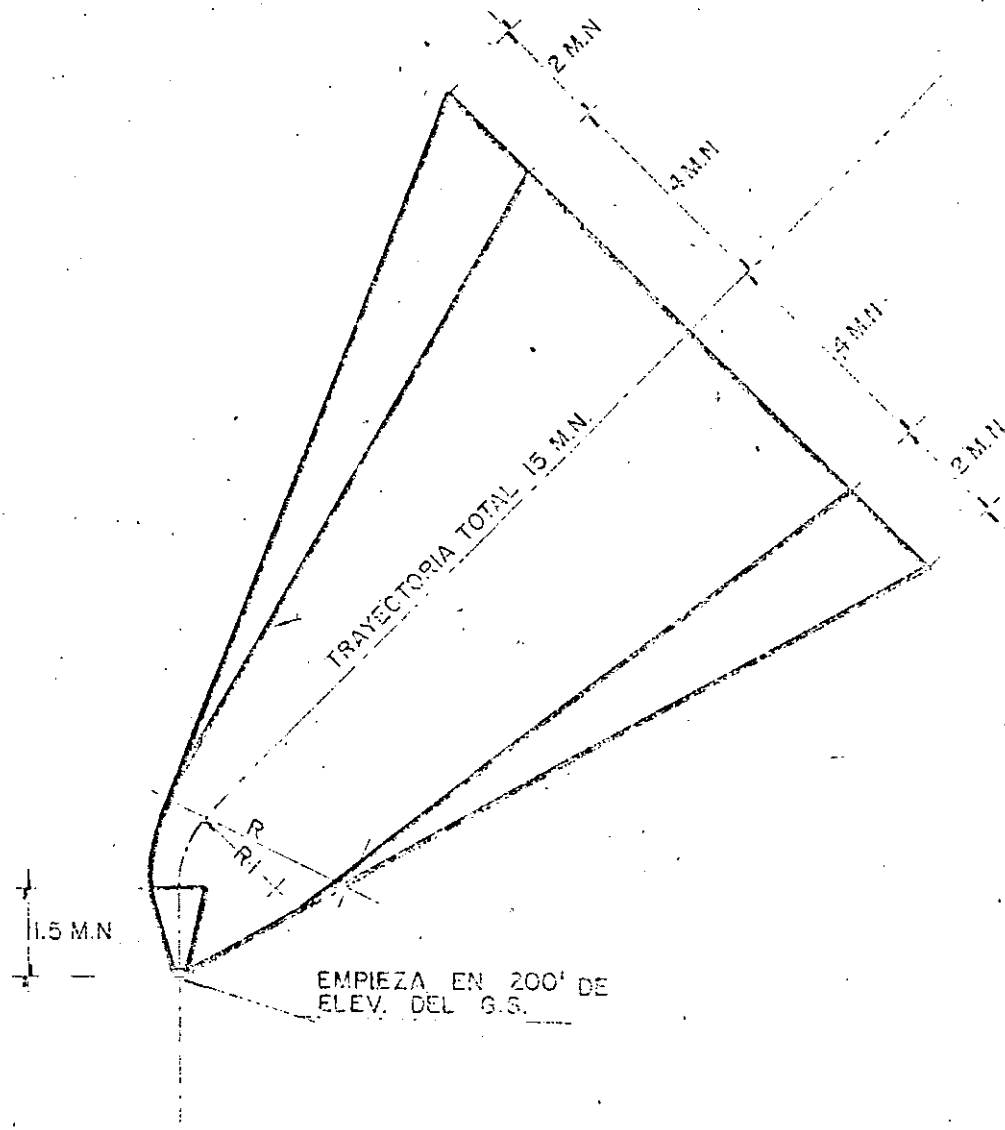
GRADOS GS	ANGULO GS. VS PENDIENTE DE SUPERFICIE PROTECTORA		SECCION EXTERIOR
	SECCION INTERNA	SECCION	
2	56.5	68.5	1
2 1/4	56	49.5	1
2 1/2	56	40	1
2 3/5	40.5	34	1
3	34	29.5	1



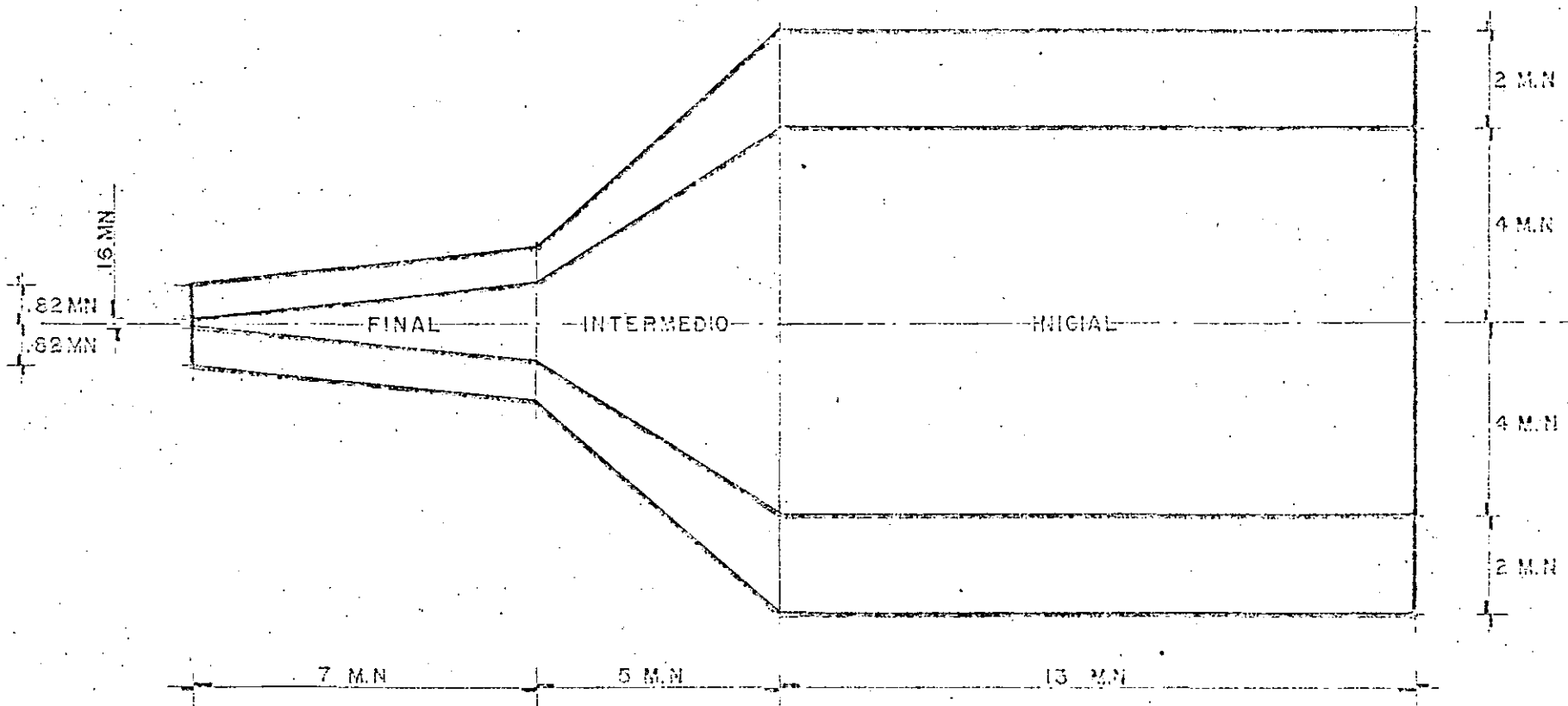
# AREA DE APROXIMACION FALLIDA RECTA ILS



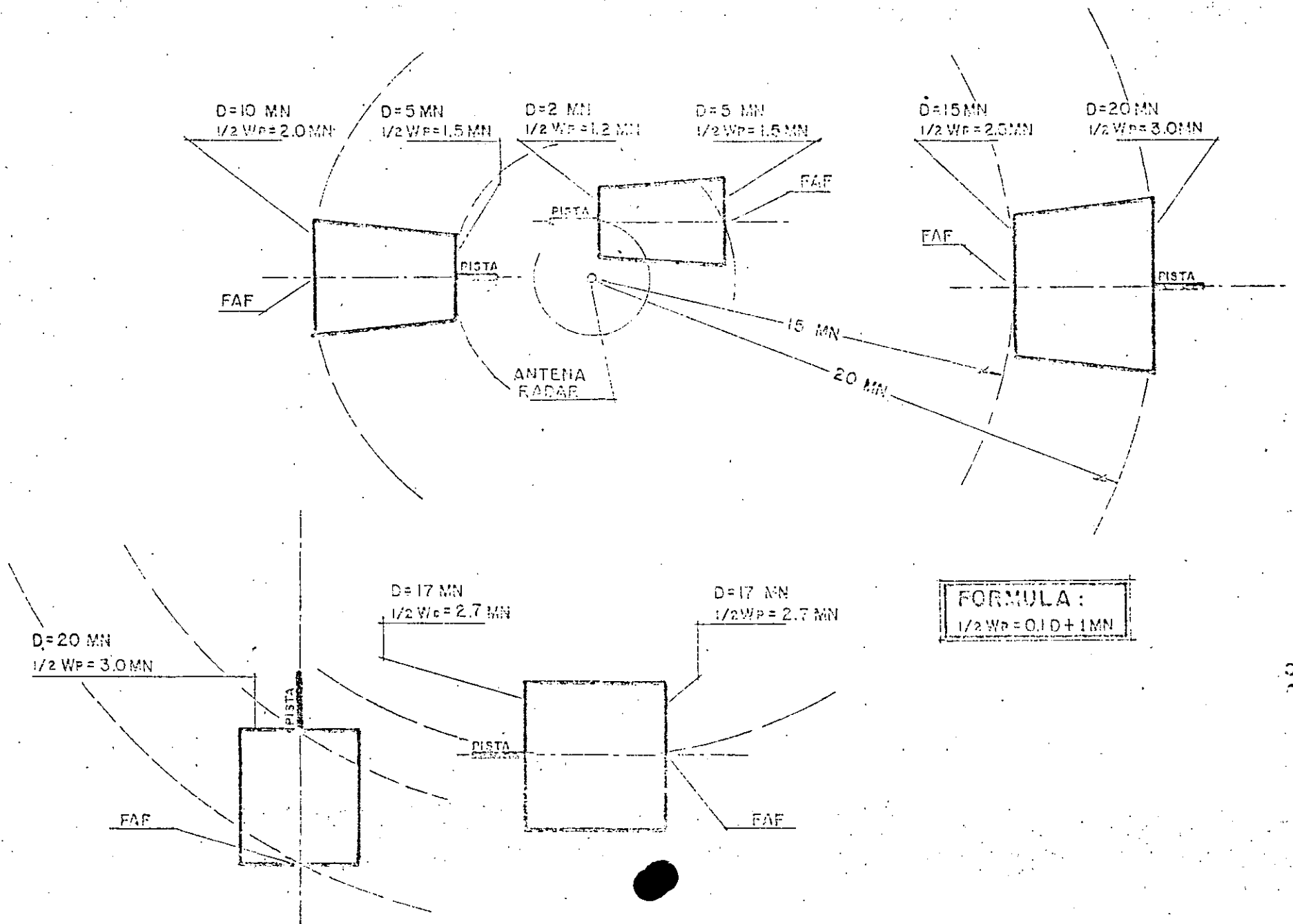
# APROXIMACION FALLIDA ILS VIRANDO 45°



# ATERRIJAZE POR INSTRUMENTOS ILS



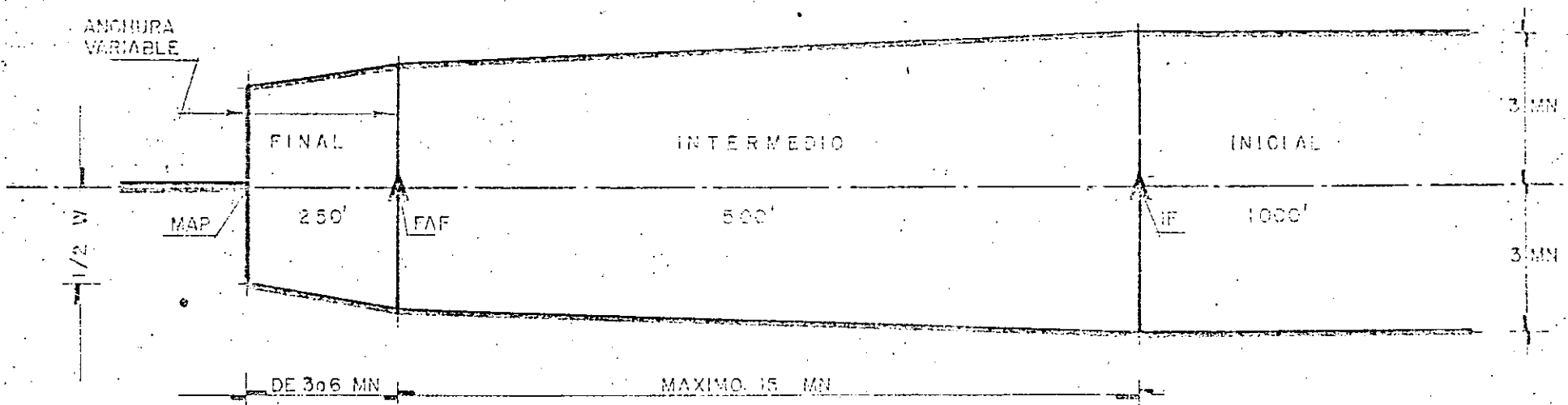
# APROXIMACION FINAL PARA RADAR DE VIGILANCIA



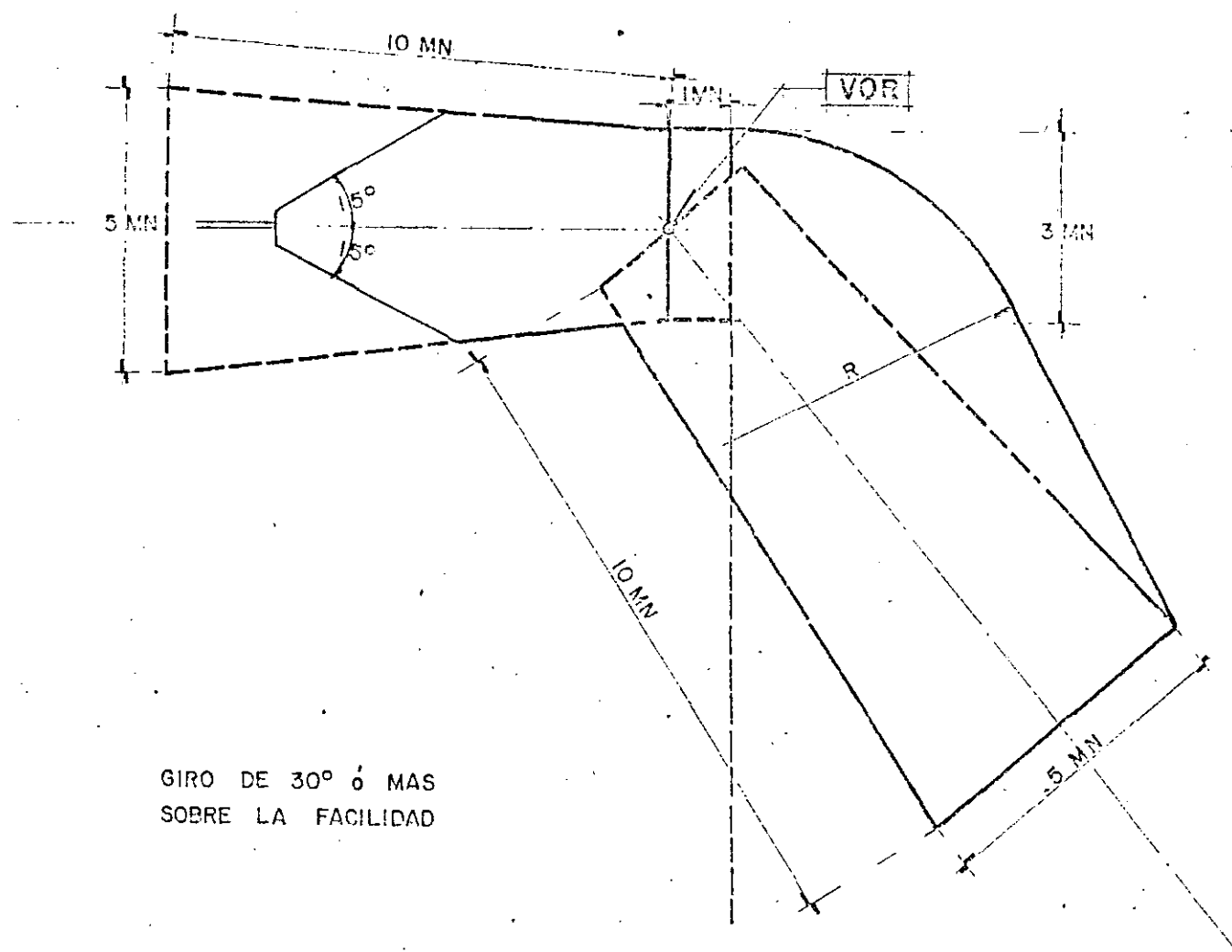
20

21

# SEGMENTOS DE APROXIMACION DE RADAR DE VIGILANCIA

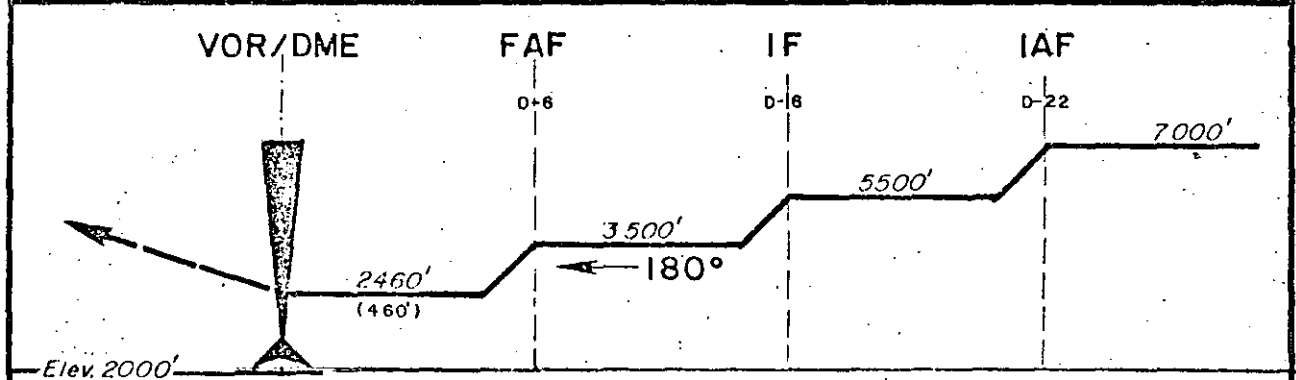
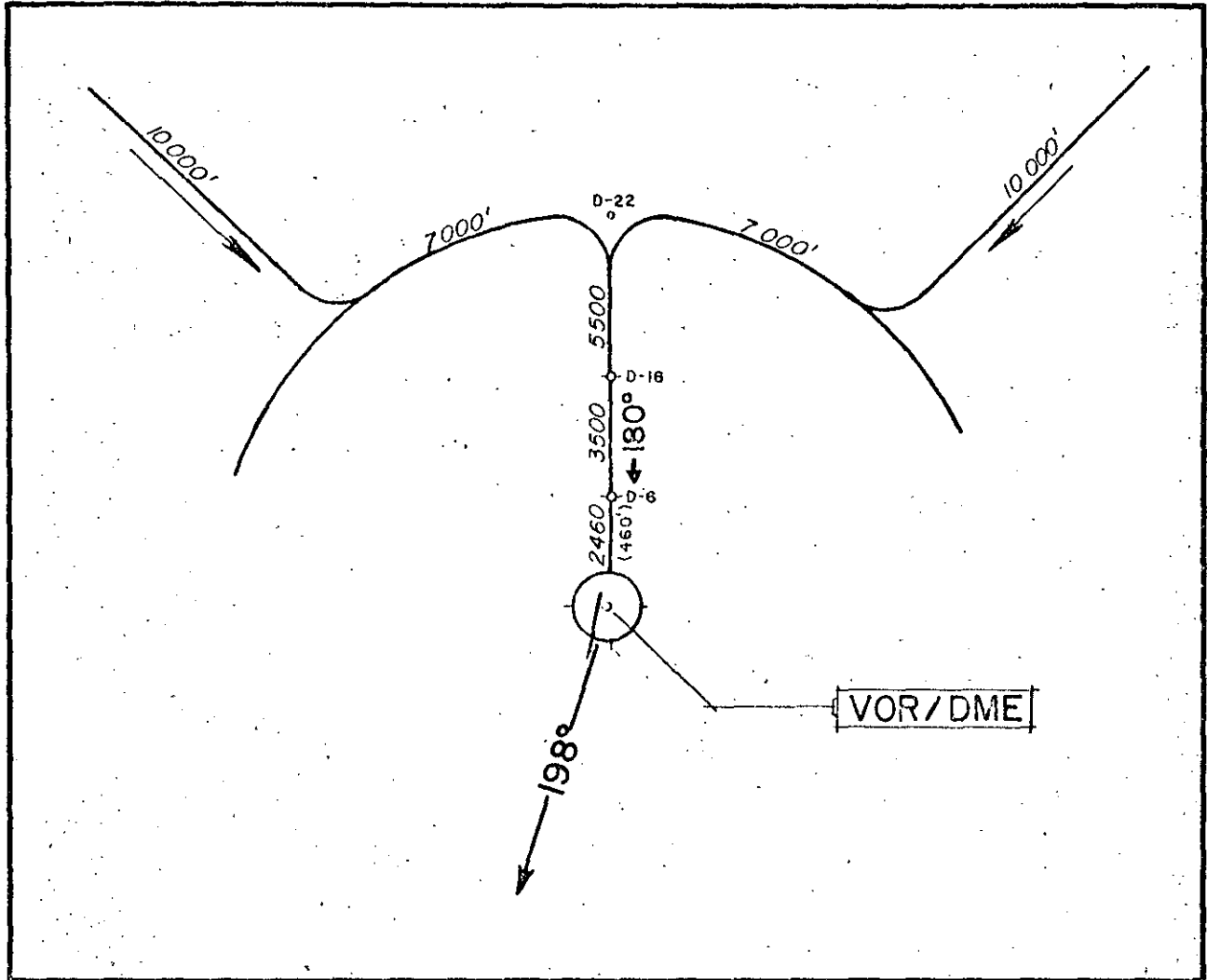


# DESPEGUE COMBINADO



GIRO DE 30° ó MAS  
SOBRE LA FACILIDAD

# PROYECTO DE APROXIMACION DIRECTA VOR/DME PISTA 19



**FALLIDA:** VIRAR A LA DERECHA PARA INTERCEPTAR EN ASCENSO LA RADIAL 198° DEL VOR/DME HASTA LA ALTURA MINIMA DE ESPERA DE ACUERDO CON INSTRUCCIONES DEL CTA.



## CHAPTER 2. GENERAL CRITERIA

**200. SCOPE.** This chapter contains only that information common to all types of terminal instrument procedures. Criteria which do not have general application are located in the individual chapters concerned with the specific types of facilities.

**201.-209. RESERVED.**

### Section 1. Common Information

**210. UNITS OF MEASUREMENT.** Units of measurement shall be expressed as set forth below:

*a. Bearings, Courses, and Radials.* Bearings and courses shall be expressed in degrees magnetic. Radials shall also be expressed in degrees magnetic, and shall further be identified as radials by prefixing the letter "R" to the magnetic bearing FROM the facility. For example, R-027 or R-010.

*b. Altitudes.* Units of measurement for altitude in this publication are feet. Published heights below the transition level (18,000 feet) shall be expressed in feet above MSL; e.g., 17,900 feet. Published heights at and above the transition level (18,000 feet) shall be expressed as Flight Levels; e.g., FL 180, FL 190, etc.—reference FAR 91.81, Air Traffic Control Handbook 7110.65A-85.b.

*c. Distances.* All distances shall be expressed in nautical miles (6076 feet per NM) and tenths thereof, except when applied to visibilities, which shall be expressed in statute miles and the appropriate fractions thereof. Expression of visibility values in nautical miles is permitted in overseas areas where it coincides with the host nation practice. Runway visual range (RVR) shall be expressed in feet.

*d. Speeds.* Aircraft speeds shall be expressed in knots.

*e. Determination of Correctness of Distance and Bearing Information.* The approving agency is the authority for correctness of distance and bearing

information, except that within the United States, its territories, and possessions, the National Oceanic and Atmospheric Administration is the authority for measurements between all civil navigation aids and between those facilities incorporated as part of the National Airspace System.

**211. POSITIVE COURSE GUIDANCE.** Positive course guidance (PCG) shall be provided for feeder routes, initial (except as provided for in para 233.b.), intermediate, and final approach segments. The segments of a procedure wherein PCG is provided should be within the service volume of the facility(ies) used except where expanded service volume (ESV) has been authorized. PCG may be provided by one or more of the navigation systems for which criteria has been published herein.

**212. APPROACH CATEGORIES.** Aircraft performance differences have a direct effect on the airspace and visibility needed to perform certain maneuvers, such as circle to land, turning missed approaches, final alignment correction to land, and descent. The following categories are established, and will be referred to throughout this publication by their letter designation (A, B, C, D, or E):

*a. Category A:* speed less than 91 knots.

*b. Category B:* speed 91 knots or more but less than 121 knots.

*c. Category C:* speed 121 knots or more but less than 141 knots.

*d. Category D:* speed 141 knots or more but less than 166 knots.

*e. Category E:* speed 166 knots or more.

*NOTE:* Speeds are based on 1.3 times the stall speed in the landing configuration at maximum gross landing weight. An aircraft shall fit in only one category.

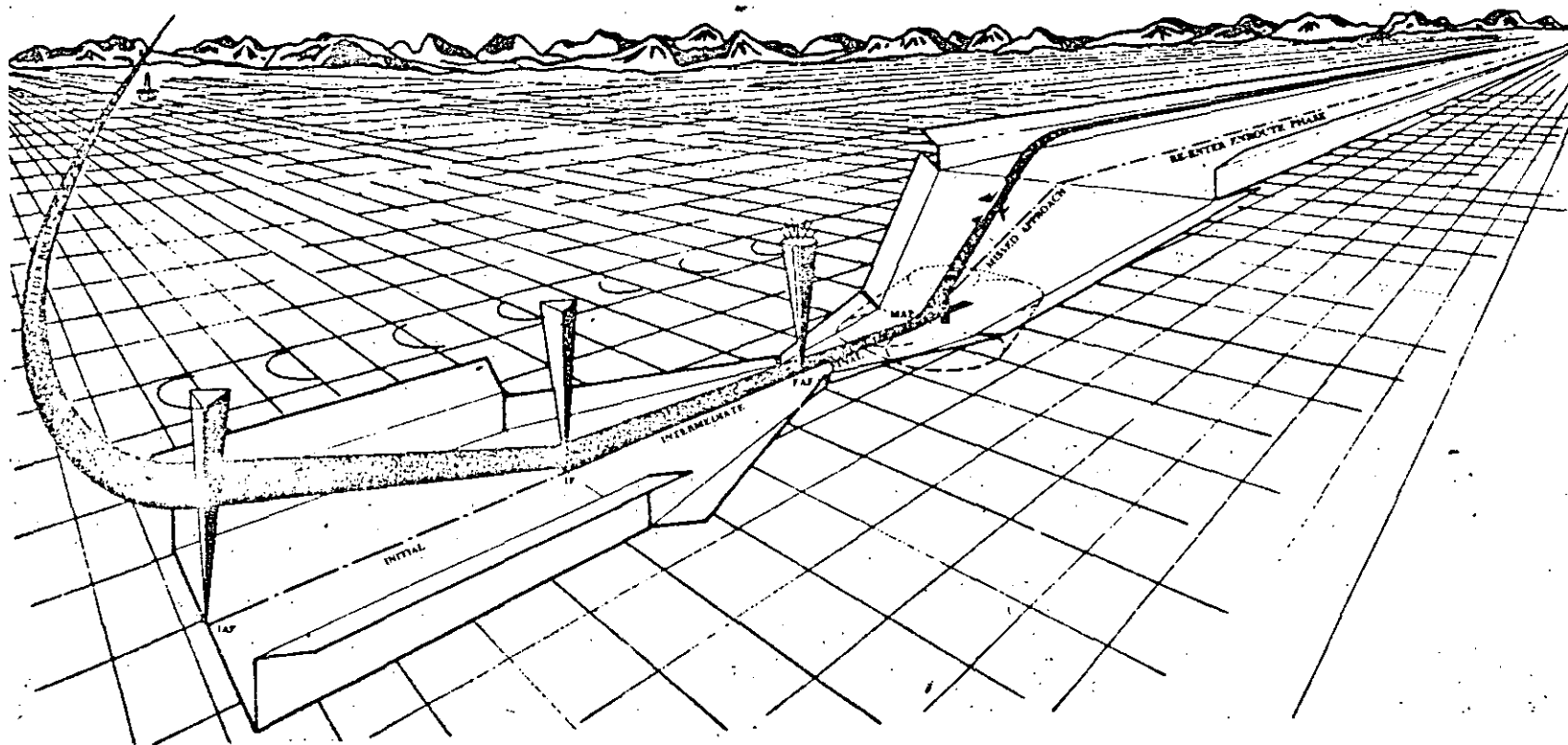


Figure 1. SEGMENTS OF AN APPROACH PROCEDURE. Par 214.

**213. APPROACH CATEGORY APPLICATION.** The approach category operating characteristics shall be used to determine turning radii, minimums, and obstacle clearance areas for circling and missed approach.

**214. PROCEDURE CONSTRUCTION.** An instrument approach procedure may have four separate segments. They are the initial, the intermediate, the final, and the missed approach segments. In addition, an area for circling the airport under visual conditions shall be considered. The approach segments begin and end at designated fixes; however, under some circumstances certain segments may begin at specified points where no fixes are available. The fixes are named to coincide with the associated segment. For example, the intermediate segment begins at the intermediate fix and ends at the final approach fix. The order in which this chapter discusses the segments is the same order in which the pilot would fly them in a completed procedure; that is from an initial, through an intermediate, to a final approach. Only those segments which are required by local conditions need be included in a procedure. In constructing the procedure, the final approach course should be identified first because it is the least flexible and most critical of all the segments. When the final approach has been determined, the other segments should be blended with it to produce an orderly maneuvering pattern which is responsive to the local traffic flow. Consideration shall also be given to any accompanying controlled airspace requirements in order to conserve airspace to the extent it is feasible. See Figure 1.

**215. CONTROLLING OBSTACLE(S).** The controlling obstacle in the primary area of the final approach segment shall be identified in procedures submitted for publication.

**216.-219. RESERVED.**

## Section 2. Enroute Operations

**220. FEEDER ROUTES.** When the initial approach fix is part of the enroute structure there may

be no need to designate additional routes for aircraft to proceed to the initial approach fix (IAF). In some cases, however, it is necessary to designate feeder routes from the enroute structure to the initial approach fix. Only those feeder routes which provide an operational advantage shall be established and published. These should coincide with the local air traffic flow. The length of the feeder route shall not exceed the operational service volume of the facilities which provide navigational guidance unless additional frequency protection is provided. Enroute airway obstacle clearance criteria shall apply to feeder routes. The minimum altitude established on feeder routes shall not be less than the altitude established at the IAF.

**221. MINIMUM SAFE ALTITUDES.** A minimum safe altitude is the minimum altitude which provides at least 1000 feet of obstacle clearance for emergency use within a specified distance from the navigation facility upon which a procedure is predicated. These altitudes will be rounded to the next higher 100-foot increment. Such altitudes will be identified as minimum sector altitudes or emergency safe altitudes and shall be established as follows:

*a. Minimum Sector Altitudes.* Minimum sector altitudes shall be established for all procedures within a 25 mile radius of the navigational facility. When the distance from the primary facility to the airport exceeds 25 miles, the radius shall be expanded to include the airport landing surfaces up to a maximum distance of 30 miles. When the procedure does not use an omnidirectional facility (LOC BC with a fix for the FAF), the primary omnidirectional facility in the area will be used. A common safe altitude may be established for the entire area around the facility or sector altitudes may be established to offer relief from obstacles. Sectors shall not be less than 90 degrees in spread. Sector altitudes may be raised and combined with adjacent higher sectors when a height difference does not exceed 300 feet. The sector altitude established shall also provide 1000 feet of obstacle clearance in the adjacent sector or periphery area within four miles of the sector division or the periphery boundary line. See Figure 2.

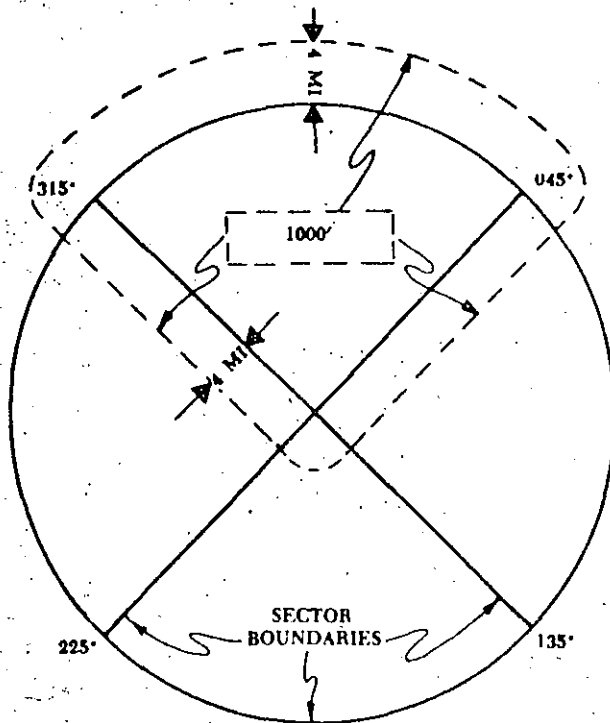


Figure 2. MINIMUM SECTOR ALTITUDES. Par 221.

dius of the navigation facility at the option of the approving authority, and are normally used only in military procedures. Where a requirement exists for these altitudes, they shall be established with a common altitude for the entire area. Where these altitudes are established in designated mountainous areas, they shall provide 2000 feet of obstacle clearance. These altitudes shall be identified on published procedures as "emergency safe altitudes".

222. - 229. RESERVED.

**Section 3. Initial Approach**

**230. INITIAL APPROACH SEGMENT.** The instrument approach commences at the Initial Approach Fix (IAF). In the initial approach the aircraft has departed the enroute phase of flight, and is maneuvering to enter an intermediate segment. When the intermediate fix is part of the enroute structure, it may not be necessary to designate an initial approach segment. In this case the approach commences at the intermediate fix and intermediate segment criteria apply. An initial approach may be made along an arc, radial, course, heading, radar

vector, or a combination thereof. Procedure turns, holding pattern descents, and high altitude penetrations are initial segments. Positive course guidance is required except when dead reckoning courses can be established over limited distances. Although more than one initial approach may be established for a procedure, the number should be limited to that which is justified by traffic flow or other operational requirements. Where holding is required prior to entering the initial approach segment, the holding fix and initial approach fix should coincide. When this is not possible the initial approach fix shall be located within the holding pattern on the inbound holding course.

**231. ALTITUDE SELECTION.** Minimum altitudes in the initial approach segment shall be established in 100-foot increments; i.e., 1549 feet may be shown as 1500 feet and 1550 feet shall be shown as 1600. The altitude selected shall not be below the procedure turn altitude where a procedure turn is required. In addition, altitudes specified in the initial approach segment must not be lower than any altitude specified for any portion of the intermediate or final approach segment.

**232. INITIAL APPROACH SEGMENTS BASED ON STRAIGHT COURSES AND ARCS WITH POSITIVE COURSE GUIDANCE.**

*a. Alignment.*

(1) **Courses.** The angle of intersection between the initial approach course and the intermediate course shall not exceed 120 degrees. When the angle exceeds 90 degrees, a radial or bearing which provides at least 2 miles of lead shall be identified to assist in leading the turn onto the intermediate course. See Figure 3.

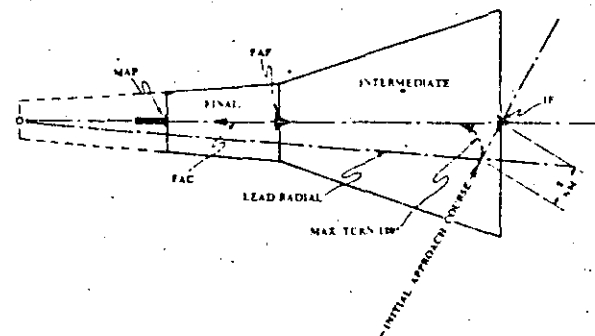


Figure 3. INITIAL APPROACH INTERCEPTION ANGLE GREATER THAN 90 DEGREES. Par 232.a.(1)

(2) **Arcs.** An arc may provide course guidance for all or a portion of an initial approach. The minimum arc radius shall be 7 miles, except for high altitude jet penetration procedures, in which the minimum radius shall be 15 miles. Arcs of less than a 15-mile radius may be used in high altitude procedures provided the descent gradient along the arc does not exceed 150 feet per mile. An arc may join a course at or before the intermediate fix. When joining a course at or before the intermediate fix, the angle of intersection of the arc and the course shall not exceed 120 degrees. When the angle exceeds 90 degrees, a radial which provides at least 2 miles of lead shall be identified to assist in leading the turn onto the intermediate course. DME arc courses shall be predicated only on collocated VOR/DME or TACAN facilities.

*b. Area.* The initial approach segment has no standard length. The length shall be sufficient to permit the altitude change required by the procedure and shall not exceed 50 miles unless an operational requirement exists. The total width of the initial approach segment shall be 6 miles on each side of the initial approach course. This width is divided into a primary area, which extends laterally 4 miles on each side of the course, and a secondary area, which extends laterally 2 miles on each side of the primary area. See Figure 10. When any portion of the initial approach is more than 50 miles from the navigation facility, the criteria for enroute airways shall apply to that portion.

*c. Obstacle Clearance.* The obstacle clearance in the initial approach primary area shall be a minimum of 1000 feet. In the secondary area 500 feet of obstacle clearance shall be provided at the inner edge, tapering uniformly to zero feet at the outer edge. The minimum obstacle clearance required at any given point in the secondary area is shown in Appendix 2, Figure 123. Allowance for precipitous terrain should be made as specified in Paragraph 323.a. The altitudes selected by application of the obstacle clearance specified in this paragraph may be rounded to the nearest 100 feet. See Paragraph 231.

*d. Descent Gradient.* The OPTIMUM descent gradient in the initial approach is 250 feet per mile. Where a higher descent gradient is necessary, the MAXIMUM permissible gradient is 500 feet per

mile. The OPTIMUM descent gradient for high altitude penetrations is 800 feet per mile. Where a higher descent gradient is necessary, the MAXIMUM permissible gradient is 1000 feet per mile.

### 233. INITIAL APPROACH SEGMENT BASED ON DEAD RECKONING (DR). See ILS Chapter for special limitations.

*a. Alignment.* When dead reckoning is used in the initial approach and the DR course intercepts the intermediate course, the point of intercept shall be a minimum distance of one mile for each two miles of DR flown prior to the intermediate fix on the extended intermediate course. This minimum distance may be computed at the rate of 1 mile for each 3 miles of DR course flown in high altitude penetration procedures. The angle of intercept shall not be less than 45 degrees or more than 90 degrees except when DME is available or when the DR distance does not exceed 3 miles, in which case no minimum intercept angle need be considered.

*b. Area.* The maximum length of the portion of the initial approach without course guidance shall be 10 miles, except in high altitude penetration procedures where DME information is available to monitor descent versus distance limitations. The width of the DR initial approach segment at the point where the DR course commences is 6 miles on each side of the course. It expands uniformly by 15 degrees outward along the course to the point where its boundaries intersect the boundaries of the intermediate segment or lines extending these boundaries parallel to the intermediate course. See Figure 4.

*c. Obstacle Clearance.* The obstacle clearance in the DR initial approach segment shall be a minimum of 1000 feet. There is no secondary area. Allowance for precipitous terrain should be considered as specified in Paragraph 323.a. The altitudes selected by application of the obstacle clearance specified in this paragraph may be rounded to the nearest 100 feet. See Par 231.

*d. Descent Gradient.* The OPTIMUM descent gradient in the initial approach is 250 feet per mile. Where a higher descent gradient is necessary, the MAXIMUM permissible gradient is 500 feet per mile. The OPTIMUM descent gradient for high altitude penetrations is 800 feet per mile. Where a

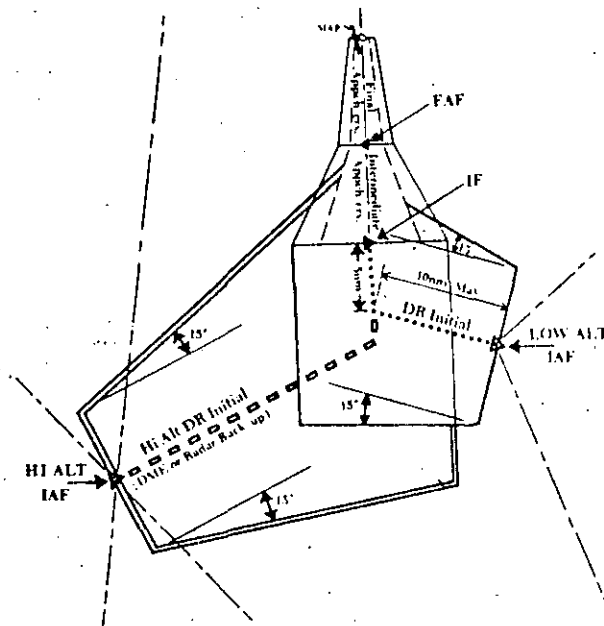


Figure 4. DEAD RECKONING INITIAL. High and Low Altitude. Par. 233.b.

higher descent gradient is necessary, the MAXIMUM permissible gradient is 1000 feet per mile.

**234. INITIAL APPROACH SEGMENT BASED ON A PROCEDURE TURN.** A procedure turn shall be specified when it is necessary to reverse direction to establish the aircraft on an intermediate or final approach course except as specified in Paragraph 234.e. A procedure turn begins by overheading a facility or fix which meets the criteria for a holding fix (see paragraph 287.b.) or for a final approach fix (see paragraph 287.c.). The procedure shall specify the procedure turn fix, the outbound and inbound course, the distance within which the procedure turn shall be completed, and the direction of the procedure turn. When a teardrop turn is used, the angle of divergence between the outbound course and the reciprocal of the inbound course shall be a MINIMUM of 15 degrees or a MAXIMUM of 30 degrees. (See Paragraph 235.a. for high altitude teardrop penetrations). In all procedure turns the degree of turn and the point at which the turn is begun are left to the discretion of the pilot. However, the maneuver shall be completed within the procedure turn area, and not below the altitude specified for its completion. When no fix marks the beginning of the

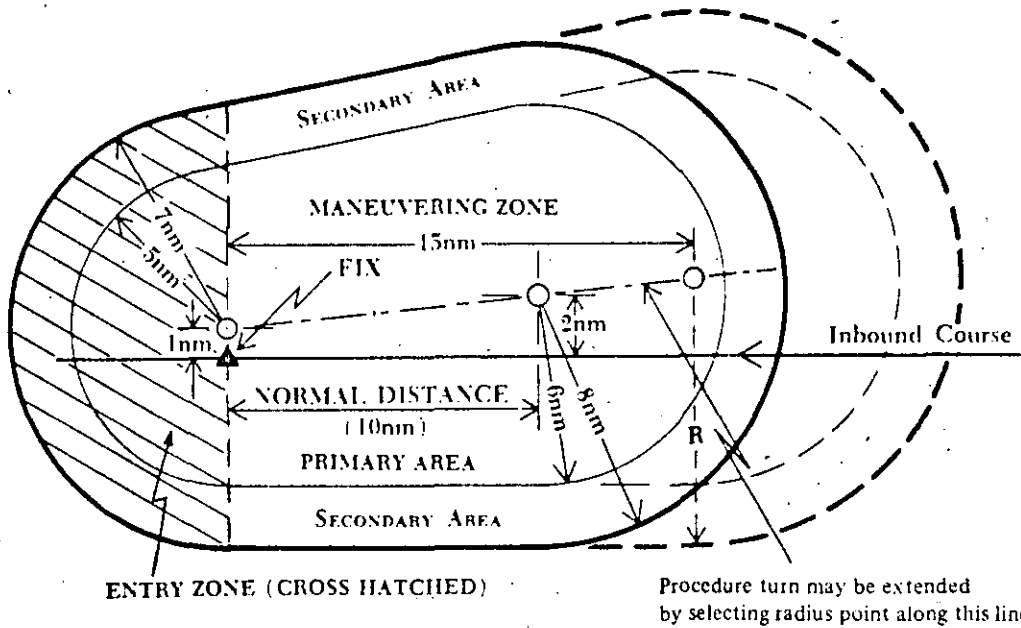
intermediate or final approach segment associated with the procedure turn, these segments are deemed to commence on the inbound procedure turn course at the maximum distance specified in the procedure.

*a. Alignment.* When the inbound course of the procedure turn becomes the intermediate course it must meet the intermediate course alignment criteria. (See Paragraph 242.a.). When the inbound course becomes the final approach course it must meet the final approach course alignment criteria. (See Paragraph 250.). The wider side of the procedure turn area shall be oriented in the same direction as that prescribed for the procedure turn.

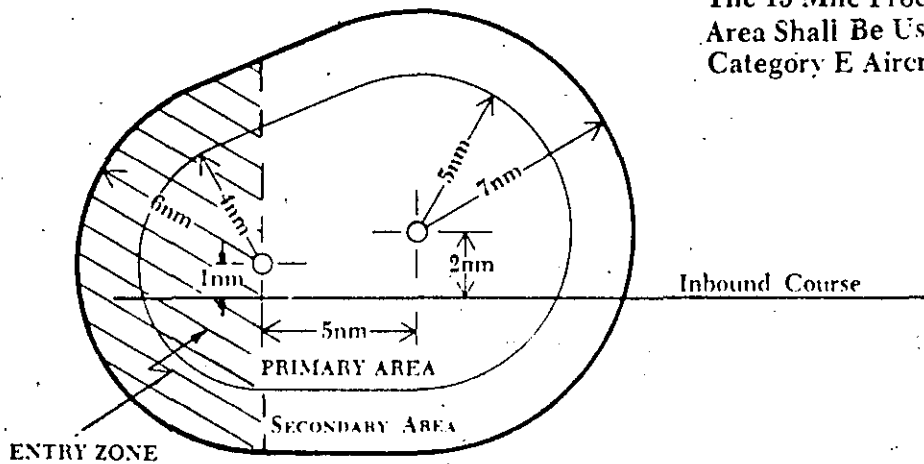
*b. Area.* The procedure turn areas are depicted in Figure 5. The normal procedure turn distance is 10 miles. This distance may be decreased to 5 miles where only Approach Category "A" aircraft are to be operated and may be increased to as much as 15 miles or as specified in Paragraph 234.d. When a procedure turn is authorized for use by Approach Category "E" aircraft a 15-mile procedure turn distance shall be used. The procedure turn segment is divided into zones and areas. They are the Entry Zone, the Maneuvering Zone, the Primary Area, and the Secondary Area. See Figure 5. As shown, the entry zone is the zone in which entry is made into the maneuvering zone. Its inner boundary extends perpendicular to the inbound course at the procedure turn fix. The remainder of the procedure turn segment is the maneuvering zone.

*c. Obstacle Clearance.* A minimum of 1000 feet of clearance shall be provided in the primary area. In the secondary area, 500 feet of obstacle clearance shall be provided at the inner edge, tapering uniformly to zero feet at the outer edge. The minimum obstacle clearance required at any given point in the secondary area is shown in the graph in Appendix 2, Figure 123. Allowance for precipitous terrain should be considered as specified in Paragraph 323.a. The primary and secondary areas determine obstacle clearance in both the entry and maneuvering zones. The use of entry and maneuvering zones provides further relief from obstacles. The entry zone is established to control the obstacle clearance UNTIL proceeding outbound from the

**NORMAL PROCEDURE TURN AREA (ALL AIRCRAFT)**



**OPTIONAL PROCEDURE TURN AREA FOR AIRCRAFT SLOWER THAN 90K**



The 15 Mile Procedure Turn Area Shall Be Used For Category E Aircraft.

Figure 5. PROCEDURE TURN AREAS. Par 234.b.

procedure turn fix. The maneuvering zone is established to control obstacle clearance AFTER proceeding outbound from the procedure turn fix. See Figure 6. The altitudes selected by application of the obstacle clearance specified in this paragraph may be rounded to the nearest 100 feet. See Paragraph 231.

*d. Descent Gradient.* The OPTIMUM descent gradient in the initial approach is 250 feet per mile. Where a higher descent gradient is necessary, the MAXIMUM permissible gradient is 500 feet per mile. The procedure turn completion altitude should be as close as possible to the final approach fix altitude. The difference between the procedure turn

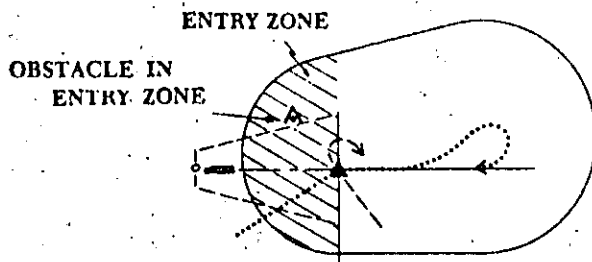


Figure 6. PROCEDURE TURN INITIAL APPROACH AREA. Par 234.c.

completion altitude and the altitude over the final approach fix shall not be greater than those shown in Table 1. If greater differences are required for a 5 or 10 mile procedure turn, the procedure turn distance limits and maneuvering zone shall be increased at the rate of 1 mile for each 200 feet of required altitude. No extension of the procedure turn is permitted without a final approach fix.

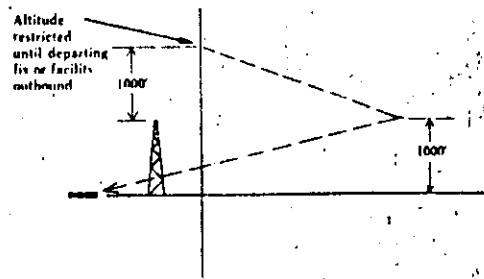
*e. Elimination of Procedure Turn.* A procedure turn is NOT required when an approach can be made direct from a specified intermediate fix to the final approach fix. A procedure turn NEED NOT be established when an approach can be made from a properly aligned holding pattern. See Paragraph 291. In this case, the holding pattern shall be established over a final or intermediate approach fix and the following conditions shall apply:

(1) If the holding pattern is established over the final approach fix, the minimum holding altitude shall be not more than 300 feet above the altitude specified for crossing the final approach inbound.

(2) If the holding pattern is established over the intermediate fix, the minimum holding

Table 1. PROCEDURE TURN COMPLETION ALTITUDE DIFFERENCE.

TYPE OF PROCEDURE TURN	ALTITUDE DIFFERENCE
15 Mile PT from FAF	Within 3000 Ft of Alt. over FAF
10 Mile PT from FAF	Within 2000 Ft of Alt. over FAF
5 Mile PT from FAF	Within 1000 Ft of Alt. over FAF
15 Mile PT, no FAF	Not Authorized.
10 Mile PT, no FAF	Within 1500 Ft of MDA on Final
5 Mile PT, no FAF	Within 1000 Ft of MDA on Final



altitude shall permit descent to the final approach fix altitude within the descent gradient tolerances prescribed for the intermediate segment. (See Paragraph 243.d.).

FIGURE 7. -DELETED.

**235. INITIAL APPROACH BASED ON HIGH ALTITUDE TEARDROP PENETRATION.**

A teardrop penetration consists of departure from an initial approach fix on an outbound course, followed by a turn toward and intercepting the inbound course at or prior to the intermediate fix or point. Its purpose is to permit an aircraft to reverse direction and lose considerable altitude within reasonably limited airspace. Where no fix is available to mark the beginning of the intermediate segment it shall be assumed to commence at a point 10 miles prior to the final approach fix. When the facility is located on the airport, and no fix is available to mark the beginning of the final approach segment the criteria in Paragraph 423 apply.

*a. Alignment.* The outbound penetration course shall be between 18 and 26 degrees to the left or right of the reciprocal of the inbound course. The actual angular divergence between the courses will vary inversely with the distance from the facility at which the turn is made. See Table 2.

*b. Area.*

(1) **Size.** The size of the penetration turn area must be sufficient to accommodate both the turn and the altitude loss required by the procedure. The penetration turn distance shall not be less than 20 miles from the facility. The penetration turn distance depends on the altitude to be lost in the



Table 2. PENETRATION TURN DISTANCE/  
DIVERGENCE.

ALT TO BE LOST PRIOR TO COMMENCING TURN	DISTANCE TURN COMMENCES (NM)	COURSE DIVERGENCE (DEGREES)	SPECIFIED PENETRATION TURN DISTANCE (NM)
12,000 Ft	24	18	28
11,000 Ft	23	19	27
10,000 Ft	22	20	26
9,000 Ft	21	21	25
8,000 Ft	20	22	24
7,000 Ft	19	23	23
6,000 Ft	18	24	22
5,000 Ft	17	25	21
5,000 Ft	16	26	20

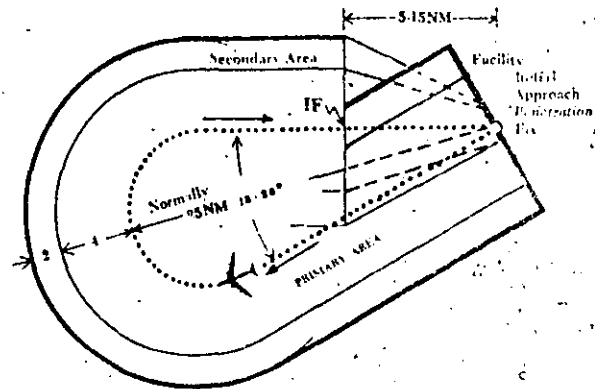


Figure 8. TYPICAL PENETRATION TURN INITIAL APPROACH AREA. Par 235.

procedure and the point at which the descent is started. (See Table 2). The aircraft should lose half the total altitude or 5000 feet, whichever is greater, outbound/prior to starting the turn. The penetration turn area has a width of 6 miles on both sides of the flight track up to the intermediate fix or point, and shall encompass all the areas within the turn. See Figure 8.

(2) **Penetration Turn Table.** Table 2 should be used to compute the desired course divergence and penetration turn distances which apply when a specific altitude loss outbound is required. It is assumed that the descent begins immediately upon station passage. When the procedure requires a delay before descent of more than 5 miles, the distance in excess of 5 miles should be added to the distance the turn commences. The course divergence and penetration turn distance should then be adjusted to correspond to the adjusted turn distance. Extrapolations may be made from the table.

(3) **Primary and Secondary Areas.** All of the penetration turn is primary area except the outer 2 miles of the 6-mile obstacle clearance area on the outer side of the penetration track. (See Figure 8.). The outer 2 miles is secondary area. The outer 2 miles on both sides of the inbound penetration course should be treated as secondary area.

c. **Obstacle Clearance.** Obstacle clearance in the initial approach primary area shall be a MINIMUM of 1000 feet. Obstacle clearance at the inner edge of the secondary area shall be 500 feet, tapering

to zero feet at the outer edge. The minimum obstacle clearance at any given point in the secondary area is found by using the graph in Appendix 2, Figure 123. Where no intermediate fix is available, a 10 NM intermediate segment is assumed and normal obstacle clearance is applied to the controlling obstacle. The controlling obstacle, as well as the minimum altitude selected for the intermediate segment, may depend on the availability of an intermediate fix. See Figure 9. Allowance for precipitous terrain should be considered in the penetration turn area as specified in Paragraph 323.a. The altitudes selected by application of the obstacle clearance specified in this Paragraph may be rounded to the nearest 100 feet. (See Paragraph 231.).

d. **Descent Gradient.** The procedure should be based on an OPTIMUM descent gradient of 800 feet per mile. Where a higher descent gradient is necessary, the MAXIMUM permissible gradient is 1000 feet per mile.

e. **Penetration Turn Altitude.** When an intermediate fix is NOT provided, the penetration turn completion altitude shall not be more than 4000 feet above the final approach fix altitude.

236. - 239. RESERVED.

Section 4. Intermediate Approaches

240. **INTERMEDIATE APPROACH SEGMENT.** This is the segment which blends the initial

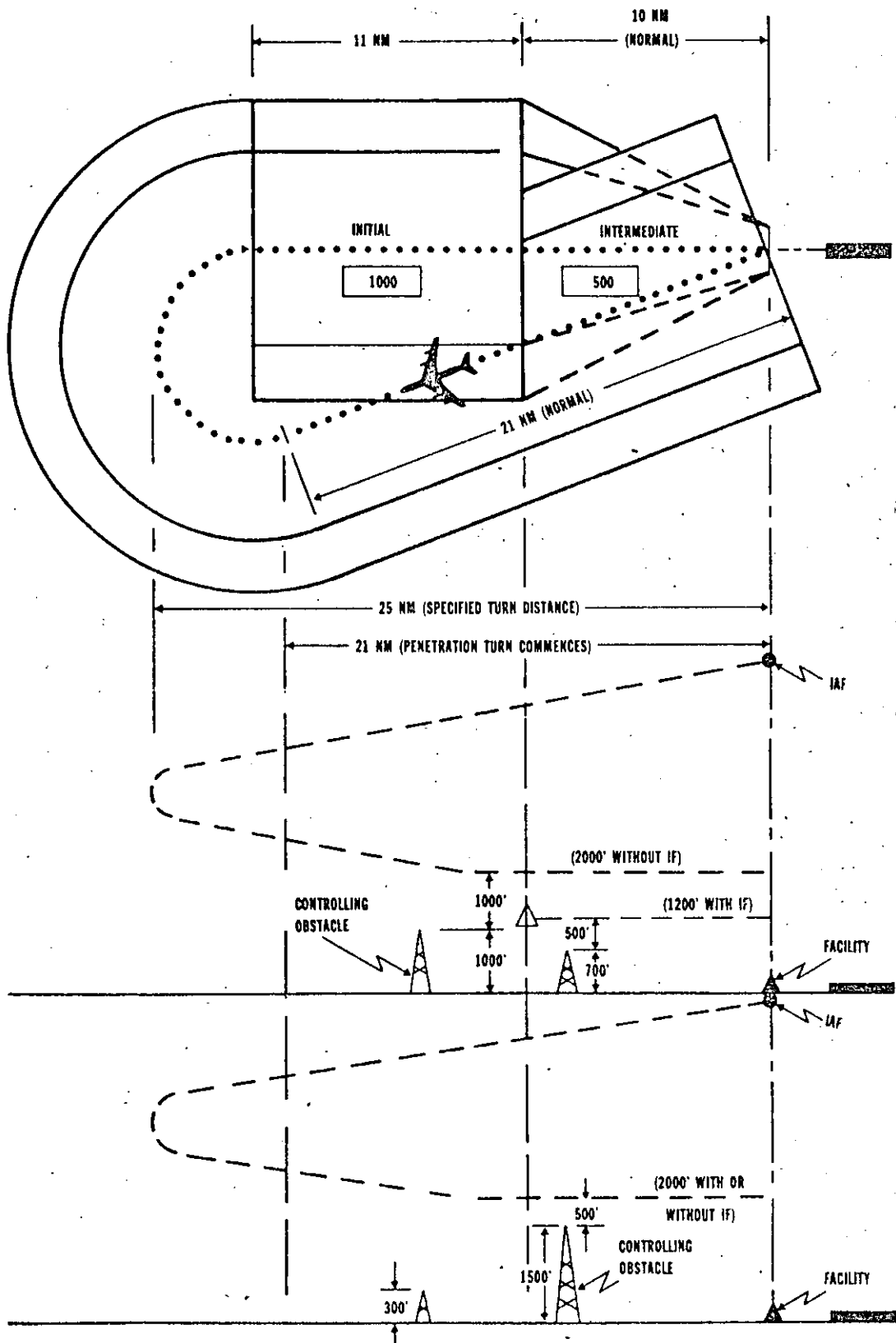


Figure 9. PENETRATION TURN INITIAL APPROACH OBSTACLE CLEARANCES. Par. 235.

approach segment into the final approach segment. It is the segment in which aircraft configuration, speed, and positioning adjustments are made for entry into the final approach segment. The intermediate segment begins at the intermediate fix (IF) or point, and ends at the final approach fix (FAF). There are two types of intermediate segments; the "radial" or "course" intermediate segment and the "arc" intermediate segment. In either case, positive course guidance shall be provided. See Figure 10 for typical approach segments.

**241. ALTITUDE SELECTION.** The MINIMUM altitude in the intermediate segment shall be established in 100-foot increments; i.e., 749 feet may be shown as 700 feet and 750 feet shall be shown as 800. In addition, the altitude selected for arrival over the FAF shall be low enough to permit descent from the FAF to the airport for a straight-in landing whenever possible.

**242. INTERMEDIATE APPROACH SEGMENT BASED ON STRAIGHT COURSES.**

*a. Alignment.* The course to be flown in the intermediate segment shall be the same as the final approach course, except when the final approach fix is the navigation facility and it is not practical for the courses to be identical. In such cases, the intermediate course shall not differ from the final approach course by more than 30 degrees.

*b. Area.*

(1) **Length.** The intermediate segment shall not be less than 5 miles (except as provided for in Chapters 9 & 10) nor more than 15 miles in length, measured along the course to be flown. The OPTIMUM length is 10 miles. A distance greater than 10 miles should not be used unless an operational requirement justifies a greater distance. When the angle at which the initial approach course joins the intermediate course exceeds 90 degrees (See Figure 3.) the MINIMUM length of the intermediate course is as shown in Table 3.

(2) **Width.** The total width of the intermediate segment is determined by joining the outer edges of the initial approach segment with the outer edges of the final approach segment by means of straight lines. See Figure 10 for typical intermediate segments. For obstacle clearance purposes, the intermediate segment is divided into a primary and a secondary area. The primary area is determined by joining the primary initial approach area with the primary final approach area by means of straight lines. The secondary area is determined by joining the respective initial approach and final approach secondary areas by means of straight lines. The width of the secondary area at any given point may be determined by using the graph shown in Appendix 2, Figure 122.

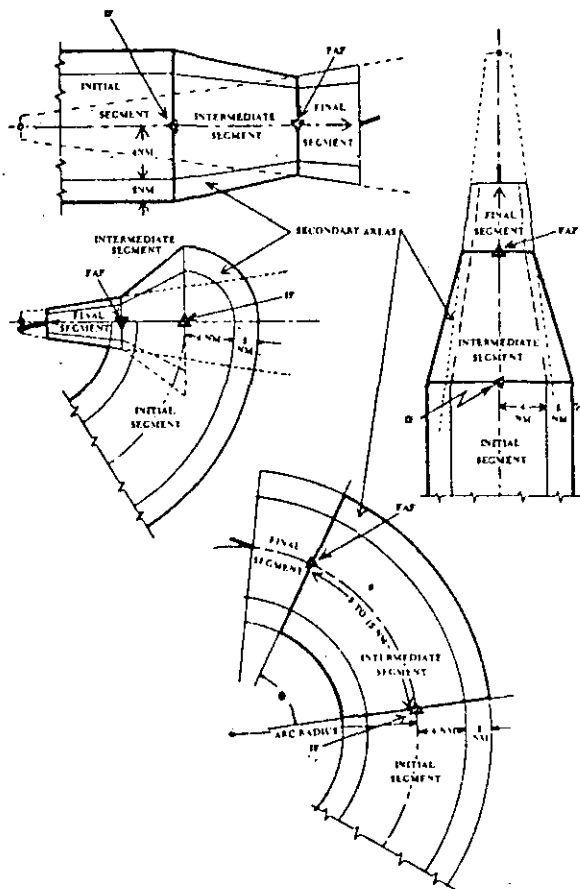


Figure 10. TYPICAL APPROACH SEGMENTS.  
Par 230., 232.b., and 240

Table 3. MINIMUM INTERMEDIATE COURSE LENGTH.  
Par 242.b.(1)

ANGLE (DEGREES)	MINIMUM LENGTH (MILES)
91 - 96	6
97 - 102	7
103 - 108	8
109 - 114	9
115 - 120	10

c. *Obstacle Clearance.* A MINIMUM of 500 feet of obstacle clearance shall be provided in the primary area of the intermediate approach segment. In the secondary area, 500 feet of obstacle clearance shall be provided at the inner edge, tapering to zero feet at the outer edge. The minimum obstacle clearance required at any given point in the secondary area may be determined by using the graph in Appendix 2, Figure 123. Allowance for precipitous terrain should be considered as specified in Paragraph 323.a. The altitudes selected by application of the obstacle clearance specified in this paragraph may be rounded to the nearest 100 feet. See Paragraph 241.

d. *Descent Gradients.* Because the intermediate segment is used to prepare the aircraft speed and configuration for entry into the final approach segment the gradient should be as flat as possible. The OPTIMUM descent gradient in this area should not exceed 150 feet per mile. Where a higher descent gradient is necessary, the MAXIMUM permissible gradient is 300 feet per mile.

**243. INTERMEDIATE APPROACH SEGMENT BASED ON AN ARC.** Arcs with a radius of less than 7 miles or more than 30 miles from the navigation facility shall NOT be used. DME arc courses shall be predicated only on collocated VOR/DME or TACAN facilities.

a. *Alignment.* The same arc shall be used for the intermediate and the final approach segments. No turns shall be required over the final approach fix.

b. *Area.*

(1) *Length.* The intermediate segment shall NOT be less than 5 miles nor more than 15 miles in length, measured along the arc. The OPTIMUM length is 10 miles. A distance greater than 10 miles should not be used unless an operational requirement justifies the greater distance.

(2) *Width.* The total width of an arc intermediate segment is 6 miles on each side of the arc. For obstacle clearance purposes this width is divided into a primary and a secondary area. The primary area extends 4 miles laterally on each side of

the arc segment. The secondary areas extend 2 miles laterally on each side of the primary area. See Figure 10.

c. *Obstacle Clearance.* A MINIMUM of 500 feet of obstacle clearance shall be provided in the primary area. In the secondary area 500 feet of obstacle clearance shall be provided at the inner edge, tapering uniformly to zero feet at the outer edge. The minimum obstacle clearance required at any given point in the secondary area is found by using the graph in Appendix 2, Figure 123. Allowance for precipitous terrain should be considered as specified in Paragraph 323.a. The altitudes selected by application of the obstacle clearance specified in this paragraph may be rounded to the nearest 100 feet. (See Paragraph 241).

d. *Descent Gradients.* Because it is used to prepare the aircraft speed and configuration for entry into the final approach segment the intermediate segment should be as flat as possible. The OPTIMUM descent gradient in this area should not exceed 150 feet per mile. Where a higher descent gradient is necessary the MAXIMUM permissible gradient is 300 feet per mile.

**244. INTERMEDIATE SEGMENT WITHIN A PROCEDURE TURN SEGMENT.** Criteria are the same as those for straight course intermediate segments (See Paragraph 242.) except as specified below:

a. When used with the procedure turn, the MAXIMUM intermediate segment length is 15 miles. Its width expands uniformly from the width of the final approach segment at the navigation facility to 6 miles on each side of the course at 15 miles from the facility. See Figure 11.

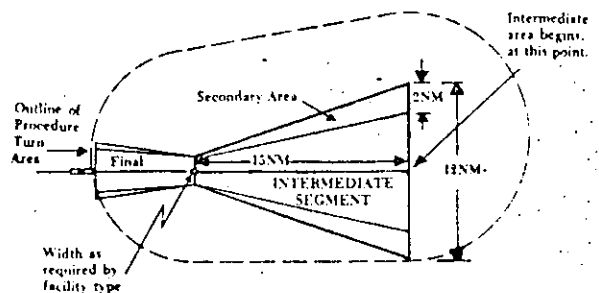


Figure 11. INTERMEDIATE AREA WITHIN A PROCEDURE TURN AREA. FAF is the Facility. 15 Mile Procedure Turn. Par 244.a.

(2) When no VASI is installed, the area shall begin at a point 500 feet upwind from the runway threshold and splay  $\pm 10^\circ$  either side of the runway centerline.

(3) Where the  $\pm 10^\circ$  splay does not encompass the width of the runway at the threshold, the area shall begin at the threshold at a width equal to the runway width and splay  $10^\circ$  from the runway edges.

(4) The area shall terminate at the VDP or where the obstacle clearance surface elevation is equal to the MDA minus the ROC whichever occurs first.

*d. Surface.* The surface is inclined upward and extends outward to the point where the VDP area terminates.

(1) When VASI is installed, the surface shall extend from the downwind VASI bar at an angle  $1^\circ$  lower than the aiming angle of that bar.

(2) When no VASI is installed, the surface shall extend from the threshold at an angle  $1\ 1/2^\circ$  lower than the angle resulting from the descent gradient from the VDP to the runway threshold.

*e. Obstacle Clearance.* No obstacle shall penetrate the surface overlying the area associated with the VDP.

**252. DESCENT GRADIENT.** The chapters for specific navigational facilities and radio fixes used in the final approach segment contain flexible descent criteria. These specify the optimum and maximum permissible descent gradient per mile. Where a step-down fix is used in the final approach segment the descent gradient is applicable to the areas between the FAF and the stepdown fix, and between the stepdown fix and the approach runway threshold.

**253. - 259. RESERVED.**

**Section 6. Circling Approach**

**260. CIRCLING APPROACH AREA.** This is the obstacle clearance area which shall be considered for

aircraft maneuvering to land on a runway which is not aligned with the final approach course of the approach procedure.

*a. Alignment and Area.* The size of the circling area varies with the approach category of the aircraft, as shown in Table 4. To define the limits of the circling area for the appropriate category, draw an arc of suitable radius from the center of the threshold of each usable runway. Join the extremities of the adjacent arcs with lines drawn tangent to the arcs. The area thus enclosed is the circling approach area. See Figure 15.

*b. Obstacle Clearance.* A minimum of 300 feet of obstacle clearance shall be provided in the circling approach area. There is no secondary obstacle clearance for the circling approach. See Paragraph 322.

**261. CIRCLING APPROACH AREA NOT CONSIDERED FOR OBSTACLE CLEARANCE.** It will be permissible to eliminate from consideration a particular sector where prominent

Table 4. CIRCLING APPROACH AREA RADII.

Approach Category	Radius (Miles)
A	1.3
B	1.5
C	1.7
D	2.3
E	4.5

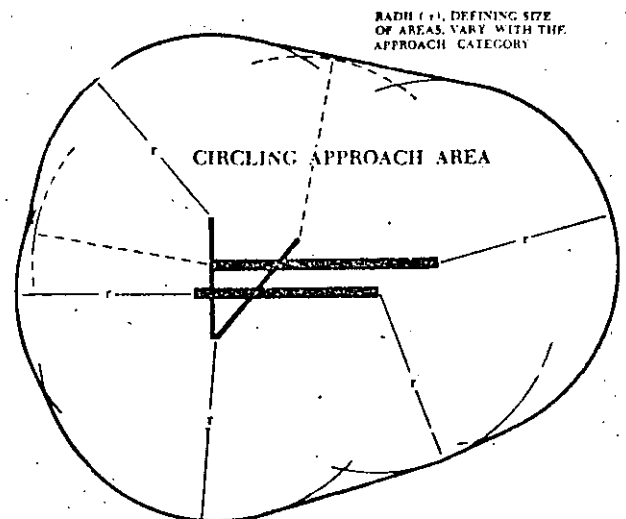


Figure 15. CONSTRUCTION OF CIRCLING APPROACH AREA. Par 260.

obstacles exist in the circling approach area, provided the landing can be made without maneuvering over this sector and further provided that a note to this effect is included in the procedure. Sectors within which circling is not permitted should be identified with runway centerlines, and where necessary, certain runway lights may be required to be operating. For example, notes might read "Circling not authorized northwest of airport between Runways 9/27 and 18/36 and night circling below MDA 700 not authorized unless Runways 9/27 and 18/36 are both lighted" or "Circling not authorized west of Runway 18/36".

262. - 269. RESERVED.

### Section 7. Missed Approach.

**270. MISSED APPROACH SEGMENT.** (See ILS and PAR chapters for special provisions). A missed approach procedure shall be established for each instrument approach procedure. The missed approach shall be initiated at the decision height in precision approaches and at a specified point in non-precision approaches. The missed approach procedure must be simple, specify an altitude, and whenever practical, a clearance limit. The missed approach altitude specified in the procedure shall be sufficient to permit holding or enroute flight. All alternate missed approach procedures which are to be used must be specified in the procedure.

*NOTE: Only the primary missed approach procedure shall be included on the published chart.*

**271. MISSED APPROACH ALIGNMENT.** Wherever practical, the missed approach course should be a continuation of the final approach course. Turns are permitted, but should be minimized in the interest of safety and simplicity. When a turn of no more than 15 degrees is made, the missed approach is considered straight, and the straight missed approach area applies. See Paragraph 273.

**272. MISSED APPROACH POINT (MAP).** The missed approach point specified in the procedure may be the point of intersection of an electronic

glide path with a decision height, a navigation facility, a fix, or a specified distance from the final approach fix. The specified distance may not be more than the distance from the final approach fix to the usable landing surface. The missed approach point shall NOT be located prior to the visual descent point. (See Paragraph 251.). Specified criteria for the MAP are contained in the appropriate facility chapters.

**273. STRAIGHT MISSED APPROACH AREA.** The straight missed approach area (a maximum of 15 degree turn from the final approach course) starts at the missed approach point. The area has a width equal to that of the final approach area at the MAP and expands uniformly to the width of the initial approach segment at a point 15 miles from the MAP. A secondary area for the reduction of obstacle clearance is identified within the missed approach area which has the same width as the final approach secondary area at the MAP, and which expands uniformly to a width of 2 miles at a point 15 miles from the MAP. Positive course guidance is required to reduce obstacle clearance in the secondary area. See Figure 16.

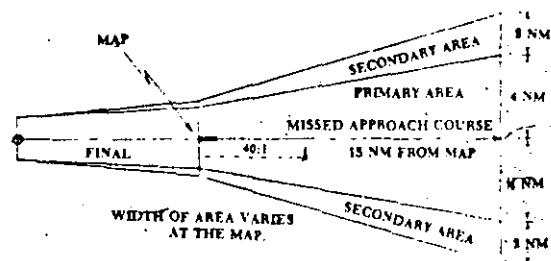


Figure 16. STRAIGHT MISSED APPROACH AREA.  
Par 273.

**274. STRAIGHT MISSED APPROACH OBSTACLE CLEARANCE.** Within the primary missed approach area no obstacle shall penetrate the missed approach surface. This surface begins over the missed approach point at a height determined by subtracting the required final approach obstacle clearance from the minimum descent altitude. It ascends uniformly at the rate of 1 foot vertically for each 40 feet horizontally (40:1). See Figure 17. Where the 40:1 surface reaches a height of 1000 feet below the missed approach altitude (Paragraph 270) further application of the surface is not required. In

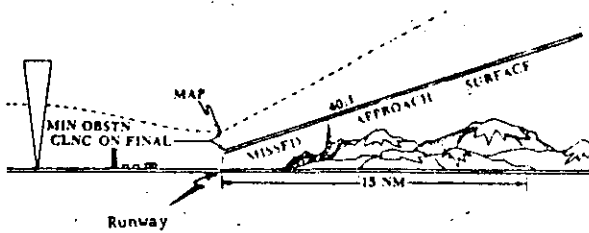


Figure 17. STRAIGHT MISSED APPROACH OBSTACLE CLEARANCE. Par 274.

the secondary area no obstacle may penetrate a 12:1 slope which extends outward and upward from the 40:1 surface at the inner boundaries of the secondary area. See Figure 18.

**275. TURNING MISSED APPROACH AREA.** (See ILS and PAR chapters for special provisions). If a turn of more than 15 degrees from the final approach course is required, a turning missed approach area must be constructed. The dimensions and shape of this area are affected by three variables:

Width of final approach area at the MAP. (It is narrow close to the facility and wider farther away).

All categories of aircraft authorized to use the procedure.

Number of degrees of turn required by the procedure.

Secondary areas for the reduction of obstacle clearance are permitted when positive course guidance is provided. The secondary area begins where a line

perpendicular to the straight flight path, originating at the point of completion of the turn, intersects the outer boundaries of the missed approach segment. The width of the secondary area expands uniformly from zero to 2 miles at the end of the missed approach segment. Figures 19, 20, 21, 22, 23, and 24 show the manner of construction of some typical turning missed approach areas. The following radii are used in the construction of these areas:

a. *90 Degree Turn or Less. Narrow final approach area at MAP.* See Figure 19. To construct the area:

(1) Draw an arc with the radius ( $R_1$ ) from the MAP. This line is then extended outward to a point 15 miles from the MAP measured along the line. This is the assumed flight path.

(2) Establish points "A<sub>2</sub>" and "B<sub>1</sub>" by measuring 6 miles perpendicular to the flight path at the 15 mile point.

(3) Now connect "A<sub>2</sub>" and "B<sub>1</sub>" with a straight line.

Table 5. TURNING MISSED APPROACH RADII (Miles).

Approach Category	Obstacle Clearance Radius (R)	Flight Path Radius ( $R_1$ )
A	2.6	1.30
B	2.8	1.40
C	3.0	1.50
D	3.5	1.75
E	5.0	2.50

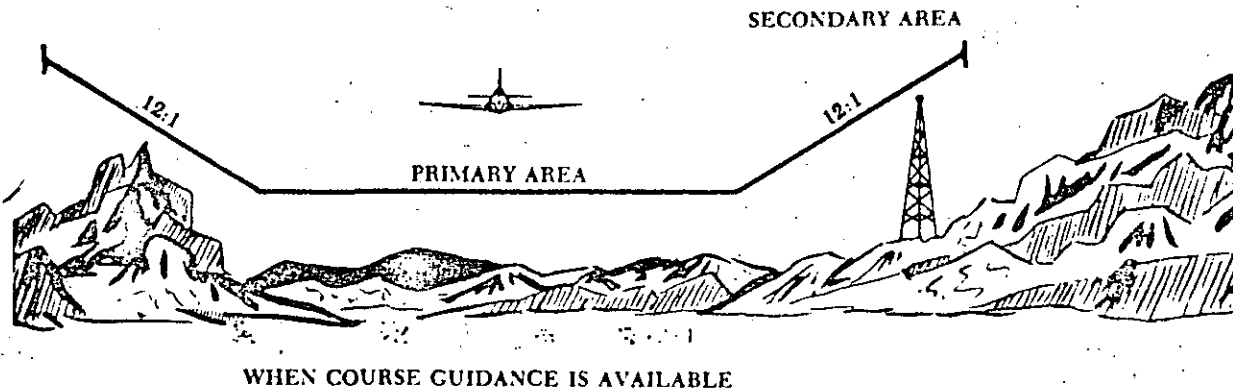


Figure 18. MISSED APPROACH CROSS SECTION. Par. 274.

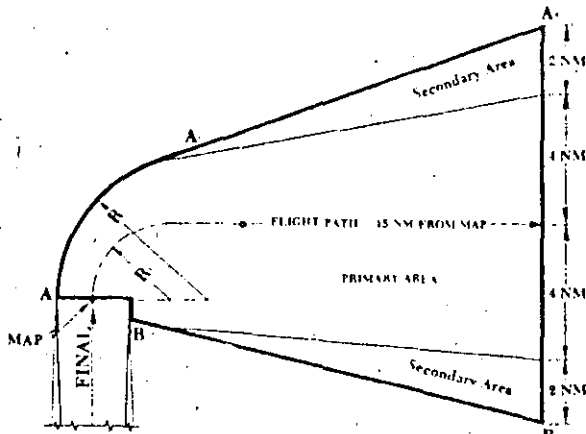


Figure 19. TURNING MISSED APPROACH AREA. 90 Degree Turn or Less. Narrow Final Approach Area at MAP. Par 275.a.

(4) Draw an arc with the radius (R) from point "A" to "A<sub>1</sub>". This is the edge of the obstacle clearance area.

(5) Establish point "B" by measuring backward on the edge of the final approach area a distance of 1 mile.

(6) Connect points "A<sub>1</sub>" and "A<sub>2</sub>", and points "B" and "B<sub>1</sub>" with straight lines.

*b. 90 Degree Turn or Less. Wide final approach area at MAP. See Figure 20. To construct the area:*

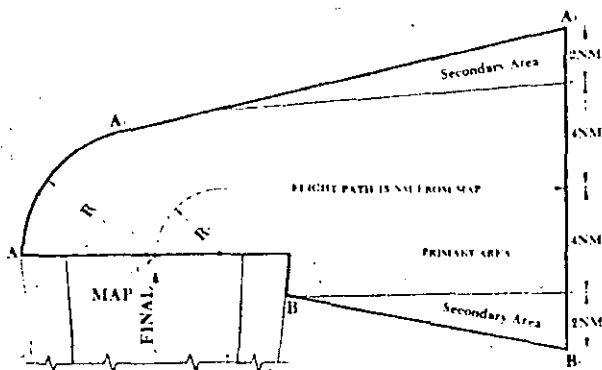


Figure 20. TURNING MISSED APPROACH AREA. 90 Degree Turn or Less. Wide Final Approach Area at MAP. Par 275.b.

(1) Draw an arc with the appropriate radius (R<sub>1</sub>) from the MAP. This line is then extended outward to a point 15 miles from the MAP, measured along the line. This is the assumed flight path.

(2) Establish points "A<sub>2</sub>" and "B<sub>1</sub>" by measuring 6 miles perpendicular to the flight path at the 15 mile point.

(3) Now connect points "A<sub>2</sub>" and "B<sub>1</sub>" with a straight line.

(4) Draw an arc with the appropriate radius (R) from point "A" to point "A<sub>1</sub>". This is the edge of the obstacle clearance area.

(5) Establish point "B" by measuring backward on the edge of the final approach area a distance of 1 mile.

(6) Connect points "A<sub>1</sub>" and "A<sub>2</sub>" and points "B" and "B<sub>1</sub>" with straight lines.

*c. More Than 90 Degree Turn. Narrow final approach area at MAP. See Figure 21. To construct the area:*

(1) Draw an arc with the radius (R<sub>1</sub>) from the MAP through the required number of degrees and then continue outward to a point 15 miles from the MAP,

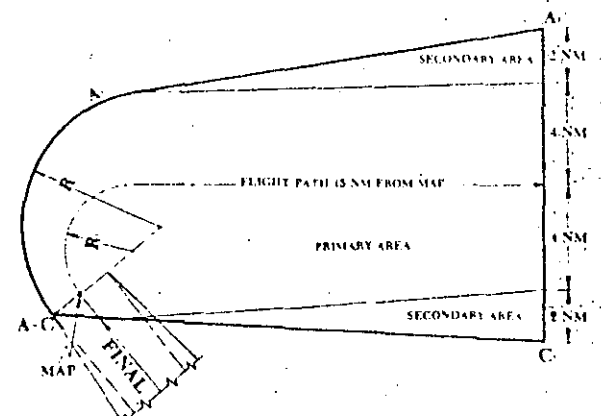


Figure 21. TURNING MISSED APPROACH AREA. More than 90 Degree Turn. Narrow Final Approach Area at the MAP. Par 275.c.



measured along this line, which is the assumed flight path.

(2) Establish points "A<sub>2</sub>" and "C<sub>1</sub>" by measuring 6 miles on each side of the assumed flight path and perpendicular to it at the 15 mile point.

(3) Now connect points "A<sub>2</sub>" and "C<sub>1</sub>" with a straight line.

(4) Draw an arc with the radius (R) from point "A" to point "A<sub>1</sub>" (Figure 21 uses 135 degrees). This is the outer edge of the obstacle clearance area.

(5) Locate point "C" at the inner edge of the final approach secondary area opposite the MAP. (Point "A" and point "C" will be coincident when the MAP is the facility).

(6) Connect points "A<sub>1</sub>" and "A<sub>2</sub>" and points "C" and "C<sub>1</sub>" with straight lines.

d. *More than 90 Degree Turn. Wide final approach area at MAP.* See Figure 22. To construct the area:

(1) Draw the flight path arc with radius (R<sub>1</sub>) from the MAP, and then continue the line outward to a

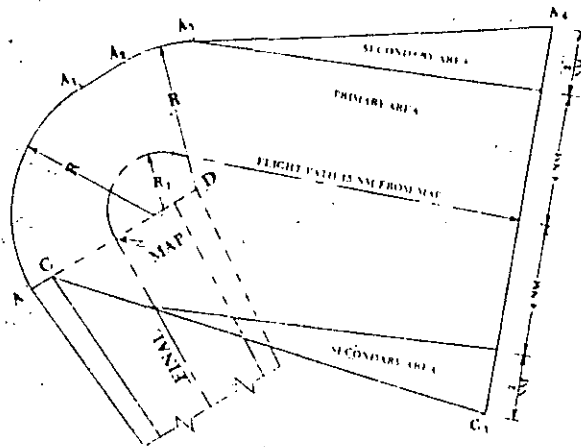


Figure 22. TURNING MISSED APPROACH AREA. More Than 90 Degree Turn. Wide Final Approach at MAP. Par 275.d.

point 15 miles from the MAP, measured along the assumed flight path.

(2) Establish points "A<sub>4</sub>" and "C<sub>1</sub>" by measuring 6 miles on each side of the flight path and perpendicular to it at the 15 mile point.

(3) Now connect points "A<sub>1</sub>" and "C<sub>1</sub>" with a straight line.

(4) Draw a 90 degree arc with the appropriate radius (R) from point "A" to point "A<sub>1</sub>". Note that when the width of the final approach area at the MAP is greater than the appropriate radius (R), the turn is made in two increments when constructing the obstacle clearance area.

(5) Draw an arc with the radius (R) from point "D" (edge of final approach secondary area opposite MAP) the required number of degrees from point "A<sub>2</sub>" to point "A<sub>3</sub>". Compute the number of degrees by subtracting 90 from the total turn magnitude.

(6) Connect points "A<sub>1</sub>" and "A<sub>2</sub>" with a straight line.

(7) Locate point "C" at the inner edge of the final approach secondary area opposite the MAP.

(8) Connect point "A<sub>3</sub>" with point "A<sub>4</sub>", and connect point "C" with point "C<sub>1</sub>" using straight lines.

e. *180 Degree Turn. Narrow final approach area at MAP.* See Figure 23. To construct the area:

(1) Draw an arc with the radius (R<sub>1</sub>) from the MAP through 180 degrees, and then continue outward to a point 15 miles from the MAP, measured along this line, which is the assumed flight path.

(2) Establish points "A<sub>2</sub>" and "C<sub>1</sub>" by measuring 6 miles on each side of the assumed flight path, and perpendicular to it at the 15 mile point.

(3) Now connect point "A<sub>2</sub>" and point "C<sub>1</sub>" with a straight line.

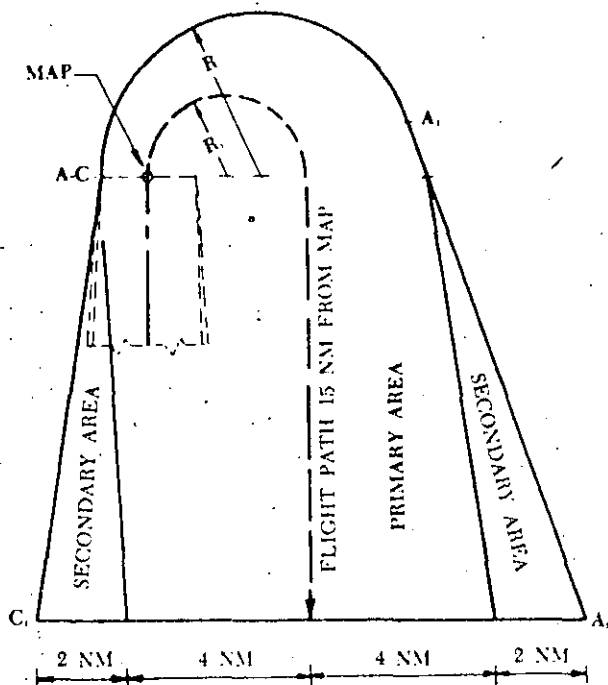


Figure 23. TURNING MISSED APPROACH AREA. 180 Degree Turn. Narrow Final Approach Area at MAP. Par 275.e.

(4) Locate point "C" at the inner edge of the final approach secondary area opposite the MAP. (Point "A" and point "C" will be coincident when the MAP is the facility.)

(5) Draw an arc with the radius (R) from point "A" to point "A<sub>1</sub>" (180 degrees). This is the outer edge of the obstacle clearance area.

(6) Connect points "A<sub>1</sub>" and "A<sub>2</sub>", and points "C" and "C<sub>1</sub>" by straight lines. (The line "A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub>" joins the arc tangentially.)

*f. 180 Degree Turn. Wide final approach area at MAP. See Figure 24. To construct the area:*

(1) Draw the assumed flight path arc with the radius (R<sub>1</sub>) from the MAP the required number of degrees to the desired flight path or course.

(2) Establish points "A<sub>4</sub>" and "C<sub>1</sub>" by measuring 6 miles on each side of the assumed flight path and perpendicular to it at the 15 mile point.

(3) Connect points "A<sub>4</sub>" and "C<sub>1</sub>" with straight lines.

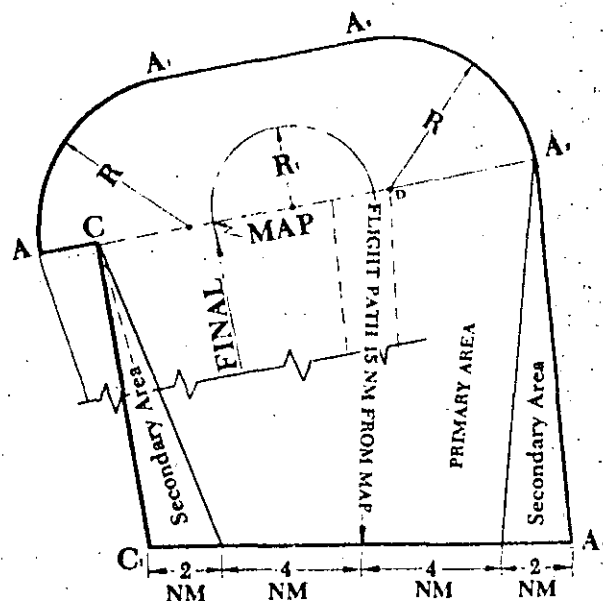


Figure 24. TURNING MISSED APPROACH AREA. 180 Degree Turn. Wide Final Approach Area at MAP. Par 275.f.

(4) Draw a 90 degree arc with the appropriate radius (R) from point "A" to point "A<sub>1</sub>". Note that when the width of the final approach area at the MAP is greater than the appropriate radius (R) the turn is made in two increments when constructing the obstacle clearance area.

(5) Draw an arc with the radius (R) from point "D" (edge of final approach area opposite MAP) the required number of degrees from point "A<sub>2</sub>" to point "A<sub>3</sub>". Compute the number of degrees by subtracting 90 degrees from the total turn magnitude.

(6) Connect points "A<sub>1</sub>" and "A<sub>2</sub>" with a straight line.

(7) Locate point "C" at the inner edge of the final approach secondary area opposite the MAP.

(8) Connect points "A<sub>3</sub>" and "A<sub>4</sub>" and points "C" and "C<sub>1</sub>" with straight lines. (The line "A<sub>3</sub>-A<sub>4</sub>" joins the arc tangentially.)

**276. TURNING MISSED APPROACH OBSTACLE CLEARANCE.** The methods of determining the height of the 40:1 missed approach surface over

obstacles in the turning missed approach area vary with the amount of turn involved.

a. *90 Degree Turn or Less.* See Figure 25. Zone 1 is a 1.6 mile continuation of the final approach secondary area, and has identical obstacle clearance requirements. Zone 2 is the area in which the height of the missed approach surface over an obstacle must be determined. To do this, first identify line "A - D - B" by locating point "B" 1 mile back from the MAP on the edge of the final approach area. Note that the secondary area within the final approach area also terminates at point "B". This is to safeguard the short-turning aircraft. Thus the height of the missed approach surface over an obstacle in Zone 2 is determined by measuring the straight-line distance from the obstacle to the nearest point on line "A - D - B" and computing the height based on the 40:1 ratio. The height of the missed approach surface over the MAP is the same as specified in Paragraph 274. When an obstacle is in a secondary area, measure the straight-line distance from the nearest point on the line "A - D - B" to the point on the inner edge of the secondary area which is nearest the obstacle. Compute the height of the missed approach surface at this point, using the 40:1 ratio. Then apply the 12:1 secondary area ratio from the height of the surface for the remaining distance to the obstacle.

b. *More Than 90 Degree Turn.* See Figure 26. In this case a third Zone becomes necessary. Zone 3 is defined by extending a line from point "B" to the extremity of the missed approach area perpendicular to the final approach course. Zone 3 will encompass all of the missed approach area not specifically

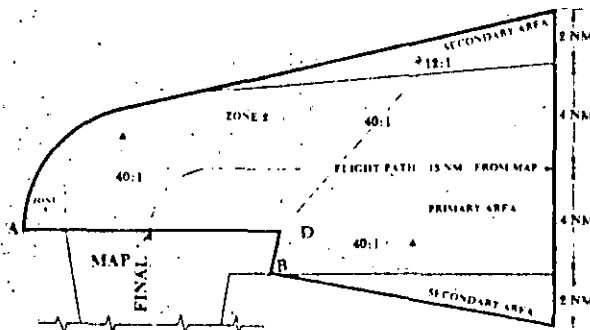


Figure 25. TURNING MISSED APPROACH OBSTACLE CLEARANCE, 90 Degree Turn or Less.

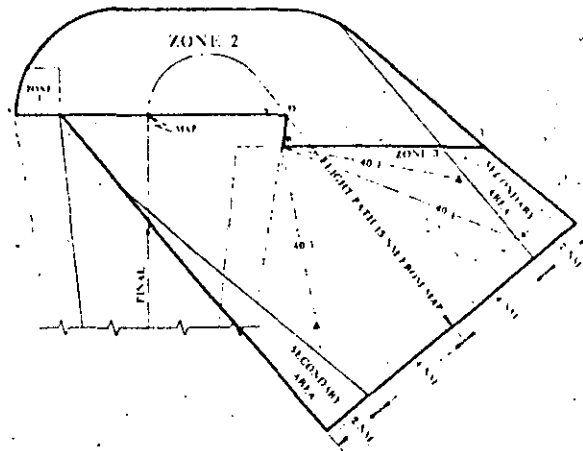


Figure 26. TURNING MISSED APPROACH OBSTACLE CLEARANCE, More Than a 90 Degree Turn, Par 276.b.

within Zones 1 and 2. All distance measurements in Zone 3 are made from point "B". Thus the height of the missed approach surface over an obstacle in Zone 3 is determined by measuring the distance from the obstacle to point "B" and computing the height based on the 40:1 ratio. The height of the missed approach surface over point "B" for Zone 3 computations is the same as the height of the MDA. For an obstacle in the secondary area, use the same measuring method prescribed in Paragraph 276.a., except that the original measuring point shall be point "B".

c. *Secondary Area.* In the secondary area no obstacles may penetrate a 12:1 slope which extends outward and upward from the 40:1 surface from the inner to the outer boundary lines of the secondary area.

**277. COMBINATION STRAIGHT AND TURNING MISSED APPROACH AREA.** If a straight climb to a specific altitude followed by a turn is necessary to avoid obstacles, a combination straight and turning missed approach area must be constructed. The straight portion of this missed approach area is Section 1. The portion in which the turn is made is Section 2.

a. *Straight Portion.* Section 1 is a portion of the normal straight missed approach area and is constructed as specified in paragraph 273. Obstacle clearance is provided as specified in paragraph 274 except that secondary area reductions do not apply.

The length of Section 1 is determined as shown in Figure 27 and relates to the need to climb to a specified altitude prior to commencing the turn. Point A<sub>1</sub> marks the end of Section 1. Point B<sub>1</sub> is one mile from the end of Section 1. (See Figure 27).

*b. Turning Portion.* Section 2 is constructed as specified in paragraph 275 except that it begins at

the end of Section 1 instead of at the MAP. To determine the height which must be attained before commencing the missed approach turn, first identify the controlling obstacle on the side of Section 1 to which the turn is to be made. Then measure the distance from this obstacle to the nearest edge of the Section 1 area. Using this distance as illustrated in Figure 27, determine the height of the 40:1 slope at

**EXAMPLE**

*Given:*

1. MDA 360' MSL
2. Obstacle height: 1098' MSL
3. Obstacle in section 2 = 3NM from near edge of section

*Find:*

1. Minimum altitude at which aircraft can start turn.
2. Required length of section 1.

*Solution:*

1. Find height MSL at near edge.
  - a.  $A = 18,228' (3 \text{ mi}) \div 40 = 456'$
  - b.  $1098' \text{ MSL} - 456' = 642' \text{ MSL}$

2. Add 250' obstacle clearance.
  - a.  $250' + 642' = 892' \text{ MSL}$
3. Round up to next higher 20'.
  - a.  $892' = 900' \text{ MSL}$  to start turn.
4. Find height to climb from MDA to 900' MSL.
  - a.  $900' - 360' = 540'$  to climb.
5. Find length of section 1.
  - a.  $540' \times 40 = 21,600'$  — length of section 1.
6. Missed approach instructions.
  - a. "Climb to 900' before starting right turn to, etc."

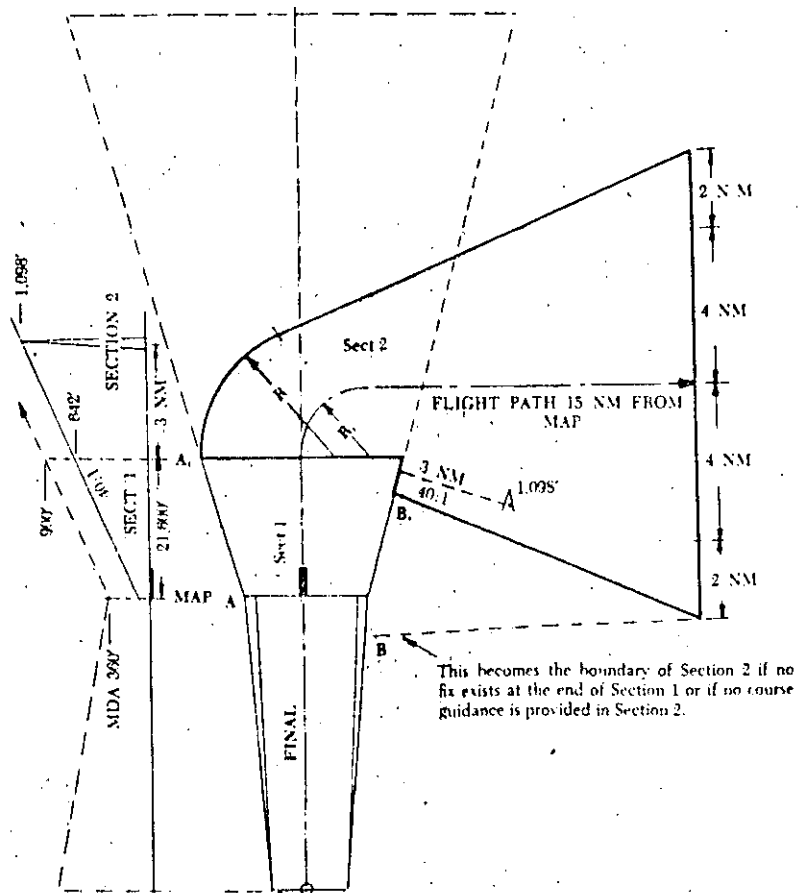


Figure 27. COMBINATION MISSED APPROACH AREA. Par. 277.

8260.3B CHG 1  
2/79

the edge of Section 1. This height plus 250 feet (rounded off to the next higher 20 foot increment) is the height at which the turn should be started. Obstacle clearance requirements in Section 2 are the same as those specified in paragraph 276 except that Zone 1 is not considered and Section 2 is expanded to start at Point B if no fix exists at the end of Section 1 or if no course guidance is provided in Section 2. (See Figure 27).

**278. END OF MISSED APPROACH.** Aircraft shall be assumed to be in the initial approach or enroute environment upon reaching minimum obstacle clearance altitude (MOCA) or minimum enroute altitude (MEA). Thereafter the initial approach or the enroute obstacle clearance criteria apply.

**279. RESERVED.**

#### Section 8. Terminal Area Fixes

**280. GENERAL.** Terminal area fixes include, but are not limited to the final approach fix (FAF), the intermediate fix (IF), the initial approach fix (IAF), the holding fix, and when possible, a fix to mark the missed approach point. Each fix is a geographical position on a defined course. Terminal area fixes should be based on similar navigation systems. For example, TACAN, VORTAC, and VOR/DME facilities provide Radial/DME fixes. Low frequency facilities provide LF bearings or radio range intersections. VOR facilities provide VOR radials. The use of integrated (VHF/LF) fixes shall be limited to those intersection fixes where no satisfactory alternative exists.

**281. FIXES FORMED BY INTERSECTION.** A geographical position can be determined by the intersection of courses or radials from two stations. One station provides the course the aircraft is flying and the other provides a crossing indication which identifies a point along the course which is being flown. Because all stations have accuracy limitations, the geographical point which is identified is not precise, but may be anywhere within a quadrangle which surrounds the plotted point of intersection. Figure 28 illustrates the intersection of an arc and a radial from the same DME facility, and the

intersection of two radials or courses from different navigation facilities. The area encompassed by the sides of the quadrangle formed in these ways is referred to in this publication as the "fix displacement area".

**282. DME FIXES.** A DME fix is formed by a DME reading on a positive navigational course. The information normally shall be derived from a single facility with collocated azimuth and DME antennas. However, when a unique operational requirement indicates a need for DME information from other than collocated facilities, an individual instrument approach procedure which specifies DME may be approved, provided the angular divergence between the signal sources at the fix does not exceed 23 degrees. See Figure 28. For limitation on use of DME with ILS see Paragraph 912.

**283. FIXES FORMED BY RADAR.** Where ATC can provide the service, ASR may be used for any terminal area fix except to identify the middle marker (MM). PAR may be used to form any fix within the radar coverage of the PAR system. ARSR may be used for initial approach and intermediate approach fixes.

**284. FIX DISPLACEMENT AREA.** The areas portrayed in Figure 28 extend along the flight course from point "A" to point "C". The fix error is a plus-or-minus value, and is represented by the lengths from "A" to "B" and "B" to "C". Each of these lengths is applied differently. The fix error may cause the fix to be received early (between "A" and "B") or late (between "B" and "C"). Because the fix may be received early, protection against obstacles must be provided from a line perpendicular to the flight course at point "A".

**285. INTERSECTION FIX DISPLACEMENT FACTORS.** The intersection fix displacement area is determined by the system use accuracy of the navigation fixing systems. The system use accuracy in VOR and TACAN type systems is determined by the combination of ground station error, airborne receiving system error, and pilotage error. Long experience in enroute use of VOR has shown that a VOR system use accuracy along radial courses, of plus-or-minus 4.5 degrees, 95 percent of occasions, is a realistic, conservative figure. Thus, in normal

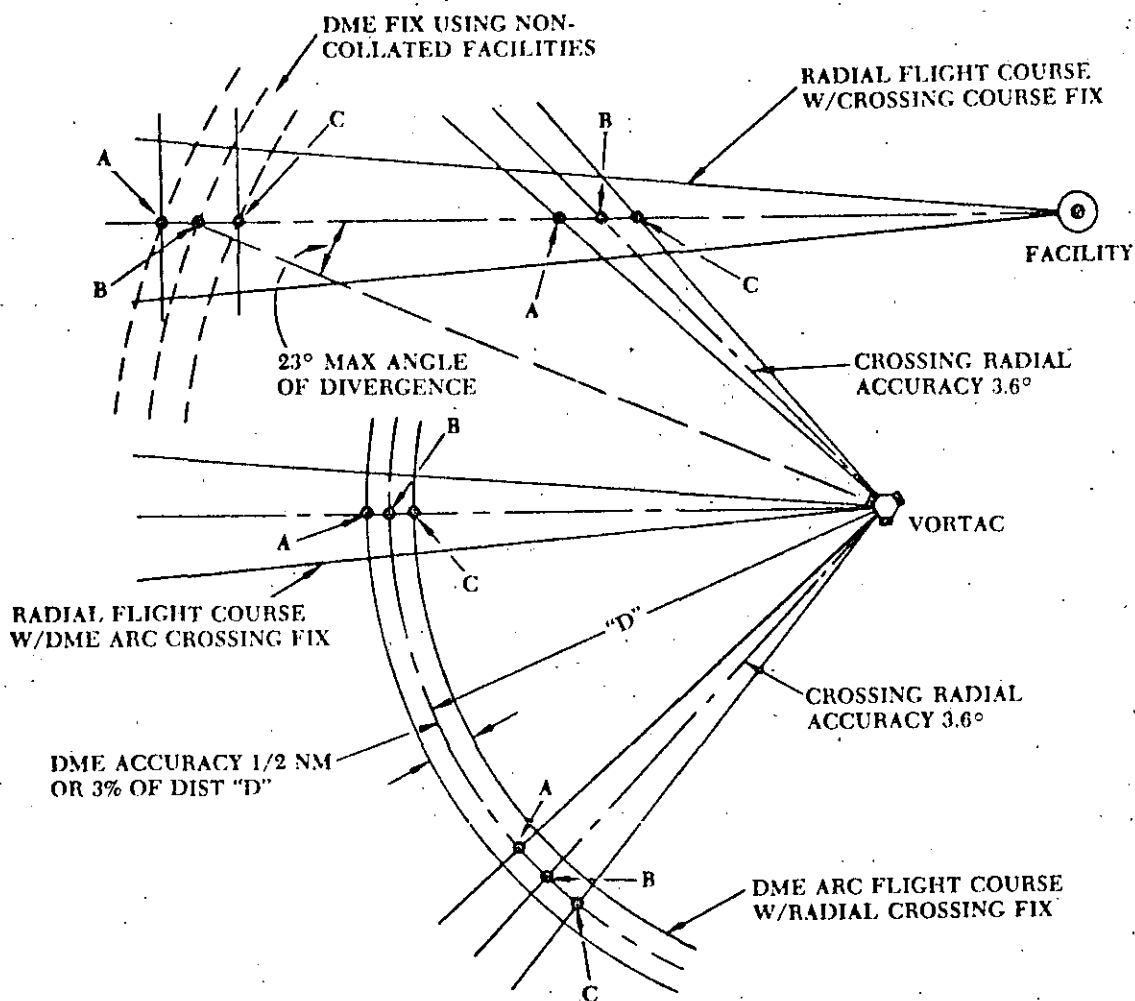


Figure 28. INTERSECTION FIX DISPLACEMENT. Par 281, 282, 283.

use of VOR or TACAN intersections, fix displacement factors may conservatively be assessed as follows:

a. *Along-Course Accuracy.*

- (1) VOR/TACAN radials, plus-or-minus 4.5 degrees.
- (2) Localizer course, plus-or-minus 1 degree.
- (3) LF courses or bearings, plus-or-minus 5 degrees.

*NOTE:* The plus-or-minus 4.5 degrees (95 percent) VOR/TACAN figure is achieved when the

*ground station course signal error, the pilotage error, and the VOR airborne equipment error are controlled to certain normal tolerances. Where it can be shown that any of the three error elements is consistently different from these assumptions (for example, if flight inspection shows a consistently better VOR signal accuracy or stability than the one assumed, or if it can be shown that airborne equipment error is consistently smaller than assumed, or that pilotage error during approaches is consistently smaller than assumed), VOR fix displacement factors smaller than those shown above may be utilized in accordance with Paragraph 141.*

b. *Crossing Course Accuracy.*

- (1) VOR/TACAN radials, plus-or-minus 3.6 degrees.

(2) Localizer course, plus-or-minus 0.5 degrees.

(3) LF courses or bearings, plus-or-minus 5 degrees.

**NOTE:** The plus-or-minus 3.6 degree (95 percent) VOR/TACAN figure is achieved when ground station course signal error and the VOR airborne equipment error are controlled to certain normal tolerances. Since the crossing course is not flown, pilotage error is not a contributing element. Where it can be shown that either of the error elements is consistently different, VOR displacement factors smaller than those shown above may be utilized in accordance with paragraph 141.

**286. OTHER FIX DISPLACEMENT FACTORS.**

a. **Radar.** Plus-or-minus 500 feet or 3 percent of the distance to the antenna, whichever is greater.

b. **DME.** Plus-or-minus 1/2 (0.5) miles or 3 percent of the distance to the antenna, whichever is greater.

c. **75 mhz Marker Beacon.**

(1) Normal powered fan marker, plus-or-minus 2 miles.

(2) Bone-shaped fan marker, plus-or-minus 1 mile.

(3) Low powered fan marker, plus-or-minus 1/2 mile.

(4) "Z"-marker, plus-or-minus 1/2 mile.

**NOTE:** Where these 75 MHz marker values are restrictive, the actual coverage of the fan marker (2 milliamp signal level) at the specific location and altitude may be used instead.

d. **Overheading a Station.** The fix error involved in station passage is not considered significant in terminal applications. The fix is therefore considered to be at the plotted position of the navigation facility. The use of TACAN station passage

as a fix is NOT acceptable for holding fixes or high altitude initial approach fixes.

**287. SATISFACTORY FIXES.**

a. **Intermediate or Initial Approach Fix.** To be satisfactory as an intermediate or initial approach fix, the fix error must not be larger than 50 percent of the appropriate intermediate or initial segment distance which follows the fix. Measurements are made from the plotted fix position. See Figure 29.

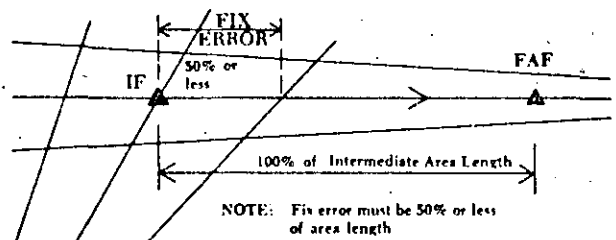


Figure 29. INTERMEDIATE OR INITIAL APPROACH FIX ERRORS. Par 287.

b. **Holding Fixes.** Any terminal area fix except overheading a TACAN may be used for holding, except that if the fix is an intersection formed by courses or radials the following conditions shall exist:

(1) The angle of divergence of the intersecting courses or radials shall not be less than 45 degrees.

(2) If the facility which provides the crossing course is NOT LF, it may be as much as 45 miles from the point of intersection.

(3) If the facility which provides the crossing course is LF, it must be within 30 miles of the intersection point.

(4) If distance stated in 287.b.(2) or (3) are exceeded, the minimum angle of divergence of the intersecting courses must be increased at the following rate:

(a) If an LF facility is involved, 1 degree for each mile over 30 miles.

(b) If an LF facility is NOT involved, 1/2 degree for each mile over 45 miles.

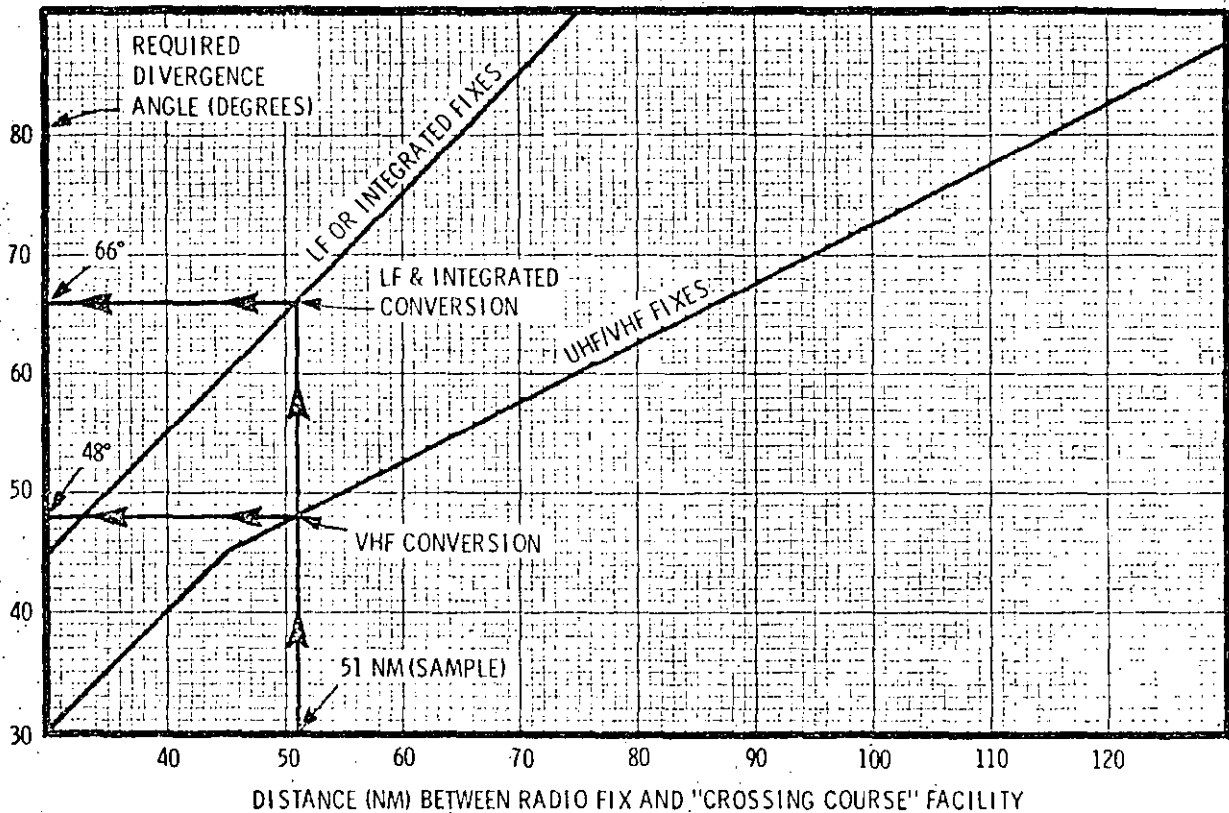


Figure 30. MINIMUM DIVERGENCE ANGLE FOR HOLDING FIXES. Par 287.b.

For example, if the intersection is formed by radials from VORs 30 and 45 miles away, the minimum angle is 45 degrees. If one of the facilities is LF, the minimum angle is 60 degrees. See Figure 30.

c. *Final Approach Fix (FAF)*. For a fix to be satisfactory for use as a final approach fix, the fix error shall not exceed plus-or-minus 1 mile (see Figure 31), except that it may be as large as plus-or-minus 2 miles when:

(1) The missed approach point is marked by overheading an air navigation facility (except 75 mhz markers); OR

(2) A buffer of equal length to the excessive fix error is provided between the published missed approach point and the point where the missed approach surface begins (see Figure 32); OR

(3) The minimum descent altitude is raised at a rate of 15 feet per one-tenth mile of excessive fix error; OR

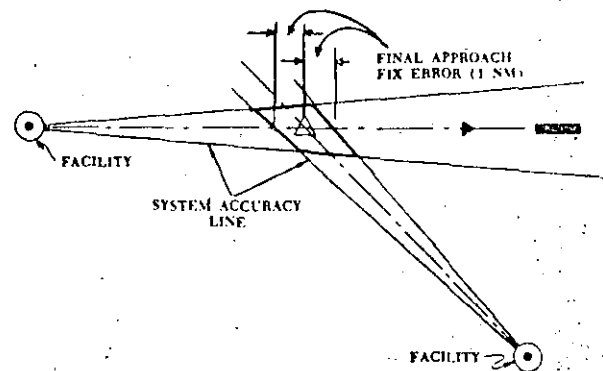


Figure 31. MEASUREMENT OF FINAL APPROACH FIX ERROR. Par 287.c.

(4) A combination of the actions in (2) and (3) above will adjust the missed approach surface to compensate for excessive fix error.

## 288. USING FIXES FOR DESCENT.

a. *Distance Available for Descent*. When applying descent gradient criteria applicable to an



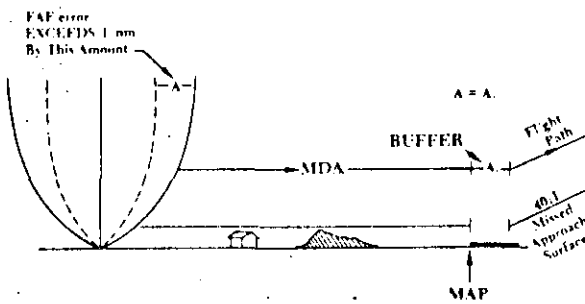


Figure 32. FINAL APPROACH FIX ERROR BUFFER.  
Par 287.c.(2)

approach segment (initial, intermediate or final approach areas), the measuring point is the plotted position of the fix. See Figure 33.

*b. Obstacle Clearance After Passing a Fix.* It is assumed that descent will begin at the earliest point the fix can be received. Full obstacle clearance shall be provided from this point to the plotted point of the next fix. Therefore, the altitude to which descent is to be made at the fix must provide the same clearance over obstacles in the fix displacement area as it does over those in the approach segment which is being entered. See Figure 34.

*c. Stepdown Fix.* A stepdown fix permits additional descent within a segment by identifying a point at which a controlling obstacle has been safely overflown. Only one stepdown fix shall be estab-

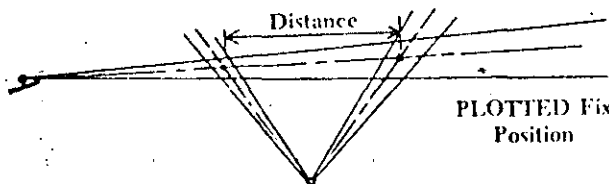


Figure 33. DISTANCE FOR DESCENT GRADIENT APPLICATION. Par 288.a.

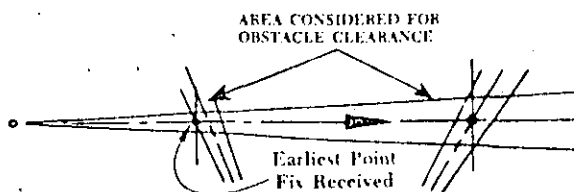


Figure 34. OBSTACLE CLEARANCE AREA BETWEEN FIXES. Par 288.b.

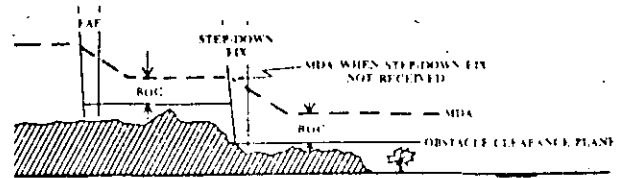


Figure 35. FINAL SEGMENT STEPDOWN FIX. Par 288.c.

lished in the final approach segment. See Figure 35. A stepdown fix shall not be established unless a decrease of at least 60 feet in MDA is achieved. A stepdown fix may be established to achieve a decrease of less than 60 feet only if a reduced visibility minima is achieved. The stepdown fix error in the final approach shall meet FAF requirements. Where a stepdown fix is used in the final approach segment, minimums shall be specified both with and without the stepdown fix except for procedures which require DME. One stepdown fix is authorized in the intermediate segment. If an intersection fix is used in both the intermediate and final segments, the same crossing course facility must be used for both fixes. Stepdown fixes may be established in the initial approach segment based on the length of the segment.

Length of Segment	Number of Fixes
5-10 NM	1 stepdown fix
over 10-15 NM	2 stepdown fixes
over 15 NM	3 stepdown fixes

Those procedures not utilizing DME or radar to identify stepdown fixes in the initial approach segment are not authorized more than one stepdown fix unless the crossing facility used to identify each stepdown fix is the same facility throughout the segment.

**289. OBSTACLES CLOSE TO A FINAL APPROACH OR STEPDOWN FIX.** Existing obstacles located in the final approach area within 1 mile past the point where a fix can first be received may be eliminated from consideration by application of a descent gradient of 1 foot vertically for every 7 feet horizontally. This 7:1 descent gradient shall begin at the point where the fix can first be received. The height of the 7:1 gradient is determined by subtract-

**STEP INSTRUCTIONS**

- ① Find the angle between the Track and the VOR Radial. See Example.
- ② Find the distance from the VOR to the fix.
- ③ Place a straight edge from the "Angle" scale to the distance scale.
- ④ Read the "Fix Displacement" from the center scale.
- ⑤ Repeat this procedure for the complement of the Angle found in Step 1.

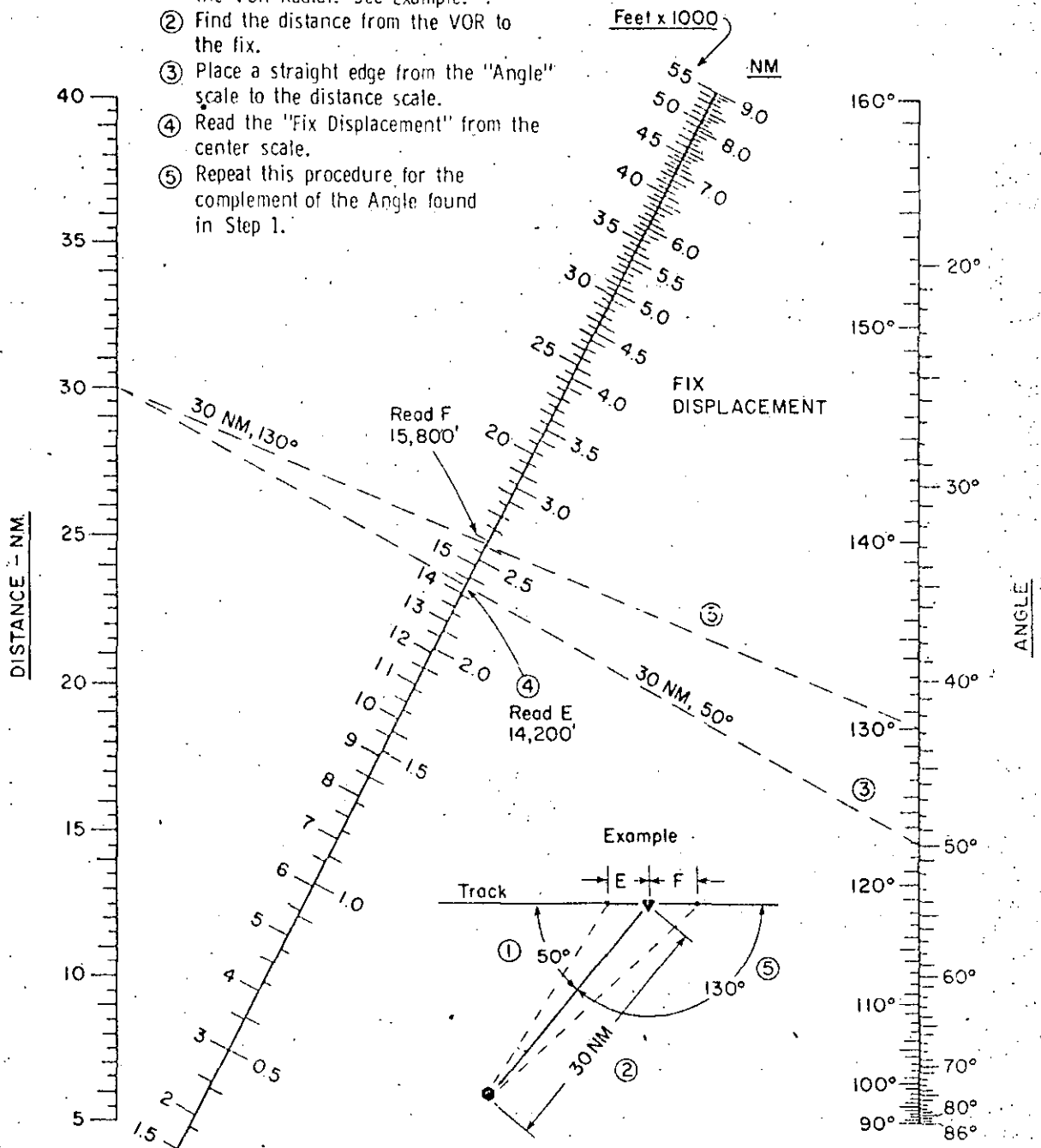
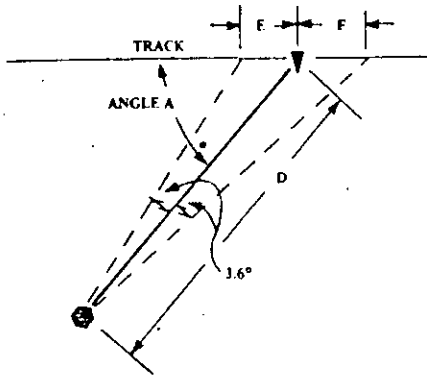


Figure 35A. 3.6 FIX DISPLACEMENT NOMOGRAPH.

ing the required final approach obstacle clearance (ROC) from the minimum altitude or MDA required at the fix. Obstacles which receive this treat-

ment shall be noted on the procedures. See Figure 36. To determine fix error see Paragraphs 284, 285, and 286.

The 3.6° Fix Displacement Nomograph is sufficiently accurate for most applications; however, when precise values are desired the following formulas may be used:



**3.6° Fix Displacement**

Formula

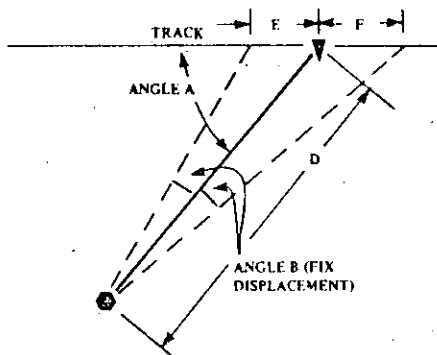
Example

A = 50° D = 30 NM

$$E = \frac{381.53 \times D}{\sin(A + 3.6^\circ)} : \frac{381.53 \times 30}{\sin 53.6^\circ} = \frac{11,445.9}{.8049} = 14,220.3'$$

$$F = \frac{381.53 \times D}{\sin(A - 3.6^\circ)} : \frac{381.53 \times 30}{\sin 46.4^\circ} = \frac{11,445.9}{.7242} = 15,804.9'$$

Where: E and F are in feet, and D is in Nautical Miles.



**Any Fix Displacement Error**

Formula

Example

A = 50° D = 30 NM Angle B = 4.5°

$$E = \frac{6,076.103 \times D \times \sin B}{\sin(A + B)} : \frac{6,076.103 \times 30 \times \sin 4.5^\circ}{\sin(50^\circ + 4.5^\circ)}$$

$$= \frac{6,076.103 \times 30 \times .07846}{\sin 54.5^\circ} = \frac{14,301.9}{.8141} = 17,567.7'$$

$$F = \frac{6,076.103 \times D \times \sin B}{\sin(A - B)} : \frac{6,076.103 \times 30 \times \sin 4.5^\circ}{\sin(50^\circ - 4.5^\circ)}$$

$$= \frac{6,076.103 \times 30 \times .07846}{\sin 45.5^\circ} = \frac{14,301.9}{.71325} = 20,051.7'$$

Where: E and F are in feet, and D is in Nautical Miles.

Figure 35B. FIX DISPLACEMENT COMPUTATIONS

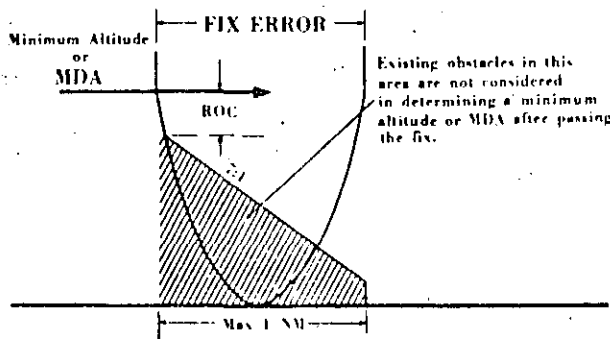


Figure 36. OBSTACLES CLOSE-IN TO A FIX. Par 289.

**Section 9. Holding**

**290. HOLDING PATTERNS.** Criteria for holding pattern airspace are contained in FAA Handbook 7130.3, and provide for separation of aircraft from

aircraft. The criteria contained herein deal with the clearance of holding aircraft from obstacles.

**291. ALIGNMENT.** Whenever practical, holding patterns should be aligned to coincide with the flight course to be flown after leaving the holding fix. However, when the flight path to be flown is along an arc, the holding pattern should be aligned on a radial. When a holding pattern is established at a final approach fix and a procedure turn is not used, the inbound course of the holding pattern shall be aligned to coincide with the final approach course unless the final approach fix is a facility. When the final approach fix is a facility, the inbound holding course and the final approach course shall not differ by more than 30 degrees.

**292. AREA.** The primary obstacle clearance area for holding shall be based on the appropriate holding pattern airspace area specified in FAA Handbook 7130.3. No reduction in the pattern sizes for

119

"on-entry" procedure is permitted. Pattern number 4 is the minimum size authorized. In addition, when holding is at an intersection fix, the selected pattern shall also be large enough to contain at least 3 corners of the fix displacement area. See Paragraphs 284 and 285, and Figure 37. A secondary area 2 miles wide surrounds the perimeter of the primary area.

**293. OBSTACLE CLEARANCE. A MINIMUM** of 1000 feet of obstacle clearance shall be provided throughout the primary area. In the secondary area 500 feet of obstacle clearance shall be provided at the inner edge, tapering to zero feet at the outer edge. For computation of obstacle clearance in the secondary area see Appendix 2, Paragraph 5 and Figure 123. Allowance for precipitous terrain should be considered as stated in Paragraph 323.a. The altitudes selected by application of the obstacle clear-

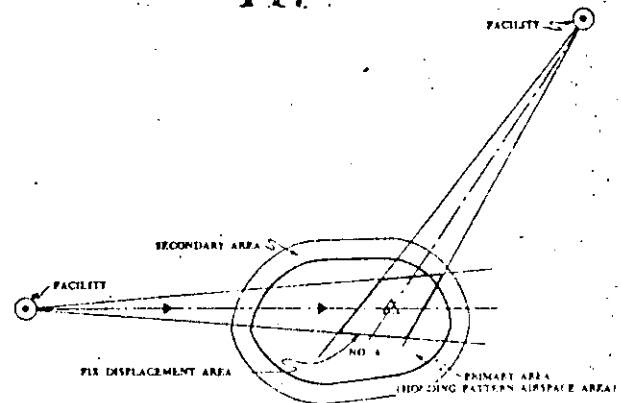


Figure 37. HOLDING PATTERN TEMPLATE APPLICATION.  
Par 292.

ance specified in this paragraph may be rounded to the nearest 100 feet. See Paragraph 231.

**294. - 299. RESERVED.**

## CHAPTER 3. TAKEOFF AND LANDING MINIMUMS

**300. APPLICATION.** The minimums specified in this chapter are the lowest which can be approved at any location for the type facility concerned.

**301. - 309. RESERVED.**

### Section 1. General Information

**310. ESTABLISHMENT.** The minimums established for a particular airport shall be the lowest permitted by the criteria contained in this Handbook. Each procedure shall specify minimums for the various conditions stated in the procedure; i.e., straight-in, circling, alternate, and takeoff, as required. The elements of minimums are the MDA (or DH) and the weather. The weather minimums shall include the visibility required by the procedure, and may include a ceiling value which is equal to or greater than the height of the MDA or DH above airport elevation. Where ceilings are not specified, the height of the straight-in MDA or DH above the highest elevation in the touchdown zone (or the airport elevation in circling approaches) shall be shown on the procedure. Alternate minimums, when specified, shall be stated as ceiling and visibility. Takeoff minimums, when specified, shall be stated as visibility only, except where the need to see and avoid an obstacle makes it necessary to specify a ceiling value. Military services may specify alternate and takeoff minimums in separate directives.

**311. PUBLICATION.** Minimums should be published for each approach category which can be accommodated at the airport. Where the airport landing surface is not adequate, or other restrictions exist which prohibit certain categories of aircraft from making an instrument approach at an airport, "NA" (not authorized) shall be entered in lieu of the minimums values. Approach Category "E" minimums should be published only on high altitude procedures, except where a special requirement exists for their publication on other procedures. Minimums on military procedures shall be published as prescribed by the appropriate Service.

**312. - 319. RESERVED.**

### Section 2. Altitudes

**320. MINIMUM DESCENT ALTITUDE (MDA).** The MDA is the lowest altitude to which descent shall be authorized in procedures not using a glide slope. Aircraft are not authorized to descend below the MDA until the runway environment (see glossary) is in sight, and the aircraft is in a position to descend for a normal landing. The MDA shall be expressed in feet above MSL and is determined by adding the required obstacle clearance to the MSL height of the controlling obstacle in the final approach segment and circling approach area for circling approaches.

**321. MDA FOR STRAIGHT-IN APPROACH.** The MDA for a straight-in approach shall provide at least the minimum required clearance over obstacles in the final approach segment. It shall also be established high enough to insure that obstacles in the missed approach area do not penetrate the 40:1 missed approach surface (see Paragraph 274). The MDA shall be rounded off to the next HIGHER 20-foot increment. For example, 2104 feet becomes 2120.

**322. MDA FOR CIRCLING APPROACH.** The minimum height of the circling MDA above the airport (HAA) shall not be less than that shown in Paragraph 351. In addition, the MDA shall provide at least the minimum required clearance over obstacles in both the final approach segment and the circling approach area. It shall also meet the missed approach requirements specified in Paragraph 321. The MDA shall be established in 20-foot increments, provided that the rounded off MDA for circling is not below the straight-in MDA and provided the ROC is maintained in the circling areas. For example, 2109 feet may become 2100 feet and 2110 feet shall become 2120 feet.

**323. MINIMA ADJUSTMENTS.** Raising the MDA or DH above that required for obstacle clearance may be necessary under the following conditions:

*a. Precipitous Terrain.* When procedures are designed for use in areas characterized by precipi-

tous terrain, in or outside of designated mountainous areas, consideration must be given to induced altimeter errors and pilot control problems which result when winds of 20 knots or more move over such terrain. Where these conditions are known to exist, required obstacle clearance in the final approach segment should be increased. Procedures specialists and approving authorities should be aware of the hazards involved and make appropriate addition, based on their experience and good judgment, to limit the time in which an aircraft is exposed to lee-side turbulence and other weather phenomena associated with precipitous terrain. This may be done by increasing the minimum altitude over the intermediate and final approach fixes so as to preclude prolonged flight at low altitudes. User comments should be solicited to obtain the best available local information.

*b. Remote Altimeter Setting Source.* When the altimeter setting is derived from a remote source more than 5 miles from the runway threshold, the obstacle clearance in the final approach and circling areas shall be increased by 5 feet for each mile in excess of 5 miles. **NOTE: THIS IS A MINIMUM STANDARD AND SHOULD BE USED WITH CAUTION.** A procedure based on a remote altimeter shall NOT be approved in either precipitous terrain or any other area where reasonably homogeneous weather characteristics cannot be determined. In all cases where the source of the altimeter setting is more than 5 miles from the runway threshold it should be noted on the procedure. For example, Case 1 (full time) "Use Boise, Idaho altimeter setting" or Case 2 (part time) "Use Boise, Idaho altimeter setting when control zone is not effective".

*c. Excessive Length of Final Approach.* When a final approach fix is incorporated in the procedure, and the distance from that fix to the nearest landing surface exceeds 6 miles, the MDA shall be increased at the rate of 5 feet for each one-tenth of a mile over 6 miles. Where a stepdown fix is incorporated in the final approach segment, the basic obstacle clearance may be applied between the stepdown fix and the MAP provided the fix is within 6 miles of the landing surface. These criteria are applicable to non-precision approach procedures only.

**NOTE:** *Adjustments to MDA are made after the basic obstacle clearance has been determined, but before rounding off to the published figure.*

**324. DECISION HEIGHT (DH).** The decision height applies only where an electronic glide slope provides the reference for descent, as in ILS or PAR. The decision height is the height, specified in feet above MSL, above the highest runway elevation in the touchdown zone at which a missed approach shall be initiated if the required visual reference has not been established. Decision heights shall be established with respect to the approach obstacle clearance requirements specified in the ILS and PAR chapters, and shall NOT be less than the HAT shown in the appropriate table in Paragraph 350.

**325. - 329. RESERVED.**

### Section 3. Visibilities

#### 330. ESTABLISHMENT OF VISIBILITY MINIMUMS.

a. Straight-in minimums for NONPRECISION approaches shall be established for an approach category when:

(1) The final approach course-runway alignment criteria have been met, AND

(2) The Visibility requirements of Paragraph 331 are met, AND

(3) The height of the MDA above the touchdown zone (TDZ) and the associated visibility are within the tolerances specified in Paragraph 331, AND

(4) The descent gradient from the final approach fix to the runway does not exceed the maximum specified in the applicable facility chapter of this Handbook.

b. Straight-in minimums for PRECISION approaches shall be established for an approach category when the final approach course-runway alignment criteria have been met.

c. The minimum visibility prior to applying credit for lights must be no less than the visibility required in Paragraph 331 or the distance from the MAP to the runway threshold (where the MAP is reached prior to threshold), whichever is the greater.

Table 6. EFFECT OF HAT/HAA ON VISIBILITY MINIMUMS

HAT/HAA (ft.)	250-320	321-390	391-460	461-530	531-600	601-670	671-740	741-810	811-880	881-950	951 & above
CAT A	1 mi									1 1/4	
CAT B	1 mi							1 1/4		1 1/2	
HAT/HAA	250-400		401-500		501-600		do	do	do	do	do
CAT C	1 mi		1 1/4		1 1/2		1 3/4	2	2 1/4	2 1/2	3
HAT/HAA	250-341	342-426	427-511	512-600		do	do	do	do	do	do
CAT D	1 mi	1 1/4	1 1/2	1 3/4		2	2 1/4	2 1/2	2 3/4	3	
HAT/HAA	250-320	321-390	391-460	461-530	531-600		do	do	do	do	do
CAT E	1 mi	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2		2 1/4	2 1/2	2 3/4	3	

This subparagraph does not apply to a procedure where the MAP is more than 2 statute miles from the airport and the procedure is noted, "Fly visual to airport" in which case the required visibility shall be at least 2 miles, but not less than the visibility specified in Table 6.

d. When straight-in minimums are not authorized, only circling MDAs and visibilities will be established. In establishing circling visibility minimums Paragraph 331 applies. These minimums shall be no lower than those specified in Paragraph 351.

e. Circling landing minimums shall NOT be lower than straight-in landing minimums.

**331. EFFECT OF HAT/HAA AND FACILITY DISTANCE ON STRAIGHT-IN AND CIRCLING VISIBILITY MINIMUMS.** The minimum standard visibility required for the pilot to establish visual reference in time to descend safely from the MDA and maneuver to the runway or airport varies with the aircraft category, the HAT/HAA, and the accuracy of the navigation system. Table 6 specifies the minimum standard visibility as determined by HAT/HAA. Table 6A specifies the minimum standard visibility as determined by distance from the facility to the runway.

*NOTE: The higher of the visibilities derived from the tables applies.*

**332. DELETED.**

Table 6A. EFFECT OF FACILITY DISTANCE ON VISIBILITY MINIMUMS

VOR - TACAN - LOC - LDA - ASR - NDB - LFR - DF - SDF					
*Distance NM	0-10	Over 10-15	Over 15-20	Over 20-25	Over 25-30
CAT A	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1 1/4	1 1/2
C	1	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4
D & E	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2

*NOTE: NDB, LFR, & DF Appr. N/A over 15 miles. ASR Appr. N/A over 20 miles. For ASR, NDB, LFR, & DF distance over 10 miles, apply 25-30 column.*

*\*Distance facility to MAP or runway threshold, whichever is farther.*

**333. RUNWAY VISUAL RANGE (RVR).** Runway visual range is a system of measuring the visibility along the runway. It is an instrumentally derived value that represents the horizontal distance a pilot will see down the runway from the approach end. It is based on the sighting of either high intensity runway lights or the visual contrast of other targets, whichever yields the greater visual range.

**334. RUNWAY REQUIREMENTS FOR APPROVAL OF RVR.** RVR may be authorized for both precision and nonprecision approach procedures and takeoff when the following requirements are met with respect to the runway to be used.

a. Transmissometers shall be located in accordance with standards established by the approval authority (e.g., FAA Standard 008).

b. High intensity runway lights spaced at consecutive intervals of not more than 200 feet shall be operative.

c. Nonprecision instrument runway markings are required for nonprecision approaches. Precision instrument (all-weather) runway markings or

touchdown zone and centerline lighting are required for precision approaches. Where sufficient runway lengths are not available to accommodate standard all-weather markings, the approving authority will determine the runway markings to be used. Where required runway markings are not available and credit for lights is not granted, but touchdown zone and centerline lights are available, RVR equal to the visibility minimum without lights is authorized.

Table 7. COMPARABLE VALUES OF RVR AND GROUND VISIBILITY.

RVR	VIS (Statute Miles)	RVR	VIS (Statute Miles)
1600	1/4	4500	7/8
2400	1/2	5000	1
3200	5/8	6000	1-1/4
4000	3/4		

335. COMPARABLE VALUES OF RVR AND GROUND VISIBILITY. If RVR minimums for takeoff or landing are prescribed in an instrument approach procedure but RVR is not reported for the runway of intended operation, the RVR minimums shall be converted to ground visibility in accordance

Table 8. STANDARD LIGHTING SYSTEMS

ABBREVIATION	LIGHTING SYSTEM	Oper. Coverage (Degrees)	
		Lateral (±)	Vert. (abv Hor)
ALSF-I	Standard approach light system with sequenced flashers	21.0*	12.0*
ALSF-II	Standard approach light system with sequenced flashers & CAT II mod.	12.5#	12.5#
SSALS	Simplified short approach light system	21.0*	12.0*
SSALF	Simplified short approach light system with sequenced flashers	12.5#	12.5#
SSALR	Simplified short approach light system with runway alignment indicator lights	21.0*	12.0*
MALS	Medium intensity approach light system	12.5#	12.5#
MALSF	Medium intensity approach light system with sequenced flashers	10.0	10.0*
MALSR	Medium intensity approach light system with runway alignment indicator lights	10.0*	10.0*
ODALS	Omnidirectional approach light system	12.5#	12.5#
VFR			
REIL	Runway end identifier lights	360 #	+2 - +10#
LDIN	Lead-in lighting system (can be * or #)	12.5	12.5
VASI	Visual approach slope indicators	10.0	3.5
RUNWAY LIGHT SYSTEMS			
HIRL	High intensity runway lights		
MIRL	Medium intensity runway lights		
LIRL	Low intensity runway lights		
TDZ/CL	Touchdown zone and centerline lights		

NOTE: Descriptions of lighting systems may be found in Appendix 5 and FAA Handbook 6850.2

\*Steady-burning

#Sequenced flashers



with Table 7 and observed as the applicable visibility minimum for takeoff or landing on that runway.

**336.-339. RESERVED.**

#### Section 4. Visibility Credit for Lights

**340. GENERAL.** Approach lighting systems can "reach out" to the approaching pilot and make the runway environment apparent with less visibility than when such lighting is not available. This section identifies lighting systems and prescribes the operational conditions which must exist in order to reduce straight-in visibility minimums. Table 9 for civil and Table 10 for military in paragraph 350 specify the **LOWEST** visibility minimums which can result from application of this section.

**341. STANDARD LIGHTING SYSTEMS.** Listed in Table 8 are the types of standard lighting systems and the required operational coverage for each type.

**342. OPERATIONAL CONDITIONS.** Credit to reduce straight-in landing minimums for standard or equivalent approach light systems may be given when the following conditions exist for the straight-in landing runway:

*a. Markings.* The runway must have non-precision instrument or precision instrument (all-weather) markings as specified in Paragraph 334.c. and in the directives of the appropriate approving authority.

*b. Approach Course.* The final approach course must place the aircraft within the operational coverage of the lighting system at a distance from the landing threshold equal to the standard visibility required without lights. See Paragraph 330.

*c. Obstacles.*

(1) In order for a visibility as low as 3/4 miles to be approved no obstacle may penetrate a 20:1 slope, measured from 200 feet outward from feet of an area which is the same as the ILS-PAR final approach area.

(2) In order for visibility lower than 3/4 mile to be approved no obstacle may penetrate a 34:1

slope, measured from 200 feet outward from the runway threshold, and overlying the first 10,000 feet of an area which is the same as the ILS-PAR final approach area. See also Paragraphs 935 and 1025.

**343. VISIBILITY REDUCTION.** Standard visibility requirements are computed by applying the criteria contained in Paragraph 331. These requirements may be reduced by giving credit for standard or equivalent approach light systems as follows: (See Paragraph 341 and Appendix 5):

a. The provisions of Paragraphs 342, 935, or 1025, as appropriate, must be met.

b. Where the visibility required without lights does not exceed one mile, visibility as low as that specified in the appropriate table in Paragraph 350 with associated DH or HAT and lighting may be authorized.

c. For civil application, where the visibility required without lights exceeds 1 mile a reduction of 1/2 mile may be made for SSALR, MALSR or ALSF-1 provided such visibility minimum is not less than that specified in Paragraph 350. Reduction for Category D aircraft in NDB approach procedures shall not exceed 1/4 mile or result in visibility minimums lower than 1 mile.

d. For military applications, where the visibility required without lights exceeds 1 mile a reduction of 1/4 mile may be made for SSALS, MALS, or ODALS, and a reduction of 1/2 mile may be made for ALS, SSALR, or MALSR provided such visibility minimum is not less than that specified in Paragraph 350.

e. Where visibility minimums are established in order to see and avoid obstacles, visibility reductions shall not be authorized.

f. Visibility reductions are NOT cumulative.

**344. OTHER LIGHTING SYSTEMS.** In order for variations of standard systems, and other systems not included in this chapter to receive visibility reduction credit, the operational conditions specified in Paragraph 342 must be met. Civil airport lighting systems which do not meet known standards, or for which criteria do not exist, will be

Table 9. CIVIL STANDARD STRAIGHT-IN MINIMUMS

NON-PRECISION APPROACHES						
NON-PRECISION APPROACHES Approach Facility: LOC, VOR, LDA, NDB, SDF, ASR or PAR w/o GS						
	APPROACH LIGHT CONFIGURATION	CAT →	A - B - C		D	
		HAT <sup>1</sup>	VIS or RVR		VIS or RVR	
1	NO LIGHTS	250	1	5000	1	5000
2	ODALS	250	¾	4000	1	5000
3	MALS	250	¾	4000	1	5000
4	SSALS/SALS	250	¾	4000	1	5000
5	MALSR	250	½ <sup>2</sup>	2400	1 <sup>3</sup>	5000
6	SSALR	250	½ <sup>2</sup>	2400	1 <sup>3</sup>	5000
7	ALSF-I	250	½ <sup>2</sup>	2400	1 <sup>3</sup>	5000
8	DME Arc Any Light Configuration	500	1	5000	1	5000

<sup>1</sup>Add 50 ft to HAT for VOR without FAF or NDB with FAF.  
Add 100 ft to HAT for NDB without FAF.

<sup>2</sup>For NDB approaches, ¾ mile or RVR 4000.

<sup>3</sup>For LOC with FAF and MM, ¾ mile or RVR 4000.

PRECISION APPROACHES						
Approach Facility: Full ILS <sup>4</sup> or PAR						
	APPROACH LIGHT CONFIGURATION	CAT →	A - B - C		D	
		HAT	VIS or RVR		VIS or RVR	
9	NO LIGHTS	200	¾	4000	¾	4000
10	MALSR	200	½	2400	½	2400
11	SSALR	200	½	2400	½	2400
12	ALSF-I	200	½	2400	½	2400
13	ALSF-I-TDZ/CL MALSR-TDZ/CL SSALR-TDZ/CL	200	-	1800	-	2000
14	Any above Configuration with Inop MM (Not Applicable to PAR)	250	As above Except RVR below 2400 Not Authorized. Not authorized below RVR 4000 ¾ for CAT D.			

<sup>4</sup>Full ILS includes LOC, GS, OM (or FAF), and MM. With Offset LOC (max 3°), HAT is 250 and RVR below 2400 not authorized.

*NOTE: HIRL is required for RVR. Runway edge lights required for night.*

Table 10. MILITARY STANDARD STRAIGHT-IN MINIMUMS

Standard Approach Light Systems																	
No Lights		ALS TDZ/CL		ALS		SSALR		SALS or SSALS		MALSR		MALS		ODALS			
Precision																	
HAT	CAT	MILE	RVR <sup>1</sup>	MILE	RVR	MILE	RVR	MILE	RVR	MILE	RVR	MILE	RVR	MILE	RVR	MILE	RVR
100	A-E	½	24	—	12	¼	16	¼	16	¼	16	½	24	½	24	½	24
200	A-B	¾	40	½	18	½	24	½ <sup>2</sup>	24 <sup>2</sup>	½	24	½	24	¾	40	¾	40
200	C,D,E	¾	40	½ <sup>2</sup>	24 <sup>2</sup>	½ <sup>2</sup>	24 <sup>2</sup>	½ <sup>2</sup>	24 <sup>2</sup>	¾	40	½ <sup>2</sup>	24 <sup>2</sup>	¾	40	¾	40
250	A-E	1	50	½	24	½ <sup>3</sup>	24 <sup>3</sup>	½	24	¾	40	½	24	¾	40	1	50
Non-Precision																	
As Required	A-B	1	50	½	24	½	24	½	24	¾	40	½	24	¾	40	¾	40
As Required	C,D,E	1	50	¾	40	¾	40	¾	40	¾	40	¾	40	¾	40	¾	40
DME Arc Approach																	
As Required	A-E	1	50	(Reduction Below One Mile Not Authorized)													

<sup>1</sup> RVR shown in hundreds of feet, i.e. RVR 24 = 2400 ft.

<sup>2</sup> Minimum length of approach lights is 2000 feet.

<sup>3</sup> For non-standard ALS lengths of:  
a. 2400 to 2900 feet, use SSALR  
b. 1000 to 2300 feet, use SSALS

INSTRUCTIONS FOR ESTABLISHING MILITARY STRAIGHT-IN MINIMUMS  
(Use Table 10).

STEP 1.	Determine the required DH or MDA by applying criteria found in the appropriate facility chapter of this Handbook.
STEP 2.	Determine the height above touchdown zone elevation. (HAT)
STEP 3.	Determine the visibility value as follows: a. Precision Approaches. (1) HAT 250 feet or less. Enter "precision" portion of Table 10 at HAT value for aircraft approach category. Read across table to determine minimum visibility for the appropriate light system. If the HAT is not shown on the table, use the next higher HAT. (2) HAT greater than 250 feet. Use the instructions for the non-precision minimums in b. below Paragraph 331 does not apply. b. Non-Precision Approaches. Determine the basic visibility by application of criteria in Paragraph 330 and 331. If the basic visibility is 1 mile enter Table 10 with aircraft approach category being considered. Read across the table to determine minimum visibility for the appropriate light system.
STEP 4.	Establish ceiling values in 100-foot increments in accordance with Paragraph 310.

handled in accordance with the provisions of Paragraph 141. Military lighting systems may be equated to standard systems for reduction of visibility as illustrated in Appendix 5. Where existing systems vary from the configurations illustrated there and cannot be equated to a standard system they shall be referred to the appropriate approving authority for special consideration.

345. - 349. RESERVED.

**Section 5. Standard Minimums**

**350. STANDARD STRAIGHT-IN MINIMUMS.** Tables 9 and 10 specify the lowest civil and military minimums which may be prescribed for various combinations of electronic and visual navigation aids. Lower minimums based on special equipment or aircrew qualifications may be authorized only by approving authorities. Higher minimums shall be specified where required by application of criteria contained elsewhere in this Handbook.

**351. STANDARD CIRCLING MINIMUMS.** Table 11 specifies the lowest civil and military minimums which may be prescribed for circling approaches. See also Paragraph 330.c. The MDA established by application of the minimums specified in this paragraph may be rounded to the nearest 20 feet.

Table 11. STANDARD CIRCLING MINIMUMS.

	Approach Category		C	D	E
	A	B			
Height Above Airport Elevation (HAA) in feet	350	450	450	550	550
Visibility in Miles	1	1	1 1/2	2	2

352. - 359. RESERVED.

**Section 6. Alternate Minimums**

**360. STANDARD ALTERNATE MINIMUMS.** Minimums authorized when an airport is to be used as an alternate airport appear in Table 12. The ceiling specified shall NOT be lower than the circling MDA above the airport or as specified in military directives for military operations.

Table 12. STANDARD ALTERNATE MINIMUMS.

Type of Approach Facility	Ceiling	Visibility
VOR, VORTAC, LOC, LDA, ASR, NDB, LFR	800	2
ILS or PAR	600	2

361. - 369. RESERVED.

**Section 7. Departures**

**370. STANDARD TAKEOFF MINIMUMS.** Where applicable, civil standard takeoff minimums are specified by the number of engines on the aircraft. Takeoff minimums are stated as visibility only, except where the need to see and avoid an obstacle makes a ceiling value necessary. In this case the published procedure shall identify the location of the controlling obstacle. Takeoff minimums for military operations shall be as stated in the appropriate service directives.

Table 13. STANDARD CIVIL TAKEOFF MINIMUMS.

Number of Engines	Visibility (Statute Miles)
1 or 2	1
3 or more	1/2

371. - 399. RESERVED.

## CHAPTER 4. ON-AIRPORT VOR(NO FAF)

**400. GENERAL.** This chapter is divided into two sections; one for low altitude procedures and one for high altitude teardrop penetration procedures. These criteria apply to procedures based on a VOR facility located on an airport in which no final approach fix (FAF) is established. These procedures must incorporate a procedure or a penetration turn. An ON-AIRPORT facility is one which is located:

*a. For Straight-In Approach.* Within one mile of the nearest portion of the landing runway.

*b. For Circling Approach.* Within one mile of the nearest portion of the usable landing surface of the airport.

**401. - 409. RESERVED.**

### Section 1. Low Altitude Procedures

**410. FEEDER ROUTES.** Criteria for feeder routes are contained in paragraph 220.

**411. INITIAL APPROACH SEGMENT.** The initial approach fix is received by overheading the navigation facility. The initial approach is a procedure turn. The criteria for the procedure turn areas are contained in Paragraph 234.

**412. INTERMEDIATE SEGMENT.** This type of procedure has no intermediate segment. Upon completion of the procedure turn, the aircraft is on final approach.

**413. FINAL APPROACH SEGMENT.** The final approach begins where the procedure turn intersects the final approach course inbound.

*a. Alignment.* The alignment of the final approach course with the runway centerline determines whether a straight-in or circling approach may be established.

**(1) Straight-In.** The angle of convergence of the final approach course and the extended

runway centerline shall not exceed 30 degrees. The final approach course should be aligned to intersect the extended runway centerline 3000 feet outward from the runway threshold. When an operational advantage can be achieved this point of intersection may be established at any point between the runway threshold and a point 5200 feet outward from the runway threshold. Also, where an operational advantage can be achieved, a final approach course which does not intersect the runway centerline, or intersects it at a distance greater than 5200 feet from the threshold, may be established, provided such a course lies within 500 feet laterally of the extended runway centerline at a point 3000 feet outward from the runway threshold. See Figure 38.

**(2) Circling Approach.** When the final approach course alignment does not meet the criteria for straight-in landing, only a circling approach shall be authorized, and the course alignment should be made to the center of the landing area. When an operational advantage can be achieved, the final approach course may be aligned to pass through any portion of the usable landing surface. See Figure 39.

*b. Area.* Figure 40 illustrates the final approach primary and secondary areas. The primary area is longitudinally centered on the final approach course, and is 10 miles long. The primary area is 2 miles wide at the facility and expands uniformly to 6 miles at 10 miles from the facility. A secondary area is on each side of the primary area. It is zero miles wide at the facility and expands uniformly to 1.34 miles on each side of the primary area at 10 miles from the facility. When the 5 mile procedure turn is used, only the inner 5 miles of the final approach area need be considered.

*c. Obstacle Clearance.*

**(1) Straight-in.** The minimum obstacle clearance in the primary area is 300 feet. In the secondary area, 300 feet of obstacle clearance shall be provided at the inner edge, tapering uniformly to zero feet at the outer edge. The minimum required

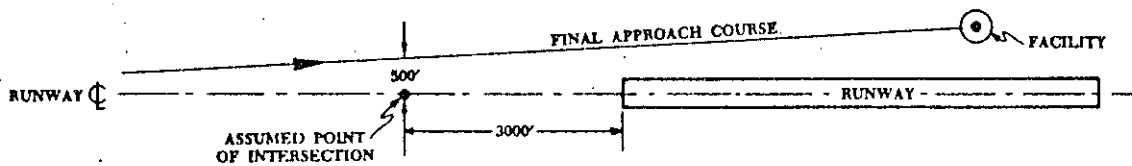
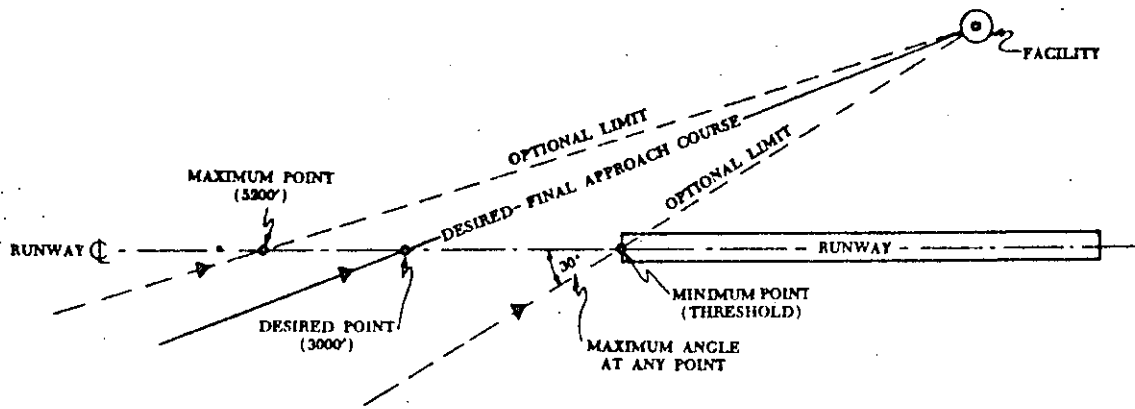


Figure 38. ALIGNMENT OPTIONS FOR FINAL APPROACH COURSE. On-Airport VOR. No FAF. Straight-In Approach Procedure. Paragraph 413.a.(1).

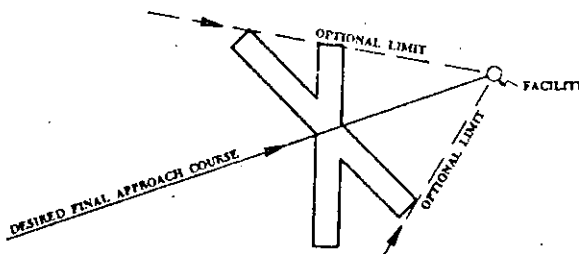


Figure 39. ALIGNMENT OPTIONS FOR FINAL APPROACH COURSE. On-Airport VOR. No FAF. Circling Approach Procedure. Paragraph 413.a.(2)

obstacle clearance at any given point in the secondary area is found in Appendix 2, Figure 126.

(2) **Circling Approach.** In addition to the minimum requirements specified in Paragraph 413.c.(1) above, obstacle clearance in the circling area shall be as prescribed in Chapter 2 Section 6.

d. **Procedure Turn Altitude (Descent Gradient).** The procedure turn completion altitude shall be within 1500 feet of the MDA (1000 feet with a 5 mile procedure turn), provided the distance from the facility to the point where the final approach course intersects the runway centerline (or the first usable portion of the landing area for "circling only" procedures) does not exceed 2 miles. When this distance exceeds 2 miles, the maximum difference between the procedure turn completion altitude and the MDA shall be reduced at the rate of 25 feet for each one-tenth of a mile in excess of 2 miles.

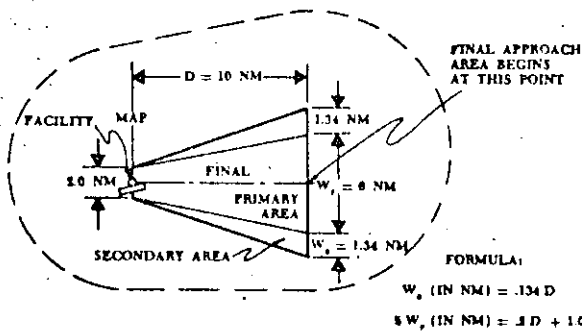


Figure 40. FINAL APPROACH PRIMARY AND SECONDARY AREAS. On-Airport VOR. No FAF. Par 413.b.

**NOTE:** For those procedures in which the final approach does NOT intersect the extended runway centerline within 5200 feet of the runway threshold (see paragraph 413.a.(1)) the assumed point of intersection for computing the distance from the facility

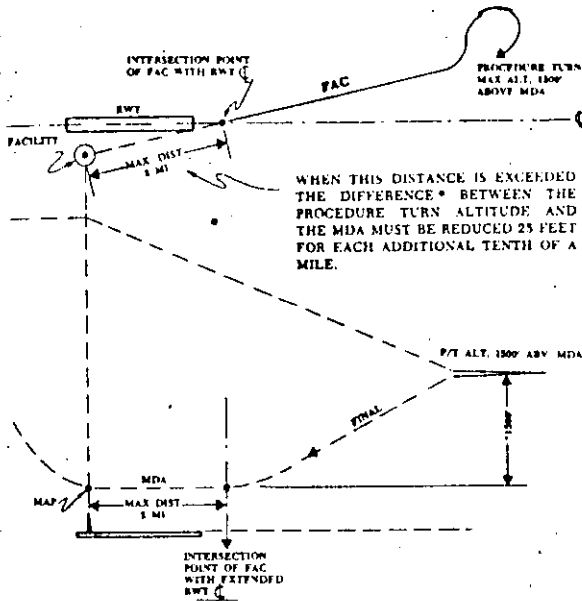


Figure 41. PROCEDURE TURN ALTITUDE. On-Airport VOR, No FAF. Par 413.d.

shall be 3000 feet from the runway threshold. See Figure 38.

e. *Use of Stepdown Fix.* Use of the stepdown fix (paragraph 288.c.) is permitted provided the distance from the facility to the stepdown fix does not exceed 4 miles. Where the stepdown fix is used, the obstacle clearance (paragraph 413.c.(1)) may be reduced to 250 feet from the stepdown fix to the MAP. See Figure 42 below. See also Paragraph 251.

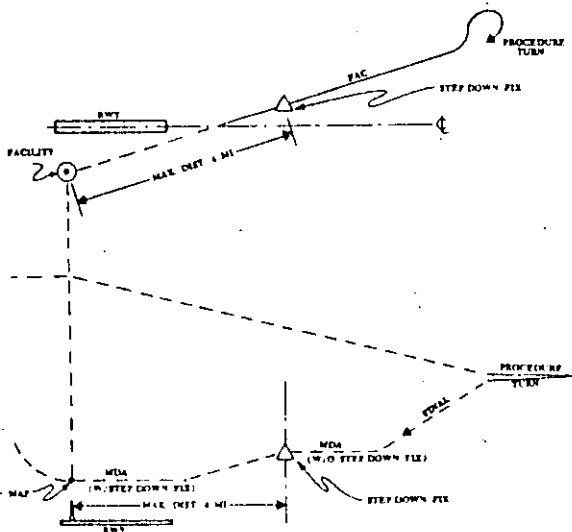


Figure 42. USE OF STEP-DOWN FIX. On-Airport VOR. No FAF. Par 413.e.

f. *Minimum Descent Altitude.* Criteria for determining the MDA are contained in Chapter 3.

414. **MISSED APPROACH SEGMENT.** Criteria for the missed approach segment are contained in Chapter 2, Section 7. The missed approach point is the facility. See Figure 42. The missed approach surface shall commence over the facility at the required height. See Paragraph 274.

415.-419. **RESERVED.**

### Section 2. High Altitude Teardrop Penetrations

420. **FEEDER ROUTES.** Criteria for feeder routes are contained in Paragraph 220.

421. **INITIAL APPROACH SEGMENT.** The initial approach fix is received by overheading the navigation facility. The initial approach is a teardrop penetration turn. The criteria for the penetration turn are contained in Paragraph 235.

422. **INTERMEDIATE SEGMENT.** This procedure has no intermediate segment. Upon completion of the penetration turn, the aircraft is on final approach.

423. **FINAL APPROACH SEGMENT.** An aircraft is considered to be on final approach upon completion of the penetration turn. However, the final approach segment begins on the final approach course 10 miles from the facility. That portion of the penetration procedure prior to the 10-mile point is treated as the initial approach segment. See Figure 43.

a. *Alignment.* Same as low altitude. (Paragraph 413.a.)

b. *Area.* Figure 43 illustrates the final approach primary and secondary areas. The primary area is longitudinally centered on the final approach course, and is 10 miles long. The primary area is 2 miles wide at the facility, and expands uniformly to 8 miles at a point 10 miles from the facility. A secondary area is on each side of the primary area. It is zero miles wide at the facility, and expands uni-

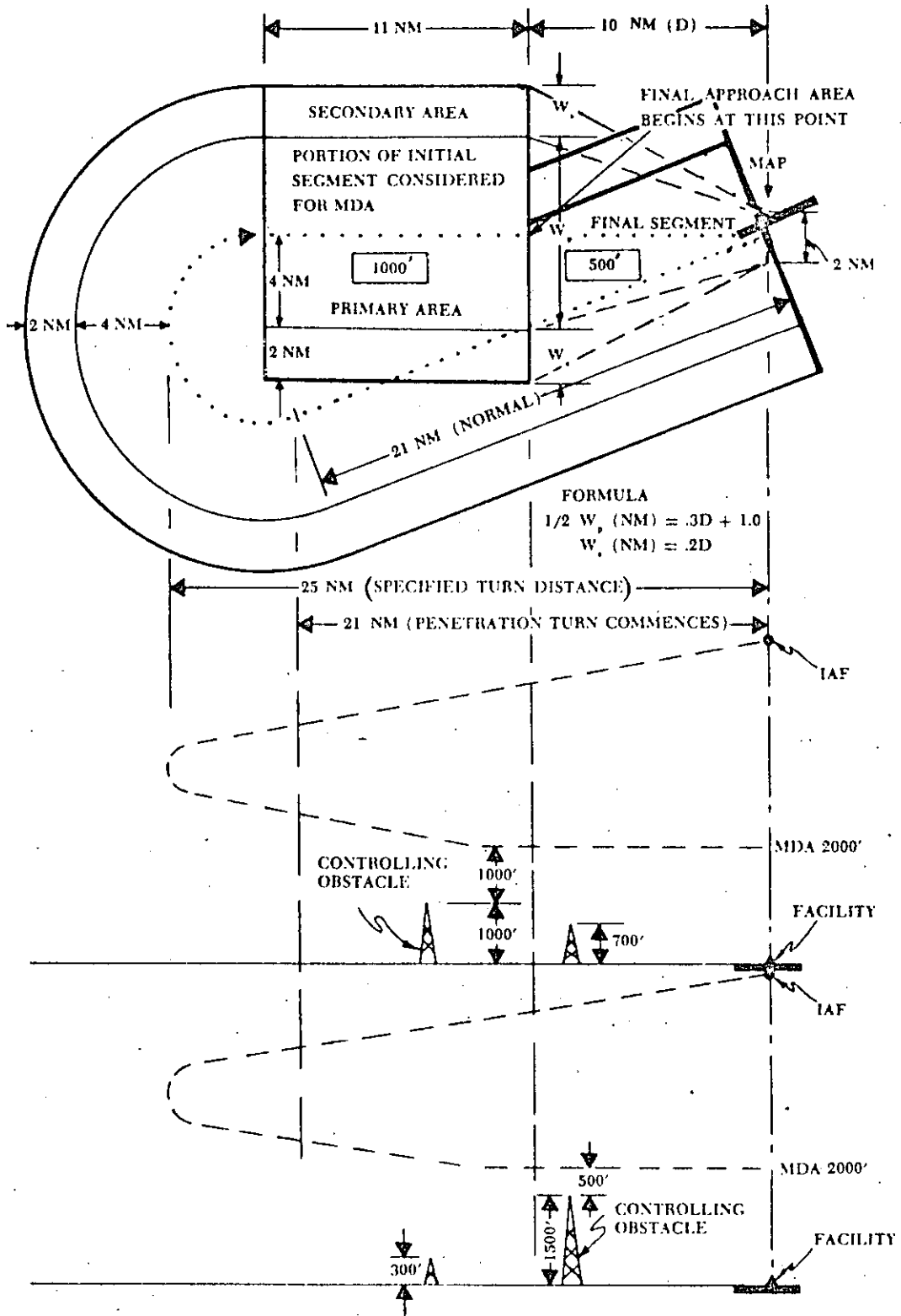


Figure 43. PENETRATION TURN. On-Airport VOR. No FAF. Par 423.



formly to 2 miles each side of the primary area at a point 10 miles from the facility.

*c. Obstacle Clearance.*

(1) **Straight-In.** The minimum obstacle clearance in the primary area is 500 feet. In the secondary area, 500 feet of obstacle clearance shall be provided at the inner edge, tapering uniformly to zero feet at the outer edge. The minimum required obstacle clearance at any given point in the secondary area is shown in Appendix 2, Figure 123.

(2) **Circling Approach.** In addition to the minimum requirements specified in Paragraph 423.c.(1) above, obstacle clearance in the circling area shall be as prescribed in Chapter 2, Section 6.

*d. Penetration Turn Altitude (Descent Gradient).* The penetration-turn completion altitude shall be at least 1000 feet, but not more than 4000 feet above the MDA on final approach.

*e. Use of Stepdown Fix.* The use of the step-down fix is permitted provided the distance from the facility to the stepdown fix does not exceed 10 miles. See Paragraph 288.c.

*f. Minimum Descent Altitude.* In addition to the normal obstacle clearance requirement of the final approach segment (see Paragraph 423.c.), the MDA specified shall provide at least 1000 feet of clearance over obstacles in the portion of the initial approach segment between the final approach segment and the point where the assumed penetration turn track intercepts the inbound course. See Figure 43.

**424. MISSED APPROACH SEGMENT.** Criteria for the missed approach segment are contained in Chapter 2, Section 7. The missed approach point is the facility. See Figure 43. The missed approach surface shall commence over the facility at the required height. See Paragraph 274.

**425. - 499. RESERVED.**

**CHAPTER 5. TACAN, VOR/DME, AND VOR WITH FAF**

**500. GENERAL.** This chapter applies to approach procedures based on the elements of the VORTAC facility; i.e., VOR, VOR/DME, and TACAN, in which a final approach fix (FAF) is established. The chapter is divided into two sections; Section 1 for VOR procedures which do not use DME as the primary method for establishing fixes, and Section 2 for VOR/DME and TACAN procedures which use collocated, frequency paired DME as the sole method of establishing fixes. When both the VOR and TACAN azimuth elements of a VORTAC station will support it, a single procedure, identified as a VOR/DME or TACAN shall be published. Such a procedure may be flown using either a VOR/DME or TACAN airborne receiver and shall satisfy TACAN terminal area fix requirements. See Paragraph 286.d.

**501. - 509. RESERVED.**

**Section 1. VOR with FAF**

**510. FEEDER ROUTES.** Criteria for feeder routes are contained in Paragraph 220.

**511. INITIAL APPROACH SEGMENT.** Criteria for the initial approach segment are contained in Chapter 2, Section 3. See Figures 44 and 45.

**512. INTERMEDIATE APPROACH SEGMENT.** Criteria for the Intermediate approach segment are contained in Chapter 2, Section 4. See Figures 44 and 45.

**513. FINAL APPROACH SEGMENT.** The final approach may be made either "FROM" or "TOWARD" the facility. The final approach segment begins at the final approach fix and ends at the runway or missed approach point, whichever is encountered last.

*a. Alignment.* The alignment of the final approach course with the runway centerline determines whether a straight-in or circling-only approach may be established. The alignment criteria

differs depending on whether the facility is OFF or ON the airport. See definitions in Paragraph 400.

**(1) Off-Airport Facility.**

*(a) Straight-In.* The angle of convergence of the final approach course and the extended runway centerline shall not exceed 30 degrees. The final approach course should be aligned to intersect the runway centerline at the runway threshold. However, when an operational advantage can be achieved, the point of intersection may be established as much as 3000 feet outward from the runway threshold. See Figure 46.

*(b) Circling Approach.* When the final approach course alignment does not meet the criteria for a straight-in landing, only a circling approach shall be authorized, and the course alignment should be made to the center of the landing area. When an operational advantage can be achieved, the final approach course may be aligned to any portion of the usable landing surface. See Figure 47.

**(2) On-Airport Facility.**

*(a) Straight-In.* The angle of convergence of the final approach course and the extended runway centerline shall not exceed 30 degrees. The final approach course should be aligned to intersect the extended runway centerline 3000 feet outward from the runway threshold. When an operational advantage can be achieved, this point of intersection may be established at any point between the threshold and a point 5200 feet outward from the threshold. Also, where an operational advantage can be achieved a final approach course which does not intersect the runway centerline, or which intersects it at a distance greater than 5200 feet from the threshold, may be established, provided that such a course lies within 500 feet laterally of the extended runway centerline at a point 3000 feet outward from the runway threshold. See Figure 48.

*(b) Circling Approach.* When the final approach course alignment does not meet the crite-

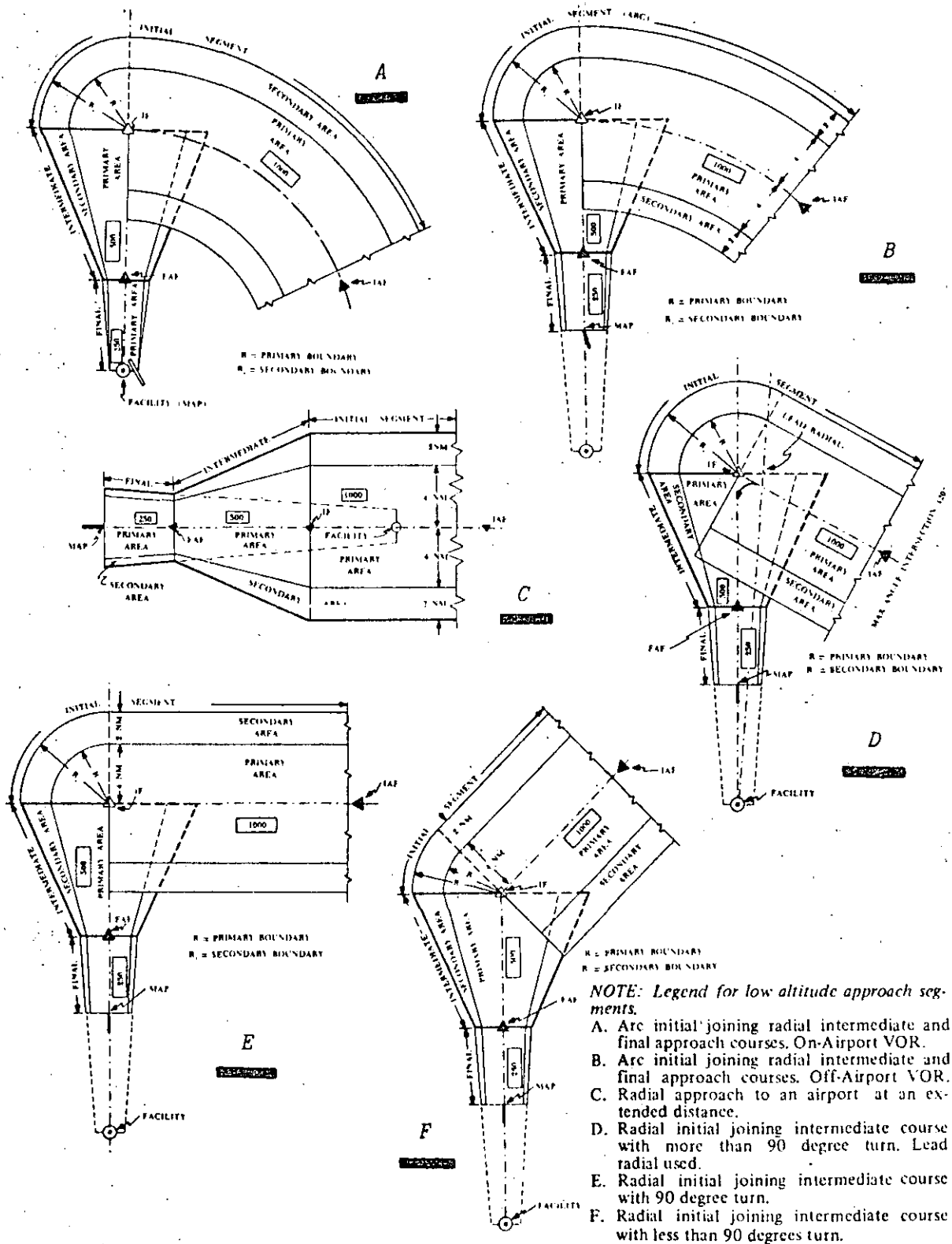


Figure 44. TYPICAL LOW ALTITUDE APPROACH SEGMENTS. VOR with FAF. Par 511 and 512.

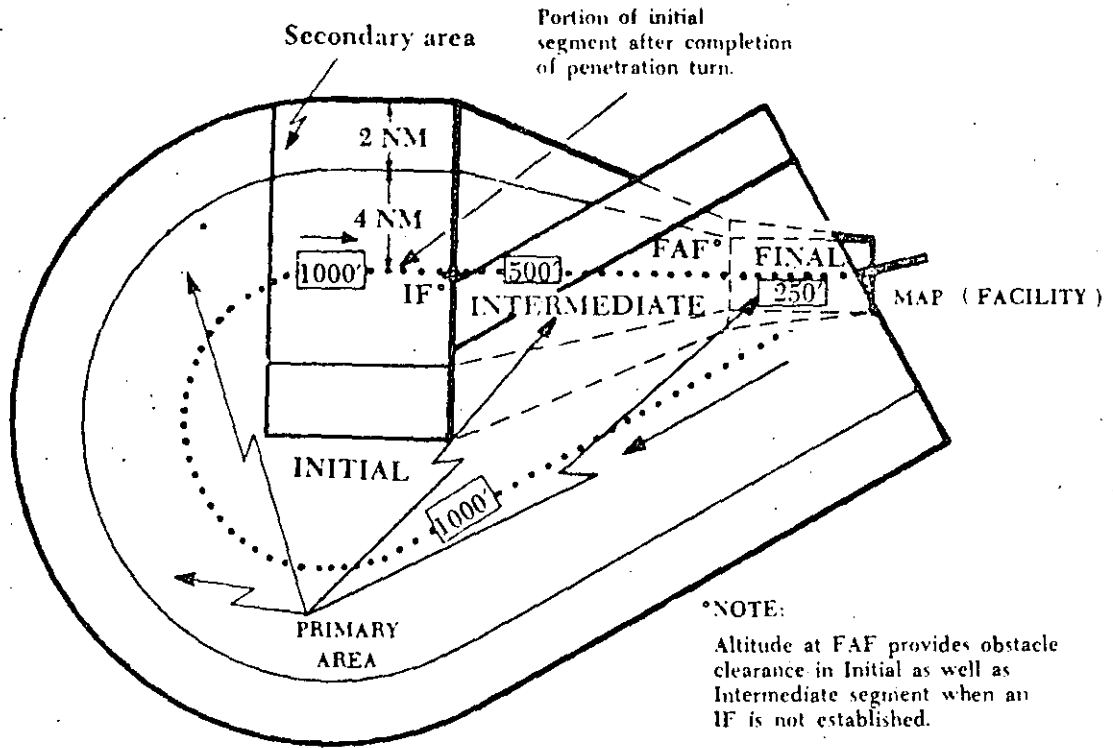


Figure 45. TYPICAL HIGH ALTITUDE SEGMENTS. VOR with FAF. Par 511 and 512.

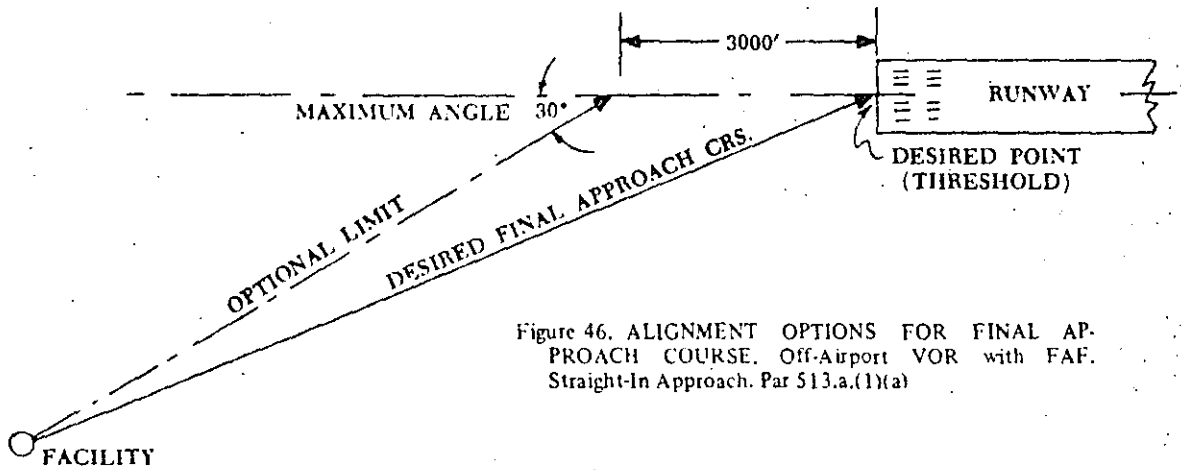
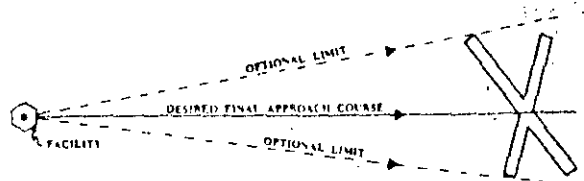


Figure 46. ALIGNMENT OPTIONS FOR FINAL APPROACH COURSE. Off-Airport VOR with FAF. Straight-In Approach. Par 513.a.(1)(a)

Figure 47. ALIGNMENT OPTIONS FOR FINAL APPROACH COURSE. Off-Airport VOR with FAF. Circling Approach. Par. 513.a.(1)(b).



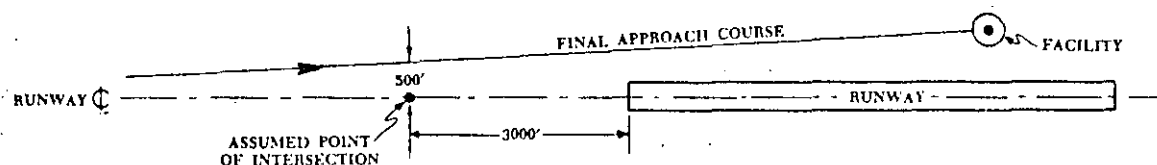
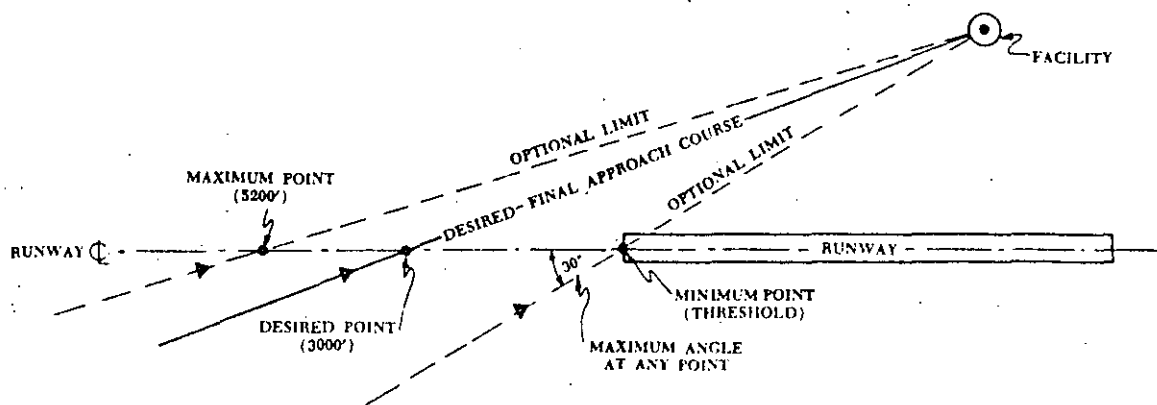


Figure 48. ALIGNMENT OPTIONS FOR FINAL APPROACH COURSE. On-Airport VOR with FAF. Straight-In Approach. Par 513.a.(2)(a)

ria for a straight-in landing, only a circling approach shall be authorized, and the course alignment should be made to the center of the landing area. When an operational advantage can be achieved, the final approach course may be aligned to any portion of the usable landing surface. See Figure 49.

*b. Area.* The area considered for obstacle clearance in the final approach segment starts at the final approach fix and ends at the runway or missed-approach point, whichever is encountered last. It is a portion of a 30-mile long trapezoid (see Figure 50) which is made up of primary and secondary areas. The primary area is centered longitudinally on the final approach course. It is 2 miles wide at the facility, and expands uniformly to 5 miles wide at 30 miles from the facility. A secondary area is on each side of the primary area. It is zero miles wide at the facility and expands uniformly to 1 mile on each side of the primary area at 30 miles from the facility. Final approaches may be made to airports which are a maximum of 30 miles from the facility. See Figure 51. The OPTIMUM length of the final approach segment is 5 miles. The MAXIMUM length is 10 miles. The MINIMUM length of the final approach

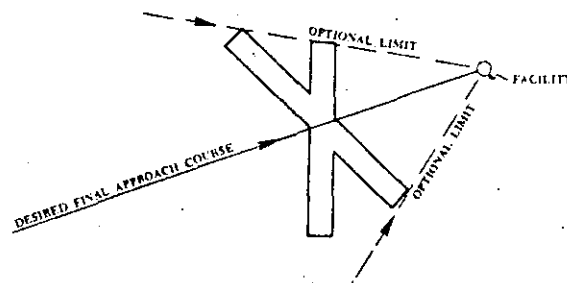


Figure 49. ALIGNMENT OPTIONS FOR FINAL APPROACH COURSE. On-Airport VOR with FAF. Circling Approach. Par 513.a.(2)(b).

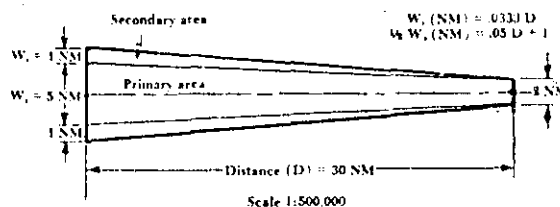


Figure 50. FINAL APPROACH TRAPEZOID. VOR with FAF. Par 513.b.

8260.3B  
7/76

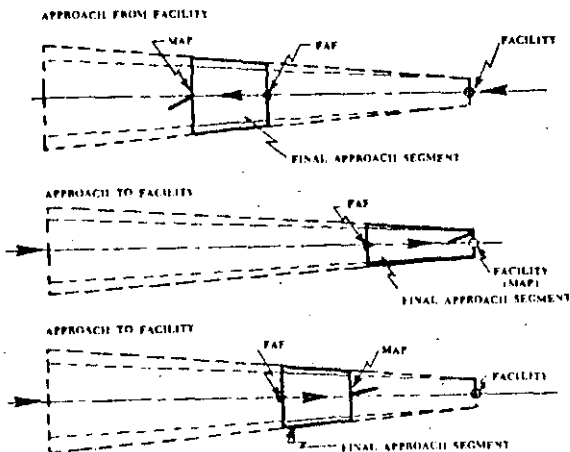


Figure 51. TYPICAL STRAIGHT-IN FINAL APPROACHES, VOR with FAF. Par 513.b.

segment shall provide adequate distance for an aircraft to make the required descent, and to regain course alignment when a turn is required over the facility. Table 14 shall be used to determine the minimum length needed to regain the course.

c. *Obstacle Clearance.*

(1) **Straight-In Landing.** The minimum obstacle clearance in the primary area is 250 feet. In the secondary area 250 feet of obstacle clearance shall be provided at the inner edge, tapering uniformly to zero feet at the outer edge. The minimum obstacle clearance at any given point in the secondary area is shown in Appendix 2, Figure 125.

(2) **Circling Approach.** In addition to the minimum requirements specified in Paragraph 513.c.(1) above, obstacle clearance in the circling area shall be as prescribed in Chapter 2, Section 6.

d. **Descent Gradient.** The OPTIMUM descent gradient in the final approach segment should not exceed 300 feet per mile. Where a higher descent gradient is necessary, the MAXIMUM permissible gradient is 400 feet per mile. See also Paragraphs 251 & 288.a.

(1) **Straight-In Approach.** The descent gradient shall be computed using the distance from the FAF to the runway threshold and the difference in altitude between the altitude over the FAF and the touchdown zone elevation.

Table 14. MINIMUM LENGTH OF FINAL APPROACH SEGMENT-VOR (MILES)

Approach Category	Magnitude of Turn over the Facility (Degrees)		
	10	20	30
A	1.0	1.5	2.0
B	1.5	2.0	2.5
C	2.0	2.5	3.0
D	2.5	3.0	3.5
E	3.0	3.5	4.0

NOTE: This table may be interpolated. If the minimum lengths specified in the table are not available, straight-in minimums are not authorized. See Figure 51 for typical final approach areas.

(2) **Circling Approach.** The descent gradient shall be computed using the distance from the FAF to the first usable portion of the landing surface and the difference in altitude between the altitude over the FAF and the circling MDA.

e. **Use of Fixes.** Criteria for the use of radio fixes are contained in Chapter 2, Section 8. Where a procedure is based on a procedure turn and an on-airport facility is the procedure turn fix, the distance from the facility to the FAF shall not exceed 4 miles.

f. **Minimum Descent Altitudes.** Criteria for determining the MDA are contained in Chapter 3, Section 2.

514. **MISSED APPROACH SEGMENT.** Criteria for the missed approach segment are contained in Chapter 2, Section 7. For VOR procedures, the missed approach point and surface shall be established as follows:

a. *Off-Airport Facilities.*

(1) **Straight-In.** The missed approach point is a point on the final approach course which is NOT farther from the final approach fix than the runway threshold. (See Figure 52.) The missed approach surface shall commence over the missed approach point at the required height. See Paragraph 274.

(2) **Circling Approach.** The missed approach point is a point on the final approach course which is NOT farther from the final approach fix than the first usable portion of the landing area. The missed approach surface shall commence over the

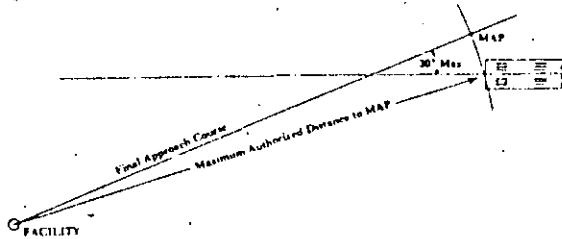


Figure 52. MISSED APPROACH POINT. Off-Airport VOR with FAF, Par 514.a.(1).

missed approach point at the required height. See Paragraph 274.

*b. On-Airport Facilities.* The missed approach point is a point on the final approach course which is NOT farther from the final approach fix than the facility. The missed approach surface shall commence over the missed approach point at the required height. See Paragraph 274.

**515. - 519. RESERVED.**

## Section 2. TACAN and VOR/DME

**520. FEEDER ROUTES.** Criteria for feeder routes are contained in Paragraph 220.

**521. INITIAL SEGMENT.** Due to the fixing capability of TACAN and VOR/DME a procedure turn initial approach may not be required. Criteria for initial approach segments are contained in Chapter 2, Section 3.

**522. INTERMEDIATE SEGMENT.** Criteria for the intermediate segment are contained in Chapter 2, Section 4.

**523. FINAL APPROACH SEGMENT.** TACAN and VOR/DME final approaches may be based either on arcs or radials. The final approach begins at a final approach fix and ends at the missed approach point. The missed approach point is always marked with a fix.

*a. Radial Final Approach.* Criteria for the radial final approach are specified in Paragraph 513.

*b. Arc Final Approach.* The final approach arc shall be a continuation of the intermediate arc. It

shall be specified in nautical miles and tenths thereof. Arcs closer than 7 miles (15 miles for high altitude procedures) and farther than 30 miles from the facility shall NOT be used for final approach. No turns are permitted over the final approach fix.

**(1) Alignment.** For Straight-in approaches, the final approach arc shall pass through the runway threshold when the angle of convergence of the runway centerline and the tangent of the arc does not exceed 15 degrees. When the angle exceeds 15 degrees the final approach arc shall be aligned to pass through the center of the airport and only circling minimums shall be authorized. See Figure 53.

**(2) Area.** The area considered for obstacle clearance in the arc final approach segment starts at the final approach fix and ends at the runway or missed approach point, whichever is encountered last. It should NOT be more than 5 miles long. It shall be divided into primary and secondary areas. The primary area is 8 miles wide, and extends 4 miles on either side of the arc. A secondary area is on each side of the primary area. The secondary areas are 2 miles wide on each side of the primary area. See Figure 54.

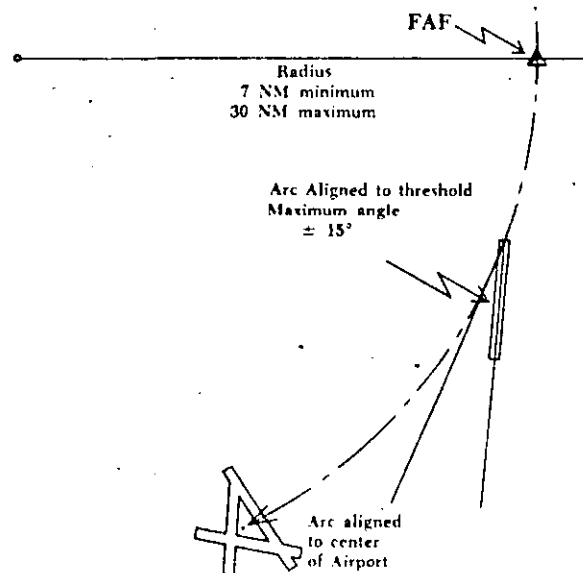


Figure 53. ARC FINAL APPROACH ALIGNMENT. Arc Aligned to Threshold, TACAN or VOR/DME, Par 523. b.(1)

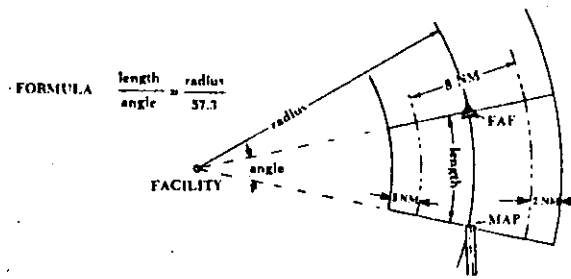
8260.3B  
7/76

Figure 54. ARC FINAL APPROACH AREA. TACAN or VOR/DME. Par 523.b.(2)

(3) **Obstacle Clearance.** The minimum obstacle clearance in the primary area is 500 feet. In the secondary area, 500 feet of obstacle clearance shall be provided at the inner edge, tapering uniformly to zero feet at the outer edge. The minimum required obstacle clearance at any point in the secondary area is shown in Appendix 2, Figure 123.

(4) **Descent Gradient.** Criteria for descent gradients are specified in Paragraph 513.d.

(5) **Use of Fixes.** Fixes along an arc are restricted to those formed by radials from the VOR-TAC facility which provides the DME signal. Criteria for such fixes are contained in Chapter 2, Section 8.

(6) **Minimum Descent Altitude.** Straight-in MDAs shall not be specified lower than circling for arc procedures. Criteria for determining the circling MDA are contained in Chapter 3, Section 2.

**524. MISSED APPROACH SEGMENT.** Criteria for the missed approach segment are contained in Chapter 2, Section 7. The missed approach point shall be a radial/DME fix. The missed approach surface shall commence over the fix and at the required height. (Also See Paragraph 514.)

*NOTE: The arc missed approach course may be a continuation of the final approach arc.*

**525. - 599. RESERVED.**



## CHAPTER 9. INSTRUMENT LANDING SYSTEM (ILS)

**900. GENERAL.** This chapter applies to approach procedures based on the Instrument Landing System (ILS).

### 901. DEFINITION OF TYPES.

*a. ILS Category I.* An ILS approach procedure which provides for approach to a decision height of not less than 200 feet.

*b. ILS Category II.* See Section 6. Criteria to be incorporated at a later date.

*c. ILS Category III.* See Section 7. Criteria to be incorporated at a later date.

*d. Localizer and LDA.* Approach procedures which do not use the glide slope component of the ILS.

*e. Simultaneous ILS.* An ILS approach procedure based on ILS installations which serve parallel runways and provides for simultaneous approaches to authorized minimums.

### 902. - 909. RESERVED.

#### Section 1. ILS Category I Components

**910. SYSTEM COMPONENTS.** The Category I ILS consists of the components listed below. Substitution is permitted only as specified in Paragraphs 283, 911, 912, and 930.

*a. Localizer (LOC).* Category I quality or better.

*b. Glide Slope (GS).* Category I quality or better.

*c. Outer Marker (OM).*

*d. Middle Marker (MM).*

**911. COMPASS LOCATOR (LOM, LMM).** Compass locator radio facilities may be installed at the outer and middle marker sites, but are not considered as basic components of the ILS. However, when installed, they may be used in lieu of the outer or middle marker.

**912. DISTANCE MEASURING EQUIPMENT (DME).** When installed with the ILS, DME may be used in lieu of the outer marker. When a unique operational requirement exists DME information derived from a separate facility as specified in Paragraph 282 may also be used to provide ARC initial approaches, a FAF for back course (BC) approaches, or as a substitute for the outer marker. When used as a substitute for the outer marker the fix displacement error shall NOT exceed plus or minus 1/2 mile and the angular divergence of the signal sources shall NOT exceed 6 degrees.

**913. INOPERATIVE COMPONENTS.** A complete Category I ILS consists of the components specified in Paragraph 910. When the localizer fails an ILS approach is not authorized. When the glide slope becomes inoperative or is not available the ILS reverts to a non-precision approach system. In this case, obstacle clearance from Paragraph 954 and the nonprecision minimums from Paragraph 350 apply. When other components become inoperative the ILS may continue in use with the landing minimums as prescribed in Paragraph 350. FAR 91.117.c. also applies to civil operations.

### 914. - 919. RESERVED.

#### Section 2. ILS Category I Criteria

**920. FEEDER ROUTES.** The criteria for feeder routes are contained in Chapter 2, Section 2.

**921. INITIAL APPROACH SEGMENT.** The criteria for the initial approach segment are contained in Chapter 2, Section 3. Procedure turns shall be specified from the outer marker wherever practical.

**922. INTERMEDIATE SEGMENT.** Except as stated in this paragraph, the criteria for the intermediate segment are contained in Chapter 2, Section 4. The intermediate segment begins at the point where the initial approach course intercepts the localizer course. It extends along the inbound localizer course to the FAF for localizer approaches or the glide slope intercept point for ILS approaches. The minimum length of the intermediate segment depends on the angle at which the initial approach course intersects the localizer course, and is specified in Table 18. The MAXIMUM angle of intersection shall be 90 degrees unless a lead radial as specified in Paragraph 232.a. is provided and the length of the intermediate segment is increased in accordance with Paragraph 242.b. See Figure 75.

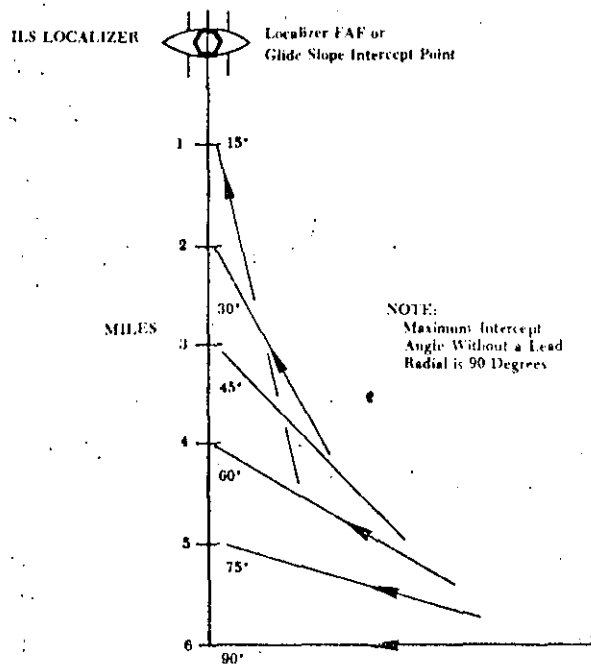


Figure 75. INTERMEDIATE SEGMENT VS. ANGLE OF INTERSECTION. ILS Category I, Par 922.

**923. DESCENT GRADIENT.** Even though the minimum length of the intermediate segment may be less than that specified in Chapter 2, Section 4, intermediate descent criteria specified in Paragraphs 242.d and 243.d shall be applied to at least 5 miles of flight track immediately prior to the glide slope intercept point.

Table 18. INTERSECTION ANGLE VS. LENGTH OF INTERMEDIATE SEGMENT.

Maximum Angle of Intersection (Degrees)	Minimum Length of Segment (Miles)
15	1
30	2
45	3
60	4
75	5
90-96	6

**924. ALTITUDE SELECTION.** Altitudes selected for the initial approach and intermediate approach segments shall be established and provide required obstacle clearance as specified in Chapter 2. In addition, the selected altitudes shall be limited as follows:

*a. Procedure Turn.* The procedure turn completion altitude shall NOT be lower than the glide slope interception altitude nor more than 500 feet above the glide slope interception altitude. The glide slope interception point shall be the outer marker whenever possible.

*b. High Altitude Teardrop Penetration Turn.* The penetration turn completion altitude shall NOT be lower than the glide slope interception altitude nor more than 4000 feet above the glide slope interception altitude. The glide slope interception point shall be the outer marker whenever possible.

*c. Other Initial Approaches.* The altitude at which the localizer course is intercepted shall NOT be less than the glide slope interception altitude.

*d. Intermediate Approach.* The altitude shall NOT be less than the glide slope interception altitude. The glide slope interception point shall be the outer marker whenever possible. When the glide slope is inoperative, the intermediate approach altitude shall provide at least 500 feet of obstacle clearance from the point of interception of the localizer course to the outer marker or other final approach fix. The altitudes selected by application of the obstacle clearance specified in this paragraph may be rounded to the nearest 100 feet. See Paragraph 231.

**925. - 929. RESERVED.**

**Section 3. ILS Category I Final Approach**

**930. FINAL APPROACH SEGMENT.** The final approach segment shall begin at the point where the glide slope is intercepted, and descent to the authorized decision height (DH) begins. Where possible, this point shall be coincidental with a designated FAF. At locations where it is not possible for the point of glide slope intercept to coincide with a designated FAF, the point of glide slope interception shall be located PRIOR to the FAF. Where a designated FAF cannot be provided, specific authorization by the approving authority is required.

*a. Alignment.* The final approach course must normally be aligned with the runway centerline. Where a unique operational requirement indicates a need for an offset course it may be approved provided the course intersects the runway centerline at a point 1100 to 1200 feet toward the runway threshold from the DH point on the glide slope and the angular divergence of the course does NOT exceed 3 degrees.

*b. Area.* The area considered for obstacle clearance in the final approach segment consists of a final approach area and transitional surfaces.

**(1) Final Approach Area.** The final approach area has the following dimensions:

*(a) Length.* The final approach area is 50,000 feet long measured outward along the final approach course from a point beginning 200 feet outward from the runway threshold. Where operationally required by other procedural considerations due to existing obstacles, the length may be increased as shown in Figure 76. The final approach

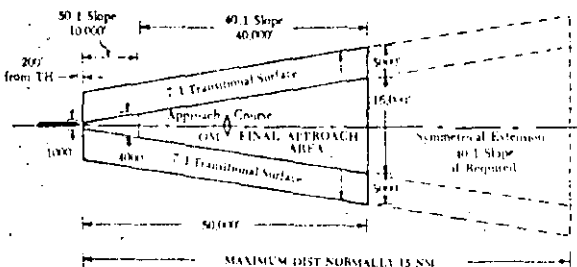


Figure 76. ILS CATEGORY I FINAL APPROACH AREA. Par 930.

area used shall only be that portion of the area which is between the glide slope interception point and the point 200 feet from the threshold.

*(b) Width.* The final approach area is centered on the extended runway centerline except in those cases where an offset localizer is required, as provided in Paragraph 930.a., in which case the area is centered on the final approach course. The area has a width of 1000 feet at the point 200 feet from the threshold and expands uniformly to a width of 16,000 feet at a point 50,000 feet from the point of beginning. This width further expands uniformly where greater length is required as in Paragraph 930.b.(1)(a) above (See Figure 76). The width either side of the centerline at a given distance "D" from the point of beginning can be found by using the formula  $500 + .15D = 1/2W$ ; e.g.,  $500 + .15 \times 50,000 = 8000$ , which is 1/2 width; therefore the total width is 16,000 feet at the 50,000 foot point.

*NOTE:* Where glide slope interception occurs at a distance greater than 50,200 feet from the threshold, the final approach area and the final approach surface may be extended symmetrically to a maximum distance dictated by the usability of the glide slope.

**931. FINAL APPROACH OBSTACLE CLEARANCE SURFACE.** The final approach obstacle surface is an inclined plane which originates at the runway threshold elevation 975 feet outward from the GPI, and which overlies the final approach area. The surface is divided into 2 sections; an inner 10,000 foot section and an outer 40,000 foot section. The slope of the surface changes at the 10,000 foot point. The exact gradient may differ according to the angle at which the glide slope is established. The 50:1 and 40:1 slopes which are applicable to the 2 1/2 degree glide slope shall be established unless other slopes must be used to assure required clearance over existing obstacles. Table 19 specifies slopes which provide the minimum required obstacle clearance for several glide slope angles. See also Paragraph 934 and 935.

**932. TRANSITIONAL SURFACES.** Transitional surfaces for ILS Category I are inclined planes with a slope of 7:1 which extend outward and upward

**Table 19. ILS CATEGORY I GS ANGLE VS. SLOPES OF SURFACES.**

GS Angle (Degrees)	Approximate Slope of Inner Section	Approximate Slope of Outer Section
2	96.5:1	61.5:1
2 1/4	66:1	48.5:1
2 1/2	50:1	40:1
2 3/4	40.5:1	34:1
3	34:1	29.5:1

*NOTE: See graph, Appendix 2, Figure 132 for interpolation.*

from the edge of the final approach area, starting at the height of the applicable final approach surface and extending for a lateral distance of 5000 feet at right angles to the final approach course. See Fig. 76.

**933. DELETED.**

**934. OBSTACLE CLEARANCE OUTSIDE THE DH POINT.** No obstacle should penetrate the applicable final approach obstacle clearance surface specified in Paragraph 931 or the transitional surfaces specified in Paragraph 932. The required obstacle clearance is based on the difference between the glide slope angle and the appropriate final approach surface specified in Paragraph 931. To determine the minimum required obstacle clearance in feet for any given distance "D" from the GPI, the following formulas may be used:

For "D" less than 10,975 feet, the minimum required clearance is  $.02366 D + 20$  feet. See Paragraph 935.

For "D" 10,975 feet or more, the minimum required clearance is  $.01866 D + 75$  feet.

The clearance provided by these formulas is a minimum requirement. Greater clearance may be necessary in the interest of safety, due to such factors as precipitous terrain or ILS installation peculiarities. The Nomograph in Figure 77 provides a simple method for determining the minimum obstacle clearance requirements. Included in Figure 77 is also an example for determining the required glide slope angle. See also Paragraph 935.

**935. OBSTACLE CLEARANCE INSIDE THE DH POINT.** The lowest landing minimums as specified in Paragraph 350 may be approved when no obstacle penetrates the approach surface applicable to the commissioned glide slope angle, commencing

200 feet outward from the threshold and at least 975 feet from the GPI, and extending to the MM or DH point, whichever is the farthest from the landing threshold. When penetration of this surface exists, consideration should be given to the removal of the obstacle or relocation of the landing threshold. Where the provisions of Paragraph 937 are applied to obtain the required obstacle clearance for the penetration of that portion of the approach surface specified above, the criteria specified in Paragraph 342.c.(2) are applicable. See Figure 131.

**936. GLIDE SLOPE.** In addition to the required obstacle clearance, the following shall apply to the selection of glide slope angle and antenna location:

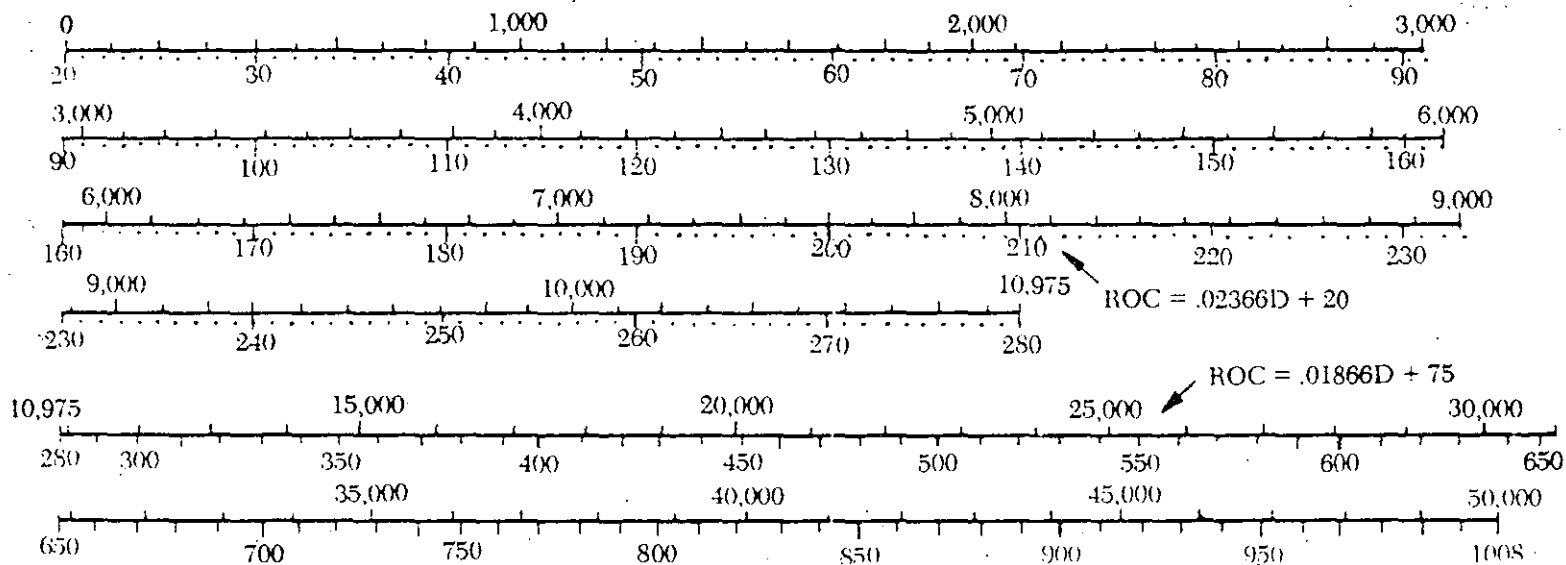
*a. Glide Slope Angle.*

(1) Civil ILS Facilities. All new and relocated ILS facilities will be commissioned with a 3 degree glide slope angle. Existing facilities may continue in operation without change in the established glide slope angle. Angles over 3 degrees shall not be established without Flight Standards Service, FAA, Washington, D.C. approval.

(2) Military ILS Facilities. The optimum glide slope angle is 2 1/2 degrees. Angles less than 2 degrees or more than 3 degrees shall not be established without the authorization of the approving authority.

*NOTE: Where PAR serves a runway that is also served by ILS and/or VASI, the PAR, ILS, and VASI glide slope angles and RPI shall coincide. The PAR glide slope angle shall be within 0.20 of the ILS/VASI glide slope angle and the RPI shall be within plus or minus 50 feet of the ILS/RPI and/or VASI runway reference point (RRP).*

*b. Glide Slope, Threshold Crossing Height.* The OPTIMUM threshold crossing height is 50 feet. The MAXIMUM is 60 feet. A height as low as 32 feet for military airports may be used at locations where special consideration of the glide path angle and antenna location are required. Where the glide slope threshold crossing height exceeds 60 feet, consideration shall be given to the relocation of the landing threshold to insure effective placement of the approach light system. See Appendix 2 for a method of computing threshold crossing height.



The lowest glide slope that will provide the required obstacle clearance (ROC) over a critical obstacle is found by the formula:

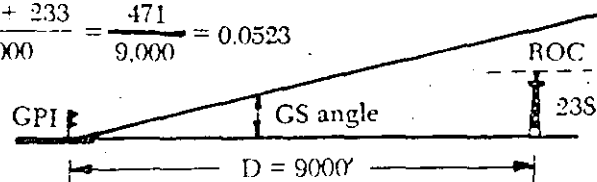
$$\text{Tan of GS angle} = \frac{\text{Obstacle height} + \text{ROC}}{\text{GPI to obstacle Distance}}$$

EXAMPLE:

Controlling obstacle is 238 feet above runway elevation and 9000 feet from the GPI. Find the minimum GS angle

From the nomograph find 233 feet opposite 9000 feet, or use the formula  $(0.02366 \times 9000) + 20 = 233$

$$\text{Tan of GS angle} = \frac{238 + 233}{9000} = \frac{471}{9,000} = 0.0523$$



$$\text{Arc Tan } 0.0523 = 3.0 \text{ degrees}$$

NOTE: A method with an example of criteria application (Paragraphs 931 through 935) is included in Appendix 2.

Figure 77. ILS CATEGORY I FINAL APPROACH AREA OBSTACLE CLEARANCE. Par 934. (This nomograph should not be used to determine ROC inside the DH or MAP. The ROC inside the DH/MAP must be computed in accordance with Appendix 2, Par 11b (1).)

c. *Antenna Mast Height.* The antenna mast or monitor should be located at a MINIMUM distance of 400 feet from the runway centerline and should not exceed 55 feet in height above the elevation of the runway centerline nearest it. A mast of over 55 feet may be permitted if the minimum distance from the runway centerline is increased by 10 feet for each foot the mast exceeds 55 feet. When a mast cannot for technical or economic reasons be located at a minimum distance of 400 feet from the runway centerline, the minimum distance may be reduced to not less than 250 feet from the centerline provided the basic mast height of 55 feet is reduced by .2D; where D is the distance inward from the 400 foot point. See Figure 78.

**937. RELOCATION OF GLIDE SLOPE.** Where minimum obstacle clearance cannot be obtained with a 3 degree glide slope angle, and sufficient length of runway is available, the glide slope may be moved the required distance down the runway to obtain the minimum obstacle clearance in the final approach area. Where the glide slope threshold crossing height exceeds 60 feet, consideration should be given to relocating the landing threshold to insure effective placement of the approach light system. The minimum distance between the GPI and the runway threshold is 775 feet. (No minimum GPI distance need be applied to military locations provided minimum ROC and TCH standards are met.)

### 938. DECISION HEIGHT (DH).

a. *Minimum Decision Height.* For ILS Category I the decision height shall be no lower than 200 feet above the touchdown zone (TDZ) elevation.

#### b. *Adjustment of Decision Height.*

(1) **Primary Final Approach Surface.** When minimum obstacle clearance cannot be obtained with a 3 degree glide slope angle, and the approving authority will not approve an angle in excess of 3 degrees, and the runway length does not permit a compensating adjustment, the decision height shall be increased accordingly. To establish the minimum decision height which can be authorized, extend a line horizontally outward from the top of each penetrating obstacle, parallel with the runway centerline, to a point of interception with the established final approach obstacle clearance surface. From the controlling point, extend a line vertically to a point of intersection with the glide slope. The height at the point of intersection with the glide slope is the minimum decision height, except that application of this method need not require a decision height that is more than 250 feet above the obstacle. This decision height shall not be less than 250 feet. See Figure 79.

(2) **Transitional Surface.** Where minimum obstacle clearances cannot be met in the tran-

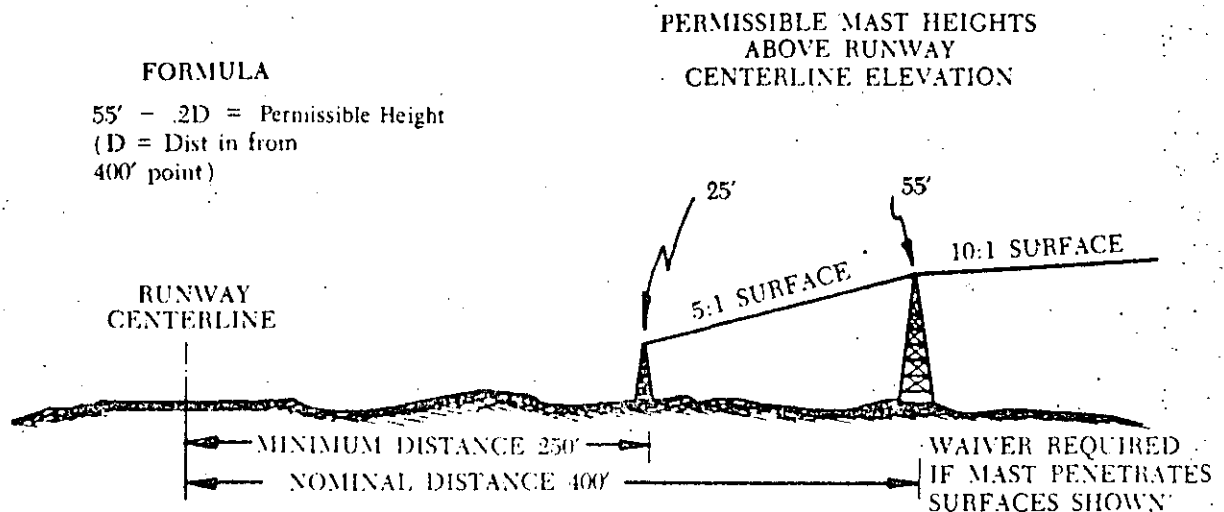


Figure 78. GLIDE SLOPE ANTENNA LOCATION VS. HEIGHT. Par 936.c.

sitional surfaces, and when deemed necessary, consideration will be given to an adjustment in the decision height commensurate with the degree of interference presented by the particular obstacle or obstacles. See Figure 79.

**939. RESERVED.**

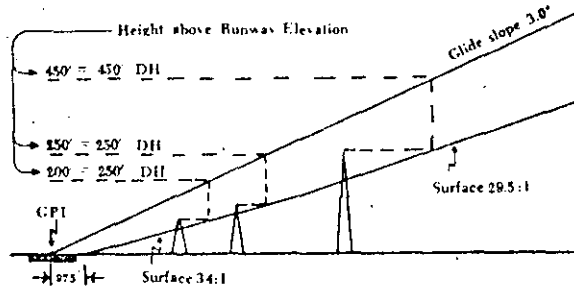


Figure 79. ADJUSTMENT OF DECISION HEIGHT. Par 938.

**Section 4. ILS Category I Missed Approach**

**940. MISSED APPROACH SEGMENT.** The missed approach segment begins at the missed approach point and ends at an appropriate point or fix where initial approach or enroute obstacle clearance is provided. Missed approach procedures shall be based on positive course guidance where possible.

**941. MISSED APPROACH POINT (MAP).** The missed approach point is a point on the final approach course where the height of the glide slope equals the authorized decision height.

**942. STRAIGHT MISSED APPROACH.** The straight missed approach area (maximum of 15 degree turn from final approach course) starts at the missed approach point. The length of the area is 15 miles, measured along the missed approach course. The area has a width equal to that of the final approach area at the missed approach point and a width equal to that of the initial approach area at a point 15 miles from the MAP. The missed approach area is divided into 2 sections.

*a. Section 1* starts at the MAP and is longitudinally centered on the missed approach course. It has the same width at the MAP as the final approach area. The total width increases to 1 mile at a point 1.5 miles from the MAP.

*b. Section 2* starts at the end of Section 1 and is centered on a continuation of the Section 1 course. The width increases uniformly from 1 mile at the beginning to 2 miles at a point 13.5 miles from the beginning. A secondary area for reduction of obstacle clearance is identified within Section 2. The secondary area is zero miles wide at the beginning and increases uniformly to 2 miles wide at the end of Section 2. Positive course guidance is required to reduce obstacle clearance in the secondary areas. See Figure 80.

**943. TURNING MISSED APPROACH.** Where turns of less than 15 degrees are required in a missed approach procedure, the provisions of Paragraph 942.a. and b. apply. Where turns of MORE than 15 degrees are required, they shall be specified to commence at an altitude which is at least 400 feet above the elevation of the touchdown zone. Altitudes required prior to commencing a turn shall be specified in the published procedure. Such turns are assumed to commence at the point where Section 2 begins. The flight track and obstacle clearance radii used shall be as specified in Table 5, Paragraph 275. The inner boundary line shall commence at the edge of Section 1 opposite the MAP. The outer and inner boundary lines shall flare to the width of the initial approach area 13.5 miles from the beginning of Section 2. Secondary areas for reduction of obstacle clearance are identified within Section 2. The secondary areas begin after completion of the turn. They are zero miles wide at the beginning and increase uniformly to 2 miles wide at the end of Section 2. Positive course guidance is required to

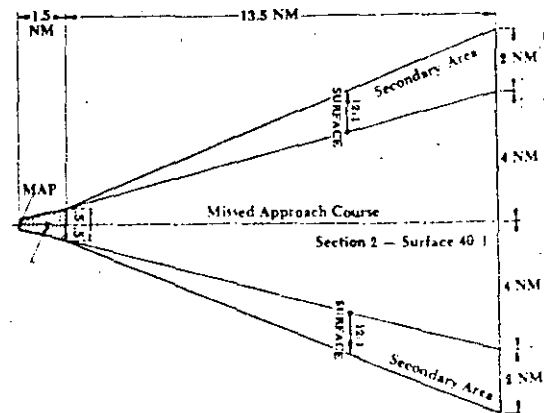


Figure 80. ILS STRAIGHT MISSED APPROACH AREA. Par 942.

reduce obstacle clearance in the secondary area. See Figure 81.

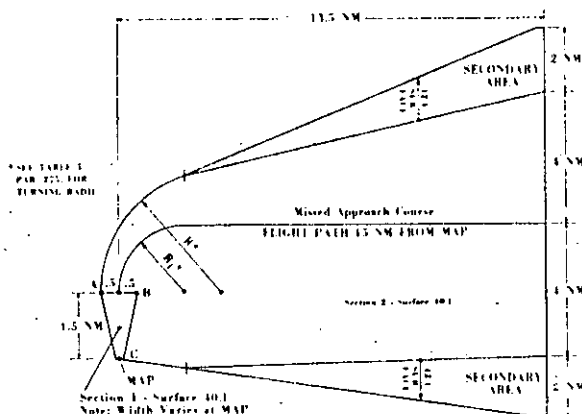


Figure 81. ILS TURNING MISSED APPROACH AREA.  
Par 943.

#### 944. MISSED APPROACH OBSTACLE CLEARANCE.

*a. Straight Missed Approach Area.* No obstacle in Section 1 or Section 2 may penetrate a 40:1 surface which originates at the MAP at the height of the final approach obstacle clearance surface, but not more than 250 feet below the DH, and which overlies the entire missed approach area.

*b. Turning Missed Approach Area.* Section 1 obstacle clearance is the same as that for straight missed approaches. To determine the obstacle clearance requirements in Section 2, the dividing line between Section 1 and 2 is identified as "A-B-C". The height of the missed approach surface over any obstacle in Section 2 is determined by measuring the distance from the obstacle to the nearest point on line A-B-C and computing the height according to the 40:1 ratio, starting at the height of the missed approach surface at the end of Section 1.

*c. Secondary Areas.* Where secondary areas are considered, no obstacle may penetrate a 12:1 surface which slopes outward and upward from the missed approach surface.

*d. Discontinuance.* Where the 40:1 surface reaches a height of 1000 feet below the missed approach altitude (Paragraph 270) further application of the surface is not required.

**945. COMBINATION STRAIGHT AND TURNING MISSED APPROACH AREA.** If a straight climb to an altitude greater than 400 feet is necessary prior to commencing a missed approach turn, a combination straight and turning missed approach area must be constructed. The straight portion of this missed approach area is divided into Sections 1 and 1A. The portion in which the turn is made is Section 2.

*a. Straight Portion.* Sections 1 and 1A correspond respectively to Sections 1 and 2 of the normal straight missed approach area and are constructed as specified in Paragraph 942 except that Section 1A has no secondary areas. Obstacle clearance is provided as specified in Paragraph 944.b. The length of Section 1A is determined as shown in Figure 82 and relates to the need to climb to a specified altitude prior to commencing the turn. The line A-B' marks the end of Section 1A. Point C' is 9000 feet from the end of Section 1A. (See Figure 82.)

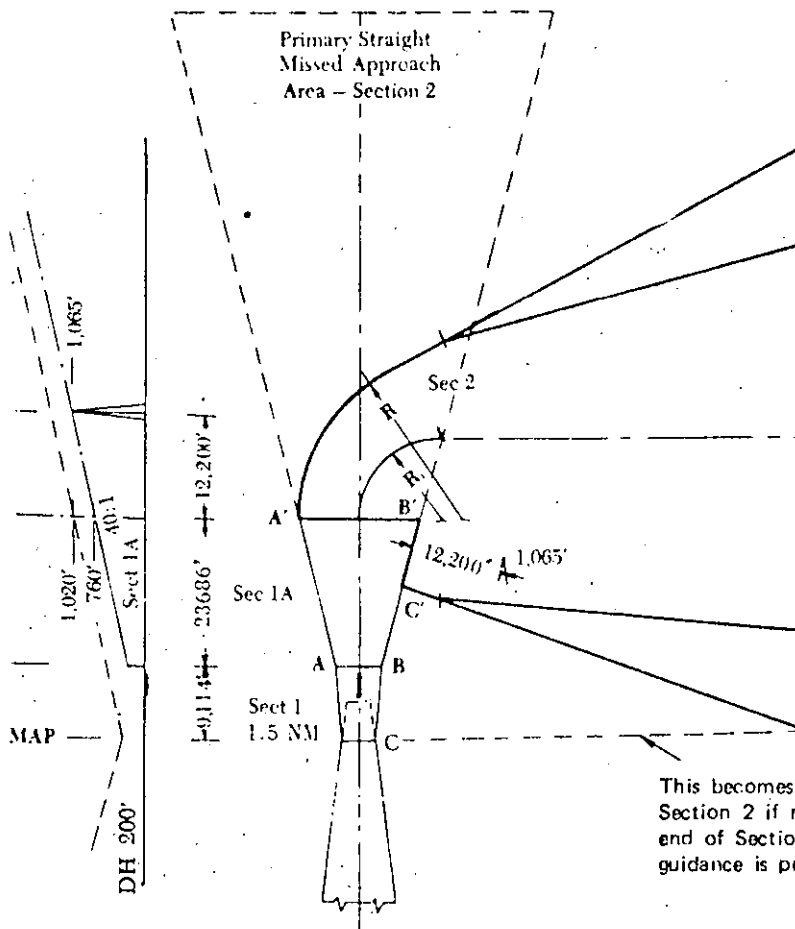
*b. Turning Portion.* Section 2 is constructed as specified in Paragraph 943 except that it begins at the end of Section 1A instead of the end of Section 1. To determine the height which must be attained before commencing the missed approach turn, first identify the controlling obstacle on the side of Section 1A to which the turn is to be made. Then measure the distance from this obstacle to the nearest edge of the Section 1A area. Using this distance as illustrated in Figure 82, determine the height of the 40:1 slope at the edge of Section 1A. This height plus 250 feet (rounded off to the next higher 20 foot increment) is the height at which the turn should be started. Obstacle clearance requirements in Section 2 are the same as those specified in Paragraph 944.b. except that Section 2 is expanded to start at Point C if no fix exists at the end of Section 1A or if no course guidance is provided in Section 2 (See Figure 82.)

946. - 949. RESERVED.

#### Section 5. Localizer and LDA

**950. FEEDER ROUTES, INITIAL APPROACH, AND INTERMEDIATE SEGMENTS.** These criteria are contained in Paragraphs 920, 921, 922, and 923.



**EXAMPLE:**

DH is 200' MSL.

A 1065' controlling obstacle is 12200' from the near edge of Sec. 1A.

A 40:1 surface which clears the obstacle has a height of 760' MSL at the near edge of Section 1A.

$$12200' \div 40' = 305'$$

$$1065' - 305' = 760'$$

To determine minimum altitude at which the missed approach aircraft may start the turn add 250' obstacle clearance and round up the sum to the next higher 20' increment.

$$760' + 250' = 1010'$$

$$\text{Rounded up} = 1020'$$

To climb 820' from DH 200' to the turning altitude (1020' MSL) at the 40:1 climb gradient requires 32800'. Sec. 1 is 9114' long; therefore, Section 1A is required to be 23686' long.

This becomes the boundary of Section 2 if no fix exists at the end of Section 1A or if no course guidance is provided in Section 2.

Figure 82. COMBINATION STRAIGHT AND TURNING MISSED APPROACH AREA. Par 945.

**951. USE OF LOCALIZER ONLY.** Where no usable glide slope is available, a localizer-only (front or back course) approach may be approved, provided the approach is made on a localizer from a final approach fix located within 10 miles of the runway threshold. Criteria in this section are also applicable to procedures based on localizer type directional aids (LDA). Back course procedures shall not be based on courses which exceed 6 degrees in width and shall not be approved for offset localizers.

**952. ALIGNMENT.** Localizers which are aligned within 3 degrees of the runway alignment shall be identified as localizers. If the alignment exceeds 3 degrees, they will be identified as LDA facilities.

The alignment of the course for LDA facilities shall meet the final approach alignment criteria for VOR on-airport facilities. See Chapter 5, Paragraph 513, and Figure 48.

**953. AREA.** The final approach area and transitional surface dimensions are as specified in Paragraph 930. However, only that portion of the final approach area which is between the FAF and the runway need be considered as the final approach segment for obstacle clearance purposes. The optimum length of the final approach segment is 5 miles. The MINIMUM length of the final approach segment shall be sufficient to provide adequate distance for an aircraft to make the required descent. The area shall be centered on the final approach course and shall commence at the runway threshold. For

LDA procedures the final approach area shall commence at the facility and extend to the FAF. The MAP for LDA procedures shall not be farther from the FAF than a point adjacent to the landing threshold perpendicular to the final approach course.

**954. OBSTACLE CLEARANCE.** The minimum obstacle clearance in the final approach area shall be 250 feet. In addition, the MDA established for the final approach area shall assure that no obstacles penetrate the transitional surfaces. The transitional surfaces in localizer-only type approaches begin at a height not less than 250 feet below the MDA.

**955. DESCENT GRADIENT.** The OPTIMUM descent gradient for a localizer only approach should not exceed 300 feet per mile. The MAXIMUM descent gradient and method of computation shall be as specified in Paragraph 513.d.

**956. MINIMUM DESCENT ALTITUDE.** Because no glide slope is associated with a localizer-only approach, the lowest altitude on final approach is specified as an MDA, not a decision height (DH). The MDA adjustments specified in Paragraph 323 shall be considered.

**957. MISSED APPROACH SEGMENT.** The criteria for the missed approach segment are contained in Paragraphs 942, 943, and 945. The missed approach point is on the final approach course not farther from the final approach fix than the runway threshold (first usable portion of the landing area for circling approach). The missed approach surface shall commence over the MAP at the required height. See Paragraph 274.

**958. - 959. RESERVED.**

#### Section 6. ILS Category II

**960. - 969. RESERVED.**

#### Section 7. ILS Category III

**970. - 979. RESERVED.**

#### Section 8. RESERVED.

**980. - 989. RESERVED.**

### Section 9. Simultaneous ILS Procedures

**990. GENERAL.** Simultaneous ILS approach procedures, using ILS installations parallel to each other, may be authorized when the minimum standards in this Section and Section 1 are met.

**991. SYSTEM COMPONENTS.** Simultaneous ILS approach procedures require the following basic components:

a. An ILS specified in Section 1 of this chapter for each runway. Adjacent markers of the separate systems shall be separated sufficiently to preclude interference at altitudes intended for use.

b. ATC radar to monitor approaches (ASR-4 or equivalent) when simultaneous operations are authorized.

c. Airborne 75 mhz (or ADF) and localizer receivers operating simultaneously, and airborne receivers to monitor required voice frequencies continuously.

*NOTE: When system components are inoperative or not installed the minimums for the runway served shall be pursuant to Paragraph 913.*

**992. RUNWAY SEPARATION.** Simultaneous approaches require a minimum of 4300 feet of separation between parallel runway centerlines where simultaneous operations are authorized. When less than 4300 feet is available, prescribed separation by ATC shall be provided.

**993. FEEDER ROUTES.** The criteria for feeder routes are contained in Chapter 2, Section 2.

**994. INITIAL APPROACH SEGMENT.** The criteria for the initial approach segment are contained in Chapter 2, Section 3. The initial approach shall be made from a facility or satisfactory radio fix by radar vector. Procedure and penetration turns shall not be authorized.

a. *Altitude Selection.* The altitudes established for initial approach, in addition to obstacle clearance requirements, shall provide vertical separation.

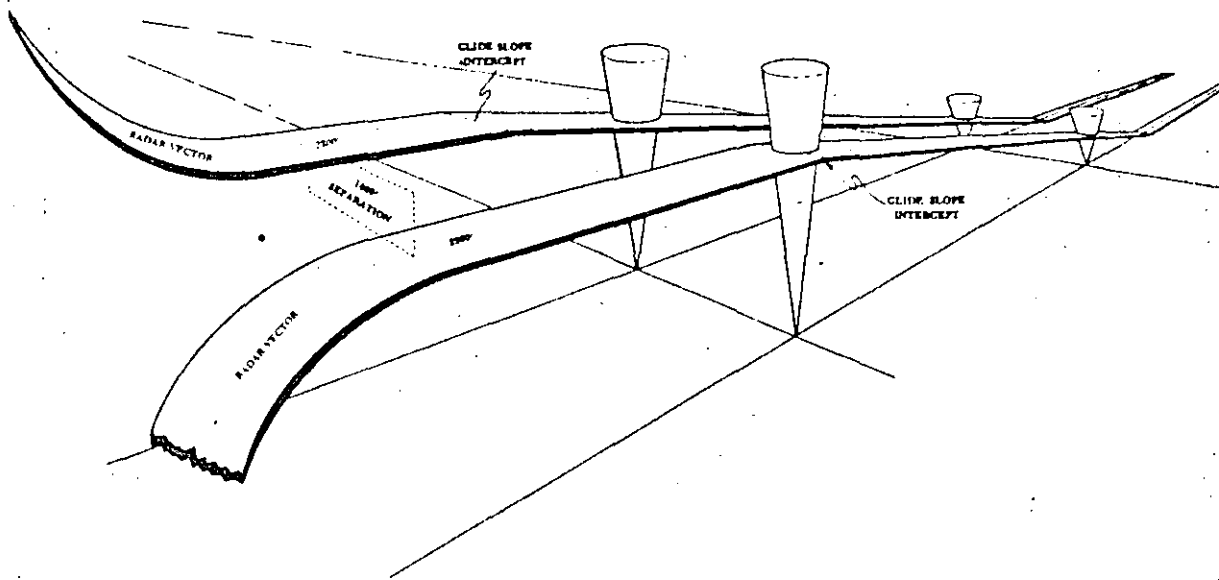


Figure 96. INITIAL APPROACH SEGMENT, SIMULTANEOUS ILS. Par 994.

ration of 1000 feet between glide slope interception altitudes for the two systems. See Figure 96.

*b. Localizer Interception Point.* The localizer interception point shall be established in accordance with Paragraph 922 except that the angle of interception shall not exceed 30 degrees. See Figure 96.

**995. INTERMEDIATE APPROACH SEGMENT.** Except as stated in this paragraph, the criteria for the intermediate segment of simultaneous ILS procedures are contained in Chapter 2, Section 4. The intermediate segment begins at the point where the initial approach intercepts the localizer course. It extends along the inbound localizer course to the final approach fix. See Paragraph 930.

**996. FINAL APPROACH SEGMENT.** Except as stated in this paragraph, criteria for the final approach segment are contained in Section 3 of this chapter. A "Zone of No Transgression" 2000 feet wide, and not less than 1150 feet from each runway centerline, shall be established whenever simultaneous operations are authorized.

**997. MISSED APPROACH SEGMENT.** Except as stated in this paragraph, the criteria for missed

approach are contained in Section 4 of this chapter. The missed approach shall specify a straight ahead climb to at least 400 feet above the touchdown zone; then, a divergence of at least 45 degrees shall be provided between the two missed approach headings as soon as practical after reaching 400 feet and until the missed approach and/or limitation fixes are reached. A missed approach shall be established for each of the simultaneous systems and shall be the same as the missed approach for the single ILS procedure.

**998. - 999. RESERVED.**

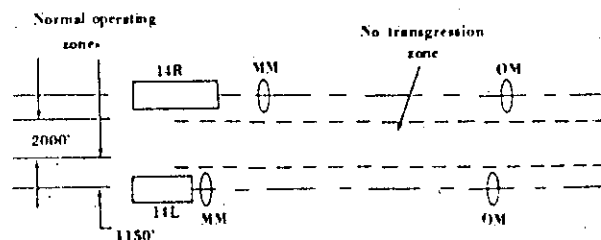


Figure 97. SIMULTANEOUS ILS "NO TRANSGRESSION AND NORMAL OPERATING ZONES." Par 996.

## CHAPTER 12. DEPARTURE PROCEDURES

**1200. GENERAL.** These criteria specify the obstacle clearance requirements to be applied to diverse departures, departure routes, and standard instrument departures (SIDs). Obstacle identification surfaces (OIS) of 40:1 are used. A climb gradient of 200 feet per NM will provide at least 48 feet per NM of clearance above objects which do not penetrate the OIS. Objects which penetrate the OIS are obstacles and shall be considered in the departure procedure by specifying a flight path which will safely avoid the obstacle(s) or by specifying a climb gradient greater than 200 feet per NM that will provide 48 feet of required obstacle clearance (ROC) for each NM of the flight path. Takeoff ceiling and visibility minimums shall be established for those departures specifying a climb gradient.

**1201. APPLICATION.** Diverse departure criteria (paragraph 1202) shall be applied to all runways authorized by the approving authority for instrument departures. Application of diverse departure criteria may result in the need to develop specific departure routes to avoid obstacles (paragraph 1203).

**1202. DIVERSE DEPARTURES.** At many airports, a prescribed departure route is not required for ATC purposes nor as the only suitable route to avoid obstacles. In spite of this, there may be obstacles in the vicinity of the airport that should be considered in determining that restrictions to departures are to be prescribed in a given sector(s). The areas and surfaces described herein are to be used to identify such obstacles. Sectors shall be described by bearings and distance from the airport reference point which diverge at least 15° either side of the controlling obstacle. Departure restrictions shall be published as described in paragraph 1207a.

*a. Zone 1.*

**(1) Area.** The area begins at the departure end of the runway (DER) and has a beginning width of 1000 feet ( $\pm$  500 feet from centerline). The area splays 15° on each side of the extended runway centerline for a distance of 2 NM from the DER. See Figure 116A.

**(2) Obstacle Identification Surface.** A 40:1 OIS overlies Zone 1. It begins no higher than 35 feet above the elevation of the DER and rises in the direction of departure.

*b. Zone 2.*

**(1) Area.** Zone 2 extends radially from a point on the runway centerline located 2000 feet from the start end of the runway. It is centered on the extended takeoff surface centerline and excludes Zone 1. It extends the distance necessary for the 40:1 OIS to reach the minimum altitude authorized for en route operations. See Figure 116B.

**2. Obstacle Identification Surface.** A 40:1 OIS overlies Zone 2 and has a beginning height equal to the height of the OIS at the end of Zone 1. Distance measurements to an obstacle shall be made

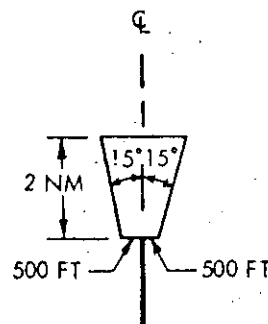


Figure 116A. ZONE 1 DIVERSE DEPARTURE.

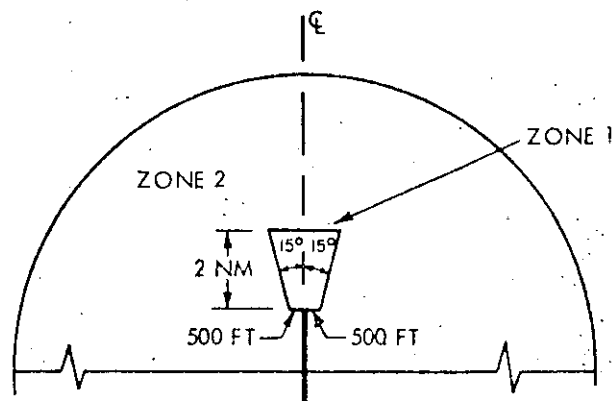


Figure 116B. ZONE 2 DIVERSE DEPARTURE.

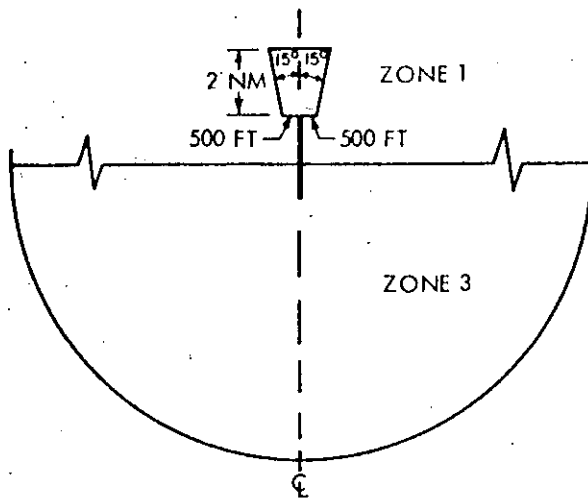


Figure 116C. ZONE 3 DIVERSE DEPARTURE.

from the runway edge or edge of Zone 1, whichever is the shorter distance.

c. Zone 3.

(1) **Area.** Zone 3 covers the area in the direction opposite to the takeoff, beginning 2000 feet from the start end of the runway. It provides clearance for 180° turn departures and extends the distance necessary for the 40:1 OIS to reach the minimum altitude authorized for en route operations. See Figure 116C.

(2) **Obstacle Identification Surface.** A 40:1 OIS overlies Zone 3 and begins 400 feet above airport elevation along the runway edge and rises therefrom.

1203. **DEPARTURE ROUTES.** There are three basic types of departure routes: straight, turning, and

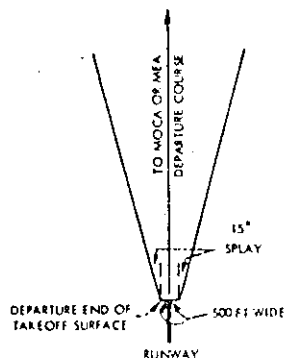


Figure 116D. STRAIGHT DEPARTURE AREA WITHOUT COURSE GUIDANCE.

combination straight and turning. Departure routes shall be based on positive course guidance acquired within 10 NM from the DER on straight departures and within 5 NM after completion of turns on departures requiring turns. Surveillance radar, when available, may be used to provide positive course guidance.

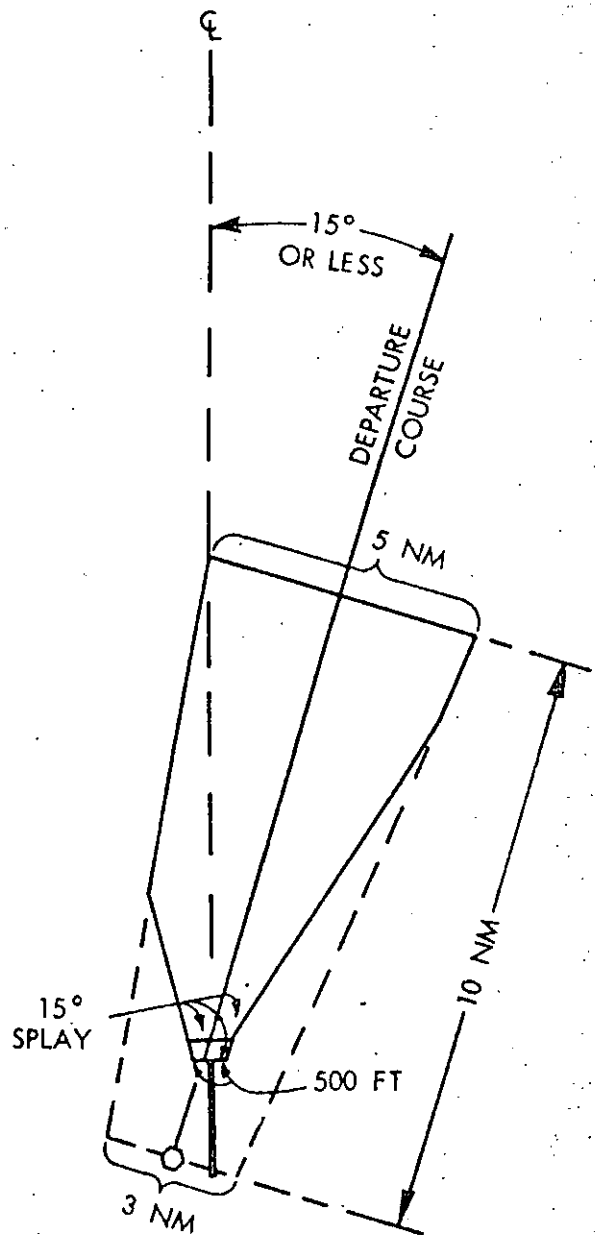


Figure 116E. STRAIGHT DEPARTURE WITH COURSE GUIDANCE FROM ON AIRFIELD FACILITY.

153

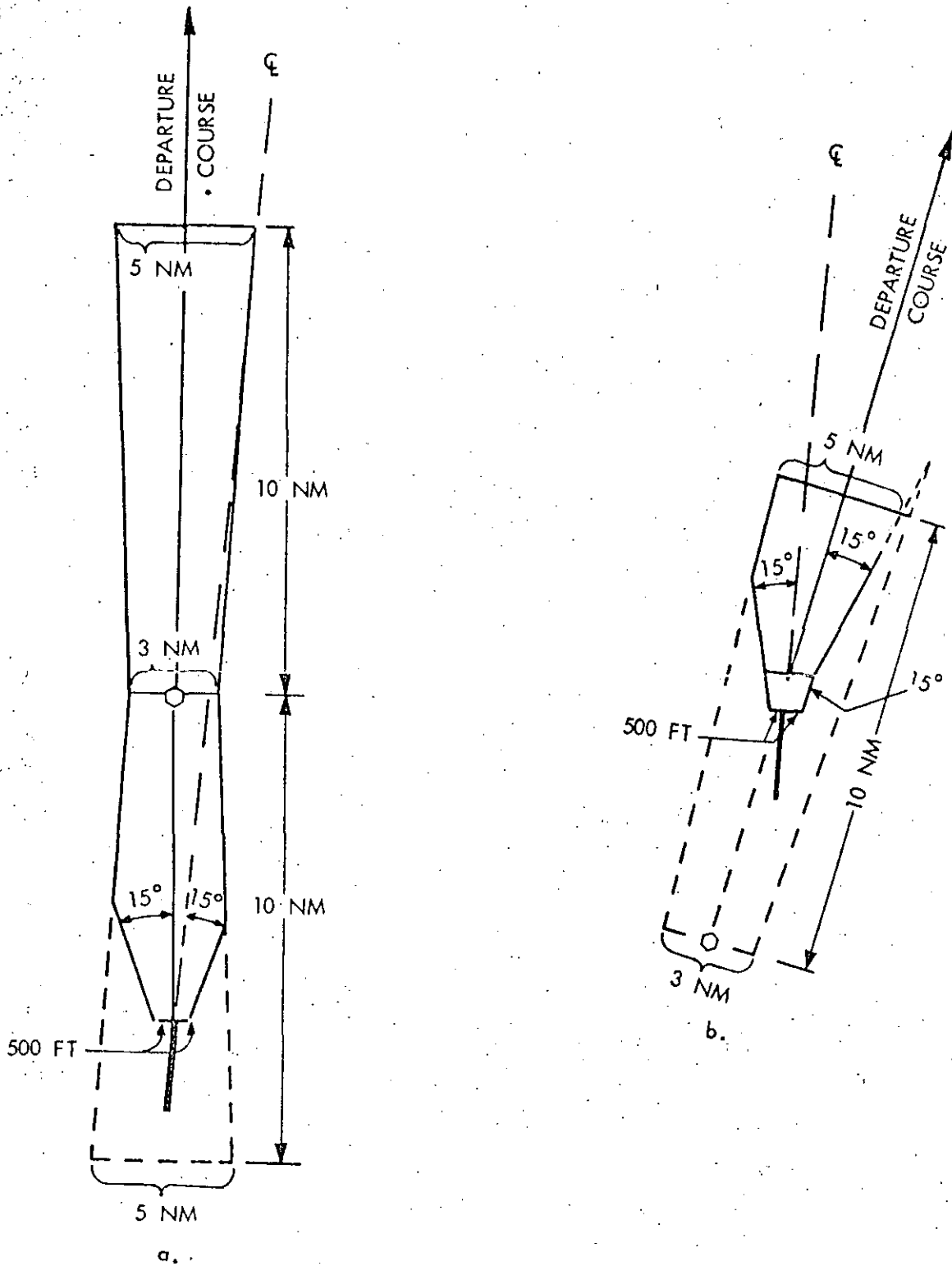


Figure 116F. STRAIGHT DEPARTURE WITH COURSE GUIDANCE FROM ON AIRFIELD FACILITY.

a. *Straight Departures.* A straight departure is one in which the initial departure course is within 15° of the alignment of the takeoff surface. Additionally, the departure course must intersect the runway centerline extended within 2 NM from the DER or the departure course must lie within 500 feet laterally of the runway centerline at the DER. See Figures 116D, 116E, 116F, 116G, and 116H. When the initial departure course is to a facility, a maneuvering segment is provided under the provisions of paragraph 1203a(1)(b).

(1) **Area.** The area begins at the departure end of the runway. It is based on the departure course

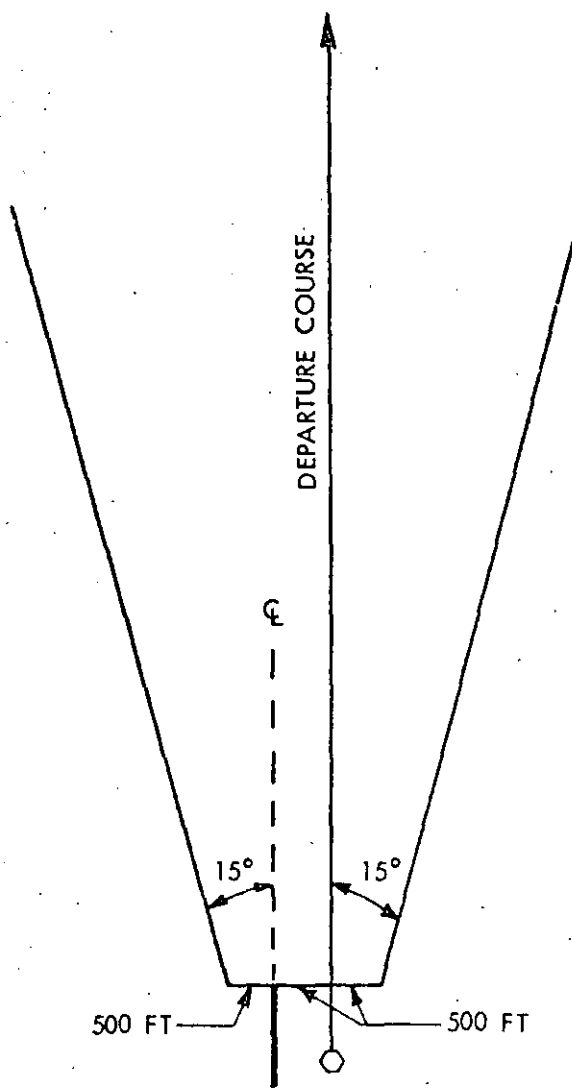


Figure 116G. STRAIGHT DEPARTURE WITH OFFSET DEPARTURE COURSE.

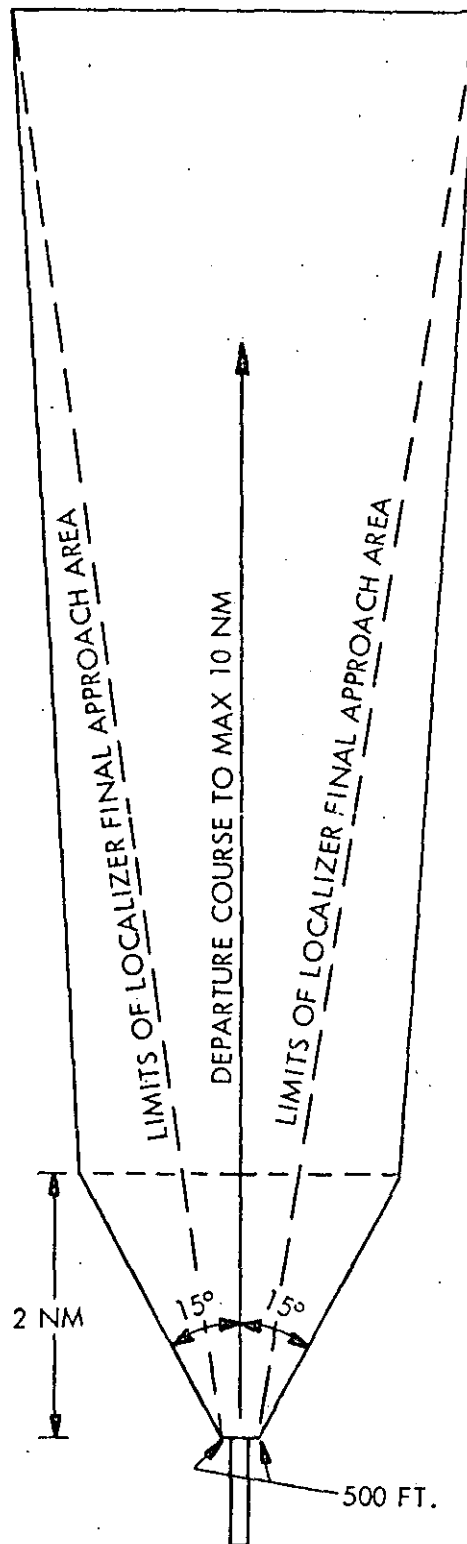


Figure 116H. DEPARTURE AREA WHEN LOCALIZER IS USED FOR COURSE GUIDANCE.

and has a minimum beginning width of 1000 feet ( $\pm 500$  feet from centerline). The edge of the area shall be no less than 500 feet from the centerline of the runway and the departure course. For example, if the departure course lies 500 feet from the centerline, the beginning width of the area shall be no less than 1500 feet. See Figure 116G. The area splays  $15^\circ$  on each side of the departure course and/or runway centerline extended (whichever protects the greater area) to the point where the boundaries intercept the area associated with the navaid providing course guidance.

(a) When course guidance is provided by a localizer, the area specified in paragraph 1202a(1) shall be used for the first 2 NM of the departure. This area shall be joined to the localizer final approach area stated in paragraph 930b by lines drawn from the extremities of the area at 2 NM from the departure threshold to the width of the localizer area at 10 NM. See Figure 116H. (At certain airports, localizers, although installed, may not be available for use as a departure navaid.)

(b) The area associated with the navaid (other than a localizer) providing course guidance shall have the following dimensions. It shall be 3 NM ( $\pm 1\ 1/2$  NM) wide at the facility, it shall have a maximum length of 10 NM and shall splay to a width of 5 NM<sup>1</sup> ( $\pm 2\ 1/2$  NM) at 10 NM from the facility. If additional distance is required, the area may be joined from its extremities to the primary en route area using  $4.5^\circ$ <sup>2</sup> of splay until primary en route width is reached.

NOTE 1: 6 NM ( $\pm 3$  NM) for NDB

NOTE 2:  $5^\circ$  for NDB

(i) If a turn of  $15^\circ$  or less is required over the facility, the inbound and outbound areas outer boundaries shall be joined by an arc of  $1\ 1/2$  NM radius.

(ii) If a turn of more than  $15^\circ$  but less than  $30^\circ$  is required over the facility, the turning departure area outer boundary radius (Table 31) shall be applied to join the two areas. The outbound area outer boundary shall be applied to join the two areas. The outbound area outer boundary shall be constructed by a line tangent to the arc and drawn to the edge of the outbound area at 10 NM from the facility. See Figure 116I.

(iii) If a turn of  $30^\circ$  or more is required over the facility, the area shall be extended a distance of 1 NM beyond the facility aligned with the inbound track at a width of 3 NM ( $\pm 1\ 1/2$  NM) and the turning departure area outer boundary radius (Table 31) shall be applied to join the extension to the area associated with the outbound track. The outbound area outer boundary shall be constructed by a line tangent to the arc and drawn to the edge of the outbound area at 10 NM from the facility. See Figure 116J.

(2) **Obstacle Identification Surface.** A 40:1 OIS overlies the straight departure area and rises in the direction of departure. The OIS begins at the DER at an elevation no higher than 35 feet above the elevation of the DER.

b. *Turning Departures.* If the initial departure course does not meet the criteria specified in paragraph 1203a, a turning departure shall be constructed:

Table 31. Departure Turn Radii

TURN ALTITUDE	FLIGHT TRACK RADIUS NM (R <sub>1</sub> )		OUTER BOUNDARY RADIUS NM (R)	
	CATs A & B	OTHERS	CATs A & B	OTHERS*
S.L. to 1000' MSL	1.0	2.5	2.0	5.5
1001' to 3500' MSL	1.2	2.7	2.4	5.9
3501' to 6000' MSL	1.3	2.9	2.6	6.3
6001' to 8500' MSL	1.4	3.1	2.8	6.7
Above 8500' MSL	1.6	3.4	3.2	7.3

\*These turn radii will accommodate speeds up to 350 KIAS with  $30^\circ$  angle of bank. Outer boundary radius may be reduced  $1/2$  NM for operational advantage. Procedure must be annotated with airspeed restriction of 250 KIAS.



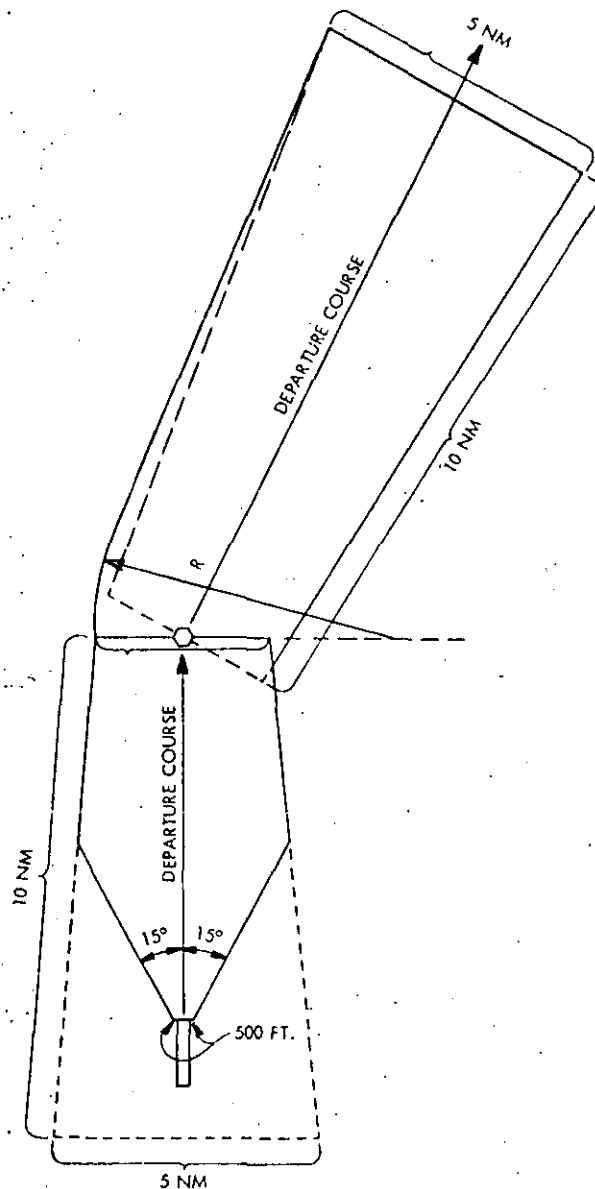


Figure 116L. TURN OF MORE THAN 15° BUT LESS THAN 30° OVER FACILITY.

A turning departure is one in which the aircraft climbs straight ahead on the heading of the takeoff surface until reaching 400 feet above the airport elevation (within 2 NM) and then immediately begins a turn to intercept a departure course. Positive course guidance is required within 5 NM after completion of the turn. See Figure 116K.

(1) **Area.** The turning departure area is divided into Sections 1 and 2.

(a) Section 1 is identical to the 15° splay area specified in paragraph 1203a(1). It terminates 2 NM from the beginning of the 15° splay area.

(b) Section 2 starts at the end of Section 1. The flight track and outer boundary radii shall be determined from Table 31. The outer boundary line shall splay 15° from the departure course beginning at the point abeam the point where the turn is completed. The inner boundary line shall begin at the runway edge 2000 feet from the start end of the takeoff surface on the side in the direction of the turn (Point D).

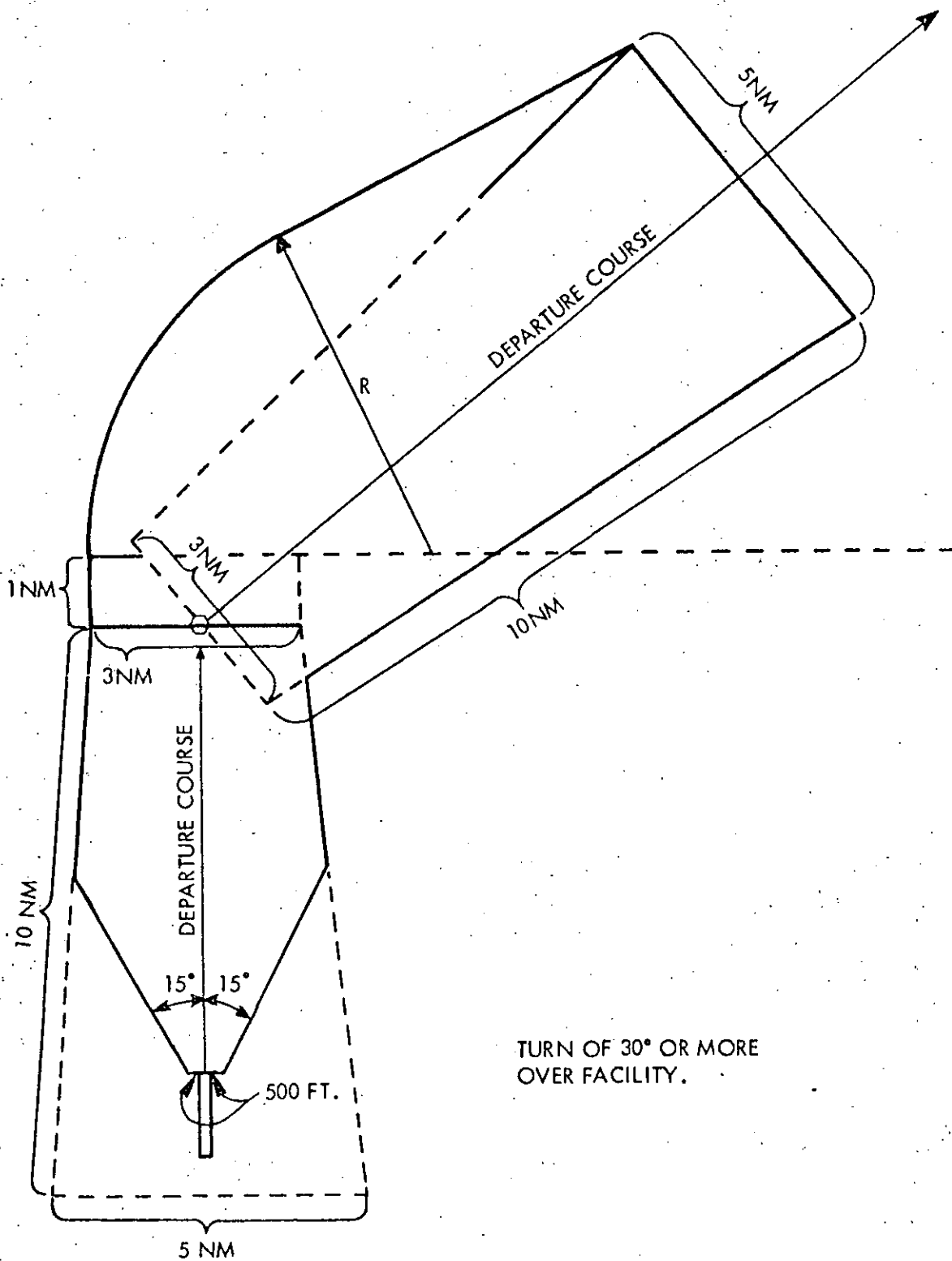
It terminates at the same distance abeam the departure course as the outer boundary does at the end of the departure. The splay of Section 2 terminates when the width reaches that of the primary en route structure. Thereafter, en route criteria apply.

## (2) Obstacle Identification Surface.

(a) Section 1. A 40:1 OIS overlies Section 1 and is identical to the 40:1 specified in paragraph 1203a(2).

(b) Section 2. The dividing lines between Sections 1 and 2 are identified as "AB, BC, CD." A 40:1 OIS overlies Section 2 and has an initial height equal to the terminating height of Section 1 at any point along the dividing line and rises in the direction of the departure course. The height of the OIS at any point in Section 2 is determined by measuring the straight line distance from this point to the nearest point on the "AB, BC, CD" dividing line.

c. *Combination Straight and Turning Departure.* If a straight climb to a height which is more than 400 feet above the elevation of the DER is necessary prior to beginning the departure turn, a combination straight and turning departure area must be applied. Whenever possible, the point at which the turn commences shall be identified by a fix or by the intersection of the initial dead reckoning departure course with a radial or bearing which provides positive course guidance. When a fix, radial or bearing is not available, the turn may be specified to commence at an altitude based on a climb gradient of 200 feet per NM. For example, a turn 1000 feet above DER elevation shall be assumed to commence 5 NM from the end of



TURN OF 30° OR MORE  
OVER FACILITY.

Figure 116J. TURN OF 30° OR MORE OVER FACILITY.

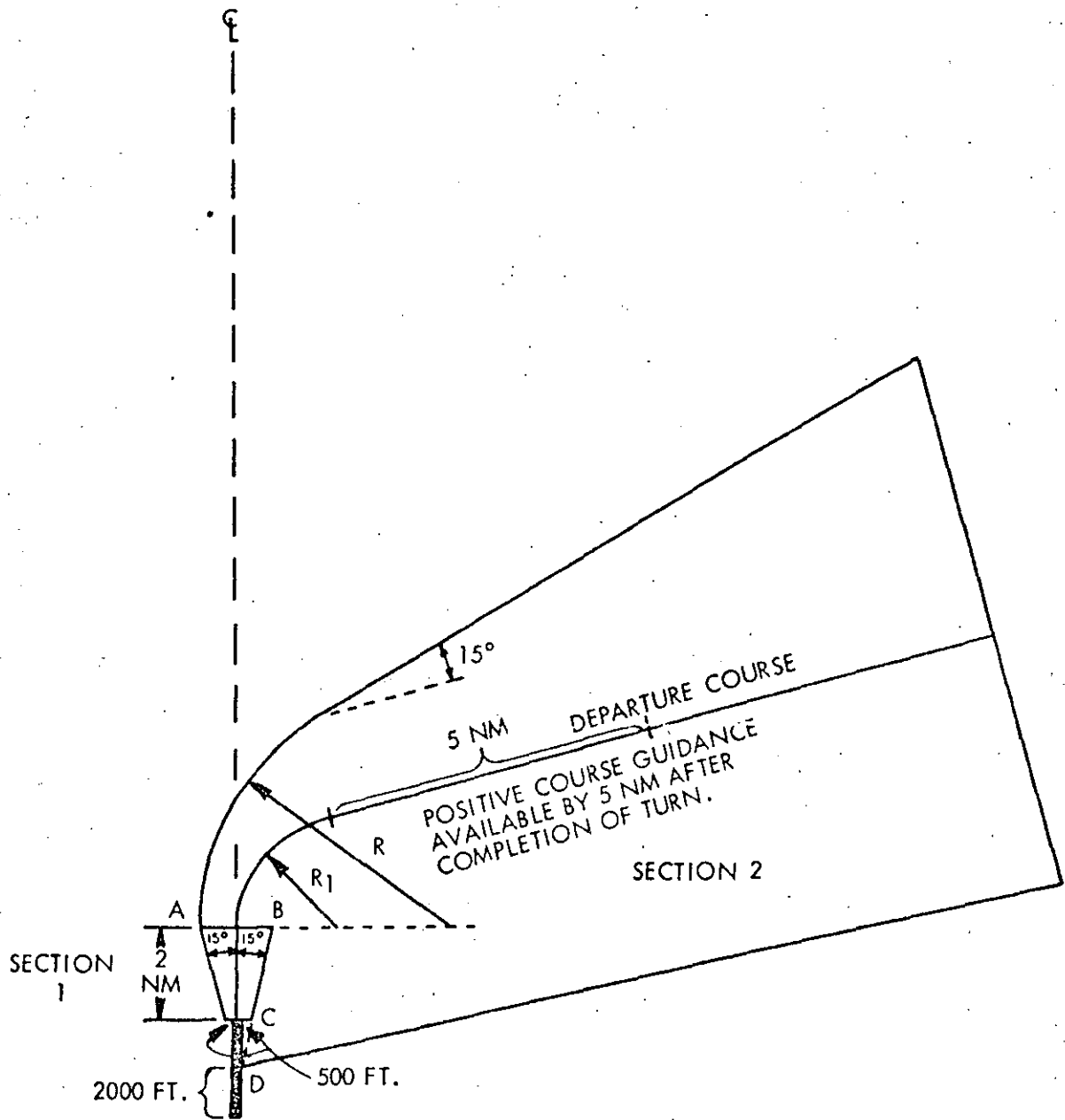


Figure 116K. TURNING DEPARTURE.

runway. Positive course guidance is required within 5 NM after completion of the turn.

(1) Area. The combination straight and turning departure is divided into Sections 1 and 2. See Figure 116L.

(a) Section 1 is identical to the straight departure area except that it extends to the point at which the turn begins.

(b) Section 2 starts at the end of Section 1. The flight track and outer boundary radii shall be determined from Table 31. The outer boundary radius shall be drawn beginning a distance past the plotted position of the turning point equal to the fix error, along track accuracy, or abeam plotted position; whichever is further from the end of the departure runway. The inner boundary line shall begin at the edge of the 15° splay area at a distance prior to the plotted position of the turning point equal to the fix

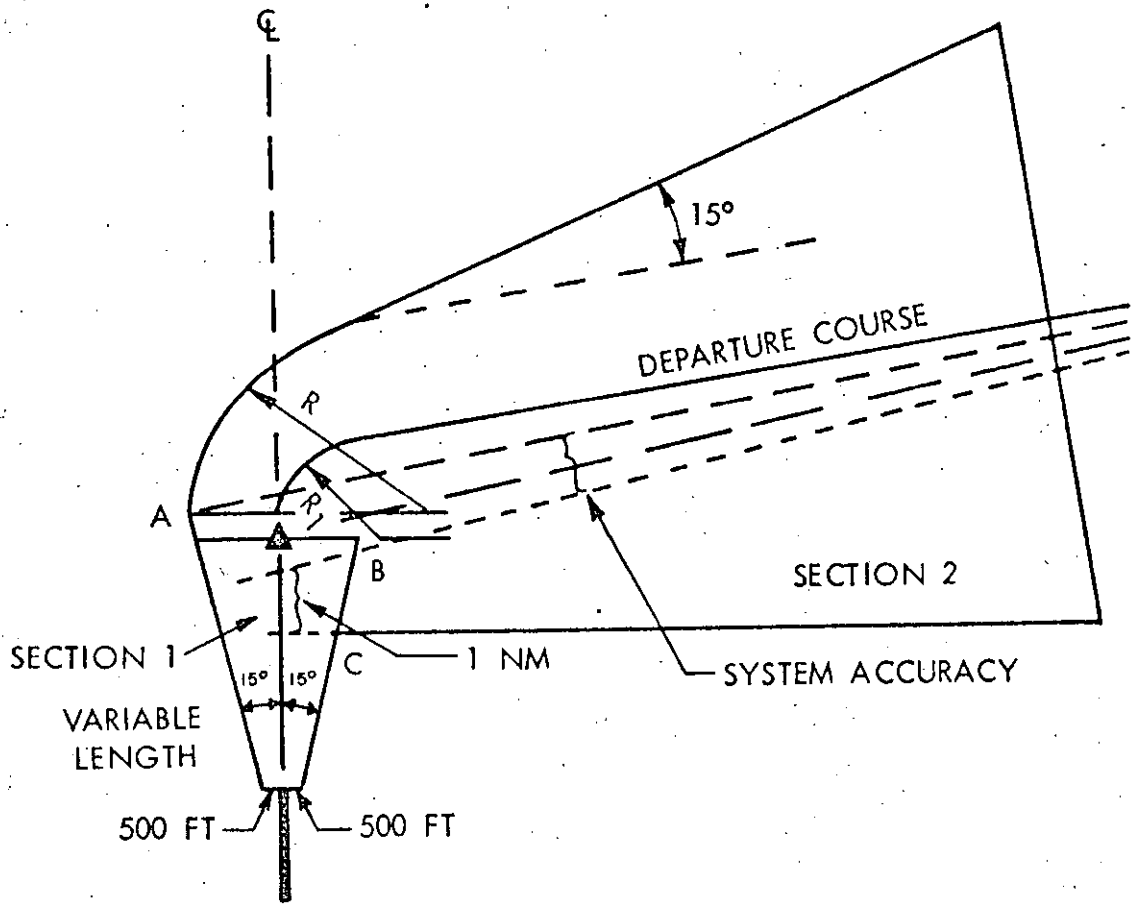


Figure 116L. COMBINATION STRAIGHT AND TURNING DEPARTURE.

error or along track accuracy plot plus 1 NM. Where the turn is specified to commence at an altitude, the outer boundary radius begins at the end of Section 1, and the inner boundary line begins at the edge of the 15° splay area abeam the DER. The outer boundary line shall splay 15 degrees from the departure course beginning at the point abeam the point where the turn is completed. The inner boundary line is drawn from the point of beginning to a point which is the same distance abeam the departure course as the outer boundary is at the end of the departure.

(c) Where a turn is required to intercept a radial/bearing to proceed to or from a facility, alternate area construction is necessary. See Figure 116M. The appropriate flight track radius will join the radial/bearing and the runway centerline extended. The arc will be drawn from a point on the bisector of the angle between the runway centerline extended and the plotted position of the radial/bearing. Section 1 ends at the point of tangency of the extended center-

line and the arc. The inner boundary begins at the near edge of Section 1 at a point 1 NM prior to the end of that section. The outer boundary begins at the intersection of the extended 15° splay line of Section 1 and the plotted position of the radial/bearing. The splay of Section 2 terminates when the width reaches that of the primary en route structure. Thereafter, en route width criteria apply.

**(2) Obstacle Identification Surface.**

(a) Section 1. A 40:1 OIS overlies the straight departure area. It begins no higher than 35 feet above the elevation of the DER and rises in the direction of departure.

(b) Section 2. The dividing lines between Sections 1 and 2 are identified as "AB, BC." A 40:1 OIS overlies Section 2. It has the same height as the Section 1 OIS at the dividing line AB and rises in the direction of the departure course.

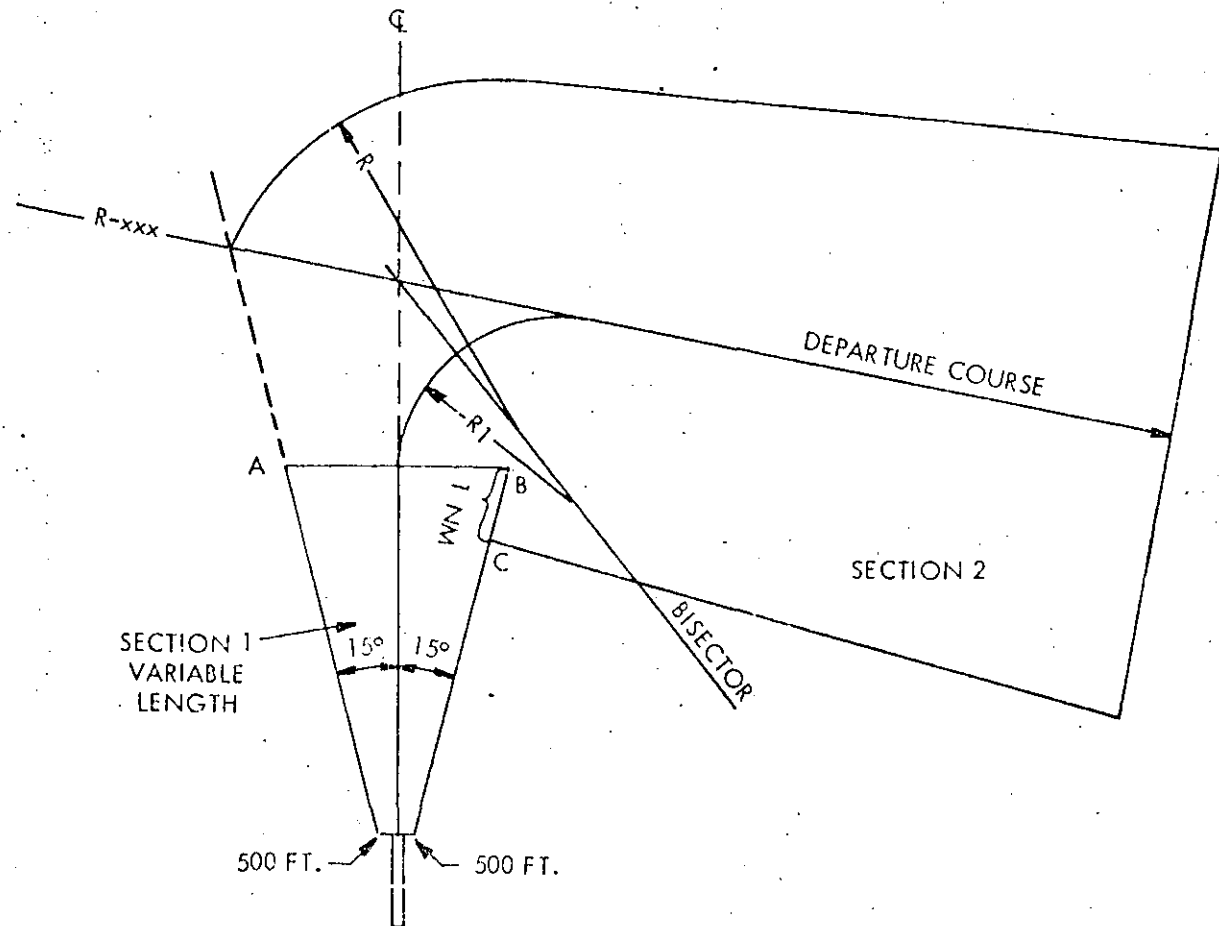


Figure 116M. COMBINATION STRAIGHT AND TURNING DEPARTURE (TO INTERCEPT RADIAL OR BEARING).

**1204. EARLY TURNS.** Some obstacles, because of location and height (causing excessively high climb gradients), may require a turn as soon as practicable after takeoff (less than 400 feet above airport elevation). Where this condition exists, Zones 1, 2, and 3 of paragraph 1202 (see Figures 116A, 116B, and 116C) shall be used with the following exceptions. The Zone 2 OIS begins at an elevation 50 feet above the elevation of the airport and the Zone 3 OIS (if utilized) begins 200 feet above the elevation of the airport. Measurements in Zones 2 and 3 shall be made to the obstacle from the runway edge. Early turns, when developed, shall be subject to the conditions of paragraph 1207c.

**1205. CLIMB GRADIENTS.** Climb gradients shall include 48 feet per NM required obstacle clearance. When precipitous terrain is a factor, consideration shall be given to increasing the obstacle clearance (see paragraph 323a). Gradients shall be specified to

an altitude or fix at which a gradient of more than 200 feet per NM is no longer required.

*a. Diverse Departures.* In cases where departure routes are not required to avoid obstacles, but obstacles exist in a sector(s) such as a mountain range, the required gradient shall be computed from the origin of the Zone 2 or 3 OIS (as applicable) direct to the obstacle. The altitude to which the climb gradient must be maintained is based on the obstacle plus ROC requiring the highest altitude in that sector.

*b. Departure Routes.* Climb gradients shall be computed from the elevation of the OIS at the DER along the shortest possible flight path within the obstacle clearance area to the obstacle.

*c. Early Turns.* When an early turn is required toward an obstacle in either Zone 2 or 3, the gradient

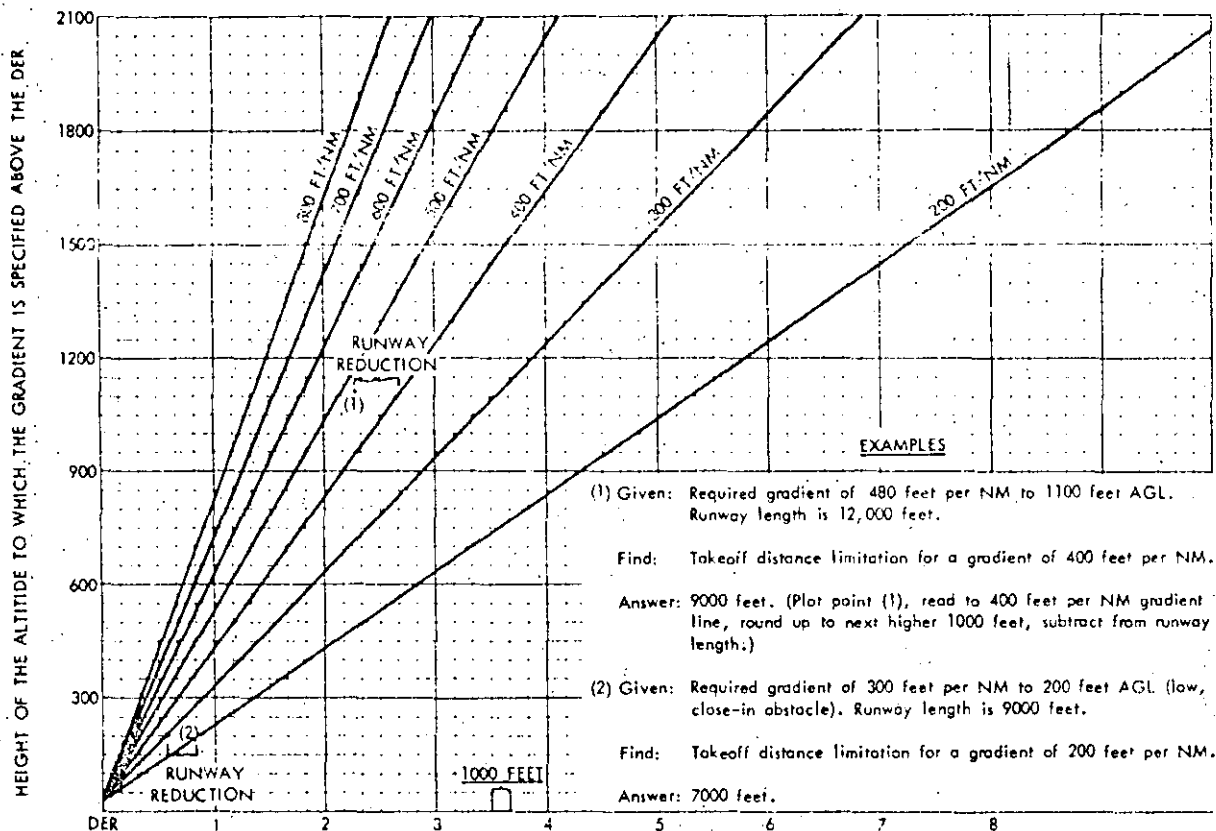


Figure 116N. DISTANCE FROM DER (NM) & RUNWAY REDUCTION (1000'S OF FEET).

will be computed from the origin of the Zone 2 or 3 OIS (as applicable) direct to the obstacle.

d. *Climb gradients to 200 feet above DER or less shall not be specified.* These gradients would normally be caused by low, close-in obstacles. The provisions of paragraph 1205e should be applied and/or a note published stating that the obstacle(s) exist and should be considered by the pilot.

e. When a climb gradient in excess of 400 feet per NM would be required, a reduction in that gradient for aircraft which use less than the full length of the runway shall be provided. A chart is available to reduce the computed gradient. See Figure 116N.

f. When a climb gradient is specified, it shall be parenthetically stated in climb rate expressed in feet per minute for average ground speeds of 150K, 200K, and additionally at elevations above 5,000 feet MSL at 250K. Example: climb gradient is 300 feet per NM to

3,000 feet MSL (750 feet per minute at 150K, 1,000 feet per minute at 200K).

**1206. END OF DEPARTURE.** The departure area terminates at a point where the 40:1 OIS, measured along the flight track, reaches the minimum altitude authorized for en route operations or radar vectoring, whichever is applicable.

**1207. PUBLISHED INFORMATION.** The minimum information to be published for departure procedures is specified as follows:

a. *Diverse Departures.* Departure restrictions shall be expressed as sectors to be avoided or sectors in which climb gradients and/or minimum altitudes are specified to enable an aircraft to safely overfly an obstacle. When more than one sector is involved, the climb gradient selected shall be the highest in any sector that may be expected to be overflown. The

altitude to which the gradient is specified must permit the aircraft to continue at 200 feet per NM minimum through that sector, a succeeding sector, or to an en route altitude. A fix may also be designated to mark the point at which a climb gradient in excess of 200 feet per NM is no longer required.

*b. Departure Routes.* A departure route must specify all courses, points, fixes, and altitudes required in the procedure. When obstacles must be overflown, minimum crossing altitudes and climb gradient information shall be provided for all departures requiring a climb gradient greater than 200 feet per NM. The altitude or fix at which a climb gradient in excess of 200 feet per NM is no longer required shall also be specified.

*c. Early Turns.* The early turn shall be expressed as a turn to a heading or to intercept a course as soon as practicable. When obstacles exist in Zone 1, a minimum ceiling value of 400 feet and a visibility value of at least one mile shall be published. In the event an early turn must be made toward an obstacle within 6 NM of the departure runway, and if no positive course guidance is available, a suitable climb gradient shall be published.

*d.* The resultant takeoff distance limitation when the provisions of paragraph 1205e are applied.

*e.* Ceiling and visibility minimums imposed in accordance with paragraph 1208.

*f.* When departures are limited to Categories A and B aircraft, the procedure shall be clearly annotated.

**1208. REQUIRED CEILING AND VISIBILITY MINIMUMS.** Procedures requiring a climb gradient in excess of 200 feet per NM shall also specify a ceiling and visibility to be used as an alternative for aircraft incapable of achieving the gradient. The ceiling value shall be the 100-foot increment above the controlling obstacle or above the altitude required over a specified point from which a 40:1 gradient will clear the obstacle. Ceilings of 200 feet or less shall not be specified. The visibility value shall be at least one mile.

**1209. - 1299. RESERVED.**

## DISEÑO DE FILETES

En el carreteo de los aviones de las plataformas a la pista y viceversa, existen siempre puntos conflictivos que merecen especial atención para prever un rango de seguridad de las aeronaves. Estos puntos conflictivos son aquellos en que los rodajes cambian de dirección, o bien cuando se unen a otros rodajes, a pistas o a plataformas. Es obvio que en los cambios de dirección el eje del avión no sigue la dirección de las ruedas delanteras, por lo que existe siempre un desplazamiento del tren principal de aterrizaje respecto a la trayectoria seguida por las ruedas de mando.

El método seguido por la FAA para el cálculo de filetes está basado en el dibujo de la Fig. 1., el cual supone al avión en el momento crítico del viraje y consiste en el cálculo de la máxima desviación del punto medio del tren principal de aterrizaje con respecto a la trayectoria seguida por la rueda de nariz. Esta desviación depende del radio de viraje ( $R$ ) de la magnitud del cambio de dirección ( $\Delta$ ) y de la distancia entre los ejes delanteros y traseros y es obtenida de la Fig. 2.

El ángulo máximo de esviaje de la rueda de nariz, se obtiene de la Fig. 3, teniendo cuidado que este ángulo no sobrepase los límites normales de operación de la aeronave.

El ángulo de esviaje de la rueda de nariz en el punto en que no se requiera prolongar más el filete, es obtenido de la Fig. 4. La distancia necesaria que viaja la rueda de nariz a lo largo de una



- 2 -

trayectoria recta para reducir el ángulo de desviación al final del viraje, hasta aquel en que no necesita más filete, se obtiene de la Fig. 5.

El uso de las cartas puede ser ilustrado por el siguiente ejemplo. Determine las dimensiones del filete para maniobrar un DC-10, sobre un rodaje de 75 ft de ancho que cambia  $90^\circ$  su dirección en un radio de viraje de 250 ft.

DATOS DEL AVION:

Distancia entre ejes (D) = 72.5 ft

Ancho del tren principal de aterrizaje = 35 ft.

Margen de seguridad deseado entre la pierna del tren principal de aterrizaje al filo del pavimento es de 15 ft.

PASO No. 1. La relación del radio de viraje R a la distancia entre ejes es  $250/72.5 = 3.45$ . Entrando en la Fig. 2 con  $R/D = 3.45$  y  $90^\circ$  de cambio de dirección, se obtiene una máxima desviación igual al 14.5 % de la distancia entre ejes.

Desviación máxima =  $0.145 \times 72.5 = 10.5$  ft

Entonces, el radio  $r$  del filete se calcula así:

$r = R - (\text{desviación máxima} + 1/2 \text{ ancho del tren principal de aterrizaje} + \text{margen de seguridad})$

$r = 250 - (10.5 + 17.5 + 15) = 207$  ft.

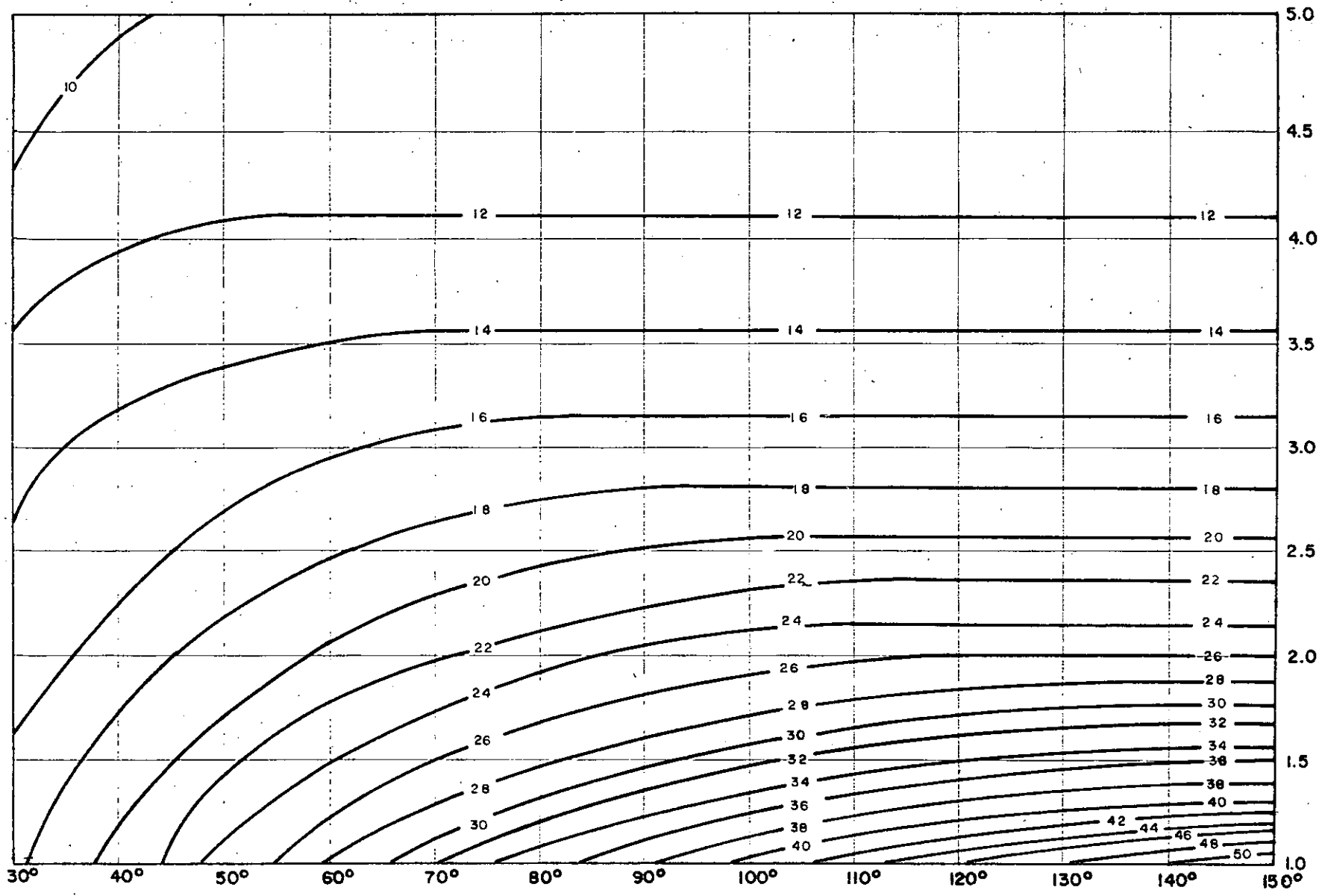
PASO No. 2. La máxima desviación que puede tenerse sin filetear es igual a:

$1/2 \text{ ancho del rodaje} - (1/2 \text{ ancho del tren principal} + \text{margen de seguridad}) = 37.5 - (17.5 + 15) = \underline{\underline{5 \text{ ft.}}}$

De la fig. 4, esto es equivalente a un ángulo de desviación de  $4^\circ$

PASO No. 3 Entramos en la Fig. 3 para obtener el ángulo de desvío al término del viraje, igual a  $17^{\circ}$ .

PASO No. 4. Estos ángulos de desvío son cambiados a un recorrido a lo largo de una línea recta, usando la Fig. 5;  $4^{\circ}$  produce una distancia de ~~305~~ <sup>205</sup> ft y  $17^{\circ}$  produce una de 100 ft - La distancia 105 ft es el recorrido de la rueda de nariz necesario para reducir el ángulo de desvío de  $17^{\circ}$  a  $4^{\circ}$ . Los resultados se muestran en la Fig. 6.



CAMBIO DE DIRECCION DE LA CALLE DE RODAJE

RELACION DEL RADIO DE LA LINEA CENTRAL SOBRE EL DATO DE LONG.

FIG. 2

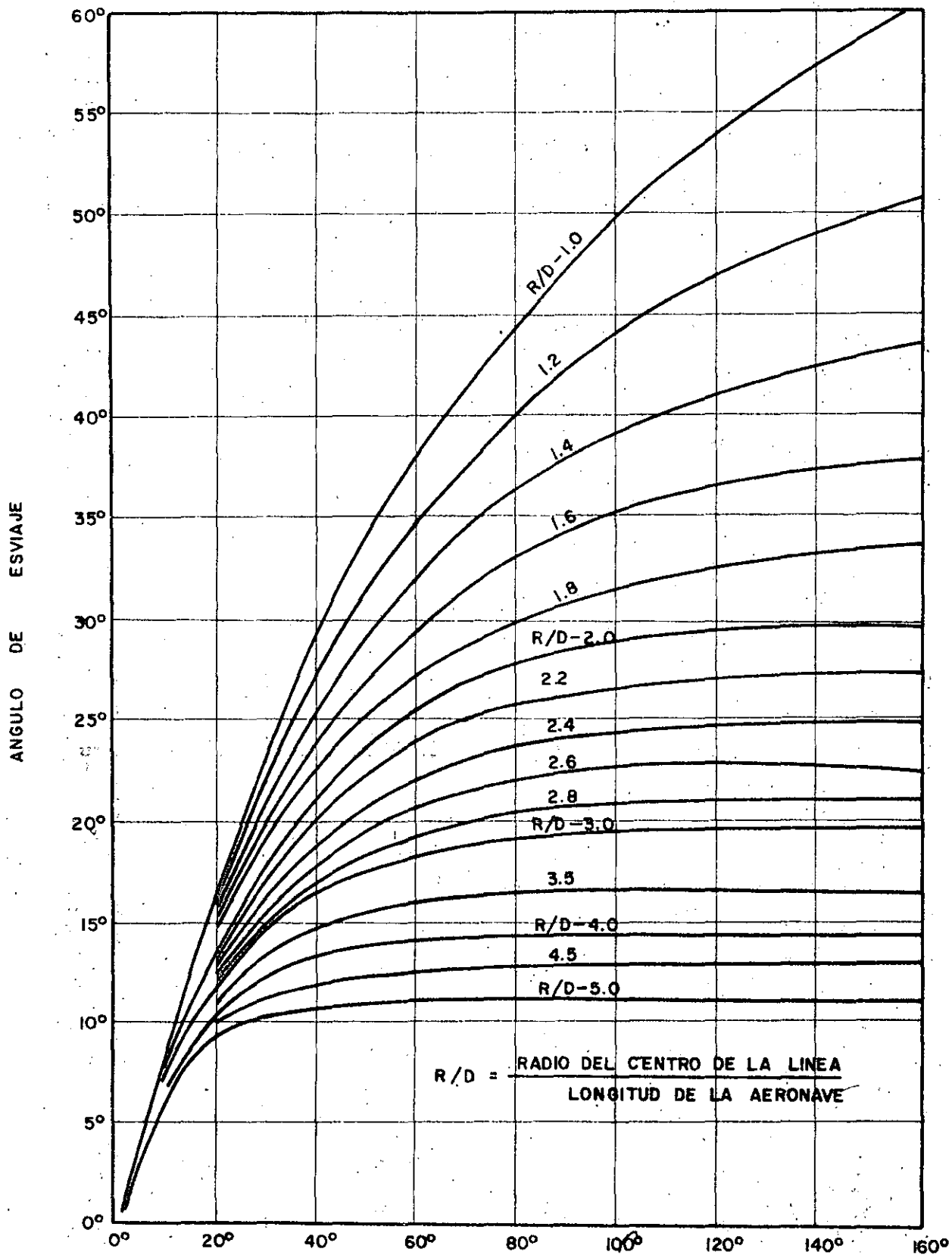


FIG. 3

DESVIACION MAXIMA DE LA RUEDA DE NARIZ (PIES)

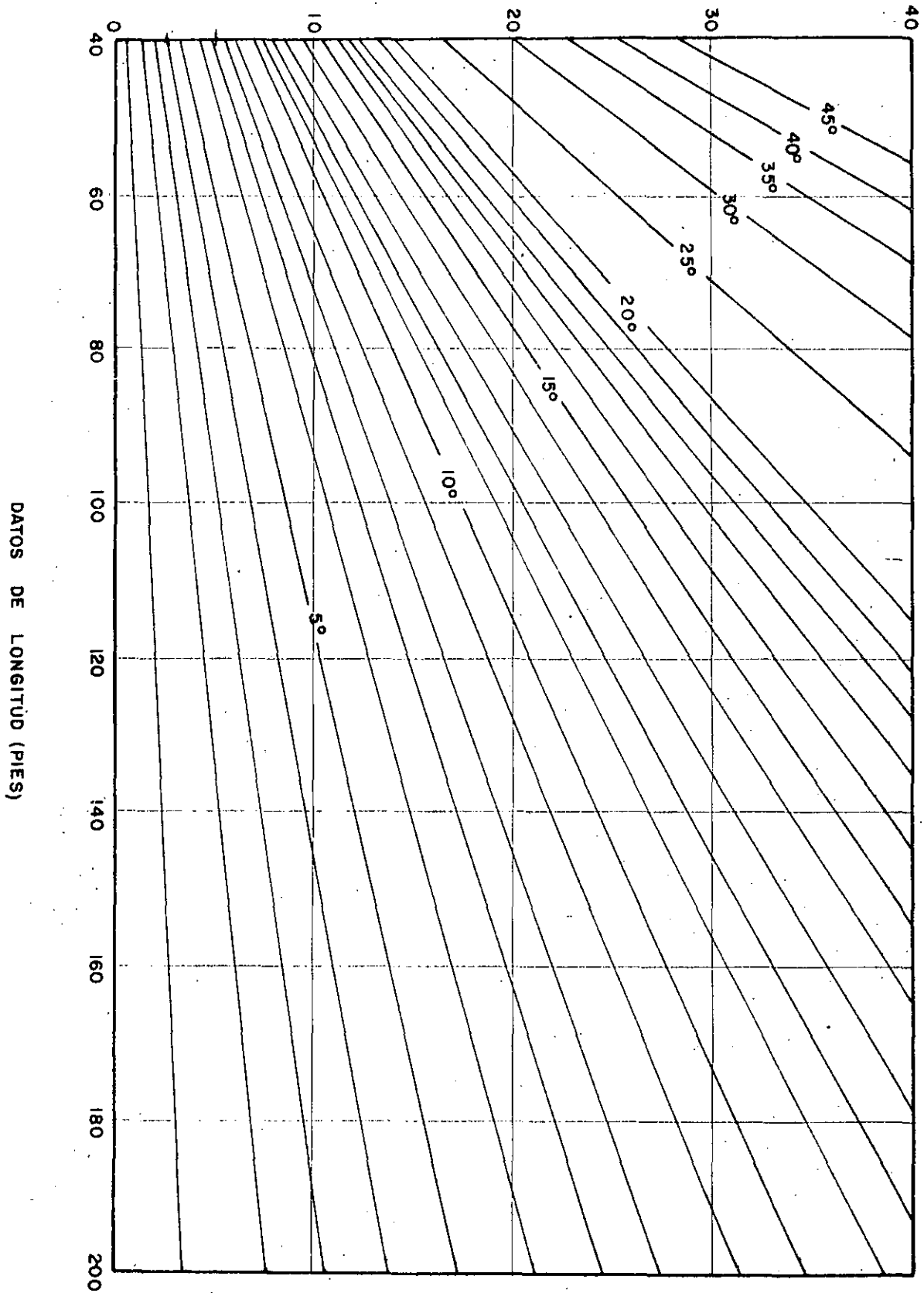
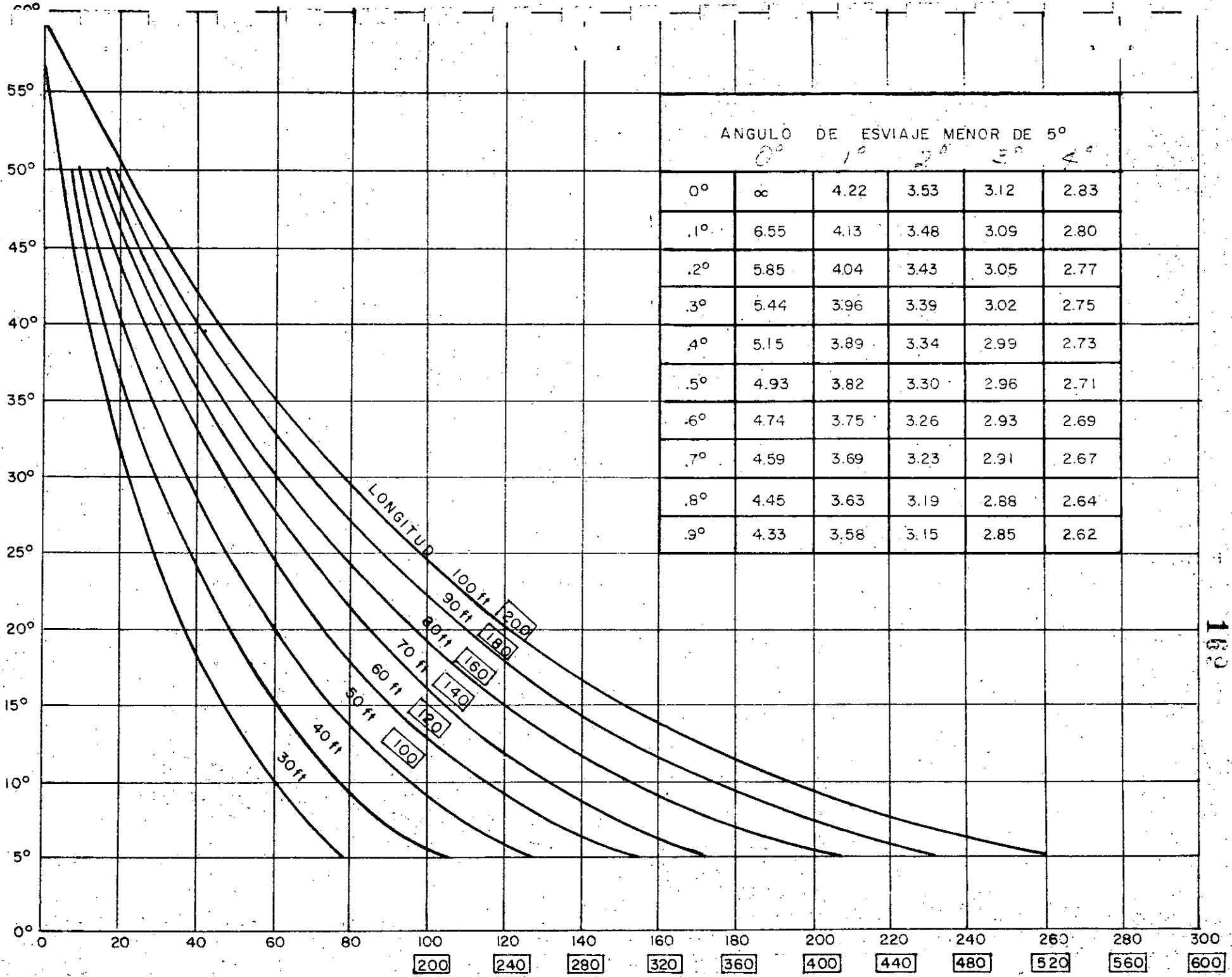
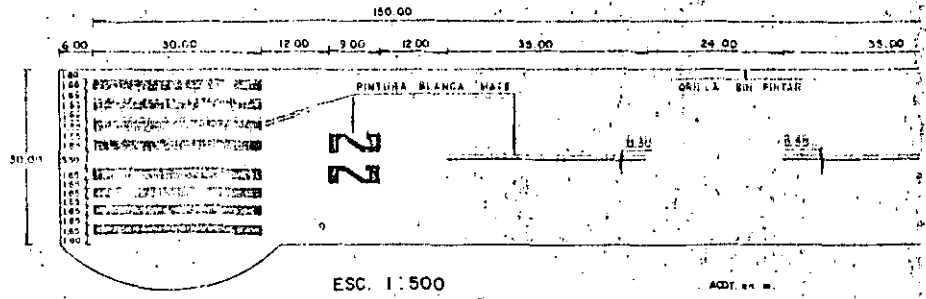


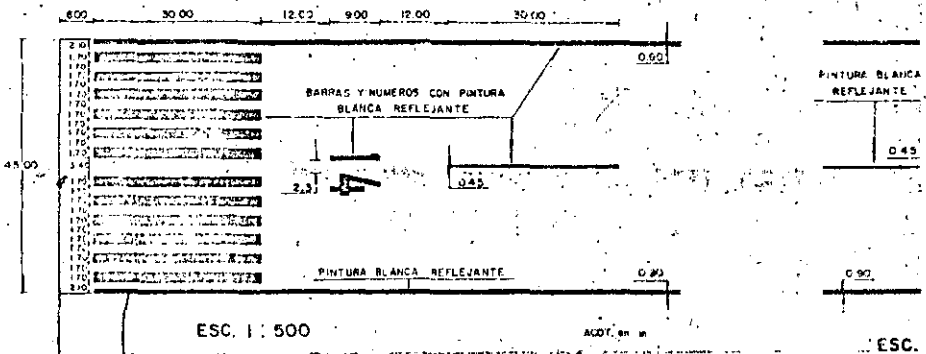
FIG. 4



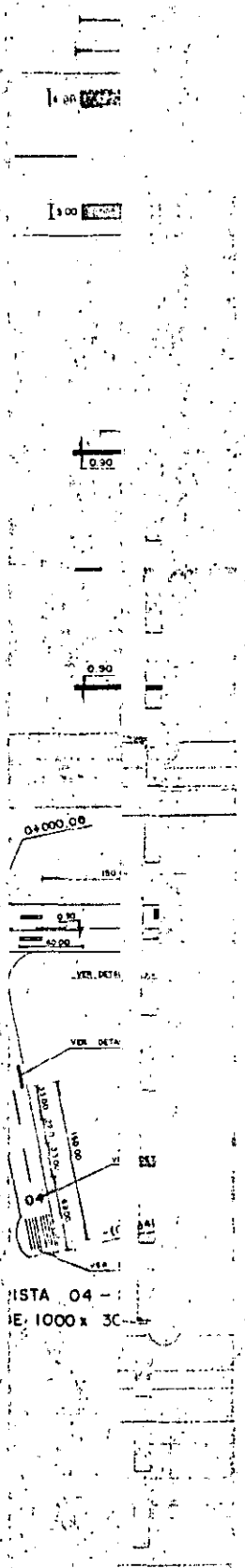
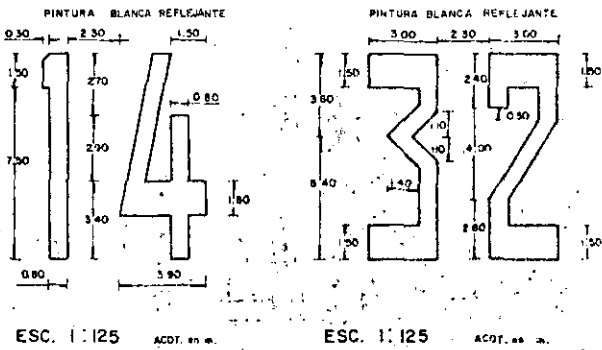
### DETALLE N° 1



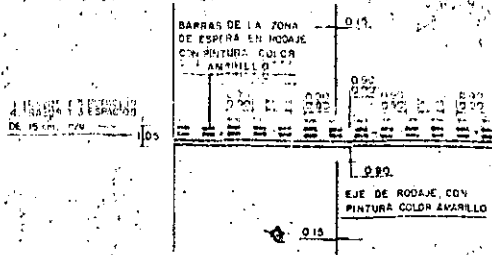
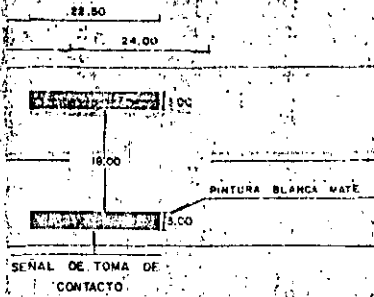
### DETALLE N° 4



### DETALLE N° 8



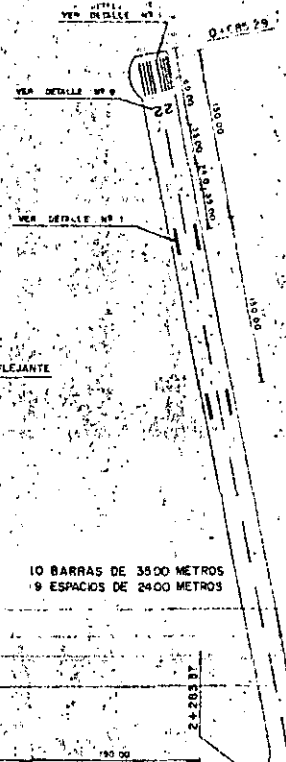
DETALLE Nº 2



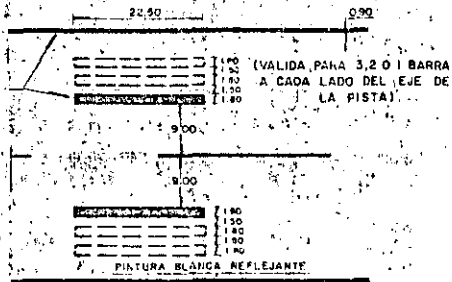
ORILLA DE RODAJE SIN PINTAR

ESC. 1:200

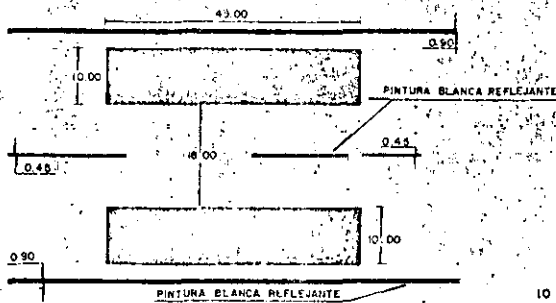
ACOT. en m.



DETALLE Nº 5



DETALLE Nº 6



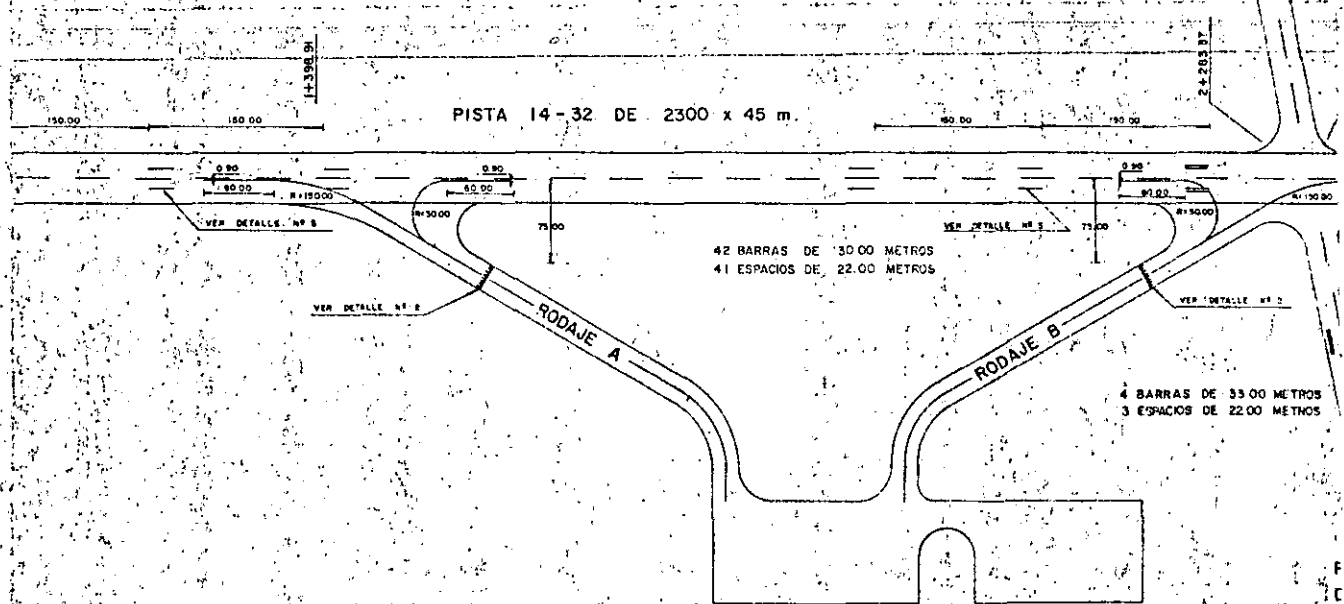
10 BARRAS DE 35.00 METROS  
9 ESPACIOS DE 24.00 METROS

ESC. 1:500

ACOT. en m.

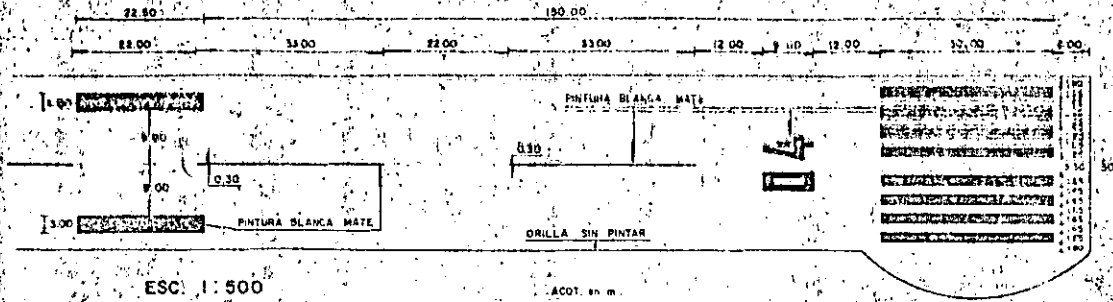
ESC. 1:500

ACOT. en m.

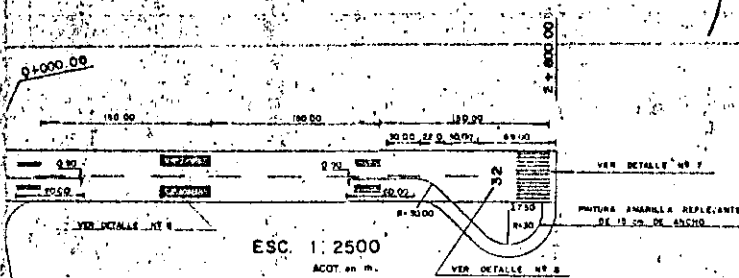
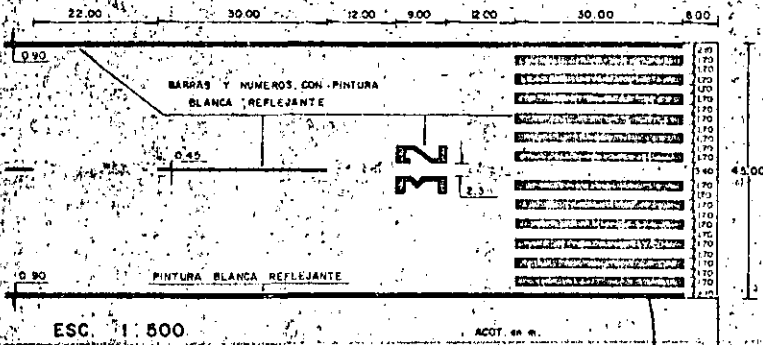




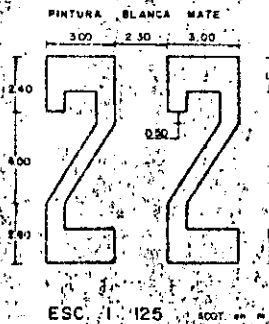
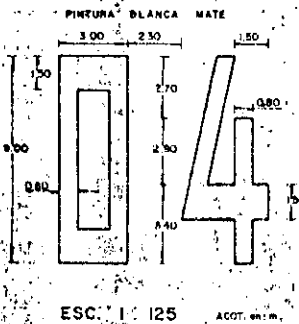
### DETALLE N° 3



### DETALLE N° 7



### DETALLE N° 9



ISTA 04 - 22  
E 1000 x 30 m.

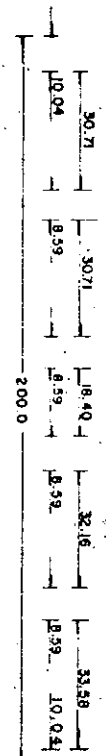
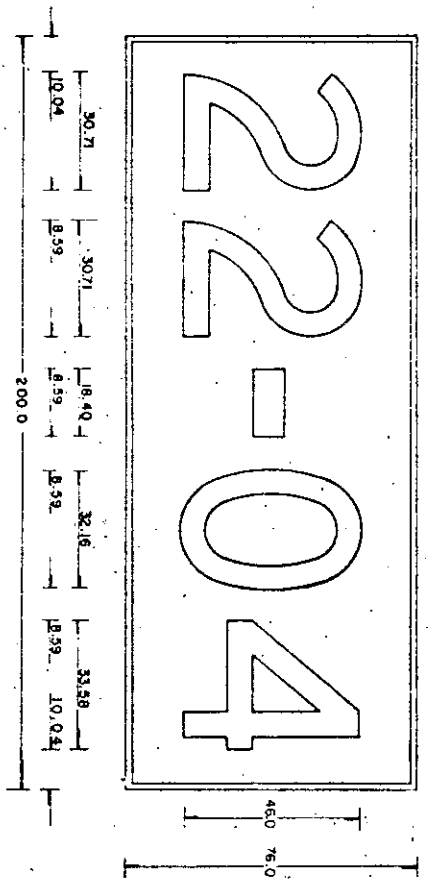
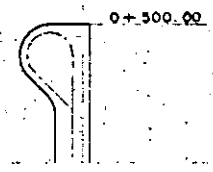
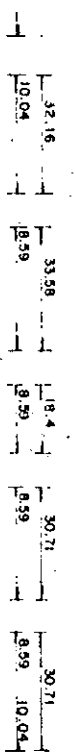
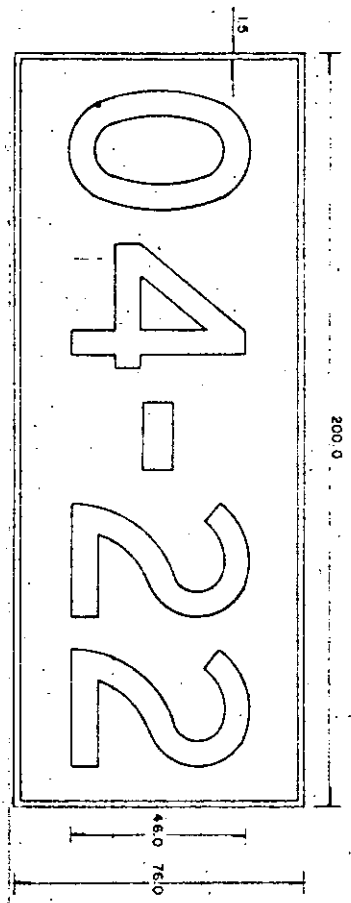
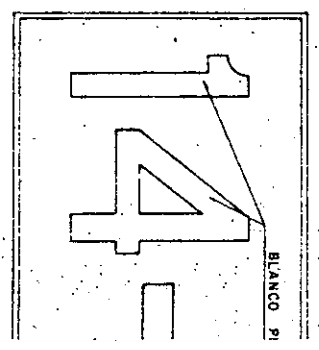
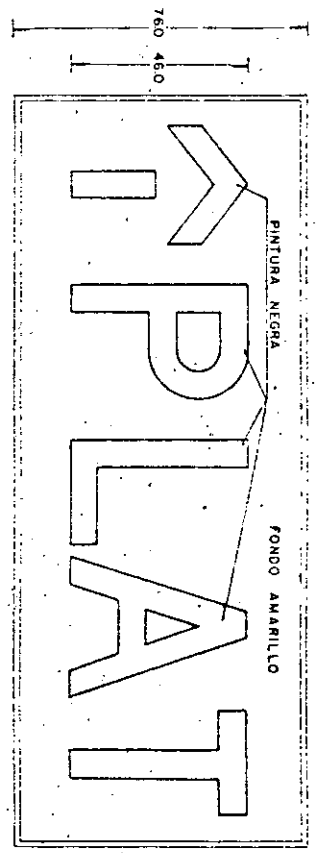
PROYECTO AL JEFE DEL DEPARTAMENTO:  
*H. Martínez*  
ING. JEFE DEPARTAMENTO GENERAL  
POR EL SUBSECRETARÍA DE PROYECTOS.



SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA  
DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
SUBDIRECCION DE PROYECTOS  
DEPARTAMENTO DE AGENCIA BASICA

200.0

180



NOTA - TODOS LOS  
NEGRAS SE  
LOS DOS L  
NALES DE  
SISTIRAN  
SOBRE FOI

PROYECTO:

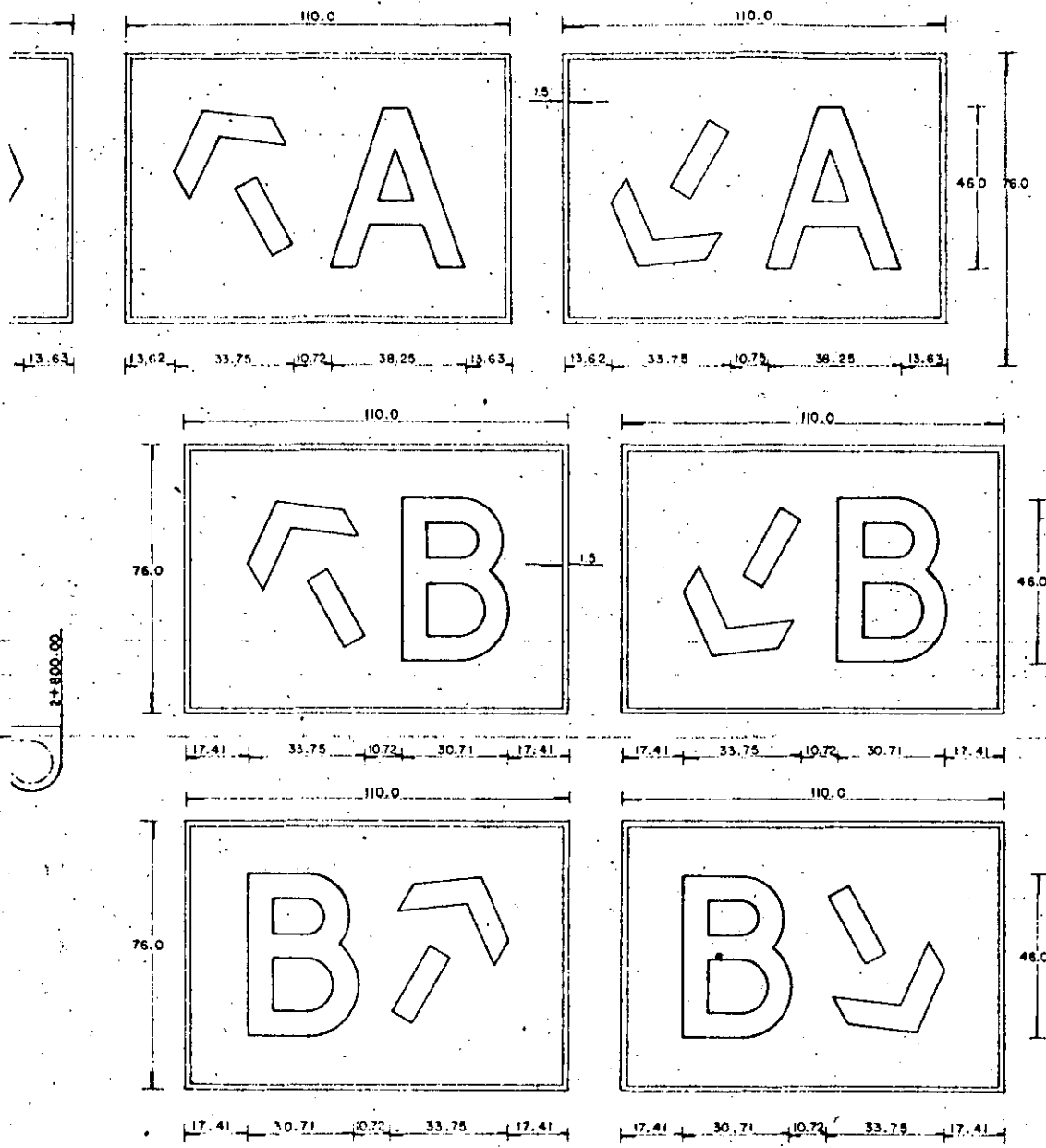
DIBUJO:

C. OSCAR LOPEZ PACHECO  
C. FRANCISCO ESPINILLA JIMENEZ

REVISO:

ING. ESTEBAN SANCHEZ ALBA

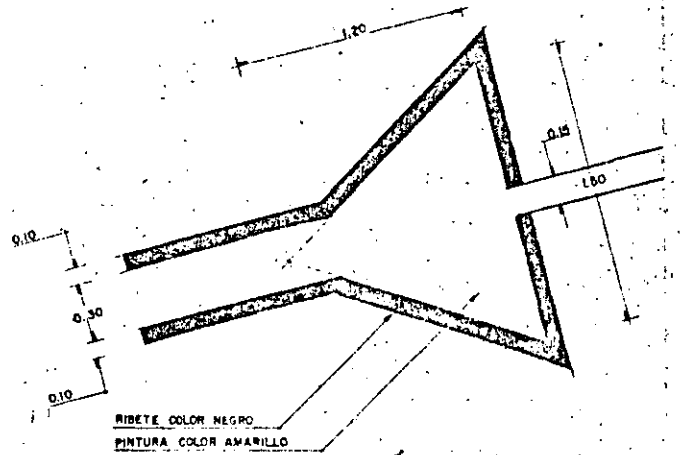




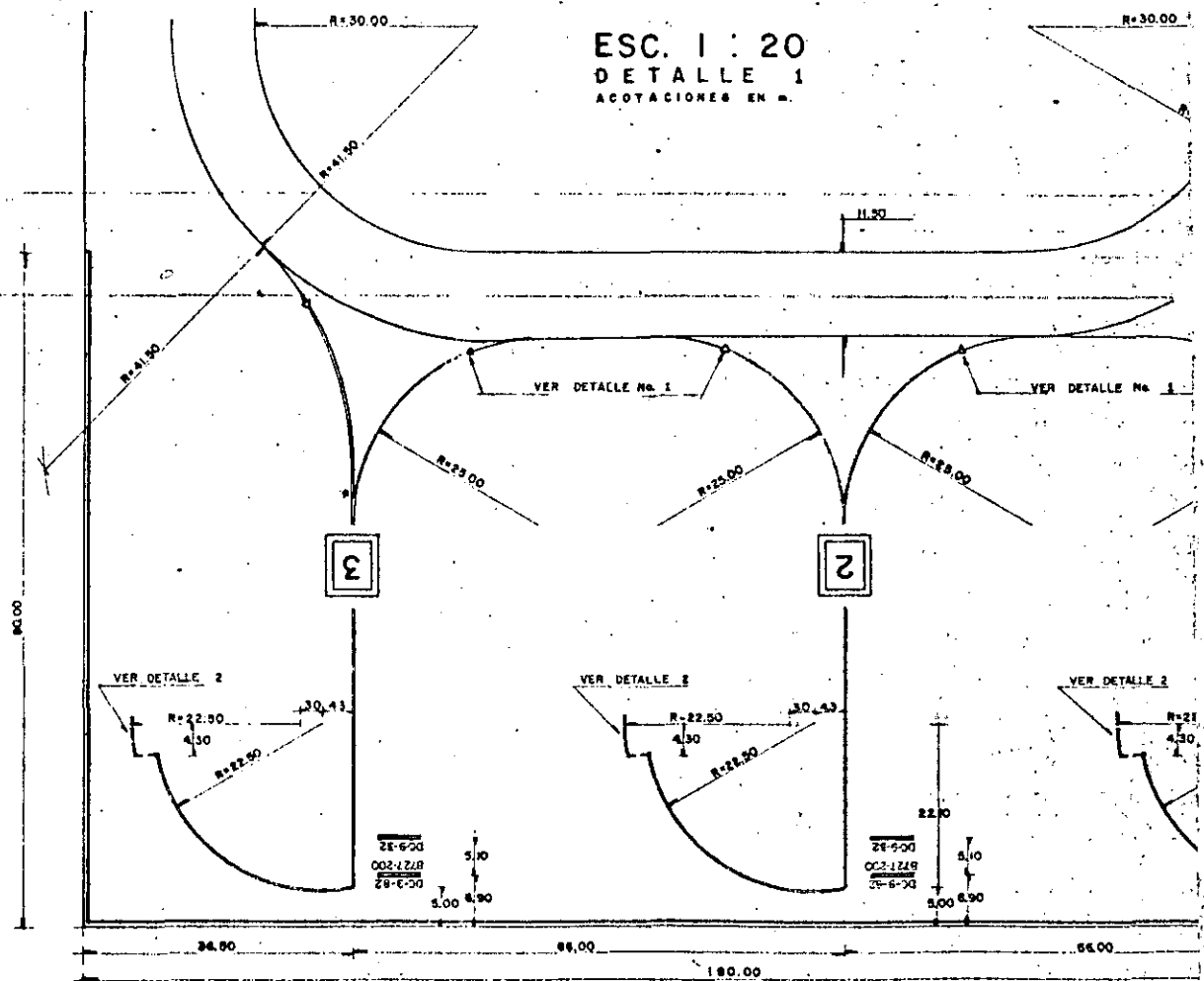
2+800.00

ESCALA 1:10  
ACOTACION. cm.

<p>PROPUSO EL JEFE DEL DEPARTAMENTO</p> <p><i>H. Martini</i></p> <p>ING. DIRECTOR MARTINEZ SANDOVAL</p> <p>Vs. Bo. EL SUBDIRECTOR DE PROYECTOS</p>	<p><b>SCT</b> SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA</p> <p>DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS</p> <p>DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION</p> <p>SUBDIRECCION DE PROYECTOS</p> <p>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA BASICA</p>
<p><i>Alfonso...</i></p> <p>ING. DIRECTOR RODRIGUEZ MEDINA</p> <p>APROBO EL DIRECTOR DE AREA</p>	<p><b>AEROPUERTO DE SAN LUIS POTOSI, S.L.P.</b></p> <p>SEÑALAMIENTO VERTICAL</p>
<p><i>[Signature]</i></p> <p>ING. LUIS A. MARTINEZ CHEVEZ</p>	<p>MEXICO, D. F., Enero de 1985. No. de hoja No. A-</p>

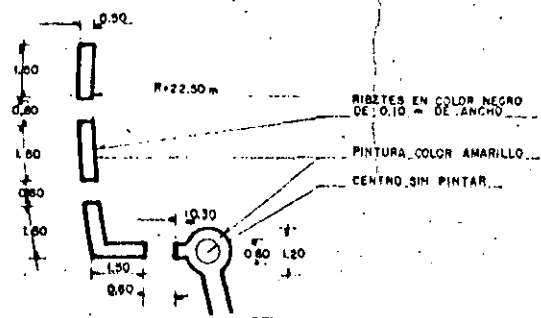


ESC. 1 : 20  
DETALLE 1  
ACOTACIONES EN M.

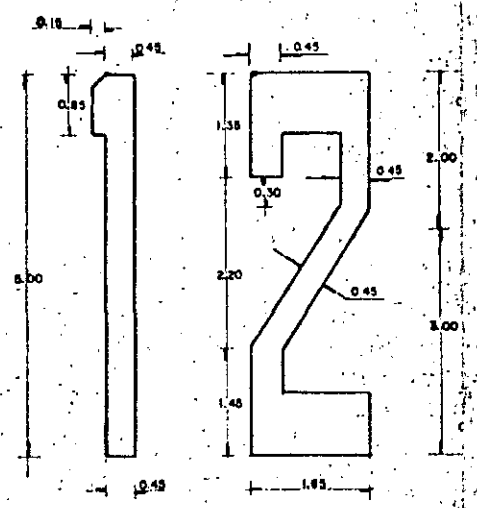


ESC  
A.C.O.I.

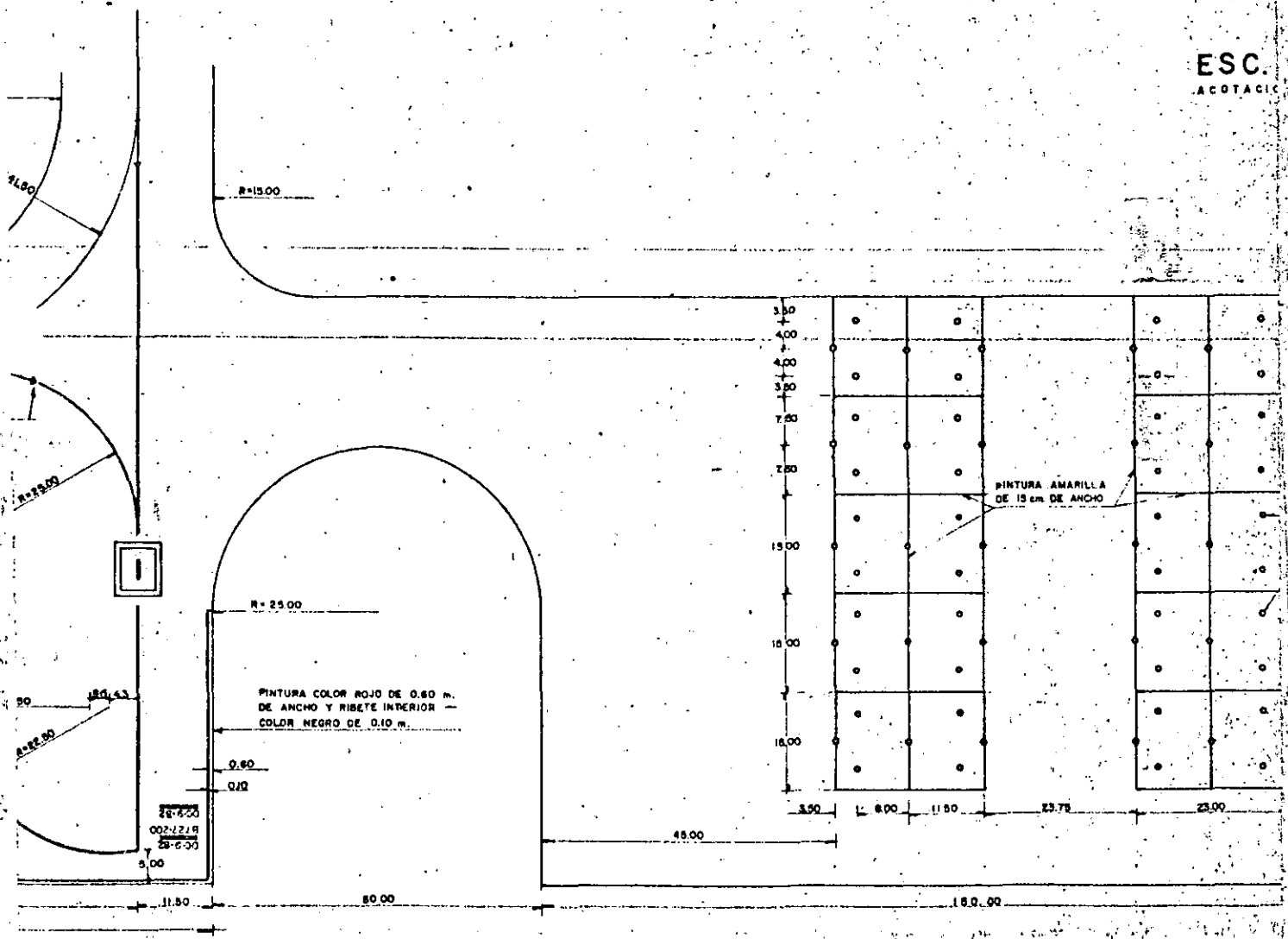
PROYECTO	DIBUJO
C.O. FLORES PACHECO	<i>[Signature]</i>
REVISOR	Miguel González Hernández 784
ING. F. SANVICENTE AGOR JR.	



ESC. 1 : 100  
DETALLE 2  
ACOTACIONES EN METROS

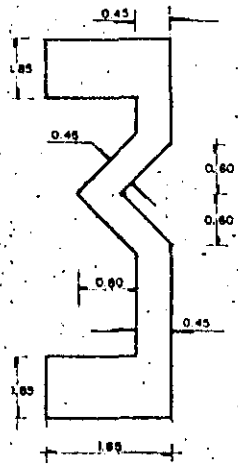


ESC.  
ACOTACIONES EN METROS

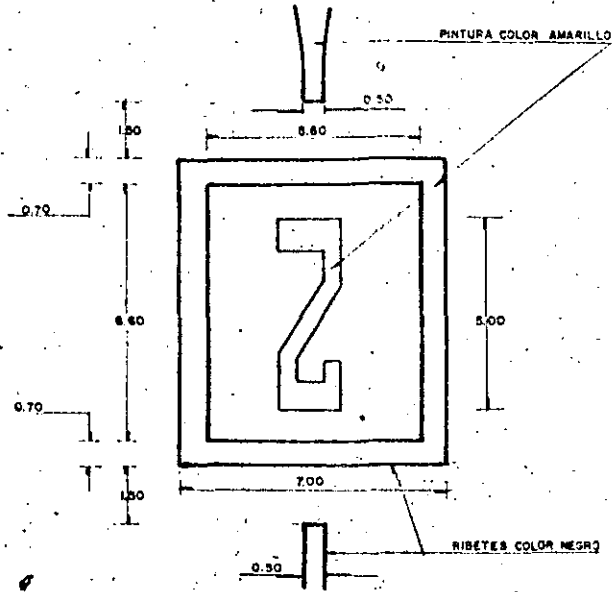


1 : 500  
METROS EN METROS

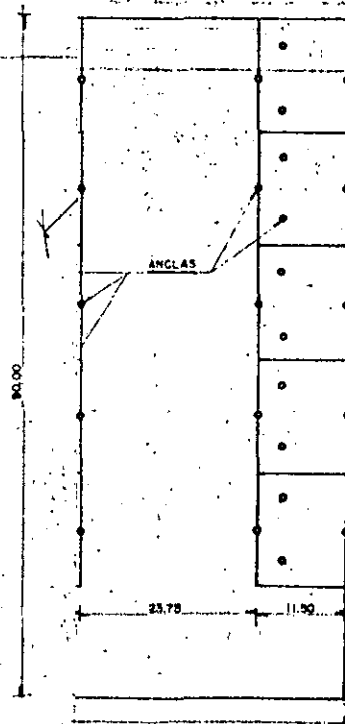
178



1 : 50  
LINEAS EN METROS



ESC. 1 : 10  
ACOTACIONES EN METROS

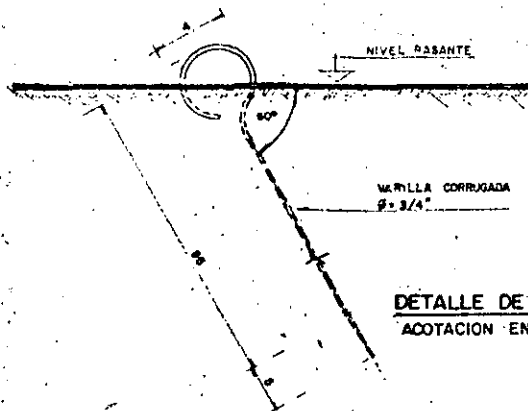


B727-200

DC-9-82

BARRA DE VIRAJE Y PARADA DE 6.00 x 0.20 m. CON PINTURA AMARILLA Y RIBETES NEGROS.  
LAS LETRAS SERAN DE 30 cm DE ALTO COMO MINIMO Y DEBERAN LEERSE DESDE EL PUESTO DE PILOTO.

ESC. 1 : 50



DETALLE DE ANCLA  
ACOTACION EN: cm.

PROPUSO EL JEFE DEL DEPARTAMENTO.

ING. HECTOR MARTINEZ SANDOVAL  
VO. BO. EL SUBDIRECTOR DE PROYECTOS

ING. HECTOR RODRIGUEZ MEGUERO  
APROBO EL DIRECTOR DE AREA

PROYECTO:

C.O. FLORES PACHECO  
REVISOR

ING. F. SANVICENTE



SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA  
DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS  
DIRECCION DE PROYECTOS Y CONSTRUCCION  
SUBDIRECCION DE PROYECTOS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA BASICA

AEROPUERTO DE SAN LUIS POTOSI, SLP  
SEÑALAMIENTO HORIZONTAL  
PARA PLATAFORMAS



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

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE  
MAYO.  
MEXICO, D. F.

ESTUDIOS TOPOGRAFICOS

ING. JOSE JAIME HERNANDEZ ZARATE



1

ESTUDIOS TOPOGRAFICOS

	<u>Págs.</u>
CONCEPTOS TOPOGRAFICOS	1-14
FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA DE POSICION	15-25
INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DE LA LATITUD	25-36
INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DEL R. A. C.	37-43
INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DE LA LONGITUD	44-48
EJERCICIOS DE APLICACION INCLUYENDO UBICACION DE OBSTACULOS	49-61

EXPOSITOR:   ING. JOSE JAIME HERNANDEZ ZARATE

65 Hojas

## ESTUDIOS TOPOGRAFICOS

Para la ingeniería en general y para la ingeniería civil particular, la construcción es la culminación de diseño y planeación, con ella se completa y termina un proyecto. Puede tratarse de un edificio, ferrocarril, túnel, puente, canal, camino, presa, etc., y en nuestro caso particular, un aeropuerto. El proyecto elaborado con el propósito de utilizarlo para determinado sitio particular, debe tratarse teniendo en cuenta el lugar especificado, alinearse correctamente con respecto a las estructuras adyacentes. Para ejecutar correctamente el trazo sobre el terreno, es indispensable hacer mediciones. En el trabajo a realizar, las distancias horizontales se medirán con cadenas, aparatos electrónicos y estadia. Las diferencias de altura o de elevaciones se determinan por medio de niveles de precisión. Los ángulos tanto horizontales como verticales se medirán con la ayuda del teodolito o tránsito.

Por supuesto, se necesita tener un sexto sentido para seleccionar acertadamente el método y los instrumentos apropiados para cada caso particular, pero este se desarrolla a medida que se va adquiriendo experiencia.

Todo el equipo y los instrumentos utilizados deben manejarse con todo cuidado; no solo porque son costosos, sino también porque deben de conservarse en buen estado si se requiere obtener con ellos los resultados esperados.

A manera de comentario para proseguir adelante, puedo decir que a veces, cuando se miden grandes distancias, es preciso considerar la curvatura de la tierra (en nuestro caso aeroportuario, son distancias de consideración,

pero no llega al grado de que nos afecte a gran escala en alguna forma, en no considerar la curvatura de la tierra), pero para levantamientos en áreas más limitadas, se puede proceder como si el terreno donde éstos se ejecutan fueran totalmente planos.

El teodolito o tránsito fué construido por Sisson, en el año de -- 1730. La palabra tránsito, muy generalizada en nuestro país, es un angli-- sismo y no tiene sentido en castellano. Sus partes esenciales son telesco-- pio eje aizumtal, limbo horizontal, eje de alturas y limbo vertical.

El teodolito debe cumplir con ciertas condiciones esenciales a sa-- ber:

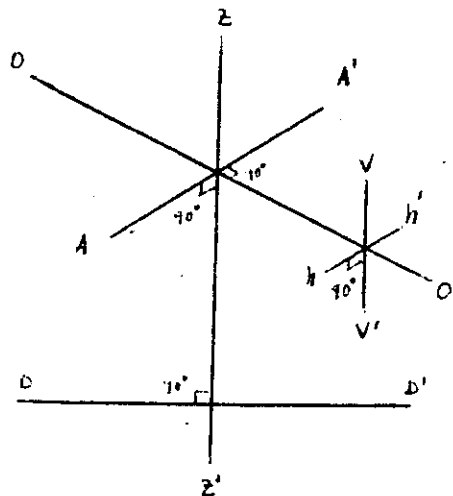
El hilo vertical de la retícula debe estar contenido en un plano perpendicu-- lar al eje de alturas AA.

La línea de colimación debe ser perpendicular al eje de alturas AA'.

El eje de alturas debe ser perpendicular al eje azimutal ZZ'. La directriz del nivel del limbo superior debe ser perpendicular al eje azimutal.

Donde:

- VV' : Hilo vertical
- hh' : Hilo horizontal
- OO' : Línea de colimación
- AA' : Eje de alturas
- ZZ' : Eje azimutal
- DD' : Directriz del nivel
- O : Centro óptico del objetivo.



Los ajustes a que está sujeto el teodolito, son de la siguiente manera, para que al realizar un determinado ajuste, éste no destruya a los demás. se procede en el siguiente orden:

AJUSTE DE LOS NIVELES: La directriz del nivel debe ser perpendicular al eje azimutal.

AJUSTE DE LOS HILOS DE LA RETICULA. El hilo vertical de la reticula, debe estar contenido en un plano perpendicular al eje de alturas.

AJUSTE DE LA LINEA DE COLIMACION. La línea de colimación es la que une el punto de intersección de los hilos vertical y horizontal de la reticula y el centro óptico del objetivo, por lo tanto para su ajuste total, necesita de dos ajustes, el del hilo vertical y el del hilo horizontal.

AJUSTE DEL EJE DE ALTURAS. El eje de alturas debe ser perpendicular al eje vertical. Cuando el instrumento está nivelado, el eje de alturas debe estar horizontal y la línea de colimación debe describir un plano vertical.

AJUSTE DEL NIVEL UNIDO AL TELESCOPIO. La directriz del nivel y la línea de colimación deben ser paralelas. Esta condición es indispensable cuando se ejecuta nivelación o estadimetría.

#### LEVANTAMIENTO DE POLIGONALES.

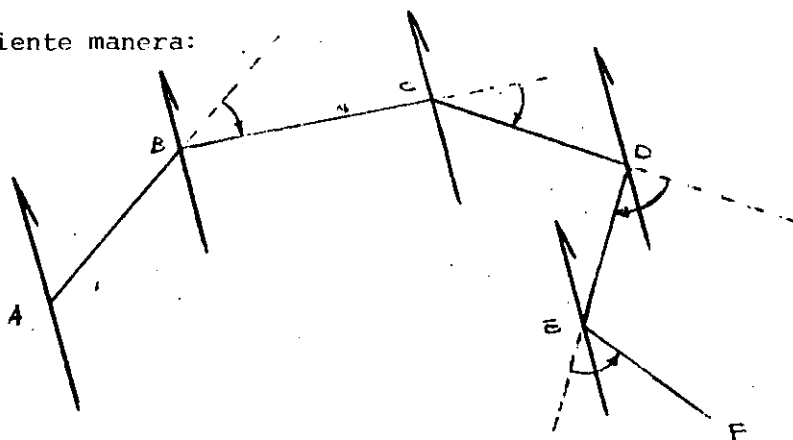
Las poligonales pueden ser cerradas o abiertas, el cierre angular y lineal de las primeras se puede comprobar fácilmente, pues se regresa al punto de partida, el cual debe coincidir con el que da el levantamiento.

En los levantamientos de cierta importancia conviene referir las direcciones de los lados a la meridiana astronómica, y esto puede hacerse ligando la poligonal, en nuestro caso, al eje de la pista que es donde se determina

directamente el azimut astronómico o en su defecto el rumbo astronómico calculado (.R.A.C.)

Las lecturas angulares pueden hacerse de 3 maneras diferentes, las cuales son: midiendo los ángulos entre dos lados consecutivos; midiendo los ángulos suplementarios. Este método en nuestro país es llamado de deflexiones y por el método de conservación de azimutes.

El método para la medición de ángulos a emplear en nuestro caso, será el de ángulos suplementarios o método de deflexiones, el cual se efectúa de la siguiente manera:



Se hace estación en B, se pone el índice del vernier en coincidencia con cero de la graduación, se fija el movimiento de la alidada, se dirige la visual al punto de atrás A, se fija el movimiento del limbo; se hace girar el anteojo alrededor del eje de alturas para que la línea de colimación quede en la prolongación del lado AB y, por último, con el movimiento de la alidada se dirige la visual al punto C. La lectura del círculo horizontal del teodolito se designa con el nombre de deflexión derecha o izquierda, según el ángulo se mida a la derecha o a la izquierda y se designa con la letra D e I respectivamente. Esta misma secuencia se ejecuta en todos los puntos hasta llegar al punto de partida, puesto que estamos hablando de un polígono cerrado.

Como se va a trabajar con un polígono cerrado y se utiliza el método de deflexiones, la suma de las deflexiones derechas e izquierdas con signo (+) y (-) respectivamente, debe ser igual a  $360^{\circ}$ .

La tolerancia angular está dada por la ecuación  $a \sqrt{n}$  obtenida de la teoría de los errores, donde  $a$  es la aproximación del aparato utilizado y  $n$  el número de vértices.

De lo anterior se tiene a nivel de aplicación, un polígono de 5 lados, con un aparato de 1' de aproximación, de donde se tiene que:

$$\begin{aligned} \text{TOLERANCIA} &= a \sqrt{n} \\ &= 1' \sqrt{5} = 2' \end{aligned}$$

La suma de deflexiones derechas (+) e izquierdas (-) rigurosamente -- tiene que ser  $360^{\circ}$ , pero aplicando la tolerancia, la suma de deflexiones derechas e izquierdas puede estar entre  $359^{\circ}58'$  ó  $360^{\circ}02'$ .

Si el error es tolerable, se compensa, repartiendo el error entre todos los ángulos del polígono por igual, siempre que todos ellos hayan sido medidos en igualdad de condiciones, o se reparten arbitrariamente aplicando el criterio que convenga según las condiciones que hayan prevalecido en campo al ejecutar cada una de las medidas de los ángulos y la longitud de los lados. Debe procurarse variar lo menos posible los ángulos formados por lados largos para afectar la figura lo mínimo posible.

Obtenida la compensación angular de todos y cada uno de los ángulos -- medidos, enseguida apoyados en el R.A.C. base o sea el R.A.C. de la pista, se procede a calcular los rumbos de cada lado del polígono.

Para obtener los rumbos de los lados se pueden seguir las siguientes reglas: si el lado AB está en el cuadrante NE o en el SW, se agrega al rumbo --

del lado las deflexiones derechas y se restan las izquierdas; si está en los cuadrantes SE o NW, se procede a la inversa. Cuando la suma del rumbo con la deflexión exceda de  $90^\circ$  se toma el suplemento y se cambia la letra N por S, y viceversa; y así al tomar la diferencia entre un rumbo y la deflexión, ésta resulta negativa, se cambia la letra E por la W y viceversa.

Como ejemplo de lo anterior, si el R.A.C. de AB es  $N 30^\circ 20' E$ , ver -- fig. anterior y la deflexión de BC es  $40^\circ 00' D$ , el rumbo de BC será igual a  $30^\circ 20' + 40^\circ 00' = N 70^\circ 20' E$ . Si al hacer estación en C, la deflexión resultó igual a  $43^\circ 20' D$ , la suma del rumbo con esta será:  $113^\circ 40'$  y por pasar de  $90^\circ$  se toma el suplemento, y se cambia la letra N por la S, se obtiene  $S 66^\circ 20' E$  para rumbo CD. En D, siendo la deflexión  $75^\circ 12' D$  el rumbo de DE será  $76^\circ 12' - 66^\circ 20' = S 9^\circ 52' W$ . En E, si la deflexión es  $20^\circ 30' I$ , el rumbo de EF será -- igual a  $20^\circ 30' - 9^\circ 52' = S 10^\circ 38' E$ .

Calculados los rumbos procederemos a dar algunos conceptos sobre la tolerancia de cierre lineal de un polígono levantado con teodolito y cadena.

La fórmula que a continuación se presenta está basada en la teoría de los errores y la compensación:

$$T = \sqrt{P (0.00000018PM^2 + 0.2 W^2)} + KD$$

donde T, la tolerancia o error máximo que puede admitirse en el cierre de una poligonal; P el desarrollo de esta en metros; D la distancia entre las puntas inicial y terminal; M el error medio de un ángulo observado; W el error medio de una puesta de cadena y K, el error sistemático por metro, a continuación se presenta la tabla siguiente:

M	W	K	FORMULAS PRACTICAS	ORDEN	P=D Para 10km	P=D Para 1km
1/4	0.01	0.0001	$T = P(0.00000001/P) + 0.0002 + 0.0001 D$	Precisa	2.2	0.28
1/2	0.02	0.0003	$T = P(0.000000045/P) + 0.00008 + 0.0003 D$	1 <sup>er</sup>	5.3	0.65
1	0.03	0.0005	$T = P(0.00000018/P) + 0.0002 + 0.0005 D$	2°	9.5	1.10
1.5	0.05	0.001	$T = P(0.00000040/P) + 0.0005 + 0.001 D$	3°	16.8	1.95

ORDEN	POLIGONALES CERRADAS TOLERANCIA =	ABIERTAS TOLERANCIA =	PARA 20 Km		PARA 50 Km.	
			Cerradas	Abiertas	Cerradas	Abiertas
Precisas	0.00011 P	0.00021 P	2.2	4.2	5.5	10.5
Primero	0.00021 P	0.00051 P	4.2	10.2	10.5	25.5
Segundo	0.00042 P	0.00092 P	8.4	18.4	21.0	46.0
Tercero	0.00064 P	0.00164 P	12.8	32.8	32.0	82.0



Para poligonales de más de 15 km se puede despreñar el segundo término bajo el radical, con lo cual se obtienen las fórmulas:

Revisa al cuadro de la hoja anterior:

Cuando se miden las distancias con cadena, se puede usar la fórmula anterior, multiplicándola por 1.5.

En la ejecución de poligonales para aeropuertos se utilizará  $T = 0.00021 P$ , salvo en su debida oportunidad se indique lo contrario, en base a lo anterior y al tipo de instrumental utilizado.

#### CIERRE LINEAL Y COMPENSACION DEL POLIGONO.

La condición para que un polígono cierre linealmente, es que la suma algebraica de la proyección de sus lados sobre 2 ejes rectangulares sea nula, independientemente en cada eje.

La orientación que más conviene para los ejes, es la de los puntos cardinales, es decir, tomar ejes Norte-Sur y Este-Oeste, pues tenemos los ángulos que forman cada lado, con ellos que son los rumbos astronómicos antes calculados de cada lado del polígono.

#### CONDICIONES DE CIERRE LINEAL.

$$\sum \text{de proyec. en N} - \text{de proyec. en S} = 0$$

$$\sum \text{de proyec. en E} - \text{de proyec. en W} = 0$$

Se tiene que para cada lado del polígono:

$$\text{Proy. sobre eje (N-S)} = \text{long. del lado} \times \cos. \text{ R.A.C.}$$

$$\text{Proy. sobre eje X (E-W)} = \text{Long. del lado} \times \text{sen R. A. C.}$$

Los rumbos que se están utilizando, deben ser calculados en base R.A.C. de acuerdo a las deflexiones compensadas.

Las proyecciones hacia el N y hacia el E serán positivas y negativas hacia el S y el W.

Recorriendo el polígono en un mismo sentido, las iniciales de sus rumbos dan el sentido de las proyecciones. Así por ejemplo, un lado del rumbo SW, se proyectará al sur y al oeste.

El error en cada eje es la diferencia entre las sumas de proyecciones y el error total (E<sub>T</sub>) es la hipotenusa del triángulo formado por ambos errores.

Error por unidad de long. del polígono: 
$$\frac{E_T}{\text{long. total del polígono}}$$

esta expresión se acostumbra ponerla con la unidad en el numerador para hacerla más objetiva y también para compararla con las especificaciones que se fijan para diversas clases de trabajos.

Si 
$$\begin{cases} E_T \leq \text{tolerancia, se compensa} \\ E_T > \text{tolerancia; se repite o se revisa para encontrar algún error o errores que hayan causado que se excediera de lo tolerable.} \end{cases}$$

Si resultase que el error total lineal es menor que la tolerancia especificada, se compensa para llegar al cierre perfecto.

La compensación puede hacerse por varios procedimientos, de los cuales los más empleados son la regla de la brújula y la regla del tránsito.

El procedimiento que se utilizará en este caso, será la regla del tránsito:

La regla del tránsito está basada en:

- 1o.- En que los errores en el levantamiento son accidentales.
- 2o.- Que las medidas de ángulos son más precisas que las medidas de longitud.

Con esta regla se corrige proporcionalmente a las proyecciones de los lados y se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Correc. } X_y = \left( \frac{E_{x_y}}{\text{proys. } X_y} \right) \text{ Proy. del lado } X_y$$

aquí el paréntesis contiene una constante que es el error por unidad de proyección.

Para comprobación de las correcciones calculadas debe cumplirse que:

$$\sum C_x = E_x \quad ; \quad \sum C_y = E_y$$

El signo de las correcciones será tal que se sumen a las proyecciones cuya suma sea menor, o se resten a las proyecciones cuya suma es mayor.

Corregidas las proyecciones, tomando unas coordenadas arbitrarias para el punto de partida de "X" e "Y" se procede a calcular en base a éstas, las coordenadas de los subsecuentes puntos, para posteriormente, con estas mismas dibujar el polígono y también obtener el área como se explicará más adelante. Las coordenadas de partida para el ejemplo que se va a realizar serán para:

$$X = 10,000 \text{ y } Y = 20,000.$$

Cabe hacer notar que en ciertas ocasiones es preferible ligar estas poligonales a vértices geodésicos establecidos por el Instituto Nacional de Geografía e Informática, para no tener un origen de coordenadas arbitrarias y así tener nuestro trabajo referido al sistema coordinado nacional.

Es recomendable que para realizar este tipo de ligas a este tipo de

vértices; el trabajo realizado por uno debe ser de cierta calidad y precisión acorde a los puntos a ligarse.

Para obtener las coordenadas de los puntos subsecuentes se procede como sigue: Se tiene la coordenada del punto inicial en  $Y$ , a esta se le suma la proyección corregida del lado siguiente, si es proyección norte, o se resta si es proyección sur; esto es en cuanto la coordenada  $Y$ . En cuanto a coordenada  $X$ , se le suma la proyección corregida del lado siguiente, si es proyección Este, o se le resta si es proyección Oeste. Así se procede subsecuentemente con los demás puntos, hasta volver a obtener la coordenada de partida, pues hay que recordar que estamos hablando de una poligonal cerrada; por tal motivo, se tiene que llegar al punto de partida.

A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo de un polígono, considerando distancias medidas en campo y deflexiones ya compensadas, así como -- ya obtenidos los rumbos calculados.

LADO		Distancia	Rumbo Astronómico	Proyecciones sin corregir				Correcc.		Proyecciones Corregidas				Coordenadas	
Est.	P.V.			N(+)	S(-)	E(+)	W(-)	Y'	X'	N(+)	S(-)	E(+)	W(-)	Y	X
	0												20000.00	10000.00	
0	1	200.00	S 15° 19' W	192.90		52.83		+0.03	0.00	192.87		52.83	19807.13	9947.17	
1	2	231.33	S 77° 55' E	48.43	226.20			+0.01	+0.01	48.42	226.21		19758.71	10173.38	
2	3	117.69	N 56° 39' E	64.70		98.31		+0.01	0.00	64.71		98.31	19823.42	10271.69	
3	4	55.95	N 40° 50' E	65.03		56.20		+0.01	0.00	65.04		56.20	19888.46	11327.89	
4	5	35.43	N 21° 47' E	32.90		13.15		0.00	0.00	32.90		13.15	19921.36	10341.04	
5	0	350.00	N 77° 01' W	28.63			341.05	+0.01	+0.01	28.64		341.04	20000.00	10000.00	
		1042.40		241.26	241.33	393.86	393.88	0.07	0.02	241.29	241.29	393.87	393.87		

Del cuadro anterior se tiene que la suma de todas las distancias medidas de cada uno de los lados, es igual a 1,042.40 m, de donde, obteniendo la tolerancia máxima para este trabajo, de lo explicado a lo concerniente a las tolerancias se tiene que:

$$T = 0.00021P$$

$$T = 0.00021 \times 1,042.40 = 0.21 \text{ m}$$

Tomando en cuenta que no podemos sustraernos de las nuevas computadoras de bolsillo, se tiene que las proyecciones sin corregir se pueden obtener por medio de coordenadas polares, ya que tenemos que la distancia es el radio (r) y el R.A.C., el ángulo ( $\theta$ ) de donde con r y  $\theta$

$$X = r \cos \theta$$

$$Y = r \sin \theta$$

que pueden ser obtenidos muy fácilmente en tales computadoras y así obtener todas las proyecciones sin corregir. Al obtener tales proyecciones en seguida se suma la columna de N, S, E y W cuyos respectivos valores son:

$$\Sigma N = 241.26; \Sigma S = 241.33$$

$$\Sigma E = 393.86; \Sigma W = 393.88$$

Donde recordando la condición de cierre lineal se tiene:

$$\Sigma N - \Sigma S = 0 ; 241.26 - 241.33 = 0.07 \text{ m}$$

$$\Sigma E - \Sigma W = 0 ; 393.86 - 393.88 = 0.02 \text{ m}$$

como se observa, no se cumple la condición de cierre lineal. se tiene un error total  $E_T$  ;

$$E_T = \sqrt{(\Sigma N - \Sigma S)^2 + (\Sigma E - \Sigma W)^2}$$
$$E_T = \sqrt{0.07^2 + 0.02^2} = 0.07 \text{ m.}$$

teniendo en cuenta que si:

$$E_T \leq \text{a tolerancia; se compensa } 0.07 \leq 0.21$$

por tal motivo este poligono se puede compensar.

Para observar la precisión del trabajo realizado, se tiene que:

$$\text{Error por unidad de longitud} = \frac{Er}{\text{long. total del poligono}} = \frac{0.07}{1042.40}$$

$$\text{Error por unidad de long.} = \frac{1}{14891}$$

Recurriendo a lo tratado en lo referente a compensación del polígono aplicaremos la regla del tránsito.

$$\Sigma \text{ Proy. en } Y_{N-S} = 241.26 + 241.33$$

$$\Sigma \text{ Proy. en } X_{E-W} = 393.86 + 393.88$$

$$= 787.74$$

De donde obteniendo la corrección para el lado 0-1 se tiene:

$$\text{Correcc. en } Y = \left( \frac{0.07}{482.59} \right) \times 192.90 = + 0.03$$

$$\text{Correc. en } X = \left( \frac{0.02}{787.74} \right) \times 226.20 = 0.01$$

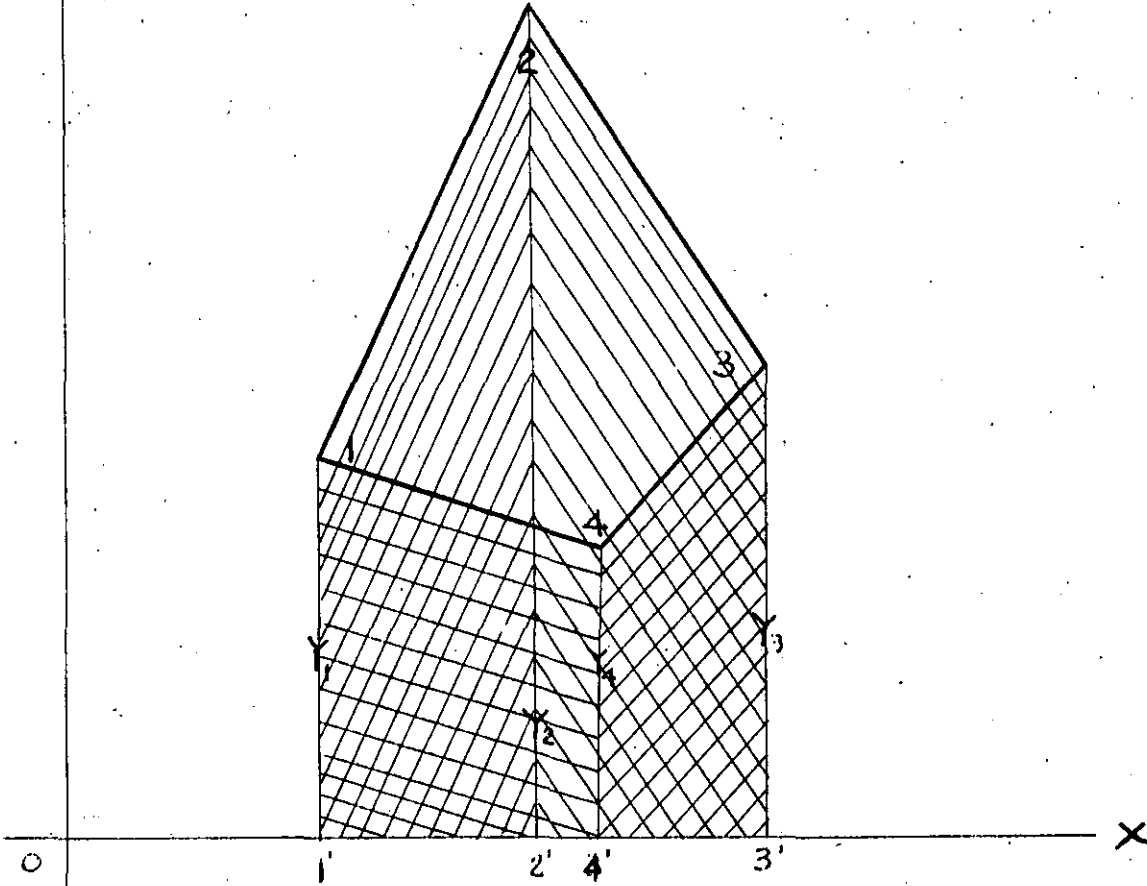
como se procedió en este lado, se procede con los demás que requieran corrección, sumando o restando estas correcciones a las proyecciones sin corregir de acuerdo a lo expuesto anteriormente, como resultado obtenemos las proyecciones corregidas.

De estas proyecciones obtenemos las coordenadas, partiendo de las elegidas arbitrariamente para el punto 0.

La determinación analítica del área del polígono, la determinaremos por el método de las coordenadas.

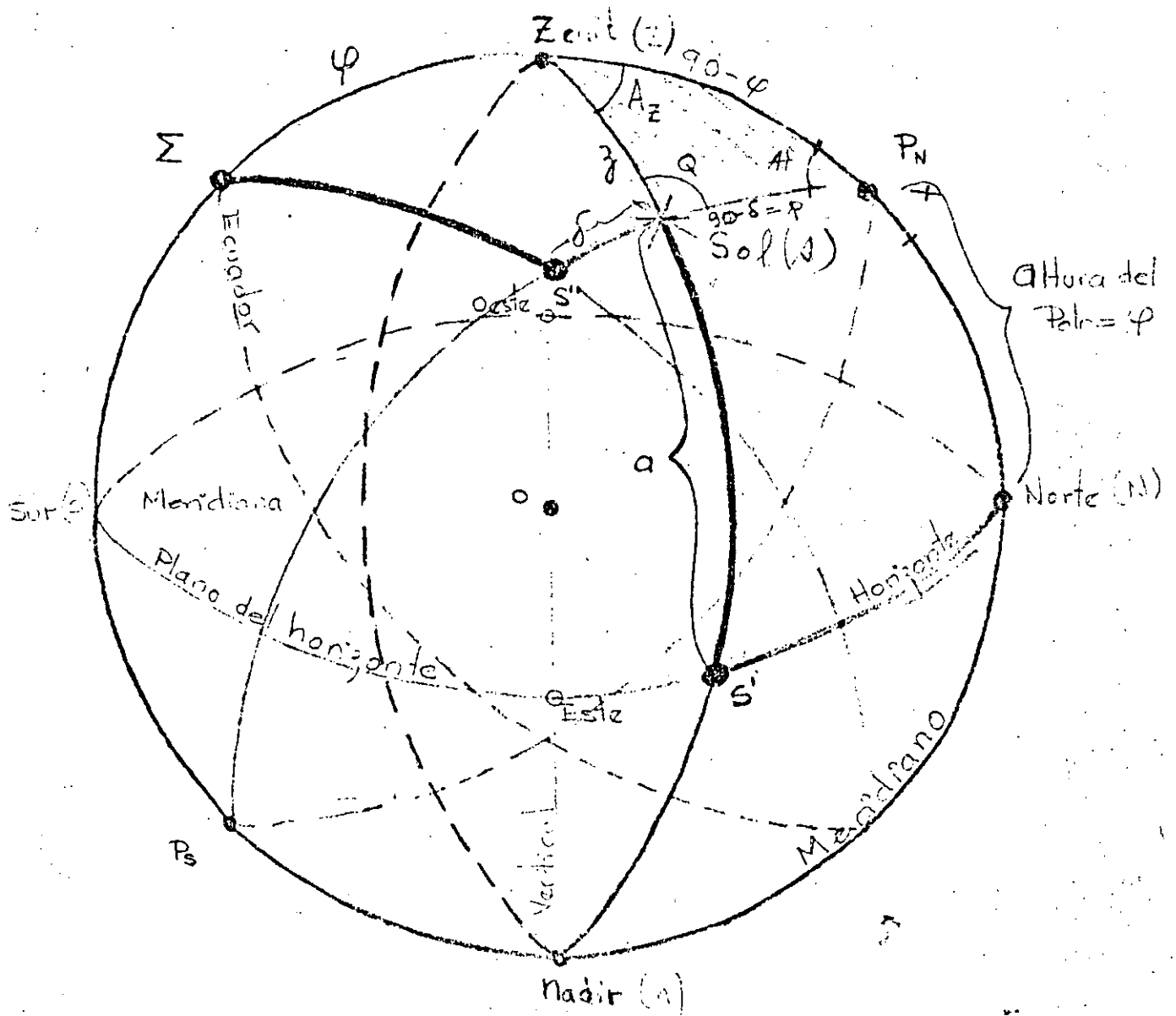
Este método se emplea cuando se conocen las coordenadas de los vértices del polígono.

Y





# Esfera Celeste



## I N T R O D U C C I O N .

## GENERALIDADES:

En cualquier lugar de la tierra en que nos encontremos, estaremos rodeados de un espacio que se extiende por igual en todas direcciones y que no tiene límite. Este espacio es la "esfera o bóveda celeste" y en ella se encuentran todos los cuerpos celestes, inclusive los que forman nuestro sistema planetario.

Dentro del CONCEPTO ASTRONÓMICO, la tierra tiene la forma de una esfera cuyo radio mide aproximadamente 6,378 km. Desde su superficie podemos contemplar un gran número de cuerpos que pueblan el universo y que utilizamos para resolver los problemas de la astronomía práctica que se va a desarrollar.

A continuación definiremos algunos conceptos como líneas, planos y círculos que componen la esfera celeste.

La primera línea que podemos apreciar es la "vertical" que está contenida entre el zenit hacia arriba del observador y nadir, hacia abajo.

Se puede considerar la segunda línea en importancia al "eje polar", cuya intersección con la superficie de la tierra materializa los polos norte y sur.

La tercera línea es la meridiana que es la intersección de los planos del meridiano y del horizonte.

Los planos que relacionan las líneas antes descritas son: Planos verticales; aquellos que contienen una línea vertical, por cada lugar de la tierra pueden pasar varios planos verticales.

El plano meridiano que es un plano vertical que contiene la línea de los polos y a la línea del zenit-nadir. Por cada lugar de la línea, solo pasa un plano meridiano y los planos o círculos

horarios, que son los que contienen a la línea de los polos.

A continuación se definirán en orden de importancia los planos siguientes:

El plano del horizonte que divide la esfera en 2 partes iguales y es perpendicular a la vertical del lugar. El primer vertical es el que forma un ángulo de  $90^{\circ}$  con el plano del meridiano.

El plano del ecuador divide la esfera celeste en dos partes iguales y es perpendicular al eje del mundo.

Los círculos horarios son los que contienen al eje del mundo.

Recordando la definición de la meridiana, la intersección de esta línea con la esfera celeste marca los puntos cardinales N y S (norte y Sur).

La intersección del primer vertical con el plano del horizonte corta la esfera en los puntos E y W (Este y Oeste).

#### COORDENADAS CELESTES.

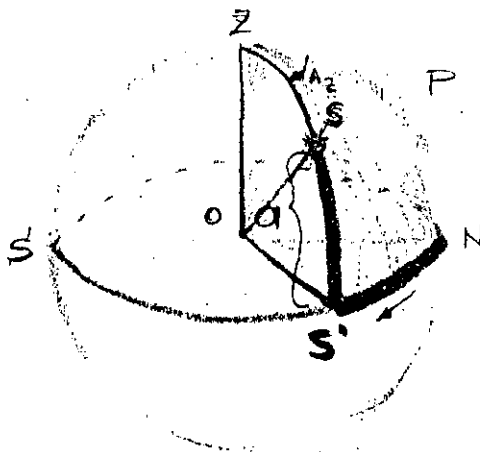
Para fijar la posición de un astro, en este caso el sol, en la esfera celeste la astronomía de posición se vale de alguno los tres sistemas de coordenadas existentes cuyas características generales, son:

- a).- El punto origen de todos los sistemas es el centro de la esfera celeste.
- b).- Cada sistema tiene un plano fundamental y un radio vector.
- c).- En cada sistema una de las coordenadas se mide a partir de una dirección fija del plano fundamental hacia  $360^{\circ}$ , la otra coordenada se mide a uno y otro lado del plano fundamental de  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$ .

A continuación se describirán brevemente dos de estos tres sistemas de coordenadas que nos servirán para nuestro objetivo (El cálculo de coordenadas astronómicas o geográficas).

En el primer sistema el plano fundamental es el horizonte y el radio vector, la meridiana. Las coordenadas se llaman Azimut y altura respectivamente.

En la siguiente figura, extraída de la esfera celeste y recordando los conceptos de líneas y círculos descritos anteriormente,  $S S' N$  representan el plano horizontal,  $PZ$ , el plano meridiano y  $NS$  la intersección de ambos planos, o sea la meridiana,  $S$  representa el lugar ocupado por el cuerpo celeste y  $ZSS'$  un círculo vertical que pasa por él.



El ángulo  $SZP$  se llama azimut y como se ve en la figura, es igual al formado en el plano del horizonte por la meridiana  $NS$  y la proyección de la visual  $OS$ .

Para usos topográficos y en la navegación en el hemisferio Norte se acostumbra medir los azimuts a partir del norte hacia el Este.

La otra coordenada en este sistema es el ángulo  $SOS'$  formado por la visual al astro y su proyección sobre el plano del horizonte se llama altura y se mide  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . El complemento de este ángulo  $ZOS$  es la distancia zeni-

tal del metro.

Si designamos por "a" como la altura del astro y por "z" a la distancia zenital se tiene:

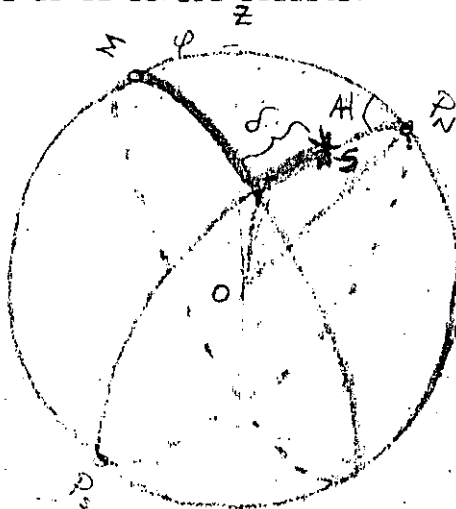
$$a + z = 90^{\circ}$$

Cabe hacer notar que este sistema se adapta a la determinación de las coordenadas de un astro por medio del teodolito pues estando nivelado el instrumento y orientado en dirección del meridiano, las indicaciones del círculo horizontal serán azimutes y las del círculo vertical serán alturas.

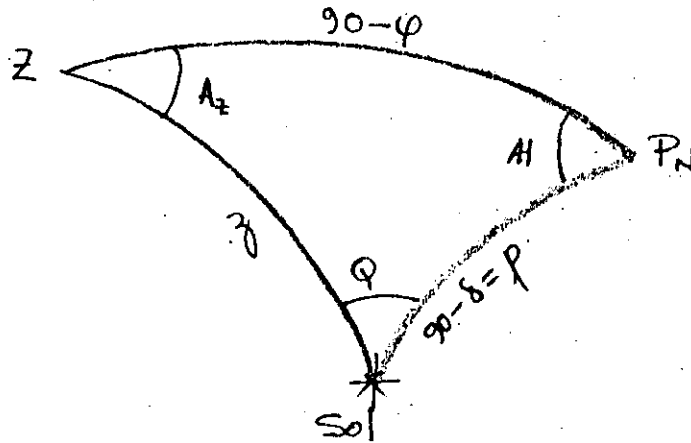
Pero, debido al movimiento diurno aparente de los astros, ambas coordenadas variarán continuamente y será preciso un tercer elemento para fijarlas, este elemento es la "hora".

En el segundo sistema el plano fundamental es el ecuador y el radio-vector, la meridiana. Las coordenadas se llaman ángulo horario y declinación.

El ángulo formado por el plano meridiano  $P_n P_s$  y el círculo horario "PSS" es el horario del astro. Se cuenta a partir del meridiano hacia el Oeste en el sentido de la flecha y de  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$ . A continuación se presenta la figura extraída de la esfera celeste.



REPRESENTACION DEL TRIANGULO ESFERICO DE LA FIG. ANTERIOR.



En seguida podemos escribir las fórmulas fundamentales del triángulo esférico en función de los elementos del triángulo astronómico.

FORMULAS DEL COSENO:

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos A$$

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z + \cos \varphi \sin z \cos A_z$$

$$\sin \varphi = \sin \delta \cos z + \cos \delta \sin z \cos Q$$

FORMULAS DEL SENO = COSENO

$$\sin z \cos A_z = \cos \varphi \sin \delta - \sin \varphi \cos \delta \cos A$$

$$\sin z \cos Q = \sin \varphi \cos \delta - \sin \delta \cos \varphi \cos A$$

$$\cos \varphi \cos A = \cos z \cos \delta - \sin z \sin \delta \cos Q$$

$$\cos \varphi \cos A_z = \sin \delta \sin z - \cos \delta \cos z \cos Q$$

$$\cos \delta \cos A = \cos z \cos \varphi - \sin z \sin \varphi \cos A_z$$

$$\cos \delta \cos Q = \sin \varphi \sin z - \cos \varphi \cos z \cos A_z$$

RELACION DE LOS SENOS:

$$\frac{\sin z}{\sin A} = \frac{\cos \delta}{\sin A_z} = \frac{\cos \varphi}{\sin Q}$$

## CORRECCIONES A LAS COORDENADAS

Las observaciones que se efectúan a los astros con los instrumentos apropiados, resultan siempre alteradas por los errores debidos a la imperfección de los instrumentos usados, a la manera de utilizarlos, al medio donde se efectúan las observaciones, al lugar ocupado por el observador, así como por el punto visado del astro cuando se tiene un diámetro sensiblemente grande, como en el caso del sol y la luna.

## CORRECCIONES QUE DEBEN APLICARSE A LAS OBSERVACIONES

- a).- Instrumentales
  - b).- Por defectos de observación.
  - c).- Por la desviación de los rayos al atravesar la atmósfera (refracción atmosférica).
  - d).- Debido al lugar ocupado por el observador (paralaje).
  - e).- Por el punto visado del astro; semidiámetro.
- A.- CORRECCIONES POR ERRORES INSTRUMENTALES:

Pueden ser los debidos a los errores de graduación y excentricidad.- Se reducen unos y se eliminan los otros, haciendo varias series de observación, con diversos orígenes del instrumento y leyendo los 7 o más verniers del mismo.

Los errores de colimación horizontal y vertical del anteojo, se eliminan, haciendo las observaciones en las 2 posiciones del instrumento; es decir, con el círculo vertical del mismo a la izquierda y a la derecha del observador, sucesivamente.

El error de índice debe determinarse siempre al principio de una serie de observaciones, cuando se observa con teodolito el error de índice del círculo vertical, se determina nivelando perfectamente el instrumento con el nivel del anteojo y observando la lectura del círculo vertical cuando el anteojo esté horizontal; esta lectura es el error de índice.

La astronomía de posición determina solamente la latitud geográfica (ver fig). En esta figura los ángulos  $P_n$  Norte y  $Z_o$  representan la latitud del lugar  $O$ , coordenada que se cuenta hacia el norte y hacia el sur del ecuador a la cual se le pospone la letra N ó S.

En la hoja donde encontramos el triángulo astronómico y partiendo de éste para encontrar la ecuación que nos proporciona la latitud, en base a las fórmulas fundamentales del triángulo, tenemos que:

$$\text{Sen } Q = \text{Sen } A_m \text{ sen } \delta + \text{Cos } A_m \text{ Cos } Q \text{ cos } \delta$$

donde:

$$\text{Tan } Q = \frac{A_2 - A_1}{B \text{ Cos } A_m} ; A_m = \frac{A_2 + A_1}{2}$$

Comentarios con respecto a las observaciones solares para obtención de las coordenadas geográficas.

Para obtener un buen resultado en el trabajo realizado o por realizar es indispensable observar el sol a una altura de  $20^\circ$  a  $30^\circ$  ó entre  $70^\circ$  y  $80^\circ$  de distancia zenital o en su defecto entre las 7:30 horas y 10 horas dependiendo del lugar en que se encuentre uno en la República Mexicana, esto es válido cuando se observa por la mañana y si se llega a observar por la tarde las horas pertinentes son entre las 3:30 horas y las 17:30 horas.

Los ángulos obtenidos de preferencia deberán ser medidos en el sentido de las manecillas del reloj para facilitar los cálculos.

Se realizaron dos observaciones, dejando un intervalo de 20 min., en la primera observación y la segunda observación; cada una se integrará por cuatro series, una de ellas estará formada por una posición directa y una posi-



ción inversa, entendiéndose como posición directa, cuando el círculo vertical del teodolito queda a la izquierda del observador y la posición inversa, cuando el círculo vertical queda a la derecha de éste.

Entre posición directa e inversa, y entre serie y serie, no debe haber un intervalo de tiempo mayor 1.5 min. para que conserven cierta semejanza los ángulos y tiempos entre serie y serie.

Como recomendación al realizar las tangencias con los hilos de la retícula, el vertical y horizontal, es conveniente elegir el cuadrante adecuado tomando en cuenta el movimiento aparente del sol.

Con las observaciones realizadas se presenta el registro de campo - mostrándonos las series 1 y 5 de un par de observaciones, que servirán para realizar los cálculos de las coordenadas geográficas; el procedimiento que se seguirá con las series 1 y 5, se deben seguir con las series 2 y 6, 3 y 7, 4 y 8.

SERIE	POSICION	TIEMPO	CIRC. HOR.	CIRC. VERT.
1	*+ Dir.	8 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 49 <sup>s</sup>	56° 05' 24"	17° 57' 48"
	*- Inv.	8 25 20	55° 29' 00"	18° 44' 00"
	PROMEDIOS	8 24 34.5	55° 47' 12" = (CH) <sub>1</sub>	18 20 54 = a <sub>1</sub>
5	*+ Dir.	8 50 48	53 26 06	24 15 36
	*- Inv.	8 52 10	52 47 48	24 58 54
	PROMEDIOS	8 51 29	53 06 57 = (CH) <sub>2</sub>	24 37 15 = a <sub>2</sub>

DESARROLLO DEL CALCULO PARA LA LATITUD

La numeración que se utilizará a continuación, corresponde a la que contiene la hoja para el cálculo de la latitud.

1 y 2.- Esta información va a depender del tipo de aparato que se utilice ya que unos dan altura y otros distancia zenitales. En el registro de campo se tienen alturas, por lo cual se tiene que para el punto

1, será:

$$a_1 = 18^{\circ}20'54''$$

y para el punto 2 será:

$$\begin{aligned} i_1 &= 90^{\circ} - a_1 \\ &= 71^{\circ}39'06'' \end{aligned}$$

3.- CORRECCION POR REFRACCION: En este punto se necesitan datos adicionales como son: Presión atmosférica y temperatura para aplicar la fórmula que se obtuvo en la corrección por refracción. Esta información se obtendrá en el lugar de observación, por medio de un barómetro y un termómetro, de donde, aplicando la fórmula:

$$R'' = 60''.6 \cot a \frac{Px}{762} \frac{1}{1+0.004t} ; \text{ ( En func. de la altura)}$$

$$R'' = 60''.6 \tan z \frac{Px}{762} \frac{1}{1+0.004t} ; \text{ ( En func. de la dist. zenital)}$$

Donde:

a: altura del astro

z: distancia zenital del astro

Px: presión atmosférica del lugar de observación

$$\frac{1}{1+0.004t} ; \text{ factor termométrico}$$

t; Temperatura ambiente del lugar de observación.

En caso de que no se haya tomado esta información, la refracción se obtendrá por medio del factor  $60''.6 \tan z$  y se llama refracción media, la cual se encuentra tabulada en el anuario del Observatorio Astronómico Nacional del Instituto de Astronomía de la U.N.A.M.; en la tabla XVI en

donde el argumento para utilizar dicha tabla es la distancia zenital.

Se hace notar que es recomendable tomar la información mencionada al inicio de este inciso, para aplicar la fórmula mencionada, porque si se recurre a la tabla XVI del anuario ya citado nos encontramos que está calculado para  $t=+10^{\circ}\text{C}$  y una presión barométrica igual a 762 mm de Hg. o sea al nivel del mar, aunque no siempre las observaciones se realizan al nivel del mar, ni tampoco a una temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$ .

En la información de campo proporcionada anteriormente, no se tiene ni la temperatura ni la presión a la hora de observación, por tal motivo recurriremos a la tabla XVI del anuario citado de donde se tendrá que interpolar para obtener la refracción media para  $a_1$  ó  $z_1$  de tal manera:

Interpolando:

Refracción media.	
71°30'	2'52".3
71°39'06"	$R_1$
71°40'	2'53".9
71°39'06" - 71°30'	$R_1 - 2'53".9$
71°40' - 71°30'	2'53".9 - 2'52".3

despejando  $R_1$

$$R_1 = \frac{71^{\circ}39'06'' - 71^{\circ}30'}{71^{\circ}40' - 71^{\circ}30'} (2'53".9 - 2'52".3)$$

$$R_1 = +2'53".76$$

Es prudente mencionar que la refracción tiene signo negativo para las alturas y signo positivo para la distancia zenital de tal manera que se tienen:

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_1 + R_1 \\ &= 71^{\circ}39'06'' + 2'53".76 \end{aligned}$$

$$z_1 = 71^{\circ}41'59''.76 \text{ (Dist. zenital correg. por refracción)}$$

4.- CORRECCION POR PARALAJE: Esta corrección se obtiene por medio de la fórmula siguiente:

$$p = 8''.8 \cos a_1$$

$$p = 8''.8 \operatorname{sen} z_1$$

Como el inciso anterior se utilizó  $a_1$  para obtener la corrección por refracción, en este inciso se utilizará también la distancia pero la corregida por refracción ( $z_1$ ) de donde se tiene:

$$p = 8''.8 \operatorname{sen} 71^{\circ}41'59''.76$$

$$p = 8''.35$$

La corrección por paralaje también se encuentra tabulada en la tabla -- XV del anuario.

El signo de esta corrección es negativo para las distancias zenitales y positivo para las alturas, de donde.

$$Z = z_1 - p$$

$$Z = 71^{\circ}41'59''.76 - 8''.35$$

$$\underline{Z = 71^{\circ}41'51''.41} \text{ ( Dist. zenital correg. por refracc. y paralaje)}$$

6.- ALTURA OBSERVADA: En el inciso 5 va implícito en el resultado del inciso 4, porque como se observa, para realizar la corrección por paralaje es indispensable tomar la distancia zenital corregida por refracción - de donde por consecuencia lógica al corregir tal distancia zenital ( $z_1$ ) se obtendrá el inciso 5.

El inciso en cuestión consiste en cambiar de distancia zenital corregida por refracción y paralaje a altura:

$$A_1 = 90^\circ -$$

$$A_1 = 90^\circ - 71^\circ 41' 51''.41$$

$$A_1 = 18^\circ 18' 08''.59$$

Hasta este inciso corresponde a las correcciones practicadas a la serie

1.

7.- ALTURA APARENTE OBSERVADA: Esta altura corresponde a la  $a_2$  de la serie 5 del registro de campo.

$$a_2 = 24^\circ 37' 15''$$

8.- DISTANCIA ZENITAL APARENTE: Este inciso consiste en cambiar la altura a distancia zenital aparente como sigue:

$$z_2 = 90^\circ - a_2$$

$$z_2 = 90^\circ - 24^\circ 37' 15''$$

$$z_2 = 65^\circ 22' 45''$$

9.- CORRECCION POR REFRACCION: Siguiendo el mismo procedimiento que en el inciso 3 para interpolar y encontrar la corrección correspondiente por refracción para  $z_2$ , se tiene que:

De la interpolación  $R_2$ : 2'06".38

$$Z'_2 = z_2 + R_2$$

$$Z'_2 = 65^\circ 22' 45'' + 2'06''.38$$

$$Z'_2 = 65^\circ 24' 51''.38 \text{ (Dist. zenital corregida por refracción)}$$

10.-CORRECCION POR PARALAJE: Siguiendo el desarrollo del inciso 4 pero ahora utilizando  $Z'_2$  se tiene que:

$$p = 8''$$

11.-DISTANCIA ZENITAL: Este inciso consiste en restarle la corrección por paralaje a la  $Z'_2$  de tal manera que:

$$Z = Z'_2 - p$$

$$Z = 65^{\circ}24'51".38 - 8"$$

$$Z = 65^{\circ}24'43".38 \text{ Dist. zenital corregida por refracción y paralaje.}$$

12.- ALTURA OBSERVADA: Se realizará la transformación de distancia zenital corregida por refracción y paralaje a altura.

$$A_2 = 90^{\circ} - Z$$

$$A_2 = 90^{\circ} - 65^{\circ}24'43".38$$

$$A_2 = 24^{\circ}35'16".62$$

13.- Promedio de alturas corregidas : Este promedio consiste en tomar el resultado del inciso 6 y 12, sumar ambos y dividirlos entre 2.

$$A_m = \frac{18^{\circ}18'08".59 + 24^{\circ}35'16".62}{2}$$

$$A_m = 21^{\circ}26'42".61$$

14.- DIFERENCIA DE ALTURAS CORREGIDAS: Consiste en realizar la diferencia del inciso 12 y del 6.

$$A_2 - A_1 = \frac{24^{\circ}35'16".62 - 18^{\circ}18'08".59}{2}$$

$$A_2 - A_1 = 6^{\circ}17'08".03$$

15.- Consiste en poner el resultado del inciso 14 en minutos y decimales de minuto.

$$A_2 - A_1 = \frac{24^{\circ}35'16".62 - 18^{\circ}18'08".59}{2}$$

$$A_2 - A_1 = 6^{\circ}17'08".03$$

$$A_2 - A_1 = 377.134$$

16.- DIFERENCIA DE  $(CH)_1 - (CH)_2 = B$ : Revertiendo al registro de campo se toma  $(CH)_1$  de la serie 1 y  $(CH)_2$  de la serie 5 y restando ambas obtenemos:

$$B = (CH)_1 - (CH)_2 = 55^{\circ}47'12'' - 53^{\circ}06'57''$$

$$B = 2^{\circ}40'15''$$

17.- (B) EN MINUTOS.- El resultado del inciso anterior se convierte en minutos y decimos:

$$B = 2^{\circ}40'15'' \times 60$$

$$B = 160'.25$$

18.- HORA BASE: Este inciso se basa en que, en el anuario antes mencionado se localizan las Efemérides del Sol para el meridiano  $90^{\circ}WG$  en donde en una de sus columnas nos consigna la declinación a las  $12^h$  tiempo del centro, por tal motivo este inciso es:

$$\text{HORA BASE: } 12^h 00^m 00^s.$$

19.- TIEMPO MEDIO DE LAS 2 OBSERVACIONES: Aquí se recurre al registro de campo en donde se promedian el tiempo de la serie 1 y el tiempo de la serie 5, de tal manera que;

$$\frac{8^h 24^m 34^s.5 + 8^h 51^m 29^s}{2} = 8^h 38^m 01^s.75$$

20.- INTERVALO (HORAS Y FRACCIONES DECIMALES). Consiste en el intervalo que existe entre la hora base y la hora de observación.

$$\text{HORA OBSERVACION: } 8^h 38^m 01^s.75$$

$$\text{HORA BASE: } \underline{12^h 00^m 00^s.00}$$

$$- 3^h 21^m 58^s.25 = - 3^h.366180556$$

Cabe notar en este inciso que si la observación se realiza antes de la hora base, el intervalo será negativo, y si se hace después de la hora base, el intervalo será positivo.

- 21.- VARIACION HORARIA EN DECLINACION: Este dato se consigna en Efemérides del Sol para el meridiano  $90^{\circ}$ WG, para todos los días de cada mes del año, en el anuario antes mencionado.

Para el 15 de marzo de 1983 se localiza la variación horaria en declinación y resulta:

$$VH'' = + 59''.2$$

- 22.- CORRECCION POR INTERVALO: Consiste en la multiplicación del intervalo con la variación horaria con sus respectivos signos:

$$\begin{array}{r} \text{INTERVALO} \text{ -- } -3^{\text{h}}.366180556 \\ \text{VH}'' \quad \quad \quad \times \quad +59''.2 \\ \hline -3'19''.28 \end{array}$$

- 23.- DECLINACION DEL SOL A LAS  $12^{\text{h}}$ T.C.: Se vuelve a recurrir a la Efemérides mencionada en el inciso 21, de donde se obtiene esta declinación para el día, mes y año de donde se tiene:

$$15 \text{ de marzo de } 1984. \text{ Declinación } 12^{\text{h}}\text{T.C.} = \underline{-2^{\circ} 09' 10''.1}$$

- 24.- DECLINACION DEL SOL A LA HORA DE OBSERVACION: En este punto se corrige la declinación de la hora base, a la hora de observación:

$$\begin{array}{r} \text{Declinación } 12^{\text{h}}\text{T.C.} \text{ --- } - 2^{\circ} 09' 10''.10 \\ \text{Corrección por intervalo} \text{ --- } \underline{3' 19''.28} \\ \text{Declinación a la hora de} \\ \text{observ.} \quad \quad \quad \underline{\underline{2^{\circ} 12' 29''.38 = \delta}} \end{array}$$

- 25.- Se divide el resultado del inciso 15 entre el 17, donde se tiene:

$$\frac{377' 134}{160' .25} = \underline{\underline{2.353410}}$$



- 26.- Se aplica la función trigonométrica seno al resultado del inciso 13.

$$\text{Sen } Am = \text{Sen } 21^{\circ} 26' 42''.61 = \underline{0.365611}$$

- 27.- Se aplica la función trigonométrica coseno al resultado del inciso 13.

$$\text{Cos } Am = \text{Cos } 21^{\circ} 26' 42''.61 = \underline{0.930768}$$

- 28.- Se aplica la función trigonométrica seno al resultado del inciso 24.

$$\text{Sen } \delta = \text{sen } (-2^{\circ} 12' 29''.38) = -0.038530$$

- 29.- Se aplica la función trigonométrica coseno al resultado del inciso 24.

$$\text{Coseno } \delta = \text{Cos}(-2^{\circ} 12' 29''.38) = \underline{0.999257}$$

- 30.- Se aplica la función trigonométrica tangente al resultado de dividir el inciso 25 entre inciso 27.

$$\text{Tan } Q = \frac{\text{Tan } 2.353410}{0.930768} = 2.528460$$

- 31.- Se aplica la función trigonométrica ángulo tangente al resultado del inciso 30.

$$Q = \text{angtan } 2.528460 = \underline{68^{\circ} 25' 16''.75}$$

- 32.- Se aplica la función trigonométrica coseno al resultado del inciso 31.

$$\text{Coseno } Q = \text{Cos } 68^{\circ} 25' 16''.75 = \underline{0.367779}$$

- 33.- Se multiplica el resultado del inciso 26 con el inciso 28

$$0.365611 \times (0.038530) = 0.014087$$

- 34.- Se multiplican los resultados de los incisos 27, 29 y 32.

$$0.930768 \times 0.999257 \times 0.367779 = \underline{0.342063}$$

- 35.- Se obtiene el sen  $\phi$  sumando el resultado del inciso 33 con el inciso 34.

$$\text{Sen } \phi = -0.014087 + 0.342063 = \underline{0.327976}$$

36.- Se aplica la función trigonométrica ángulo seno al inciso 35 y obten-  
dremos el valor de

$$\varphi = \text{angsen } 0.327976$$

$$\varphi = 19^{\circ} 08' 45''.50$$

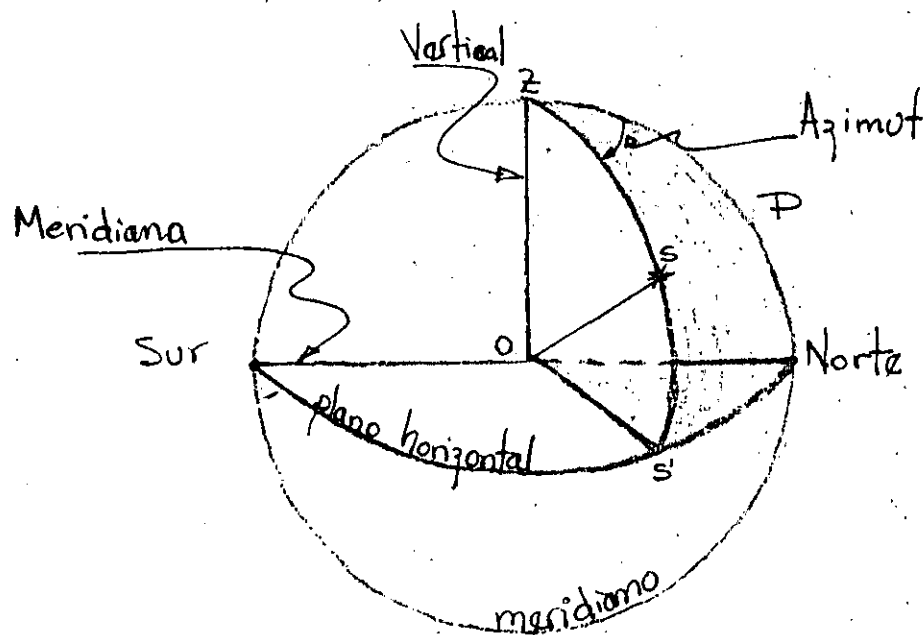
DETERMINACION DEL AZIMUT.

La determinación del azimut de una línea es una de las operaciones más importantes en Geodésia y en Topografía. Es indispensable para el cálculo de posiciones geográficas en los que se basa la construcción de un mapa, así mismo, para obtener las coordenadas ortogonales de un levantamiento topográfico.

Para la navegación aérea y marítima la determinación del azimut o rumbo que debe seguir la nave es una operación de rutina.

El azimut de una dirección se define como el ángulo diedro formado por el plano meridiano que pasa por el lugar y el plano vertical que contiene la dirección dada. Es también el ángulo plano formado por la meridiana y la línea considerada; se mide de  $90^\circ$  a  $360^\circ$ , a partir del norte, en el sentido de las manecillas del reloj (ver fig.).

Según sea la precisión con la que se necesite obtener este dato se elejirá alguno de los métodos, más convenientes para tal caso, así como su instrumental correspondiente, el método a seguir en este caso es "Distancias zenitales de un Astro (Sol)".



En terminos generales la determinación del azimut comprende las operaciones siguientes :

Primero : Medida del ángulo horizontal entre la línea considerada y la visual a un astro.

Segundo : Cálculo astronómico del azimut del astro (sol)

El azimut deseado es igual al azimut del astro más o menos el ángulo horizontal medido.

Recurriendo al triángulo astronómico localizado en la hija # se dedujo la ecuación que se utilizara para obtener el azimut del sol, aplicando las propiedades de la trigonometría esférica a el triángulo se tiene que :

$$\text{Sen } \frac{\text{Az}}{2} = \sqrt{\frac{\text{Sen}((z+\varphi-\delta)/2) \text{ Cos}((z+\varphi+\delta)/2)}{\text{Cos } \varphi \text{ Sen } z}}$$

donde :

$$C = \text{Sen}((z+\varphi-\delta)/2) \text{ Cos}((z+\varphi+\delta)/2)$$

$$D = \text{Cos } \varphi \text{ Sen } z$$

de tal manera que :

$$\text{Sen } \frac{\text{Az}}{2} = \sqrt{\frac{C}{D}}$$

A continuación desarrollaremos la ecuación antes planteada, haciendo notar que una de las observaciones realizadas para el efecto del cálculo de latitud, se puede utilizar para el cálculo del azimut, así que se ha elegido la segunda observación para tal efecto.

De la segunda observación, serie 5 se tiene :

Posición	Punto Visado	Tiempo del Centro	Circulo Horizontal	Circulo Vertical
Directa	Señal Sol	8 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> 48 <sup>s</sup>	306°35'54".00	65°44'24".00
Inversa	Sol Señal	8 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup>	127°12'12".00	294°58'54".00
PROMEDIOS		8 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup>	306°53'03".00	24°37'15".00

Desarrollo de la ecuación de acuerdo al formato de la de calculo

1. HORA BASE : Esta hora base es el instante en el cual esta calculada la declinación para determinado día del año dicho instante son las 12 hrs. del día de realizada la observación :

$$\text{HORA BASE} : 12^{\text{h}} 00^{\text{m}} 00^{\text{s}}$$

2. PROMEDIO DE LA HORA DEL CENTRO DE LA OBSERVACION : Esta información se obtiene del registro de campo, lo cual consiste en el promedio de las horas en que se realizo la observación en posición directa e inversa de una serie :

$$\text{Promedio de la hora de observación} : 8^{\text{h}} 51^{\text{m}} 29^{\text{s}}$$

3. INTERVALO : Es el tiempo transcurrido de la hora de observación promedio a la hora base, de donde se tiene :

$$\begin{aligned} \text{Promedio de la hora de observación} & : 8^{\text{h}} 51^{\text{m}} 29^{\text{s}} \\ \text{Hora base} & : 12^{\text{h}} 00^{\text{m}} 00^{\text{s}} \\ \text{INTERVALO} & : 3^{\text{h}} 08^{\text{m}} 31^{\text{s}} \end{aligned}$$

4. INTERVALO (En horas y decimales) : El inciso 3 se convierte a horas y decimales de horas :

$$\text{INTERVALO} = - 3^{\text{h}}.14194444$$

5. VARIACION HORARIA : Este concepto se encuentra tabulado en las efemerides del sol del anuario :

$$\text{V.H.} = + 59".2$$

6. CORRECCION POR INTERVALO : Es la multiplicación del intervalo por la variación horaria de la declinación que se tiene para el día de la observación :

$$\begin{aligned} \text{INTERVALO} \times \text{V.H.} & = -3^{\text{h}}.14194444 \times 59".2 \\ \text{CORRECC. POR INTERVALO} & = - 3' 06" \end{aligned}$$

7. DECLINACION DEL SOL A LA HORA DE LA HORA BASE 12<sup>h</sup>T.C. : Se obtiene de las efemerides del sol

$$= - 2^{\circ} 09' 10".1$$

8. DECLINACION DEL SOL A LA HORA DE LA OBSERVACION : Consiste en obtener la declinación a la hora de observación, reduciendo la declinación de la hora base a esta :

$$+ \text{CORRECC. POR INTERVALO} = - 2^{\circ}09'10".I + (-3'06") \\ = -2^{\circ}12'16".I$$

9. ALTURA APARENTE OBSERVADA : Es la altura del astro a partir del horizonte hacia este, se obtiene con el teodolito, de donde se tiene del registro de campo :

$$\text{Altura aparente observada} : 24^{\circ}37'15" = a$$

10. DISTANCIA ZENITAL APARENTE : Remontandonos a la hoja #7 encontraremos el significado de este concepto, donde se tiene :

$$90 - \text{altura aparente observada} \\ 90 - 24^{\circ}37'15" = 65^{\circ}22'45" \text{ (Dist. zenital Aparente } z)$$

11. CORRECCION POR REFRACCION : Si consultamos el inciso CORRECCIONES QUE SE LE HACEN A LAS COORDENADAS encontraremos los fundamentos de esta corrección o en su defecto consultar el inciso 3 del cálculo de la Latitud, de tal manera se tiene :

Como no se tomo la presión barométrica y la temperatura recurriremos a la tabla XVI del anuario, donde se interpolara de tal manera que :

65°20'00"	-----	2'06".I
65°22'45"	-----	R
65°30'00"	-----	2'07".I
<u>2'45"</u>	=	<u>R-2'06".I</u>
10'		I"

$$R = \frac{2'45"}{10'} \times I" + 2'06".I$$

$$R = 2'06".38$$

12. CORRECCION POR PARALAJE : Antes de realizar la corrección por paralaje la distancia zenital debe corregirse por refracción

$$z+R = 65^{\circ}22'45" + 2'06".38 \\ = 65^{\circ}24'51".38$$

Esta distancia zenital corregida también se corregirá por para

laje.

45

De la ecuación mencionada en el cálculo de latitud inciso 4 tenemos :

$$\begin{aligned} p &= 8''.8 \operatorname{Sen} z \\ &= 8''.8 \operatorname{Sen} 65^{\circ} 24' 51''.38 \\ p &= 8'' \end{aligned}$$

I3. DISTANCIA ZENITAL : Este concepto consiste en la obtención de la distancia zenital corregida por refracción y paralaje, de donde tomando la distancia zenital corregida por refracción en el inciso I2 se tiene :

$$\begin{aligned} 65^{\circ} 24' 46''.03 - p &= 65^{\circ} 24' 51''.38 - 8'' \\ &= 65^{\circ} 24' 43''.38 \end{aligned}$$

I4. LATITUD : Este concepto es el promedio del cálculo de todas las series obtenidas en el cálculo de la misma. Como en el cálculo de la Latitud tomamos un par de series y no todas, para seguir ejemplificando tomaremos el valor calculado de la Latitud anteriormente :

$$= 19^{\circ} 08' 45''.50$$

I5.  $(z + \varphi - \delta)$  : Es la suma de la distancia zenital correg. por refracc. y paralaje, con la Latitud del inciso anterior y la resta de la declinación a la hora de la observación :

$$\begin{aligned} I3 + I4 - \delta &= 65^{\circ} 24' 43''.38 + 19^{\circ} 08' 45''.50 - (-2^{\circ} 12' 16''.1) \\ &= 86^{\circ} 45' 44''.98 \end{aligned}$$

I6.  $(z + \varphi + \delta)$  : Es la suma de la distancia zenital correg. por refracc. y paralaje, con la Latitud del inciso I4 restando la declinación a la hora de la observación :

$$\begin{aligned} I3 + I4 + \delta &= 65^{\circ} 24' 38''.03 + 19^{\circ} 08' 45''.50 + (-2^{\circ} 12' 16''.1) \\ &= 82^{\circ} 21' 12''.78 \end{aligned}$$

I7. A =  $I/2 (z + \varphi + \delta)$  :

$$\frac{I6}{2} = 41^{\circ} 10' 36''.39$$

I8. B =  $I/2 (z + \varphi - \delta)$  :

$$\frac{I5}{2} = 43^{\circ} 22' 52''.49$$

19. Coseno A :

$$\cos 41^{\circ} 10' 36''.39 = 0.752682$$

20. Seno B :

$$\text{Sen } 43^{\circ} 22' 52''.49 = 0.686850$$

21. C = Coseno A Seno B :

$$\begin{aligned} C &= 19 \times 20 \\ &= 0.752682 \times 0.686850 \\ &= 0.516980 \end{aligned}$$

22. Coseno  $\psi$  :

$$\cos 19^{\circ} 08' 45''.50 = 0.944686$$

23. Seno z .

$$\text{Sen } 65^{\circ} 24' 43''.38 = 0.909324$$

24. D = Coseno  $\psi$  Senoz :

$$\begin{aligned} D &= 22 \times 23 = 0.944686 \times 0.909324 \\ &= 0.859026 \end{aligned}$$

$$25. E = \frac{C}{D}$$

$$E = \sqrt{\frac{21}{24}} = \sqrt{\frac{0.516980}{0.859026}}$$

$$E = 0.775771$$

26.  $\frac{I}{2}$  Az = arco Sen E :

$$\begin{aligned} \frac{I}{2} &= \text{arc Sen } (0.775771) \\ &= 50^{\circ} 52' 29''.95 \end{aligned}$$

27. Az = 2 arc Sen E :

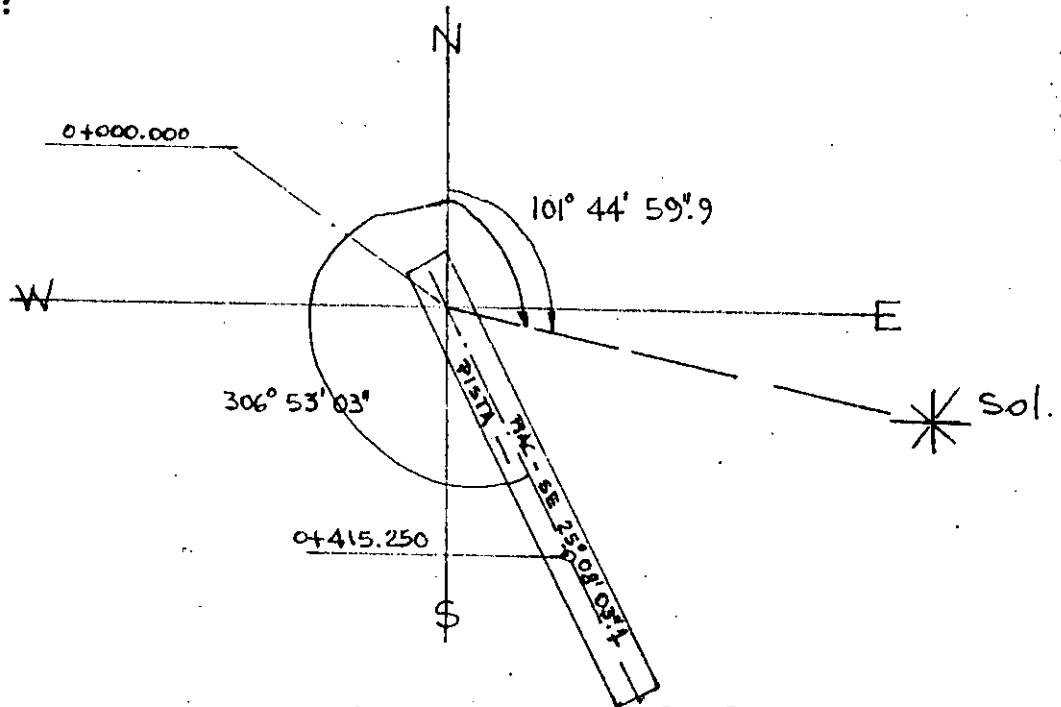
$$\text{Az} = 2 \times 50^{\circ} 52' 29''.95$$

$$\text{Az} = \underline{101^{\circ} 44' 59''.7} \text{ del sul a partir del norte}$$



28. ANGULO SOL-SEÑAL : Corresponde al ángulo horizontal promedio medido con el teodolito, de la señal al sol, en cada posición del círculo horizontal.

Con el siguiente esquema representaremos la conclusión de este cálculo :



29. RUMBO ASTRONÓMICO CALCULADO : De acuerdo a la figura anterior se tiene :

AZIMUT SOL	-----	101° 44' 59".9
		+ 360° 00' 00".0
ANGULO SEÑAL - SOL	-----	- 306° 53' 03".0
AZIMUT LINEA	-----	<u>154° 51' 56".9</u>
		- 180° 00' 00".0
<u>RUMBO DE LA LINEA</u>	<u>----- S-E</u>	<u>25° 08' 03".I = F.A.C.</u>

DETERMINACION DE LA LONGITUD .

En astronomía práctica el ángulo diedro formado por dos meridianos terrestres y medidos en grados de la circunferencia es la diferencia de longitudes de los lugares por los cuales pasan los meridianos considerados.

Si uno de estos meridianos es el que pasa por el observatorio de Greenwich y el otro por un lugar L de la superficie de la Tierra, el ángulo entre ambos es la longitud geográfica de L o simplemente su longitud.

Debido a la rotación de la Tierra, que se efectúa con movimiento uniforme, cuya duración, es de 24<sup>h</sup>, la distancia angular de un meridiano a otro puede calcularse también en tiempo y expresar la longitud en horas, minutos y segundos. Puesto que la Tierra invierte 24<sup>h</sup> siderales en efectuar una revolución al rededor de su eje, una hora equivaldrá a quince grados de la circunferencia, un minuto lo será a quince minutos y un segundo representará quince segundos de arco.

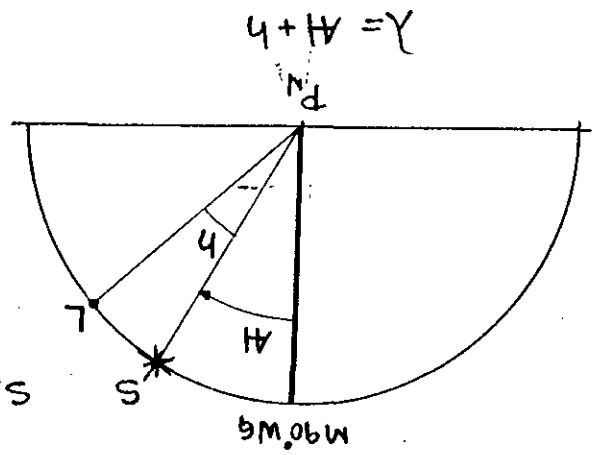
Por convención mundial, el meridiano de Greenwich ha sido aceptado como el origen de las longitudes, de manera que podemos definir la longitud de un lugar como el ángulo que forma el meridiano local con el de Greenwich o bien, la diferencia de horas entre Greenwich y el lugar considerado. Las horas pueden ser solares o siderales, pero su diferencia en ambos casos es la longitud.

El problema de la determinación de una longitud geográfica se reduce a la comparación de los tiempos locales en un mismo instante físico, entre Greenwich y el lugar considerado.

Volviendo a recurrir al triángulo astronómico mostrado en la hoja # de donde aplicando las ecuaciones básicas de la trigonometría esférica se deducirá el Ángulo Horario del sol para determinar la longitud del problema que se está planteando.

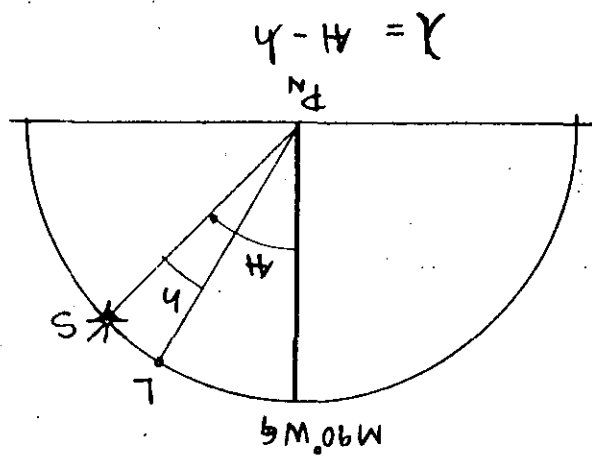
Del triángulo astronómico se obtuvo que :

$$\text{Tan AH} = \frac{\text{Tan} \left( \left( \frac{\text{Az}}{2} \right) \text{Sen} (S - \varphi) \right)}{\text{Cos } S}$$



OBSERVACION REALIZADA  
POR LA MAÑANA.

M<sup>90°</sup>W<sub>6</sub>: longitud base  
 L: Longitud del lugar con relacion a la longitud base  
 A: Angulo horario del astro con relacion a la longitud base  
 h: Angulo horario del astro con respecto al meridiano del lugar  
 S: Sol



OBSERVACION REALIZADA  
POR LA TARDE

Donde :

50

$$S = \frac{z+\varphi+\delta}{2}$$

A continuación se realizara el desarrollo del formato de la hoja de cálculo, teniendo presente que nos apoyaremos en los datos obtenidos en el desarrollo para el cálculo del azimut y serie 5 de la segunda observación :

1. AZIMUT (Az) : Este concepto es el azimut del sol obtenido en el calculo del azimut antes realizado :

$$Az = 101^{\circ}44'59''.9$$

2. Az/2 : Corresponde al valor del inciso 26 de la determinación del azimut :

$$Az/2 = 50^{\circ}52'29''.95$$

3. DISTANCIA ZENITAL : Este concepto es el obtenido en la determinación de la Latitud ya calculado con anterioridad :

$$Z = 65^{\circ}24'43''.38$$

4. LATITUD : Este concepto es el obtenido en su respectivo cálculo

$$\varphi = 19^{\circ}08'45''.50$$

5. DECLINACION DEL SOL A LA HORA DE LA OBSERVACION : Es la obtenida en el inciso 8 de la determinación del azimut :

$$\delta = - 2^{\circ}12'16''.1$$

6.  $S = (Z+\varphi+\delta)/2$  : De los incisos 3,4 y 5 de este procedimiento se tiene que :

$$S = \frac{65^{\circ}24'43''.38 + 19^{\circ}08'45''.50 + (-2^{\circ}12'16''.1)}{2}$$

2

$$S = 41^{\circ}10'36''.39$$

7.  $S - \varphi$  : Del inciso anterior y del 4 obtenemos :

$$S - \varphi = 41^{\circ}10'36''.39 - 19^{\circ}08'45''.50$$

$$S - \varphi = 22^{\circ}01'50''.89$$

8. Tan Az/2 : Aplicación de la función trigonométrica a un medio del azimut del sol

$$\text{Tan } 50^{\circ} 52' 29'' .95 = 1.229403$$

9. Sen ( S - φ ) : Del inciso 7 tenemos :

$$\text{Sen } 22^{\circ} 01' 50'' .89 = 0.375105$$

10. Cos S : Del inciso 6 tenemos

$$\text{Cos } 41^{\circ} 10' 36'' .69 = 0.752682$$

11. Tan(Az/2) x Sen ( S - φ ) : De los incisos 8 y 9 se tiene :

$$\begin{aligned} \text{Tan}(Az/2) \times \text{Sen} ( S - \varphi ) &= 1.229403 \times 0.375105 \\ &= 0.461155 \end{aligned}$$

12.  $\text{Tan } AH/2 = \frac{\text{Tan } Az/2 \text{ Sen } (S-\varphi)}{\text{Cos } S}$  : De los incisos 11 y 10 se tiene

$$\text{Tan } AH/2 = \frac{11}{10} = \frac{0.461155}{0.752682} = 0.612682$$

13. AH/2 = arc Tan 12 : Aplicando la función trigonométrica arco Tangente al inciso 12 tenemos :

$$AH/2 = \text{arc Tan } 0.612682 = 31^{\circ} 29' 42'' .19$$

14. AH = 2 x 13 : Este inciso es la obtención del ángulo horario :

$$\begin{aligned} AH &= 2 \times 31^{\circ} 29' 42'' .19 \\ &= 62^{\circ} 59' 24'' .38 \end{aligned}$$

15. HORA DE LA OBSERVACION EN EL TIEMPO DE GREENWICH : Este inciso consiste en que se tiene la hora de observación en tiempo del meridiano 90 al W de G , el cual para obtener la hora para el tiempo de Greenwich se le suman 6<sup>h</sup> .

Del registro de campo en la determinación del azimut la hora promedio es :

$$\begin{aligned} \text{HORA PROMEDIO EN EL M90WG} & \text{-----} \quad 8^{\text{h}} 51^{\text{m}} 29^{\text{s}} \\ & \quad + \quad \frac{6^{\text{h}} 00^{\text{m}} 00^{\text{s}}}{14^{\text{h}} 51^{\text{m}} 29^{\text{s}}} \end{aligned}$$

16. HORA DEL CENTRO DEL PASO DEL SOL POR EL M90WG : Este dato lo vamos a encontrar tabulado en las efemerides del sol para 1983 para el mes y día de realizada la observación ( 15 Marzo 1983 ) :

HORA DE PASO DEL SOL POR M90WG -----  $12^{\text{h}}09^{\text{m}}01^{\text{s}}.59$

17. DIFERENCIA DE LA HORA DE OBSERVACION Y LA HORA DEL PASO DEL SOL: Si se tiene una hora de observación T en tiempo del meridiano 90 W de G, se obtiene la hora de Greenwich agregando  $6^{\text{h}}$ , que es lo que se obtuvo en el inciso 15 para el tiempo T mencionado. Restando de este tiempo T, reducido a Greenwich, la hora de paso del sol para el meridiano 90, que viene en la efemerides del sol (inciso 16), se obtiene el ángulo horario del sol referido al meridiano de Greenwich, el cual se puede convertir en arco. Este ángulo es el que se designa en la Oficina Hidrográfica Americana por G.H.A.

$$\begin{array}{r} \text{AH} = 15 - 16 = 14^{\text{h}}51^{\text{m}}29.00 \\ \quad \quad \quad - 12^{\text{h}}09^{\text{m}}01.59 \\ \hline \text{H} = 2^{\text{h}}42^{\text{m}}27.41 \end{array}$$

18. G.H.A. (Convertido en arco) :

$$\begin{aligned} \text{G.H.A.} &= 15 \times 2^{\text{h}}42^{\text{m}}27.41 \\ &= 40^{\circ}36'51''.15 \end{aligned}$$

19. LONGITUD ( $\lambda$ ) = AH  $\pm$  G.H.A. : Consiste en la suma del AH local (inciso 14) al G.H.A. si el sol esta al Este, o se resta si el sol esta al Oeste y como resultado se obtiene la longitud del lugar ;

$$\begin{aligned} 14 \pm 18 &= 62^{\circ}59'24''.38 \\ &+ 40^{\circ}36'51''.15 \quad (\text{Sol hacia el este}) \\ \lambda &= \underline{\underline{103^{\circ}36'15''.53}} = \underline{\underline{6^{\text{h}}54^{\text{m}}25^{\text{s}}.035}} \end{aligned}$$



SECRETARIA DE  
ASENTAMIENTOS  
HUMANOS Y  
OBRAS PUBLICAS

DIRECCION  
DEPA  
BRIC

AEROPUERTO DE: COLEMA, COLEMA.  
 SITIO: " EL ZARCO "  
 LINEA BASE: ENE DE LA PISTA 15 - 33  
 ESTACION: 0-000 PUNTO VISADO: 0-415.25  
 OBSERVO: ING. RODRIGO DE LA PEÑA BLANES  
 ANOTO: BEREN ZEPEDA RAMOS  
 FECHA (de la Observacion): MARZO 15 DE 1963.  
 TRANSITO: (marco y no. de serie): WILLO T-16-113922  
 CALCULO: BEREN ZEPEDA RAMOS  
 REVISO: JOSE GONZ. MORALES SANCHEZ.  
 FECHA (del término de cálculo): MARZO 21 DE 1963.  
 FORMULA A EMPLEAR:  $SEN \phi = SEN Am SEN \delta + COS Am COS Q COS \delta$   
 $TAN Q = \frac{A_2 - A_1}{B \cdot COS Am} \quad Am = \frac{A_2 + A_1}{2}$

DESARROLLO DE LA FORMULA

1	ALTURA APARENTE OBSERVADA (A1)
2	DISTANCIA ZENITAL APARENTE (Z1)
3	CORRECCION POR REFRACCION
4	CORRECCION POR PARALAJE
5	DISTANCIA ZENITAL (Z1')
6	ALTURA OBSERVADA (A1)
7	ALTURA APARENTE OBSERVADA (A2)
8	DISTANCIA ZENITAL APARENTE (Z2)
9	CORRECCION POR REFRACCION
10	CORRECCION POR PARALAJE
11	DISTANCIA ZENITAL (Z2')
12	ALTURA OBSERVADA (A2)
13	PROMEDIO DE LA ALTURA (Am) = $\frac{A_1 + A_2}{2}$
14	DIFERENCIA DE ALTURAS OBSERVADAS (A2 - A1)
15	A2 - A1 = (MINUTOS)
16	DIFERENCIA DE (CH)2 - (CH)1 = B
17	(B) EN MINUTOS
18	DECLINACION DEL SOL AL PASO POR EL MERIDIANO 90° W (δ)
19	HORA DEL CENTRO DEL PASO DEL SOL POR EL MERIDIANO 90° W
20	INSTANTE MEDIO DE LAS DOS OBSERVACIONES
21	INTERVALO (HORAS Y FRACCION DECIMAL)
22	VARIACION HORARIA
23	CORRECCION POR INTERVALO
24	DECLINACION DEL SOL A LA HORA DE LA OBSERVACION (δ')
25	A2 - A1 ÷ B. → $\frac{15}{17}$
26	SEN DE (Am) → SEN (13)
27	COSENO DE (Am) → COS (13)
28	SENO (δ) → SEN (24)
29	COSENO (δ) → COS (24)
30	TANGENTE Q → $\frac{25}{27}$
31	Q = (ARCO TANGENTE) → ARCO TANG. (30)
32	COS DE (Q) → COS (31)
33	SEN (Am) SEN (δ) → $\frac{26}{28}$
34	COS (Am) COS (δ) COS (Q) → $\frac{27}{29} \times \frac{32}{32}$
35	SEN φ = SEN Am SEN δ + COS Am COS δ COS Q → $\frac{33}{34}$
36	LATITUD (φ)

1 OBSERVACIONES

SERIE	POSICION	TIEMPO DEL CENTRO	CIRCULO HORIZONTAL	CIRCULO VERTICAL
1	DIRECTA	8h 23m 49s	56° 05' 24"	17° 57' 48"
	INVERSA	8h 25m 20s	55° 23' 00"	18° 41' 00"
	PROMEDIO	8h 24m 34.5s	55° 47' 12"	18° 20' 54"
2	DIRECTA	8h 26m 24s	55° 56' 54"	18° 36' 51"
	INVERSA	8h 28m 03s	55° 08' 36"	19° 21' 54"
	PROMEDIO	8h 27m 13.5s	55° 32' 45"	18° 59' 22.5"
3	DIRECTA	8h 29m 00s	55° 36' 24"	19° 14' 36"
	INVERSA	8h 29m 45s	54° 58' 24"	19° 46' 51"
	PROMEDIO	8h 29m 22.5s	55° 17' 24"	19° 30' 43.5"
4	DIRECTA	8h 30m 50s	55° 25' 18"	19° 36' 06"
	INVERSA	8h 31m 45s	54° 47' 06"	20° 13' 18"
	PROMEDIO	8h 31m 17.5s	55° 06' 12"	19° 54' 39"

2 OBSERVACIONES

SERIE	POSICION	TIEMPO DEL CENTRO	CIRCULO HORIZONTAL	CIRCULO VERTICAL
5	DIRECTA	8h 50m 48s	53° 26' 06"	24° 15' 36"
	INVERSA	8h 52m 10s	52° 47' 42"	24° 52' 34"
	PROMEDIO	8h 51m 29s	52° 06' 54"	24° 37' 15"
6	DIRECTA	8h 52m 56s	53° 13' 48"	24° 45' 48"
	INVERSA	8h 53m 52s	52° 32' 48"	25° 22' 06"
	PROMEDIO	8h 53m 24s	52° 52' 48"	24° 59' 27"
7	DIRECTA	8h 55m 13s	52° 58' 06"	25° 17' 06"
	INVERSA	8h 55m 59s	52° 18' 18"	25° 51' 54"
	PROMEDIO	8h 55m 36s	52° 38' 12"	25° 34' 27"
8	DIRECTA	8h 56m 43s	52° 49' 06"	25° 37' 36"
	INVERSA	8h 58m 11s	52° 05' 00"	26° 22' 48"
	PROMEDIO	8h 57m 27s	52° 27' 03"	26° 00' 12"

LATITUD PRO

# I GENERAL DE AEROPUERTOS

## ARTAMENTO DE PROYECTOS CIVILES

### GADA DE AEROPUERTOS No. 3

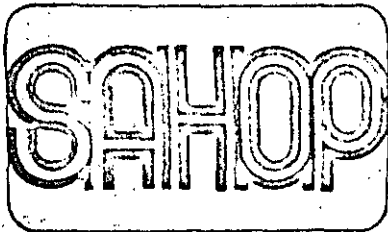
#### CALCULO DE LATITUD

SERIE 1-5
SERIE 2-6
SERIE 3-7
SERIE 4-8

18* 20' 54"	19* 00' 24"	19* 28' 45"	19* 54' 39"
71* 32' 06"	70* 52' 36"	70* 31' 15"	70* 05' 21"
02' 53".76	02' 47".44	02' 43".09	02' 39".35
03".35	03".32	03".30	03".27
71* 41' 51".41	71* 02' 15".12	70* 33' 49".79	70* 07' 52".08
16* 18' 08".59	18* 57' 44".88	19* 26' 10".21	19* 52' 07".92
24* 37' 15".	25* 03' 57"	25* 34' 27"	26* 00' 12"
65* 22' 45"	64* 56' 03"	64* 25' 33"	63* 59' 48"
02' 06".38	02' 03".84	02' 01".10	01' 56".78
03".00	02".97	02".94	02".91
65* 24' 43".38	64* 57' 58".87	64* 27' 26".16	64* 01' 35".87
24* 35' 16".62	25* 02' 01".13	25* 32' 33".84	25* 58' 21".13
21* 26' 42".61	21* 59' 53".01	22* 29' 22".03	22* 55' 14".53
6* 17' 08".93	6* 04' 16".25	6* 06' 23".63	6* 06' 13".21
377.13	364.27	366.39	366.23
2* 42' 15"	2* 37' 00"	2* 38' 42"	2* 39' 09"
160.25	157.00	158.70	159.15
- 2* 09' 10".1	- 2* 09' 10".1	- 2* 09' 10".1	- 2* 09' 10".1
12 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 01.59 <sup>s</sup>	12 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 01.59 <sup>s</sup>	12 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup> 01.59 <sup>s</sup>	12 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 01.59 <sup>s</sup>
8 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup> 01.75 <sup>s</sup>	8 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 18.75 <sup>s</sup>	8 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 29.25 <sup>s</sup>	8 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup> 22.25 <sup>s</sup>
3.516622	3.473567	3.442317	3.410928
+ 59".20	+ 59".20	+ 59".2	+ 59".2
- 03' 28".18	- 03' 25".93	- 03' 23".79	- 03' 21".93
2* 12' 38".28	2* 12' 36".03	2* 12' 33".89	2* 12' 33".03
2.353385	2.320191	2.308696	2.301100
0.365611	0.374575	0.382513	0.389457
0.030768	0.027197	0.023950	0.021045
0.033573	0.033562	0.033552	0.033543
0.999256	0.999256	0.999257	0.999257
2.523434	2.502371	2.498724	2.498358
68* 25' 16".91	68* 13' 02".33	68* 11' 18".61	68* 11' 05".18
0.367782	0.371087	0.371554	0.371601
0.014103	0.014444	0.014747	0.015011
0.342065	0.343315	0.343042	0.342907
0.327962	0.329371	0.328295	0.326996
19* 05' 43".45	19* 13' 50".17	19* 09' 55".16	19* 05' 11".57

**MEDIO**  $\phi$  19\* 09' 18".81 N ( DE LAS SERIES 1-5 y 3-7 )





58

# DIRECCION GENERAL D DEPARTAMENTO DE PROYE

## BRIGADA DE AEROPUERTOS No. ORIENTACION ASTRONOMICA

OBSERVO ING. ROPOLO DE LA PEÑA E. ANOTO BEREN ZEPEDA RAMOS

TRANSITO T-16-113432 WLD FECHA MARZO 15 DE 1933.

AEROPUERTO DE COLIMA, COL  
LOCALIDAD SITIO " EL ZARCO "  
LINEA ORIENTADA EN PISTA 15-33  
RUMBO MAGNETICO LINEA ORIENT  
COORDENADAS GEOGRAFICAS LAT  
DECLINACION 8°  
CALCULO BEREN ZEPEDA RAMOS  
FECHA COLIMA, COLIMA A 21 DE

FORMULA A EMPLEAR:  $SEN \frac{1}{2} A_1 = \sqrt{\dots}$

### O B S E R V A C I O N E S

SERIE	POSICION	PUNTO VISADO	TIEMPO DEL CENTRO	CIRCULO HORIZONTAL		CIRCULO VERTICAL
				A	B	
1	DIRECTA	SEÑAL				
		SOL	8h 50m 40s	53° 20' 06"		65° 41' 24"
	INVERSA	SOL	8h 52m 10s		127° 02' 12"	294° 59' 54"
		SEÑAL				
PR: MEDIOS →			8h 51m 25s	53° 06' 57"		24° 37' 15"

SERIE	POSICION	PUNTO VISADO	TIEMPO DEL CENTRO	CIRCULO HORIZONTAL		CIRCULO VERTICAL
				A	B	
2	DIRECTA	SEÑAL				
		SOL	8h 52m 56s	53° 12' 40"		65° 14' 12"
	INVERSA	SOL	8h 53m 52s		127° 27' 18"	295° 22' 06"
		SEÑAL				
PR: MEDIOS →			8h 53m 24s	52° 52' 45"		25° 03' 57"

SERIE	POSICION	PUNTO VISADO	TIEMPO DEL CENTRO	CIRCULO HORIZONTAL		CIRCULO VERTICAL
				A	B	
3	DIRECTA	SEÑAL				
		SOL	8h 55m 13s	52° 59' 06"		64° 43' 00"
	INVERSA	SOL	8h 55m 59s		127° 01' 42"	295° 51' 54"
		SEÑAL				
PR: MEDIOS →			8h 55m 36s	52° 38' 42"		25° 34' 27"

SERIE	POSICION	PUNTO VISADO	TIEMPO DEL CENTRO	CIRCULO HORIZONTAL		CIRCULO VERTICAL
				A	B	
4	DIRECTA	SEÑAL				
		SOL	8h 56m 43s	52° 49' 06"		64° 22' 24"
	INVERSA	SOL	8h 58m 11s		127° 55' 00"	296° 22' 48"
		SEÑAL				
PR: MEDIOS →			8h 57m 27s	52° 27' 03"		26° 00' 12"

### C A DESARROLLO DE LA FORMULA

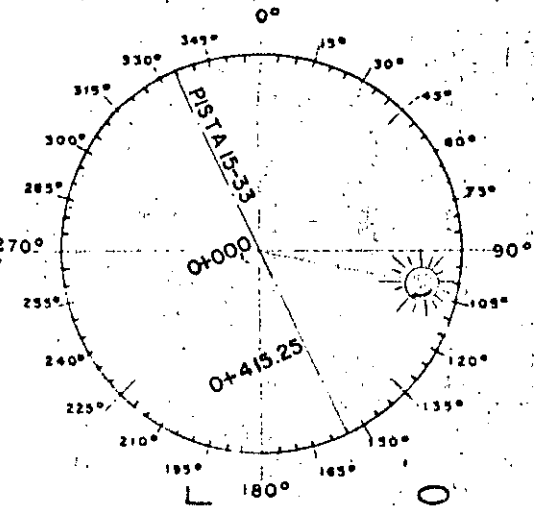
1	HORA DEL CENTRO DEL PASO DEL SOL POR EL MERIDIANO 90° DE W
2	PRONUNDO HORA DEL CENTRO DE LA OBSERVACION
3	INTERVALO
4	INTERVALO (HORAS Y FRACCION DECIMAL)
5	VARIACION HORARIA
6	CORRECCION POR INTERVALO
7	DECLINACION DEL SOL AL PASO POR EL MERIDIANO 90° DE W
8	DECLINACION DEL SOL A LA HORA DE LA OBSERVACION (5)
9	ALTURA APARENTE OBSERVADA
10	DISTANCIA ZENITAL APARENTE
11	CORRECCION POR REFRACCION
12	CORRECCION POR PARALAJE
13	DISTANCIA ZENITAL (Z)
14	LATITUD (φ)
15	(Z + φ - 6)
16	(Z + φ + 6)
17	A = 1/2 (Z + φ + 6)
18	B = 1/2 (Z + φ - 6)
19	COSENO A
20	SENO B
21	C = COSENO A SENO B
22	COSENO φ
23	SENO Z
24	D = COSENO φ SENO Z
25	E = √(D)
26	1/2 A1 = ARCO SENO E
27	A1 = 2 (ARCO SENO E)
28	ANGULO SOL-SEÑAL
29	RUMBO ASTRONOMICO CALCULADO

RUMBO ASTRO  
RUMBO ASTRONOMICO

56

# GENERAL DE AEROPUERTOS CENTRO DE PROYECTOS CIVILES

AEROPUERTO DE COLIMA, COLIMA.  
 SITIO " EL ZARCO "  
 PISTA 15-33 ESTACION 0+000 PV 0+415.25  
 MAGNETICO LINEA ORIENTADA S 33° 20' 30" E  
 DATOS GEOGRAFICOS: LATITUD 19° 09' 18" N LONGITUD 103° 35' 49" W  
 ALTITUD 8' 10' 42"  
 REVISOR: JOSE GPE, MORALES GARCIA  
 COLIMA, COLIMA A 21 DE MARZO DE 1963.



$$A = \frac{\sqrt{\text{SENO } 1/2 (Z + \theta - \delta) \text{ COS } 1/2 (Z + \theta + \delta)}}{\text{COS } \theta \text{ SENO } Z} = \frac{\sqrt{C}}{D}$$

TITULO DE LA FORMULA (SERIE 1) (SERIE 2) (SERIE 3) (SERIE 4)

DEL CENTRO DEL PASO DEL SOL POR EL MERIDIANO 90° DE W	12h 09m 01.59s	12h 09m 01.59s	12h 09m 01.59s	12h 09m 01.59s
HORA DEL CENTRO DE LA OBSERVACION	8h 51m 22s	8h 53m 24s	8h 55m 36s	8h 57m 27s
VALOR	3h 17m 32.56s	3h 15m 37.56s	3h 13m 25.56s	3h 11m 34.59s
VALOR (HORAS Y FRACCION DECIMAL)	3.292386	3.260442	3.223775	3.192242
ACION HORARIA	+ 59".2	59".2	59".2	59".2
ACION POR INTERVALO	03' 14".91	03' 13".02	03' 10".85	03' 09".01
ACION DEL SOL AL PASO DEL MERIDIANO 90° DE W	2° 09' 10".1	2° 09' 10".1	2° 09' 10".1	2° 09' 10".1
ACION DEL SOL A LA HORA DE LA OBSERVACION (6)	2° 12' 25".01	2° 12' 28".12	2° 12' 30".95	2° 12' 19".12
ANGULO APARENTE OBSERVADA	24° 37' 15"	25° 09' 57"	25° 34' 27"	26° 00' 12"
ANGULO ZENITAL APARENTE	65° 22' 45"	64° 56' 03"	64° 25' 33"	63° 59' 48"
ACION POR REFRACCION	02' 06".73	02' 04".84	02' 01".1	01' 58".73
ACION POR PARALAJE	00".00	07".97	07".94	07".91
ANGULO ZENITAL (Z)	65° 24' 43".38	64° 57' 58".97	64° 27' 36".16	64° 01' 33".37
ANGULO (A)	19° 09' 18".81	19° 09' 18".81	19° 09' 15".81	19° 09' 18".81
(Z - A)	46° 46' 27".20	46° 19' 40".30	45° 49' 05".27	45° 23' 16".50
(Z + A)	82° 21' 37".18	81° 54' 54".56	81° 24' 24".02	80° 58' 38".56
1/2 (Z + A + S)	41° 10' 48".59	40° 57' 27".28	40° 42' 12".01	40° 29' 19".28
1/2 (Z + A - S)	43° 23' 13".6	43° 09' 50".4	42° 54' 32".96	42° 41' 38".40
SENO A	0.752643	0.735195	0.758096	0.769534
SENO B	0.686924	0.684089	0.680638	0.678083
SENO A SENO B	0.517009	0.516621	0.516141	0.515705
SENO A	0.944633	0.944633	0.944633	0.944633
SENO Z	0.909324	0.906059	0.902264	0.892004
SENO A SENO Z	0.858977	0.855893	0.852308	0.847220
SENO	0.775815	0.776920	0.778190	0.779271
A = ARCO SENO E	50° 52' 44".4	50° 58' 43".95	51° 05' 42".69	51° 11' 37".81
Z (ARCO SENO E)	101° 45' 28".8	101° 57' 31".90	102° 11' 25".38	102° 23' 15".62
ANGULO SOL-SEÑAL	53° 06' 15".7	52° 52' 45"	52° 38' 42"	52° 27' 03"
ANGULO ASTRONOMICO CALCULADO	25° 07' 34".2	25° 09' 43".10	25° 09' 52".62	25° 09' 41".36

ANGULO ASTRONOMICO PROMEDIADO: S 25° 09' 45".70 E DE LAS SERIES 2, 3 y 4

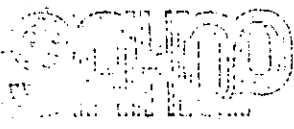
ANGULO ASTRONOMICO ACEPTADO S 25° 09' 46".3

57

DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS

DEPARTAMENTO DE PROYECTOS CIVILES

BRIGADA DE AEROPUERTOS No. 3



SECRETARIA DE  
ASENTAMIENTOS  
HUMANOS Y  
OBRAS PUBLICAS

CALCULO DE LONGITUD

AEROPUERTO DE COLETA, COCHABAMBA LINEA BASE LINEA DE META 15-33 FECHA                       
 ESTACION DE LA OBSERV 0+000 CALCULO ROSEN ZEPEDA RAYOS  
 SITIO " EL ZURDO " P.V. 0+415.25 REVISO JOSE GPE. MORALES SANCHEZ

FORMULA A EMPLEAR  $\tan \frac{1}{2} h = \frac{\tan \frac{1}{2} U \cdot \sin(S - \phi)}{\cos S}$  DE DONDE  $S = \frac{Z + \phi + 6}{2}$

DESARROLLO DE LA FORMULA      SERIE 1      SERIE 2      SERIE 3      SERIE 4

1	AZIMUT (U) = A <sub>i</sub>	101° 45' 28".3	101° 57' 31".90	102° 11' 35".15	102° 23' 15".62
2	1/2 U = 1/2 A <sub>i</sub>	50° 52' 44".4	50° 58' 45".95	51° 05' 42".69	51° 11' 37".81
3	DISTANCIA ZENITAL (Z <sub>i</sub> )	65° 24' 43".30	64° 37' 53".87	64° 27' 29".15	64° 01' 37".67
4	LATITUD (φ)	16° 09' 18".81	16° 09' 18".81	16° 09' 18".81	16° 09' 18".81
5	DECLINACION DEL SOL A LA HORA DE LA OBSERVACION	- 2° 12' 25".01	- 2° 12' 23".12	- 2° 12' 22".93	- 2° 12' 19".12
6	$S = \frac{Z + \phi + 6}{2}$	41° 10' 40".50	40° 57' 27".28	40° 42' 12".01	40° 20' 19".21
7	(S - φ) → ① - ②	25° 01' 22".78	24° 48' 08".47	24° 32' 53".20	24° 20' 00".47
8	Tan 1/2 U → Tan ③	1.230520	1.233991	1.239101	1.243171
9	Sen (S - φ) → Sen ④	0.375010	0.371406	0.367232	0.363179
10	Cos S → Cos ⑤	0.752643	0.755133	0.758496	0.760934
11	Tan 1/2 U Sen (S - φ) → ③ × ④	0.461101	0.452312	0.453092	0.452179
12	$\tan \frac{1}{2} h = \frac{\tan \frac{1}{2} U \cdot \sin(S - \phi)}{\cos S} \rightarrow ① \div ⑤$	0.612640	0.596879	0.600318	0.594406
13	1/2 h → Arc Tan 1/2 h → Arc Tan ⑥	31° 29' 36".79	31° 15' 02".66	30° 58' 37".75	30° 44' 30".87
14	h = 2(Arc Tan 1/2 h) → Arc Tan → 2 × ⑥	62° 59' 13".58	62° 30' 19".32	61° 57' 15".50	61° 29' 19".74
15	HORA DE LA OBSERVACION EN TIEMPO DE GREENWICH	11 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup>	14 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup>	14 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> 36 <sup>s</sup>	14 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup> 27 <sup>s</sup>
16	HORA DEL CENTRO DEL PASO DEL SOL POR EL MERIDIANO DE 90° W	12 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 01.59 <sup>s</sup>	12 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 01.59 <sup>s</sup>	12 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 01.59 <sup>s</sup>	12 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 01.59 <sup>s</sup>
17	H = DIFERENCIA DE LA HORA DE OBSERVACION Y LA HORA DEL PASO DEL SOL → ① - ②	3 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 27.41 <sup>s</sup>	3 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup> 23.41 <sup>s</sup>	3 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup> 34.41 <sup>s</sup>	3 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 25.41 <sup>s</sup>
18	G.H.A. = H (convertido en arco) = 15 × ⑦	48° 36' 51".15	41° 05' 36".15	41° 38' 36".15	42° 06' 21".15
19	LONGITUD (λ) = h ± G.H.A → ⑧ ± ⑧	103° 36' 04".73	103° 35' 55".47	103° 35' 51".65	103° 36' 41".40

LONGITUD PROMEDIO λ = 103° 35' 49".40 W (DE LAS SERIES 2, 3 Y 4)

AEROPUERTOS No. 3

CALCULO DE POLIGONOS

60

CORREGIDAS		COORDENADAS		$X_{n+1} - X_n$	PRODUCTOS	
+ E	- W	Y	X		POSITIVOS	NEGATIVOS
		10,000.00	20,000.00			
100.23		9,767.45	20,102.23	+ 403.39	3'940,103.76	
204.13		9,905.57	20,403.39	+ 588.32	5'827,703.77	
204.16		10,043.96	20,697.55	+ 357.13	3'586,963.72	
62.97		9,909.82	20,760.32	+ 140.47	1'392,032.42	
77.50		9,744.26	20,838.02	+ 220.69	2'150,593.15	
143.19		9,410.06	20,981.21	+ 620.04	5'853,214.80	
473.95		8,425.00	21,158.06	+ 660.23	5'562,859.00	
193.43		8,034.54	21,641.49	+ 86.68	596,433.93	
	96.75	7,929.69	21,544.74	- 189.65		1'515,130.92
	92.00	7,945.45	21,451.04	- 112.37		892,830.22
	10.37	7,715.33	21,432.37	+ 41.33	318,874.59	
60.80		7,585.90	21,493.17	+ 318.73	2'417,653.01	
257.03		7,836.85	21,751.10	+ 339.05	2'335,703.26	
51.10		6,864.21	21,832.20	+ 121.51	834,070.16	
40.41		6,773.19	21,872.61	+ 423.65	2'371,647.98	
393.24		5,942.37	22,255.86	+ 656.75	3'915,786.50	
273.50		5,380.17	22,529.36	- 65.91		354,607.00
	339.41	5,220.72	22,189.95	- 610.94		3'189,546.68
	271.53	5,093.16	21,918.42	- 527.92		4'216,729.03
	556.39	6,277.52	21,362.03	- 1,073.99		6'741,993.70
	517.60	7,372.30	20,844.43	- 601.12		4'435,844.32
	43.52	7,557.08	20,760.91	- 652.41		4'930,314.56
	568.29	8,763.05	20,192.02	- 793.98		6'961,656.34
	225.00	9,247.20	19,966.93	- 397.59		3'695,088.65
	174.50	9,618.66	19,792.43	+ 51.78	498,054.21	
226.28		9,721.96	20,018.71	+ 117.05	1'138,306.57	
	102.23	9,957.48	19,909.48	- 63.97		636,980.00
45.26		9,978.74	19,954.74	+ 80.11	799,396.86	
34.85		9,995.11	19,989.59	+ 45.26	452,378.68	
10.41		10,000.00	20,000.00	+ 119.64	1'196,400.00	
3,055.28	3,055.27				45'833,377.27	37'570,721.92
				DIFERENCIA =	8'267,655.35	
			1/2	DIFERENCIA =	4'133,827.68 M2	
				AREA =	413.3823 Has.	



DIRECCION GENERAL DE AER

DEPARTAMENTO DE PROYECTOS

61

OFICINA DE PROYECTOS AERONAUT

00.00  
67.35  
05.67  
43.81  
09.82  
44.38  
50.00  
36.1  
18.4  
38.0  
17.2  
74.5  
11.2  
19.3  
15.1

EST.	P. V.	DISTANCIA	DEFLEXION	R. A. C.	PROY	
					COSENO	+ N
	I					E J I
I	II	256.00	0° 00' 00"	S 25° 09' 46" E	0.905103	138.19
II	III	325.00	90° 00' 00" I	N 64° 50' 14" E	0.425191	138.19
III	IV	325.00	0° 00' 00"	N 64° 50' 14" E	0.425191	138.19
IV	V	148.09	90° 00' 00" D	S 25° 09' 46" E	0.905103	
V	VI	162.26	0° 00' 00"	S 25° 09' 46" E	0.905103	
VI	VII	336.76	0° 00' 00"	S 25° 09' 46" E	0.905103	
VII	4	10.06	92° 12' 33" D	S 67° 00' 52" W	0.329963	
4	5	847.06	51° 55' 45" I	S 13° 07' 07" W	0.965388	
5	XXIV	572.68	80° 52' 05" D	N 75° 00' 45" W	0.258608	149.65
XXIV	XXV	522.30	49° 50' 52" D	N 25° 00' 46" W	0.925103	479.15
XXV	3	232.97	133° 20' 38" D	S 71° 49' 18" E	0.311976	
3	2	502.61	69° 42' 43" I	N 13° 27' 59" E	0.948510	476.73
2	1	301.32	89° 27' 58" I	N 70° 59' 59" W	0.325573	98.10
1	XXX	25.37	54° 27' 38" D	N 16° 32' 21" W	0.958625	245.75
XXX	I	11.50	81° 23' 35" D	N 64° 50' 14" E	0.425191	4.69
I	II		90° 00' 00" D	S 25° 09' 46" E		
		4,843.27 M	521° 09' 26" D			1,730.66
			321° 06' 26" I		y =	3,461.32
		4,843.27:0.0022= 0.97	360° 00' 00"		Ey =	0.00
					Ky =	0.00

No.



DIRECCION GENERAL DE AER  
 DEPARTAMENTO DE PROYECTOS  
 OFICINA DE PROYECTOS AERONAUTICOS

64

ORI

EST.	P.V.	DISTANCIA	DEFLEXION	R. A. C.	PROY	
					COSENO	+ N
						<i>PROI</i>
	XXIX					
XXIX	XXX	39.50	0° 00' 00"	N 61° 50' 14" E	0.425191	16.37
XXX	1	256.37	98° 37' 25" D	S 16° 32' 21" E	0.953625	
1	2	301.32	54° 27' 38" I	S 70° 59' 59" E	0.325573	
2	3	502.61	89° 27' 53" D	S 18° 27' 59" W	0.046910	
3	XXV	332.97	89° 42' 43" D	N 71° 40' 18" W	0.311976	72.68
XXV	XXVI	410.41	46° 39' 32" D	N 25° 09' 46" W	0.905103	371.46
XXVI	XXVII	250.00	90° 00' 00" D	N 64° 50' 14" E	0.425191	106.36
XXVII	XXVIII	256.90	90° 00' 00" I	N 25° 09' 46" W	0.905103	222.52
XXVIII	XXIX	50.00	90° 00' 00" D	N 64° 50' 14" E	0.425191	21.26
XXIX	XXX		0° 00' 00"	N 64° 50' 14" E		
		2,299.08	504° 27' 38" D			920.54
		2,399.08	144° 27' 38" I			1,641.16
			360° 00' 00"			0.00
						0.00
						<i>PROI</i>
	XXIV					
XXIV	5	576.68	0° 00' 00"	S 75° 00' 45" E	0.253608	
5	6	169.28	0° 16' 27" I	S 75° 17' 12" E	0.253993	
6	7	325.22	83° 39' 58" D	S 8° 21' 46" W	0.989367	
7	11	401.33	0° 05' 41" D	S 6° 27' 27" W	0.999125	
11	XXIII	393.62	0° 21' 48" D	S 8° 49' 15" W	0.988173	
XXIII	XXIV	1,337.95	146° 00' 59" D	N 25° 09' 46" W	0.905103	1,210.5
XXIV	5		130° 00' 01" D	S 75° 00' 45" E		
		3,114.92	360° 16' 27" D			1,210.5
			0° 16' 27" I			2,421.4
		3,114.92	360° 00' 00"			0.00
						0.00

74  
11  
35  
25  
52  
29  
66  
96  
43  
74  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
05  
40  
66  
90  
18  
08  
05





Nº. 3

# CALCULO DE POLIGONOS

66

EST	ORDENADAS		$X_{n+1} - X_{n-1}$	PRODUCTOS	
		X		POSITIVOS	NEGATIVOS
	.74	19,954.74			
XXIX	.11	19,989.59	+ 107.83	1'077,772.71	
XXX	.35	20,062.57	+ 357.98	3'489,097.39	
1	.25	20,347.47	+ 125.70	1'213,162.13	
2	.52	20,188.27	- 330.54		3'491,271.64
3	.20	19,966.93	- 395.84		3'660,411.65
XXV	.65	19,722.43	+ 51.78	499,054.21	
XXVI	.06	20,013.71	+ 117.05	1'138,306.57	
XXVII	.43	19,909.43	- 63.97		635,930.00
XXVII	.74	19,954.74	+ 80.11	799,396.86	
XXIX					
				8'215,789.86	7'788,663.49
			DIFERENCIA =	427,126.37	
			1/2 DIFERENCIA =	213,563.19	
			AREA =	21.3563 Has.	
	.05	20,192.02			
XXIV	.40	20,751.01	+ 721.75	6'220,330.20	
5	.66	20,913.77	+ 115.46	990,145.70	
6	.90	20,356.47	- 105.29		377,307.03
7	.18	20,807.43	- 105.56		829,403.92
11	.03	20,760.91	- 615.46		4'651,080.46
XXIII	.05	20,192.02	- 9.90		36,803.70
XXIV					
				7'210,475.90	6'444,595.11
			DIFERENCIA =	765,880.79	
			1/2 DIFERENCIA =	382,940.40	
			AREA =	38.2940 Has.	





DIRECCION GENERAL DE DEPARTAMENTO DE PROY OFICINA DE PROYECTOS AER

67

Table with 6 columns: EST., P.V., DISTANCIA, DEFLEXION, R. A. C., COSENO. Includes data points for stations VII through X and summary rows for totals (2,732.78 and 2,178.8).

OF GIL E C 10 4 16 70 96 310 367 775.0



OPUERTOS

CIVILES

BRIGADA DE LOCALIZACION DE AEROPUE

ICOS

74

CCIONES SIN CORREGIR				CORRECCION		PROYECCIONES CORREGIDAS			
- S	SENO	+ E	- W	Y	X	+ N	- S	+ E	- W
<b>ETARIO:</b>				<b>ORTEGA</b>		<b>HUERTA (8)</b>			
172.64	0.425191	81.10					172.64	81.10	
86.02	0.425191	40.41					86.02	40.41	
315.82	0.425191	383.25					315.82	383.25	
	0.943094		893.82		+ 0.01	315.15			893.82
	0.425191		517.59			1,101.78			517.59
330.70	0.937230	888.81					330.70	888.81	
11.75	0.835375	17.85					11.75	17.85	
1,416.93		1,411.42	1,411.41		0.01	1,416.93	1,416.93	1,411.42	1,411.42
	x =	2,822.93							
	Ex =	0.01							
	Kx =	0.0000035							
<b>EJIDO</b>				<b>TEPAMES</b>		<b>(9)</b>			
582.20	0.425191	273.50					582.20	273.50	
159.45	0.905103		339.41				159.45		339.41
127.56	0.905103		271.53				127.56		271.53
	0.425191		556.38			1,184.36			556.38
315.15	0.943094	893.82					315.15	893.82	
1,184.36		1,167.32	1,167.32			1,184.36	1,184.36	1,167.32	1,167.32
	x =	2,334.64							
	Ex =	0.00							
	Kx =	0.00							



75

EST.	P.V.	COORDENADAS		$X_{n+1} - X_{n-1}$	PRODUCTOS	
		Y	X		POSITIVOS	NEGATIVOS
		7,036.85	21,751.10			
	XIV	6,564.21	21,932.20	+ 121.51	334,070.16	
XIV	XV	6,773.10	21,373.61	+ 423.66	2'871,647.98	
XV	XVI	5,962.37	22,255.86	- 510.58		3'044,266.38
XVI	XVII	6,277.52	21,362.03	- 1,411.42		3'560,217.28
XVII	XVI	7,379.30	20,344.44	+ 371.22	2'732,343.75	
XXI	XXII	7,043.60	21,733.25	+ 936.66	6'520,683.61	
XXII	13	7,036.85	21,751.10	+ 93.95	626,296.31	
13	XIV					
XIV	XV					
					13'532,041.88	11'904,484.16
				DIFERENCIA =	1'627,557.72	
				1/2 DIFERENCIA =	313,778.86	Has
		4,321		AREA =	81,3770	Has
		5,962.37	22,255.86			
	XVI	5,390.17	22,529.36	- 65.91		354,607.00
XVII	XVI	5,220.72	22,189.95	- 610.94		3'180,546.63
XVIII	XIX	5,093.16	21,918.42	- 827.91		4'216,678.10
XIX	XX	6,277.52	21,362.04	+ 337.44	2'112,286.35	
XX	XXI	5,962.37	22,255.86	+ 1,167.32	6'959,993.75	
XXI	XVI					
XVII	XV					
					9'078,280.10	7'760,831.78
				DIFERENCIA =	1'317,448.32	
				1/2 DIFERENCIA =	658,724.16	Has
				AREA =	65,8724	Has



DIRECCION GENERAL DE AER  
 DEPARTAMENTO DE PROYECTOS  
 76 OFICINA DE PROYECTOS AERONAUT

No. 4

ORD N  
 66  
 67  
 74  
 86  
 43  
 05  
 07  
 84  
 58  
 35  
 43  
 79  
 58  
 82  
 97  
 58

EST.	P.V.	DISTANCIA	DEFLEXION	R. A. C.	PROY.	
					COSENO	+ N
	19-A					
19-1	20-A	723.70	0° 00' 00"	N 28° 17' 20" E	0.880560	641.67
20-A	21-A	40.00	90° 00' 00"	N 61° 42' 40" W	0.473917	18.96
21-A	22-A	721.02	90° 00' 00"	S 28° 17' 20" W	0.880560	
22-A	19-A	40.74	79° 07' 07"	S 50° 49' 47" E	0.631627	
19-A	20-A		100° 50' 53"	N 28° 17' 20" E		
		1,530.46	360° 00' 00"			660.63
		1,530.46 x 0.0002 = 0.31				y = 1,321.27
						By = 0.01
						Bv = 0.000
	III					
III	0+000	1,071.42		S 25° 09' 46" E	0.905103	
0+000	0+241.34	241.34	90° 00' 00" I	N 64° 50' 14" E	0.425101	102.52
0+241.34	0+305.00	63.66	0° 00' 00"	N 64° 50' 14" S	0.425101	27.07
0+305.00	0+341.34	36.34	90° 00' 00" I	N 25° 09' 46" W	0.905103	57.62
0+341.34	0+550.18	208.84	0° 00' 00"	N 25° 09' 46" W	0.905103	192.02
0+550.18	1+033.85	483.67	0° 00' 00"	N 25° 09' 46" W	0.905103	437.77
1+033.85	1+140.10	106.25	0° 00' 00"	N 25° 09' 46" W	0.905103	375.94
1+140.10	1+338.75	198.65	0° 00' 00"	N 25° 09' 46" W	0.905103	352.57
1+338.75	2+031.08	692.33	0° 00' 00"	N 25° 09' 46" W	0.905103	174.08
2+031.08	2+195.09	163.99	53° 27' 06" S	N 28° 17' 20" E	0.880560	169.36
2+195.09	2+639.00	443.91	0° 00' 00"	N 28° 17' 20" E	0.880560	390.89
2+639.00	3+320.86	681.86	0° 00' 00"	N 28° 17' 20" E	0.880560	160.14
3+320.86	3+363.86	42.99	0° 00' 00"	N 28° 17' 20" E	0.880560	473.15
3+363.86	3+383.86	20.00	0° 00' 00"	N 28° 17' 20" E	0.880560	17.61



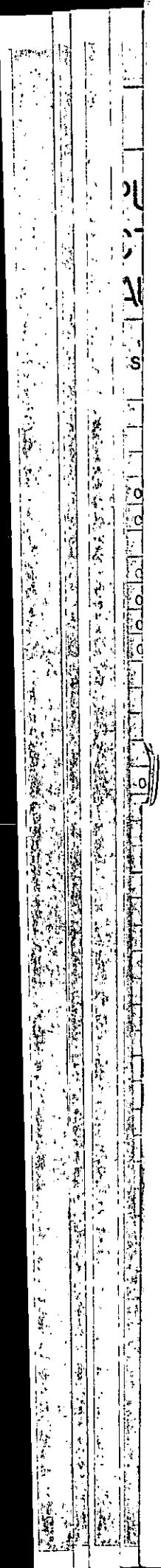
78

COORDENADAS		X <sub>n+1</sub> - X <sub>n-1</sub>	PRODUCTOS	
Y	X		POSITIVOS	NEGATIVOS
10,437.88	21,055.45			
11,099.53	21,400.80	+ 310.12	3'442,195.55	
11,118.52	21,365.53	- 376.92		4'190,772.56
10,483.61	21,023.83	- 310.12		3'251,177.13
10,437.88	21,055.46	+ 376.92	3'241,784.13	
			7'333,979.63	7'441,969.69
		DIFERENCIA =	57,970.01	
		1/2 DIFERENCIA =	28,985.01	
		AREA =	2.8995	Has.
9,905.6	20,403.39			
8,193.7	21,207.61	0+000 CAMINO DE ACCESO = 1+171.42		EJE AUX. AREA TERM.
8,206.3	21,426.05			
8,323.4	21,483.67			
8,381.0	21,456.60			
8,570.0	21,367.80			
9,007.9	21,162.15			
9,383.8	20,935.59			
9,736.3	20,819.91			
9,910.4	20,738.13			
10,079.7	20,829.28			
10,470.8	21,039.66			
10,630.9	21,125.85			
11,108.7	21,383.19	MOJONERA DERECHO DE VIA CARRETERA JIQUILPAN-COLIMA.		
11,126.1	21,392.67	3+383.86 CAMINO DE ACCESO = 197+200 C. CARRETERA JIQUILPAN-		



DIRECCION GENERAL DE AER  
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS  
79 OFICINA DE PROYECTOS AERONAUT

EST.	P.V.	DISTANCIA	DEFLEXION	R. A. C.	PROY	
					COSENO	+ N
						CAMINO
	VI			N 25° 09' 46".80 N		
VI	1-A	1.25		N 25° 03' 49".75 W	0.905836	1.13
1-A	2-A	20.00	1° 40' 54".45 D	N 23° 22' 55".41 W	0.917879	18.36
2-A	3-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 20° 12' 58".80 W	0.938393	18.77
3-A	4-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 17° 03' 02".19 W	0.956043	19.12
4-A	5-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 13° 53' 05".58 W	0.970700	19.42
5-A	6-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 10° 43' 08".97 W	0.982351	19.65
6-A	7-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 7° 33' 12".36 W	0.991323	19.83
7-A	8-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 4° 23' 15".75 W	0.997069	19.94
8-A	9-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 1° 13' 19".14 W	0.999773	20.00
9-A	10-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 1° 56' 37".47 E	0.999485	19.99
10-A	11-A	20.00	3° 09' 56".61 E	N 5° 06' 34".08 E	0.996026	19.92
11-A	12-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 8° 16' 30".69 E	0.989368	19.79
12-A	13-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 11° 26' 27".30 E	0.980130	19.50
13-A	14-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 14° 36' 23".21 E	0.967680	19.35
14-A	15-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 17° 46' 20".32 E	0.952277	19.05
15-A	16-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 20° 56' 17".13 E	0.933867	18.68
16-A	17-A	20.00	3° 09' 56".61 D	N 24° 06' 13".74 E	0.912607	18.26
17-A	18-A	18.44	2° 53' 02".31 D	N 26° 59' 16".05 E	0.891103	14.65
18-A	19-A	442.27	1° 18' 03".95 D	N 28° 17' 20".00 E	0.933569	387.51
19-A	22-A	42.74	79° 07' 07".00 I	N 50° 49' 47".00 W	0.631527	25.73
22-A	23-A	447.75	100° 52' 53".00 I	S 38° 17' 20".00 W	0.889569	
23-A	24-A	13.75	0° 58' 47".81 I	S 27° 18' 32".19 W	0.888546	
24-A	25-A	20.00	2° 24' 19".17 I	S 24° 54' 13".02 W	0.907017	
25-A	26-A	20.00	2° 51' 02".72 I	S 22° 03' 10".30 W	0.926838	
26-A	27-A	20.00	2° 51' 02".72 I	S 19° 12' 07".58 W	0.944364	
27-A	28-A	20.00	2° 51' 02".72 I	S 16° 21' 04".86 W	0.959553	
28-A	29-A	20.00	2° 51' 02".72 I	S 13° 30' 02".14 W	0.972368	
29-A	30-A	20.00	2° 51' 02".72 I	S 10° 38' 59".42 W	0.982775	
30-A	31-A	20.00	2° 51' 02".72 I	S 7° 47' 56".70 W	0.990750	
31-A	32-A	20.00	2° 51' 02".72 I	S 4° 56' 53".98 W	0.996273	
32-A	V	14.21	10° 57' 49".94 E	S 15° 54' 43".92 W	0.961683	
V	VI	152.21	41° 04' 29".92 I	S 25° 09' 46".00 E	0.905103	
VI	1-A		179° 54' 03".86 I	N 25° 03' 49".86 W		
		1.531.44	64° 18' 59".80 I			732.75
	1.636.40 x 0.0003=		424° 18' 59".80 I		$x_{y=}$	1.177.50
			360° 00' 00".00		$E_{y=}$	0.00
					$E_{y=}$	0.000







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

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE  
MAYO.  
MEXICO, D. F.

RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO  
GEOMETRICO DE AEROPUERTOS

ING. SERGIO VIRAMONTES PEREZ

ING. LUIS CAMACHO DORANTES

RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO:

GEOMETRICO DE AEROPUERTOS

CAPITULO I

Proyecto de Rasantes

CAPITULO II

Transiciones

CAPITULO III

Perfiles y Movimiento de Tierras

LAMINAS ILUSTRATIVAS

De la No. 1 a la 14

EXPOSITORES: Ing. Sergio Viramontes Pérez

Ing. Luis Camacho Dorantes

RECOMENDACIONES PARA EL  
PROYECTO GEOMETRICO  
DE AEROPUERTOS

CAPITULO I  
PROYECTO DE RASANTES

2

El proyecto de una rasante consiste en determinar el alineamiento vertical del eje de pistas, rodajes, plataformas y caminos de acceso, que tiene que ajustarse a ciertas normas referentes a pendientes longitudinales.

Una pista tendrá una rasante ideal, cuando su pendiente longitudinal sea nula, es decir que esté contenida dentro de un plano horizontal, lo anterior se podría lograr pero a un costo excesivamente alto, en lo que a drenaje y terracerías corresponde. Para hacer más económica la obra, longitudinalmente se trata hasta donde sea posible seguir la configuración del terreno natural, y transversalmente se dan pendientes que faciliten el drenaje del agua pluvial y disminuya el volumen de las terracerías.

Las pendientes longitudinales recomendadas varían según el tipo de pista de que se trate. (véase lámina No. 1).

Se procura no determinar fuertes pendientes para evitar columpios o crestas que ocasionen molestias a los pasajeros y daños a las aeronaves.

En las calles de rodaje, las pendientes fuertes tampoco deben existir, pues con ello encarecen la operación de las aeronaves.

Se le llama pendiente efectiva, al cociente resultante de dividir la máxima diferencia de alturas de una pista medida sobre el eje, entre la longitud de la misma (véase lámina No. 1).

La distancia permisible mínima entre dos cambios de pendientes para una pista, se puede obtener utilizando la fórmula que aparece en la lámina No. 2.

En la que X, Y, y Z, son las pendientes longitudinales que indica la figura.

La diferencia máxima de pendiente longitudinal especificada sin necesidad de una curva vertical es de 0.1% en 30 m para pistas y de 1.0% en 30 m para calles de rodaje; cuando estas diferencias excedan de los valores anteriores, deberán corregirse los puntos de inflexión por medio de una curva vertical, utilizando la tabla No. 1.

Para determinar las pendientes longitudinales y sus limitaciones correspondientes a las calles de rodaje, consulte la lámina No. 3.

En las plataformas de cualquier tipo, se recomienda que la pendiente no exceda de 0.5% en cualquier sentido; esto es con el objeto de que los tanques de combustible de las aeronaves, se llenen a toda su capacidad.

3

Se recomiendan los siguientes límites, para las pendientes longitudinales a lo largo de la porción de una franja de seguridad que habrá de nivelarse en una pista:

1.5% cuando la letra de clave de la pista sea A

1.75% cuando la letra de clave de la pista sea B

2.0% cuando la letra de clave de la pista sea C, D, o F.

Otra recomendación importante que señala la OACI, es la siguiente:

"Desde cualquier punto situado a 3 m por encima de una pista, sea visible todo otro punto situado a 3 m también por encima de la pista, dentro de una distancia igual, por lo menos, a la mitad de la longitud de la pista".

Veáse lámina No. 4).

En conclusión: para determinar las rasantes, hay que tomar en consideración factores tan importantes como: el drenaje, la topografía del lugar y la composición del suelo; pues todo ello redunda en el costo y buen funcionamiento del aeropuerto.

## CAPITULO II

d

### TRANSICIONES.

Al proyecto de la superficie, que definitivamente tendrá un pavimento, en la zona de cruces de pistas, cruces de pistas con rodajes o unión de pistas con rodajes etc., se le llama transición; se le da este nombre porque todos los cambios de pendiente que hay en esas zonas, se hacen graduales con el objeto de evitar depresiones o topes que hagan peligrosa la operación de las aeronaves y ocasionen molestias a los pasajeros.

Para el proyecto del plano de transiciones, se deben tomar en cuenta, las recomendaciones que estipula el anexo 14 de la O.A.C.I. (Organización de Aviación Civil Internacional) en lo que se refiere a pendientes transversales al eje de la pista. Si se consultan las láminas Nos. 5 y 6, se pueden apreciar las pendientes recomendadas para la zona pavimentada, acotamientos o márgenes y franjas de seguridad. Se tienen dos casos: si el aeropuerto va a operar con ayudas visuales, el ancho total deberá ser cuando menos de 150 m. Si la operación será por instrumentos el ancho mínimo recomendado será de 300 m.

Es muy importante, desalojar las aguas pluviales lo más rápido posible. Lo ideal sería como se dijo en el capítulo referente a rasantes, tener la pista alojada en un plano horizontal, lo cual traería como consecuencia un bombeo nulo y debido a esto se provocarían encharcamientos; el agua de los charcos, penetra por las grietas de la carpeta hasta la base, la que al humedecerse reduce su valor relativo de soporte, ocasionando hundimientos de la carpeta e inmediatamente aparecerá el bache.

Para evitar al máximo lo anteriormente expuesto, se le da a las pistas calles de rodaje y plataformas, pendiente transversal o bombeo para que permita desalojar rápidamente el agua de las zonas pavimentadas y fajas de seguridad.

Una pendiente transversal excesiva tampoco es recomendable pues el agua al escurrir puede provocar erosiones, y quizás la destrucción de los terraplenes de la faja de seguridad.

Los taludes en las secciones transversales de pistas, rodajes, plataformas y canales que se construyan paralelamente a cada uno de los elementos anteriormente mencionados, serán de 7 x 1.

Este talud de 7 x 1, se ha elegido en virtud de que si una aeronave se saliera de la pista y rodando llegara a la cuneta, no se ocasione el daño que pudiera sufrir teniendo por ejemplo, taludes verticales, es decir,

que el avión cruce la cuneta rodando si el terreno se lo permite.

En las láminas Nos. 7 y 8, se aprecian las secciones típicas para calles de rodaje y plataformas.

Una vez calculada la rasante, y siguiendo las recomendaciones que se comentaron,, se procede a la elaboración del "plano de transiciones", el que no ofrece ninguna dificultad. El verdadero problema existe en cruces de pistas, cruces de rodajes, o en la unión de una pista con un rodaje. En la lámina No. 9 se tiene un ejercicio práctico, que se puede resolver con ayuda de la lámina No. 10 (se pueden usar para el ejercicio las láminas Nos. 11 y 12.

## PERFILES Y MOVIMIENTO DE MATERIALES

En éste capítulo se tratará lo que puede llamarse la fase final del proyecto geométrico de un aeropuerto, o de la elaboración de los planos:

Perfil longitudinal con cantidades de obra  
y el de movimiento de materiales.

En esta etapa, ya deben tenerse dibujadas las secciones transversales de construcción de la pista, rodajes, plataforma y camino de acceso, de acuerdo con los planos de transiciones de los que se habló en el capítulo II. De las secciones transversales tendrán que obtenerse las áreas de corte y terraplén, lo cual podrá hacerse con escalímetro o por medio de un planímetro, las que nos servirá para obtener el volumen de uno y otro. Para obtener el volumen de corte o terraplén, se hará tomando el promedio de sus áreas multiplicada por la distancia entre ellas, o sumando sus áreas y multiplicándola por la semidistancia, lo que será exactamente lo mismo:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times d \qquad V = \frac{(A_1 + A_2)}{2} \times \frac{d}{2}$$

La distancia d es generalmente de 20 m pudiendo aumentarse o disminuirse, en función de la configuración topográfica.

Cuando la rasante pasa de corte a terraplén, sobre todo en los terrenos con pendiente transversal al eje de la pista, aparentemente en el eje no existe ningún movimiento, pero lateralmente existirá forzosamente corte y terraplén. Una vez obtenidas las áreas de las secciones transversales, se pasan éstas a las hojas de curva masa, (véase tabla-2), en las que claramente están indicadas las operaciones a efectuar.

Claramente se comprende que un metro cúbico de material excavado, raramente tiene un metro cúbico en el terraplén, por lo tanto los volúmenes de corte deben de ser afectados de cierto coeficiente, antes de que sean calculadas las ordenadas del diagrama de masas.



Los volúmenes de corte y terraplén, están medidos geoméricamente en las secciones transversales, por lo que el volumen del terraplén se obtiene compacto y el de corte, en lecho.

Sí los materiales que se excavan se pueden usar para terraplenar, sus volúmenes tendrán que ser afectados por un coeficiente de abundamiento o reducción, que podrá ser mayor o menor de la unidad, dependiendo esto del tipo de material de que se trate.

Se llama coeficiente de variabilidad volumétrica, a la relación que existe entre el peso volumétrico del material en su estado natural y el peso volumétrico que ese mismo material tiene al formar parte del terraplén. Este coeficiente se aplica al volumen del material en su estado natural para obtener su volumen en el terraplén.

El coeficiente será mayor que la unidad, cuando un metro cúbico de terraplén pueda construirse con un volumen menor de material, obtenido en el corte o en el préstamo. Contrariamente, el coeficiente será menor que la unidad, cuando el volumen de terraplén requiera un volumen mayor de material constitutivo.

Los coeficientes de abundamiento o reducción se expresan en tanto por ciento de abundamiento o tanto por ciento de reducción, que representan el cambio de volumen en por ciento entre el corte y el terraplén. El volumen ocupado en el corte, siempre se considera como la unidad. Así, sí un metro cúbico de excavación se abunda a 1.20 m cúbicos en el terraplén, el abundamiento será  $(1.20 - 1) \times 100 = 20\%$ , Además si un metro cúbico de corte se hace solamente 0.8 m cúbicos en el terraplén, la reducción en por ciento será:  $(1.0 - 0.8) \times 100 = 20\%$ .

Conviene comprender algunas características de la curva de masas antes de proceder a su uso, (véanse láminas Nos. 13 y 14.

- a).- Una curva de masas que se eleva indica excavación en ese punto y cuando baja indica terraplén.
- b).- Las inclinaciones muy grandes del diagrama de masas indican grandes cortes o terraplenos.
- c).- Los puntos donde las pendientes del diagrama de masas es nula, nos indican que la rasante pasa de corte a terraplén o viceversa.
- d).- La diferencia en ordenada entre dos puntos de la curva de masas, representa el exceso neto de excavación con respecto al terraplén entre esos puntos, o inversamente, el exceso neto de terraplén con respecto a la excavación.

e).- Si una línea horizontal corta a la curva de masas en dos puntos, la excavación y el terraplén está compensado, o sea que el corte y el terraplén son exactamente el mismo volumen.

Uno de los usos que tiene el diagrama de masas, es el cálculo de acarreo a lo largo del eje, en este caso de una pista, para lo cual se sigue el procedimiento que a continuación se detalla.

a).- Se terminan las zonas, en las cuales los cortes compensan a los terraplenes, esto se hace trazando líneas horizontales cuyos extremos tocan la curva de masas, en la figura (lámina No. 13), estas son las líneas horizontales iguales a 20 m tales como A' C', C' F', F' I', I' J', J' M' además se colocan todas las líneas horizontales iguales a 20 m tales como D' E', G' H', K' L' de la figura. Estas líneas nos limitan el acarreo libre.

b).- Se determina la posición de la excavación sobrante; para ilustrar, la curva de masas muestra que la excavación y el terraplén están compensados en C y en F. Entonces el corte CD será depositado en el terraplén E F. Similarmente, la excavación H I, formará el terraplén F G, y la excavación L M formará el terraplén J K tal como se indica por medio de flechas punteadas en la figura.

Para el diagrama de la figura, la excavación excede al volumen de terraplén en el volumen M' N', como este material no se requiere para terraplén en este tramo. podrá ser desperdiciado o usado en otro tramo de una pista en nuestro caso.

c).- Una vez que se han dibujado las distancias de acarreo libre se procede a calcular la distancia promedio de acarreo en la forma siguiente: Se obtiene el área por ejemplo de la figura F'G'H'I', se divide entre la ordenada, expresada en m<sup>3</sup> el cociente será la distancias X' Y' buscada.

El funcionamiento de la curva de masas en este tipo de acarreo es como sigue: considerando la misma figura F'G'H'I', se tiene que, el corte H I se tendrá que mover hacia el relleno F G. Similarmente en las figuras D', E', C', F' y J', K', L', M', los cortes C D y L M se transportarán hacia los lugares de relleno E F y J F respectivamente.

En forma práctica la distancia promedio de acarreo se encuentra pasando por el centro de la ordenada F' G', por ejemplo, una línea horizontal la que medimos con un escaletro.

Las distancias de acarreos que se usan actualmente son:

- S.A. DE 20 A 100 metros se expresa en m<sup>3</sup>-est.
- S.A. DE 120 A 500 metros se expresa en m<sup>3</sup>-hm
- S.A. DE 500 en adelante se expresa en m<sup>3</sup>-km

d).- La forma de calcular los S.A. es la siguiente:

Haciendo referencia nuevamente a la figura F'G'H'I', se determinan gráficamente las ordenadas de los puntos F' y G', y se efectúa la siguiente operación:

$$\frac{\text{Ordenada F}' - \text{Ordenada G}'}{\text{coeficiente de ablandamiento}} \times d$$

En la que d, puede estar expresada en est, hm, km, dependiendo de la distancia de acarreo promedio calculado.

Los diagramas de masas que se presentan en aeropuertos son semejantes o más simples que el de la figura, ya que en nuestro caso, son terrenos, en general planos y la rasante de la pista, casi siempre se proyecta en terraplén, llegan a presentarse en algunas ocasiones movimientos pequeños y por consiguiente diagramas muy simples, debido a algunos cortes en las orillas de las fajas de seguridad y en la rasante misma.

En el proyecto de caminos los diagramas de masas son mucho más complicados pues su trazo está obligado a tocar puntos fijos los que generalmente están separados casi siempre por terrenos montañosos muy comunes en nuestra República.

Los pagos de acarreos se harán multiplicando el volumen acarreado, por la distancia de acarreo expresada en m<sup>3</sup>-est, m<sup>3</sup>-hm ó m<sup>3</sup>-km y por el precio unitario para cada una de esas unidades, ó sea:

$$\text{Volumen} \times \begin{matrix} \text{m}^3\text{-est} \\ \text{m}^3\text{-km} \\ \text{m}^3\text{-km} \end{matrix} \times \text{precio unitario} = \text{costo}$$

En ocasiones cuando el material de corte no es apto para terracerías, hay necesidad de traer material de algún banco localizado expresamente para extraer material y formar los terraplenes de la pista.

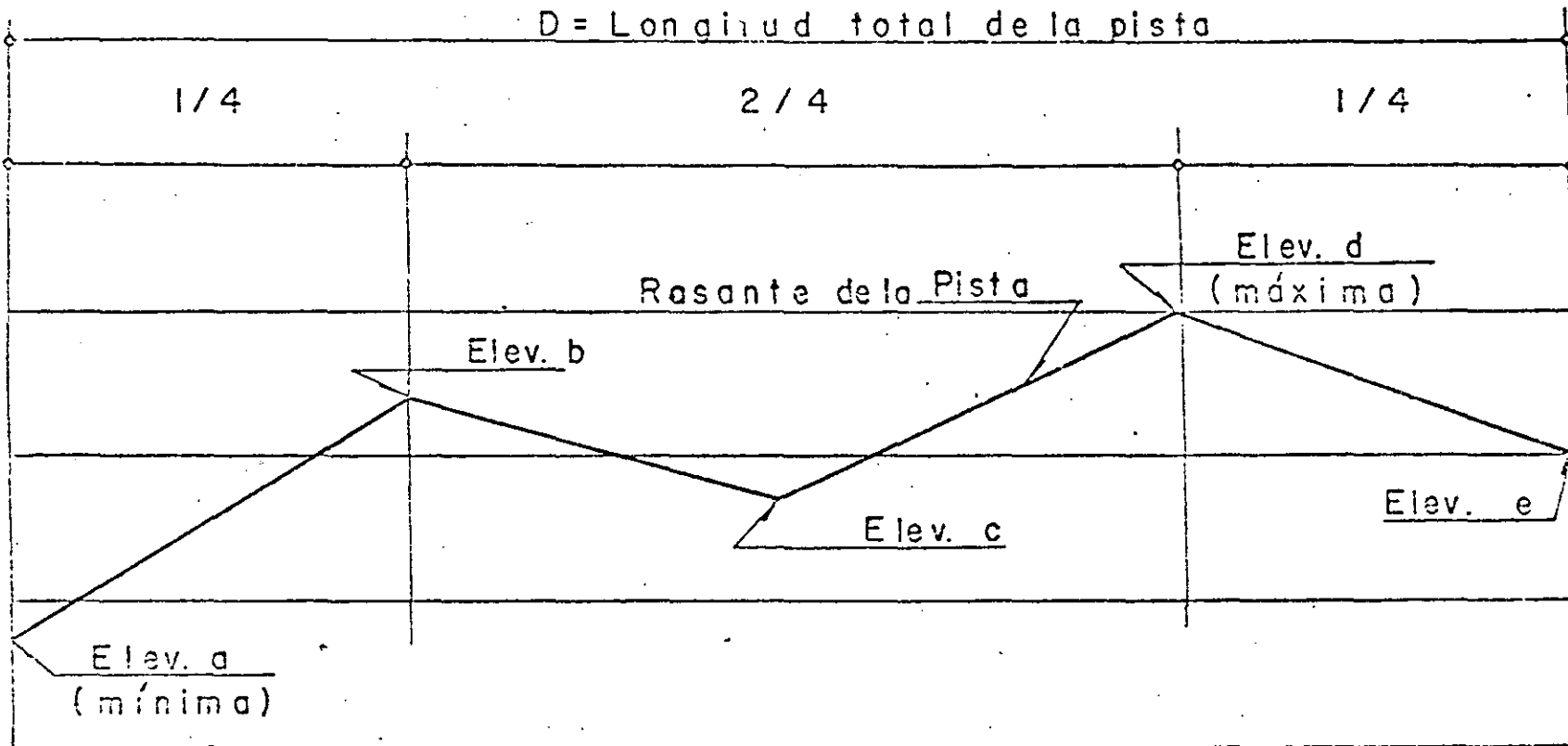
En aeropuertos los préstamos laterales no son permitidos, puesto que en época de lluvias las depresiones dejadas por las extracciones de material se llenan de agua dando origen a un criadero de aves, las que son un peligro para la navegación aérea.

La distancia mínima especificada para la localización de bancos de préstamo para terracerías, es de 500 m al eje de la pista y aguas abajo.

Con todo lo anterior tenemos ya suficiente material para formar totalmente el plano de perfil y movimiento de materiales.

# PENDIENTES DE LAS PISTAS

D = Longitud total de la pista



## PENDIENTE GENERAL

$$\frac{d-a}{D} \leq 1\% \text{ para pistas A, B y C}$$

$$\frac{d-a}{D} \leq 2\% \text{ para pistas D y E}$$

## PENDIENTES PARCIALES LONGITUDINALES

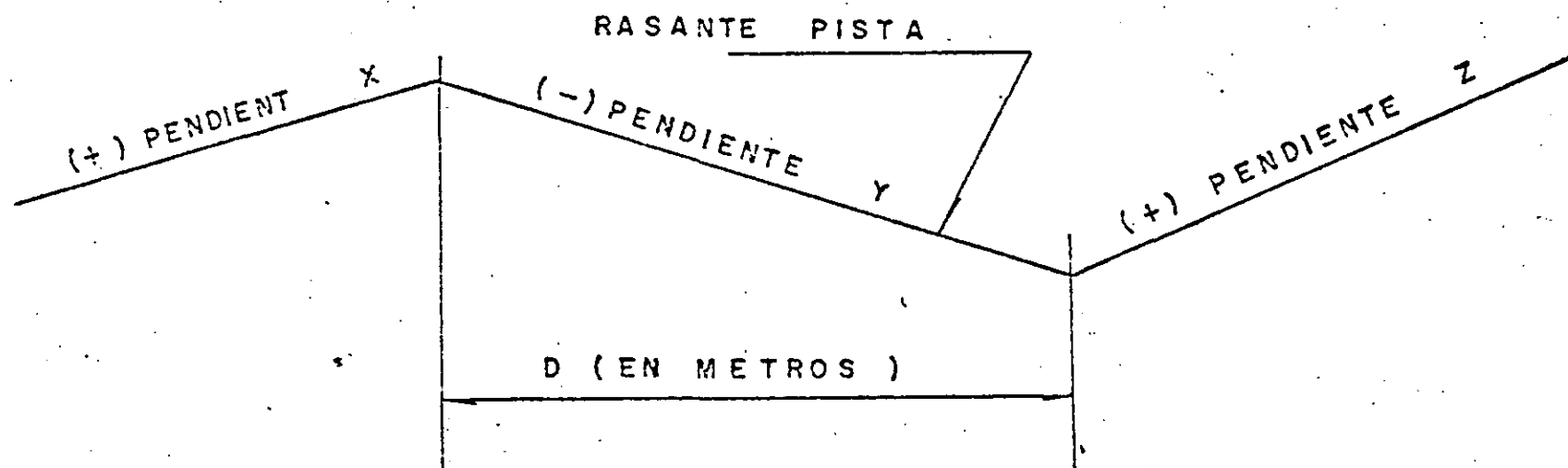
1.25 % máximo para pistas de clave A y B

1.50 % máximo para pistas de clave C

2.00 % máximo para pistas de clave D y E

Para pistas de clave A y B la pendiente longitudinal no debería ser mayor de 0.8% en la primera y última cuarta parte de su longitud.

# DISTANCIA MINIMA PERMISIBLE ENTRE DOS CAMBIOS DE PENDIENTE DE UNA PISTA



$K = 30000$  m PARA PISTAS DE CLAVE A Y B

$K = 15000$  m PARA PISTAS DE CLAVE C

$K = 5000$  m PARA PISTAS DE CLAVE D Y E

$$D \leq K ( (X-Y) + (Y-Z) ) \quad \text{METROS}$$

$|X-Y|$  = VALOR NUMERICO ABSOLUTO DE X-Y

$|Y-Z|$  = VALOR NUMERICO ABSOLUTO DE Y-Z

$D$  MINIMA = 45 m

*la suma de los valores nume-  
ricos absolutos de los  
cambios de Pendiente con las  
pendientes multiplicados por K*

LÁMINA Nº 2

# CALLES DE RODAJE

## PENDIENTES LONGITUDINALES

1.5 % PARA PISTAS DE CLAVE A SERVIR SEAN A Y B

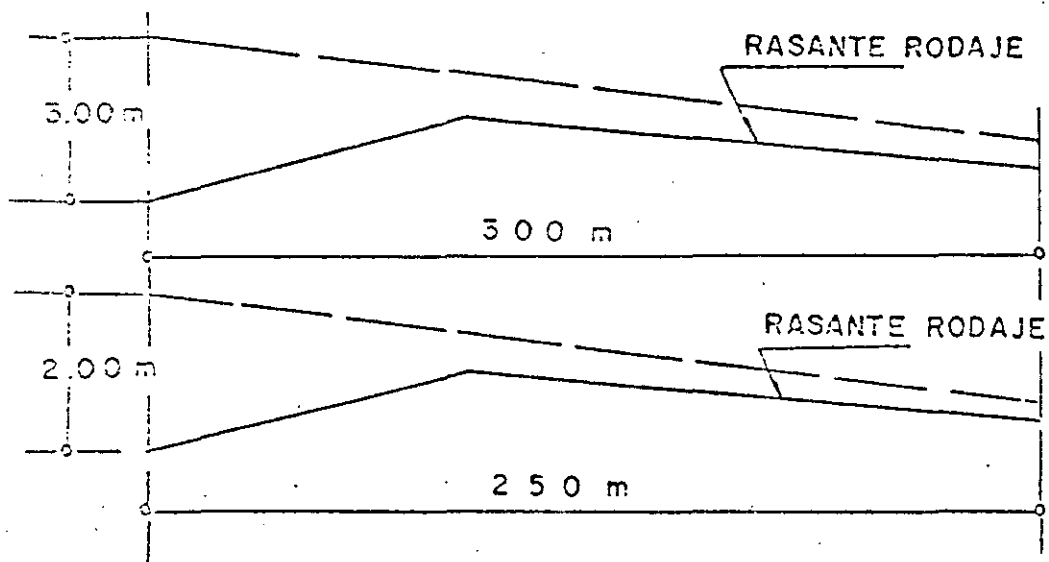
3.0 % PARA PISTAS DE CLAVE A SERVIR SEAN C, D Y E

## CAMBIOS DE PENDIENTE

1.0 % POR CADA 30 m (RADIO MINIMO DE 3000 m) PARA PISTAS DE CLAVE A SERVIR SEAN A, B ó C

1.0 % POR CADA 25 m (RADIO MINIMO DE 2500 m) PARA PISTAS DE CLAVE A SERVIR SEAN D ó E

## DISTANCIA VISIBLE



PARA PISTAS A SERVIR SEAN A, B ó C

PARA PISTAS A SERVIR SEAN D Y E

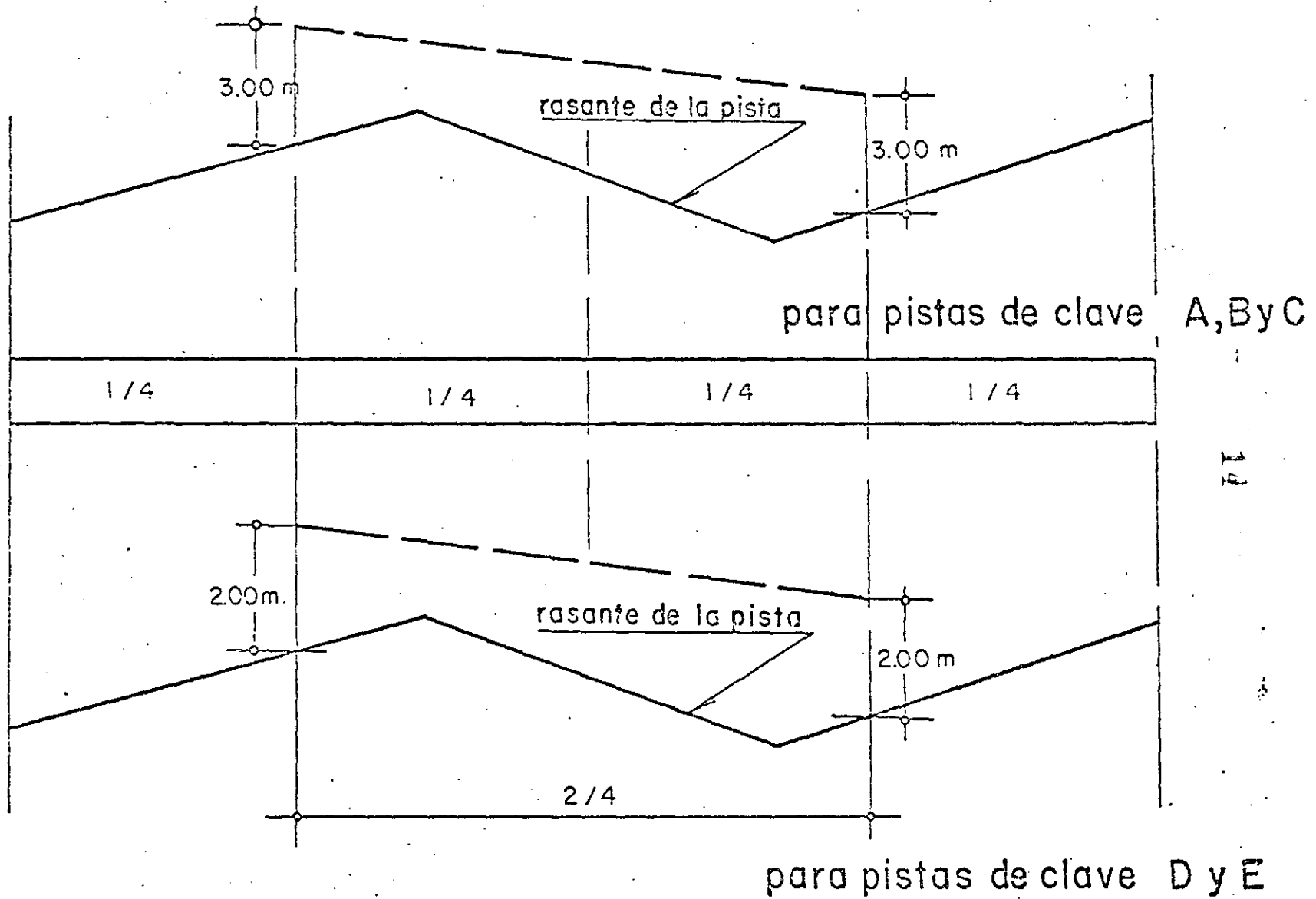
## PENDIENTES TRANSVERSALES

1.5 % PARA PISTAS DE CLAVE A SERVIR SEAN A, B ó C

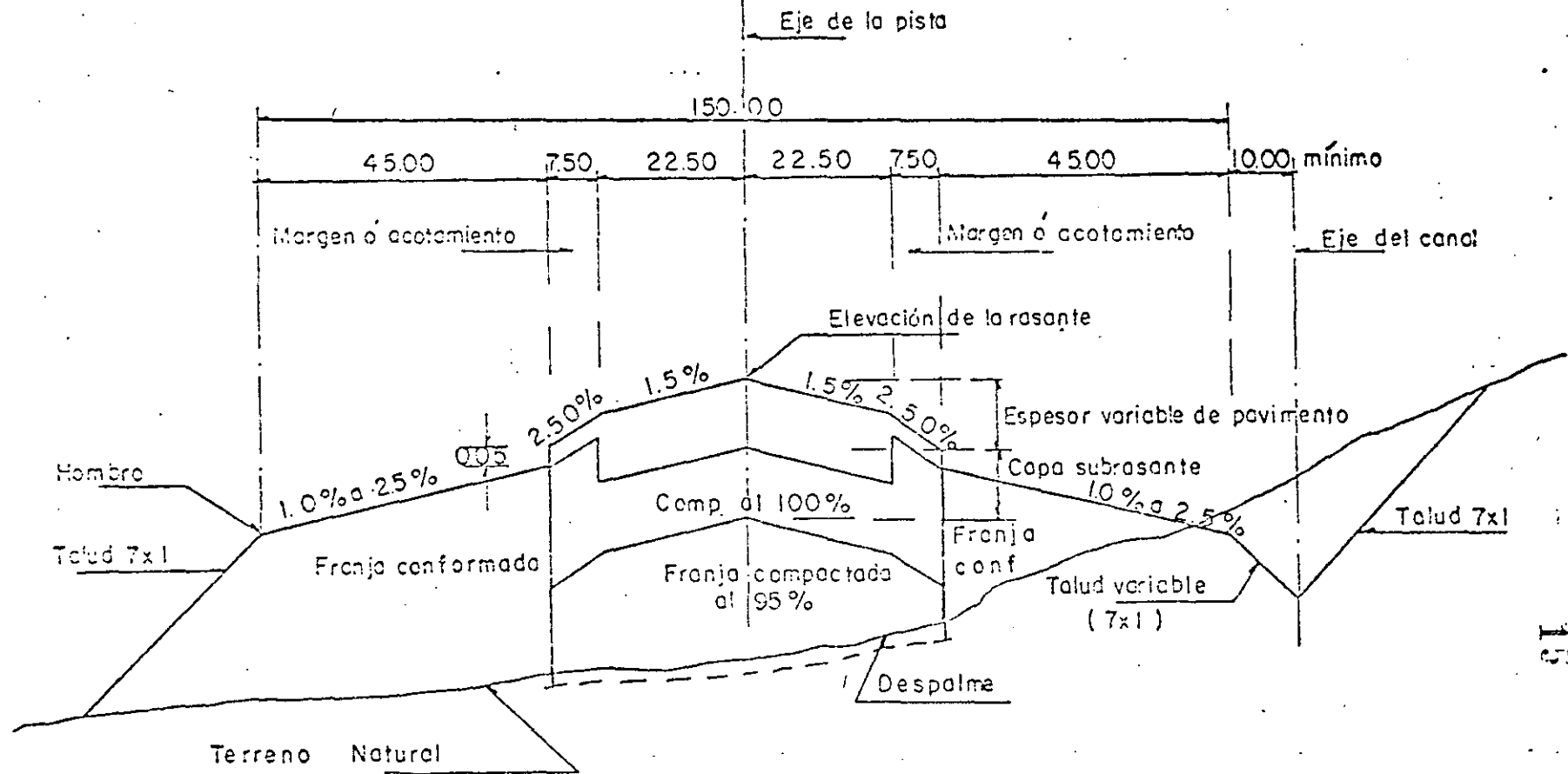
2.0 % PARA PISTAS DE CLAVE A SERVIR SEAN D ó E

Lámina N° 3

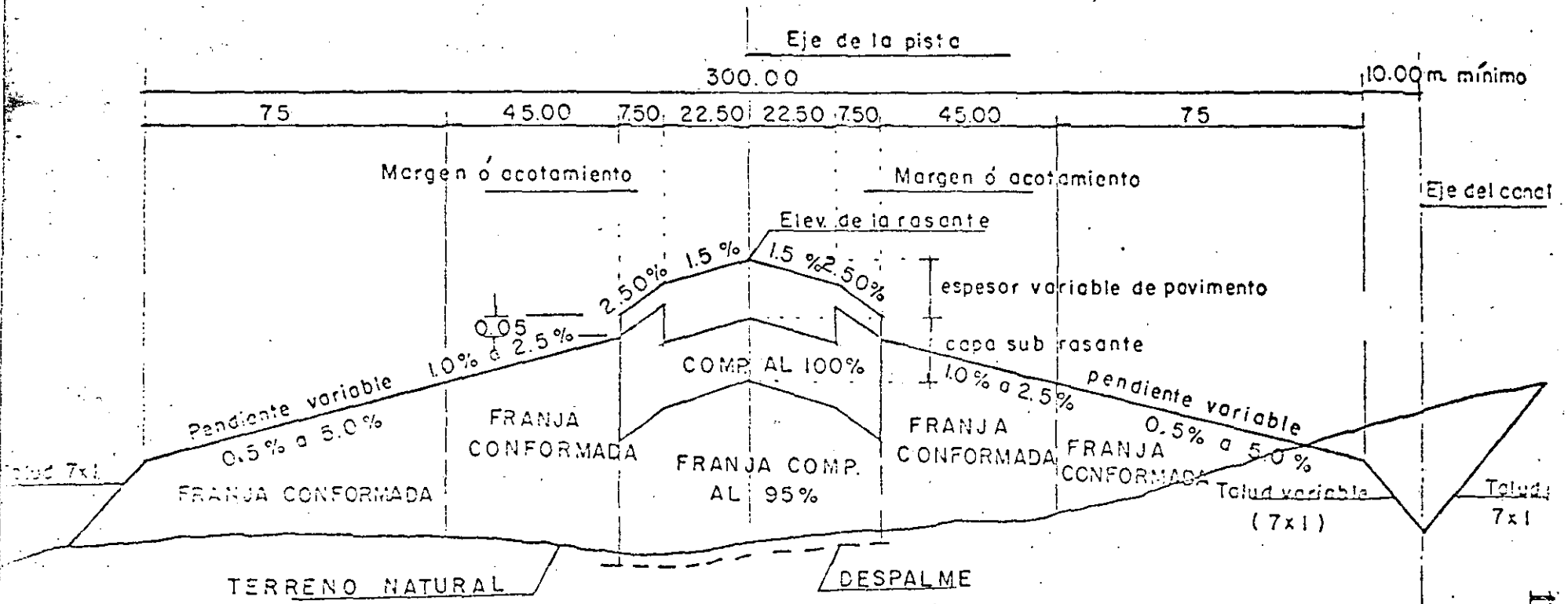
# DISTANCIA VISIBLE EN PISTAS



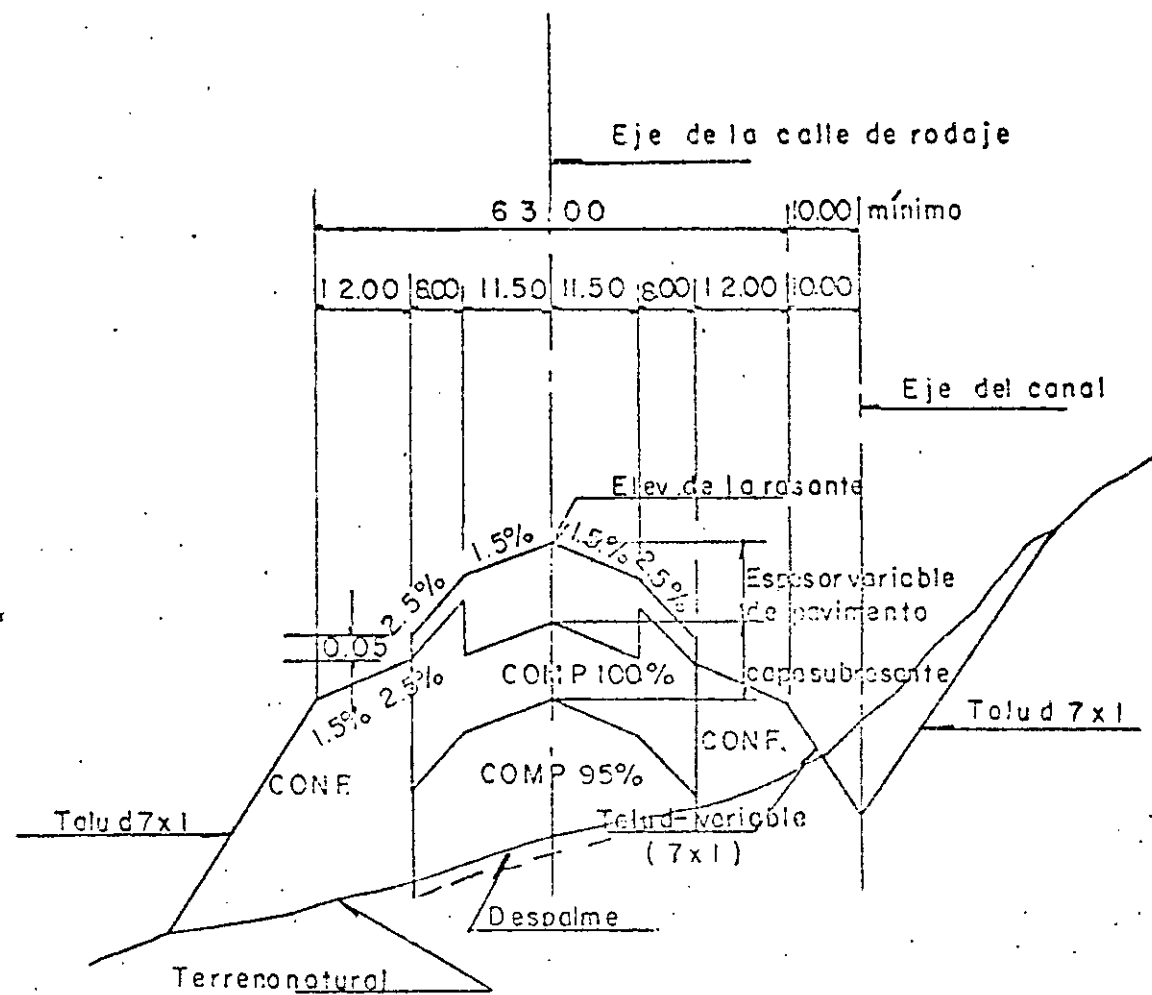




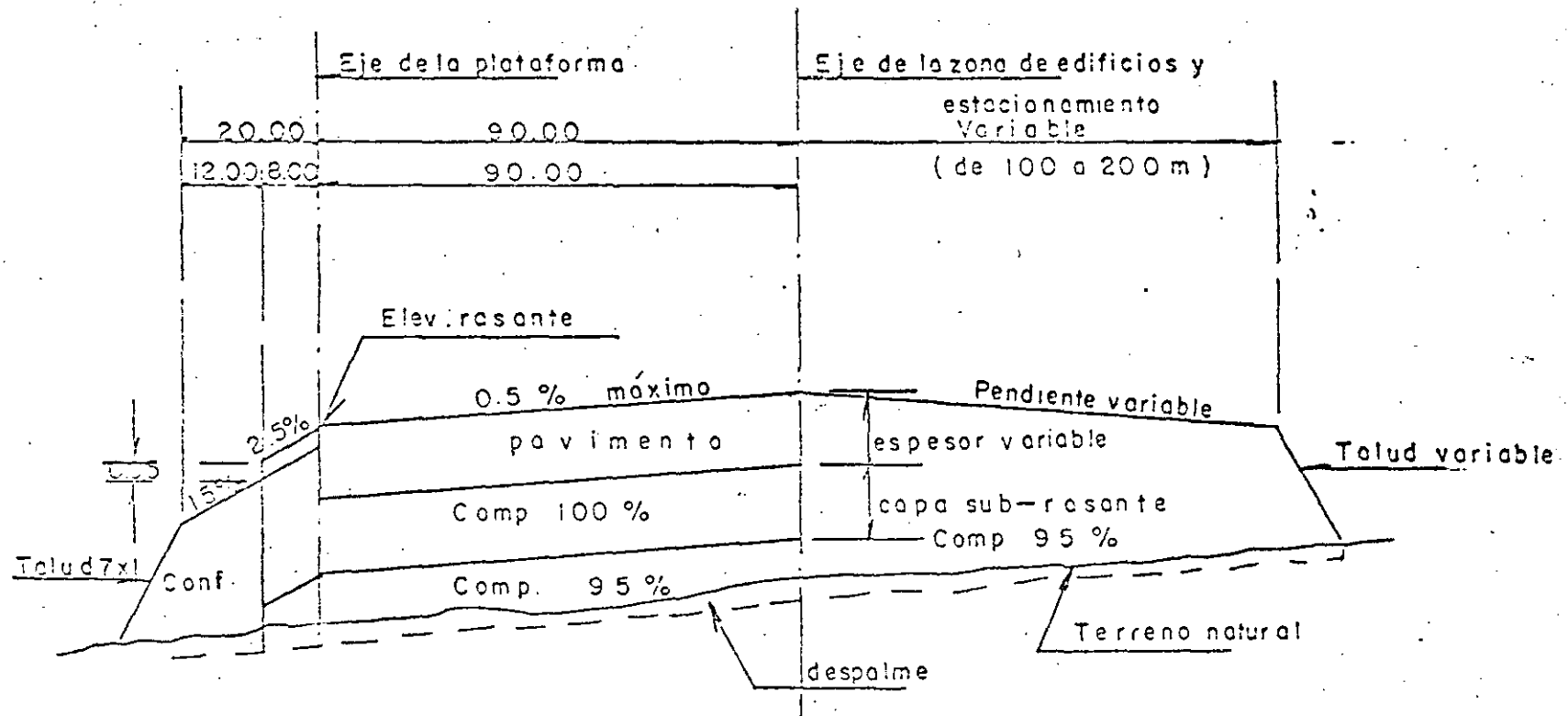
SECCION TRANSVERSAL DE LA PISTA DE  
150.00 m. DE ANCHO, PARA OPERACION  
VISUAL



SECCION TRANSVERSAL DE LA PISTA DE  
300.00m. DE ANCHO, PARA OPERACION  
POR INSTRUMENTOS

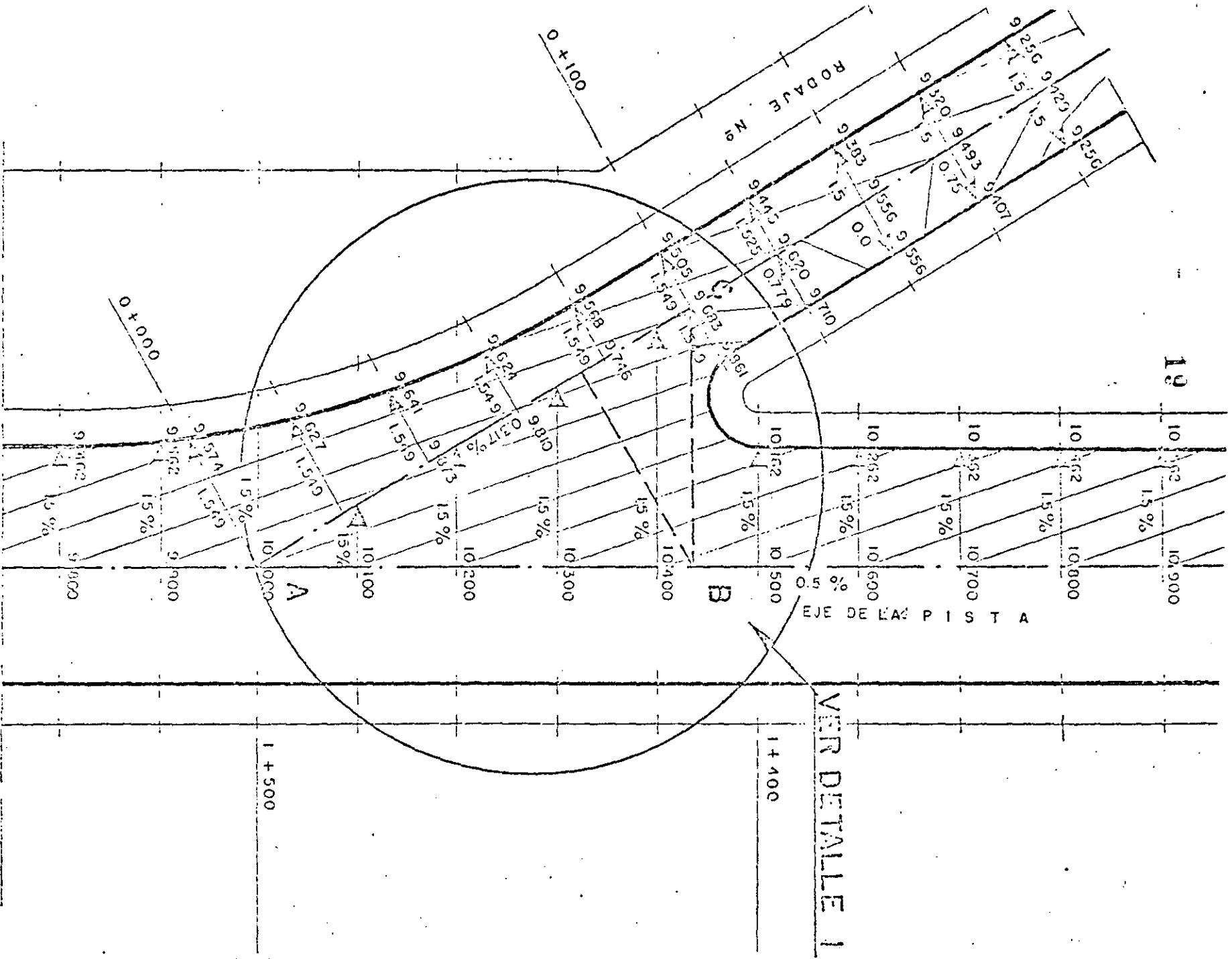


SECCION TRANSVERSAL DE LA CALLE DE RODAJE DE 63.00m DE ANCHO, PARA PISTAS DE CLAVE A SERVIR SEAN A ó B

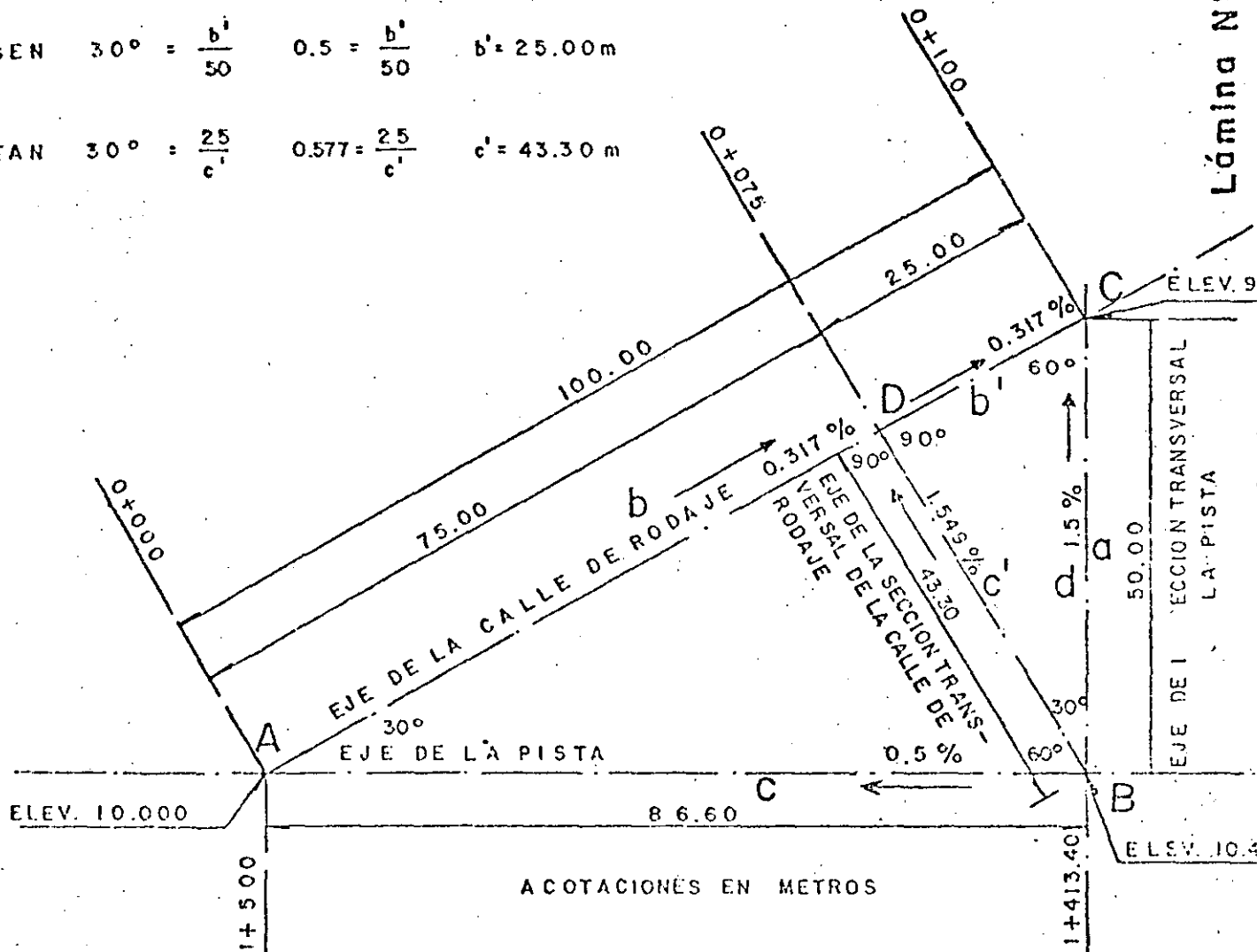


SECCION TRANSVERSAL DE PLATAFORMA DE OPERACIONES DE 90.00m DE ANCHO

EJEMPLO DE TRANSICION PARA LA UNION DE UNA  
PISTA CON UNA CALLE DE RODAJE



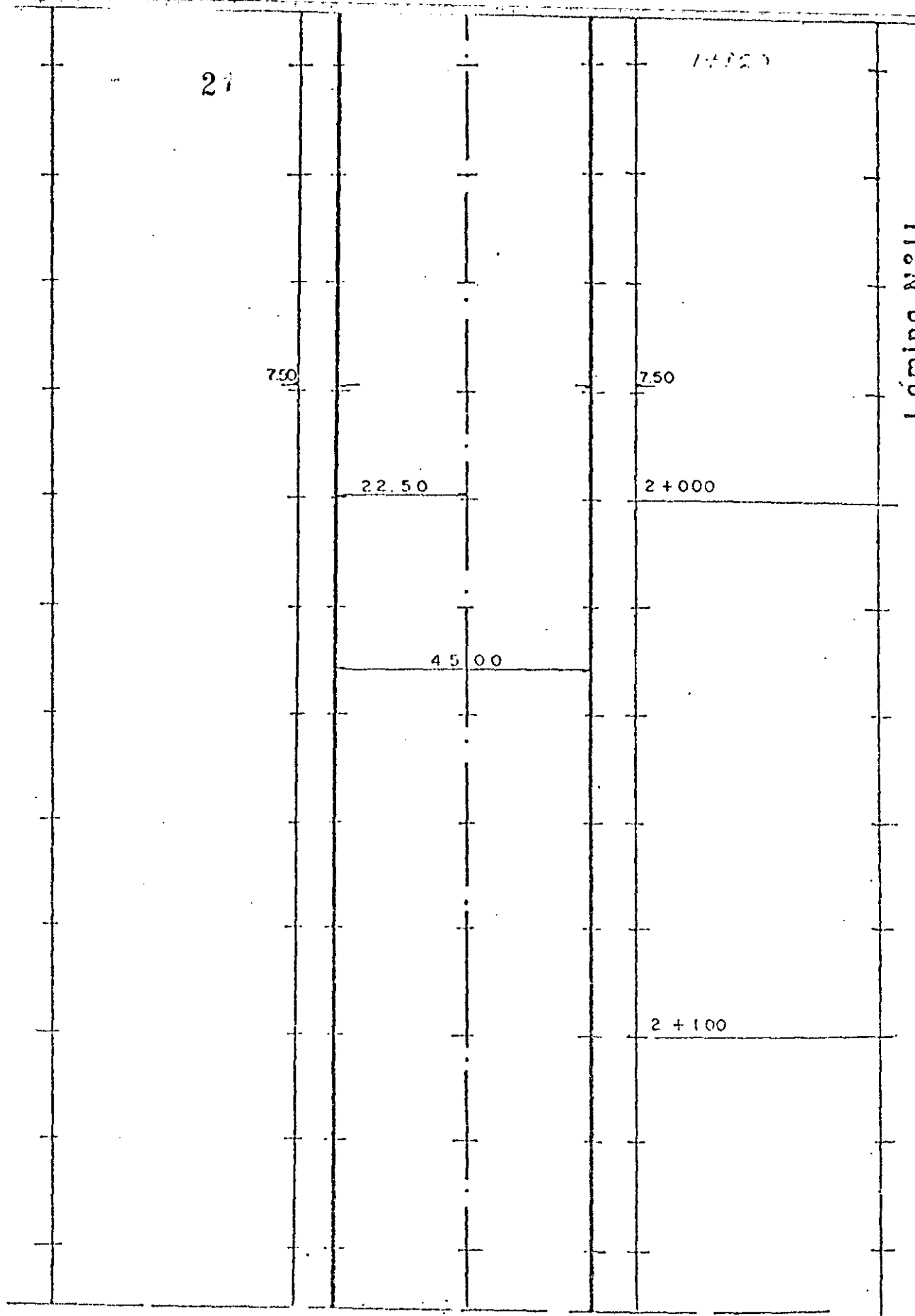
$\text{SEN } 30^\circ = \frac{a}{100}$      $0.5 = \frac{a}{100}$      $a = 50.00 \text{ m}$   
 $\text{TAN } 30^\circ = \frac{50}{c}$      $0.577 = \frac{50}{c}$      $c = 86.60 \text{ m}$   
 $\text{SEN } 30^\circ = \frac{b'}{50}$      $0.5 = \frac{b'}{50}$      $b' = 25.00 \text{ m}$   
 $\text{TAN } 30^\circ = \frac{25}{c'}$      $0.577 = \frac{25}{c'}$      $c' = 43.30 \text{ m}$



ACOTACIONES EN METROS

DETALLE I

EJEMPLO DE TRANSICION PARA LA UNION DE UNA PISTA CON UNA CALLE DE RODAJE



EJEMPLO DE TRANSICION DE UN TRAMO DE UNA PISTA.

22

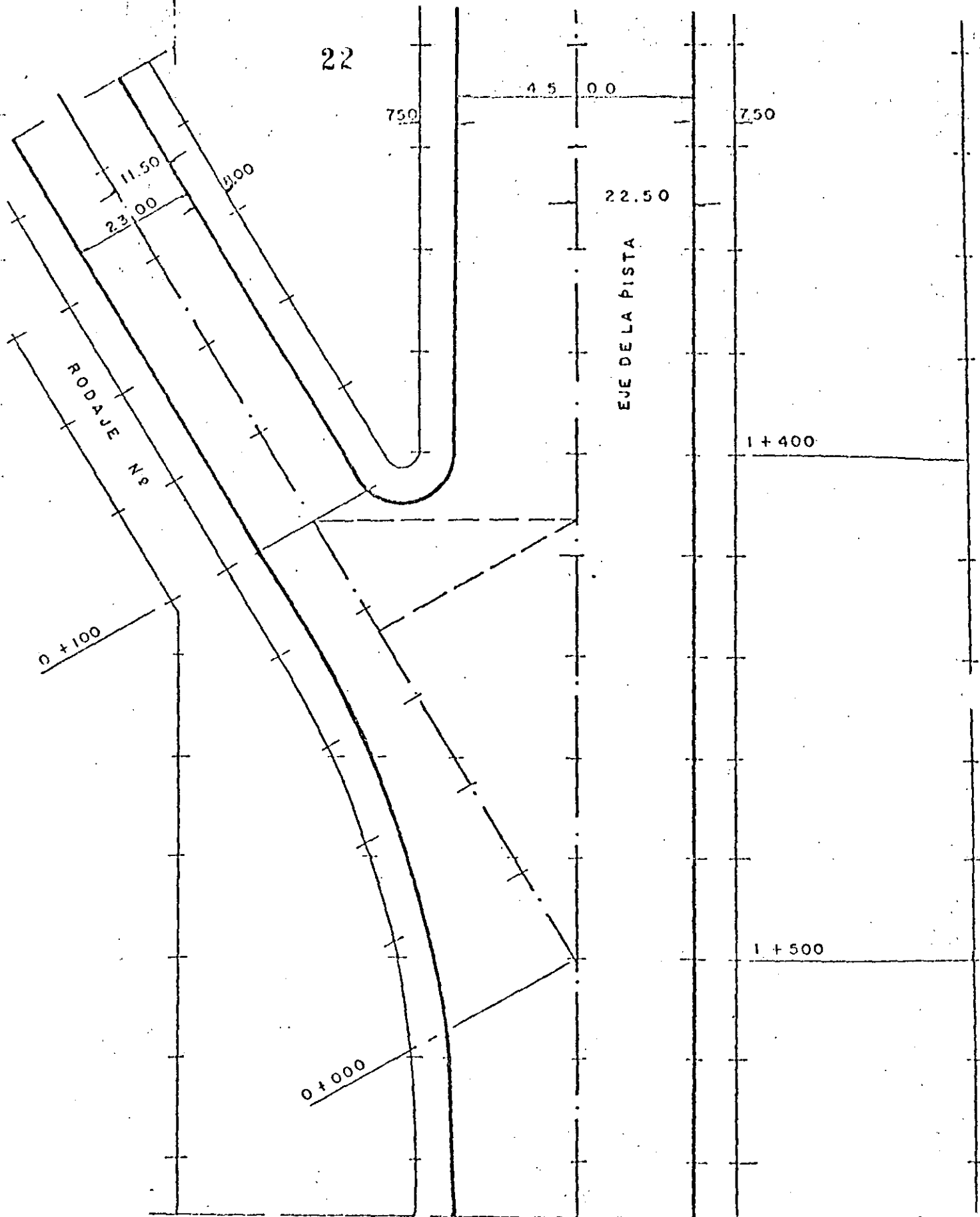
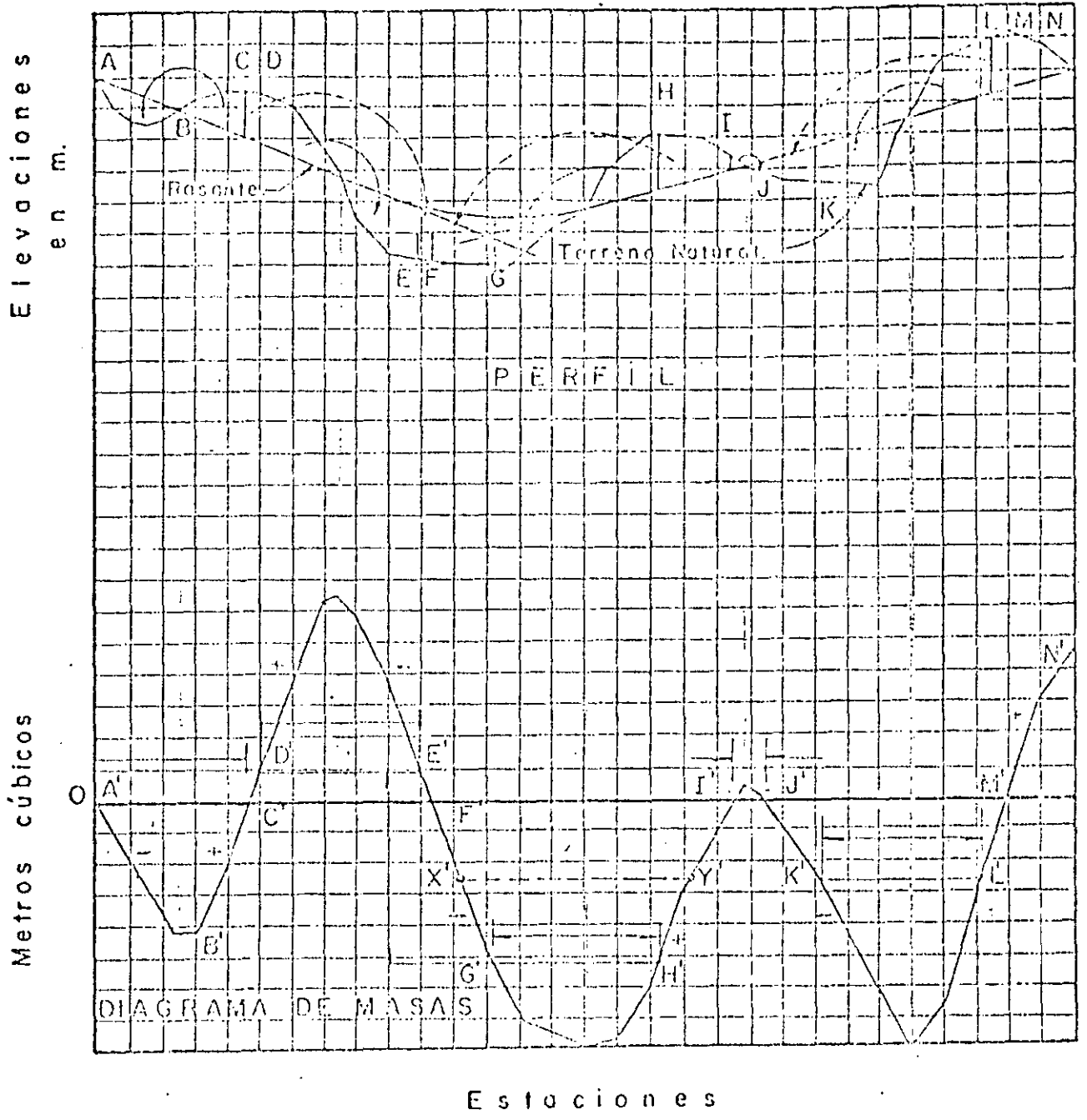


Lámina N° 12

EJEMPLO DE TRANSICION PARA LA UNION DE UNA PISTA CON UNA CALLE DE RODAJE

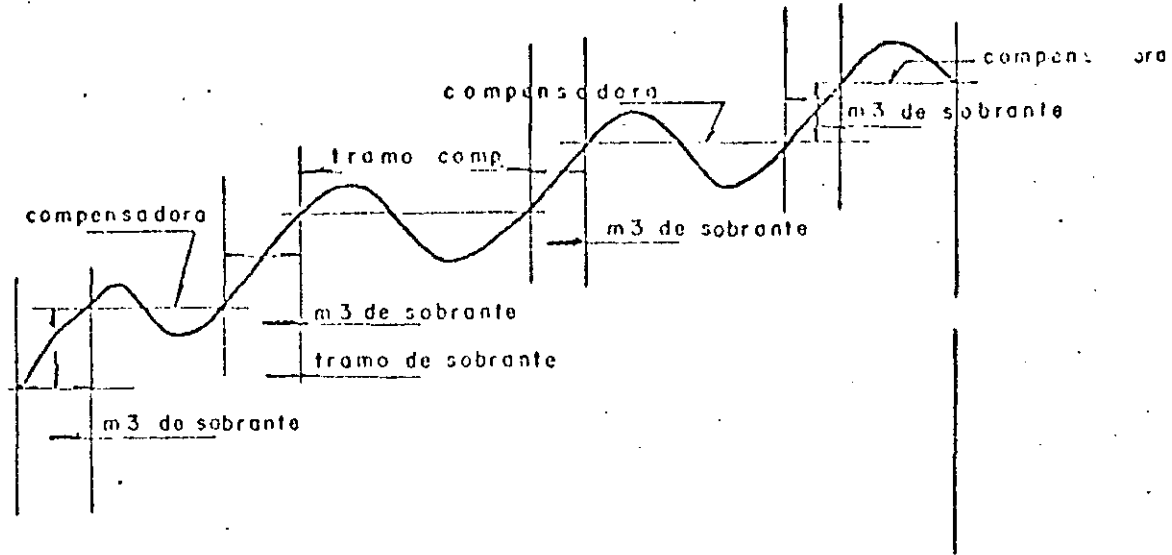




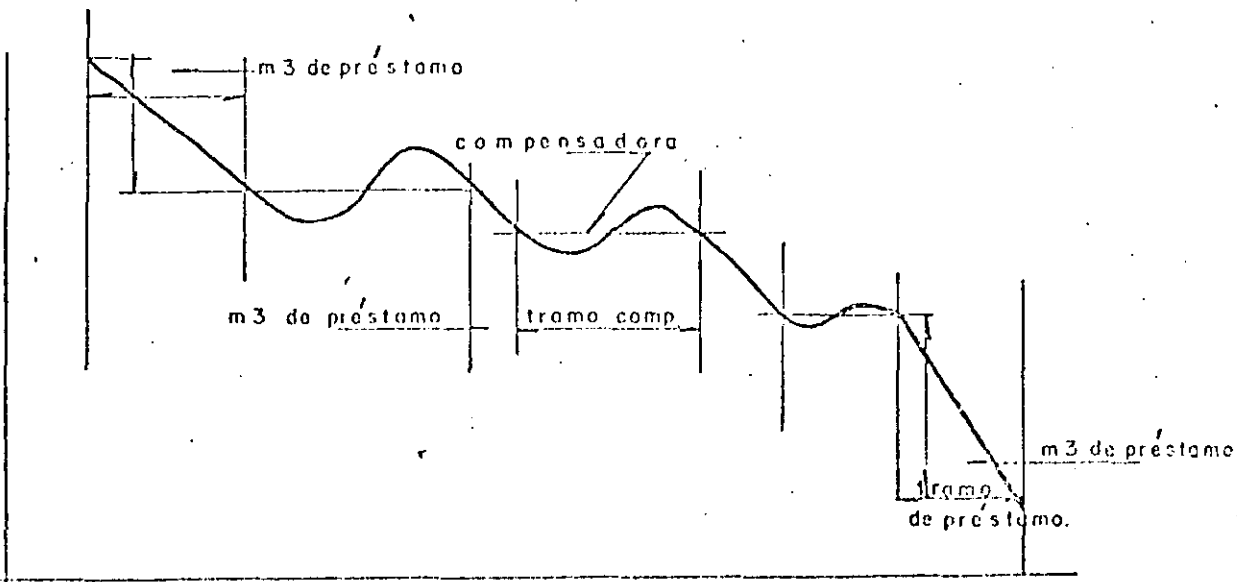
PERFIL Y DIAGRAMA DE MASAS

1) Perfil  
2) Corte

ORDENADAS, nos representan volúmenes de excavación o relleno



ABCISAS nos representan el cadenamiento de una línea



EJEMPLOS DE DIAGRAMAS DE LA CURVA-MASA.



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

CURSO: PROYECTO DE AEROPUERTOS  
DEL 8 DE ABRIL AL 20 DE  
MAYO.  
MEXICO? D.F.

DRENAJE

M. EN I. GILBERTO SOTELO AVILA

Sin embargo, existen otros factores, tales como los sitios en que se realiza la descarga de los gastos drenados, que con frecuencia presentan complicaciones que afectan la conducción y a veces la rápida eliminación del gasto resultante. La solución puede requerir de otras obras como cárcamos, plantas de bombeo y bordos de protección en los aeropuertos que muchas veces son muy costosas. Lo anterior implica que aún cuando los canales de drenaje están diseñados en exceso, ésto no elimina la necesidad de analizar con detalle el funcionamiento hidráulico de los mismos, así como de las estructuras auxiliares que brindan protección al aeropuerto.

### 1.5 Metodología

Por lo antes expuesto, es imprescindible que la planeación de un nuevo aeropuerto o carretera considere como factor muy importante los aspectos de drenaje del mismo, que en algunos casos pueden y deben influir de manera definitiva en la selección del sitio de ubicación. Así mismo, es muy conveniente que los departamentos de drenaje de carreteras y aeropuertos estén en posición de poder enfrentar problemas de tipo hidrológico e hidráulico con los suficientes recursos humanos y de información para solventarlos.

La metodología en la solución de los problemas abarca desde análisis hidrológico de pequeñas y grandes cuencas, hasta análisis de funcionamiento hidráulico de los canales, alcantarillas, cárcamos, estaciones de bombeo, pequeños embalses. En ocasiones, también la necesidad de resolver problemas de hidráulica fluvial.

Estas razones justifican la necesidad de conocer y utilizar la herramienta básica de la hidráulica y la hidrología y que posteriormente se expone, a fin de darle aplicación en los diferentes problemas de drenaje.

9  
DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS

TEMA VI PROYECTO DE DRENAJE EN AEROPUERTOS

CAPITULO 2. HIDRAULICA BASICA

POR EL M.I. GILBERTO SOTELO AVILA

AGOSTO DE 1984

## CAPÍTULO 2. HIDRAULICA BASICA

### 2.1 Introducción

El análisis del flujo de agua en una conducción se basa en el estudio del movimiento del líquido como si fuera una vena líquida, limitada, en el caso de conducciones forzadas o a presión (tuberías), por las paredes rígidas de frontera y en el caso de conducciones abiertas, -- (canales) en parte por paredes rígidas y en parte por la superficie libre del líquido en contacto con la atmósfera. En estas condiciones, el problema se reduce a estudiar el movimiento a lo largo de una sola dimensión (unidimensional) que corresponde a la dirección en que se produce el escurrimiento, -- eliminando con ello las complejidades del tratamiento tridimensional. De este modo, las variables características del escurrimiento (velocidad, gasto, -- presión) se representa a través de la media de los valores que hay en los puntos de una misma sección transversal del conducto y las magnitudes de dichos promedios concentrados en el centro de gravedad de la sección. De este modo, hay variación de los mismos sólo en la dirección del movimiento general, aún cuando existan cambios en el área de una sección a otra. La dirección en que ocurre la variación no es necesariamente rectilínea sino a lo largo del eje del conducto.

En este capítulo se establecen las ecuaciones de la hidráulica referidas al flujo unidimensional y que resultan de la aplicación de los principios fundamentales de la Física. Ellos son la de continuidad, la de energía y la de impulso y cantidad de movimiento.

### 2.2 Ecuación de continuidad

Recordamos que, por definición, gasto (o caudal) a través de la sección transversal de un conducto es el volumen de líquido que atraviesa la -- sección en la unidad de tiempo. Además, siendo  $V$  la velocidad media del líquido a través de la sección y  $A$  el área de la misma, el gasto en una sección queda determinado como sigue:

$$Q = VA \quad (2.1)$$

siendo sus dimensiones:  $m^3/s$  ,  $lt/s$  ,  $lt/mín$  o  $lt/hr$ .

La ecuación de continuidad está basada en el principio de conservación de la materia que, para el caso de un escurrimiento independiente del -- tiempo (o sea, del instante en que se haga el análisis) e incompresible, establece que "la cantidad neta de volumen de líquido que entra y sale en la unidad de tiempo entre dos o más secciones que limitan a una parte del conducto, vale cero".

Este principio implica que la suma de gastos que entran sea igual a la suma de los que salen. Esto es, al considerar la definición de gasto y la ec (2.1), resulta:

$$\sum_e VA = \sum_s VA \quad (2.2a)$$

Si el conducto no tiene bifurcaciones, esta ecuación se simplificaría a la siguiente ecuación.

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (2.2b)$$

que se aplica entre dos secciones 1 y 2 cualesquiera del conducto.

A continuación se resuelve un problema que permitirá aclarar mejor estos resultados.

Ejemplo 2.1 En la fig 2.1 se muestra la bifurcación de un conducto circular que tiene los diámetros indicados. El agua que entra en la sección 1 sale por las secciones 3 y 4. a) Si la velocidad media en 2 es de 0.60 m/s y en 3 es de 2.70 m/s, calcular las velocidades medias en las secciones 1 y 4; el gasto total; y el gasto en cada rama de la tubería. b) Si se cierra la válvula localizada en el extremo del tubo 4 y se mantiene el mismo gasto total, -- calcular la velocidad en la sección 3.

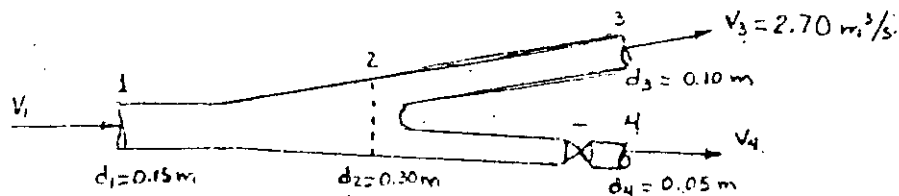


Fig 2.1 Esquema aclaratorio del ejemplo 2.1

Solución a. La ec (2.3) aplicada entre las secciones 1 y 2 conduce a que

$$V_1 \frac{\pi d_1^2}{4} = V_2 \frac{\pi d_2^2}{4}$$

de donde se tiene :

$$V_1 = 0.60 \left( \frac{0.30}{0.15} \right)^2 = 2.40 \text{ m/s}$$

De manera análoga, la ec (2.2) aplicada a las secciones 1, 3 y 4 resulta:

$$V_2 \frac{\pi d_2^2}{4} = V_3 \frac{\pi d_3^2}{4} + V_4 \frac{\pi d_4^2}{4}$$

$$V_4 = 0.60 \left( \frac{0.30}{0.05} \right)^2 - 2.7 \left( \frac{0.10}{0.05} \right)^2 = 10.8 \text{ m/s}$$

El gasto total es:

$$Q = V_1 \frac{\pi d_1^2}{4} = 2.4 \frac{\pi}{4} (0.15)^2 = 0.042 \text{ m}^3/\text{s}$$

El gasto por la sección 3 es entonces:

$$Q_3 = V_3 \frac{\pi d_3^2}{4} = 2.7 \times \frac{\pi}{4} (0.10)^2 = 0.021 \text{ m}^3/\text{s}$$

y el gasto por la sección 4 es el siguiente:

$$Q_4 = V_4 \frac{\pi d_4^2}{4} = 10.8 \times \frac{\pi}{4} (0.05)^2 = 0.021 \text{ m}^3/\text{s}$$

Esto es, el gasto vale:

$$Q = Q_3 + Q_4 = 0.021 + 0.021 = 0.042 \text{ m}^3/\text{s}$$

que comprueba el resultado anterior.

Solución b. Para estas condiciones, el gasto total en las secciones 1 o 2 será el que pase por la sección 3, siendo  $Q_4 = 0$ . Por tanto, de la ec (2.1) :

$$V_3 \frac{\pi d_3^2}{4} = 0.042 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_3 = \frac{4 \times 0.042}{\pi \times 0.10^2} = 5.348 \text{ m/s}$$

### 2.3 Ecuación de la energía

La derivación de esta ecuación se basa en el principio de la conservación de la energía y permite calcular las diferentes transformaciones de la energía mecánica dentro del escurrimiento y las cantidades disipadas en energía calorífica que, en el caso de líquidos, no se aprovecha.

Si no se incluyen los efectos termodinámicos en el escurrimiento ni la energía mecánica desde el exterior (bomba o turbina), es posible derivar esta ecuación de movimiento-aplicable al flujo de líquidos-a partir de la segunda ley de Newton. Para ello es necesario considerar las fuerzas que se oponen al movimiento, las cuales desarrollan un trabajo mecánico equivalente a la energía disipada al vencer dichas fuerzas.



Consideremos un tramo de un conducto de sección variable, limitado por las secciones 1 y 2 (fig. 2.2) dentro del cual escurre un líquido. Su eje queda representado por la línea que une los centros de gravedad de las secciones transversales, las cuales quedan localizadas por la coordenada curvilínea  $s$ , que mide las distancias sobre el eje del conducto. La elevación del centro de gravedad de las secciones queda definido a través del desnivel  $z$  a partir de un plano de referencia arbitrario ( $z = 0$ ).

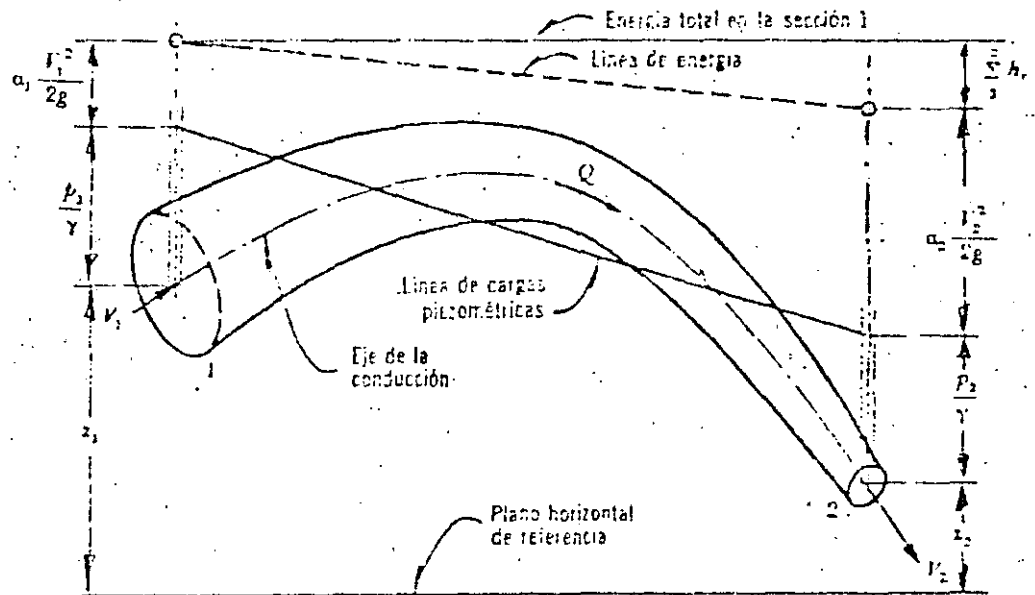


Figura 2.2 Interpretación de la ecuación de la energía para una conducción forzada.

Para estas condiciones, se puede derivar la llamada ecuación de energía (ec. 2.3) a partir de la segunda ley de Newton (ref 1). Dicha ecuación para un escurrimiento independiente del tiempo es:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum_1^2 h_r \quad (2.3)$$

El análisis de cada uno de los términos de esta ecuación muestra que sus dimensiones corresponden a los de una longitud o "carga". El término  $z$  medido desde un plano horizontal de referencia, se llama "carga de posición";  $P/\gamma$  es la carga de presión;  $V^2/2g$  la carga de velocidad y  $\sum_1^2 h_r$  la "pérdida de carga" entre las secciones 1 y 2, esto es, la disipación de energía del escurrimiento entre dichas secciones.

La ec (2.3) establece las relaciones entre las diferentes transformaciones de la energía mecánica del líquido, por unidad de peso del mismo - - (FL/F). La carga de posición es la energía potencial; la carga de presión es la energía correspondiente al trabajo mecánico ejecutado por las fuerzas debidas a la presión; la carga de velocidad es la energía cinética de toda la vena líquida; la pérdida de carga es la energía transformada en otro tipo de energía (transferencia de calor) que, en el caso de los líquidos, no es utilizable en el movimiento; y, finalmente, la carga correspondiente al cambio local de la velocidad es la energía utilizada para efectuar dicho cambio.

- a) Si no se considera la pérdida de energía  $\sum_1^2 h_r = 0$  y la ec.(2.3) adopta la forma llamada ecuación de Bernoulli para una vena líquida, esto es:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (2.4)$$

- b) Si  $H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$  representa la energía por unidad de peso que tiene el líquido en una determinada sección, la cual es medida desde el plano horizontal de referencia, la ec (2.3) se simplifica así:

$$H_1 = H_2 + \sum_1^2 h_r \quad (2.3a)$$

En una determinada sección la energía de un volumen  $v$  del líquido, respecto del plano horizontal de referencia, es:

$$E = \gamma H v$$

y, por definición de energía y potencia, en esa sección ésta última vale:

$$P = \frac{dE}{dt} = \gamma H \frac{dv}{dt}$$

Además, por definición de gasto, la energía del líquido en la unidad de tiempo, esto es, su potencia, vale:

$$P = \gamma Q H \quad (2.5)$$

donde:

- $\gamma$  peso específico del líquido, en  $\text{kg/m}^3$
- $H$  energía total respecto del plano de referencia, en  $m$ ;
- $Q$  gasto en la sección considerada, en  $\text{m}^3/\text{s}$  ;
- $P$  potencia del líquido, en  $\text{kg m}/\text{seg}$

Esto es, si se multiplican ambos miembros de la ec. (2.3a) por  $\gamma Q$ , esta ecuación resulta también en la forma:

$$P_1 = P_2 + \sum_1^2 P_r \quad (2.6)$$

Una interpretación física de cada uno de los términos de la ec. (2.3) para una conducción forzada con escurrimiento independiente del tiempo (permanente) se muestra en la fig. 2.2 para la cual se pueden hacer las siguientes definiciones.

1. La línea de energía une los puntos que indican en cada sección la energía de la corriente.
2. La línea de cargas piezométricas o gradiente de cargas de presión, une los puntos que marcan en cada sección la suma de las cargas  $z + \frac{p}{\gamma}$  por arriba del plano de referencia.

De acuerdo con estas definiciones, la línea de cargas piezométricas - está separada de la línea de energía la distancia vertical  $V^2/2g$  correspondiente a cada sección. Al mismo tiempo se pueden hacer las siguientes generalizaciones:

1. La línea de energía no puede ser horizontal o con inclinación ascendente en la dirección del escurrimiento, si el líquido es real y no adquiere energía adicional desde el exterior. La diferencia de nivel de la línea de energía en dos puntos distintos representa la pérdida de carga o disipación de energía por unidad de peso del líquido fluyente.
2. La línea de energía y la de cargas piezométricas coinciden y quedan al nivel de la superficie libre para un volumen de líquido en reposo (por ejemplo, un depósito o un embalse).
3. En el caso de que la línea de cargas piezométricas quede en algún tramo por debajo del eje de la vena líquida, las presiones locales en ese tramo son menores que la presión cero de referencia que se utilice (comunmente la presión atmosférica).

En la fig. 2.3 se muestra la disposición de las líneas de energía y de cargas piezométricas de una instalación hidroeléctrica donde el flujo es permanente; la turbina aprovecha la energía disponible  $H_a, b$ . En la fig. 2.4 se muestra el mismo esquema, pero en este caso se trata de una instalación de bombeo. Para los dos casos la ec. (2.3a) se escribe como sigue:

$$z_1 = z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \sum_1^2 h_r + \sum_b^a h_r + H_{a,b} \quad (2.7)$$

En la instalación hidroeléctrica la turbina queda generalmente muy próxima a la sección 2 y el término  $\frac{z}{b}$  es despreciable.

Por lo que respecto al término  $H_{a,b}$ , éste se ha empleado en la ec. (2.7) como una energía cedida o añadida al flujo y tiene las dimensiones de una longitud. En efecto, por definición de potencia (ec. 2.7) tenemos que:

$$H_{a,b} = \frac{P}{\gamma Q}$$

es la energía neta por unidad de peso que cede o se transmite al líquido por efecto de la máquina; tiene signo positivo en la ec. (2.5) cuando el líquido cede energía (turbina) o negativo cuando la recibe (bomba). Aún más, si  $P_n$  es la potencia nominal de la máquina y  $\eta$  su eficiencia, entonces

$$H_{a,b} = \frac{P_n}{\eta \gamma Q} \quad (2.8a)$$

si se trata de una turbina; y

$$H_{a,b} = -\frac{\eta P_n}{\gamma Q} \quad (2.8b)$$

si es una bomba.

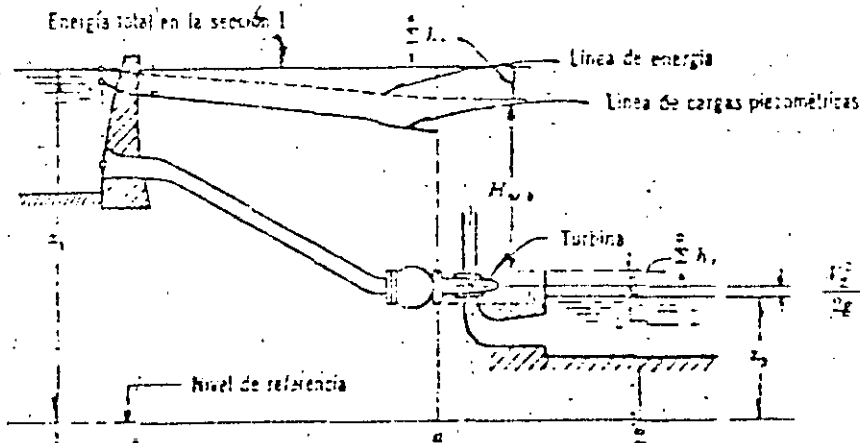


Figura 2.3. Líneas de energía y de cargas piezométricas en una instalación hidroeléctrica.

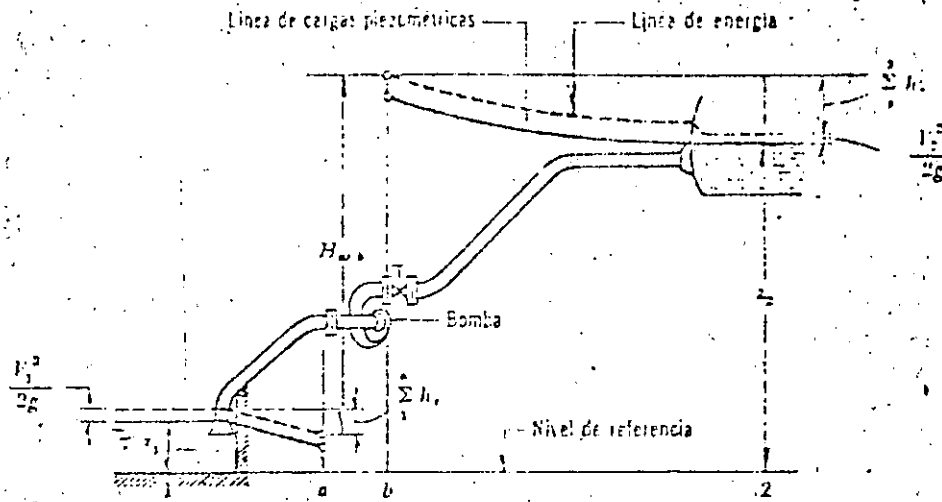


Figura 2.4. Líneas de energía y de cargas piezométricas en una instalación de bombeo.

## 2.4 Ecuación de impulso y cantidad de movimiento

Esta ecuación, para un volumen de control del flujo, se deriva de la segunda ley de Newton. Se conoce como la cantidad de movimiento de un elemento de masa  $M$  al producto de ésta por su velocidad.

La derivación de esta ecuación puede también consultarse en la ref. 1 y aquí solamente haremos una explicación detallada de cada uno de sus términos y de la manera como se aplica.

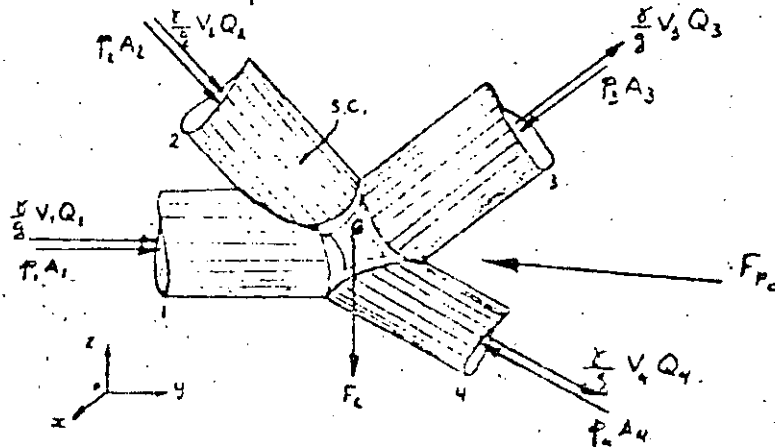


Fig. 2.5 Aplicación de la ecuación del impulso y cantidad de movimiento.

Consideremos la unión y separación en el espacio de un conjunto de tubos, como se muestra en la fig 2.5, y que están referidos al sistema de ejes coordenadas que se indica. La forma vectorial general de la ecuación de la cantidad de movimiento es:

$$\vec{F}_p + \vec{F}_g + \vec{F}_e = \frac{\rho}{g} \sum (Q \vec{V}) \quad (2.9)$$

la cual obviamente se puede escribir a través de sus componentes según los tres ejes coordenados, a saber:

$$F_{px} + F_{sx} + F_{cx} = -\frac{\delta}{g} \sum (QV_x) \quad (2.9a)$$

$$F_{py} + F_{sy} + F_{cy} = \frac{\delta}{g} \sum (QV_y) \quad (2.9b)$$

$$F_{pz} + F_{sz} + F_{cz} = -\frac{\gamma}{g} \sum (QV_z) \quad (2.9c)$$

Para aplicar esta ecuación conviene observar los siguientes pasos:

- Se elige el volumen de control con la amplitud que tenga interés en el estudio y se trata como un cuerpo libre; dicho volumen debe estar completamente lleno de líquido.
- Las fuerzas de superficie  $F_p$  y  $F_s$  se consideran acciones debidas a la presión y esfuerzo cortante, respectivamente, que se aplican desde el exterior hacia el VC (las acciones del líquido sobre sus fronteras son iguales pero de sentido opuesto). Por lo que respecta a las fuerzas de presión éstas pueden ser de tipo estático y dinámico y, en ocasiones conviene separarlas en la forma:

$$\vec{F}_p = \vec{F}_{pe} + \vec{F}_{pd}$$

Las fuerzas debidas al esfuerzo cortante se consideran como la acción de la fricción desde la frontera hacia el líquido y, en ocasiones, puede ser difícil evaluarlas.

- Los fuerzas de cuerpo  $F_c$  pueden ser de cualquier tipo pero, en general, serán fuerzas debidas al peso del volumen de control y aplicadas en su centro de gravedad.
- $\vec{V}$  representa el vector velocidad media del gasto  $Q$  que atraviesa una cierta porción de la superficie de control; se considera aplicado en el centro de gravedad y en la dirección normal a las porciones de área de la SC. De esta manera, cada producto  $Q\vec{V}$  que integran el término  $\sum (Q\vec{V})$  de la ec. (2.9) será un vector con la misma dirección que  $\vec{V}$  y con el sentido que lleva el flujo al pasar sobre la porción de área analizada. Además del signo que les corresponda en la suma, según la dirección y sentido de  $\vec{V}$ , se deberá afectar cada término con un signo; positivo si el gasto sale del volumen de control y negativo en caso contrario.

Si se elige un volumen de control suficientemente reducido como para despreciar las pérdidas de energía, es posible despreciar también las fuerzas de resistencia al flujo debidas al esfuerzo cortante,  $F_s$ .

De acuerdo con los pasos antes señalados, en la fig 2.5 se indican las diferentes fuerzas que intervienen en el análisis. Al delimitar el volumen de control VC (o cuerpo libre) como se muestra en la figura, las porciones de superficie SC (S.C. encierra al VC) a través de las cuales entra o sale líquido son las secciones transversales 1, 2, 3 y 4 de los tubos que integran el sistema. Sobre dichas secciones y en la dirección del eje del tubo se producen las fuerzas de superficie de tipo estático  $p_i A_i$  como acciones del líquido que se encuentra fuera del volumen de control analizado ( $p_i$ , presión y  $A_i$  área del tubo) y siempre dirigidos hacia el interior del volumen. De esta manera,  $p_1 A_1$  y  $p_2 A_2$  coinciden en dirección con la del flujo por estos tubos, en cambio:  $p_3 A_3$  y  $p_4 A_4$  tienen dirección contra-

ria a la del flujo por estos tubos. La resultante de las fuerzas de superficie de tipo dinámico producidos sobre el resto de la superficie S.C. se representa por  $F_{pd}$ ; normalmente se desconoce y equivale a la acción que ejerce la pared del tubo para forzar al movimiento del líquido en las condiciones señaladas. Se ha despreciado la fuerza de resistencia al escurrimiento  $F_z$ . La fuerza de cuerpo  $F_c$  es la correspondiente al peso del líquido encerrado por el volumen analizado y tendrá siempre la dirección vertical. Finalmente los vectores  $\frac{\delta}{g} Q_i \vec{V}_i$  son las cantidades de movimiento del líquido -

que escurre por los diferentes tubos, teniendo cada uno de ellos el signo que les corresponda, de acuerdo con lo señalado en el paso d.

De esta manera, tomando en consideración lo antes expuesto, las ecs (2.9) aplicadas al sistema de tubos de la fig 2.5 se convierten en las siguientes:

$$\begin{aligned} (p_1 A_1)_x + (p_2 A_2)_x + (p_3 A_3)_x + (p_4 A_4)_x + (F_{pd})_x &= \\ &= \frac{\delta}{g} \left[ (V_3 Q_3)_x + (V_4 Q_4)_x - (V_1 Q_1)_x - (V_2 Q_2)_x \right] \\ (p_2 A_2)_y + (p_2 A_2)_y + (p_3 A_3)_y + (p_4 A_4)_y + (F_{pd})_y &= \\ &= \frac{\delta}{g} \left[ (V_3 Q_3)_y + (V_4 Q_4)_y - (V_1 Q_1)_y - (V_2 Q_2)_y \right] \\ (p_2 A_2)_z + (p_2 A_2)_z + (p_3 A_3)_z + (p_4 A_4)_z + (F_{pd})_z + F_c &= \\ &= \frac{\delta}{g} \left[ (V_3 Q_3)_z + (V_4 Q_4)_z - (V_1 Q_1)_z - (V_2 Q_2)_z \right] \end{aligned}$$

En estas ecuaciones se deberán considerar los signos correspondientes a la suma algebraica de las proyecciones de los vectores sobre cada uno de los ejes; esto es, positivos si son en la dirección positiva de los ejes y negativos en caso contrario. Esto también vale para las proyecciones de los vectores de cantidad de movimiento, independientemente de los signos ya adoptados por lo que se refiere a lo señalado en el paso d.

## 2.5 Sobre la aplicación de las ecuaciones de la energía y de la cantidad de movimiento

Las ecuaciones de la energía y de la cantidad de movimiento se aplican de manera diferente y, si se hace correctamente, ellas describirán un flujo con idénticos grados de exactitud. Sus principales diferencias se encuentran en su estructura: mientras la ecuación de la cantidad de movimiento es vectorial y engloba fuerzas totales y condiciones externas —sin tomar en cuenta los cambios internos de energía— la ecuación de la energía es por el contrario escalar y toma en cuenta los cambios internos de energía y no las fuerzas totales y condiciones externas.

En muchos casos, una de las dos ecuaciones es suficiente para el análisis de un problema; la elección entre ellas depende que sean las fuerzas totales o la energía del flujo la que se necesita en la solución. En otros casos, por el contrario, la naturaleza del problema es tal que resulta necesario usar las dos ecuaciones simultáneamente para estudiar la solución completa.

En general, cualquiera que sea el sistema de ecuaciones por usar, éste se debe plantear entre secciones finales con condiciones de frontera perfectamente definidas, es decir, entre aquellas secciones de la conducción en las que se conozcan con exactitud los valores de la energía de posición, de presión y de velocidad y, por lo mismo, la energía total.

Estas secciones son las siguientes.

- a) La superficie libre del líquido, en un recipiente al cual se conecta el conducto.
- b) La sección final de un chorro descargado por un chiflón a las condiciones atmosféricas (o dentro de un espacio lleno de gas a presión constante).
- c) Secciones intermedias de una conducción a las cuales confluyen o se bifurcan ramales, donde la energía sea común para todas las ramas.

## 2.6 Conceptos generales en el cálculo de pérdidas

En tuberías largas la pérdida por fricción es muy importante y ha sido objeto de investigaciones teórico experimentales para llegar a soluciones satisfactorias de fácil aplicación. El número de Reynolds es un parámetro que juega un papel importante en la evaluación de las pérdidas en un tubo; en el caso de un tubo cilíndrico se define como sigue:



$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

donde V es la velocidad en el tubo (en cm/s ), D el diámetro del mismo -- (en cm) y  $\nu$  la viscosidad del agua (en cm<sup>2</sup>/s ) que es función de la temperatura de la misma, de acuerdo con los siguientes valores.

Ten °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$\nu$ en cm <sup>2</sup> /s	0.0178	0.015	0.0132	0.0114	0.0101	0.009	0.008	0.0072	0.0066

Cuando la superficie de la pared de un tubo se amplifica, observamos que está formada por irregularidades o asperezas de diferentes alturas y con distribución irregular o aleatoria. Dicha característica es difícil de definir científicamente pues depende de factores como la altura media de las irregularidades de la superficie, la variación de la altura efectiva respecto de la altura media, la forma y distribución geométrica, la distancia entre dos irregularidades vecinas, etc.

Puesto que prácticamente es imposible tomar en consideración todos estos factores, se admite que la rugosidad puede expresarse por la altura media de las asperezas (rugosidad absoluta), como un promedio obtenido del resultado de un cálculo con las características del flujo, más no propiamente por el obtenido como la media de las alturas determinadas físicamente en la pared de cada tubo. Es más importante la relación que la rugosidad absoluta guarda con el diámetro del tubo, esto es, la relación  $\epsilon/D$  que se conoce como rugosidad relativa.

Existen tubos, como los de asbesto-cemento, cuya rugosidad es de forma ondulada y que se comportan hidráulicamente como si fueran tubos lisos -- (vidrio o plástico).

Tres conceptos geométricos de la sección de una conducción hidráulica, muy importantes en el cálculo de las pérdidas de fricción son los siguientes: Área hidráulica A, es decir, el área de la sección transversal ocupada por el líquido dentro del tubo.

Perímetro mojado P, que es el perímetro de la sección transversal del tubo en el que hay contacto del líquido con la pared. Radio hidráulico  $R_h$ , o sea la relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado de la sección ( $R_h = A/P$ ).

## 2.7 Pérdidas por fricción

Para un flujo permanente, en un tubo de diámetro constante, la línea de cargas piezométricas es paralela a la línea de energía e inclinado en la dirección del movimiento. En 1850, Darcy, Weisbach y otros, dedujeron experimentalmente una fórmula para calcular en un tubo la pérdida por fricción:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.10a)$$

donde

- f factor de fricción, sin dimensiones;
- g aceleración de gravedad en  $m/s^2$  ;
- $h_f$  pérdida por fricción, en m;
- D diámetro del tubo, en m;
- L longitud del tubo, en m;
- V velocidad media, en m/s

El factor de fricción es función de la rugosidad  $\epsilon$  y del número de Reynolds  $Re$  en el tubo, esto es:

$$f = f(\epsilon, Re)$$

Si  $S_f$  representa la relación entre la pérdida de energía y la longitud del tubo en que ésta ocurre (pendiente de fricción), la ec (2.10a) también es:

$$S_f = \frac{h_f}{L} = \frac{f}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.10b)$$

Con base en los resultados de diferentes investigadores, Moody preparó el diagrama universal, que lleva su nombre, para determinar el factor de fricción  $f$  en tuberías de rugosidad comercial (fig 2.6) en función del número de Reynolds en el tubo. La observación de dicho diagrama permite corroborar los siguientes puntos importantes:

- a) Dentro del intervalo  $Re < 2300$  para flujo laminar,  $f$  depende exclusivamente del número de Reynolds y no de la rugosidad del tubo; sigue la ley general:  $f = 64/Re$
- b) Existe una zona crítica entre  $Re = 2300$  y  $Re = 3500$  donde no se obtuvieron resultados confiables. Con  $Re = 3500$  se inicia una zona de transición entre flujo laminar y flujo turbulento, sin poder establecer una ley general de variación. Dentro de esta zona,  $f$  depende, — tanto de  $Re$ , como de  $\epsilon/D$ .
- c) De acuerdo con el valor de  $\epsilon/D$ , la zona turbulenta se inicia con diferentes valores de  $Re$ ; es decir, que el número de Reynolds, como límite superior para la zona de transición, depende de la rugosidad del tubo.
- d) Dentro de la zona turbulenta, esto es para números de Reynolds grandes,  $f$  es independiente de  $Re$  y varía exclusivamente con la rugosidad relativa  $\epsilon/D$ . De acuerdo con la fórmula de Darcy-Weisbach, ello significa que  $f$  depende del cuadrado de la velocidad.

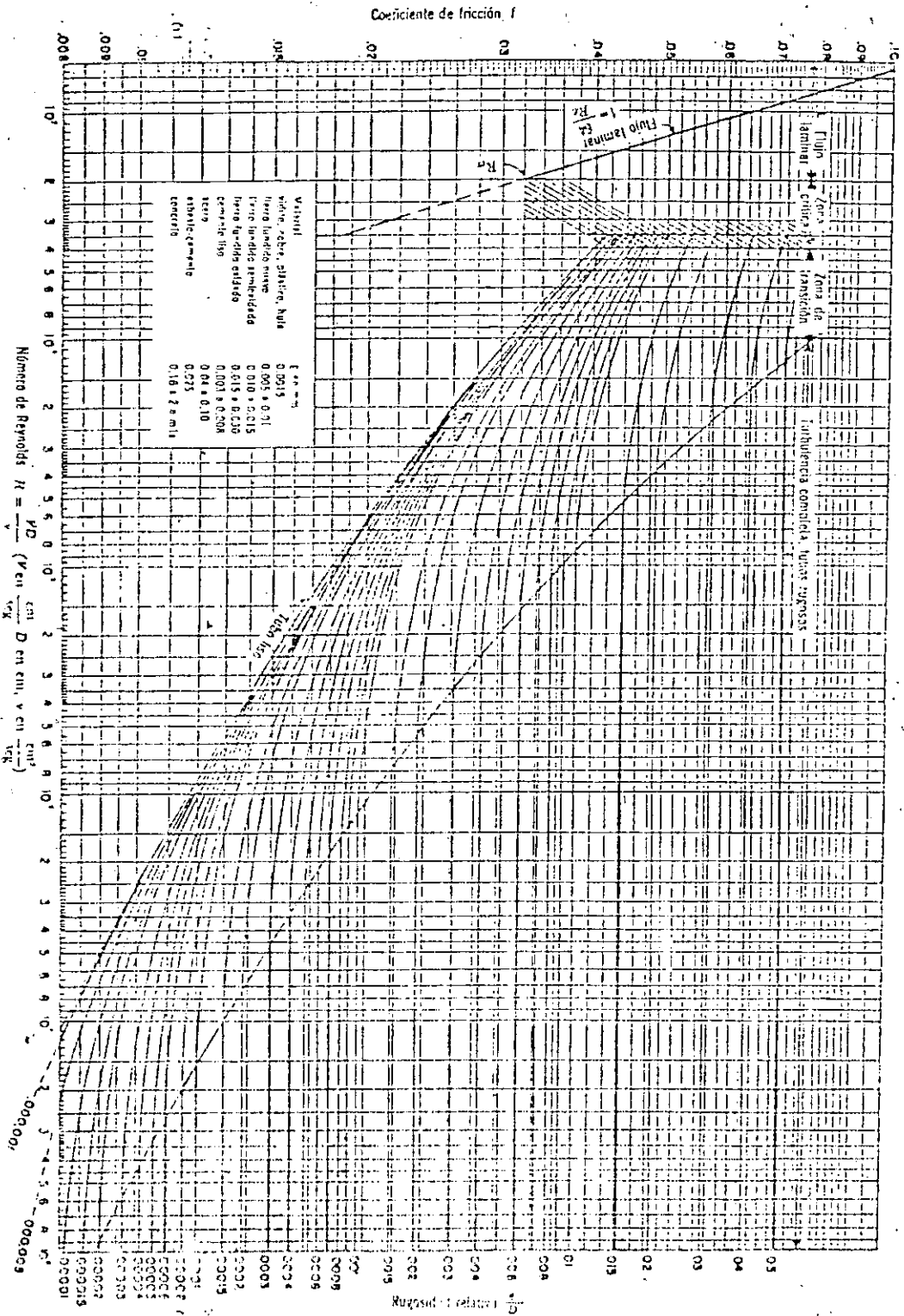


Figura 2.6. Coeficiente de fricción para cualquier tipo y tamaño de tubo; diagrama universal de Moody.

TABLA 2.1 Rugosidad absoluta  $\epsilon$  en tubos comerciales

Material	$\epsilon$ , en mm	
<i>Tubos lisos</i>		
De vidrio, cobre, latón, madera (bien cepillada), acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura; tubos de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule	0.0315	
Tubos industriales de latón	0.025	
Tubos de madera	0.2	a 1
Hierro forjado	0.05	
Hierro fundido nuevo	0.25	
Hierro fundido, con protección interior de asfalto	0.12	
Hierro fundido oxidado	1	a 1.5
Hierro fundido, con incrustaciones	1.5	a 3
Hierro fundido, centrifugado	0.05	
Hierro fundido nuevo, con bridas o juntas de macho y campana	0.15	a 0.3
Hierro fundido usado, con bridas o juntas de macho y campana	2	a 3.5
Hierro fundido para agua potable, con bastantes incrustaciones y diámetro de 50 a 125 mm	1	a 40
Hierro galvanizado	0.15	
Acero rolado, nuevo	0.05	
Acero laminado, nuevo	0.04	a 0.1
Acero laminado con protección interior de asfalto	0.05	
<i>Tubos de acero soldado de calidad normal</i>		
Nuevo	0.05	a 0.10
Limpado después de mucho uso	0.15	a 0.20
Moderadamente oxidado, con pocas incrustaciones	0.4	
Con muchas incrustaciones	3	
Con remaches transversales, en buen estado	0.1	
Con costura longitudinal y una línea transversal de remaches en cada junta, o bien laqueado interiormente	0.3	a 0.4
Con líneas transversales de remaches, sencilla o doble; o tubos remachados con doble hilera longitudinal de remaches e hilera transversal sencilla, sin incrustaciones	0.6	a 0.7
Acero soldado, con una hilera transversal sencilla de pernos en cada junta, laqueado interior, sin oxidaciones, con circulación de agua turbia	1	

TABLA 2.1 (Continuación)

Material	$e$ , en mm
Acero soldado, con doble hilera transversal de pernos, agua turbia, tuberías remachadas con doble costura longitudinal de remaches y transversal sencilla, interior esfechado o laqueado	1.2 a 1.3
Acero soldado, con costura doble de remaches transversales, muy oxidado. Acero remachado, de cuatro a seis filas longitudinales de remaches, con mucho tiempo de servicio	2
<i>Tubos remachados, con filas longitudinales y transversales</i>	
a) Espesor de lámina < 5 mm	0.65
b) Espesor de lámina de 5 a 12 mm	1.95
c) Espesor de lámina > 12 mm, o entre 6 y 12 mm, si las hileras de pernos tienen cubrejuntas	3
d) Espesor de lámina > 12 mm, con cubrejuntas	5.5
Tubos remachados, con cuatro filas transversales y seis longitudinales con cubrejuntas interiores	4
Asbesto-cemento nuevo	0.025
Asbesto-cemento, con protección interior de asfalto	0.0015
Concreto centrifugado, nuevo	0.16
Concreto centrifugado, con protección bituminosa	0.0015 a 0.125
Concreto en galerías, colado con cimbra normal de madera	1 a 2
Concreto en galerías, colado con cimbra rugosa de madera	10
Concreto armado en tubos y galerías, con acabado interior cuidadosamente terminado a mano	0.01
Concreto de acabado liso	0.025
Conductos de concreto armado, con acabado liso y varios años de servicio	0.2 a 0.3
Concreto alisado interiormente con cemento	0.25
Galerías con acabado interior de cemento	1.5 a 1.6
Concreto con acabado normal	1 a 3
Concreto con acabado rugoso	10
Cemento liso	0.3 a 0.8
Cemento no pulido	1 a 2
Concreto presforzado Freyssinet	0.04
Concreto presforzado Bona y Socoman	0.25
Mampostería de piedra, bien juntada	1.2 a 2.5
Mampostería de piedra rugosa, sin juntar	8 a 15
Mampostería de piedra, mal acabada	1.5 a 3

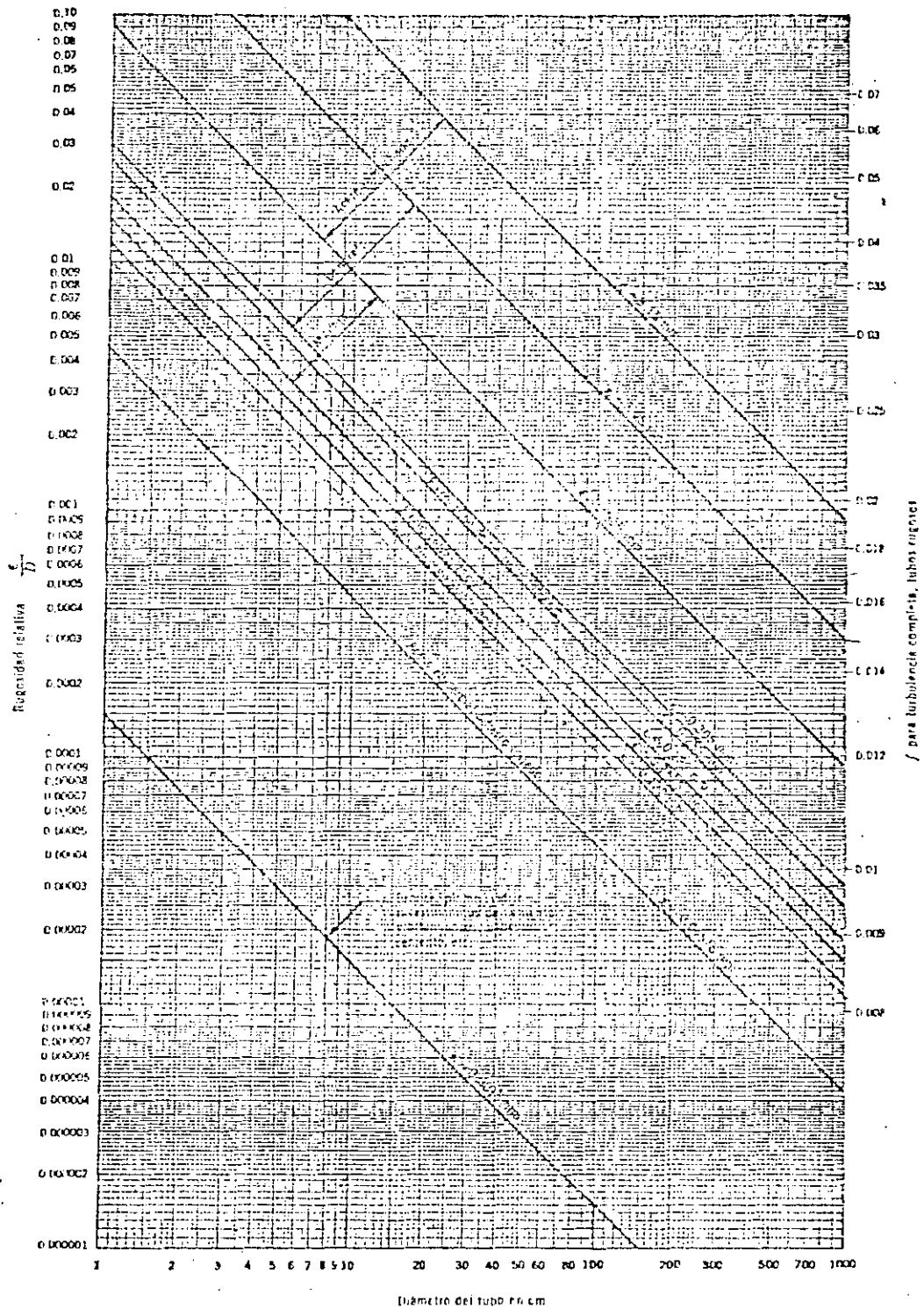


Figura 2.7. Rugosidad relativa para tubos nuevos limpios.

La precisión en el uso del diagrama universal de Moody depende de la selección de  $\epsilon$ , según el material de que está construido el tubo. En la tabla 2.1 se presentan los valores de  $C$  para tubos comerciales y, en la fig. 2.7, los valores de la rugosidad relativa  $\epsilon/D$  para los materiales más comunes.

Antes de que se conocieran las fórmulas de tipo logarítmico, los únicos disponibles para el diseño eran los de tipo exponencial, puramente empíricos, cuyo solo mérito estriba en su sencillez. Sin embargo, fueron y siguen siendo usadas. Para tubos que transportan agua, dichas ecuaciones toman la expresión general:

$$V = a D^x S_f^y \quad (2.11 a)$$

o bien, con  $S_f = h_f/L$  (pendiente de fricción):

$$h_f = \left( \frac{V}{a D^x} \right)^{1/y} L = \left[ \frac{4 Q}{\pi a D^{(x+2)}} \right]^{1/y} L \quad (2.11 b)$$

donde el coeficiente  $a$  y los exponentes  $x$ ,  $y$  son empíricos. La expresión no es por lo que se debe tener cuidado en la conversión de unidades.

Es conveniente investigar la relación entre el factor de fricción  $f$  y los términos anteriores. Para ello, si se iguala la ecuación (2.10 a) de Darcy-Weisbach con la (2.11 b) y se despeja a  $f$  resulta:

$$f = 2g \frac{D(1-x/y)}{a^{1/y} V^{(2-1/y)}} \quad (2.12)$$

Dado que  $a$  normalmente varía con la rugosidad y la viscosidad, tiene por ello las mismas características que  $f$ .

Cuando las fórmulas exponenciales se representan gráficamente en el diagrama estándar  $f - Re$ , aparecen como líneas rectas con diferentes pendientes. Debido a que la verdadera forma de la ecuación del factor de fricción es del tipo logarítmico, de concavidad hacia arriba (excepto en tubos rugosos en la zona turbulenta), la fórmula exponencial es aproximadamente válida únicamente en un intervalo limitado. En sus extremos, la línea recta queda debajo de la curva, con lo que resulta una subestimación de la pérdida por fricción; por lo tanto, es importante tener cuidado con el intervalo en el cual se puede aplicar cada fórmula exponencial, dado que cualquier intento de extrapolación puede conducir a serios errores. Normalmente, la desviación máxima no excede de un 3%, lo cual está dentro de los límites de seguridad en la estimación de -

**TABLA 2.2.** Resumen de las fórmulas para el cálculo de pérdidas por fricción; aplicables al flujo de agua en conductos a presión. Las unidades se expresan en sistema MKS

Tipo de tubería y flujo	Autor	Fórmula	Observaciones
Cualquier tipo de tubo y flujo.	Darcy-Weisbach	$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$	Es la Ec. (8.2) y es de tipo universal; $f$ se obtiene del diagrama universal de Moody, o de alguna de las fórmulas indicadas a continuación.
Tubos lisos o rugosos en la zona laminar.	Poiseuille	$f = \frac{64}{R_e}$	Es la Ec. (8.3) y se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach y vale para $R_e < 2,300$ .
Tubos lisos en la zona de transición o turbulenta.	Blasius	$f = \frac{0.3164}{R_e^{0.25}}$	Es la Ec. (8.4) y se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach. Vale para tubos de aluminio, latón, cobre, plomo, plástico, vidrio y asbesto-cemento para $R_e > 10^5$ .
	Nikuradse	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left( \frac{R_e \sqrt{f}}{2.51} \right)$	Es la Ec. (8.5b) y se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach. Vale para $2.3 \times 10^4 \leq R_e \leq 3.4 \times 10^5$ .
	Kozeny (Ref. 9)	$f = \frac{2g}{(7.78 \log R_e - 5.95)^2}$	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach y vale para tubos de asbesto-cemento y para $R_e > 4,000$ .
	Richter (Ref. 43)	$f = 0.01113 + 0.917/R_e^{0.41}$	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach y vale para tubos de hule y para $R_e > 4,000$ .
	Ludlin (Ref. 42)	$V = 140 R_h^{0.645} S_f^{2/3}$	Equivale a usar la Ec. (8.9b) con $a = 57.37$ , $x = 0.645$ , $y = 2/3$ . Vale para tubos de asbesto-cemento. En esta fórmula $R_h$ es el radio hidráulico del tubo.



TABLA 2.2 (Continuación)

Tubos rugosos en la zona de transición o turbulenta.	Colebrook-White	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{R_s \sqrt{f}} \right)$	Es la Ec. (8.7) y vale para tubos lisos o rugosos en la zona de transición o turbulenta y con $R_s > 4,000$ . Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach.
	Hazen-Williams (Ref. 44)	$V = 0.355 C_H D^{0.63} S^{0.54}$	Equivale a usar la Ec. (8.9a) con $a = 0.355 C_H$ , $x = 0.63$ , $y = 0.54$ . Es la fórmula más común para tubos rugosos. $C_H$ depende del material del tubo de acuerdo con la tabla 8.4.
Tubos rugosos en la zona turbulenta.	Nikuradse	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3.71 D}{\epsilon}$	Es la Ec. (8.6b) y se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach.
	Kozney (Ref. 9)	$f = \frac{2g}{(8.86 \log D + N)^2}$	Se aplica a la fórmula de Darcy-Weisbach. $N$ depende del material en la tubería según la tabla 8.4.
	Chezy	$V = C \sqrt{R_s S}$	Es la fórmula general para este tipo de tubos y se obtiene de la fórmula de Darcy-Weisbach haciendo $D = R_s$ . Equivale a usar la Ec. (8.9a) con $a = 0.5 C$ , $x = y = 0.5$ . $C$ es un coeficiente que se obtiene de las fórmulas de Bazin, Kutter o Manning.
	Bazin (Ref. 31)	$C = \frac{87}{1 + \Delta/\sqrt{R_s}}$	Se aplica a la fórmula de Chezy, donde $\Delta$ depende del material de que está construido el tubo de acuerdo con la tabla 8.4.
	Kutter (Ref. 45)	$C = \frac{100 \sqrt{R_s}}{m + \sqrt{R_s}}$	Se aplica a la fórmula de Chezy, donde $m$ depende del material de que está construido el tubo de acuerdo con la tabla 8.4.
	Manning (Ref. 42)	$V = \frac{1.49}{n} R_s^{2/3} S^{1/2}$	Resulta de la fórmula de Chezy al considerar que $C = R_s^{1/6}/n$ . Equivale a usar la Ec. (8.9a) con $a = 0.377/n$ , $x = 2/3$ , $y = 1/2$ . $n$ depende del material de que está construido el tubo de acuerdo con la tabla 8.4.

TABLE 2.3 Valores de  $C_H$ ,  $\Delta$ ,  $m$ ,  $n$  y  $N$  aplicables a las fórmulas de la tabla 2.2 de acuerdo con el material de que está construido el tubo

Material	$C_H$	$\Delta$	$m$	$n$	$N$
Acero corrugado	60	—	—	—	—
Acero con juntas lock-bar (nuevo).	135	—	—	—	—
Acero galvanizado (nuevo y usado).	125	—	—	0.014	—
Acero remachado (nuevo).	110	—	—	0.015 a 0.016	31
Acero remachado (usado).	85	—	—	—	28 a 26
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (nuevo).	120	—	—	0.012 a 0.013	34
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (usado).	90	—	—	—	31 a 27
Acero sin costura (nuevo).	—	0.10	0.25	—	38
Acero sin costura (usado).	—	—	0.35	—	36
Acero soldado con revestimiento especial (nuevo y usado).	120	—	—	—	—
Hierro fundido limpio (nuevo).	130	0.16	0.25	0.013	35
Hierro fundido, sin incrustaciones (usado).	110	0.23	0.275	—	—
Hierro fundido, con incrustaciones (viejo).	90	0.36	0.35	—	30
Plástico.	150	—	—	—	—
Asbestocemento (nuevo).	135	0.06	—	—	—
Cobre y latón.	130	—	—	—	—
Conductos con acabado interior de cemento pulido.	100	—	0.10	—	—
Concreto, acabado liso.	130	—	0.20	—	38
Concreto, acabado común.	120	0.18	—	—	—
Concreto monolítico, colado con cimbras deslizantes ( $D > 1.25$ m).	—	—	—	0.010 a 0.011	—
Concreto monolítico bien cimbrado y pulido ( $D > 1.25$ m).	—	—	—	0.011 a 0.0123	—
Concreto monolítico bien cimbrado y sin pulir ( $D > 1.25$ m).	—	—	—	0.014 a 0.015	—
Concreto con acabado tosco ( $D > 1.25$ m).	—	—	—	0.015 a 0.017	27 a 26
Concreto con juntas de macho y empóna ( $D > 0.8$ m).	—	—	—	0.0105 a 0.012	—
Concreto con juntas toscas ( $D > 0.5$ m).	—	—	—	0.0125 a 0.014	30
Concreto con juntas toscas ( $D < 0.5$ m).	—	—	—	0.014 a 0.017	—
Conductos para alambrado.	—	—	—	—	28
Tubos de barro vitrificado (drenes).	110	—	—	0.011	34
Túneles perforados en roca sin revestimiento.	—	—	—	0.025 a 0.040	—
Madera cepillada o en dielas.	120	—	0.10	0.0105 a 0.012	—

la rugosidad. En la tabla 2.2 se presenta un resumen de las principales fórmulas experimentales para el cálculo de la pérdida por fricción en tuberías.

## 2.8 Pérdidas locales

### 2.8.1 Fórmula general

Las tuberías de conducción que se utilizan en la práctica están compuestas generalmente por tramos rectos y curvos para ajustarse a los accidentes topográficos del terreno, así como a los cambios que se presentan en la geometría de la sección y de los distintos dispositivos para el control de las descargas (válvulas y compuertas). Estos cambios originan pérdidas de energía distintas a las de fricción, localizadas en el sitio mismo del cambio de geometría o de la alteración del flujo. Tal tipo de pérdida se conoce como pérdida local. Su magnitud se expresa como una fracción de la carga de velocidad, inmediatamente aguas abajo del sitio donde se produjo la pérdida; la fórmula general de pérdida local es:

$$h = K \frac{v^2}{2g} \quad (2.13)$$

donde

- h pérdida de energía, en m;
- K coeficiente sin dimensiones que depende del tipo de pérdida que se trate, del número de Reynolds y de la rugosidad del tubo;
- $v^2/2g$  la carga de velocidad, aguas abajo, de la zona de alteración del flujo (salvo aclaración en contrario) en m.

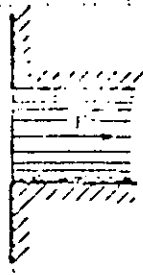
En los siguientes incisos se presentan los valores del coeficiente K, de acuerdo con el tipo de perturbación.

### 2.8.2 Pérdida por entrada

A la entrada de las tuberías se produce una pérdida por el efecto de contracción que sufre la vena líquida y la formación de zonas de separación; el coeficiente K depende, principalmente, de la brusquedad con que se efectúa la contracción del chorro. En la fig. 2.8 se muestran algunos valores de las mismas.

### 2.8.3 Pérdida por ampliación

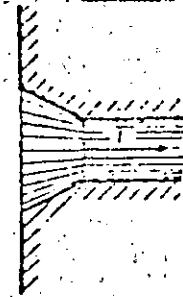
Esta se origina al producirse una ampliación de la sección transversal del tubo. El coeficiente K depende de la brusquedad de la ampliación y para encontrarlo se usa la fórmula de Borda-Carnot:



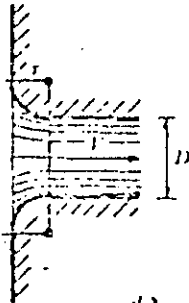
a)  $K = 0.5$



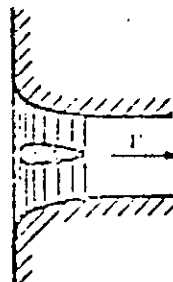
b)  $K = 0.5 + 0.5 \cos \theta + 0.2 \cos^2 \theta$



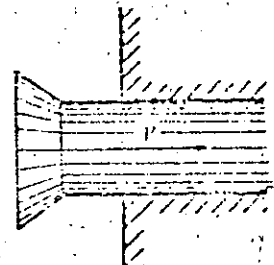
c)  $K = 0.15 \text{ a } 0.25$



d)

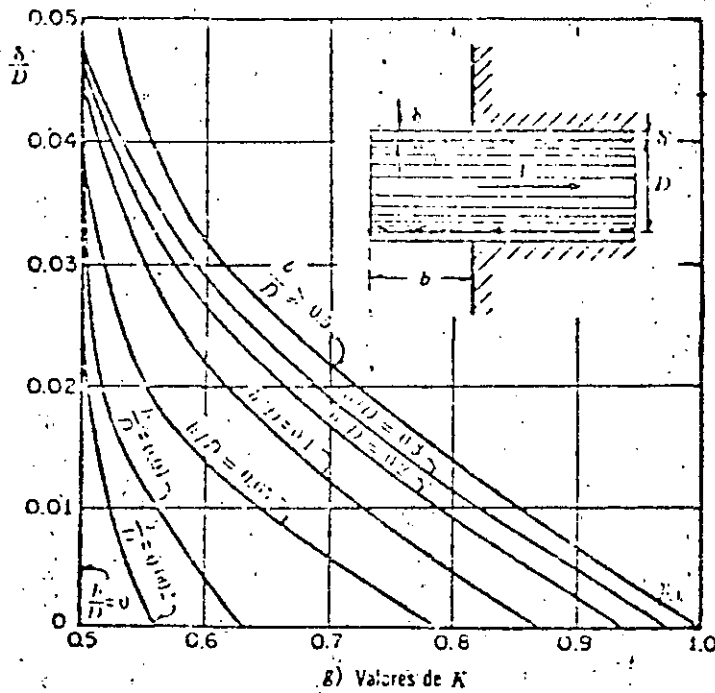


e)  $K = 0.06 \text{ a } 0.10$

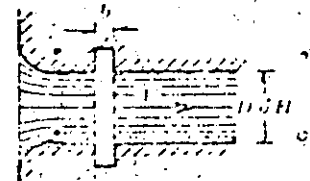


f)  $K = 0.5$

$r/D$	0	0.04	0.08	0.12	0.16	>0.2
$K$	0	0.26	0.15	0.09	0.06	>0.03



h)  $K = 0.04 \text{ a } 0.10$   
para tubo circular;  $\delta$   
de 0.07 a 0.2 para  
tubo rectangular.



i) Coeficientes de pérdida por escoadura  
 $K = 0.04 \text{ a } 0.10$ ,  
si  $b/D > 1$  ó  $b/H > 0.2$   
y  $V \leq 2$  m/seg.  
De  $V$  continuo,  $K = 0$ .

Figura 2.8. Coeficientes de pérdida --por entrada-- para diferentes formas.

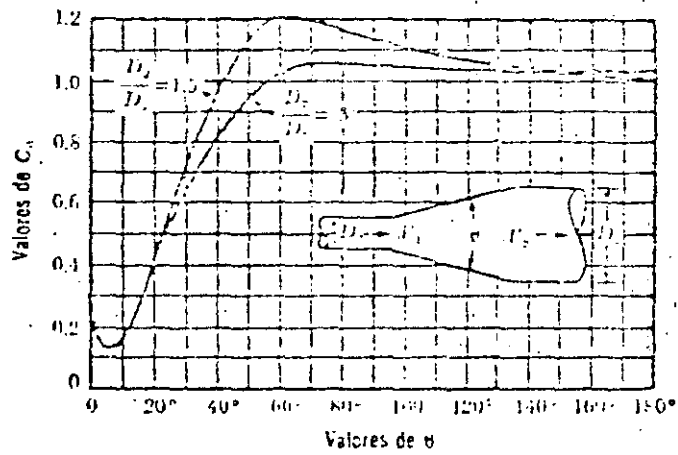


Figura 2.9. Coeficientes de pérdida para ampliaciones graduales.

$$K = C_d \left( \frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 \quad (2.14)$$

donde  $C_d$  depende del ángulo  $\theta$  del difusor, como se muestra en la fig. 2.9, la cual incluye los resultados de Gibson. Para ampliaciones bruscas se usa la misma fórmula con  $C_d = 1$ .

La pérdida mínima de energía se obtiene para ángulos de difusión  $\theta = 8^\circ$ ; para  $\theta \geq 50^\circ$  una ampliación brusca es tan confiable como la gradual.

#### 2.8.4 Pérdida por reducción

En este caso se produce un fenómeno de contracción semejante al de entrada a la tubería, el cual también conviene que sea gradual. Si bien en este caso la pérdida es inferior a la de la ampliación, dependiendo de la brusquedad con que se efectúa la contracción, el coeficiente de pérdida está su-peditado al ángulo  $\theta$  al cual ésta se produzca, de acuerdo con la tabla 2.4 - de Kisieliev.

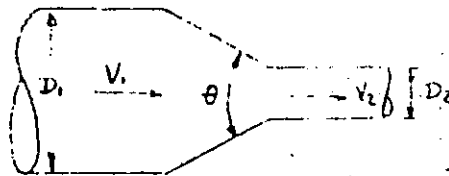


Fig. 2.10 Reducción gradual

TABLA 2.4 Coeficiente de pérdida por reducción gradual de ángulo  $\theta$ , según Kisieliev.

$\theta$	$4^\circ$	$5^\circ$	$7^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$25^\circ$	$30^\circ$	$35^\circ$	$40^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$75^\circ$	$80^\circ$
K	0.060	0.005	0.16	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.35

Si la contracción es brusca se usan los coeficientes de Weisbach, - mostrados en la fig. 2.11, en la que aparece también la curva de Kisieliev, la cual pretende dar los valores medios de todos los autores que han estudiado el problema. En el caso de tubos de pequeño diámetro, un cople reductor tiene un coeficiente de pérdida K que varía de 0.05 a 2; y para un cople que una dos tubos del mismo diámetro, K varía de 0.35 a 0.9 para diámetros variando de 100 mm a 25 mm, respectivamente.

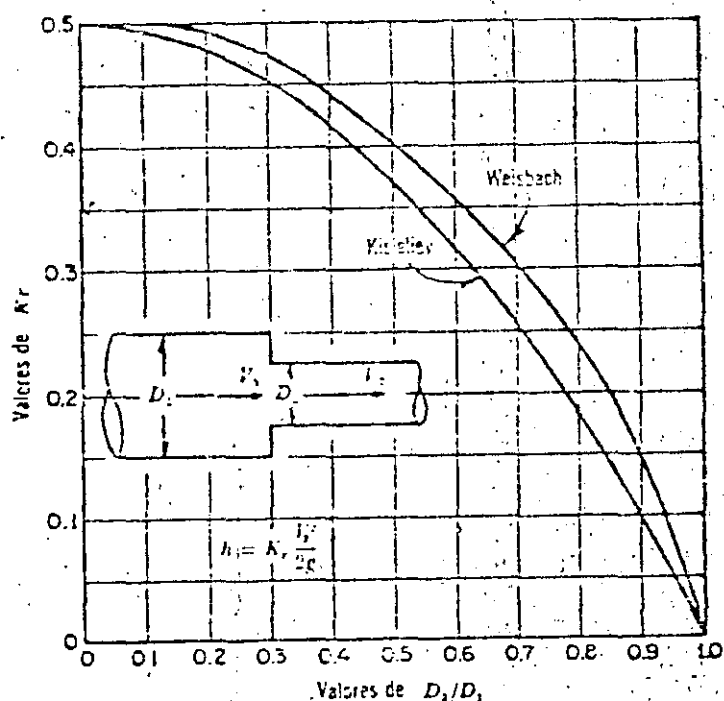


Figura 2.11. Pérdida de energía en una contracción brusca.

### 2.8.5 Pérdida por cambio de dirección

Si se visualiza el flujo en un cambio de dirección, se observa que los filetes tienden a conservar su movimiento rectilíneo en razón de su inercia. Esto modifica la distribución de velocidades y produce zonas de separación en el lado interior y aumentos de presión en el exterior, con un movimiento espiral que persiste en una distancia de 50 veces el diámetro. Si el cambio de dirección es gradual con una curva circular de radio medio R y rugosidad absoluta  $\epsilon$ , para obtener el coeficiente de pérdida K, se usa la gráfica de Hoffman (fig. 2.12 a) que, además toma en cuenta la fricción en la curva, donde

$$K = C_c \frac{\theta^\circ}{90^\circ} \quad (2.15)$$

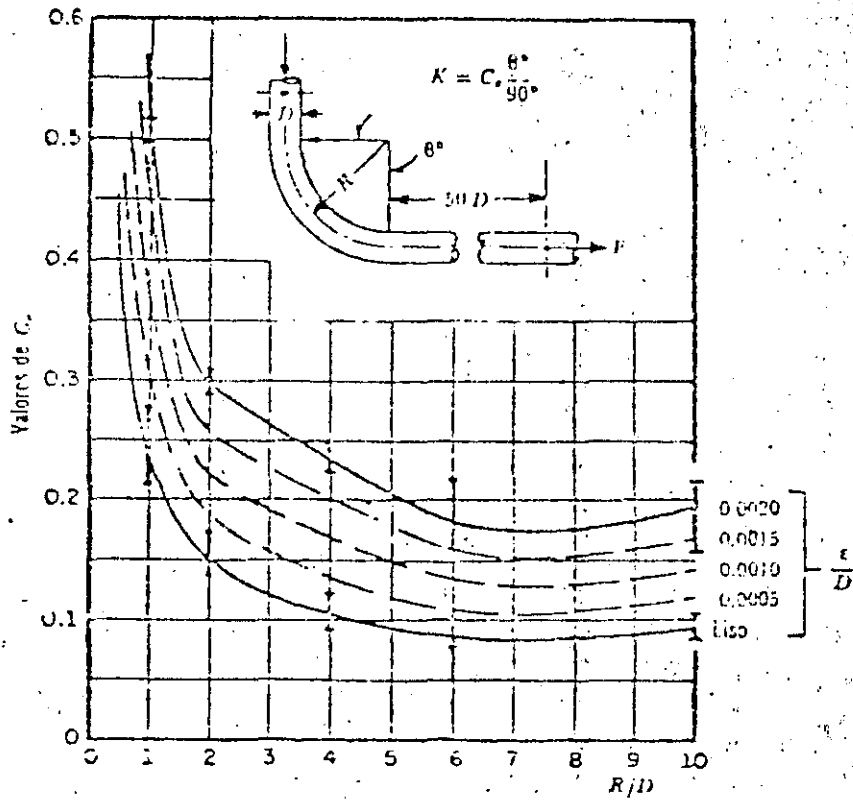


Figura 2.12a. Coeficientes  $C_c$  para curvas de diámetro constante y  $R_e > 2.2 \times 10^5$  en tubos rugosos.

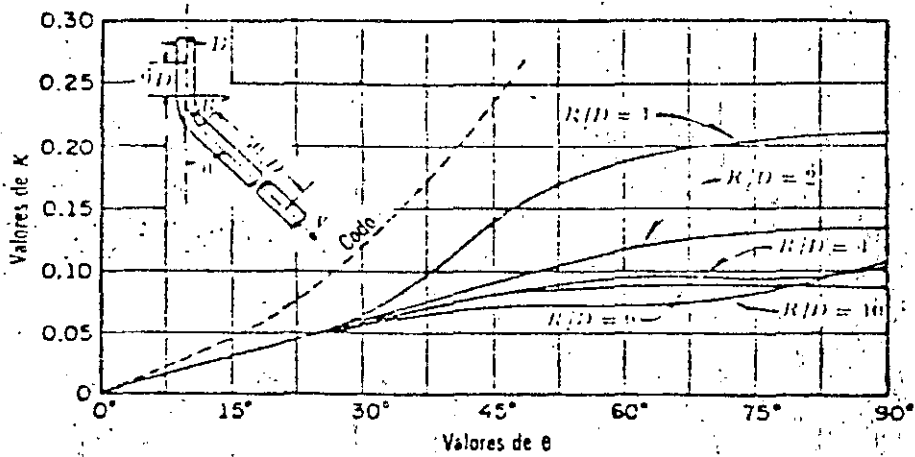
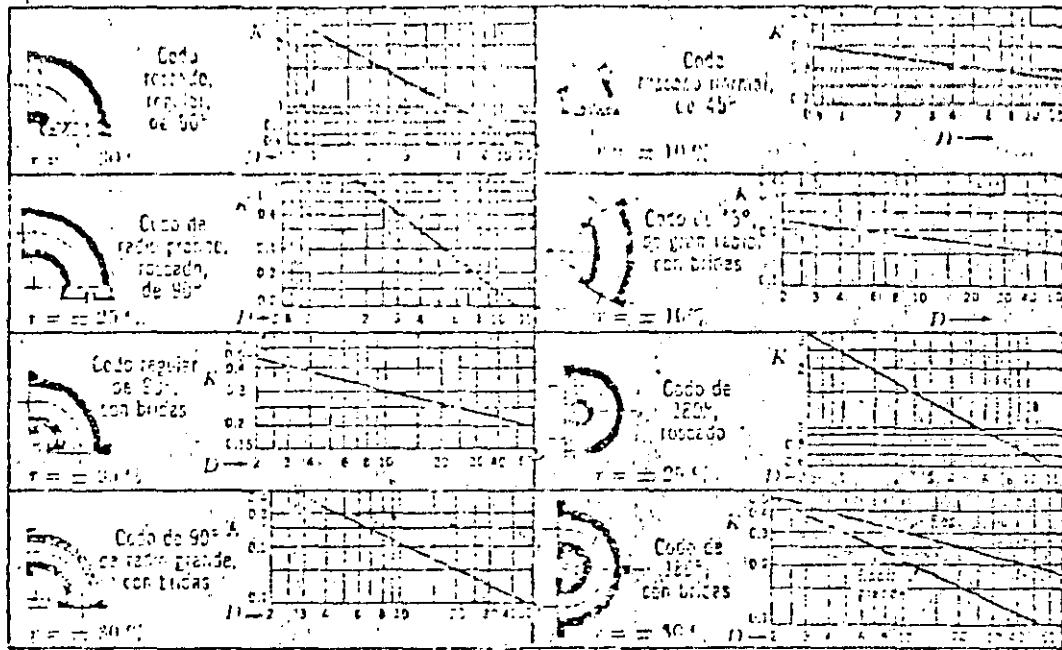


Figura 2.12b. Coeficientes de pérdida en curvas de diámetro constante con superficie lisa y número de Reynolds de  $2.25 \times 10^5$ .





Nota: El diámetro  $D$  corresponde al nominal y se mide en centímetros,  $r$  es el intervalo aproximado de variación para  $K$ .

Figura 2.13 Coeficientes de pérdida para los codos.

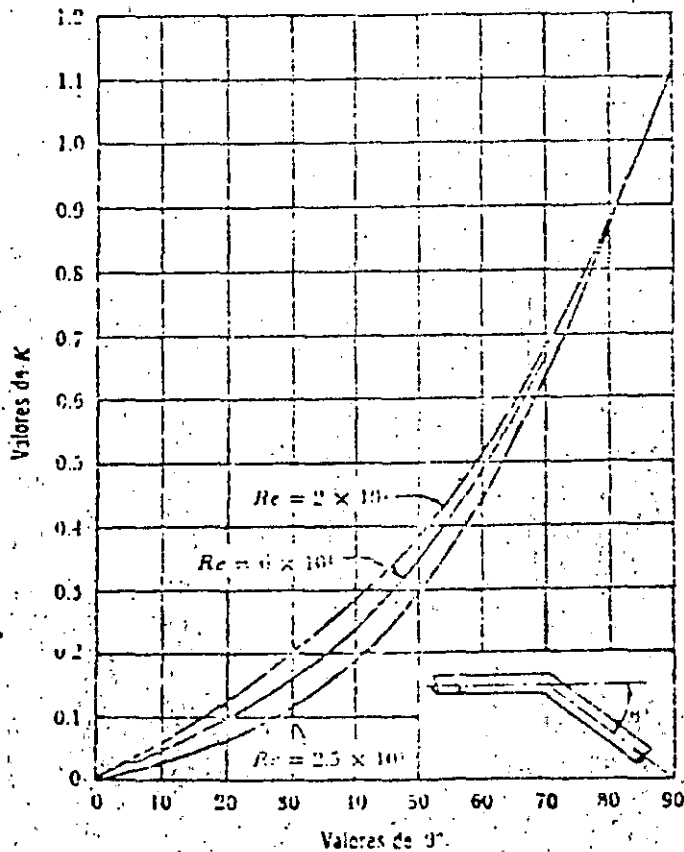
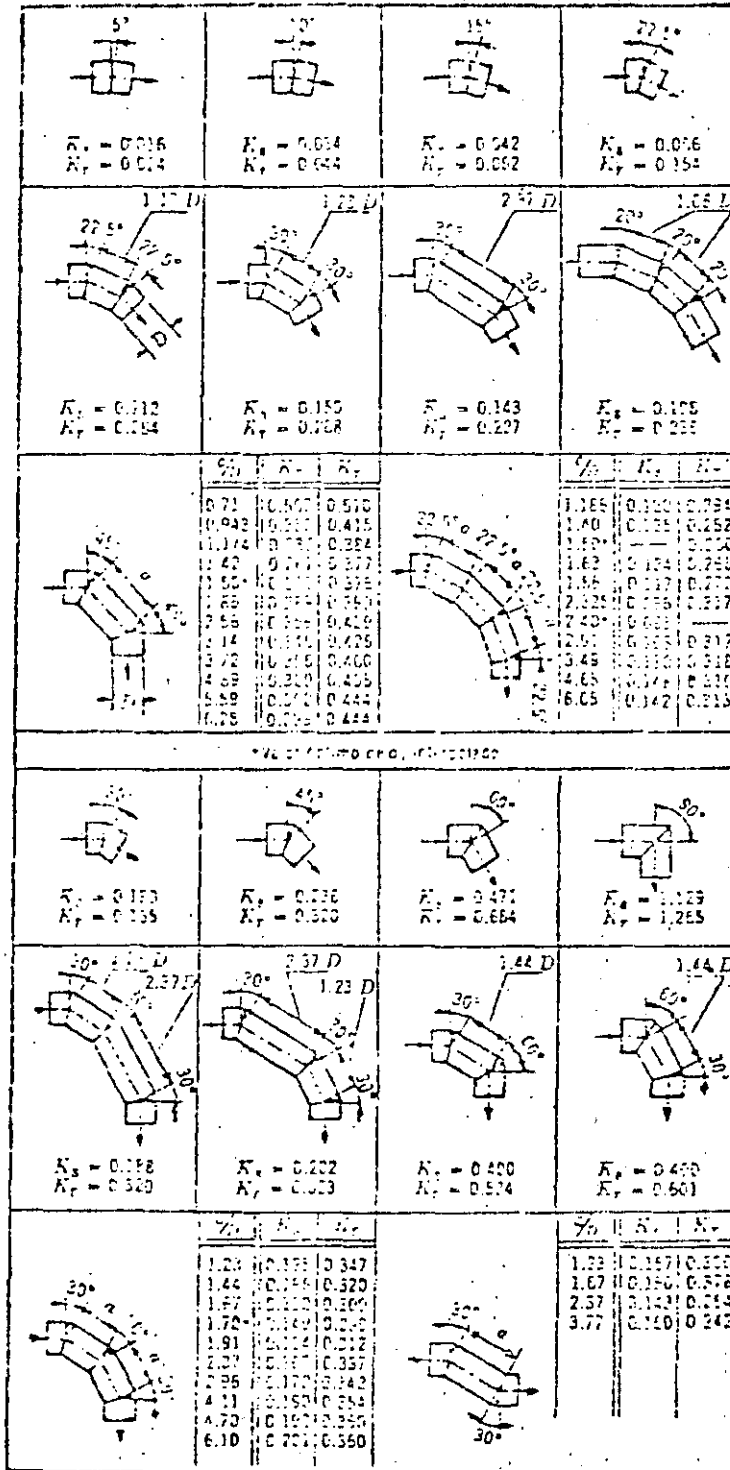


Figura 2.14. Coeficiente de pérdida por codo,  $K$ .

Si el tubo es liso se usa la gráfica (de la fig. 2.12 b, de Wasiliewski,

Los coeficientes de las figs. 2.12 a y b, son válidos para curvas en tubos de gran diámetro. Si se trata de curvas en tubos de menor diámetro, se usan los resultados de la fig. 2.13 (Ref. 47) de acuerdo con el diámetro nominal del tubo.

Si el cambio de dirección es brusco, el coeficiente de pérdida depende del número de Reynolds —como se muestra en la fig. 2.14, de Kirchbach y Schubart, para diferentes ángulos. Si el cambio de dirección es a base de pequeños tramos rectos, los coeficientes de pérdida se obtienen de la fig. 2.15 que contiene los resultados, de diferentes investigadores, para tubos lisos y rugosos.



$K_s$  = Coeficiente de pérdida para una superficie lisa.  
 $K_f$  = Coeficiente de pérdida para una superficie rugosa,  $\frac{\epsilon}{D} = 0.0022$ .

Figura 2.15. Coeficiente de pérdida para curvas compuestas y número de Reynolds de  $2.25 \cdot 10^4$ .

que contiene los resultados, de diferentes investigadores, para tubos lisos y rugosos.

## 2.86 Pérdida por válvulas

Los coeficientes de pérdida por válvulas varían de acuerdo con el tipo y, para

**TABLA 2.5** Coeficientes de pérdida para válvulas de compuerta de diámetro  $D = 50$  mm.

$c$	$K$	$A/A_0$
1/8	0.07	0.949
2/8	0.26	0.856
3/8	0.81	0.74
4/8	2.06	0.609
5/8	5.52	0.466
6/8	17	0.315
7/8	97.8	0.159
31/32	159	—

Para válvulas de compuerta (Fig. 2.16), los coeficientes de pérdida, así como la relación del área abierta, al área total del

**TABLA 2.7** Coeficientes de pérdida para válvulas esféricas.

$\theta^\circ$	$K$	$A/A_0$
5	0.05	0.926
10	0.29	0.85
15	0.75	0.772
20	1.56	0.692
25	3.10	0.613
30	5.17	0.535
35	9.68	0.458
40	17.3	0.385
45	31.2	0.315
50	52.6	0.25
55	106	0.19
60	206	0.137
65	486	0.091
82	$\infty$	0

Si la válvula de compuerta es de diámetro inferior o mayor de 50 mm, la tabla 2.6 sirve para seleccionar el coeficiente  $K$ , de pérdida, adecuado.

Los coeficientes de pérdida, para válvulas esféricas (Fig. 2.17), dependen del ángulo de abertura  $\theta$ , como se indica en la tabla 2.7.

Para válvulas de mariposa o de lenteja (Fig. 2.18),  $K$  se obtiene de la tabla 2.8.

Si la válvula de mariposa está completamente abierta, el coeficiente de pérdida se obtiene de la siguiente fórmula

$$K = \frac{e}{d} \quad \text{espesor de la hoja} \quad (2.16)$$

distintas posiciones, deben ser proporcionados por los fabricantes. A falta de estos datos, se pueden utilizar los valores medios que a continuación se indican.

**TABLA 2.6** Coeficientes de pérdida para válvulas de compuerta cuyo diámetro es menor o mayor de 50 mm

$D$ mm	25	100	150	300	900	
Valores de $c$	0.95	—	—	850	630	—
	0.9	—	—	215	165	—
	0.8	—	—	47	35	28
	0.75	32	16	—	—	—
	0.7	—	—	16	12	9
	0.6	—	—	7	5.5	4
	0.5	4.1	2.6	3.3	2.7	1.3
	0.4	—	—	1.7	1.3	—
	0.3	—	—	1.05	0.65	—
	0.25	0.23	0.14	—	—	—
	0.2	—	—	0.65	0.29	—
	0	0.23	0.14	—	—	—

conducto, varía de acuerdo con la tabla 2.5, válida para  $D = 50$  mm.

**TABLA 2.8** Coeficientes de pérdida para válvulas de lenteja

$\theta^\circ$	$K$	$A/A_0$
5	0.24	0.915
10	0.52	0.826
15	0.90	0.741
20	1.54	0.658
25	2.51	0.577
30	3.91	0.500
35	6.22	0.426
40	10.8	0.357
45	18.7	0.293
50	32.6	0.234
55	58.8	0.181
60	118	0.124
65	256	0.084
70	731	0.06
90	$\infty$	0

Cuando se utilice una compuerta radial (Fig. 2.19) para controlar la descarga

**TABLA 2.9** Coeficientes de pérdida para compuertas radiales en una tubería

$r/r_0$	$b/W$	$K$
0.19	0.07	128
0.2	0.15	30.2
0.3	0.24	12.3
0.4	0.34	6.03
0.5	0.43	3.23
0.6	0.54	1.79
0.7	0.65	0.99
0.8	0.77	0.56
0.9	0.86	0.34
0.95	0.94	0.21
1.00	1.00	0.30

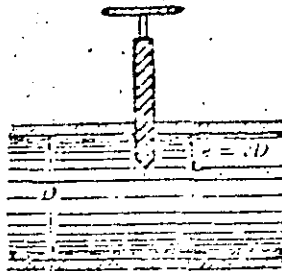


Figura 2.16 Válvula de compuerta.

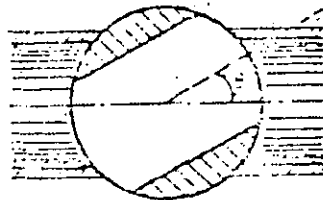


Figura 2.17 Válvula esférica.

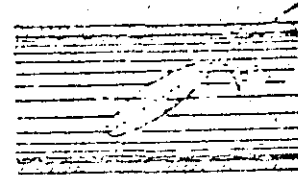


Figura 2.18 Válvula de lenteja/

en una conducción a presión, el coeficiente de pérdida, según Abeljew (Ref. 7), depende de  $\phi/\phi_0$ , o bien de  $h/w$ , de acuerdo con la tabla 2.9.

de la relación de abertura  $b/W$ , sino también de la forma del lado inferior de la compuerta (Fig. 2.23). El coeficiente de pérdida se obtiene de la tabla 2.10.

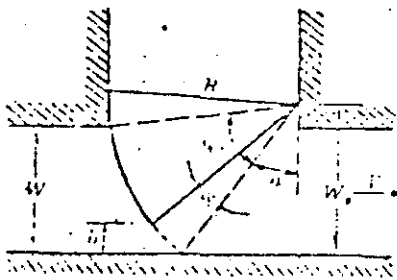


Figura 2.19 Compuerta radial en una tubería.

Si se utilizan compuertas deslizantes, como la mostrada en la Fig. 2.20, el coeficiente de pérdida depende no sólo

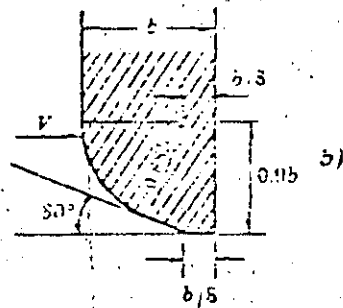
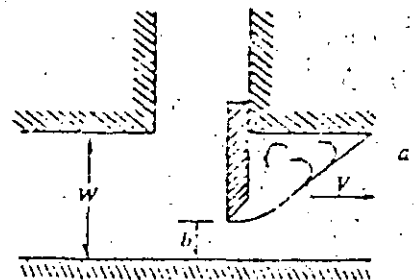


Tabla 2.9 Coeficientes de pérdida para compuertas deslizantes en una tubería.

$b/W$	K canto afilado	K canto redondeo
0.1	186.5	—
0.2	44.1	23.2
0.3	17.8	10.8
0.4	8.69	4.95
0.5	4.57	2.7
0.6	2.43	1.48
0.7	1.31	0.96
0.8	0.68	0.58
0.9	0.38	0.36
1	0.3	0.24

Figura 2.20 Compuertas deslizantes en una tubería.

Para válvulas de pie (Fig. 2.21) con pi-chancha, completamente abierta, el coeficiente de pérdida depende del diámetro como se indica en la tabla 2.11.

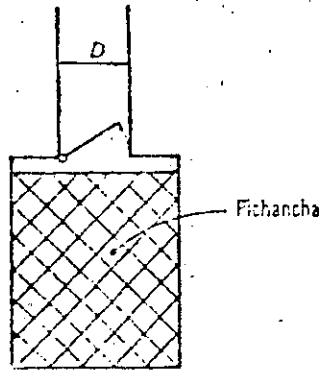


Figura 2.21. Válvula de pie con pichancha abierta.

TABLA 2.11. Coeficientes de pérdida para válvulas de pie con pichancha abierta

D, en m	K	D, en m	K
0.040	12.9	0.20	5.2
0.050	10.0	0.25	4.4
0.065	8.8	0.30	3.7
0.080	8.0	0.35	3.4
0.100	7.0	0.40	3.1
0.125	6.5	0.45	2.8
0.150	6.0	0.50	2.5

Para calcular la pérdida, exclusivamente en la pichancha, el coeficiente vale

$$K = (0.675 \text{ a } 1.575) \left( \frac{A}{A_c} \right)^2 \quad (2.17)$$

donde

- A área del tubo;
- A<sub>c</sub> área neta (únicamente las perforaciones de la pichancha).

Para una válvula *check* o de retención (Fig. 2.22), completamente abierta, el coeficiente de pérdida depende del diámetro como se indica en la tabla 2.12

TABLA 2.12. Coeficientes de pérdida para válvulas de retención completamente abiertas

D en m	K
0.05	18
0.075	11
0.10	8
0.15	6.5
0.2	5.5
0.25	4.5
0.3	3.5
0.35	3
0.4	2.5
0.5	0.8

Si la válvula de retención está, parcialmente, abierta entonces K es como se indica en la tabla 2.13

TABLA 2.13. Coeficientes de pérdida para válvulas de retención parcialmente abiertas

δ°	K
15	90
20	62
25	42
30	30
35	20
40	14
45	9.5
50	6.6
55	4.6
60	3.2
65	2.3
70	1.7

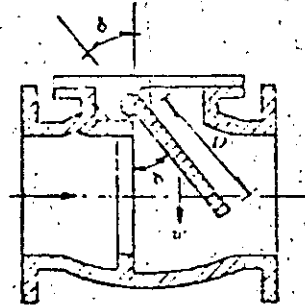


Figura 2.22. Válvula de retención.

2.8.7 Pérdida por salida  
Esta pérdida vale:

$$h_s = K \frac{(V_3 - V_2)^2}{2g} \quad (2.20)$$

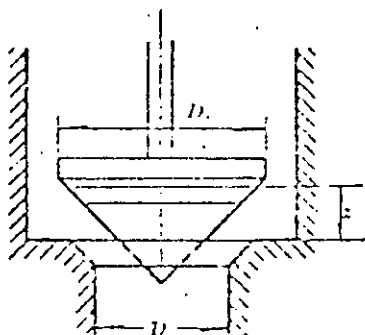


Figura 2.23. Válvula de alivio de forma cónica.

Para válvulas de alivio (Fig. 2.23) resulta conveniente emplear la fórmula siguiente:

$$K = 2.6 - 0.8 \frac{D}{z} + 0.14 \left( \frac{D}{z} \right)^2 \quad (2.18)$$

Si la válvula es semejante a la de la figura 2.24, entonces tenemos que:

$$K = 0.6 + 0.15 \left( \frac{D}{z} \right)^2 \quad (2.19)$$

Para válvulas de pequeño diámetro totalmente abiertas, se deben usar los coeficientes de pérdida indicados en la figura 2.25.

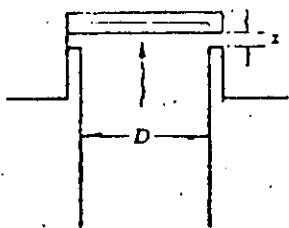


Figura 2.24. Válvula de alivio plana.

donde K se obtiene de la tabla 2.14 (Fig. 2.26).

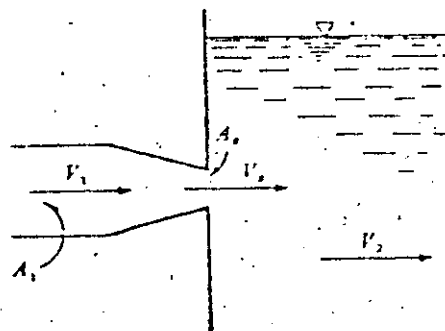


Figura 2.25. Pérdida por salida.

TABLA 2.14 Coeficientes de pérdida por salida

$\frac{A_2}{A_1}$	K
0.1	0.83
0.2	0.84
0.3	0.85
0.4	0.87
0.5	0.88
0.6	0.90
0.7	0.92
0.8	0.94
0.9	0.965
1	1.0

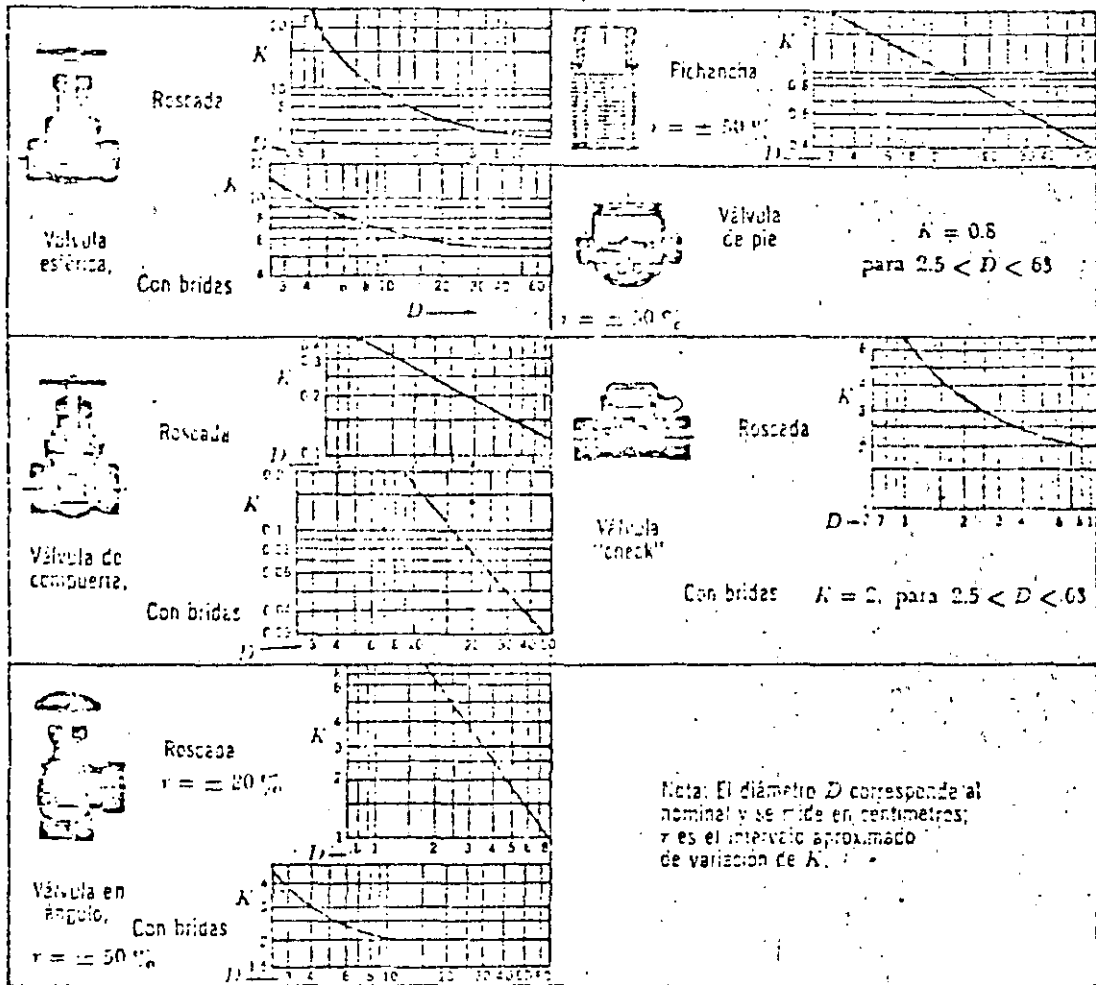


Figura 8.25 Coeficientes de pérdida para válvulas completamente abiertas.



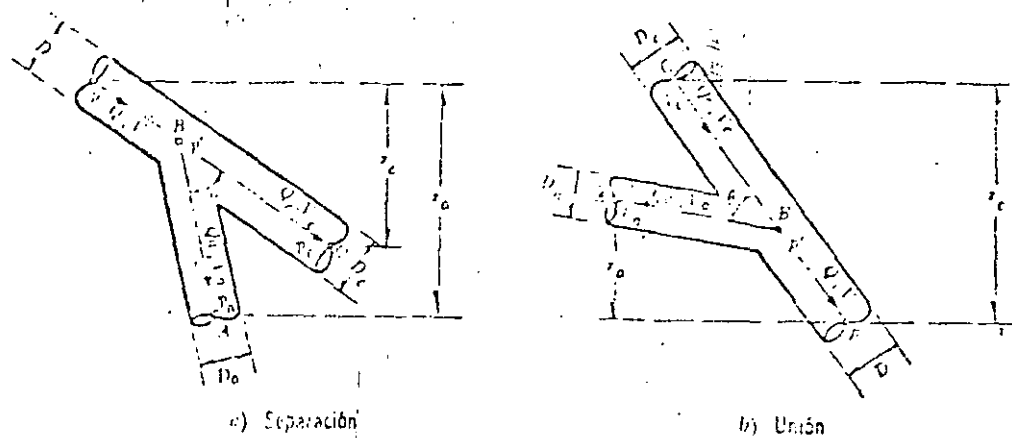


Figura 2.27. Pérdida por bifurcación.

Si la descarga es al medio ambiente,  $V_2 = 0$  y  $h_2 = V_2^2/2g$  para  $A_2 = A_1$ .

### 2.8.8 Pérdidas por bifurcación

La pérdida de energía en una bifurcación de conductos depende —además del ángulo que forman la tubería secundaria con la maestra— de la relación entre los diámetros de ambas tuberías y de la dirección de la corriente. Dicha pérdida es mayor en la unión que en la bifurcación (Figs. 2.27 a y b) y se expresa como un porcentaje de la carga de velocidad, lo que demuestra que el coeficiente  $K$  es independiente del número de Reynolds.

Con las designaciones indicadas en la Fig. 2.27a para la separación y con las secciones próximas al punto en que se realiza la bifurcación, la ecuación de la energía entre la corriente principal y la sección C (suponiendo que la pérdida por fricción es pequeña), conduce a:

$$z_c + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = \frac{p_c}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} + K_c \frac{V^2}{2g}$$

o bien:

$$\frac{p - p_c}{\gamma} + z_c = \frac{V_c^2}{2g} + (K_c - 1) \frac{V^2}{2g}$$

En la misma manera, de la ecuación de la energía, entre la corriente principal y la sección A, tenemos:

$$\frac{p - p_a}{\gamma} + z_a = \frac{V_a^2}{2g} + (K_a - 1) \frac{V^2}{2g}$$

En el caso de la unión, en la Fig. 2.27b las ecuaciones son:

$$\frac{p_c - p}{\gamma} + z_c = (K_c + 1) \frac{V^2}{2g} - \frac{V_c^2}{2g}$$

$$\frac{p_a - p}{\gamma} + z_a = (K_a + 1) \frac{V^2}{2g} - \frac{V_a^2}{2g}$$

además, en ambos casos son válidas las siguientes ecuaciones:

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}, \quad V_c = \frac{4Q_c}{\pi D_c^2}, \quad V_a = \frac{4Q_a}{\pi D_a^2}$$

$$Q = Q_c + Q_a$$

Los coeficientes  $K_c$  y  $K_a$ , antes definidos, son dependientes de la relación entre gas-

*pérdidas locales*

los  $Q_1/Q$  y entre los diámetros; del ángulo con que se realiza la bifurcación y del grado de redondez de los cantos en los tubos. Para el caso de cantos agudos, como los de la Fig. 2.27 y  $D = D_0$ , los autores Vogel, Petermann y Kinne, obtuvieron los resultados de la tabla 2.15.

cientos de pérdida  $K$ , para bifurcaciones de diámetro pequeño:

En obras hidroeléctricas son de especial interés las bifurcaciones simétricas mostradas en la Fig. 2.19.

Para la bifurcación del tipo 1 (Fig. 2.25a) ( $D = \text{constante}$ ), con una distribución

**TABLA 2.15** Coeficientes de pérdida para bifurcaciones en tuberías (cantos agudos)

$\frac{Q_1}{Q}$	Separación				Unión			
	$\theta = 90^\circ$		$\theta = 45^\circ$		$\theta = 90^\circ$		$\theta = 45^\circ$	
	$K_0$	$K_c$	$K_0$	$K_c$	$K_0$	$K_0$	$K_0$	$K_c$
0.0	0.95	0.04	0.90	0.04	-1.20	0.04	-0.92	0.04
0.2	0.83	-0.28	0.68	-0.06	-0.46	0.17	-0.32	0.17
0.4	0.69	-0.65	0.50	-0.04	0.88	0.30	0.60	0.19
0.6	0.51	0.07	0.38	0.07	0.47	0.40	0.22	0.09
0.8	1.10	0.21	0.35	0.20	0.72	0.51	0.37	-0.17
1.0	1.28	0.35	0.48	0.33	0.91	0.60	0.37	-0.54

Por otra parte, las relaciones más adecuadas para una separación en tubos con cantos redondeados (radio de curvatura  $0.1 D_0$ ), son las indicadas en la tabla 2.16 (Ref. 43).

simétrica del gasto, ( $Q_1/Q = 0.5$ ), los coeficientes de pérdida, divididos en cada uno de las dos siguientes expresiones:

$$h = K_0 \frac{V^2}{2g}; \quad h = K_c' \frac{V^2}{2g}$$

**TABLA 2.16** Coeficientes de pérdida para bifurcaciones en tuberías (cantos redondeados)

$Q_1/Q$	$\theta$	$D_1/D$	$V_0/V$	$K_0$
0.3	90°	1	0.5	0.76
	60°	0.61	0.5	0.59
	45°	0.55	0.9	0.35
0.5	90°	1	0.5	0.74
	60°	0.79	0.8	0.51
	45°	0.75	0.9	0.32
0.7	90°	1	0.7	0.63
	60°	1	0.7	0.52
	45°	1	0.7	0.30

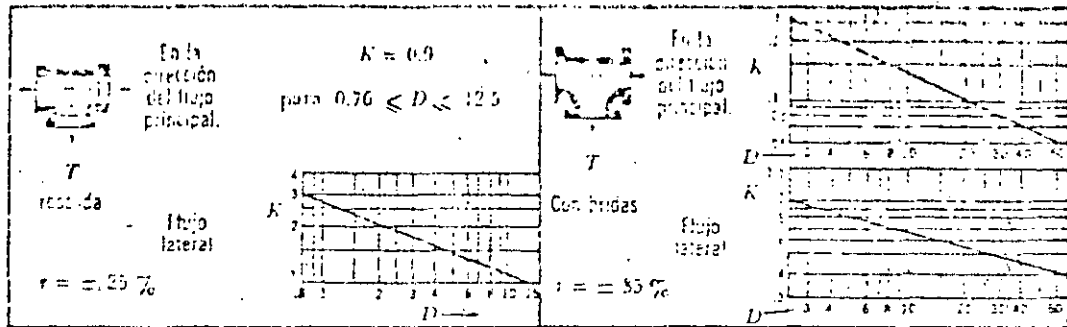
se obtienen de la tabla 2.17, en la cual se incluyen también los correspondientes al tipo 2, para diferentes valores de  $\theta$  (referencia 1).

**TABLA 2.17** Coeficientes de pérdida para las bifurcaciones tipos 1 y 2 (Fig. 2.25).

$\frac{D_1}{D}$	Tipo 1		$\theta$	Tipo 2	
	$K_0$	$K_0'$		$K_0$	$K_0'$
0.50	1.10	4.4	10°	0.1	0.4
0.75	0.60	2.4	30°	0.3	1.2
1.00	0.40	1.6	45°	0.7	2.8
1.5	0.25	1.0	60°	1.0	4.0
2.0	0.20	0.8	90°	1.4	5.6

En la Fig. 2.28 se presentan los coefi-

resistencia al flujo en conductos a presión



Nota: El diámetro corresponde al nominal y se mide en centímetros;  $r$  es el intervalo aproximado de variación para  $K$ .

Figura 2.28. Coeficientes de pérdida en bifurcaciones de diámetro pequeño.

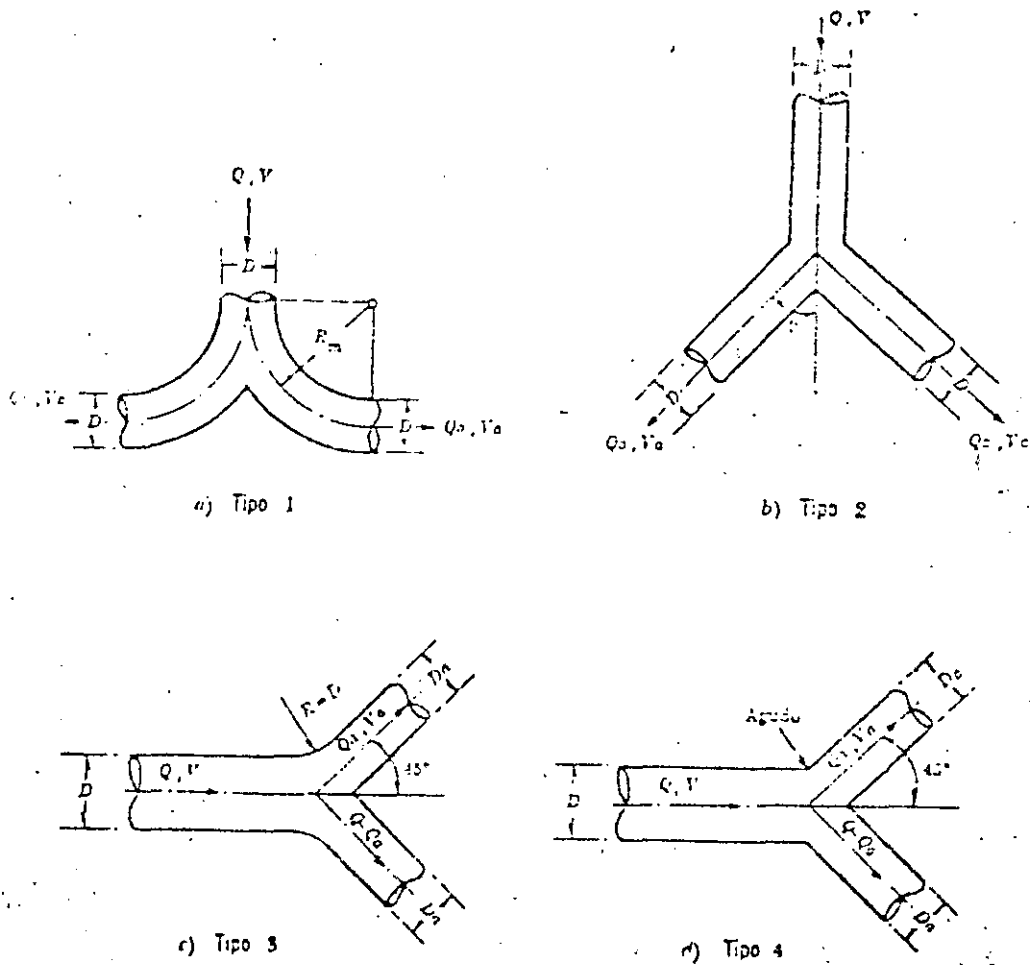


Figura 2.29. Bifurcaciones simétricas.

Por otra parte, para las bifurcaciones de los tipos 3 y 4, los correspondientes coeficientes de pérdida se presentan en la tabla 2.12.

TABLA 2.12 Coeficientes de pérdida para las bifurcaciones tipos 3 y 4 (Fig. 2.29).

Tipo	$D_2/D_1$	$Q_1/Q_2$	
		0.5	1.0
1	1	$K_3$	0.40
		$K_4$	1.60
3	0.501	$K_3$	0.40
		$K_4$	0.50
1	1	$K_3$	0.55
		$K_4$	2.20
4	0.707	$K_3$	0.75
		$K_4$	0.75

## 2.9 Análisis de sistemas de tubos

### 2.9.1 Conducto sencillo

Es el más sencillo de los sistemas. Consiste de un conducto único alimentado en el extremo, aguas arriba, por un recipiente o una bomba y con descarga libre o a otro recipiente. El conducto puede tener cambios geométricos u obstrucciones que producen pérdidas locales de energía, además de la propia de fricción.

En la Fig. 2.30 se muestra el comportamiento de las líneas de energía y gradiente hidráulico, para el tubo que conecta dos recipientes; ambas líneas interpretan el significado físico de los términos en la ecuación de la energía. En la Fig. 2.31 se presenta el sistema alimentado por una bomba.

Para el análisis del conducto sencillo se utiliza la ecuación de continuidad y la de energía: la primera establece la invariabilidad del gasto en cualquier sección  $i$  del conducto; a saber:

$$Q = A_i V_i$$

La segunda establece la constancia de la energía entre dos secciones transversales 1 y 2 del conducto, para lo cual se acepta, usualmente, que el coeficiente  $\alpha$  en dichas secciones valga uno. Esto es:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum_1^2 h_f + \sum_1^2 h_l$$

donde

$\sum_1^2 h_f$  = suma de las pérdidas de fricción  $h_f$ , en cada tramo de la sección 1 a la 2;

$\sum_1^2 h_l$  = suma de las pérdidas locales que ocurren de la sección 1 a la 2 debidas a entrada, cambios de sección, válvulas, etcétera.

Los dos términos se expresan en razón de la carga de velocidad dentro del tramo de sección constante, si la pérdida es de fricción o aguas abajo del punto donde se produce la pérdida local. Por esta cau-

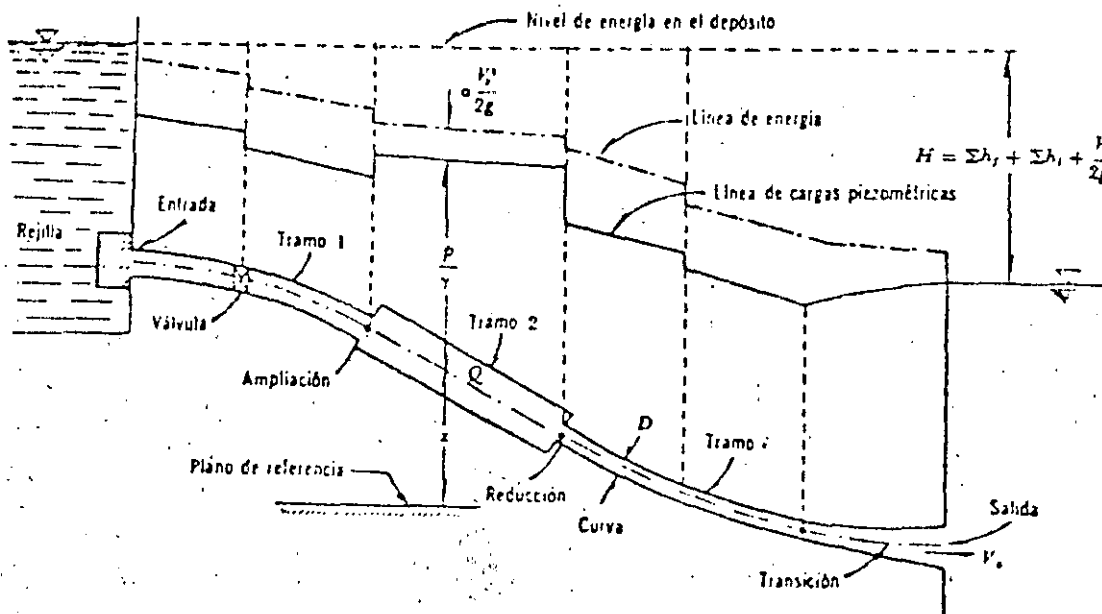


Figura 2.30 Conducto sencillo.

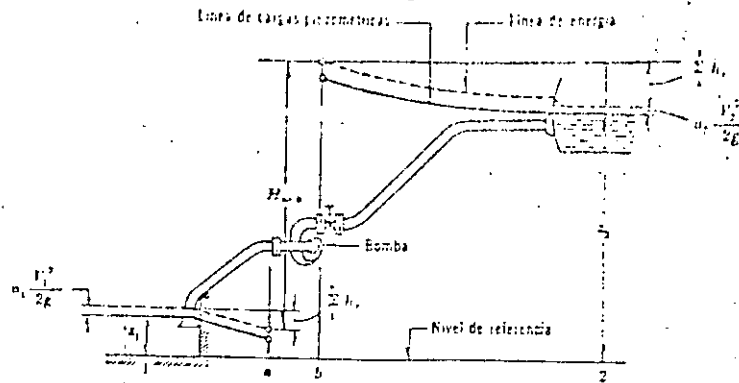


Figura 2.31. Líneas de energía y de cargas piezométricas en una instalación de bombeo.

sa, la ecuación de la energía contendrá los valores de la velocidad, en distintas secciones del conducto, mismos que se pueden substituir por la velocidad, en un sólo tramo, utilizando la ecuación de continuidad.

Si en el sistema de la Fig. 2.30, el recipiente de aguas abajo no existe, es decir, si el conducto descarga libremente a la atmósfera, el desnivel  $H$  se mide como la diferencia de niveles entre la superficie libre en el depósito superior y el centro de gravedad de la sección final del tubo. En cualquier caso, dicho desnivel será:

$$H = \sum h_f + \sum h_m + \frac{V_2^2}{2g}$$

donde  $V_2^2/2g$  es la carga de velocidad en la sección final del conducto, considerada como energía final en el caso de descarga libre, o como pérdida en el caso de descarga a otro recipiente. Se presentan dos tipos de problema:

a) *Revisión.* Conociendo  $H$ , la geometría y rugosidad del tubo, se desea calcular el gasto.

*Solución.* Supuesto que se desconoce la zona de flujo (laminar, transición o turbulento) en la que trabaja el tubo, la velocidad y los coeficientes de pérdida son incógnitas. Si la sección 1 se elige dentro del depósito superior y la 2 dentro del inferior, de tal manera que la velocidad de llegada sea despreciable. De la ecuación de la energía se tiene:

$$H = \left( z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left( z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) = \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f + \sum h_m$$

en que  $V_2$  es la velocidad en la sección final de la tubería.

Por la fórmula de Darcy-Weisbach y de pérdidas menores vemos que:

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + \left( f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g} + \dots \right) + \left( K_1 \frac{V_1^2}{2g} + K_2 \frac{V_2^2}{2g} + \dots \right)$$

y debido a que  $V_1 A_1 = V_2 A_2$ , entonces resulta:

$$H = \frac{V_2^2}{2g} \left( 1 + \frac{f_1 L_1}{D_1} \frac{A_2^2}{A_1^2} + \frac{f_2 L_2}{D_2} \frac{A_2^2}{A_2^2} + \dots + K_1 \frac{A_2^2}{A_1^2} + K_2 \frac{A_2^2}{A_2^2} + \dots \right)$$

la velocidad en la sección final vale

$$V_2 = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \sum_{i=1}^n \left( \frac{f_i L_i}{D_i} \frac{A_2^2}{A_i^2} + K_i \frac{A_2^2}{A_i^2} \right)}} \quad (2.21)$$

y el gasto:

$$Q = V_2 A_2$$

Puesto que se conoce  $u/D_i$ , se puede estimar un valor para cada  $f_i$ , por inspección del diagrama de Moody, así como los  $K_i$ . Con dichos coeficientes, substituidos en la Ec. 2.21, se determina el gasto; de éste,  $V_2 = 4Q/\pi D_2$  y con los números de Reynolds, se obtienen nuevos valores  $f_i$ . El proceso se repite.

b) *Diseño.* Conociendo  $H$ , la geometría (con excepción de uno de los diámetros), la rugosidad y el gasto, se desea:

uno de los diámetros (con más de un diámetro como incógnita, la solución es imposible).

Solución. Igual que el problema anterior —se utiliza la Ec. 2.21— estimando  $f$  y  $D$  desconocidos, que se substituyen reitera-

damente hasta obtener el gasto. Este problema es poco común.

Por ejemplo, en el caso de una tubería de diámetro constante y pérdidas locales despreciables, de la Ec. 2.21 vemos:

$$Q \approx \frac{\pi \sqrt{2gH}}{4fL/D^2}$$

$$D \approx \sqrt[3]{\frac{8LQ^2}{g\pi^2 H}} f = \sqrt[3]{\frac{0.0827LQ^2}{H}} f \quad (2.22)$$

también en el número de Reynolds, nos da

$$R_e = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi \nu D} = \frac{C_2}{D} \quad (2.23)$$

en el que se conoce a

$$C_2 = 4Q/\pi \nu$$

La solución consiste en los siguientes pasos:

- Se estima un valor de  $f$  (por ejemplo 0.02).
- Se calcula  $D$  de la Ec. (2.22).
- Se calcula  $R_e$  de la Ec. (2.23).
- Con  $R_e$  y  $\epsilon/D$ , del diagrama de Moody, se determina un nuevo valor de  $f$ .
- Con el nuevo valor de  $f$  se repite el procedimiento hasta que ésta no cambie en más de dos ciclos sucesivos.

Ejemplo 2.2. 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 hierro fundido con incrustaciones ( $\epsilon = 0.76 \text{ mm}$ ), con una 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. 2.32).

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

$$P = 75 \times 0.75 \times 25 = 1406 \text{ kg m/s}$$

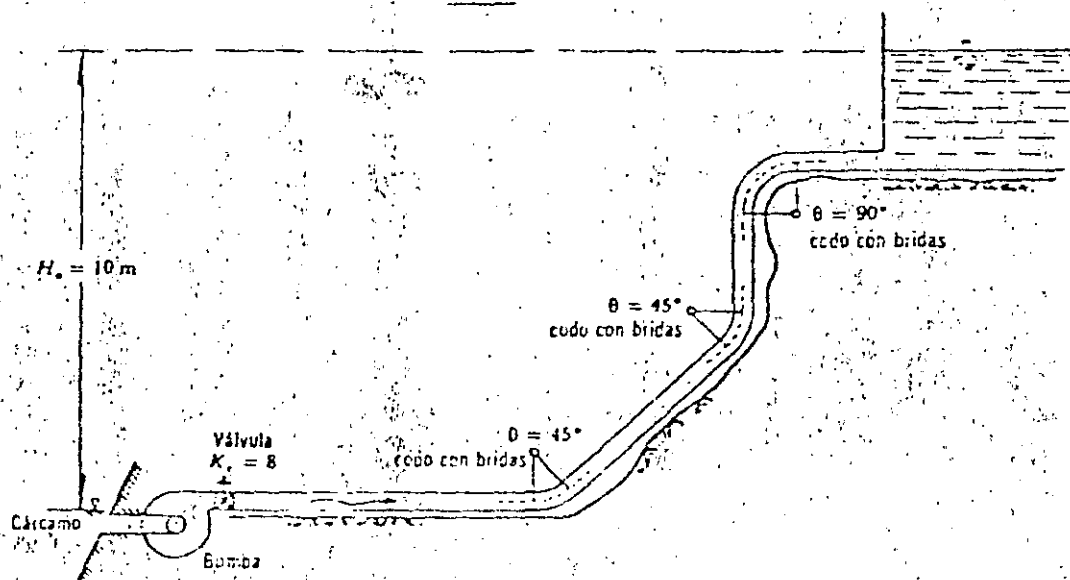
y la carga de bombeo para  $Q = 6/60 = 0.1 \text{ m}^3/\text{seg}$ , la siguiente:

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

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

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

$$4.06 = \frac{V^2}{2g} (1 + fL/D + K_v + K_c) \quad (a)$$



Igual que en el problema anterior, se resuelve por iteraciones. Después de efectuar varios ciclos, se propone  $D = 0.254$  m cuya área, velocidad y carga de velocidad son:

$$A = \frac{\pi}{4} (0.254)^2 = 0.05065 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.1}{0.05065} = 1.974 \text{ m/s}$$

$$\frac{V^2}{2g} = 0.199 \text{ m}$$

El número de Reynolds para  $\nu = 0.0131 \text{ cm}^2/\text{s}$  es:

$$R_e = \frac{1.974 \times 0.254 \times 10^6}{1.31} = 3.827 \times 10^5$$

y para  $\epsilon/D = 0.076/25 = 0.003$  del diagrama de Moody,  $f = 0.026$ , se obtiene: Fig. 2.6

$$f \frac{L}{D} = \frac{0.026 \times 100}{0.254} = 10.24$$

De la Fig. 2.13, para codos a  $45^\circ$ ,  $C_c = 0.16$  y para  $90^\circ$   $C_c = 0.25$ . Por lo cual,  $K_c = 2 \times 0.16 + 0.25 = 0.57$ . Por tanto, de la Ec. 2.27 o de la Ec. (a) nos da:

$$V = \sqrt{\frac{19.6 \times 4.06}{1 + 10.24 + 0.57 + 8}} = 2 \text{ m/s}$$

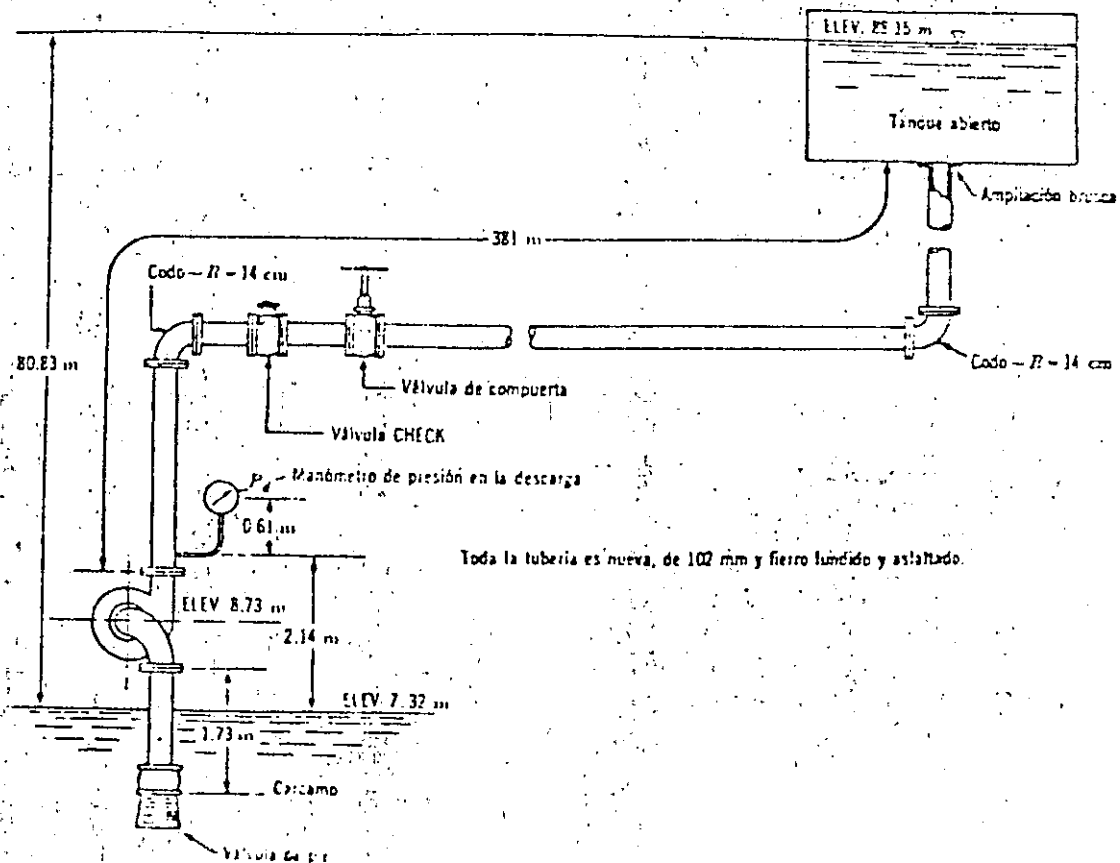
siendo el gasto:

$$Q = 2 \times 0.05065 = 0.102 \text{ m}^3/\text{s}$$

entonces, el diámetro de 254 mm es el adecuado.

**Ejemplo 2.3.** Una bomba extrae agua ( $\nu = 0.0112 \text{ cm}^2/\text{seg}$ ) desde un cárcamo y la entrega, a un tanque elevado, por una tubería —de 381 m de longitud y 102 mm de diámetro— de hierro fundido y asfaltado (Fig. 2.33). 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,  $h_b$  y la lectura en el manómetro del lado de la descarga  $p_d$ , cuando el gasto sea de 757 lt/min. Calcular la potencia en CV, de la bomba, si ésta tiene una eficiencia de 80 %.

**Solución.** Tubería de succión: Para  $D = 102 \text{ mm}$ , de la Fig. 2.6  $\epsilon/D = 0.0012$ , para hierro fundido y asfaltado. La velocidad y el número de Reynolds en el tubo es:





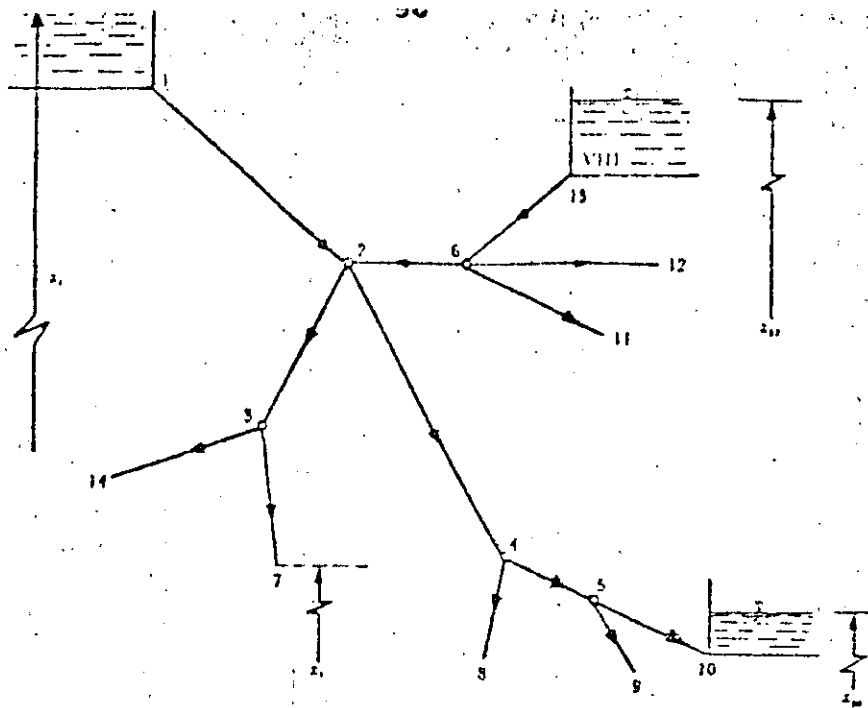


Figura 2.35. Ejemplo de red abierta.

factor de fricción en todos los tubos es  $f = 0.014$  y los tanques A y B abastecen a C y D.

Solución. La carga producida por la bomba es

$$P = \frac{\gamma Q H_B}{76 \eta}$$

$$H_B = \frac{76 \eta P}{\gamma Q} = \frac{76 \times 0.73 \times 6}{1000 \times 0.011} = 30.3 \text{ m}$$

De la ecuación de continuidad en los nudos, los gastos son:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 = 0.055 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_1 = Q_3 - Q_2 = 0.044 \text{ m}^3/\text{s}$$

Las velocidades y cargas de velocidad, en los tubos, son las que siguen:

$$V_1 = \frac{0.044}{0.7854 D_1^2} = \frac{0.056}{D_1^2}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{(0.056)^2}{19.6 D_1^4} = \frac{0.000161}{D_1^4}$$

$$V_2 = \frac{0.011}{0.7854 \times 0.01} = 1.4 \text{ m/s}$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = 0.1 \text{ m}$$

$$V_3 = \frac{0.055}{0.7854 D_3^2} = \frac{0.07}{D_3^2} \text{ m/s}$$

$$\frac{V_3^2}{2g} = \frac{0.00025}{D_3^4}$$

$$V_4 = \frac{0.030}{0.7854 D_4^2} = \frac{0.0382}{D_4^2}$$

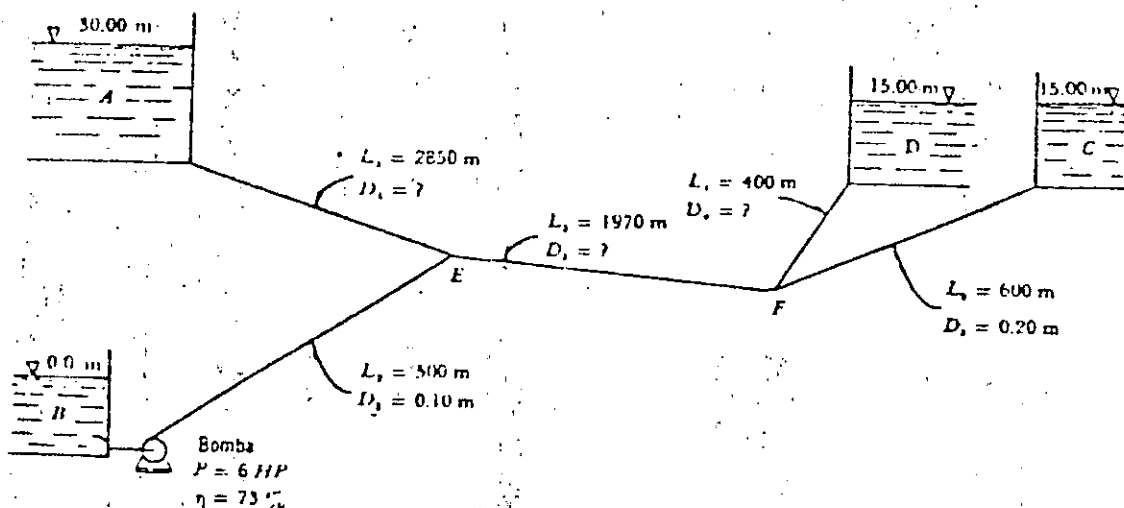


Figura 2.36. Red abierta del ejemplo 2.35.

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{0.000074}{D_1^5}$$

$$V_1 = \frac{0.025}{0.7854 \times 0.04} = 0.796 \text{ m/s}$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = 0.0323 \text{ m}$$

La ecuación de la energía entre F y C, es como sigue:

$$E_F = 15.00 + \left( 0.014 \frac{600}{0.20} + 1 \right) \times 0.0323 = 16.389 \text{ m}$$

La ecuación de energía entre F y D, es:

$$E_F = 16.389 = 15.00 + \left( 0.014 \frac{400}{D_1^5} + 1 \right) \times \frac{0.000074}{D_1^5}$$

$$1.389 = \frac{0.000414}{D_1^5} + \frac{0.000074}{D_1^5}$$

Esta ecuación se satisface para  $D_1 = 0.20 \text{ m}$ .

La ecuación de energía entre B y E, como se indica:

$$30.3 + 0.1 = E_B + 0.014 \frac{500}{0.10} 0.1$$

$$E_B = 30.4 - 7.0 = 23.4 \text{ m}$$

La ecuación de energía entre A y E, es:

$$30.00 = 23.4 + 0.014 \frac{2850}{D_1^5} \frac{0.000161}{D_1^5}$$

$$D_1 = \sqrt[5]{\frac{0.00642}{6.6}} = \sqrt[5]{0.000973} = 0.25 \text{ m}$$

La ecuación de energía entre E y F, será:

$$23.4 = 16.389 + 0.014 \frac{1970}{D_2^5} \frac{0.00025}{D_2^5}$$

$$D_2 = \sqrt[5]{\frac{0.0069}{7.011}} = \sqrt[5]{0.000953} = 0.25 \text{ m}$$

### 2.9.4. Fuerza producida por un cambio de dirección

El cambio en la cantidad de movimiento, de un líquido que se mueve dentro de un tubo, induce fuerzas sobre el mismo. En el caso del tramo de tubería mostrado en la Fig. 2.37, el líquido llega con velocidad  $V_1$  a través del área  $A_1$  y sale con velocidad  $V_2$  a través del área  $A_2$ , después de cambiar de dirección según el ángulo  $\theta$ . Se desea determinar la fuerza  $F$  impuesta por el tubo al líquido, para modificar las características del movimiento; así como  $F_x$  y  $F_y$ , sus componentes en las direcciones  $x$  y  $y$  indicadas.

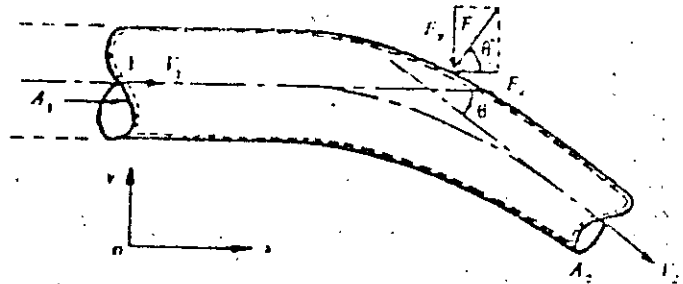


Figura 2.37. Fuerzas en un cambio de dirección y de sección.

Se pueden aplicar las ecuaciones (4.33a y b) para determinar la magnitud de la fuerza  $F$ . Considerando despreciable el peso propio del volumen de control, las fuerzas de superficie que obran sobre él son los empujes totales en las secciones (1) y (2), además de la fuerza  $F$  repartida sobre la superficie lateral. Así, para la dirección  $x$ , se tiene que:

$$-F_x + p_1 A_1 - p_2 A_2 \cos \theta = \rho Q (V_2 \cos \theta - V_1) \quad (a)$$

y para la dirección  $y$ , será:

$$-F_y + p_2 A_2 \sin \theta = \rho Q (-V_2 \sin \theta + 0) \quad (b)$$

Entonces, la resultante  $F$  es:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \left\{ \rho^2 Q^2 (V_1^2 + V_2^2 - 2 V_1 V_2 \cos \theta) + p_1^2 A_1^2 + p_2^2 A_2^2 - 2 p_1 p_2 A_1 A_2 \cos \theta + 2 \rho Q [p_1 V_1 A_1 + p_2 V_2 A_2 - (p_2 V_1 A_2 + p_1 V_2 A_1) \cos \theta] \right\}^{1/2} \quad (c)$$

Pero, de la ecuación de continuidad, resulta:

$$V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1$$

que al sustituirla en la Ec. (c) se obtiene

$$F = \left\{ \rho^2 Q^2 V_1^2 \left( 1 - 2 \frac{A_1}{A_2} \cos \theta + \frac{A_1^2}{A_2^2} \right) + 2 \rho Q^2 \left[ p_1 + p_2 - \left( p_1 \frac{A_1}{A_2} + p_2 \frac{A_2}{A_1} \right) \cos \theta \right] + p_1^2 A_1^2 \left[ 1 + \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^2 \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 - 2 \left( \frac{p_2}{p_1} \right) \left( \frac{A_2}{A_1} \right) \cos \theta \right] \right\}^{1/2} \quad (d)$$

Asimismo, se puede determinar la dirección de  $F$  en términos de  $F_x$  y  $F_y$ .

Si el tubo es de sección constante, entonces  $A_1 = A_2$  y la Ec. (d) se reduce a:

$$F = \left\{ 2 \rho Q^2 (1 - \cos \theta) (\rho V_1^2 + p_1 + p_2) + p_1^2 A_1^2 \left[ 1 + \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^2 - 2 \frac{p_2}{p_1} \cos \theta \right] \right\}^{1/2} \quad (e)$$

y si, además,  $\theta = 90^\circ$ , la fuerza para un tubo de área constante es

$$F = \left\{ 2 \rho Q^2 (\rho V_1^2 + p_1 + p_2) + p_1^2 A_1^2 \left[ 1 + \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (f)$$

Cuando existe contracción en el tubo ( $A_1 \neq A_2$ ) pero éste es de eje recto ( $\theta = 0$ ), la Ec. (d) se reduce a la forma:

$$F = \left\{ \rho^2 Q^2 V_1^2 \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 + 2 \rho Q^2 \left[ p_1 + p_2 - \left( p_1 \frac{A_1}{A_2} + p_2 \frac{A_2}{A_1} \right) \right] + p_1^2 A_1^2 \left( 1 - \frac{p_2 A_2}{p_1 A_1} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (g)$$

La fuerza que el líquido impone al tubo es igual y de sentido contrario a  $F$ , por lo cual es de mucha importancia en el análisis estructural de los apoyos de un conducto a presión.

Por ejemplo, el tramo de tubería de la Fig. 2.37 está contenida en un plano vertical, de diámetros  $D_1 = 1.83$  m,  $D_2 = 1.22$  m; el gasto  $Q = 8.5$  m<sup>3</sup>/seg; el ángulo  $\theta = 120^\circ$ ; y la presión  $p_1 = 2.72$  kg/cm<sup>2</sup>. La pérdida de carga en el codo es  $0.5 V_2^2 / 2g$  y el desnivel entre las secciones 1 y 2 es de 3 m. Determinar la fuerza total impuesta por el líquido a la tubería, considerando despreciable el peso.

Las velocidades en las secciones 1 y 2 son:

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{8.5}{\frac{\pi}{4} (1.83)^2} = \frac{8.5}{2.63} = 3.232 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{8.5}{\frac{\pi}{4} (1.22)^2} = \frac{8.5}{1.17} = 7.272 \text{ m/s}$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli, entre las secciones 1 y 2, resulta que

$$3 + \frac{2.72 \times 10^4}{1000} + \frac{(3.23)^2}{19.6} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{(7.27)^2}{19.6} + 0.5 \frac{(7.27)^2}{19.6}$$

$$3 + 27.2 + 0.533 = \frac{p_2}{\gamma} + 2.702 + 1.356$$

$$\frac{p_2}{\gamma} = 26.68 \text{ m}$$

$$p_2 = 2.668 \times 10^4 \text{ kg/m}^2 = 2.668 \text{ kg/cm}^2$$

De las Ecs. (a) y (b), para  $\cos 120^\circ = -$   
 $= -0.5$  y  $\sin 120^\circ = 0.867$ , se tiene:

$$F_x = p_1 A_1 - p_2 A_2 \cos \theta - \rho Q (V_2 \cos \theta - V_1)$$

$$F_x = 2.72 \times 10^4 \times 2.63 + 2.668 \times 10^4 \times \\ \times 1.17 \times 0.5 + \frac{1000}{9.8} \times 8.5 \times \\ \times (7.277 \times 0.5 + 3.23)$$

$$F_x = 93\,077 \text{ kg}$$

$$F_y = p_2 A_2 \sin \theta + \rho Q V_2 \sin \theta = \\ = 2.668 (10^4) (1.17) (0.867) + \\ + \frac{1000}{9.8} (8.5) (7.27) (0.867)$$

$$F_y = 33\,376 \text{ kg}$$

La fuerza total, que también puede ser calculada directamente de la Ec. (d), vale

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \\ = \sqrt{(93\,077)^2 + (33\,376)^2} = 98\,870 \text{ kg}$$

El ángulo de inclinación de  $F$ , respecto de la fuerza  $F_x$ , es:

$$\theta' = \text{áng tan} \frac{F_y}{F_x} = \text{áng tan} \frac{33\,376}{93\,077} = 19^\circ 16'$$

Su punto de aplicación se encuentra en el cruce de las líneas que representan el eje de la tubería, antes y después de las secciones 1 y 2.

## 2.10 Características generales del flujo en canales

El flujo de un fluido en un canal se caracteriza por la exposición de una superficie libre a la presión atmosférica. Por esta razón, el fluido respectivo es siempre un líquido, casi siempre agua.

Los problemas conectados con el flujo en canales representan una alta proporción del trabajo del ingeniero hidráulico y la aparente simplicidad resultante de la superficie libre es <sup>por</sup> irreal el incremento en la complejidad de dicho flujo en comparación con el de un conducto o presión.

De acuerdo con su origen, un canal puede ser natural o artificial. Dentro de los primeros se incluyen todos los cursos de agua que existen en forma natural sobre la tierra, tales como arroyos, ríos, etc. Dentro de los canales artificiales se incluyen todos los construídos por el hombre, tales como canales de navegación, canales de fuerza, canales de riego, obras de excedencias, etc.

Si el canal se construye con una sección transversal y pendiente de plantilla constante, se denomina canal prismático. De no satisfacer estas condiciones, el canal es no prismático como es el caso de los canales naturales.

La clasificación del flujo en un canal sigue las formas generales indicadas con la adición del espacio como un criterio más, teniendo principalmente interés los tipos de flujo, que se indican a continuación, sobre la base de que en todos los casos el flujo es unidimensional.

- a) Flujo permanente y no permanente. Esta clasificación obedece a la utilización del tiempo como un criterio. El flujo es permanente si el tirante permanece constante en cualquier instante o en un lapso especificado. Lo contrario acontece si el flujo es no permanente.
- b) Flujo uniforme y variado. Esta clasificación obedece a la utilización del espacio como un criterio.

El flujo uniforme se presenta cuando la velocidad media per-

manece constante en cualquier sección del canal. Con una superficie libre, esto implica que la sección transversal y el tirante permanecen también constantes ( fig. 2.32). Como consecuencia de la definición, en flujo uniforme la pendiente  $S_f$  de la línea de energía de fricción, la pendiente  $S_a$  de la superficie libre del agua y la pendiente geométrica  $S_o$  del canal son iguales:  $S_f = S_a = S_o = S$ . El hecho de que la velocidad media permanezca constante, se refiere estrictamente al hecho de que el flujo posea una velocidad constante en cada punto de la sección transversal a lo largo del canal; es decir, que la distribución de velocidades de cada sección no se altera. El tirante correspondiente al flujo uniforme se conoce como tirante normal.

Las características de un flujo uniforme se pueden satisfacer únicamente si el canal es prismático, esto es, el flujo uniforme solo puede ocurrir en canales artificiales, pero no en los naturales.

Teóricamente es posible que un flujo uniforme pueda ser permanente o no permanente. En el flujo uniforme permanente el tirante no cambia con el tiempo y es el tipo fundamental

del flujo tratado en la hidráulica de canales. El flujo uniforme no permanente requeriría que la superficie libre fluctuara de un instante a otro pero siempre permaneciendo paralela a la plantilla del canal, lo cual obviamente es difícil que ocurra en la práctica. Por lo mismo, el flujo uniforme es casi siempre permanente.

El flujo es variado si la velocidad media cambia a lo largo del canal y, por lo mismo, posee características opuestas a las del flujo uniforme, tal como se muestra en la fig 2.39. Los cambios de velocidad se pueden producir por una variación en la sección del canal, por un cambio en la pendiente o por una estructura hidráulica tal como un vertedor o compuerta interpuesta en la línea de flujo. Debido a estos efectos el flujo uniforme es un estado ideal que difícilmente se logra. Sin embargo, en la mayoría de los casos (y sobre todo en canales rectos y largos de sección transversal y pendiente de plantilla constante), se alcanza un flujo casi uniforme de tal manera que la suposición es razonable especialmente porque simplifica el análisis.

El flujo variado sí puede ser permanente y no permanente y



toda vez que no existe flujo no permanente uniforme, el no permanente tiene que ser necesariamente variado.

El flujo variado se puede a su vez clasificar en gradual, rápida y espacialmente variado. El flujo gradualmente variado es aquel en que el tirante cambia en forma gradual a lo largo del canal. En el flujo rápidamente variado acontece lo contrario, como es el caso del salto hidráulico. En el flujo espacialmente variado cambian además las características hidráulicas a lo largo del canal o de un tramo del mismo.

- c) Flujo laminar y turbulento. El comportamiento del flujo en un canal está gobernado principalmente por los efectos de las fuerzas viscosas y de gravedad con relación a las fuerzas de inercia internas del flujo.

Con relación al efecto de la viscosidad, el flujo puede ser laminar, de transición o turbulento en forma semejante al flujo en conductos forzados y la importancia de la fuerza viscosa se mide a través del número de Reynolds definido en este caso como

$$R_e = \frac{V R_h}{\nu}$$

donde

$R_h$  radio hidráulico de la sección, en m

$V$  velocidad media en la misma, en m/s

$\nu$  viscosidad cinemática del agua, en  $m^2/s$

En los canales se han comprobado resultados semejantes a los de los tubos por lo que respecta a este criterio de clasificación.

Para propósitos prácticos, en el caso de un canal se tiene :

Flujo laminar para  $R_e < 500$  a 600

Flujo de transición para  $500 < R_e < 2000$

Flujo turbulento para  $R_e > 2000$

Las discrepancias de estos valores de  $R_e$  respecto de los tubos es aparente, dado que para estos últimos  $R_e$  se definió usando el diámetro  $D$  en lugar del radio hidráulico y en un tubo se tiene que  $D = 4 R_h$ .

En la mayoría de los canales es flujo laminar ocurre muy raramente, debido a las dimensiones relativamente grandes de los mismos y a la baja viscosidad cinemática del agua. La única ocurrencia de este flujo se presenta cuando escurre el agua en láminas muy delgadas sobre el terreno, como es el caso del flujo de agua de lluvia sobre cubiertas y superficies pavimentadas, donde el tirante es pequeño.

En el caso de canales naturales, la rugosidad de la frontera es normalmente tan grande que ni siquiera ocurre el flujo de transición.

Por lo que se refiere a la preponderancia de las fuerzas de gravedad, existe también otra clasificación de los flujos que será presentada mas adelante.

El término sección normal de un canal se refiere a la sección considerada normal a la plantilla. Por el contrario, la sección vertical de un canal se toma sobre el plano vertical que pasa por el punto más bajo de la sección. Si el canal es prácticamente horizontal, ambos conceptos coinciden.

La sección de un canal natural es generalmente de forma muy irregular y variando constantemente de un lugar a otro. Los canales artificiales usualmente se diseñan con formas geométricas regulares siendo las más comunes la trapezoidal, la rectangular, la triangular y la circular. La parabólica se usa como una aproximación de secciones en canales naturales. En túneles que funcionan a superficie libre es frecuente encontrar la forma de herradura.

La sección de una forma determinada de sección depende del tipo de canal por construir, así la trapezoidal es muy común en canales no revestidos, la rectangular en canales revestidos con materiales estables: concreto, mampostería, madera, etc. la triangular en canales pequeños y en las cunetas de carreteras y la circular en alcantarillas, colectores y túneles. Existen formas compuestas de las anteriores.

que encuentran utilidad en grandes alcantarillas y colectores y que permiten el paso del hombre a su interior.

Los elementos geométricos más importantes de una sección son los siguientes :

Tirante. Se puede interpretar de dos maneras distintas de acuerdo con el tipo de sección que se considera. Para la sección normal de un canal, es el tirante normal a la dirección del flujo o sea la altura de la sección. Para la sección vertical, el tirante  $y$  es la distancia vertical del punto más bajo de la sección hasta la superficie libre. (fig 240). Entre ambas, existe la relación

$$d = y \cos \theta$$

donde  $\theta$  es el ángulo de la plantilla del canal respecto de la horizontal.

El perímetro mojado  $P$  es el perímetro de la sección (normal o vertical) en contacto con una frontera rígida, esto es, no incluye la superficie libre.

El radio hidráulico  $R_h$  de una sección (normal o vertical) es la relación del área hidráulica al perímetro mojado.

$$R_h = \frac{A}{P}$$

El tirante hidráulico es la relación del área hidráulica al ancho de la superficie libre en cualquiera de las formas siguientes :

$$D = \frac{A_n}{B_n} \quad \text{para la sección normal}$$

$$Y = \frac{A_v}{B_v} \quad \text{para la sección vertical}$$

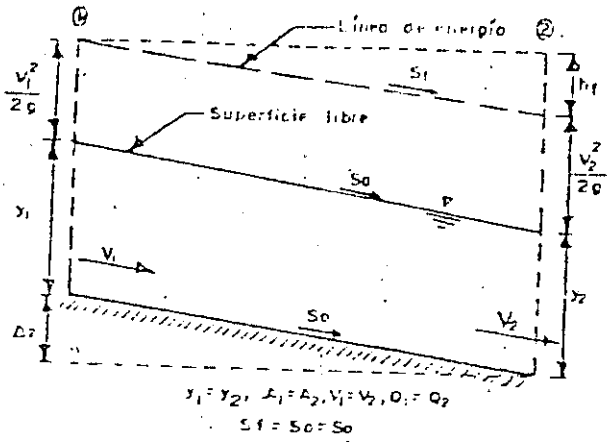


Fig.2.38 Flujo Uniforme

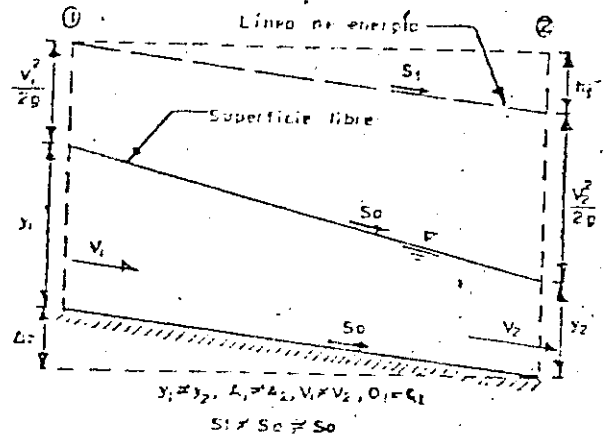


Fig.2.39 Flujo variado

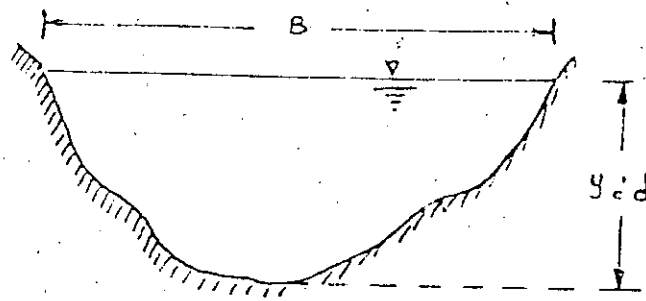


Fig. 2.40 Sección de un canal

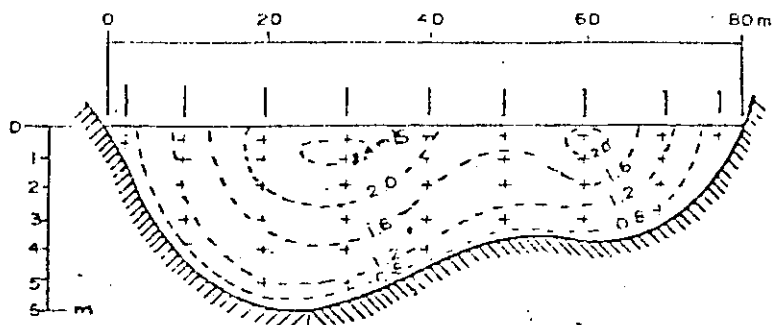


Fig. 2.41 Aspecto de la distribución de velocidades en la sección transversal de un río.

La presencia de la superficie libre y de curvas a lo largo de un canal, la forma de la sección, la rugosidad superficial, el gasto y la acción de corrientes secundarias en el plano de la sección transversal afectan la distribución de velocidades en la sección de un canal. La fig 2.41 ilustra el aspecto general de la distribución de velocidades en la sección transversal típica de un río natural. Dicha distribución se presenta en base a las curvas que unen puntos de igual velocidad. Estas curvas normalmente se interpolan a partir de los datos de mediciones con molinetes, obtenidas en diferentes puntos de la sección transversal.

En la fig. 2.41 se observa que la velocidad mínima ocurre en la proximidad de la pared y que existe un incremento de la velocidad hacia la superficie libre.

El punto de velocidad máxima queda ligeramente abajo de la superficie libre, lo cual se atribuye al movimiento circulatorio secundario inducido por la proximidad de los lados. Por ello podría considerarse que en canales anchos y de poco tirante, la velocidad máxima se localiza al nivel de la superficie libre.

En la fig 2.41 se observa que la zona donde ocurre la máxima velocidad se localiza prácticamente sobre la vertical que tiene mayor profundidad y a una distancia de 0.05 a 0.25 del tirante desde la superficie libre hacia abajo.

Como resultado de la distribución no uniforme de las velocidades de un canal, se ha determinado experimentalmente que el coeficiente  $\alpha$  varía entre 1.03 y 1.36.

En la misma forma, el coeficiente  $\beta$  varía aproximadamente entre 1.01 y 1.12.

Considérese un canal de eje recto de ancho unitario y ángulo  $\theta$  de inclinación respecto de la horizontal (fig 2.42). El peso del elemento sombreado de espesor  $ds$  es igual a :  $\gamma' y' \cos \theta ds$ , y la componente normal a la plantilla es :  $\gamma' y' \cos^2 \theta ds$ .

Por lo tanto, la presión en el punto D es

$$p' = \frac{\gamma' y' \cos^2 \theta ds}{ds} = \gamma' y' \cos^2 \theta$$

y la correspondiente carga de presión se puede expresar en cualquiera de las dos formas siguientes

$$h' = y' \cos^2 \theta$$

$$h' = d' \cos \theta$$

donde  $d' = y' \cos \theta$  es la distancia desde la superficie libre al punto, medida en dirección normal a la plantilla.

De esta manera, la carga de presión en el punto B sobre la plantilla del canal se obtendrá a partir de cualquiera de las dos ecuaciones siguientes :

$$\left(\frac{p}{\gamma}\right)_B = y \cos^2 \theta$$

$$\left(\frac{p}{\gamma}\right)_B = d \cos \theta$$

Se considera que un canal o un río tienen una gran pendiente cuando  $\sin \theta = 0.01$ ,

lo cual equivale a que  $\cos^2 \theta = 0.9999$ . Por tanto, en la mayoría de los casos

se podrá considerar a la pendiente suficientemente pequeña para que  $\cos^2 \theta \approx 1$

y que la distancia  $y$  pueda considerarse igual al tirante  $d$  de la sección normal a

la plantilla; esto equivaldrá a una distribución hidrostática de presiones como en el

caso de un depósito con agua en reposo. Sin embargo, habrá casos excepcionales,

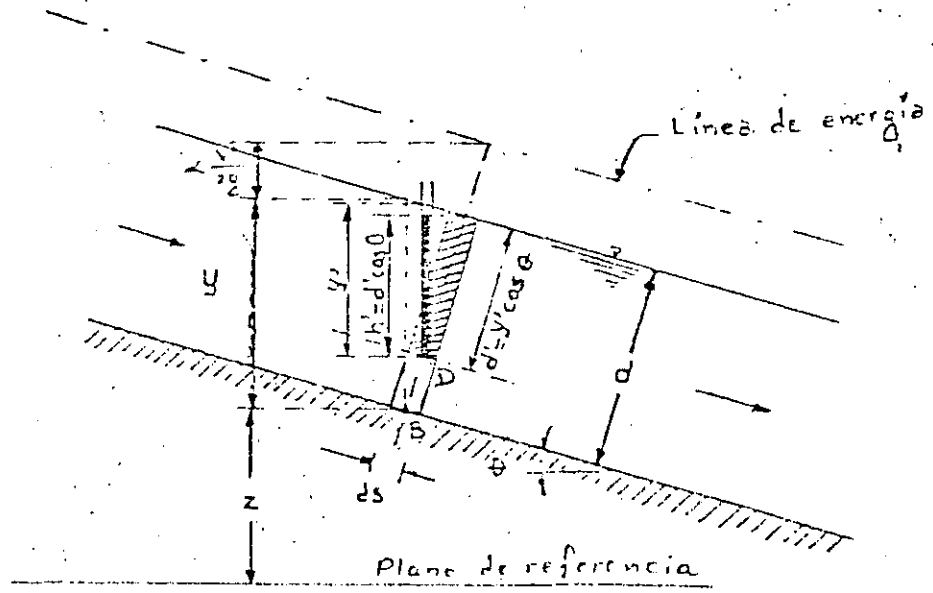


Fig. 2:42 Distribución de presiones para flujo paralelo en canales de gran pendiente.



tales como los canales de descarga de vertedores, donde  $\cos^2 \theta \neq 1$  y una distribución de presiones distinta de la hidrostática.

Para el caso de una distribución hidrostática de presiones en la sección de un canal de pendiente pequeña y flujo paralelo, la energía total en la sección se podrá calcular de la ecuación siguiente :

$$H = z + y + \frac{V^2}{2g}$$

y en el caso general de un canal de gran pendiente, la energía total en la sección se podrá determinar con cualquiera de las dos ecuaciones siguientes :

$$H = z + y \cos^2 \theta + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (2.29 a)$$

$$H = z + d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (2.29 b)$$

## 2.11 Flujo Uniforme

El flujo uniforme raramente ocurre en la naturaleza debido a que los canales naturales son usualmente no prismáticos. Aún en canales prismáticos, la ocurrencia de flujo uniforme es relativamente poco frecuente debido a la existencia de controles tales como vertedores, compuertas deslizantes, etc., los cuales dictan una relación tirante gasto diferente de la apropiada aun flujo uniforme.

Sin embargo, el flujo uniforme es una condición de importancia básica que debe ser considerado en todos los problemas de diseño de canales. Por ejemplo, si se propone instalar ciertos controles en un canal de riego, es necesario comparar su

relación gasto-tirante con la de flujo uniforme y el carácter conjunto del flujo en el canal dependerá de la forma que resulte de dicha compración. En un canal con cierta pendiente y rugosidad  $\gamma$  que debe conducir cierto gasto, la condición de flujo uniforme es el criterio que gobierna el área de la sección transversal mínima requerida, o aún cuando exista otro criterio que determine las dimensiones de la sección, estas no podrán ser menores que dicha sección mínima.

Las fuerzas que actúan sobre el agua fluyendo en un canal, en adición a la tensión superficial y de gravedad asociadas particularmente con la superficie libre, son: las fuerzas de resistencia desarrolladas en las fronteras sólidas y la superficie libre, las fuerzas de inercia debidas a la naturaleza casi siempre turbulenta del flujo, la presión normal a las paredes y plantilla (particularmente en regiones donde cambia la geometría del canal) y ocasionalmente fuerzas debidas al movimiento del sedimento. La interacción mutua de estas fuerzas dá lugar a la complejidad del flujo a superficie libre y únicamente a base de simplificaciones y generalizaciones es posible un entendimiento de su mecánica.

Para que ocurra un flujo uniforme es necesario que exista un balance entre la componente del peso en el dirección del flujo y la fuerza de resistencia. Para alcanzar o alejarse de este equilibrio es necesaria la presencia de flujos variados, antes y/o después del uniforme. El flujo uniforme en un canal puede ser laminar o turbulento, pero las dimensiones relativamente grandes de la mayoría de los canales combina-

das con la baja viscosidad del agua, hacen que el flujo laminar sea poco común en la práctica.

Aunque la velocidad media en un canal sea suficientemente baja para permitir el flujo laminar, factores secundarios (como los disturbios del viento) usualmente producen velocidades locales o corrientes que exceden grandemente la velocidad límite laminar para los tirantes de poca magnitud. La única ocurrencia genuina de flujo laminar a superficie libre es la que se presenta en el drenaje del agua de lluvia sobre cubiertas y pavimentos de carretera, debido a que el tirante es pequeño.

En el caso de ríos, la rugosidad de la frontera es normalmente tan grande que aún el flujo turbulento hidráulicamente liso observado en tubos, raramente ocurre.

La fórmula de fricción desarrollada por Chezy en 1775 fué obtenida originalmente para su aplicación en canales y su validez se restringe al flujo uniforme, y es:

$$V = C \sqrt{R_h S} \quad (2.30)$$

C es un coeficiente de fricción que es función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa del canal.

(2.30)

La ecuación también se escribe como sigue:

$$S = \frac{8q}{C^2} = \frac{1}{4 R_h} \frac{V^2}{2g} = \frac{f}{4 R_h} \frac{V^2}{2g}$$

donde

$$f = \frac{8g}{C^2}$$

La ecuación anterior es la fórmula de Darcy-Weisbach aplicable a canales y es idéntica a la de tubos con la única solvedad de que se ha escrito en términos del radio hidráulico y no del diámetro, como es común hacerlo.

La mayor parte de los problemas que se presentan en la práctica son con flujo turbulento y por esta razón se han desarrollado varias fórmulas para calcular las pérdidas por fricción en canales con ese flujo.

Todos los esfuerzos han sido encaminados a valuar el coeficiente C de Chezy, de acuerdo con distintas fórmulas. Las más conocidas se presentan en la tabla 2.19. De las fórmulas presentadas en la tabla 2.19, la de Manning-Strickler es quizá la más conocida en la mayoría de los países occidentales.

Si se toma

$$C = \frac{R_h^{1/6}}{n}$$

donde n es el coeficiente de rugosidad, de la fórmula de Chezy y se tiene :

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (2.31)$$

La selección de un valor de n significa realmente estimar la resistencia al flujo en un canal dado. No es raro que el ingeniero piensa que un canal tiene un único valor de n para cada rugosidad. En realidad el valor de n es muy variable y depende de un gran número de factores. Su conocimiento básico es de gran utilidad para las diferentes condiciones de diseño. Los factores que ejercen mayor influencia sobre el coeficiente de rugosidad, tanto en canales naturales como arti

Tabla 2.19 Fórmulas usuales para el cálculo de coeficiente de fricción C de Chezy. En estas fórmulas:

$R_h$  radio hidráulico en m, S pendiente hidráulica.

Autor	Fórmula	Observaciones
Ganguillet y Kutter	$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{S}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{S}) \frac{n}{\sqrt{R_h}}}$	Se aconseja para canales naturales, para los cuales usualmente conduce a resultados satisfactorios. Es compleja y tiene la desventaja de que ocurren cambios grandes en C para cambios pequeños en n, donde n es un coeficiente que depende de la rugosidad del canal según tabla 2.3
Kutter	$C = \frac{100 \sqrt{R_h}}{m + \sqrt{R_h}}$	Es una simplificación de la Ganguillet y Kutter y por tanto más sencilla. m es un coeficiente de rugosidad según la tabla 2.3.
Bazin	$C = \frac{87}{1 + \frac{C}{\sqrt{R_h}}}$	Está basada en una buena cantidad de experiencias y es relativamente sencilla. B es un coeficiente de rugosidad según la tabla 2.3.
Kozeny	$C = 20 \log Y + N_c$	Es análoga a la de los tubos y fue obtenida con base en los resultados experimentales de von Misses y Bazin. Y es el tirante medio en m y $N_c$ un coeficiente de rugosidad según la tabla 2.3.
Martínez	$C = 17.7 \log \frac{R_h}{d} + 13.6$	Fue obtenida de muchas mediciones en ríos de la Unión Soviética. d es el diámetro del grano del material en el fondo del río en m y vale para $0.15 \leq R_h \leq 2.25$ m, $0.00004 \leq S \leq 0.0039$ v $0.004 \leq d \leq 0.25$ m (ref. 12)
Manning-Strickler	$C = \frac{R_h^{1/6}}{n}$	Fue obtenida a partir de siete fórmulas diferentes basadas en ensayos de Bazin y posteriormente verificada por observaciones. Es una de las más utilizadas por su sencillez. n es un coeficiente de rugosidad según la tabla 2.4.
Pavlovski	$C = \frac{R_h^z}{n}$	Considera que el exponente en la fórmula de Manning no es una constante sino que varía con la forma del canal y la rugosidad como sigue $Z = 1.5\sqrt{n}$ para $R_h < 1$ m y $Z = 1.3\sqrt{n}$ para $R_h > 1$ m. El valor de n es el mismo que el de Manning-Strickler.

Tabla 2.20 Factores de rugosidad para las fórmulas de la tabla 2.2

I Secciones cerradas parcialmente llenas	Ganguillet y Kutter	Kutter	Bazin	Kozeny
	n	m	B	N <sub>c</sub>
Fierro fundido nuevo	0.012	0.20	0.06	
Fierro fundido usado		0.25	0.12	
Fierro colado	0.012	0.20		
Barro vitrificado nuevo		0.25		
Barro vitrificado usado	0.017	0.30 - 0.35		
Tubos de alcantarillado	0.017 - 0.020	0.30 - 0.35		
Túneles de concreto pulido	0.011 - 0.013	0.20 - 0.25	0.22	
II Secciones abiertas				
Madera cepillada	0.010	0.15 - 0.20	0.06	
Madera de acabado rugoso		0.30 - 0.35		
Mampostería de ladrillo bien acabada	0.013	0.25	0.16	70 - 76
Cemento pulido		0.20 - 0.25	0.10 - 0.16	84 - 90
Concreto pulido	0.012	0.20	0.11 - 0.22	
Concreto rugoso	0.017	0.65	0.45	58 - 62
Piedra brasa bien acabada	0.017	0.65		60 - 70
En tierra, arroyos y ríos	0.025	1.75	1.4 - 1.6	
En tierra con material grueso y plantas	0.035	2.0 - 2.5	1.75	
Con cantos rodados	0.04 - 0.05	3.5 - 5.0	hasta 3.5	
Con gran rugosidad de fondo y maleza tupida	hasta 0.09			
Roca comodada				36 - 50
Roca a volteo				28 - 36
Grava gruesa (10 a 15 cm)				32 - 38
Grava media (5 a 10 cm)				38 - 42
Grava fina (2 a 3 cm)				42 - 46
Cantos rodados (15 a 20 cm)				28 - 32

ficiales, se indican a continuación

- a) Rugosidad superficial. Queda representada por el tamaño y forma de los granos del material sobre el perímetro mojado, y a menudo se considera el único factor en la selección de  $n$ . Una misma sección puede contener diferentes rugosidades, generalmente con gravas gruesas en el fondo y finas en las orillas.
- b) Vegetación. Se puede considerar como una rugosidad superficial que también reduce la capacidad del canal y retarda el flujo. Su acción depende del tipo, altura, densidad, distribución, etc.
- c) Irregularidad del canal. Comprende las irregularidades en el perímetro mojado y las variaciones en sección transversal tamaño y forma a lo largo del canal.
- d) Alineación del canal. Las curvas con radios grandes proporcionan valores de  $n$  relativamente bajos, mientras que las agudas con varios meandros incrementan a  $n$ . Scobey sugiere que el valor de  $n$  se aumente en 0.001 por cada  $20^\circ$  de curvatura.
- e) Sedimentación y erosión. Generalmente, la sedimentación puede cambiar de un canal muy irregular a uno relativamente

uniforme y reducir  $n$ , mientras la erosión produce lo contrario, esto es, modifica la irregularidad del canal y la rugosidad superficial.

- f) Obstrucciones. La presencia de pilas de puente, rejillas, etc., tienden a incrementar aún en una magnitud que depende de su tamaño, forma, número y distribución.
- g) Tirante y gasto. En la mayoría de los ríos  $n$  disminuye al aumentar el tirante y el gasto. Cuando el tirante disminuye, emergen las irregularidades del fondo del canal y tienen un efecto más pronunciado. Los cambios de tirante están íntimamente relacionados con el gasto.

En la tabla 2.21 se presenta una lista de valores de  $n$  para canales de varias clases y que ha sido propuesta por Chow. En ella se muestran valores mínimo, normal y máximo, de mucha utilidad como guía para una selección rápida de  $n$ .

Como en las tuberías, en el cálculo de canales con flujo uniforme se pueden presentar problemas de revisión o de diseño. Los problemas de revisión consisten en calcular el gasto a través de una sección de geometría, rugosidad y pendiente conocidas.

Los problemas de diseño consisten en calcular la geometría de la sección dada la pendiente y el gasto que circula, o bien, dada la geometría y el gasto, calcu-



Tipos y descripción del Canal	Mínimo	Normal	Máximo			
<b>A. CONDUCTOS CERRADOS DESCARGANDO PARCIALMENTE LLENOS</b>						
<b>A.1 Metales</b>						
a) Latón liso	0.009	0.010	0.013			
b) Acero						
1. Soldado	0.010	0.012	0.014			
2. Remachado	0.013	0.016	0.017			
c) Fibra laminada						
1. Puntado	0.010	0.013	0.014			
2. Normal	0.011	0.014	0.016			
d) Hierro forjado						
1. Negro	0.012	0.014	0.015			
2. Galvanizado	0.013	0.016	0.017			
e) Metal corrugado						
1. Drenaje	0.017	0.019	0.021			
2. Drenaje pluvial	0.021	0.024	0.030			
<b>A.2 No metales</b>						
a) Ladrillo	0.008	0.009	0.010			
b) Vidrio	0.009	0.010	0.013			
c) Cemento						
1. Liso	0.010	0.011	0.013			
2. Mortero	0.011	0.013	0.015			
d) Concreto						
1. Alcanarillado recto y libre de escombros	0.010	0.011	0.013			
2. Alcanarillado con curvas, conexiones y algunos escombros	0.011	0.013	0.014			
3. Acabado	0.011	0.012	0.014			
4. Drenajes rectos con ventanas de inspección, entradas, etc.	0.013	0.015	0.017			
5. No acabados, en cimbra de acero	0.012	0.013	0.014			
6. No acabados, en cimbra de madera lisa	0.012	0.014	0.016			
7. No acabados en cimbra de madera lisa	0.015	0.017	0.020			
e) Madera						
1. Dura	0.010	0.012	0.014			
2. Lamada y tratada	0.015	0.017	0.020			
f) Arcilla						
1. Tubos de barro cocido común	0.011	0.013	0.017			
2. Tubos de albañal vitrificado	0.011	0.014	0.017			
3. Tubos de albañal vitrificado con ventanas de inspección	0.013	0.015	0.017			
3. Mampostería juntada y aplastada con mortero de cemento	0.016	0.020	0.024			
4. Mampostería juntada con mortero de cemento	0.020	0.025	0.030			
5. Mampostería seca a volteo	0.020	0.030	0.035			
g) Fondo de grava con lados de:						
1. Concreto cimbrado	0.017	0.020	0.025			
2. Mampostería sobre mortero	0.020	0.023	0.026			
3. Mampostería seca a volteo	0.023	0.033	0.036			
h) Ladrillo						
1. Vitrícola	0.011	0.013	0.015			
2. Con mortero de cemento	0.012	0.015	0.018			
i) Mampostería						
1. Juntada con mortero	0.017	0.025	0.030			
2. Seca	0.023	0.032	0.035			
h) Piedra labrada	0.013	0.015	0.017			
i) Astillo						
1. Liso	0.013	0.013				
2. Rugoso	0.016	0.016				
j) Cubierta vegetal	0.030		0.500			
<b>C. CANALES EXCAVADOS O DRAGADOS EN</b>						
<b>a) Tierra, recto y uniforme</b>						
1. Limpio recientemente terminado	0.016	0.018	0.020			
2. Limpio, después de intemperado	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>b) Tierra, con curvas y en régimen lento</b>						
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030			
2. POCO y algo de hierba	0.025	0.030	0.033			
3. Hierba nueva o plantas acuáticas estables profundos	0.030	0.035	0.040			
4. Plancha de tierra y mampostería en los lados	0.028	0.030	0.035			
5. Plancha rugosa y hierba en los bordes	0.025	0.035	0.040			
6. Plancha empotrada y bordes limpios	0.030	0.040	0.050			
<b>c) Excavado o dragado en línea recta</b>						
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033			
2. Pocos arbustos en los bordes	0.025	0.030	0.040			
<b>4. Tubo vitrificado para drenes con juntas abiertas</b>				0.014	0.016	0.018
<b>p) Mampostería</b>						
1. De vitrícola				0.011	0.013	0.015
2. Acabada con mortero de cemento				0.012	0.015	0.017
<b>h) Drenajes semicirculares cubiertos de la na con ladrillo y mampostería</b>				0.012	0.013	0.016
<b>i) Drenaje con fondo liso</b>				0.016	0.019	0.020
<b>j) Acabados de cemento rugoso</b>				0.018	0.025	0.030
<b>B. CANALES RECUBIERTOS O EN RE-LLENO</b>						
<b>B.1 Metales</b>						
<b>a) Superficies de acero liso</b>						
1. No pintadas				0.011	0.012	0.014
2. Pintadas				0.012	0.013	0.017
<b>b) Corrugadas</b>				0.021	0.025	0.030
<b>B.2 No metales</b>						
<b>a) Cemento</b>						
1. Superficie lisa				0.010	0.011	0.013
2. En mortero				0.011	0.013	0.015
<b>b) Madera</b>						
1. Plana, no tratada				0.010	0.012	0.014
2. Plana, clavetada				0.011	0.012	0.015
3. Rústica				0.011	0.013	0.015
4. Tablones y tejamanil				0.012	0.015	0.018
5. Cubierta con tela				0.010	0.014	0.017
<b>c) Concreto</b>						
1. Acabado con lapa metálica				0.011	0.013	0.015
2. Acabado con lapa de madera				0.013	0.015	0.016
3. Acabado con grava en el fondo				0.015	0.017	0.020
4. Sin acabar				0.014	0.017	0.020
5. Guarnición, buena sección				0.016	0.019	0.023
6. Guarnición, sección mediana				0.016	0.022	0.025
7. Sección mala, buena sección				0.017	0.020	0.022
8. Sección mala, sección irregular				0.022	0.027	
<b>d) Plancha de concreto, acabado con lapa y taloso de:</b>						
1. Mampostería untada sobre mortero				0.015	0.017	0.020
2. Mampostería lisa sobre mortero				0.017	0.020	0.024
<b>d) Cortes en rocas</b>						
1. Lisos y uniformes				0.025	0.035	0.040
2. Asimbólicos e irregulares				0.035	0.040	0.050
<b>e) Canales elevados, lumbas y arbores sin limpiar</b>						
1. Hierba nueva tan alta como el diámetro				0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, arbores en los lados				0.040	0.050	0.080
3. Igual al anterior con máximo escarriamiento				0.045	0.070	0.110
4. Densos de arbores, altos niveles de escarriamiento				0.080	0.100	0.140
<b>D. CRUCES NATURALES</b>						
<b>D.1 Arroyos (ancho de la superficie libre del agua en avenidas &lt; 30 m)</b>						
<b>a) Corrientes en planicie</b>						
1. Limpio, rectos, sin deltas ni remansos profundos				0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior pero más rocosos y con hierba				0.030	0.035	0.040
3. Limpio, curvo, algunas irregularidades del fondo				0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, algo de hierba y roca				0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior pero menor profundidad y secciones poco eficientes				0.040	0.048	0.055
6. Igual que el 4 pero más rocoso				0.045	0.050	0.060
7. Tramos irregulares con hierba y esteros profundos				0.050	0.070	0.080
8. Tramos con mucha hierba, esteros profundos o caídas de árboles con raíces y planicies subacuáticas				0.075	0.100	0.150
<b>b) Corrientes de montañas, sin ventanilla en el cauce, taludes muy pendientes, árboles y arbustos a lo largo de las márgenes que quedan sumergidos en las avenidas</b>						
1. Fondo de grava, taludes y algunos campos rodeados				0.030	0.040	0.050
2. Fondo de lodo y grandes rocas				0.040	0.050	0.070

Continuacion tabla 2.21

D.2 Planicies de avenida			
a) Pastura sin arbustos			
1. Pasto bajo	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b) Areas cultivadas			
1. Sin cosecha	0.070	0.030	0.040
2. Cosecha en tierra labrada y paderá	0.025	0.035	0.045
3. Cosecha de campo	0.040	0.040	0.050
c) Arbustos			
1. Arbustos diseminados y mucha hierba	0.025	0.050	0.070
2. Pocos arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos arbustos y árboles, en verano	0.040	0.050	0.080
4. Mediana a densa población de arbustos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Mediana a densa población de arbustos, en verano	0.070	0.100	0.160
d) Árboles			
1. Población densa de sauces, en verano, rectos	0.110	0.150	0.200
2. Terrenos talados con troncos muertos	0.030	0.040	0.050
3. Igual al anterior pero con troncos rotos	0.050	0.050	0.080
4. Árboles de sombra y aventidas debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero las aventidas alcanzan a las ramas	0.100	0.120	0.160
D.3 Ríos (ancho de la superficie libre del agua en avenidas > 30 m). La n es menor que los arroyos de igual descripción porque los bordes ofrecen menor resistencia.			
a) Secciones regulares sin cantos redondeados ni arbustos	0.025		0.050
b) Secciones rugosas e irregulares	0.035		0.100

lan la pendiente necesaria.

Cualquiera que sea el tipo de problema, son dos las ecuaciones que permiten el diseño del canal : la ecuación de continuidad.

$$Q = A V$$

y la fórmula de Chezy para la fricción

$$V = C R_h^{1/2} S^{1/2}$$

El gasto se expresa entonces en la forma

$$Q = A V = C A R_h^{1/2} S^{1/2} = K S^{1/2}$$

donde el término

$$K = C A R_h^{1/2}$$

se conoce como "factor de conducción" de la sección del canal y es una medida de la capacidad de transporte al depender directamente del gasto.

Si se usa la fórmula de Mannig,  $C = R_h^{1/6} / n$ , y

$$K = \frac{A R_h^{2/3}}{n}$$

La expresión

$$Z_n = A R_h^{2/3} = n K$$

Se conoce como el módulo de sección para el cálculo de flujo uniforme y también se expresa como sigue :

$$A R_h^{2/3} = \frac{n Q}{\sqrt{S}}$$

El segundo término depende de  $n$ ,  $Q$  y  $S$ , pero el primero exclusivamente de la

geometría de la sección. Esto demuestra que para una combinación particular de  $n$ ,  $Q$  y  $S$  hay un tirante único  $y_0$  llamado normal, con el cual se establece el flujo uniforme, siempre que el módulo de sección sea función continua y creciente del tirante  $y$ . La condición recíproca también se cumple, es decir, dados  $y_0$ ,  $n$  y  $S$  hay un único gasto  $Q$  con el cual se establece el flujo uniforme y que se conoce como gasto normal.

Con el fin de tener una relación sin dimensiones, es conveniente dividir ambos miembros de la ecuación entre una dimensión característica de la sección que puede ser el ancho de plantilla  $b$  si la sección es trapezoidal o rectangular, o bien el diámetro  $D$  si la sección es circular o herradura trabajando parcialmente llena. La dimensión característica debe tener como exponente a  $8/3$  para obtener efectivamente una relación sin dimensiones. Así, para las secciones rectangulares y trapezoidal se tiene:

$$\frac{A R_h^{2/3}}{b^{8/3}} = \frac{n Q}{S^{1/2} b^{8/3}}$$

para las secciones circular o herradura:

$$\frac{A R_h^{2/3}}{D^{8/3}} = \frac{n Q}{S^{1/2} D^{8/3}}$$

Con el fin de simplificar los cálculos, en la fig. 2.43 se presentan las curvas que relacionan cualquiera de los dos términos de las ecuaciones anteriores con los valores  $y/b$  o  $y/D$  para las distintas secciones indicadas. En estas curvas,  $k$  re

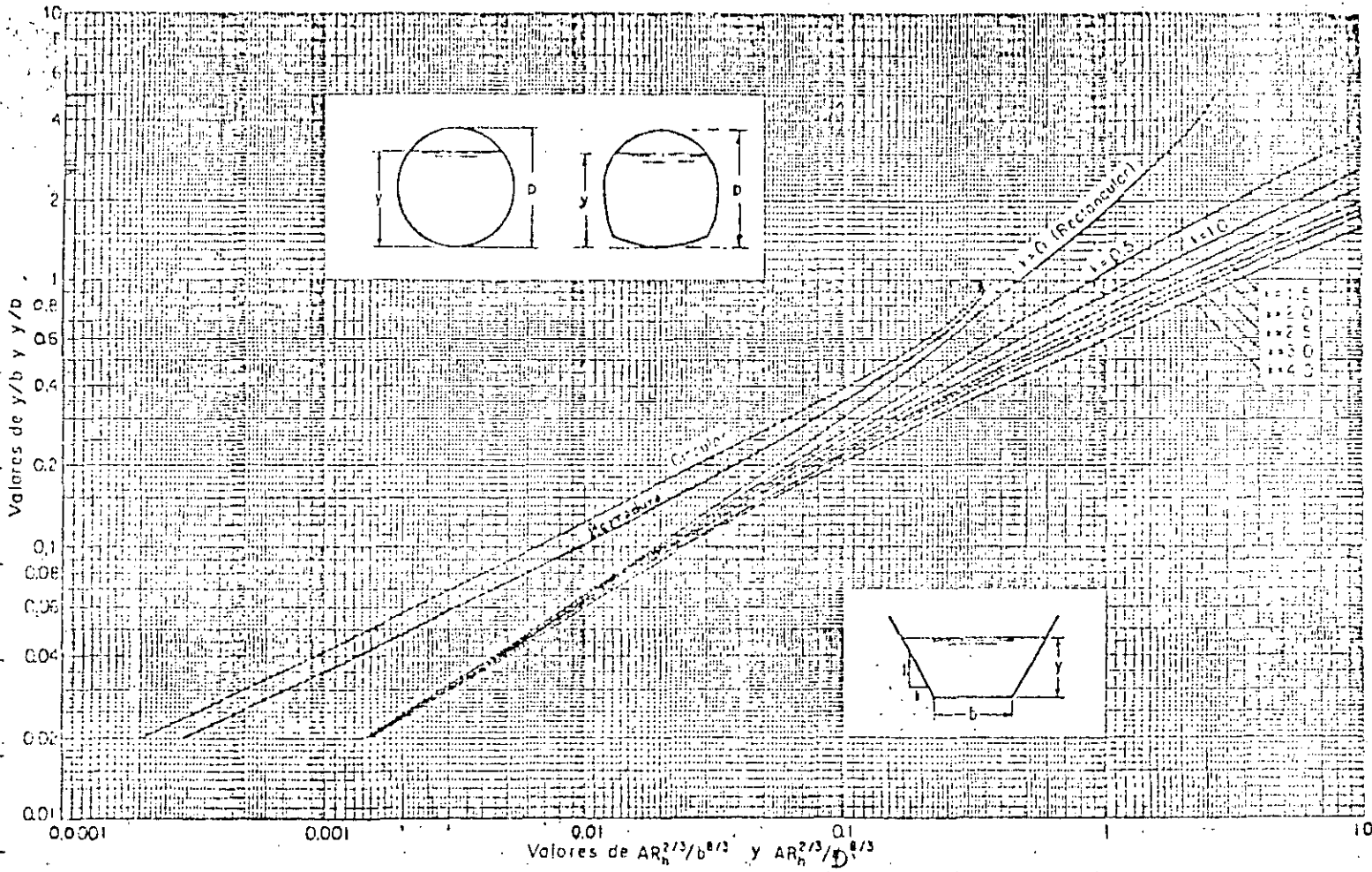


Fig. 2.43-Curvas para determinar el tirante normal

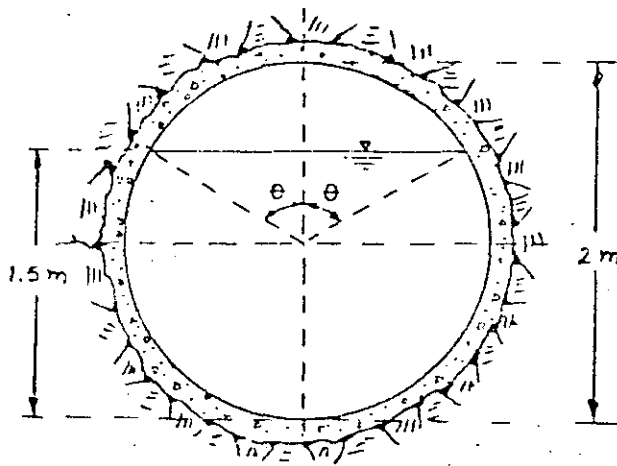


Fig. 2.44 Sección del túnel del ejemplo 2.

presenta la designación del talud para la sección trapezoidal.

**Ejemplo 2.5:** Un canal rectangular de cemento pulido y ancho de plantilla  $b = 2$  m tiene una pendiente  $S = 0.000126$ .

- Calcular el gasto que conduce para un tirante  $y = 1.50$  m.
- Calcular el gasto para  $y = 0.50$  m y  $S = 0.008$ . Utilizar la fórmula de Manning en ambos casos.

**Solución a.**

El área, perímetro y radio hidráulico son

$$A = 2 \times 1.5 = 3 \text{ m}^2$$

$$p = 2 + 2 \times 1.5 = 5 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{3}{5} = 0.6 \text{ m}$$

De la fórmula de Manning, para  $n = 0.011$ , la velocidad va le.

$$v = \frac{1}{0.011} (0.6)^{2/3} (0.000126)^{1/2} = 0.726 \text{ m/s}$$

y el gasto

$$Q = 3 \times 0.726 = 2.178 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Solución b.**

Haciendo cálculos análogos, se obtiene :

$$A = 2 \times 0.5 = 1 \text{ m}^2$$

$$P = 2 + 2 \times 0.5 = 3 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{1}{3} = 0.33 \text{ m}$$

$$V = \frac{1}{0.011} (0.33)^{2/3} (0.008)^{1/2} = 3.909 \text{ m/s}$$

$$Q = 1 \times 3.909 = 3.909 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ejemplo 2.6. Calcular el gasto en un canal de sección trapezoidal con  $b = 2$  m de ancho de plantilla,  $y = 1.20$  m de tirante, taludes  $k = 2$ , pendiente  $S = 0.000667$  y cuyas paredes están construídas de concreto rugoso bien acabado. Utilizar las fórmulas de Kutter, Bazin, Kozeny y Manning para comparar resultados.

Solución.

Los elementos geométricos de la sección son :

$$A = (2 + 2 \times 1.2) 1.2 = 5.28 \text{ m}^2$$

$$P = 2 + 2 \sqrt{1 + 2^2} \cdot 1.2 = 7.367 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{5.28}{7.367} = 0.717 ; R_h^{1/2} = 0.847$$

$$R_h^{1/6} = (0.717)^{1/6} = 0.946$$

$$S^{1/2} = (0.000667)^{1/2} = 0.02583$$

- a) De la tabla 3.2, para la fórmula de Kutter,  $m = 0.65$

$$C = \frac{100 \times 0.847}{0.65 + 0.847} = 56.58$$

De la fórmula de Chezy - ec. (2.3c)

$$V = 56.58 \times 0.847 \times 0.02583 = 1.238 \text{ m/s}$$

$$Q = 5.28 \times 1.238 = 6.536 \text{ m}^3/\text{s}$$

- b) Para la fórmula de Bazin, ( de la tabla 2.10)  $B = 0.45$ .

$$C = \frac{87}{1 + \frac{0.45}{0.847}} = 56.81$$

$$V = \frac{56.81}{56.58} \times 1.238 = 1.243 \text{ m/s}$$

$$Q = 5.28 \times 1.243 = 6.554 \text{ m}^3/\text{s}$$

- c) Para la fórmula de Kozeny, de la tabla 2.20  $N_c = 60$ . El ancho de la superficie libre en la sección vale :

$$B = b + 2 k y = 2 + 2 \times 2 \times 1.2 = 6.80 \text{ m}$$

y el tirante hidráulico

$$y = \frac{A}{B} = \frac{5.28}{6.8} = 0.776 \text{ m}$$

De la fórmula de Kozeny (tabla 2.20)

$$C = 20 \log 0.776 + 60 = 2.2 + 60$$

$$C = 57.8$$

$$V = \frac{57.8}{56.58} \times 1.238 = 1.265 \text{ m/s}$$

$$Q = 5.28 \times 1.265 = 6.678 \text{ m}^3/\text{s}$$

- d) Para la fórmula de Manning-Strickler,  $n = 0.017$  (concreto no terminado)

$$C = \frac{0.946}{0.017} = 55.647$$

$$V = \frac{55.647}{56.58} \times 1.238 = 1.218 \text{ m/s}$$

$$Q = 5.28 \times 1.218 = 6.429 \text{ m}^3/\text{s}$$



Ejemplo 2.7. Una galería circular (fig 2.44) de cemento pulido liso de 2 m de diámetro y 1.50 m de tirante debe conducir un gasto de 2.6 m<sup>3</sup>/s. Calcular la pendiente necesaria para que el flujo sea uniforme.

La velocidad media

$$V = \frac{C}{A} = \frac{2.6}{2.527} = 1.029 \text{ m/s}$$

Para  $n = 0.011$ , de la fórmula de Manning la pendiente debe ser :

$$S = \left( \frac{Vn}{R_h^{2/3}} \right)^2 = \left( \frac{1.029 \times 0.011^2}{0.714} \right)^2 = 0.000251$$

El problema de diseño de un canal generalmente se presenta teniendo como datos algo que debe transportar, la pendiente disponible de acuerdo con la topografía del terreno y la rugosidad de sus paredes.

Una de las soluciones consistiría en elegir la forma y dimensiones adecuadas que debe tener la sección, de modo que se pueda adaptar a la topografía del terreno donde se va a excavar el canal, y que sea lo más económica posible. Sin embargo, de acuerdo con el material en que se excava el canal, y no existiendo revestimiento, habrá tramos en que la velocidad del agua, erosione los taludes y la planta modificando la sección escogida. Por ello conviene diferenciar entre canales revestidos y canales no revestidos. Los primeros comprenden a los canales que se revisten con un material resistente a la acción erosiva del agua (concreto, mampostería, madera, plástico, etc.), o bien que se excavan en un material de i-

guals características ( cimentación firme, roca sana, etc. ). Los segundos comprenden a los canales excavados en un material que resiste a la acción erosiva -- mientras la velocidad o la esfuerzo tangencial de fricción ejercido por el agua sobre los granos no rebasen a una magnitud, prefijada de acuerdo con las características del material.

Lógicamente, esta diferenciación cambia el criterio de diseño. En el proyecto de un canal revestido se calculan las dimensiones óptimas de la sección que proporcionen máxima eficiencia hidráulica, mínimo costo o ambas. En cambio, en el diseño de un canal no revestido rigen los criterios de velocidad permisible o de esfuerzo tangencial crítico los cuales dependen del tipo de material en que se excava la sección del canal y que determinan también la rugosidad, la velocidad mínima permisible para evitar el depósito ( si el agua transporta sedimento ), taludes de la sección, pendiente longitudinal, el bordo libre y la sección óptima. En ambos casos, la tarea de proyectista será minimizar el costo del canal.

El revestimiento de un canal tiene por objeto prevenir la erosión, evitar las infiltraciones y disminuir la rugosidad de las paredes. Si bien se puede ignorar el criterio de velocidad máxima permisible, el revestimiento se debe diseñar para evitar la tendencia del agua a dislocar los bloques del mismo y colocarlos fuera de posición.

El volumen de excavación y la superficie de revestimiento son los factores más importantes en el costo del canal. El primero depende del área de la sección y la se-

gonda del perímetro mojado. La optimización de estos dos factores reducirá el costo al "mínimo".

La sección máxima eficiencia hidráulica será la de mínimo perímetro mojado para una área dada ya que en ella se tendrá la mínima resistencia al escurrimiento, así como el mínimo costo de revestimiento (o en su defecto, la mínima superficie de infiltración), aunque no necesariamente la mínima excavación.

Por un gasto dado, la sección hidráulica "óptima" será aquella para la cual el área es mínima; esto implica que la velocidad sea máxima. Según las fórmulas de Chezy y Manning, esto significaría que el radio hidráulico  $R_h = A/P$  fuera el máximo. Para ello será necesario minimizar también el perímetro mojado.

La sección trapezoidal es la más usada en canales. Normalmente el talud de la sección no se elige arbitrariamente ya que está supeditado al que pueda resistir el material de excavación y en la tabla 2.22 se dan algunas recomendaciones al respecto.

Tabla 2.22

Taludes recomendables en canales construídos en varias clases de material.

MATERIAL		
Roca sana no estratificada	0	a 0.25
Roca estratificada ligeramente alterada	0.25	a 0.5
Roca alteradas, tepetate duro	1	
Grava angulosa	1	
Arcilla densa o tierra con revestimiento de concreto	0.5	a 1.0
Suelo limo-arenoso con grava gruesa	1	a 1.5
Areniscas blandas	1.5	a 2
Limo arcilloso	0.75	a 1
Limo arenoso	1.5	a 2
Material poco estable, tierras arenosas, etc.	2	
Arcilla saturada	3	

La solución con base en la sección "óptima" es una simplificación del problema

En la práctica, la economía en el diseño de un canal se complica debido a los siguientes factores:

- a) - La resistencia al flujo no es la única consideración importante en el diseño.
- b) El área hidráulica es únicamente el área de paso del agua; el volumen total de excavación debe también incluir bordo libre, bermas, camino de inspección, cunetas, etc., por lo cual un valor mínimo de  $A$  no implica necesariamente la excavación total mínima y las dimensiones de la sección del canal pueden variar ampliamente sin que cambie mucho el valor requerido para  $A$ .
- c) El costo de la excavación no depende únicamente de la cantidad de material removido. Consideraciones tales como la facilidad de acceso y remoción pueden ser más importantes que el volumen de material excavado.
- d) Si el canal tiene que revestirse, el costo del revestimiento puede ser comparable con el de excavación.
- e) En canales cortos donde la pendiente no queda absolutamente fijada por la topografía local, la pendiente se puede considerar como una variable en los cálculos de economía. Un valor reducido de la pendiente puede requerir un área hidráulica mayor, aunque menos excavación en cortes laterales.

Por estas razones, únicamente en un sentido muy restringido se puede decir que las secciones hidráulicamente más eficiente representan la elección "óptima" de la sección

En el diseño de canales revestidos es común utilizar secciones trapeziales que se apartan de la "óptima". El U.S. Bureau of Reclamation recomienda elegir el ancho de plantilla o el tirante de acuerdo con la capacidad del canal. La fig. <sup>245</sup> muestra una relación de valores promedios, basados en diseños anteriores, según el gasto que va a conducir el canal. Si se elige el ancho de plantilla según la fig 3 ello implica que el tirante debe quedar supeditado al cálculo por medio de una fórmula de fricción. El proceso inverso también es válido.

Al elegir la sección transversal de un canal, se deberá verificar que la velocidad no sea inferior a un valor mínimo que evite la sedimentación del material que pudiera transportarse en suspensión. Si el agua es completamente limpia, se acepta que el valor de la velocidad mínima permisible sea entre 0.10 y 0.20 m/s, con el fin de evitar el crecimiento de plantas. Si el agua lleva material en suspensión se acepta un valor entre 0.60 y 0.90 m/s.

Con el fin de prevenir las fluctuaciones del nivel de la superficie del agua por efecto de ondas u otros factores que puedan ocasionar su desbordamiento, es necesario prever un bordo libre cuya magnitud depende de muchos factores. Generalmente oscila entre 5 y 30 por ciento del tirante del canal. En el caso de canales revestidos,

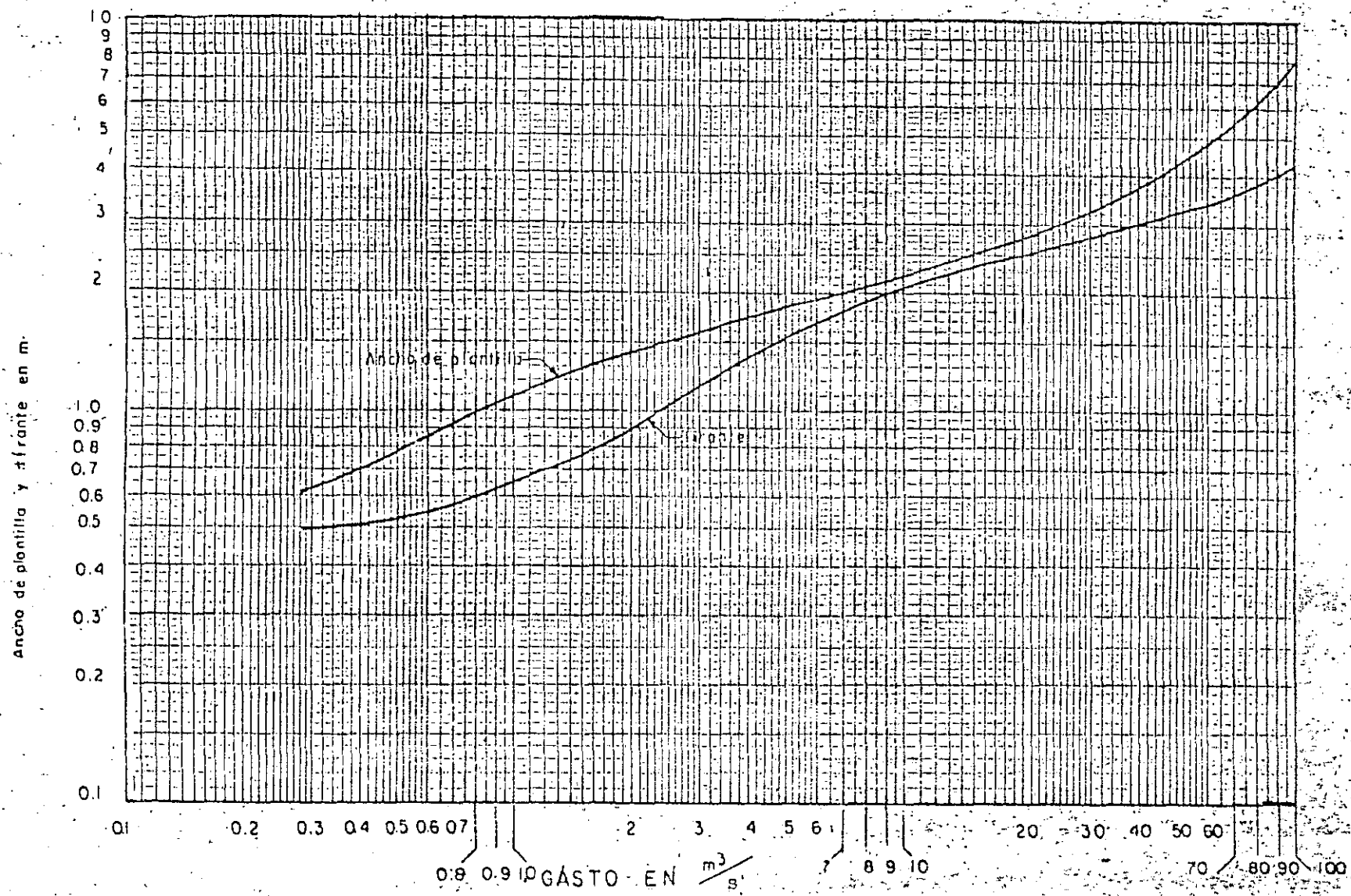


Fig. 2.45 Ancho de plantilla y tirante recomendados para canales revestidos (U.S. Bureau of Reclamation.)

se diferencia también entre fondo libre S.L. y altura del revestimiento  $h_r$  por encima de la superficie libre del agua. Ambos conceptos quedan explicados en la fig 296 donde, además, se presentan los valores usuales de  $h_r$  y S.L. recomendados por el U.S. Bureau of Reclamation para distintas capacidades del canal.

La fórmula de flujo uniforme utilizada en el diseño de canales revestidos es insuficiente en el caso de los no revestidos debido a que el diseño es esencialmente un problema de estabilidad de la sección. Si el canal transporta sedimentos o está excavado en material erosionable, es necesario que no ocurra depósito ni erosión, esto es, el canal debe estar en equilibrio con respecto al transporte de sedimentos, de manera que la cantidad total de los mismos que transporta sea a lo largo del canal, o bien, impedir dicho transporte.

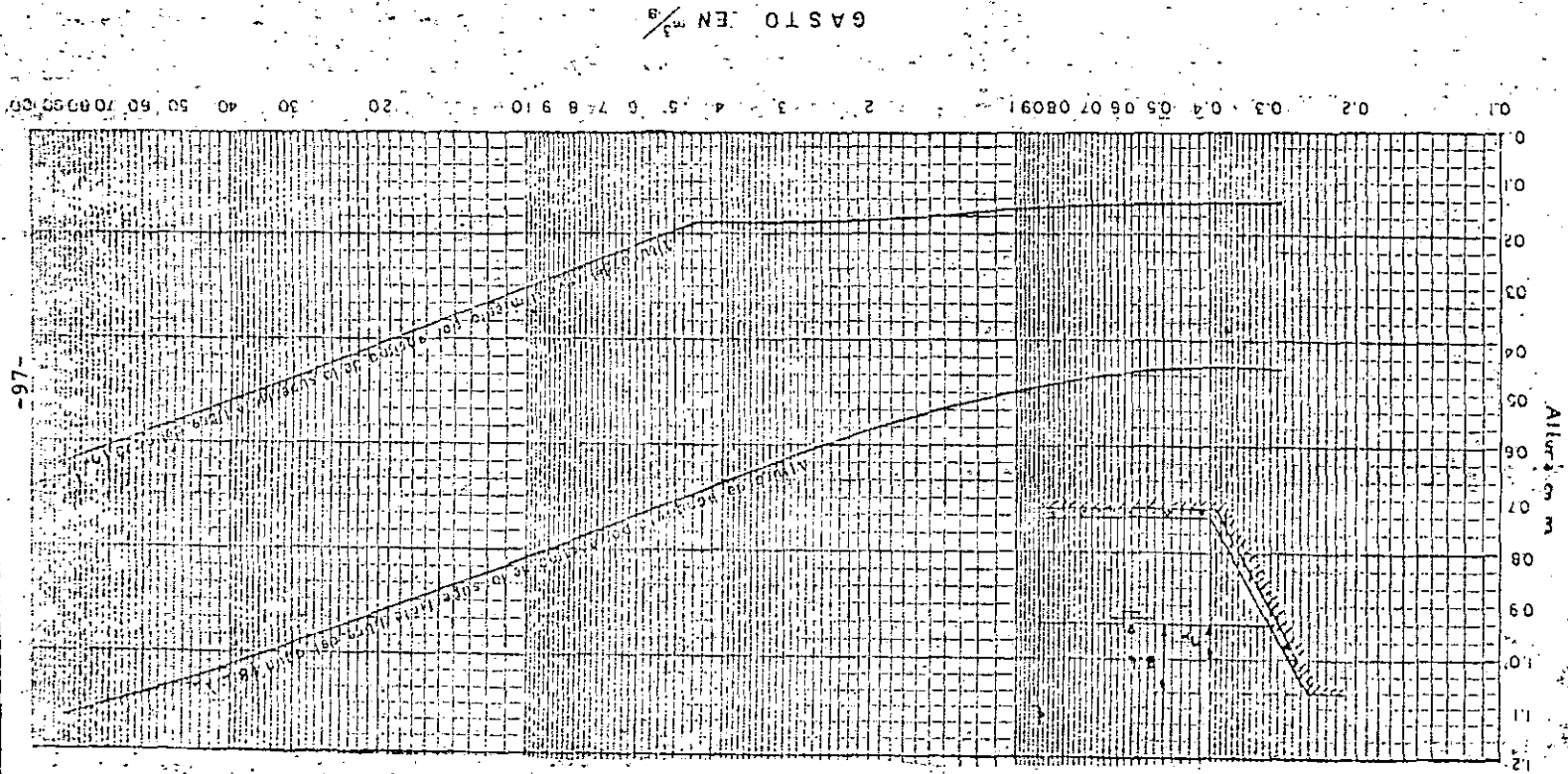
En el caso de canales es transportada agua limpia o con material fino en suspensión las condiciones del canal exigen que no se deposite dicho material y que la capacidad erosiva del flujo sea tal que no erosione el lecho y paredes del canal.

El método de la velocidad máxima permisible, consiste en limitar la velocidad media a un valor que no cause erosión en las paredes. El límite máximo de esta velocidad media a un valor que no cause erosión en las paredes. El límite máximo de esta velocidad es incierto y variable; depende principalmente del tamaño, clase de material de la paredes y del tirante de flujo.

Las velocidades máximas permisibles para suelos no cohesivos y para un rango -



Fig. 2.  $\frac{1}{6}$  Borde y altura de banquetas recomendados para canales revestidos.



GASTO EN  $\frac{m^3}{s}$

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Altura en m

-97-

amplio en el tamaño medio de material y de tirantes pueden obtenerse de la tabla y para materiales cohesivos de la fig. El diámetro  $d_{50}$  del material corresponde a aquel para el cual el 50 por ciento del material ( en peso ) tiene un diámetro menor que este.

Definida la velocidad máxima permisible, el área de la sección será

$$A = \frac{Q}{V \text{ max}}$$

y el radio hidráulico queda determinado de la fórmula de Manning y así mismo el resto de la geometría de la sección. Si es el caso, la sección puede modificarse con el fin de adaptarla a las necesidades del problema.

## 2.12 Energía específica y régimen crítico

### 2.12.1 Energía específica.

La energía específica en la sección de un canal se define como la energía por kilogramo de agua que fluye a través de la sección, medida con respecto al fondo del canal. Por lo tanto la energía específica vale :

$$E = y \cos^2 \theta + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

esto es, equivale a la suma de tirante y carga de velocidad, aceptando que el incremento de presión con la profundidad sigue la ley hidrostática. En el caso de  $\theta$  pequeña,  $\cos \theta = 1$  y para un canal de cualquier forma y área hidráulica  $A$ , con  $V=Q/A$  la energía específica vale :

$$E = y + \alpha \frac{v^2}{2g} = y + \alpha \frac{Q^2}{2g A^2}$$

Suponiendo que Q es constante y A es función del tirante, la energía específica es función únicamente del tirante. En la figura presenta gráficamente la ecuación, a través de una curva que tiene dos ramas. En el caso de  $\alpha$  proporción y  $\alpha = 1$ , la rama AC se aproxima asintóticamente al eje horizontal y la rama BC a la línea OD que pase por el origen y tiene una inclinación de 45°. Si  $\alpha$  es grande se satisfacen las mismas condiciones anteriores con la única diferencia que la línea OD no tiene la inclinación de 45°. En cualquier punto P sobre la curva, la abscisa representa la energía específica en la sección y que corresponde al tirante y representado por la abscisa del punto P. Existe una tercera rama de la curva (indicada con línea de puntos) que representa las soluciones negativas sin interés práctico.

La curva muestra que para una determinada energía específica existen dos valores del tirante:  $y_1$ ,  $y_2$ , que reciben el nombre de tirantes alternados: el alternado menor  $y_1$  y el mayor  $y_2$ . En el punto C la energía específica es la mínima con la cual puede pasar el gasto Q a través de la sección y para la cual existe un solo valor de tirante,  $y_c$ , que recibe el nombre de tirante crítico y al cual corresponde una velocidad llamada crítica. El estado del flujo que se desarrolla con el tirante crítico recibe el nombre de estado o régimen crítico.

Cuando el tirante es mayor que el crítico, la velocidad es menor que la crítica para el gasto dado, y en estas condiciones, el flujo se encuentra en estado o régimen subcrítico. Cuando el tirante es menor que el crítico, la velocidad es mayor que la crítica y el flujo se encuentra en estado o régimen supercrítico. En cada régimen el tirante y la velocidad adquieren el nombre que corresponda (subcríticos o supercríticos).

Si el gasto cambia a otro valor y se mantiene de todos modos constante, la curva de energía específica cambia a las posiciones A' B' y A'' B'', según que el gasto

sea menor o mayor, respectivamente, que el gasto usado por la construcción de la curva AB.

También se observa que al elegir una energía específica  $E_0$  constante, el punto C" indica la última curva E-y y que quedaría interseccionada por la vertical de abscisa  $E_0$ . Puesto que el gasto Q correspondiente a cada curva E-y crece a medida que estas se desplazan a la derecha, el punto C" señalará la curva E-y de gasto  $Q_{máx}$  que fluiría con la energía específica  $E_0$ .

La palabra "crítico" se usa para describir este estado de flujo y puede definirse como aquel para el cual la energía específica es la mínima con que puede fluir un gasto Q dado a través de la sección de un canal de forma especificada.

Las propiedades analíticas del régimen crítico se pueden derivar atendiendo a la definición antes dada. Para un gasto constante y suponiendo que  $\alpha$  es también constante, la derivada con respecto del tirante de la energía específica es :

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \alpha \frac{Q^2}{g A^3} \frac{dA}{dy}$$

El elemento de área  $dA$  cerca de la superficie libre fig. 2.47 es igual a  $B dy$ ; por

lo tanto con  $B = dA/dy$ , la ecuación anterior es :

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \alpha \frac{Q^2 B}{g A^3} = 1 - \alpha \frac{V^2}{g A/B}$$

Haciendo  $A/B = Y$  (tirante hidráulico de la sección, que en el caso de la rectangular coincide con el verdadero tirante), la ecuación anterior se transforma a :

$$\frac{dE}{dy} = 1 - F_r^2$$

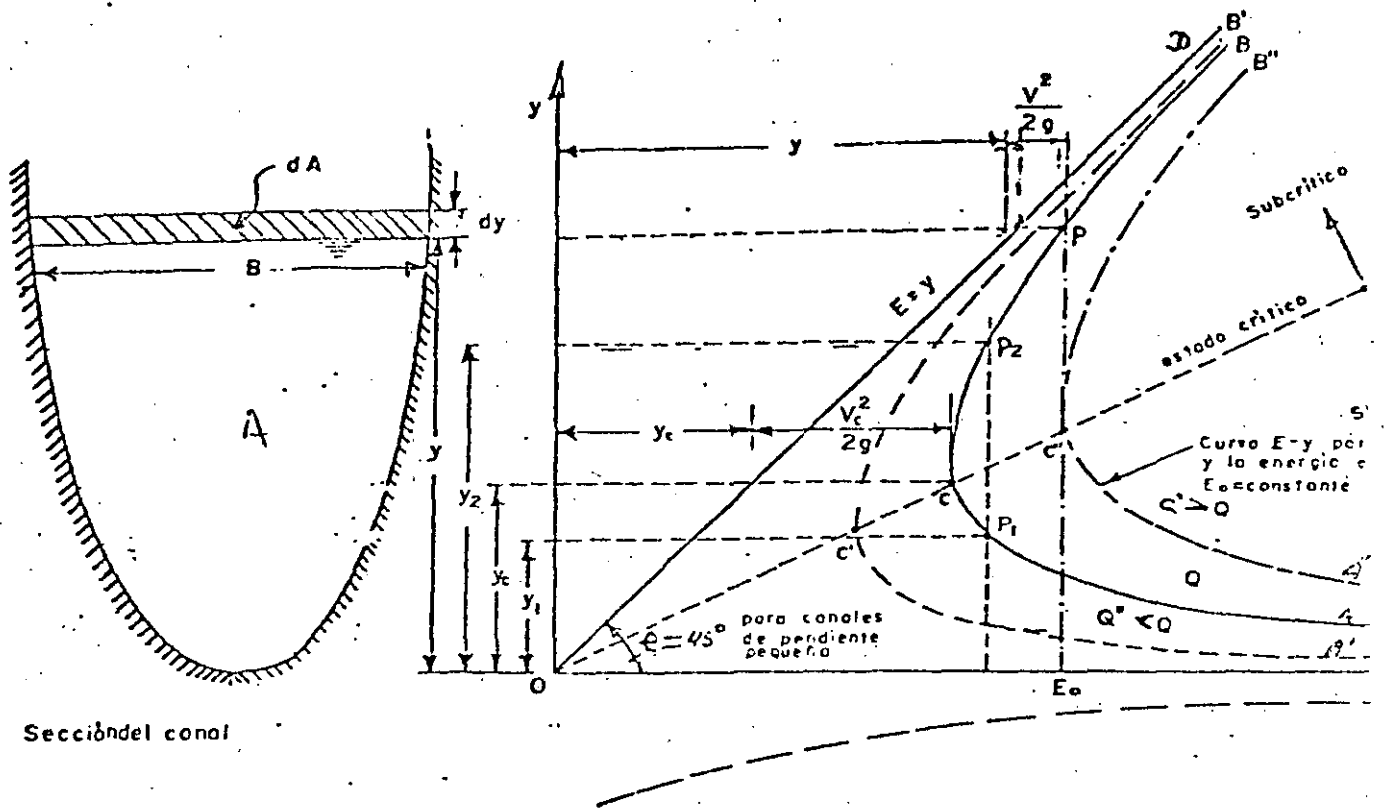


Fig 2.47 Curvas de energía específica-tirante

donde  $F_r = V/\sqrt{gY/\alpha}$  representa al número de Froude de la sección del canal calculado considerando el tirante hidráulico como longitud característica. Puesto que el estado crítico se produce para la energía específica mínima, por el criterio de la primera derivada ( $dE/dy=0$ ), se obtiene:

$$F_{rc} = \frac{V_c}{\sqrt{gY_c/\alpha}} = \frac{Q}{A_c \sqrt{gY_c/\alpha}} = 1 \quad (2.32a)$$

o bien

$$\frac{Q^2}{g/\alpha} = \frac{A_c^3}{B_c} \quad (2.32b) \quad 2.32.b$$

### 2.12.2 Régimen Crítico

Condición de estado crítico (Gasto constante).

En las discusiones del subcapítulo anterior se ha demostrado que hay dos posibles tirantes de flujo para cada combinación de valores de la energía específica y del gasto y que la transición de un tirante a otro puede ocurrir únicamente bajo ciertas condiciones especiales. Estos dos tirantes (representados por las dos ramas de la curva  $E-y$ , separados por la cresta C) son característicos de dos tipos diferentes de flujo. Un camino lógico para explorar la diferencia entre ellos sería el discutir primero el flujo representado por el punto C que se encuentra en la condición crítica entre los dos regímenes alternativos. La palabra "crítico" se usa para describir este estado de flujo y puede definirse como aquél para el que la energía específica es la mínima con que puede fluir un gasto  $Q$  dado, a través de la sección de un canal de forma especificada.

Las propiedades analíticas del régimen crítico se pueden derivar atendiendo a la definición antes dada. Para un gasto constante y suponiendo que  $\alpha$  es también constante, la derivada con respecto a  $y$  de la energía específica es:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \alpha \frac{Q^2}{g A^3} \frac{dA}{dy}$$

El elemento de área  $dA$  cerca de la superficie libre (Fig. 247) es igual a  $B \cdot dy$ ; por lo tanto, con  $B = dA/dy$ , la ecuación anterior es:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \alpha \frac{Q^2 B}{g A^3} = 1 - \alpha \frac{V^2}{g A/B} \quad (2.33a)$$

Haciendo  $A/B = Y$  (tirante medio de la sección),

la ecuación anterior se transforma:

como sigue:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - Fr^2 \quad (2.33b)$$

donde  $Fr = V / \sqrt{gY/\alpha}$  representa el número de Froude de la sección del canal, calculado considerando el tirante medio como longitud característica. Puesto que el estado crítico se produce para la energía específica mínima, por el criterio de la primera derivada ( $dE/dy = 0$ ), de la ec (2.33b) se obtiene:

$$Fr_c = \frac{V_c}{\sqrt{gY_c/\alpha}} = \frac{Q}{A_c \sqrt{gY_c/\alpha}} = 1 \quad (2.34a)$$

o bien

$$\frac{Q^2}{g/\alpha} = \frac{A_c^3}{B_c} \quad (2.34b)$$

Las ecs. (2.34a ó b) imponen las condiciones del estado crítico en un canal de forma cualquiera y permiten calcular el tirante crítico. La primera ecuación indica que el número de Froude para el estado crítico vale 1. La segunda presenta una clara relación entre las condiciones de gasto en la sección contra elementos geométricos de la misma, éstos dependientes únicamente del tirante. Aquí conviene aclarar que si el canal es <sup>de</sup> gran pendiente, para calcular  $A_c$  y  $B_c$  en la ec (2.34b) es suficiente utilizar  $d_c \cos \theta$  en lugar de  $y_c$  ( $d_c$  es el tirante crítico normal a la plantilla).

#### Condición para gasto máximo ( $E_0$ constante)

Consideremos ahora el problema que se plantearía al suponer una energía específica  $E_0$  constante en la Fig. 2.48 y de encontrar cuál sería la magnitud  $Q_{m\acute{a}x}$  del gasto que podría fluir a través de la sección con dicha energía. Dicha situación quedaría representada por el punto C" que es el punto de intersección entre la vertical de abscisa  $E_0$  y la curva  $E=y$  correspondiente al gasto  $Q_{m\acute{a}x}$ .

La ecuación de energía específica se puede también escribir en la forma siguiente:

$$Q = \sqrt{2g/\alpha} \quad A (E_0 - y)^{1/2} \quad (2.35)$$

En esta ecuación se observa que para  $y = 0$ ,  $Q = 0$  y para  $y = E_0$ ,  $Q = 0$  y entre estos dos valores existe un máximo para  $Q$ . La gráfica  $Q - y$  mostrado en la Fig 2.48 representa el lugar geométrico de la ec(2.35). Se observa que existen dos valores de  $y$  para cada valor de  $Q$ , excepto en el máximo. El criterio para el gasto máximo se puede obtener nuevamente por derivación, como antes:

$$\frac{dQ}{dy} = \sqrt{2g/\alpha} \left[ A \frac{(E_0 - y)^{-1/2}}{2} (-1) + \frac{dA}{dy} (E_0 - y)^{1/2} \right] = 0$$

y recordando que  $dA/dy = B$ , se obtiene que:

$$E_0 - y = \frac{A}{2B}$$

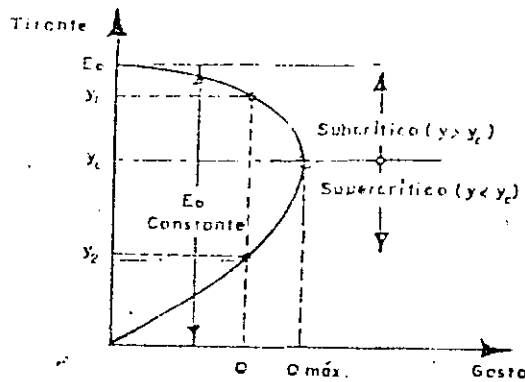


Fig 2.48 Relación gasto-tirante para energía específica constante

Por otra parte, de la ec (2.35),  $E_0 - y = \alpha Q^2 / 2gA^2$ , por tanto, de la ecuación anterior resulta:

$$\frac{Q^2}{g/\alpha} = \frac{A^3}{B}$$

la cual es idéntica a la ec (2.34) y significa que para una energía específica constante - el gasto máximo ocurre para el estado crítico, o sea que:

$$\frac{Q^2_{\text{máx}}}{g/\alpha} = \frac{A_c^3}{B_c} \quad (2.36)$$



Se ha establecido así otra propiedad importante del estado crítico, no sólo lo proporciona la energía específica mínima para un gasto unitario dado, sino también el gasto máximo para una energía específica dada. Para este último caso, la energía específica  $E_0$ , es la mínima con la cual puede pasar el gasto máximo a través de la sección.

El concepto de energía específica constante se puede ilustrar con el comportamiento del flujo en la vecindad de una compuerta deslizante situada cerca del punto medio de una porción sobre-elevada de la plantilla del canal (Fig. 2.49a y b). La energía específica  $E_0$  (referida al nivel de la porción sobre-elevada) se considera constante.

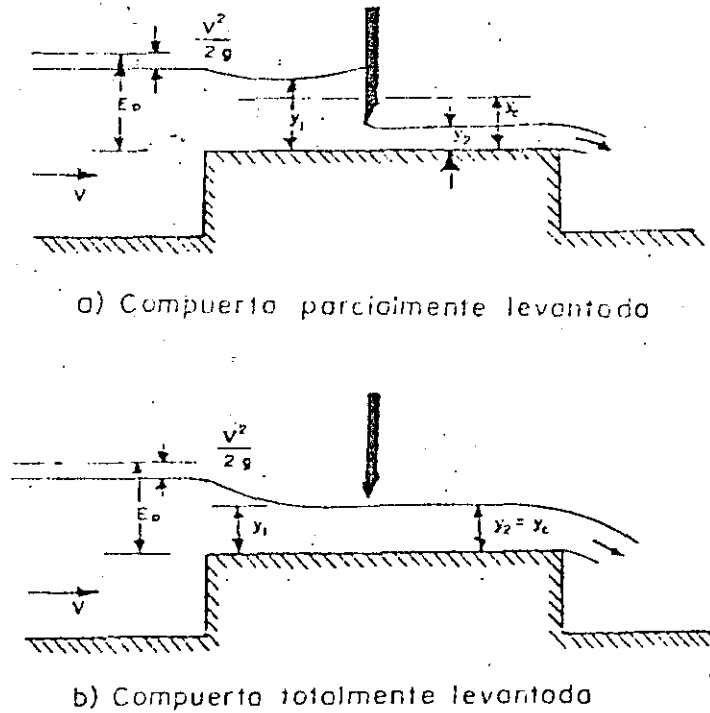


Fig 2.49 Compuerta deslizante actuando como control sobre una zona de plantilla sobre-elevada

Cuando la compuerta se encuentra cerrada, el tirante  $y_1$  aguas arriba — es igual a  $E_0$ , mientras el de aguas abajo  $y_2$  es cero. Si la compuerta se levanta parcialmente una cantidad menor que  $y_c$ , el perfil de la superficie adopta la condición —

$y_1 \geq y_c$  y  $y_2 < y_c$ , como se muestra en la Fig. 2.49a. Para un tirante  $y_2$  total de la compuerta los niveles aguas arriba y aguas abajo deben ser los mismos:  $y_1 = y_2 = y_c$  y el gasto debe ser el máximo, creando así las condiciones de flujo de un vertedor de cresta ancha.

sección 2 con la misma energía específico y un gasto unitario mayor, sería necesario desplazarse sobre la curva hacia la derecha (sin rebasar el máximo) con reducción del tirante, tal como lo señalan los resultados obtenidos al pasar de 1.60 m a 1.58 m.

### 2.12.3 Cálculo del tirante crítico

Las condiciones teóricas en que se desarrolla el régimen crítico están dadas por la ec (2.34b). Considerando que  $\alpha = 1$  dicha ecuación es:

$$\frac{Q}{\sqrt{g}} = \frac{A_c^{3/2}}{B_c^{1/2}} \quad (2.34b)$$

La ec (2.34b) indica que dada la forma de la sección en un canal y el gasto, existe un tirante crítico único y viceversa. Como un criterio general, dicho tirante queda definido al satisfacer dicha ecuación, cualquiera que sea la forma de la sección. Sin embargo, para las secciones más usuales se han desarrollado fórmulas más sencillas, o bien gráficas para un cálculo más rápido del tirante crítico.

Sección rectangular. Para un canal rectangular de ancho de plantilla  $b$ , la ec (2.34b) se escribe

$$\frac{Q}{\sqrt{g}} = \frac{b^{3/2} y_c^{3/2}}{b^{1/2}}$$

de donde, al hacer  $q = Q/b$  (gasto unitario) el tirante crítico vale:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (2.37)$$

Esta ecuación permite el cálculo directo del tirante crítico en una sección rectangular. Sustituyendo en ella  $q = V_c y_c$ , resulta que

$$\frac{y_c}{2} = \frac{V_c^2}{2g}$$

y de la ecuación se obtiene

$$E_{mín} = y_c + \frac{y_c}{2} = \frac{3}{2} y_c \quad (2.38)$$

Sección trapezoidal. Para un ancho de plantilla  $b$  y talud  $k$ , la ec (2.34b) resulta:

$$\frac{Q}{\sqrt{g}} = \left[ \frac{(b + k y_c)^3 y_c^3}{b + 2 k y_c} \right]^{1/2} \quad (2.39a)$$

o bien, multiplicando ambos miembros por  $k^{3/2} / b^{5/2}$ , se obtiene

$$\frac{Q k^{3/2}}{b^{5/2} \sqrt{g}} = \left( k \frac{y_c}{b} \right)^{3/2} \left[ \frac{\left( 1 + k \frac{y_c}{b} \right)^3}{1 + 2 k \frac{y_c}{b}} \right]^{1/2} \quad (2.39b)$$

Las condiciones de régimen crítico deberán satisfacer la ec(2.39a) y para simplificar los cálculos, en la Fig. 2.50 se presenta la curva que relaciona los términos de dicho ecuación. Dicha figura permite hacer una determinación suficientemente precisa del tirante crítico, cuando se conoce el gasto y la geometría de la sección.

Es posible obtener también una relación entre el tirante crítico y la energía específica mínima. En efecto, sustituyendo  $\frac{d y_c^2}{2g}$  de la ec. a) en la ec. se obtiene que:

$$E_{\min} = y_c + \frac{A_c}{2 B_c} = \frac{2 y_c B_c + A_c}{2 B_c}$$

Además, sustituyendo  $A_c = (b + k y_c) y_c$ ;  $B_c = b + 2 k y_c$  en la ecuación anterior, resulta lo siguiente:

$$E_{\min} = \frac{2 (b + 2 k y_c) y_c + (b + k y_c) y_c}{2 (b + 2 k y_c)}$$

Esta ecuación se puede simplificar y escribir con términos adimensionales como sigue:

$$\frac{k E_{\min}}{b} = \frac{3 + 5 (k y_c / b)}{2 / (k y_c / b) + 4} \quad (2.40)$$

En la Fig. 2.50 se presentó gráficamente la ec(2.40) y permite hacer un cálculo suficientemente preciso de la energía específica mínima cuando se conoce el tirante crítico o viceversa.

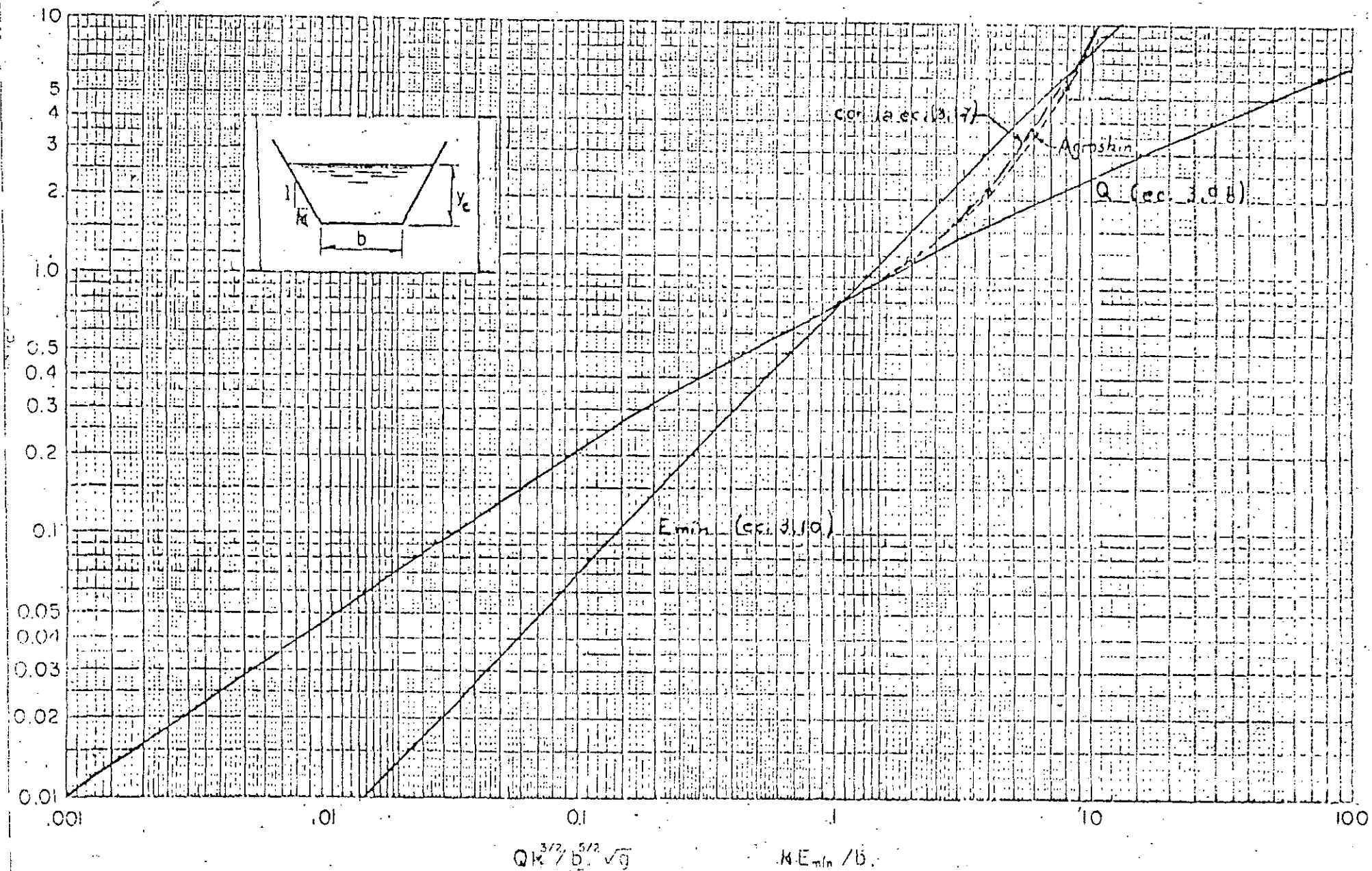


Fig. 2.50 Curvas para determinar el tirante crítico y energía específica mínima en secciones trapecoidales.

Sección circular y herradura. De la ec. (2.34) se puede plantear una ecuación semejante a la (2.39a) para estas dos secciones, como sigue:

$$\frac{Q}{D^{5/2} \sqrt{g}} = f\left(\frac{y_c}{D}\right)$$

En la Fig 2.51 se presentan las curvas para obtener el tirante crítico  $y_c$  en estas secciones cuando se conoce el gasto en el canal.

De manera semejante al canal trapezoidal, se puede derivar una ecuación del tipo siguiente:

$$\frac{E_{mín}}{D} = f\left(\frac{y_c}{D}\right)$$

que permite obtener la energía específica mínima en un canal circular cuando se conoce el tirante crítico o viceversa. En la fig 2.51 se presenta gráficamente la ecuación anterior.

Sección triangular. Para esta forma de sección de talud  $k$  en las orillas, se hace  $b = 0$  en la ec (2.39a) y se obtiene:

$$\frac{Q}{\sqrt{g}} = \left(\frac{k^3 y_c^6}{2 k y_c}\right)^{1/2} = \left(\frac{k^2 y_c^5}{2}\right)^{1/2} \quad (2.41 a)$$

Despejando resulta:

$$y_c = \sqrt[5]{\frac{2 Q^2}{g k^2}} \quad (2.41 b)$$

Esta ecuación permite realizar el cálculo directo del tirante crítico.

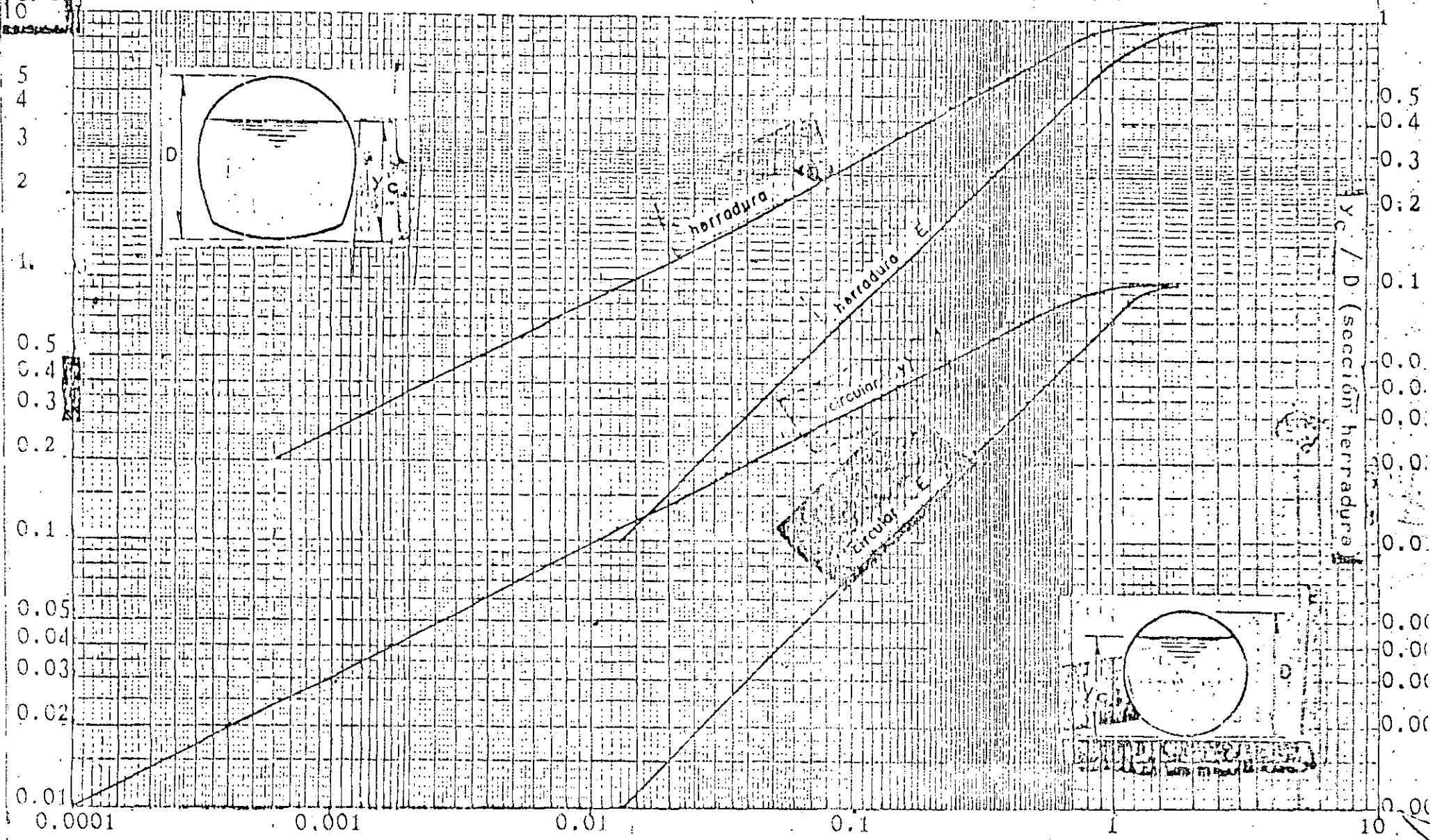
Sustituyendo la ec (2.41 a) en la ~~ec~~ (2.41 b) resulta:

$$E_{mín} = y_c + \frac{y_c}{4}$$

Por lo tanto, se tiene que:

$$E_{mín} = \frac{5}{4} y_c \quad (2.42)$$

ecuación que también permite el cálculo directo de la energía específica mínima cuando



$$\frac{v}{\sqrt{g}} / D^{5/2} ; \tau_c / D$$

Fig. 2.51. Curvas para determinar el tirante crítico y velocidad crítica en tuberías circulares y con herradura.

se conoce el tirante crítico o viceversa.

Sección parabólica. Suponemos que esta sección es simétrica respecto a un eje vertical y que el área hidráulica se puede calcular de la siguiente ecuación:

$$A = c y^{3/2}$$

donde c es una constante que depende de la forma de la parábola.

La derivada de la energía específica respecto del tirante igualado con cero es:

$$\frac{dE}{dy} = \frac{d}{dy} \left( y + \frac{Q^2}{2g c^2 y^3} \right) = 1 - \frac{3 Q^2}{2g c^2 y^4} = 0$$

y despejando el tirante crítico

$$y_c = \sqrt[4]{\frac{3 Q^2}{2g c^2}} \tag{2.43}$$

Además, despejando de esta ecuación a Q y sustituyendo en la de E, resulta:

$$E_{mín} = y_c + \frac{c^2 y_c^4}{3 c^2 y_c^3}$$

y de aquí:

$$E_{mín} = \frac{4}{3} y_c \tag{2.44}$$

Pendiente crítica

El estado o régimen crítico en la sección de un canal existe cuando el tirante y la velocidad adquieren los valores críticos para un gasto dado. Si dicha situación se desea hacer extensiva a lo largo de un canal prismático, ello equivale a que dicho canal tenga un flujo uniforme de tirante normal igual al crítico. La pendiente de plantilla  $S_c$ , necesaria para que ello ocurra, recibe el nombre de "crítico".

Si un flujo uniforme se presenta en un canal con pendiente menor que la

Finalmente, el perímetro mojado y el radio hidráulico críticos, son:  $P_c = 8.221$   
 y  $R_{hc} = 0.8199$  m.

De la fórmula de Manning, la pendiente crítica es:

$$S_c = \left( \frac{V_c n}{R_{hc}^{2/3}} \right)^2 = \left( \frac{2.967 \times 0.015}{0.876} \right)^2 = 0.00258$$

Solución b. Siguiendo la misma secuela de la solución a, se obtienen los siguientes resultados:

$$\frac{Q k^{3/2}}{\sqrt{g} b^{5/2}} = 0.8942 ; \quad \frac{k Y_c}{b} = 0.73 ; \quad Y_c = 1.3627 \text{ m}$$

siendo el valor exacto:  $Y_c = 1.3543$  m.

Utilizando el método de la ec. ( ),  $Y_c = 1.3236$  m, lo cual da un error de -2.27%.

Siguiendo el método de Agroskin:  $Y_c = 1.3537$  m con un error de -0.04%.

Para el valor correcto del tirante:  $Emán = 1.831$  m y también  $S_c = 0.002604$

Solución c. Con la misma secuela de la solución a, resulta:

$$\frac{Q k^{3/2}}{\sqrt{g} b^{5/2}} = 3.6227 ; \quad \frac{k Y_c}{b} = 1.5 ; \quad Y_c = 1.60 \text{ m}$$

Siendo el valor exacto:  $Y_c = 1.599$  m. Con el método de la ec. (3.17):  $Y_c = 1.4088$  m, con un error de -11.89%. Con el método de Agroskin:  $Y_c = 2.0087$  m y un error de +25.62%.

Para el valor correcto del tirante:  $Emán = 2.0982$  m y también  $S_c = 0.00266$

Ejemplo 2.10 Una galería circular de 2.50 m de diámetro debe conducir un gasto de — )



15 m<sup>3</sup>/s. Calcular el tirante crítico y la energía específica mínima con la cual puede conducir dicho gasto, aceptando que  $\alpha = 1.05$ .

Solución

Para tomar en cuenta  $\alpha$ , es suficiente con introducirlo dividiendo a  $g$  en el cálculo del parámetro:

$$\frac{Q}{\sqrt{g/\alpha}} / D^{5/2} = \frac{15}{\sqrt{9.8/1.05}} / 2.5^{5/2} = 0.4968$$

De la fig 2.51 resulta que  $\frac{y_c}{D} = 0.72$  y de aquí

$$y_c = 0.72 \times 2.5 = 1.8 \text{ m}$$

Para  $y_c/D = 0.72$  de la Fig 2.51 resulta que  $E_{\text{mín}}/D = 1.06$  y por lo tanto:

$$E_{\text{mín}} = 1.06 \times 2.5 = 2.64 \text{ m}$$

Ejemplo 2.11 Las condiciones de flujo aguas abajo de una cierta sección de un canal rectangular imponen que escurra un gasto de 80 m<sup>3</sup>/s con una energía específica de 2.50 m. ¿Si el canal tiene un ancho de plantilla de 18 m, a cuánto debe reducirse dicho ancho o el tirante para que se produzca un cambio de régimen?

Solución.

Al obligar a que 2.50 m sea la energía específica mínima con que escorra el gasto dado, de las ecs. (2.37) y (2.38) resulta que:

$$E_{\text{mín}} = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 \text{mín } g}} = 2.50 \text{ m}$$

Por lo tanto, el ancho mínimo sería:

$$b_{\text{mín}} = \frac{1.5^{3/2} Q}{\sqrt{g} E_{\text{mín}}^{3/2}} = \frac{1.5^{3/2} \times 80}{\sqrt{9.81} \times 2.5^{3/2}} = 11.877 \text{ m}$$

Si en lugar de reducir el ancho más bien se construye un umbral, se tendría que:

$$E_{\text{mín}} = 1.5 \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} = 1.5 \sqrt[3]{\frac{80^2}{18^2 \times 9.81}} = 1.895 \text{ m}$$

## 2.13 Salto Hidráulico

### 2.13.1 Aspectos generales

Consideremos el comportamiento del flujo en un canal de sección uniforme cuya pendiente de plantilla se incrementa gradualmente de  $S_0 < S_c$  a  $S_0 > S_c$  (Fig. 2.52 a). Siendo el gasto constante y la sección uniforme, la línea de tirante crítico es paralela a la plantilla. En la parte superior del descenso, el perfil de la superficie libre queda por encima de la línea de tirante crítico y la energía específica es mayor que la mínima. El tirante (y con él la energía específica) disminuye continuamente a medida que aumenta la pendiente, al alcanzar las condiciones críticas en el punto en que la pendiente es la crítica ( $S_0 = S_c$ ). La reducción que experimenta la energía específica, desde el valor inicial en el canal hasta la mínima en la sección crítica, se disipa por el efecto de fricción. De la sección crítica en adelante, el tirante continúa disminuyendo con el incremento de pendiente, el cual abastece de mayor energía al flujo que la que se disipa por fricción.

En el caso de intersección brusca de las dos pendientes (nuevamente de subcrítica a supercrítica) (Fig. 2.52 b), el efecto general es muy similar al del caso anterior aunque es factible que el perfil de la superficie se altere todavía más en la zona de transición. Aguas arriba de la intersección, el tirante no puede, al menos teóricamente, ser menor que el crítico, ya que esto requeriría el abastecimiento de energía desde el exterior, lo cual no es posible mientras no se alcance la pendiente pronunciada.

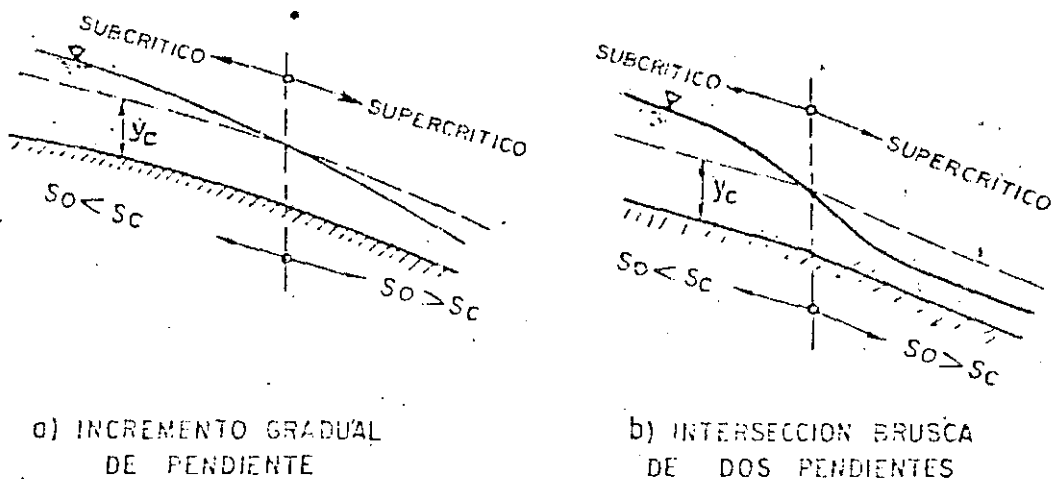


Fig 2.52 Transición de régimen subcrítico a supercrítico

De esta manera, se concluye que la transición de régimen subcrítico a supercrítico es gradual, acompañada de poca turbulencia y de pérdida de energía ~~debido a la~~ por ~~de~~ fricción en el movimiento. Dicho proceso puede seguirse al recorrer la curva E - y de la Fig 2.47, desde un punto de la rama superior, que representa las condiciones originales de régimen subcrítico en el canal, a otro punto sobre la rama inferior de la misma curva, que representa las condiciones de régimen supercrítico aguas abajo.

Estudieemos ahora el proceso inverso de transición de régimen supercrítico a subcrítico. En el subcapítulo 2.12 se ha visto que esta transición puede ocurrir únicamente si se produce una reducción local del ancho del canal. Sin embargo, dicha transición también puede ocurrir si en el canal de sección uniforme hay una transición en la pendiente, cambiando de supercrítica a subcrítica, tal como ocurriría al pie de una rápida o caída (Fig 2.53). El régimen, aguas arriba de la intersección, es supercrítico, mientras que, aguas abajo, la pendiente impone un tirante normal en régimen subcrítico; ocurriendo en algún punto intermedio la transición entre ambos.

Para explicar el proceso de transición podemos recurrir a un análisis semejante al del caso anterior. El flujo (inicialmente en régimen supercrítico) se frena por efecto de la fricción y de la reducción de pendiente, aumenta gradualmente su tirante y disminuye su energía específica hasta alcanzar la condición crítica. Toda vez que aguas abajo

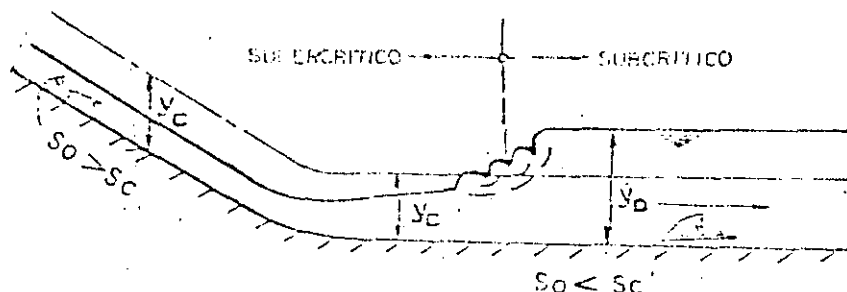


Fig. 2.53 Transición de régimen supercrítico a subcrítico

existe régimen subcrítico, esto implica que la energía específica del flujo debe ser mayor que la mínima. Sin embargo, una vez alcanzado el tirante crítico, no hay posibilidad de que la energía específica crezca por arriba de la mínima. Ello se debe a que la poca pendiente del canal no abastece al flujo de energía adicional. Esto impide continuar con una explicación semejante del fenómeno, similar a la anterior.

Para encontrar la forma de la transición del régimen, se puede apelar a la evidencia experimental. Esta nos muestra con toda claridad que, por el contrario del caso anterior, la transferencia de régimen supercrítico a subcrítico es en forma violenta y se acompaña de mucha turbulencia y gran pérdida de energía. Al entrar el agua a la zona de pendiente menor, se reduce la gran velocidad del flujo por efecto de la resistencia de fricción y se produce un incremento brusco del tirante que, virtualmente, rompe el perfil del flujo y produce un estado de gran turbulencia y una fuerte pérdida de energía. A cierta distancia aguas arriba del punto hipotético de intersección del perfil de la superficie libre (que se va elevando) y la línea de tirante crítico, la energía específica está ya en exceso de aquella que corresponde a la del flujo uniforme de aguas abajo; se produce así la discontinuidad y la superficie libre se eleva rápidamente hasta el tirante normal. El salto ocurre con fuertes pulsaciones y como si el agua entrara en ebullición, indicación visible de la inclusión de aire. Después de un crecimiento irregular y brusco de la superficie del agua, hasta alcanzar un tirante igual aproximadamente al normal  $y_0$  en un tramo relativamente corto, el frente turbulento se regulariza de manera inmediata y continúa libremente en régimen subcrítico.

La expansión turbulenta y desaceleración del chorro de gran velocidad están asociadas con una pérdida apreciable de energía (disipada principalmente como calor). La energía específica final frecuentemente es la apropiada para el tirante normal.

La rápida variación del tirante toma lugar en un tramo relativamente corto; por ello, la pérdida de fricción en la frontera es relativamente pequeña y, en muchos casos, insignificante en comparación con la pérdida por la turbulencia del fenómeno.

El fenómeno antes descrito se conoce como "salto hidráulico, u onda estacionaria" y representa la única manera en que es posible el cambio de régimen supercrítico a subcrítico. Ocurre frecuentemente al pié de la descarga de una compuerta reguladora y de un cimacio o en un cambio de pendiente como el antes expuesto.

Aunque se utiliza más comúnmente en relación con los aforadores de canales, algunos autores consideran más adecuado el nombre de "onda estacionaria" que el de "salto hidráulico" y para ello argumentan dos razones: en primer lugar, las partículas de agua tienen un movimiento como el de una onda giratoria debajo del remolino superficial que se desarrolla (Fig 2.54); en segundo lugar, el remolino es estacionario debido a que la corriente misma en el extremo de aguas arriba del salto, arroja constantemente contra la corriente superficial que regresa, sin existir movimiento del conjunto hacia aguas arriba. Se satisface así el requerimiento de que la velocidad de viaje de la onda hacia aguas arriba es igual a la velocidad de la corriente hacia aguas abajo.

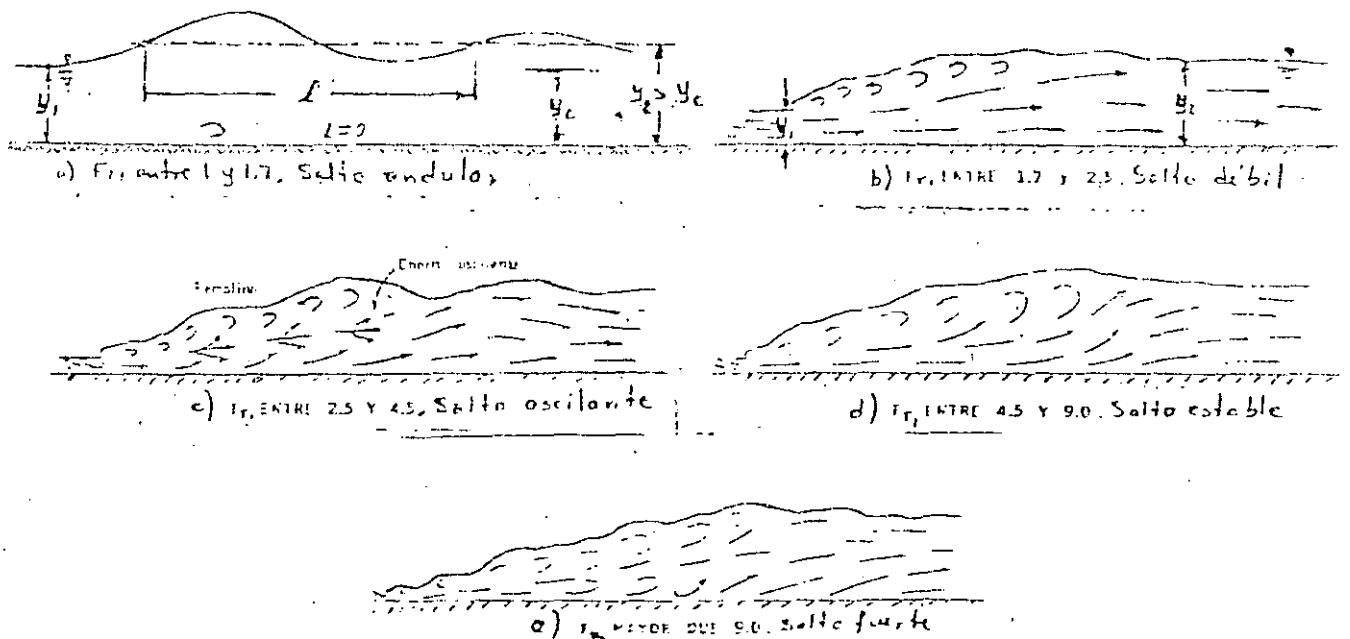


Fig. 2.54 Distintos tipos de salto hidráulico

Según el U.S. Bureau of Reclamation y otros autores, el salto adquiere diferentes formas, según el número de Froude  $Fr_1$  del flujo supercrítico aguas arriba del salto:

Cuando  $Fr_1 = 1$  a 1.7 el salto se produce en la forma de ondulaciones ( Fig. 2.54a) y por tanto recibe el nombre de salto ondular.

Cuando  $Fr_1 = 1.73$  se tiene el salto llamado directo, con las variantes que a continuación se indican:

Para  $Fr_1 = 1.7$  a 2.5 se inicia el desarrollo de una serie de remolinos de eje horizontal sobre la superficie del salto, sin perturbaciones sobre la superficie libre aguas abajo, distribuciones de la velocidad prácticamente uniformes y poca pérdida de energía. Para estas condiciones, el salto se designa como salto débil y se presenta en la Fig. 2.54b.

cuando  $Fr_1 = 2.5$  a 4.5 existe un chorro oscilante que entra a la zona del fondo del salto para ampliarse hacia la superficie y regresar sin periodicidad. Cada oscilación produce una ceda de gran longitud y período irregular que comúnmente se traslada grandes distancias hacia aguas abajo, dañando los bordes de tierra y zampados en los canales de riego. Este salto se designa como oscilante y se presenta en la Fig. 2.54c.

Para  $Fr_1 = 4.5$  a 9.0, el extremo aguas abajo del remolino superficial coincide con la sección para la cual termina la difusión del chorro de alta velocidad. El tirante de aguas abajo tiene menos influencia sobre la acción y posición del salto. Este se produce de manera balanceada lográndose el mejor funcionamiento y una disipación de energía que varía del 45 al 70 por ciento de la energía aguas arriba. El salto en estas condiciones se designa como salto estable y se presenta en la Fig. 2.54d.

Para  $Fr_1 \geq 9$ , el flujo de gran velocidad de aguas arriba penetra bajo el remolino del salto, emerge hacia la cara del frente y genera ondas hacia aguas abajo, prevaleciendo una superficie libre muy irregular. La acción del salto es muy efectiva al disiparse hasta el 85 por ciento de la energía del flujo aguas arriba. Este salto se designa como salto fuerte y se muestra en la Fig. 2.54e.

Además de su gran mérito como disipador natural de energía, el salto hidráulico tiene muchos otros usos prácticos, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

a) Prevención o confinamiento de la socavación -- aguas abajo de las estructuras hidráulicas donde es necesario disipar energía.

b) El mezclado eficiente de fluidos o de sustancias químicas usadas en la purificación de aguas, debido a la naturaleza fuertemente turbulenta del fenómeno. Este atributo tiene ventajas particulares cuando se involucra la contaminación.

c) Incremento del gasto descargado por una compuerta deslizante al rechazar el retroceso del agua contra la compuerta. Esto aumenta la carga efectiva y con ella la descarga.

d) La recuperación de carga aguas abajo de un aforador y mantenimiento de un nivel alto del agua en el canal de riego o de distribución del agua.

e) El aireamiento del agua destinada al abastecimiento de ciudades.

f) Remoción de bolsas de aire en líneas de abastecimiento de agua y prevención del atrape de aire.

Debido a que en principio se desconoce la pérdida de energía asociada con el salto hidráulico, la aplicación de la ecuación de energía antes y después del salto no proporciona un medio adecuado de análisis. Por otra parte, debido a la gran variación de velocidad media entre ~~los~~ extremos ~~del~~ ~~salto~~ y al hecho de que no se requiere conocer los cambios de energía interna, es más adecuada la aplicación del principio de la cantidad de movimiento en el análisis del fenómeno. La concordancia general entre los resultados teóricos y los experimentales confirman la seguridad de un análisis general del fenómeno con base en este principio, tal como se presenta a -- continuación.

2.13.2 La función "momentum"

Consideremos un tramo horizontal de un canal, de sección transversal cualquiera, donde se produce el salto hidráulico y el volumen de control limitado por las secciones 1 y 2 (antes y después del salto), por el piso del canal y por la superficie libre (Fig 2.55).

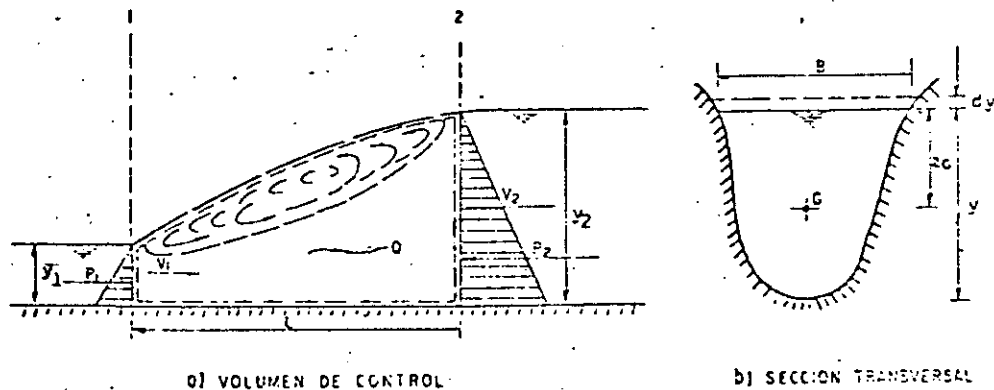


Fig 2.55 Análisis del salto hidráulico

Para la aplicación de la ecuación de la cantidad de movimiento, consideramos que se satisfacen las siguientes condiciones:

- a) El canal es horizontal y de sección constante
- b) Se desprecia la resistencia de fricción originada en la pared del canal, debido a la poca longitud del tramo en que se desarrolla el salto.
- c) Dentro del tramo, no existe ningún obstáculo que pudiera ocasionar una fuerza de empuje dinámico desde el exterior.
- d) Se considera que la distribución de velocidades en las secciones 1 y 2 es prácticamente uniforme y que los coeficientes  $\beta_1 = \beta_2 = 1$ .

Aplicando la ecuación de la cantidad de movimiento (ec 2.9) al volumen de control en estudio, se obtiene:



$$P_1 - P_2 = \frac{\gamma Q}{g} (V_2 - V_1) \quad (2.45)$$

Si A representa el área de la sección, por el principio de continuidad la ecuación anterior se puede escribir de la manera siguiente:

$$P_1 - P_2 = \frac{\gamma Q^2}{g} \left( \frac{1}{A_2} - \frac{1}{A_1} \right) \quad (2.46)$$

Los empujes totales debidos a la presión hidrostática se pueden calcular como sigue:

$$P_1 = \gamma z_{G_1} A_1$$

$$P_2 = \gamma z_{G_2} A_2$$

donde  $z_{G_1}$  y  $z_{G_2}$  son las profundidades de los centros de gravedad de las áreas en las secciones 1 y 2 respectivamente (Fig. 2.55 b). Por tanto, sustituyendo los valores de  $P_1$  y  $P_2$  en la ec (2.46) y simplificando, resulta que

$$\frac{Q^2}{g A_1} + z_{G_1} A_1 = \frac{Q^2}{g A_2} + z_{G_2} A_2 \quad (2.47)$$

En esta ecuación se observa que los términos antes y después del signo "igual" son análogos, pudiendo expresarlos mediante la función llamada "momentum":

$$M = \frac{Q^2}{g A} + z_G A \quad (2.48)$$

la cual se compone de dos términos: el primero, representa la cantidad de movimiento del flujo que atraviesa la sección del canal en la unidad de tiempo y por unidad de peso del agua; el segundo, el empuje hidrostático por unidad de peso y también el momento estático del área respecto de la superficie libre. Debido a que ambos términos tienen las dimensiones de una fuerza por unidad de peso, a la función "momentum" se le conoce también como "fuerza específica".

Para un gasto dado, la función M es únicamente del tirante, de manera similar a la energía específica. Su representación geométrica en un plano M - y consiste en una curva similar a la de E - y con la única diferencia que tiene asíntota exclusivamente en la rama inferior AC, correspondiente a  $y = 0$  (Fig 2.56). La rama superior BC se eleva y extiende indefinidamente a la derecha. Así mismo, para un valor dado de la función M, la curva tiene dos posibles tirantes  $y_1$  y  $y_2$  que reciben el nombre de "conjugados", y que, de acuerdo con la ec (2.47) ( $M_1 = M_2$ ), corresponde a los tirantes antes y después del salto de la Fig 2.55. °

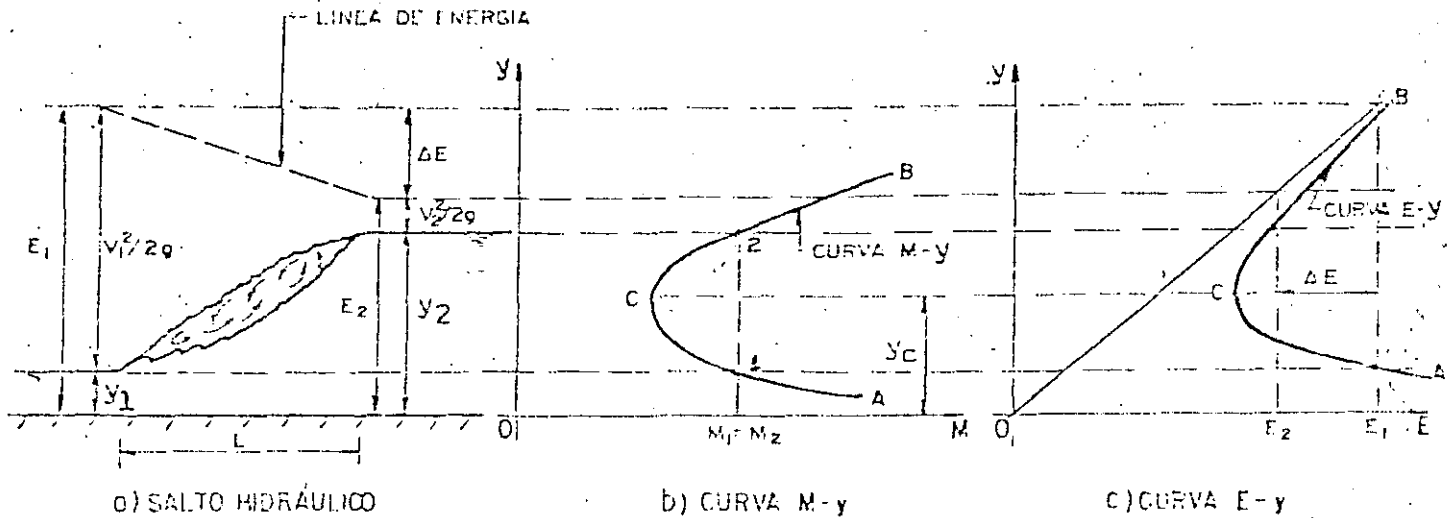


Fig. 2.56 Curvas de momentum y energía específica para un salto hidráulico

El punto C de la Fig 2.56 b corresponde al mínimo de Momentum y sus condiciones se pueden obtener del criterio de la primera derivada de M en la ec (2.43), como sigue:

$$\frac{dM}{dy} = - \frac{Q^2}{g A^2} \frac{dA}{dy} + \frac{d(z_G A)}{dy} = 0$$

A un cambio  $dy$  en el tirante corresponde un cambio  $d(z_G A)$  en el momento estático del área hidráulica respecto de la superficie libre (Fig 2.55 b), el cual es:

$$d(z_G A) = [A(z_G + dy) + B(dy)^2/2] - z_G A$$

Despreciando diferenciales de orden superior,  $(dy)^2 = 0$ , el cambio en el momento estático es:  $d(z_G A) = A dy$  y la ecuación anterior resulta:

$$\frac{dM}{dy} = - \frac{Q^2}{g A^2} \frac{dA}{dy} + A = 0$$

Siendo  $B = dA/dy$ , la ecuación anterior se simplifica como sigue:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{B}$$

que es la condición de estado crítico (ec 2.32b): Esto significa que, para un gasto dado, el momentum mínimo corresponde también al tirante crítico y, por ello, al estado ---

crítico (Fig 2.56c). El tirante conjugado menor debe corresponder al régimen supercrítico y el mayor a subcrítico. Al referir los tirantes conjugados  $y_1$  y  $y_2$  (antes y después del salto a la curva de energía específica, en la Fig 2.56c se observa que corresponden a energías específicas  $E_1$  y  $E_2$  distintas, cuya diferencia  $\Delta E$  es la pérdida de energía interna debida a las turbulencias propias del ~~salto hidráulico~~ fenómeno.

La discusión anterior permite llegar a las siguientes conclusiones:

- a) El cambio de régimen supercrítico a subcrítico se produce de manera violenta (únicamente a través del salto hidráulico), con pérdidas apreciable de energía. El cambio de subcrítico a supercrítico es posible de manera gradual (sin salto) y sin pérdidas apreciable de energía.
- b) Para estudiar el fenómeno se requiere aplicar la ecuación de la cantidad de movimiento debido a que en principio se desconoce la pérdida de energía.
- c) De la aplicación de la ecuación de la cantidad de movimiento se concluye que el fenómeno se produce únicamente cuando se iguala el momentum en las secciones antes y después del salto.
- d) Para un gasto dado, si el conjugado menor  $y_1$  (aguas arriba del salto) aumenta, el conjugado mayor  $y_2$  (aguas abajo) disminuye.

### 2.3.3 Ecuaciones del salto para diferentes formas de sección

#### Ecuación general

Aunque la condición general para que ocurra el salto esté expresada por la ec (247), para cualquier forma geométrica de la sección conviene desarrollar ecuaciones particulares para las secciones más usuales que, aunadas a sus representaciones gráficas, permitan el cálculo directo del conjugado mayor, a partir de las condiciones en la sección de conjugado menor o viceversa

En cualquier forma de sección, la profundidad  $z_G$  de su centro de gravedad se puede calcular de la ecuación.

$$z_G = k'y$$

donde  $k'$  es un coeficiente que depende de la geometría de la sección. Por tanto, la ec (247) se puede escribir como sigue:

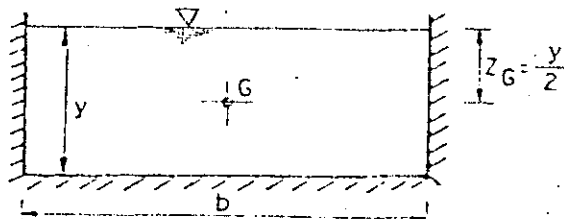
$$A_2 k'_2 y_2 - A_1 k'_1 y_1 - \frac{Q^2}{g} \left( \frac{A_2 - A_1}{A_1 A_2} \right) = 0 \quad (2.49)$$

que es la ecuación general del salto hidráulico en un canal de sección transversal cualquiera. *y plantilla horizontal*

Sección rectangular

a) Régimen supercrítico conocido

En una sección rectangular de ancho de plantilla  $b$  y tirante  $y$  (Fig 2.57), se tienen los siguientes valores:



$$A = by$$

$$k' = \frac{1}{2}$$

que al substituir en la ec (2.49 a), se obtiene:

Fig 2.57 Sección rectangular

$$\frac{b y_2^2}{2} - \frac{b y_1^2}{2} - \frac{Q^2}{gb} \left( \frac{y_2 - y_1}{y_1 y_2} \right) = 0$$

o bien, simplificando resulta:

$$y_2 + y_1 - \frac{2 Q^2}{g b^2 y_1 y_2} = 0 \quad (2.50)$$

Multiplicando la ecuación anterior por  $y_2/y_1^2$  y ordenando términos se tiene:

$$\left( \frac{y_2}{y_1} \right)^2 + \frac{y_2}{y_1} - \frac{2 Q^2}{g b^2 y_1^3} = 0 \quad (2.51)$$

en la cual, con el último término se pueden hacer las siguientes simplificaciones:

$$\frac{2 Q^2}{g b^2 y_1^3} = \frac{2 V_1^2}{g y_1} = 2 F_{r1}^2$$

donde  $F_{r1} = V_1 / \sqrt{g y_1}$  es el número de Froude antes del salto. Por tanto, la ec (2.51) resulta:

$$\left( \frac{y_2}{y_1} \right)^2 + \frac{y_2}{y_1} - 2 F_{r1}^2 = 0$$

cuya solución es:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 Fr_1^2} - 1) \quad (2.52)$$

La ec (2.52) permite calcular el tirante conjugado mayor en un canal de sección rectangular, conocido el menor y el número de Froude antes del salto.

b) Régimen subcrítico conocido.

Si la ec (2.52) se multiplica ahora por  $y_1/y_2^2$  y en los pasos subsiguientes se hacen consideraciones análogas a las anteriores, se obtiene la ecuación:

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 Fr_2^2} - 1) \quad (2.53)$$

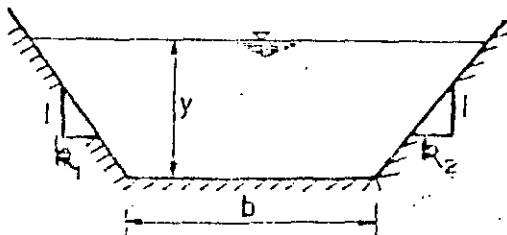
que permite calcular el conjugado menor, conocido el mayor y el número de Froude  $Fr_2 = V_2 / \sqrt{g y_2}$  después del salto.

Las Figs. 2.59 y 2.60 muestran las curvas que representan a las ecs (2.52) y (2.53) respectivamente y que permiten el cálculo directo de los tirantes conjugados en la sección rectangular.

### Sección trapecial

a) Régimen supercrítico conocido

Para esta sección, de taludes  $k_1$  y  $k_2$  (Fig 2.58), se tienen los siguientes valores:



$$A = b y + k y^2$$

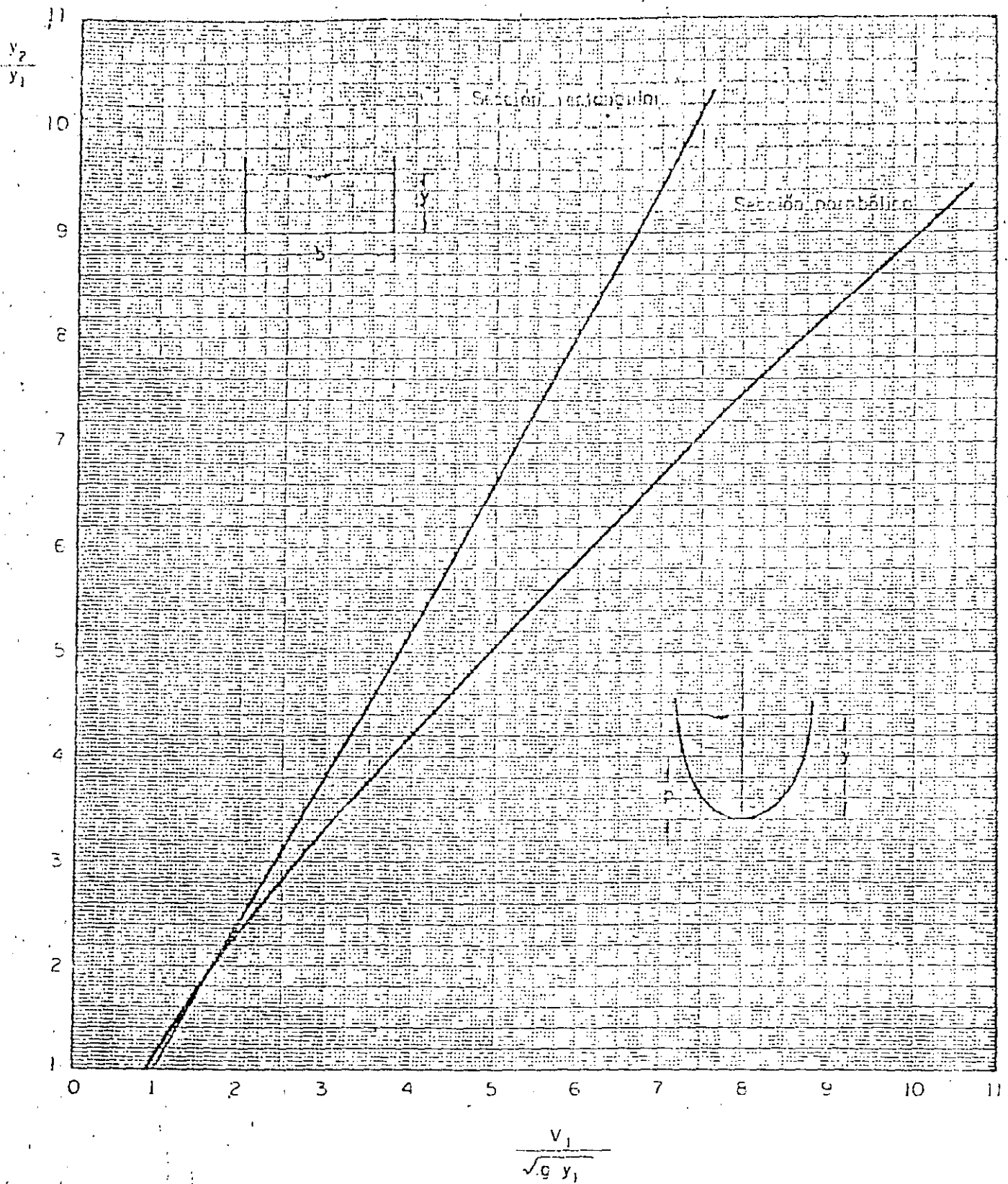
donde  $k = \frac{k_1 + k_2}{2}$ , además

$$k' = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \frac{b}{b + k y} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \frac{b y}{A}$$

Fig 2.58 Sección trapecial

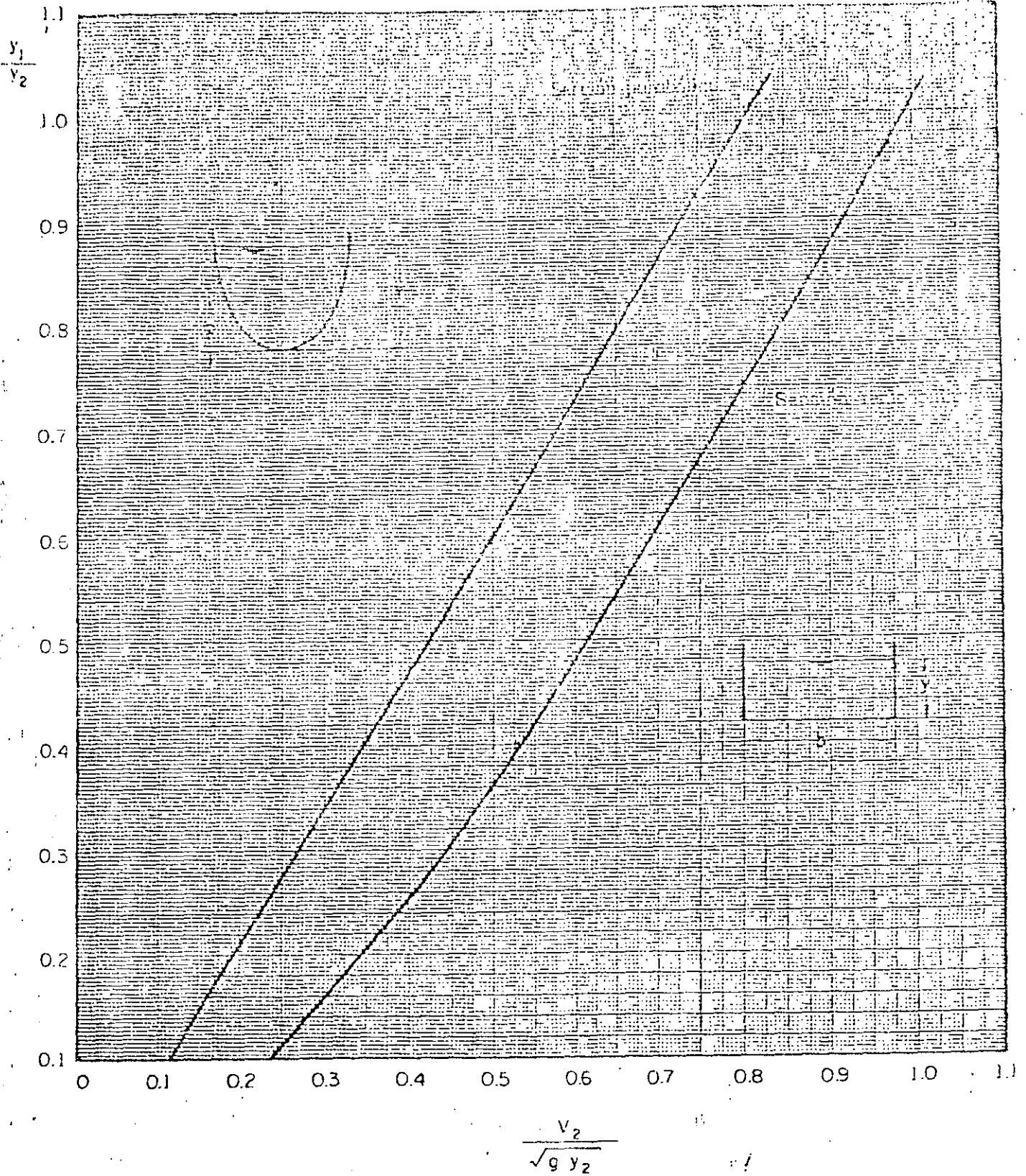
Antes de substituir en la ec (2.49), conviene escribirla como sigue

$$A_2^2 k_2' y_2 - A_1 A_2 k_1' y_1 - \frac{Q^2}{g} \left( \frac{A_2 - A_1}{A_1} \right) = 0 \quad (2.49 a)$$



CANALES DE SECCION RECTANGULAR Y PARABOLICA

Fig. 2.59 Gráfica para la determinación del tirante subcrítico, conocido el régimen supercrítico



CANALES DE SECCION RECTANGULAR Y PARABOLICA

Fig. 2.60 Gráfica para la determinación del tirante supercrítico, conocido el régimen subcrítico

Por tanto, al sustituir resulta:

$$\frac{(b y_2 + k y_2^2) y_2}{3} + \frac{b (b y_2 + k y_2^2) y_2^2}{6} - \frac{(b y_1 + k y_1^2) (b y_2 + k y_2^2) y_1}{3} - \frac{b (b y_2 + k y_2^2) y_1^2}{6}$$

$$\frac{Q^2}{g} \left[ \frac{(b y_2 + k y_2^2) - (b y_1 + k y_1^2)}{b y_1 + k y_1^2} \right] = 0$$

Al multiplicar la ecuación por  $3/k^2 y_1^5$  y simplificar, llamando:

$$F_{M1}^2 = \frac{Q^2}{g k^2 y_1^5} y t_1 = \frac{b}{k y_1}, \text{ se obtiene:}$$

$$\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^5 + \frac{5}{2} t_1 \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^4 + \frac{3}{2} t_1^2 \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^3 - \left(\frac{3}{2} t_1 + \frac{3 F_{M1}^2}{t_1 + 1} + 1\right)$$

$$\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 - \left(\frac{3}{2} t_1^2 + t_1 + \frac{3 t_1 F_{M1}^2}{t_1 + 1}\right) \frac{y_2}{y_1} + 3 F_{M1}^2 = 0$$

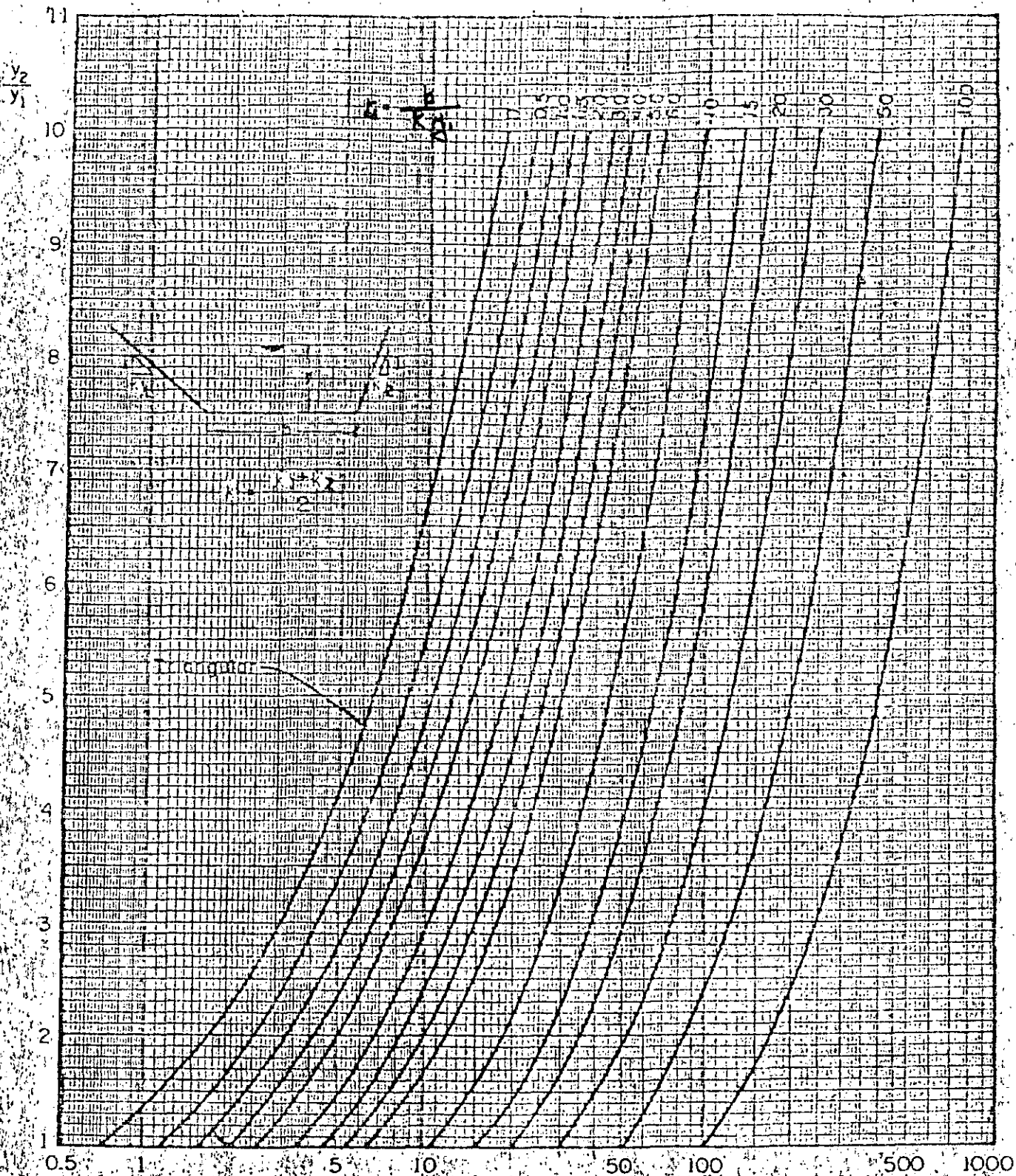
El grado de la ecuación se reduce al dividir entre  $\left(\frac{y_2}{y_1} - 1\right)$  resultando finalmente:

$$\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^4 + \left(\frac{5}{2} t_1 + 1\right) \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^3 + \left(\frac{3}{2} t_1^2 + \frac{5}{2} t_1 + 1\right) \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 - \left(-\frac{3}{2} t_1^2 - t_1 + \frac{3 F_{M1}^2}{t_1 + 1}\right) \left(\frac{y_2}{y_1}\right) - 3 F_{M1}^2 = 0 \quad (2.54)$$

La ec (2.54) es de cuarto grado con una sola raíz positiva real que permite conocer el conjugado mayor, conocidos: el menor, el parámetro de Massey  $F_{M1} = \frac{Q}{\sqrt{g k y_1^{5/2}}}$ ,  $y, t_1 = b/k y_1$ .

Para simplificar la solución se puede recurrir a la gráfica de la Fig.2.61.





$$F_{M_1} = \frac{Q}{9.75 \sqrt{y_1^3}}$$

CANALES DE SECCION TRAPEZOIDAL (TRIANGULAR INCLUIDA)

Fig. 2.1) Gráfica para la determinación del tirante subcrítico, conocido el régimen supercrítico

b) Régimen subcrítico conocido

Para calcular las condiciones del régimen subcrítico (antes del salto), conocidas las del supercrítico (después del salto), se puede escribir la ec. (2.49) como sigue:

$$A_1 A_2 k_2^3 y_2 - A_1^2 k_1^3 y_1 - \frac{Q^2}{g} \left( \frac{A_2 - A_1}{A_2} \right) = 0 \quad (2.49b)$$

y después hacer desarrollos análogos para obtener la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} & \left( \frac{y_1}{y_2} \right)^4 + \left( \frac{5}{2} t_2 + 1 \right) \left( \frac{y_1}{y_2} \right)^3 + \left( \frac{3}{2} t_2^2 + \frac{5}{2} t_2 + 1 \right) \left( \frac{y_1}{y_2} \right)^2 + \\ & + \left( \frac{3}{2} t_2^2 + t_2 - \frac{3 F_{M2}}{t_2 + 1} \right) \frac{y_1}{y_2} - 3 F_{M2}^2 = 0 \quad (2.55) \end{aligned}$$

donde

$$F_{M2} = \frac{Q}{\sqrt{g} R y_2^{5/2}} ; t_2 = \frac{b}{R y_2}$$

La solución gráfica de esta ecuación se presenta en la fig 2.62 para facilitar el cálculo.

Sección circular

Para este tipo de sección, cabe la posibilidad de que se llene totalmente después del salto, por lo cual existen dos casos diferentes.

Flujo a superficie libre antes y después del salto.

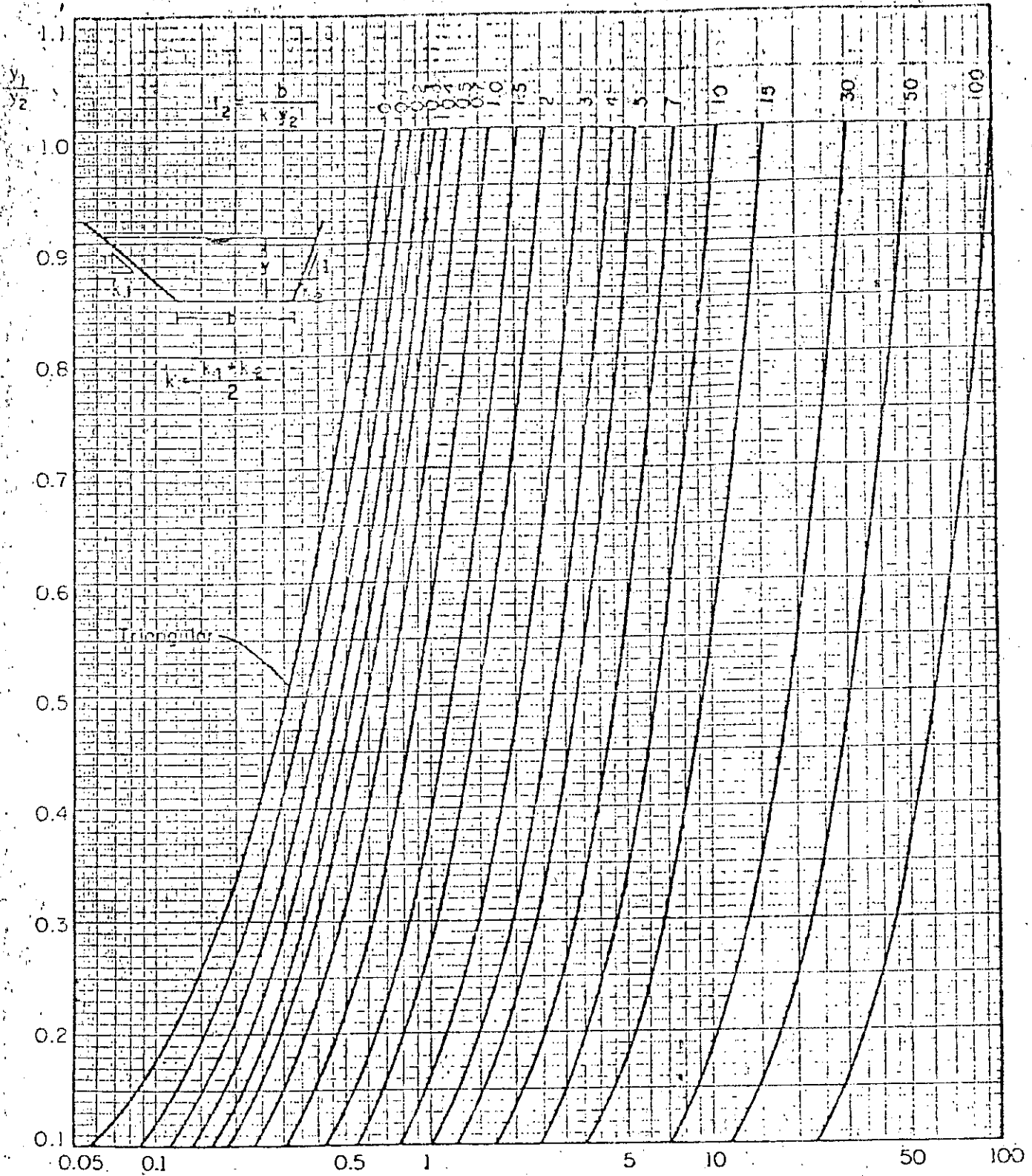
Para cualquier valor del tirante, el área hidráulica es

$$A = \left( \frac{\theta}{4} - \frac{1}{4} \text{sen } \theta \text{ cos }^3 \theta \right) D^2$$

Siendo:

$$\text{sen } \theta = \frac{2 \sqrt{Dy - y^2}}{D} = 2 \sqrt{\frac{y}{D} - \frac{y^2}{D^2}}$$

$$\text{cos } \theta = \frac{D/2 - y}{D/2} = 1 - 2 \frac{y}{D}$$



$$F_{M_2} = \frac{Q}{g^{1/2} k y_2^{5/2}}$$

CANALES DE SECCION TRAPEZIAL (TRIANGULAR INCLUIDA)

Fig. 2.62 Gráfica para la determinación del tirante supercrítico, conocido el régimen subcrítico

#### 2.13.4 Longitud del salto.

La distancia  $L$  que separa las secciones que limitan la zona turbulenta del salto (Fig. 2.56 a), se conoce como longitud del salto. Para otros autores, dicha longitud es la distancia que separa las secciones transversales donde se ha estabilizado la distribución de velocidad.

La longitud del salto hidráulico ha recibido gran atención de los investigadores, pero hasta ahora no se ha desarrollado ningún procedimiento satisfactorio para su cálculo. Sin duda, esto se debe al hecho de que el problema no ha sido analizado teóricamente, por las complicaciones prácticas derivadas de la inestabilidad general del fenómeno. En los estudios experimentales se tiene la dificultad de definir las secciones de inicio y fin del salto.

La longitud del salto en secciones rectangulares ha sido la más estudiada por los investigadores. La tabla 2.73 presenta las fórmulas más conocidas para esta forma de sección y la Fig. 2.63 una gráfica comparativa de dichas fórmulas. La curva que representa los resultados de Peterka y Macha se recomienda como la mejor para calcular dicha longitud. En todos los casos, la longitud del salto está en función del número de Froude  $F_r$ , antes del mismo ya

que, en cualquier caso, depende de los tirantes conjugados y estos de dicho número.

Según Pawar, la longitud de la onda en un salto ondular en un canal rectangular horizontal (Fig. 2:54 a) está dada por la ecuación siguiente:

$$L = \frac{1.2 \cdot 2\pi \cdot Y_2}{[2.5 \{ (Y_2/Y_1)^3 - 1 \}]^{1/2}}$$

donde  $Y_2$  es el tirante en el canal aguas abajo del salto. *Existen resultados longitudinales*

Tabla 2.23. Fórmulas para el cálculo de la longitud del salto hidráulico en canales horizontales de sección rectangular.

Smetana :  $L = 6 (Y_2 - Y_1)$

Woyciki :  $L = (8 - 0.05 \frac{Y_2}{Y_1})(Y_2 - Y_1)$

Safranez (ref. 23):  $L = 5.9 Y_1 Fr_1$

Iudin (ref. 19) :  $L = \frac{27 Fr_1}{6Fr_1 - 4.5} (Y_2 - Y_1)$

Pavlovski (ref. 19):  $L = 2.5 (1.9 Y_2 - Y_1)$

la longitud del salto hidráulico en secciones trapeciales ha sido estudiado por C. Andreani y M. Iglesias, con taludes variando de 0.5 a 1.0, comprobando además la validez de la ecuación de impulso y cantidad de movimiento. La Fig. 2.64, presenta los resultados de la longitud del salto, donde se utilizan los parámetros de entrada  $Y_1/Y_c$  y  $L/Y_c$ , así como el talud,  $Y_c$  representa el tirante crítico en el canal trapecial.

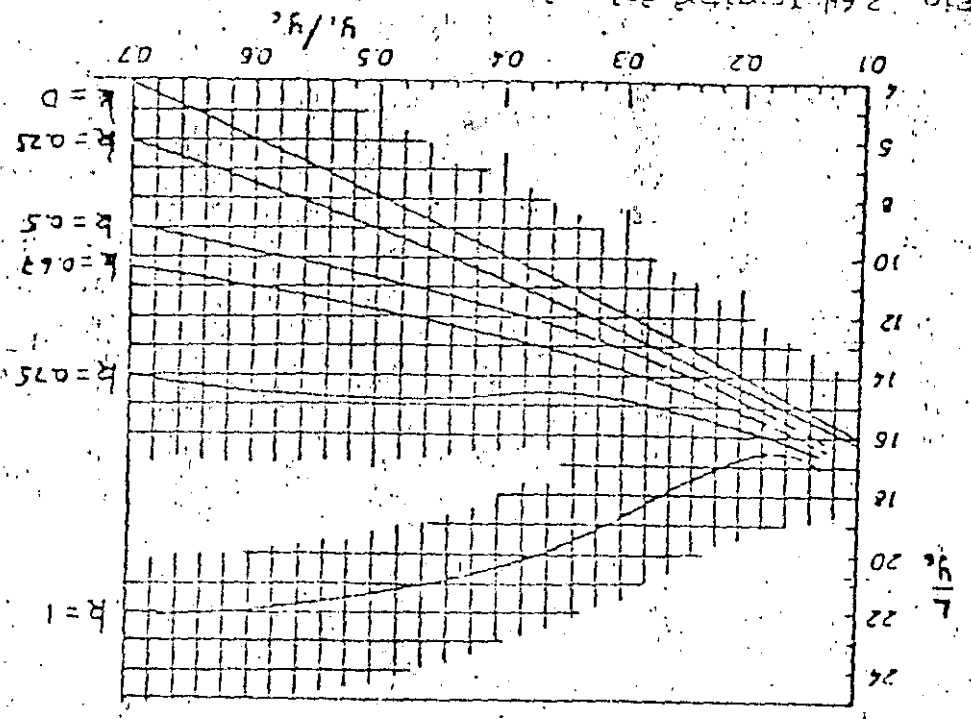
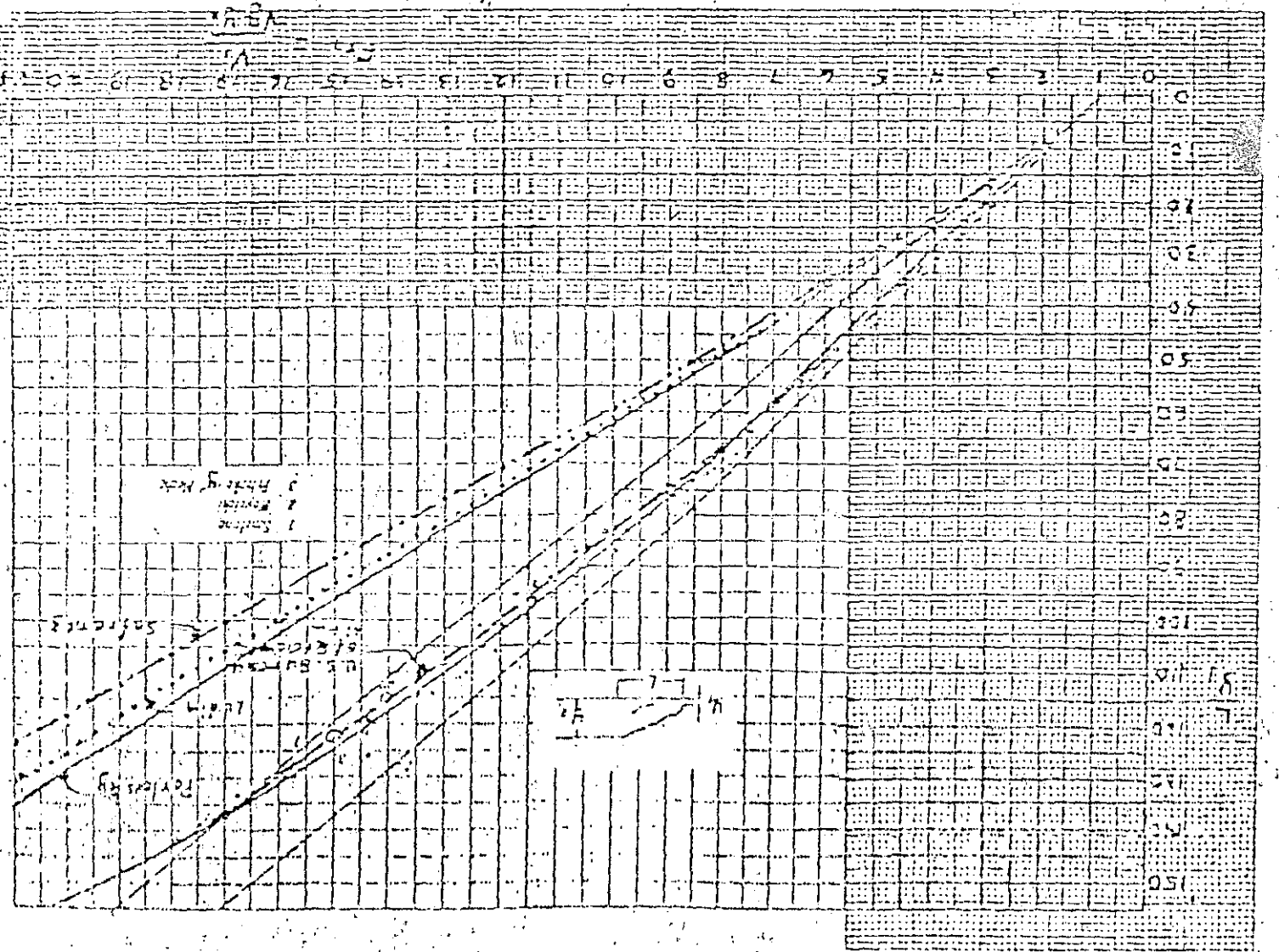


Fig. 2.63 Longitud del salto hidráulico en canales rectangulares



Sieñchin encontró también una fórmula experimental para la longitud del salto en secciones trapeziales. Esta es:

$$L = A (Y_2 - Y_1) \quad (2.34)$$

donde A depende del talud del canal, como se indica en la tabla 2.24  
 Tabla 2.24 Coeficiente A en la fórmula de Sieñchin.

Talud	0	0.5	0.75	1	1.25	1.5
A	5	7.9	9.2	10.6	12.6	15

### 2.13.5 Posición del salto.

La posición de un salto hidráulico, al pie de un vertedor o de una compuerta, queda supeditado al "tirante de salida  $y_2'$ " que exista aguas abajo del mismo. La magnitud de dicho tirante es independiente del tirante conjugado mayor  $Y_2$  del salto y más bien está sujeto a las condiciones o tipo de control que impongan el canal o las estructuras existentes aguas abajo.

De acuerdo con la magnitud relativa que haya entre  $y_2'$  y  $Y_2$  se forman los tres casos y tipos de salto mostrados en la Fig. 2.65.

El caso 1 de la figura representa la condición de "salto normal", en que  $y_2'$  es igual al tirante conjugado mayor del salto  $Y_2$ , satisfaciendo entonces la ecuación general (2.47) y presentándose el salto inmediatamente aguas abajo de  $Y_1$ . Para efectos de protección a la socavación producida por el salto, éste sería el caso ideal; sin embargo cualquier variación en las características hidráulicas relevantes del fenómeno pueden moverlo hacia aguas abajo de su posición estimada. Esto fuerza a utilizar siempre algún dispositivo para controlar su posición.

El caso 2 representa la condición para la que  $y_2' < Y_2$ . Esta implica que el salto se moverá hacia aguas abajo hasta aquella sección en que se satisfic nuevamente la ec. (2.47). Este tipo de salto se llama "barrido" y en lo posible debe evitarse en el diseño, ya que se formará en un sitio adelante de la zona re-vestida, produciendo entonces severas erosiones en el canal no protegido. Para remediar estos efectos, es necesario algún tipo de control sobre el piso en la zona del salto. Por ejemplo, la profundización del piso incrementa la magnitud de  $Y_2$  y forzará a un salto en la zona protegida, tal como se muestra en la

Fig. 2.46

El caso 3 representa la condición en que  $y_2' > y_2$ . Para este caso el salto se moverá hacia aguas arriba forzando al llamado "salto ahogado o sumergido". Este es el caso de diseño más seguro, ya que su posición puede fijarse más rápidamente; sin embargo, el diseño no es muy eficiente ya que se disipa poca energía.

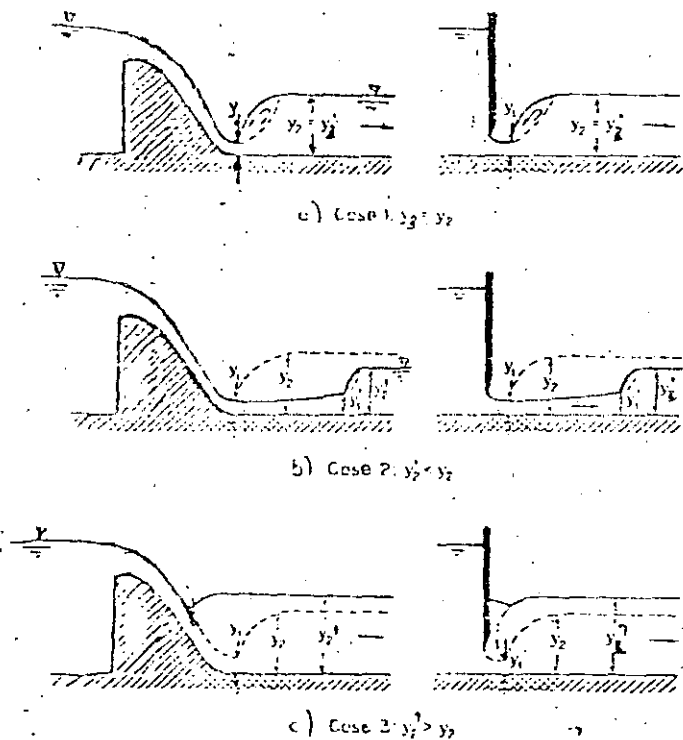


Fig. 2.45 Efecto del tirante de salida sobre la formación de un salto hidráulico.



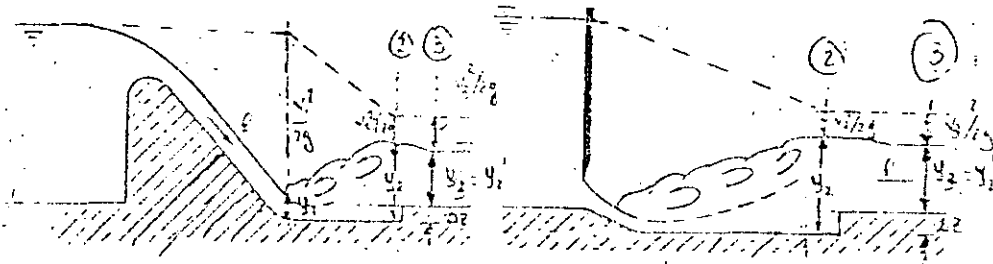


Fig. 2.66 Estabilización del salto hidráulico mediante la profundización del piso (tanque amortiguador).

Una manera aproximada de calcular la magnitud  $\Delta z$  de profundización del piso, que podría mejorar el diseño del caso 2 hasta lograr las condiciones del 1, consistiría en aplicar las ecuaciones generales. Con base en la geometría indicada en la Fig. 2.66 para un tanque amortiguador, entre las secciones 2 y 3 se debe satisfacer que:

$$y_2 + \frac{v_2^2}{2g} = \Delta z + y_3 + \frac{v_3^2}{2g} \quad (2.57)$$

donde se han despreciado las pérdidas entre dichas secciones. Además deberá verificarse por supuesto la ecuación general del salto (2.47) entre las secciones 1 y 2.

## 2.14 Flujo gradualmente variado

### 2.14.1 Clasificación de perfiles de flujo

Este flujo se refiere a un flujo permanente cuyo tirante varía gradualmente en la dirección del canal, de tal manera que las líneas de corriente son rectas y prácticamente paralelas y por lo mismo, la carga de presión en el fondo del canal se confunde con el tirante. Debido a que el flujo gradualmente variado involucra cambios pequeños de tirante, dicho flujo se refiere a longitudes grandes del canal.

La clasificación de los perfiles de flujo variado está basada en la pendiente del canal y la "zona" en que se aloja el perfil. Por lo que se refiere a la pendiente de la plantilla,  $S_o$  es positiva si desciende en la dirección del flujo, negativa si asciende y cero si es horizontal. En el caso de pendiente positiva, sobre ella se puede establecer un flujo uniforme de tirante  $Y_o$ , por lo cual dicha pendiente positiva podría ser:

"suave", si  $Y_o > Y_c$ , perfiles tipo "M"

"crítica", si  $Y_o = Y_c$ , perfiles tipo "C"

"pronunciada", si  $Y_o < Y_c$ , perfiles tipo "S"

La clasificación de la pendiente en uno de estos tipos dependerá de la rugosidad, de la magnitud misma de la pendiente y en menor grado del gasto. En el caso de pendiente cero o negativa, no existe posibilidad de flujo uniforme. En efecto, para  $S_o = 0$  el tirante normal es  $Y_o = \infty$  y para  $S_o < 0$  un valor positivo-finito de  $Y_o$  es físicamente imposible.

Cualquiera que sea la pendiente, para un gasto dado y sección del canal las líneas (referidas a la plantilla) que indicarían la altura del tirante normal y del crítico, dividen el espacio en que podría desarrollarse el perfil de flujo en tres zonas:

Zona 1: el espacio arriba de la línea superior.

Zona 2: el espacio entre las dos líneas.

Zona 3: el espacio abajo de la línea inferior.

dentro de éstas queda alojado cualquier perfil de tirante  $y$ .

Se recuerda también que si:

$\frac{dy}{dx} > 0$ , el perfil de la superficie libre diverge de la plantilla

$\frac{dy}{dx} = 0$ , el perfil de la superficie libre es paralelo a la plantilla

$\frac{dy}{dx} < 0$ , el perfil de la superficie libre converge con la plantilla

De acuerdo con estas consideraciones, existen diferentes formas para el perfil de la superficie libre en un flujo gradualmente variado (12 en total) - y que se muestran en la Fig: 2.67.

La forma del perfil depende de las condiciones particulares en el canal; el incremento o disminución del tirante depende de las condiciones en que se desarrolle el perfil.

En cada zona existe un perfil distinto que es válido de los límites de esa zona. La forma del perfil, al acercarse a las fronteras de la zona, se puede estudiar como sigue:

1. Cuando  $y \rightarrow \infty$ ,  $Fr^2$  y  $S_f \rightarrow 0$  y  $dy/dx \rightarrow S_o$ .

En este caso, la superficie del agua en el perfil es asintótica a la horizontal (curvas H2, A2). Cuando  $y \rightarrow y_o$  ( $S_o = S_f$ ) y el perfil del flujo es paralelo a la plantilla del canal, esto es, tiende al flujo uniforme (curvas M1, M2, C2, C3, S2, S3).

2. Cuando  $y = y_c$ ,  $dy/dx = \infty$ ; esto es, el perfil del flujo se vuelve vertical en la proximidad del tirante crítico. Esto significa que si el perfil se desarrolla en régimen supercrítico ocurre una discontinuidad, presentándose un salto hidráulico antes de que  $y$  alcance el valor  $y_c$  (curvas M3, H3, A3), por el contrario si el perfil se desarrolla en régimen subcrítico, dicho perfil logra una gran curvatura al aproximarse  $y$  al valor  $y_c$ , para volverse vertical en el punto en que  $y = y_c$  (curvas M2, H2, A2). En ambos casos, se presenta un flujo rápidamente variado (curvilíneo) que no puede tratarse con la teoría aquí desarrollada.

3. Cuando  $y = 0$ , tanto  $S_f$  como  $F_r^2 \rightarrow \infty$ , de tal manera que  $dy/dx$  tiende a un límite positivo finito, cuya magnitud depende de la sección particular que se trate. Este resultado es de poco interés práctico debido a que no puede existir un tirante cero.

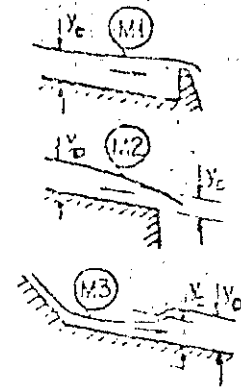
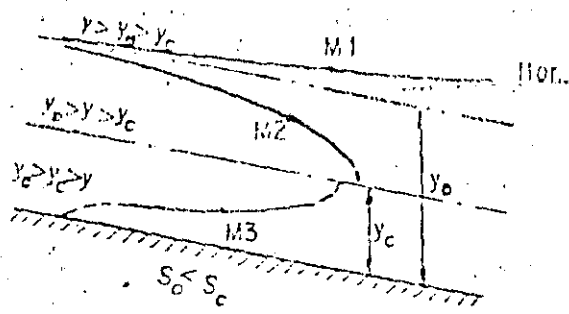
En la Fig 2.67 se presentan algunos ejemplos prácticos de los perfiles y a continuación algunos comentarios acerca de dichos perfiles:

Tipo M. El perfil M1 es muy común. Las estructuras de control, tales como vertedores y compuertas y otros accidentes naturales, como estrechamientos y curvas, pueden producir un efecto de remanso en un canal o río, extendiéndose varios kilómetros hacia aguas arriba, tomándose como límite o longitud de dicho remanso aquella sección en que el tirante difiere en uno por ciento, respecto del normal. El perfil M2 ocurre cuando el tirante se reduce, por ejemplo, en un estrechamiento de la sección o en la proximidad de una caída. El perfil M3 se puede encontrar aguas abajo de un cambio de pendiente de supercrítica a subcrítica o después de la descarga de una compuerta. Este perfil está rígido por las condiciones aguas abajo y termina normalmente en un salto hidráulico. Los perfiles M2 y M3 son muy cortos en comparación con el M1.

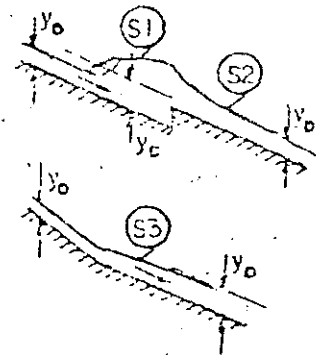
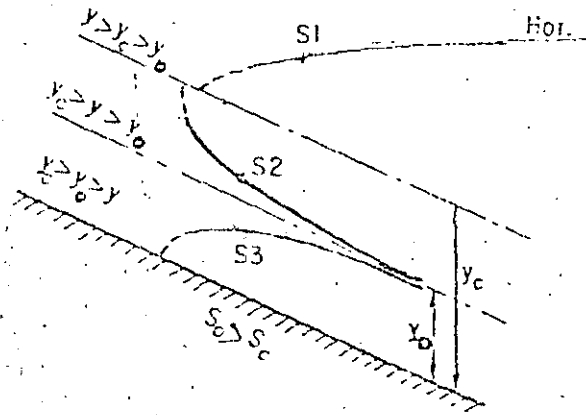
Tipo S. El perfil S1 es producido por una estructura de control como una presa o compuerta situada en un canal de gran pendiente. Principia después de un salto hidráulico y termina en la obstrucción. El perfil S2 es generalmente muy corto y se encuentra, comúnmente, a la entrada de un canal de gran pendiente o en un cambio de pendiente suave a pronunciada. El perfil S3 se puede producir aguas abajo de una compuerta situada sobre un canal de gran pendiente o aguas abajo de la intersección de un cambio de gran pendiente a otra de menos pendiente.

Tipo C. Como los tirantes normal y crítico coinciden, hay sólo dos perfiles. Estos son aproximadamente horizontales pero, por supuesto, la inestabilidad propia del estado crítico se manifiesta en la forma de una ondulación superficial apreciable.

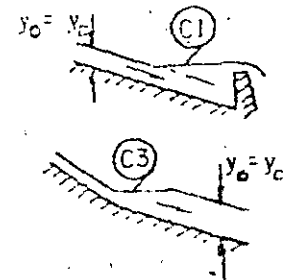
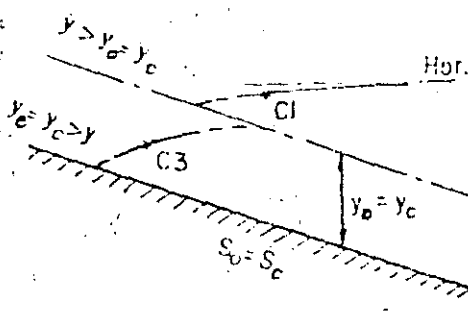
TIPO M



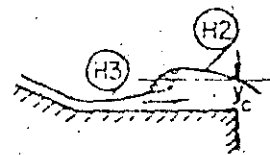
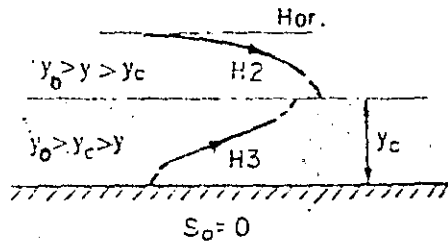
TIPO S



TIPO C



TIPO H



TIPO A

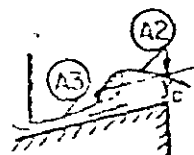
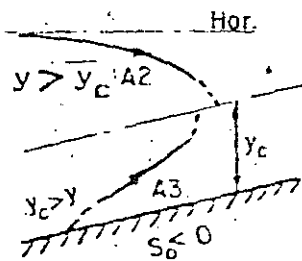


FIG. 2:67 EJEMPLOS PRACTICOS DE PERFILES DE FLUJO

Tipo H. Este perfil es el límite inferior de una pendiente suave. El tirante normal es infinito, por lo cual hay solo dos perfiles.

Tipo A. La pendiente  $S_0$  negativa es rara. Cuando el tirante es infinito,  $dy/dx = 1/S_0$ , lo que significa un perfil asintótico-cala horizontal. Los perfiles son extremadamente cortos.

En cualquier caso de flujo variado es aplicable, - uno solo de estos tipos de perfil y resulte conveniente familiarizarse con su clasificación. La habilidad para clasificar correctamente el flujo en un problema particular es un prerrequisito esencial en el cálculo del perfil de flujo.

#### 2.14.2 Sección de control

La sección de un canal en la que sea posible establecer una relación definida entre el nivel de la superficie libre del agua y el gasto correspondiente, se conoce como "sección de control". En general, dicha sección "controla",

el flujo, tanto en dirección aguas arriba como en dirección aguas abajo. Por sus propiedades, una sección de control es siempre un sitio adecuado para una estación de aforos.

Una sección crítica es una sección de control debido a que de la ec (2.32 b) se puede establecer una relación definida entre tirante y gasto, independientemente de la rugosidad del canal y otras circunstancias no controladas. Por otra parte, de la ec (2.32a) se obtiene que para la sección crítica la velocidad del agua vale:

$$V_c = \sqrt{g Y_c}$$

Si dicha velocidad se compara con el valor de la celeridad de las ondas de pequeña amplitud, se observa que en el estado crítico la velocidad crítica es igual a la celeridad de dichas ondas. Si el régimen es subcrítico, la velocidad del flujo es menor que la crítica y que la celeridad de dichas ondas; por tanto, en este tipo de régimen es posible la transmisión de disturbios hacia aguas arriba. Lo contrario acontece con el régimen supercrítico en el que los disturbios sólo se transmiten hacia aguas abajo.

En la práctica, esto significa que un mecanismo de control como una compuerta (Fig 2.68) puede hacer sentir su ---

influencia hacia aguas arriba del flujo; esto es, el régimen subcrítico está sujeto a un control desde aguas abajo. Por el contrario, el régimen supercrítico no puede quedar influenciado por lo que ocurre aguas abajo y sólo puede quedar controlado desde aguas arriba.

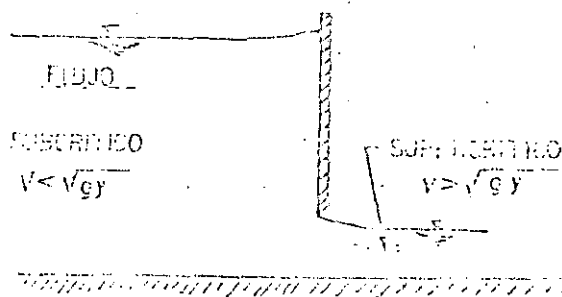


Fig. 2.68. Una compuerta deslizante que genera régimen subcrítico y supercrítico

Para el cálculo de un perfil en flujo variado es necesario establecer la sección de control que proporcione las condiciones iniciales.

Se procede hacia aguas arriba de la sección de control o hacia aguas abajo, según que el régimen en que se desarrolla el perfil sea subcrítico o supercrítico; dicho régimen depende a su vez de la pendiente de plantilla. Estas direcciones de cálculo se indican en la Fig 2.67 para todos los tipos de perfil.

Algunos ejemplos de secciones de control lo son -- las presas, vertedores y compuertas, debido a que el gasto está relacionado con la carga a través de una curva llamada de -- gasto - tirante . Como el tirante crítico depende únicamente del gasto y de la forma de la sección, cualquier intersección -- bien definida de la línea del perfil de flujo y la correspondiente al tirante crítico constituyen una sección de control. -- En efecto, considérese el caso de que  $S_0 = S_f$ . Esto significa que  $dy/dx = 0$ , o bien que  $F_r^2 = 1$ .

### 2.14.3 Síntesis de perfiles compuestos

Con las explicaciones dadas anteriormente se pueden interpretar - cualitativamente los perfiles y la superficie libre en un canal largo, de --- sección uniforme y con una gran variedad de pendientes, secciones de control y tipos de perfil. La Fig. 2.69 muestra dos canales, cada uno con la compuerta-deslizante cerca del extremo aguas abajo, para ilustrar el procedimiento. Se supone que la abertura de la compuerta y el gasto permanecen constantes.

El primer paso consiste en dibujar las líneas de



tirante normal y crítico, las cuales son paralelas a la plantilla. Siendo el canal prismático, el tirante crítico es el mismo en toda su longitud. En seguida se localizan las secciones de control en los sitios apropiados de entrada y salida, en los cambios de pendiente de suave a pronunciada y en la compuerta; ésta última, válida en ambas direcciones debido a que los tirantes hacia aguas arriba y hacia aguas abajo están gobernados por la ecuación de descarga de la compuerta.

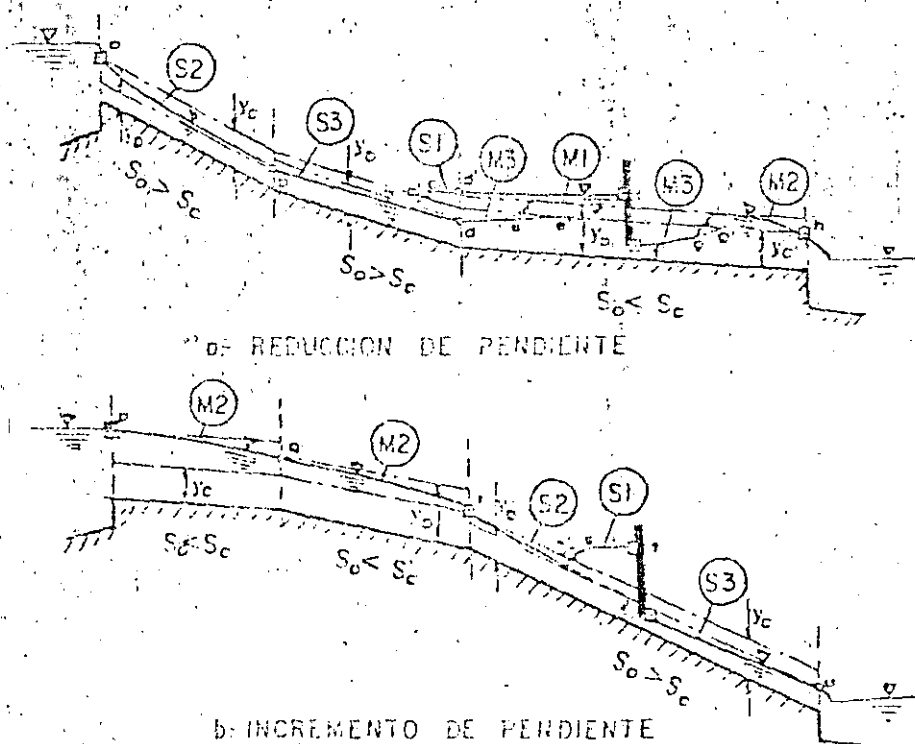


Fig 2.49 Identificación de perfiles y secciones de control

Con referencia a cada canal, se puede hacer el siguiente análisis.

**Canal a.** Siendo la compuerta una sección de control, se procede hacia aguas abajo de la sección f (debido a que el régimen es supercrítico), generando el perfil M3 que terminará en la sección donde se produzca el salto hidráulico. En efecto, al proceder hacia aguas arriba de la sección crítica (de control) h, se genera un perfil M2 (a régimen subcrítico). La sección g donde ocurre el salto hidráulico (que une los perfiles M3 y M2) se puede localizar tomando en consideración las condiciones que deben reunirse para que éste ocurra. En particular, debemos referirnos a la condición de igualdad de momen

tum antes y después del salto; esto es, teóricamente el fenómeno ocurrirá cuando los tirantes conjugados, así como las características hidráulicas del flujo antes del salto, satisfagan la ec. (2.47) adecuada a la forma de sección (subcapítulo 2.3.3). Sin embargo, para una localización más precisa, deberá tomarse en cuenta su longitud.

La Fig. 2.70 a presenta una ampliación de la región que se analiza en el canal 2. La curva A'B corresponde a la línea de los tirantes conjugados mayores calculados (con la ec. 2.47 adaptada a la forma de la sección) correspondientes a los tirantes de perfil M3 (considerados como conjugados menores). Por la posición del punto F' se puede estimar la longitud del salto. Por tanteos se busca la posición de una distancia horizontal igual a la longitud del salto entre las curvas A'B y CD. Por ejemplo, la distancia horizontal EF es igual a la longitud del salto correspondiente al tirante  $y_2$  en F. De este modo, el salto se formará entre G y F, debido a que el tirante en F es el conjugado del tirante en G y la distancia EF mide la longitud del salto. Debe observarse que si no se tomara en cuenta la longitud del salto en el análisis, el salto se formaría en el punto F', resultando así un error representado por F'F. Se observa también que a medida que crezca la distancia entre la compuerta y la sección crítica (Fig. 2.69a), el salto se moverá hacia aguas arriba o viceversa. Volviendo al canal, se procede en la dirección de aguas abajo de la sección de control a (debido a que el régimen es supercrítico) y se pueden trazar los perfiles S2, S3 y M3 hasta el punto e' en la intersección con la línea de tirante crítico. De manera análoga, se procede hacia aguas arriba de la sección de control f debido a que el flujo es subcrítico; los perfiles M1 y S1 se extienden hasta la línea de tirante crítico en e'. En alguna sección entre c' y e', el perfil superior tiene un tirante conjugado en el inferior ocurriendo el salto hidráulico de transición. Esto se analiza mejor si nos referimos a las Figs. 2.70 b y c. El salto puede ocurrir tanto en el tramo de pendiente pronunciada o suave dependiendo de que el tirante  $y_2$  aguas abajo sea mayor o menor que el tirante  $y_1$  conjugado mayor del tirante aguas arriba  $y_1$ . Si el tirante  $y_2$  es mayor que  $y_1$ , el salto ocurrirá en el tramo de pendiente pronunciada, siendo la curva OC de la superficie del tipo S1. Determinamos ahora una distancia horizontal IJ entre A'P y CO que sea igual a la longitud del salto. El salto HJ empezará en la sección que contenga a I. Si el tirante  $y_2$  baja aproximadamente a menos que  $y_1$ , el salto empezará a moverse hacia el tramo de pendiente suave y se localizará como en la Fig. 2.70a. Por lo que respecta a los perfiles del canal a (Fig. 2.69 a) se deduce que realmente la compuerta no ayuda a controlar el gasto y más bien éste queda definido por las condiciones en la sección a de entrada al canal. El régimen después de la entrada es supercrítico (curva S2) independientemente de la presencia o no de la compuerta aguas abajo, esto es, la sección a es de control.

sin embargo, si se cerrara la compuerta a tal grado que el remanso producido forzase a que el salto hidráulico alcanzara la sección de entrada (llegando incluso al ahogamiento), esto permitiría que todo el flujo aguas arriba de la compuerta fuera en régimen subcrítico y ella serviría efectivamente para controlar los gastos.

También se concluye que si se desea que la compuerta controle efectivamente las descargas, ésta debe quedar sobre la sección  $a$ , a una distancia corta aguas abajo.

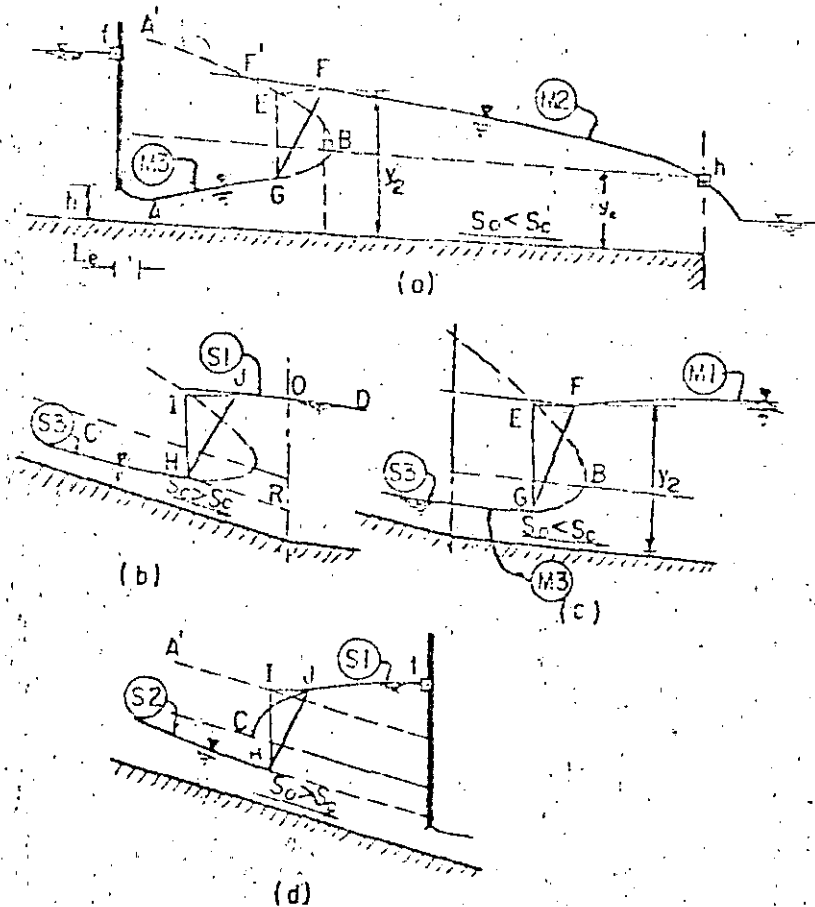


Fig 2.70 Localización del salto hidráulico en los canales de la fig 2.69

Del análisis se concluye que se debe conocer el gasto antes de determinar los perfiles de flujo. En la mayoría de los casos (como el de la fig 2.69 b), no se conoce previamente, pero puede determinarse a partir de la información necesaria --

De los niveles del depósito, pendientes, etc. Suponiendo un cierto valor del gasto, se calculan los valores de  $y_0$  y  $V_0$  y se determinan los perfiles de flujo aguas arriba y aguas abajo de los controles. El perfil calculado aguas arriba de la compuerta llega al depósito con ciertos valores de  $y$  y  $V$ , a partir de los cuales, se obtiene la energía específica que debería ser la disponible en la sección de entrada para el gasto considerado. Si esto no es cierto, significa que el valor supuesto es erróneo y que debe elegirse un nuevo valor hasta que se llegue a la sección de entrada con la energía disponible.

Dada una cierta pendiente del canal, es necesario primeramente definir si es suave o pronunciada, comparando el valor de los tirantes crítico y normal para decidir sobre el tipo de flujo en el tramo inicial.

El tratamiento anterior es típico. Por supuesto, el rango de posibles condiciones del canal es tan grande que no tiene objeto una explicación mas detallada. Después de identificar los perfiles, los niveles reales se evalúan por alguno de los métodos que se explicaran posteriormente.

Canal b. Supuesto que el tirante en la compuerta no es mucho mayor que el crítico, se encuentra una sección de control en  $r$ , punto de transición de subcrítico a supercrítico. De este modo, un salto hidráulico en el punto  $s'$  sirve de transición entre los perfiles  $S1$  y  $S2$ . En la Fig 2.70 d se muestra dicha transición, siendo la localización del salto análoga al del caso de la Fig 2.70 b.

Procediendo en la dirección aguas arriba de  $r$  (debido a que el régimen es subcrítico), existen dos perfiles  $M2$  distintos que llegan hasta el depósito superior en  $p$ , cuyo nivel de superficie debe ser apropiado al gasto, haciendo la consideración de una pequeña caída del nivel a la entrada del canal.

Aguas abajo de la compuerta se genera un perfil  $S3$  que termina en una caída libre hacia el recipiente inferior.

## 2.14.4 Métodos de diferencias finitas

### Aspectos generales

El método de diferencias finitas es el que tiene aplicaciones más amplias debido a que es adecuado para el análisis de perfiles de flujo, tanto en canales prismáticos como no prismáticos. Su aplicación se ha extendido a prácticamente cualquier perfil de flujo, sección transversal y tipo de canal, debido a que la solución numérica admite la utilización de microcomputadoras.

A continuación se presenta el método con dos variantes. El primero, llamado estándar, se aplica a canales prismáticos y elimina los tanteos al permitir el cálculo de la distancia que separa dos secciones de tirantes previamente especificados. El segundo, llamado de pasos, se aplica a canales prismáticos o no prismáticos y permite una solución por iteraciones en el valor del tirante de una de las secciones, conocidos el tirante en la otra y la longitud del tramo que las separa.

### Método estándar en canales prismáticos

El método permite la solución numérica de la ecuación diferencial del flujo variado.

2.11

En la Fig. se presenta el tramo de un canal prismático limitado por las secciones 1 (aguas arriba) y 2 (aguas abajo), separadas la distancia  $\Delta x$ . Al aplicar la ec. de energía a dicho tramo, se tendría que:

$$E_2 - E_1 = (S_0 - S_f) \Delta x \quad (2.58a)$$

en la cual,  $E_1$  y  $E_2$  representan la energía específica en las secciones 1 y 2 respectivamente, definida en rigor a través de la ec. de energía o en su forma simplificada como:  $E = Y + V^2/2g$  cuando la pendiente del canal es pequeña y  $\alpha = 1$ .  $S_0 = -\Delta z/\Delta x$  es la pendiente de la plantilla y  $S_f$  es la pendiente media de fricción en el tramo, calculada mediante la pendiente de fricción en cada sección como sigue:

$$S_f = \frac{1}{2} (S_{f1} + S_{f2}) \quad (2.59)$$

donde:

$$S_{f1} = \left( \frac{V_1^2 R_{h1}^2}{R_{h1}^{2/3}} \right)^2 \quad (2.60a)$$

$$S_{f2} = \left( \frac{V_2^2 R_{h2}^2}{R_{h2}^{2/3}} \right)^2 \quad (2.60b)$$

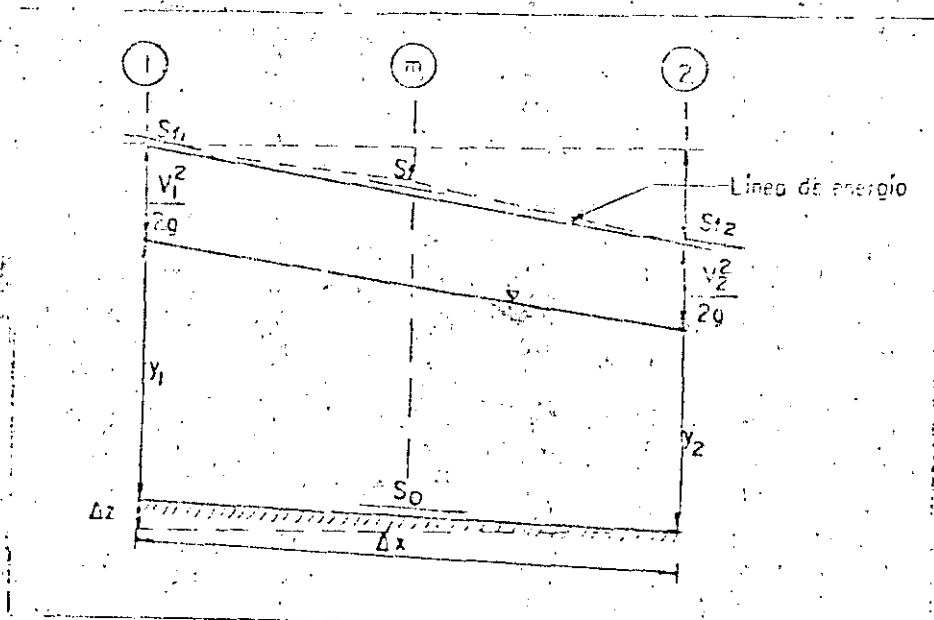


Fig. 2.71 Trazo corto en un canal prismático

Determinado el tipo de perfil y con ello el sentido en que se efectúa el cálculo, se conocerán las características hidráulicas en alguna de las dos secciones, en la 1 si el cálculo es en el sentido de flujo como en la Fig. 2.71 ó en la 2 si es en el sentido contrario. A partir de una sección de control de tirante conocido, se procederá a especificar un tirante en una sección próxima y de la ec. (2.58a) se tendría que:

$$\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f} \quad (2.58b)$$

sería la distancia que separa las dos secciones. El tirante especificado deberá tener un valor cercano al conocido en la otra sección, principalmente en las zonas de gran curvatura, a fin de no perder precisión en el cálculo. En la zona en que el perfil de flujo tiende asintóticamente al tirante normal o no tiene gran curvatura, pueden especificarse valores mayores del tirante respecto del conocido, a fin de reducir el tiempo de cálculo.

La precisión del método mucho depende de la herramienta de cálculo que se utilice ya que, tanto en el numerador como en el denominador de la ec. (2.58b), se efectúan restas de números muy parecidos. Por otra parte, el posible error involucrado en el cálculo de la longitud de cada tramo se acumula en la distancia total que se maneja.

Conviene aclarar que en ocasiones se presenta la necesidad de calcular el tirante en una de las dos secciones, cuando se conoce el tirante en la otra sección y la distancia que las separa. Por ejemplo, cuando se tiene un cambio en la pendiente del canal que no implique salto hidráulico, puede ocurrir que el cálculo de la longitud  $L_x$  del último tramo incluya parte de la nueva pendiente. En este caso, pueden resolverse cualquiera de las ecs. (2.58) por medio de tanteos del tirante desconocido hasta que se satisfaga la ecuación con la longitud conocida.

Otros métodos para canales prismáticos pueden consultarse en las refs. 13 y 25.

Ejemplo 2.12. Un canal trapecial tiene un ancho de plantilla  $b = 5$  m, talud  $K = 1$  y para una pendiente  $S_0 = 0.0004$ , adopta un tirante normal  $y_0 = 1.75$  m en flujo uniforme para un factor de fricción de Manning  $n = 0.025$  (fig. 2.72). A partir de cierta sección en adelante, es necesario aumentar la pendiente del-

canal a  $S_0 = 0.17591 > S_c$  . a) Calcular la distancia  $\Delta x$  que deberá revestirse de concreto ( $n = 0.015$ ) suponiendo que el material en que se excava el canal resista hasta una velocidad de 1.50 m/s.

Solución Para  $y_0 = 1.75$  m, el área hidráulica, perímetro mojado y radio hidráulico son

$$A = (5 + 1.75) 1.75 = 11.6125 \text{ m}^2$$

$$P = 5 + 2 \sqrt{2} 1.75 = 9.9497 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{11.6125}{9.9497} = 1.1672 \text{ m}$$

La velocidad media y el gasto valen:

$$V = \frac{1}{0.025} (1.1672)^{2/3} (0.0004)^{1/2} = 0.897 \text{ m/s.}$$

$$Q = 11.6125 \times 0.897 = 10.5953 \text{ m}^3/\text{s.}$$

Cálculo del tirante crítico. Siguiendo el procedimiento normal, se calcula el parámetro:

$$\frac{Q^2}{b^3} \frac{1}{g} = \frac{10.595^2 \times 1}{5^3 \sqrt{9.8}} = 0.0605$$

De la Fig 2.50 resulta que  $k y_c/b = 0.146$ , por lo tanto:

$$y_c = \frac{0.146 \times 5}{1} = 0.73 \text{ m}$$

el cual puede afinarse haciendo que se satisfaga la ec (2.32). Para  $Q^2/g = (10.5953)^2/9.8 = 11.4551$ , los cálculos se resumen en la tabla 2.25.

Tabla 2.25 Cálculo del tirante crítico

$y_c$	$A_c$	$A_c^3$	$B_c$	$A_c^3/B_c$
0.73	4.1829	73.1867	6.46	11.3292 $\neq$ 11.4551
0.735	4.2152	74.8966	6.47	11.5760 $\neq$ 11.4551
0.733	4.2022	74.2092	6.466	11.4768 $\doteq$ 11.4551



Por lo tanto,  $y_c = 0.733$  m y la velocidad crítica vale:

$$V_c = \frac{10.5953}{4.2022} = 2.521 \text{ m/s}$$

Es necesario calcular la pendiente crítica para  $n = 0.015$ . Siendo el perímetro mojado:  $P_c = 5 + 2\sqrt{2} \times 0.733 = 7.0732$  m y el radio hidráulico,  $R_{hc} = 4.2022/7.0732 = 0.594$  m, la pendiente crítica vale:

$$S_c = \left( \frac{V_c n}{R_{hc}^{2/3}} \right)^2 = 0.002864$$

Dentro de la zona revestida el factor de fricción es  $n = 0.015$ , por lo tanto, para aplicar el método de Chow será necesario calcular el tirante normal que se establecería en el supuesto de que todo el canal estuviese revestido. Esto se debe a que dicho método vale para canales prismáticos y sin cambios de rugosidad. Para  $n = 0.015$  y el mismo gasto, se procede entonces a calcular el tirante normal.

Se calcula el siguiente parámetro

$$\frac{nQ}{Ab^{8/3} S_o^{1/2}} = \frac{0.015 \times 10.5953}{5^{8/3} \times (0.0034)^{1/2}} = 0.1087$$

Por lo cual, de acuerdo con la ec de Manning  $AR_h^{2/3}/b^{8/3} = 0.1087$  y de la Fig. 2.43, se obtiene  $y_o/b = 0.26$  y de aquí

$$y_o = 0.26 \times 5 = 1.30 \text{ m}$$

La tabla 2.26 permite afinar este resultado utilizando la ecuación:  $Q = A R_h^{2/3} S_o^{1/2} / n = 1.3333 A R_h^{2/3}$

Tabla 2.26 Cálculo del tirante normal en el ejemplo 2.12

$y_o$ m	$A$ $m^2$	$P$ m	$R_h$ m	$R_h^{2/3}$	$Q$ $m^3/s$
1.30	8.19	8.6769	0.9439	0.9622	10.5075 $\neq$ 10.5953
1.305	8.2280	8.6911	0.9467	0.9642	10.577
1.306	8.2356	8.6939	0.9473	0.9646	10.592 $\approx$ 10.5953

Por lo tanto, el tirante normal para  $n = 0.015$  es 1.306 m y la velocidad vale

$$V_o = \frac{10.5953}{8.2356} = 1.2865 \text{ m/s} < 1.50 \text{ m/s}$$

De los resultados obtenidos se deduce que  $y_0 > y_c$  y  $S_0 < S_c$  en el canal aguas arriba del cambio de pendiente y que  $S_0 > S_c$  y el canal aguas abajo del cambio de pendiente, el tirante crítico se presentará en dicho cambio. Por lo tanto, el perfil en el tramo aguas arriba será del tipo M2 debiendo realizar el cálculo hacia aguas arriba de la sección crítica. Para el tramo aguas abajo el perfil es del tipo S2 y el cálculo se hará hacia aguas abajo de la sección crítica. En ambos casos, el tirante crítico sería la condición inicial para efectuar el cálculo.

El área de la sección donde se va a calcular el tirante deberá ser

$$A = \frac{10.5953}{1.50} = 7.0635 \text{ m}^2$$

Debiendo verificarse que:

$$(5 + y) y = 7.0635$$

resulta que  $y = 1.149$  m. Por lo tanto, el problema que se plantea consiste en encontrar la distancia  $\Delta X$  que separa la sección crítica (de tirante  $y_c = 0.733$  m) y una sección cuyo tirante es de 1.149 m, donde la velocidad es de 1.50 m/s.

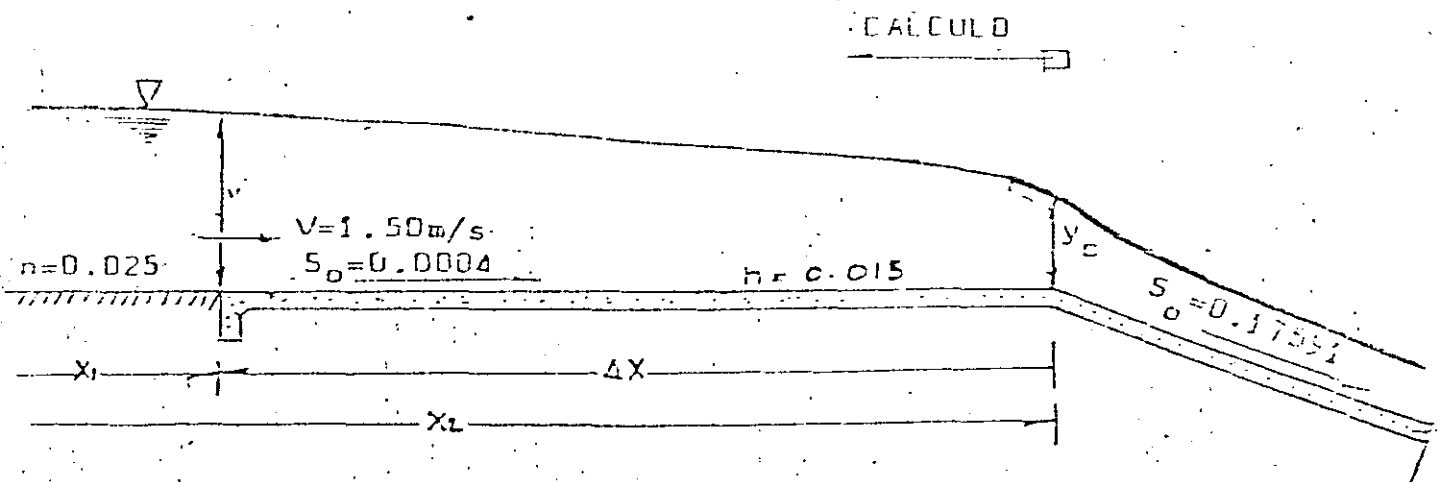


Fig. 2.72 Esquema del canal en el ejemplo 2.12

crítica cuyo tirante es  $y_c = 0.733$  m, hasta terminar en la --  
sección de tirante  $y = 1.149$  m.

Mediante la ec (2.58 b) se encontrarán las distan--  
cias que separan las secciones cuyos tirantes especificaremos--  
previamente. Lo más sencillo sería incrementar linealmente esos  
tirantes, calculando el incremento uniforme como sigue:

$$\Delta y = \frac{1.149 - 0.733}{5} = 0.0832 \text{ m}$$

siendo los tirantes:  $y_c = 0.733$  m,  $y = 0.816$  m,  $y = 0.8994$  m  
 $y = 0.9826$  m,  $y = 1.0658$  m y  $y = 1.149$  m. Sin embargo, debido  
a que en la proximidad de la sección crítica es mayor la curva--  
tura del perfil de flujo, convendrá que en dicha zona se elijan  
incrementos mayores para obtener distancias  $\Delta x$  que no sean muy  
pequeñas en comparación con las otras.

Se proponen, por ejemplo, los siguientes tirantes:

$$y_c = 0.733 \text{ m}$$

$$y = 0.91 \text{ m}$$

$$y = 0.99 \text{ m}$$

$$y = 1.06 \text{ m}$$

$$y = 1.11 \text{ m}$$

$$y = 1.149 \text{ m}$$

Calcularemos en seguida la distancia  $\Delta x$  a que se  
encontran las secciones de tirante  $y_c = 0.733$  m y  $y = 0.91$  m.  
Siguiendo la nomenclatura de la Fig 2.71, la sección 2 corres--  
ponde a la crítica y la 1 a la de tirante  $y = 0.91$  m. Para --  
cada una de estas secciones calculamos los elementos geométricos  
e hidráulicos como sigue:

$$\text{Sección 2. } y = 0.733 \text{ m}$$

$$A_2 = (5 + 0.733) 0.733 = 4.2023 \text{ m}^2$$

$$P_2 = 5 + 2 \sqrt{2} 0.733 = 7.0732 \text{ m}$$

$$R_{h2} = \frac{4.2023}{7.0732} = 0.594 \text{ m}$$

$$R_{h2}^{2/3} = 0.7067$$

$$V_2 = \frac{10.5953}{4.2023} = 2.521 \text{ m/s}$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = 0.324 \text{ m}$$

$$E_2 = 1.05734 \text{ m}$$

$$S_{f2} = \left( \frac{V_2 n}{R_{h2}^{2/3}} \right)^2 = \left( \frac{2.521 \times 0.015}{0.7067} \right)^2 = 0.0028638$$

Sección 1.  $y_1 = 0.91 \text{ m}$

$$A_1 = (5 + 0.91) 0.91 = 5.3781 \text{ m}^2$$

$$P_1 = 5 + 2 \sqrt{2} 0.91 = 7.5739 \text{ m}$$

$$R_{h1} = \frac{5.3781}{7.5739} = 0.7101 \text{ m}$$

$$R_{h1}^{2/3} = 0.7959$$

$$V_1 = \frac{10.5953}{5.3781} = 1.9701 \text{ m/s}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = 0.1980 \text{ m}$$

$$E_1 = 1.1080 \text{ m}$$

$$S_f = \left( \frac{V_1 n}{R_{h1}^{2/3}} \right)^2 = \left( \frac{1.9701 \times 0.015}{0.7959} \right)^2 = 0.0013784885$$

La pendiente media de fricción vale:

$$S_f = \frac{0.0028638 + 0.001378}{2} = 0.002121$$

Aplicando la ec (2.58 b), la distancia entre las dos secciones vale:

$$\Delta x = \frac{1.05734 - 1.1080}{0.0004 - 0.002121} = \frac{-0.05066}{-0.001721} = 29.45 \text{ m}$$

Por un procedimiento semejante se puede calcular la distancia que hay entre las secciones de tirante  $y_1 = 0.90 \text{ m}$  y  $y = 1.00 \text{ m}$ . La primera pasa a ser la sección 2 y la segunda la-1. Los cálculos se pueden resumir en la tabla 2.27 para el total de las secciones.

Tabla 2.27. Cálculo de tirantes-distancias por el método de diferencias finitas

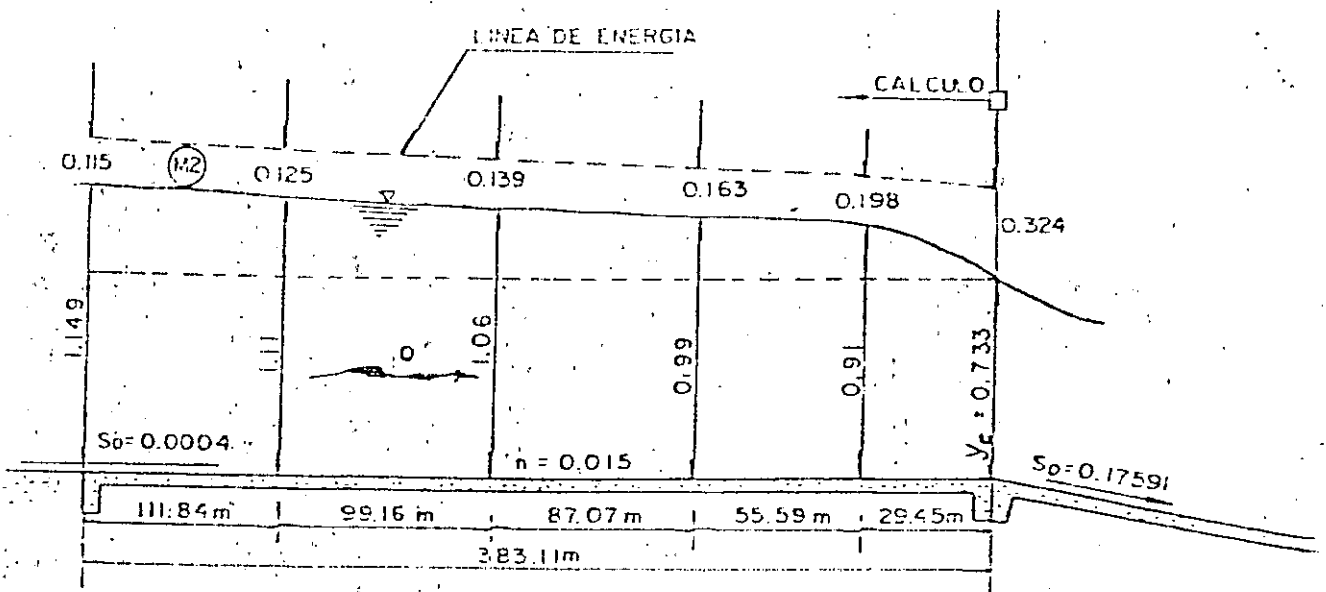
$y_i$ (m)	$A_i$ (m <sup>2</sup> )	$P_i$ (m)	$R_{hi}$ (m)	$H_{hi}^{2/3}$	$V_i$ (m/s)	$V_i^2/2g$ (m)	$E_i$ (m)	$S_{fi}$	$S_f$	$\Delta x$ (m)
0.733	4.2023	7.0732	0.8941	0.7057	2.5213	0.3243	1.0573	0.002354		
									0.002121	29.45
0.91	5.3781	7.5739	0.7101	0.7959	1.9701	0.1960	1.1030	0.001378		
									0.001207	55.59
0.99	5.9301	7.8001	0.7603	0.8330	1.7667	0.1629	1.1529	0.001035		
									0.0009275	87.07
1.05	6.4236	7.9981	0.8031	0.8540	1.6494	0.1388	1.1988	0.0008200		
									0.0007602	99.15
1.11	6.7821	8.1395	0.8332	0.8855	1.5522	0.1245	1.2345	0.0007004		
									0.0006513	111.84
1.149	7.0552	8.2499	0.8564	0.9018	1.4995	0.1147	1.2637	0.0006222		

$L = \sum \Delta x = 383.11m$

Los resultados indican que debe revestirse una longitud que vale

$L = 29.45 + 55.59 + 87.07 + 99.16 + 111.84 = 383.11m$

En la Fig 2.73 se presenta un esquema del perfil de flujo de acuerdo con los resultados aquí obtenidos.



DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS

TEMA VI. PROYECTO DE DRENAJE EN AEROPUERTOS

CAPITULO 3 FUNDAMENTOS DE HIDROLOGIA

\* POR EL M.EN I. GILBERTO SOTELO AVILA

AGOSTO DE 1984.

- \* Una parte del material ha sido obtenido del Manual de Diseño - de Obras Civiles de C.F.E. y la otra parte de la Publicación Drenaje en Carreteras y Aeropuertos de Gilberto Sotelo Avila. Publicación 315 del Instituto de Ingeniería, UNAM de Junio de 1973.

### 3.1 INTRODUCCION

#### 3.1.1 Aspectos Generales

Hidrología es la ciencia que trata de las aguas de la tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades químicas y físicas y su reacción con el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivientes.

El agua es un líquido vital y escaso. Su uso es básico en las actividades domésticas, la industria, comercio, agricultura y recreación y por ello es necesario contar con técnicas adecuadas para la planeación, manejo y desarrollo de los aprovechamientos hidrológicos. También es importante evaluar y predecir eventos hidrológicos con el fin de construir las obras que permitan su control y eliminación, como es el caso de los sistemas aeroportuarios. El entendimiento en la problemática del recurso agua es de gran importancia en aspectos físicos de los sistemas hidrológicos, pero también en la manera en que los componentes hidrológicos puedan sintetizarse para una planeación efectiva.

En el diseño de una obra hidráulica son dos los principales aspectos hidrológicos de interés, a saber:

- a) Conocimiento de la cantidad, frecuencia y naturaleza de ocurrencia de movimiento de agua sobre la superficie de la tierra.

Esto se requiere en el diseño de sistemas de riego, abastecimiento de agua, aprovechamientos hidroeléctricos y navegación de ríos.

- b) Obtención de la avenida máxima que con una determinada frecuencia puede ocurrir en un cierto lugar, lo que es necesario considerar en el diseño de vertedores, puentes y drenaje en general.

Las limitaciones de la hidrología se relacionan con la información hidrológica disponible y la complejidad de los procesos naturales con los cuales trata.

La República Mexicana dispone de una amplia red de estaciones climatológicas controladas principalmente por la Secretaría de Agricultura y Re



cursos Hidráulicos y en parte por la Comisión Federal de Electricidad y La Comisión Internacional de Límites y Aguas. En la Tabla 3.1 se muestran las principales publicaciones de que se dispone en el país con información Hidrológica. Por otra parte, la Dirección de Hidrología de la S.A.R.H., ha dividido el país en 37 regiones hidrológicas y dispone de planos indicando las estaciones climatológicas e hidrométricas que se encuentran en cada una de ellas. Además del nombre de la estación, consigna los años de registro y que dependencia la controla.

El ciclo hidrológico es un proceso continuo por medio del cual el agua es transportada de los océanos a la atmósfera, a la tierra y regresa al mar. Dentro de este ciclo existen diversos subciclos. Un ejemplo de esto es la evaporación del agua de la superficie terrestre y su subsecuente precipitación sobre ella antes de regresar al océano. La fuerza que controla la totalidad del sistema del transporte del agua proviene del sol, el cual provee la energía requerida para la evaporación. Cabe hacer notar que las cualidades del agua también cambian durante su paso a través del ciclo; el agua de mar se convierte en agua fresca por la evaporación.

En la fig. 3.1, se muestra

las fases que estudia la hidrología.

Como puede observarse en la fig. 3.1, las componentes del ciclo hidrológico involucran las diversas fases a que está sujeta una cuenca hidrológica. Esto es básico en el análisis de los procesos hidrológicos y en el desarrollo de modelos de simulación, los cuales tratan al ciclo hidrológico como un sistema cerrado y definen en forma continua los parámetros

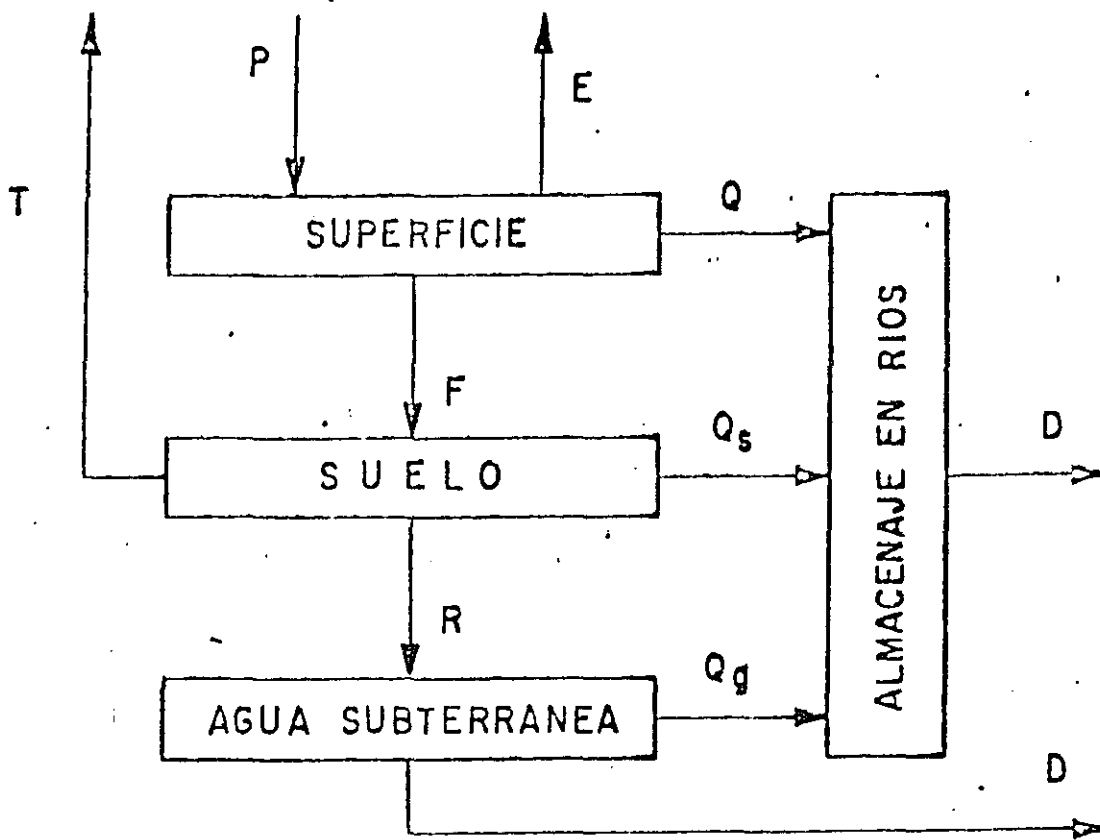


Fig 3.1 Fases que estudia la hidrología

TABLA 3.1.

INFORMACION HIDROLOGICA EN LA REPUBLICA MEXICANA

de entrada y salida a dicho sistema.

PUBLICACION	ALCANCE	FRECUENCIA	DEPENDENCIA
Boletín Hidrológico del Valle de Mexico	Datos Hidrométricos y Meteorológicos del Valle de México	Anual	Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, SARH.
Boletín del Servicio Meteorológico Nacional	Observaciones pluviométricas y termométricas*	Mensual	Dirección General de
Boletín Hidrométrico	Escorrentamiento del río Colorado y otros ríos internacionales del Oeste	Anual	Comisión Internacional de Límites y Aguas, SRE.
Boletín Hidrométrico	Datos Hidrométricos y climatológicos del río Papaloapan	Anual	Comisión del Papaloapan, SARH
Boletín Hidrológico	Datos Hidrométricos*	Periódica	Comisión Federal de Electricidad
Boletín Meteorológico	Datos Meteorológicos*	Periódica	Comisión Federal de Electricidad
Boletín Hidrológico	Datos Hidrométricos**	Periódica	Dirección de Hidrología, SARH
Boletín Climatológico	Datos Climatológicos región Hidrológica No.12-A(parcial)	Información hasta dic.de 1972	Dirección de Hidrología, SARH

\* Se refiere a sus estaciones en toda la República Mexicana

\*\* Abarca información por región Hidrológica. El país está dividida en 37 regiones Hidrológicas

### 3.1.2 Conceptos importantes

En el análisis hidrológico de las áreas de drenaje intervienen fundamentalmente los dos componentes principales del ciclo hidrológico: precipitación y escurrimiento. Con base en los registros de mediciones efectuadas, es posible establecer la relación que existe entre ambos, considerando las mediciones directas factibles de obtener, la estimación de condiciones que no son posibles de medir directamente y la predicción de la probable ocurrencia de eventos dentro de un lapso especificado. A ellas quedan supeditadas las condiciones de diseño de la estructura.

En general, la intensidad de una lluvia se refiere al valor medio de la misma y corresponde a la relación entre la altura total de precipitación ocurrida y el tiempo de duración de la tormenta. Por esta razón, en lugar de la intensidad de una tormenta se suele utilizar la altura de precipitación total al término de duración de la misma. En cualquier caso, la medición de la intensidad de una tormenta y su duración, solo es posible si se cuenta con un registro completo de su variación en el tiempo tomado de un pluviógrafo. Dichos datos son muy escasos en nuestro país, y por lo tanto es necesario utilizar métodos de trasposición de los datos obtenidos en una estación a otra donde no existen, o bien de los promedios de una cuenca a otra.

Las características de la tormenta se refieren entonces a los datos obtenidos en una estación. Para determinar los valores medios en toda una cuenca, son necesarios los registros del mayor número de estaciones dentro y fuera de la misma y utilizar el método de promedios pesados de Thiessen, que toma en cuenta la densidad y distribución de las estaciones, o bien el de las isoyetas, que incluye los efectos orográficos sobre la distribución de las lluvias. Con estos métodos se determina un valor representativo de la altura de precipitación que se considera uniformemente distribuido sobre toda la cuenca. En el caso de áreas de drenaje pequeñas, son bas-

tante representativos los datos así obtenidos y en ocasiones puede ser suficiente con los datos de la estación más próxima, sin que esto sea una regla plenamente justificada. La influencia de la magnitud del área se puede determinar por el cálculo de las curvas altura máxima de precipitación-área-duración.

La disponibilidad de mayor cantidad de datos en cada cuenca particular permite obtener más aproximación en la predicción de eventos que sirvan como condiciones de diseño para un sistema de drenaje. Por lo que respecta al régimen de lluvias en determinada región, los datos correspondientes por lo menos a cinco años de registro pueden ser representativos del mismo para su aplicación en el análisis.

El escurrimiento es el aspecto más importante del problema que se analiza. Representa la suma del escurrimiento superficial y del proveniente del subsuelo. El escurrimiento superficial es igual al producido directamente por la precipitación menos el de retención superficial transformado en evapotranspiración e infiltración.

En los problemas de drenaje que aquí se plantean, se suele adoptar en el diseño solo los efectos del escurrimiento superficial, por tratarse de cuencas pequeñas y por el poco aporte proveniente de las aguas del subsuelo. Un hecho semejante se tiene con las pérdidas por evapotranspiración al seleccionarse condiciones de diseño con lluvias de poca duración. Existe un gran número de factores que influyen en los volúmenes de escurrimiento superficial. Algunos de los más importantes son la topografía, el tipo de suelo, la vegetación, el tamaño, pendiente y densidad de drenaje de la cuenca, el uso de la tierra y las condiciones antecedentes de humedad en el suelo. Todos ellos tienen un efecto considerable sobre la cantidad de precipitación que se infiltra o se pierde por evapotranspiración.

La capacidad de infiltración para un área específica es la cantidad de agua proveniente de una lluvia que puede ser absorbida por el suelo y varía con la forma de la precipitación, tipo de suelo y de las condiciones antecedentes de hu-

medad. Durante una tormenta de duración considerable, la infiltración es al principio muy grande, después disminuye y al final permanece prácticamente constante al transcurrir un periodo prolongado de tiempo. La intensidad de la precipitación tiene también efecto de acuerdo con su magnitud; así, el agua de lluvia tiene mayor oportunidad de infiltrarse cuando la precipitación es de alta intensidad y corta duración, que cuando es pequeña pero de gran duración,

La evapotranspiración y la capacidad de infiltración se pueden obtener de mediciones directas, cuantificándolas con unidades semejantes a las de la precipitación. Se ha hecho uso también de fórmulas empíricas, las que difícilmente toman en cuenta todos los factores que intervienen.

Otra forma de cuantificarlos, y quizá la más racional, es a través de los métodos de relación precipitación—escurrimiento que determinan los volúmenes perdidos por estos conceptos.

La medición de los gastos de escurrimiento se efectúa directamente por medio de estaciones de aforo, y cuando estas no existen, por lo métodos de sección—pendiente con base en las huellas dejadas por el agua en épocas pasadas. La distribución de los gastos de escurrimiento a lo largo del tiempo se representa gráficamente por medio de un hidrograma, que puede referirse a una avenida aislada o a la distribución a lo largo de uno o más años de registro.

En la determinación del gasto pico de diseño es importante el concepto de tiempo de concentración que representa el intervalo requerido para que el agua escurra desde el punto más alejado del área de drenaje hasta el punto de desfogue. Este tiempo puede incluir solo el utilizado por el escurrimiento superficial sobre el terreno o el utilizado al fluir en ríos y canales artificiales o ambos. Su determinación puede ser directa o bien por medio de fórmulas empíricas.

### 3.2 ANALISIS DE LLUVIAS.

#### 3.2.1 Análisis de la precipitación registrada en una estación.

Cuando el análisis se realiza con los datos registrados en cada estación se refiere a una precipitación puntual.

##### Curva Masa

La curva masa es la representación gráfica de la altura de precipitación acumulada a través del tiempo, desde el inicio de la tormenta hasta su final y se obtiene directamente del registro en un pluviógrafo.

La Fig. 3.2 muestra la curva masa de una estación o cualquier tangente a la curva representa la intensidad de lluvia  $i$  en ese instante, estos son:

$$i = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (3.1)$$

donde:

- $i$  intensidad de lluvia, en mm/h
- $\Delta P$  incremento de altura de precipitación en el intervalo  $\Delta t$ , en mm.
- $\Delta t$  incremento de tiempo, en h

En la Fig. 3.2 se observa que la intensidad varía en cada instante y resulta de interés encontrar la máxima asociada a un intervalo de tiempo especificado llamado duración  $d_i$ . Para encontrarla es suficiente con determinar el máximo  $\Delta$ ; que corresponde al intervalo de tiempo  $d_i$  elegido y efectuar la división señalada por la ec. 3.1. Es evidente que si se modifica la magnitud de  $d_i$ , también cambia el valor de  $\Delta P_i$  máx y con ello el de  $i_{\max}$ .

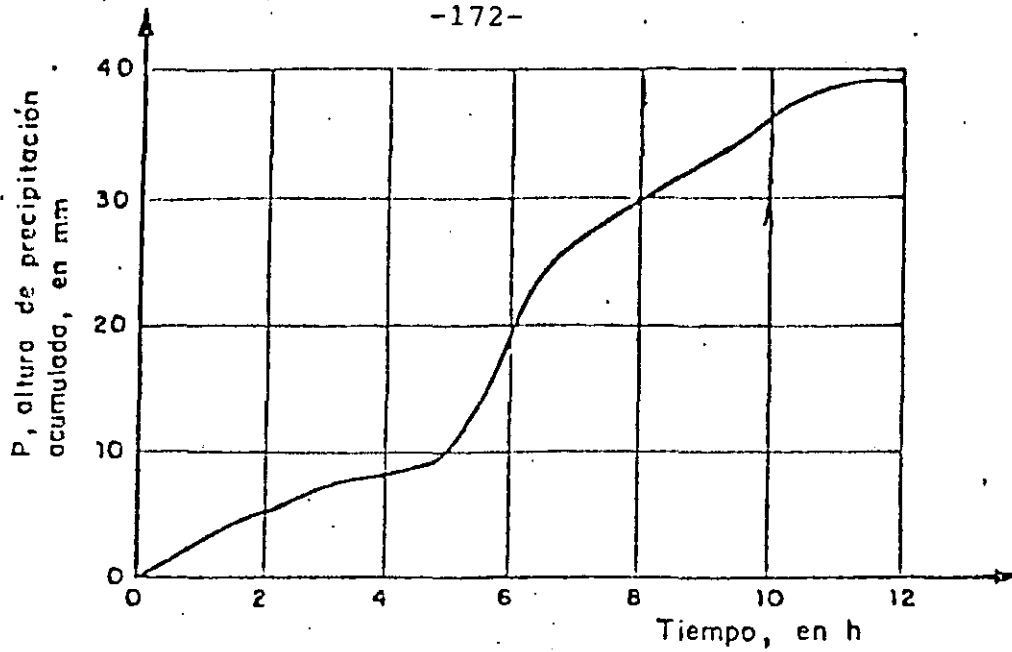
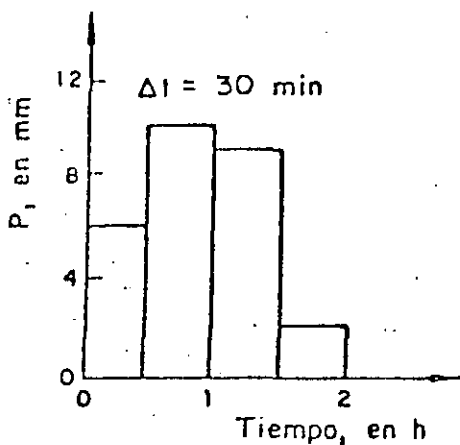


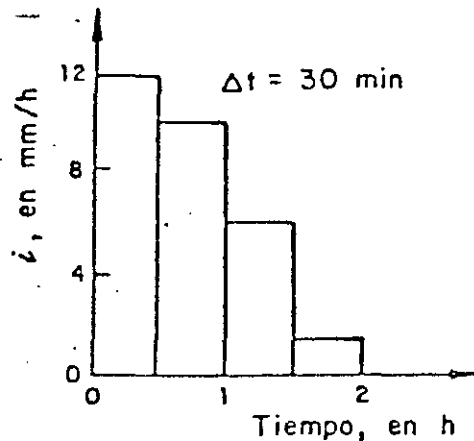
FIG. 3.2 Curva masa de una tormenta

### Hietograma

Es una representación, mediante barras verticales, de la variación registrada en la altura de precipitación de una tormenta en intervalos de tiempo constante, tal como se muestra en la Fig. 3.3 a. Para obtenerlo, de la curva masa se determinan las alturas de precipitación al final de cada intervalo de tiempo y se calculan las diferencias entre dichas alturas, mismas que se grafican. El hietograma se puede también expresar en términos de la intensidad de lluvia en lugar de su altura y para ello es suficiente con dividir cada una de las diferencias de alturas de precipitación entre el intervalo  $\Delta t$  y representarlos como en la Fig. 3.3 b.



a) Hietograma, expresado en altura de precipitación



b) Hietograma, expresado en intensidad de lluvia

FIG. 3.3 Hietograma de una tormenta



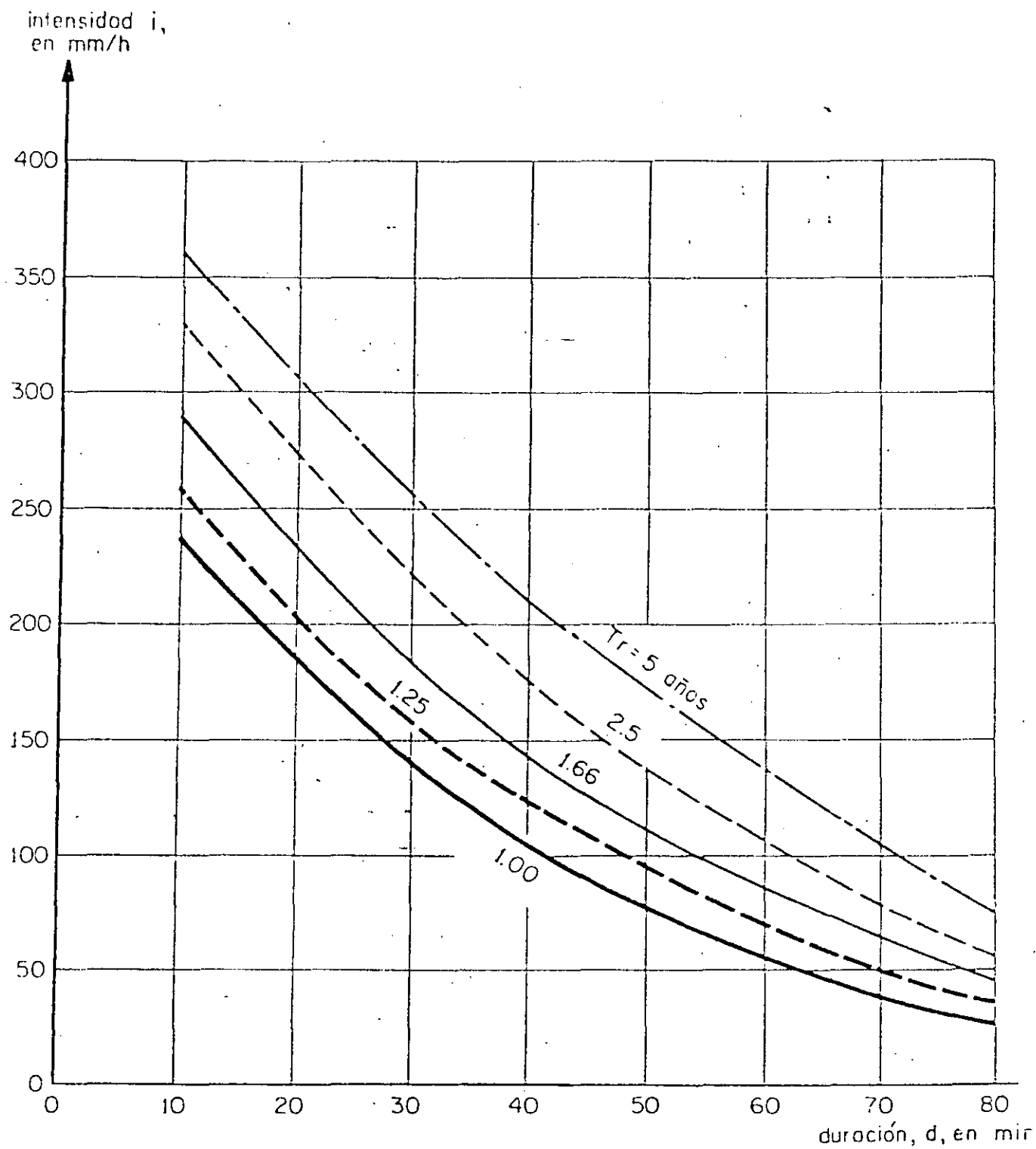


Fig. 3.4 Curvas intensidad-duración-periodo de retorno

Curvas intensidad de lluvia - duración - periodo de retorno.

Estas curvas permiten conocer la variación de la intensidad o de la precipitación de las tormentas en la estación de -- registro, con respecto a su frecuencia de incidencia o período de retorno. Con ellas se pueden obtener las características del evento de diseño en modelos de relación lluvia- escurrimiento.

La Fig. 3.4 muestra la forma típica de estas curvas, de los que se infiere que una tormenta de gran intensidad está asociada a una duración corta y viceversa, además, para una misma duración con la frecuencia aumenta intensidad. Para obtener las curvas se puede recurrir a dos métodos. En el primero, llamado método de intensidad de lluvia - periodo de retorno, el cálculo se realiza para valores correspondientes a una sola duración. En el segundo, llamado método de correlación lineal múltiple, se hace un -- ajuste simultáneo de los valores de las tres variables.

a) Método de intensidad de lluvia - período de retorno.

Se realiza para cada duración, ajustando a los valores -- máximos anuales una función de distribución de probabilidad. Para ello se siguen los pasos siguientes:

1. Se elige una duración de interés
2. Con la duración seleccionada se obtiene la intensidad de lluvia máxima de cada tormenta registrada.
3. Se obtiene el máximo de los valores obtenidos en el paso anterior, para cada año de registro.
4. Para la duración seleccionada, se ajusta una función de distribución de valores extremos (generalmente la tipo Gumbel) a las intensidades máximas anuales, con lo cual se logra relacionar -- la intensidad con el período de retorno correspondiente.
5. El procedimiento se repite desde el paso 2 con otras duraciones de interés.

b) Método de correlación lineal múltiple

En este caso la curva de intensidad de la lluvia-duración-período de retorno se obtiene ajustando una función a los valores de intensidades máximas anuales correspondientes a todas las duraciones de interés.

Antes de realizar el ajuste se necesita tener una idea de cuáles son los tipos de ecuaciones que en general relacionan a estas variables. Dentro de las más usuales se tiene la del siguiente tipo

$$i = \frac{k T_r^m}{d^n} \quad (3.2)$$

donde

$i$  intensidad de la lluvia, en mm/h

$T_r$  período de retorno, en años

$d$  duración de la intensidad, en h

$k, m, n$  parámetros que se obtienen al hacer el ajuste de la ec 3.2.

Tomando logaritmos, la expresión 3.2 se transforma en

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (3.3)$$

donde

$$y = \log i$$

$$x_1 = \log T_r$$

$$x_2 = \log d$$

$$a_0 = \log k$$

$$a_1 = m$$

$$a_2 = -n$$

Los parámetros  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  se calculan mediante un ajuste de correlación lineal múltiple

### 3.2.2 ANALISIS DE VARIAS ESTACIONES

Se utiliza para conocer la distribución espacial de la lluvia; comprende los siguiente cálculos.

### Precipitación media

Para conocer la precipitación media de una tormenta en una zona determinada, se requieren mediciones en varias estaciones localizadas tanto dentro de ella como en su vecindad. El cálculo se puede hacer mediante cualquiera de los siguientes criterios:

a) Promedio aritmético

Es el criterio más sencillo y consiste en hacer la suma de la altura de precipitación total registrada en cada una de las estaciones, entre el número total de estas. La ecuación representativa es

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i) \quad (3.4)$$

donde

$\bar{P}$  precipitación media, en mm

n número de estaciones

$P_i$  precipitación registrada en la estación i, en mm

b) Método de Thiessen

La aplicación de este criterio requiere conocer la localización de las estaciones en la zona en estudio y delimitar el área de influencia de cada estación dentro de dicha zona. Para determinar el área de influencia, primero se trazan triángulos que ligan las estaciones más próximas entre sí y después las medianas de los lados de los triángulos; las áreas limitadas por éstas forman polígonos que rodean a cada estación, ver fig 3.5 a.

Para obtener la precipitación media se utiliza la ecuación

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i a_i)}{A} \quad (3.5)$$

donde

$a_i$  área del polígono correspondiente a la estación i, en km<sup>2</sup>

A Área total de la cuenca, en km<sup>2</sup>

c) Método de isoyetas

Se requiere un mapa con la localización de las estaciones. En cada una de ellas se anota el valor de la precipitación registrada y se trazan las curvas de igual precipitación, denominadas isoyetas, ver fig 3.5b. El trazo de las isoyetas es semejante al que se realiza en topografía para las curvas de nivel del terreno. La ecuación representativa es

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{P}_i A_i)}{A} \quad (3.6)$$

donde

$\bar{P}_i$  precipitación promedio entre dos isoyetas, en mm

$A_i$  área limitada entre dos isoyetas consecutivas y los extremos de la cuenca, en km<sup>2</sup>

A área total de la cuenca, en km<sup>2</sup>

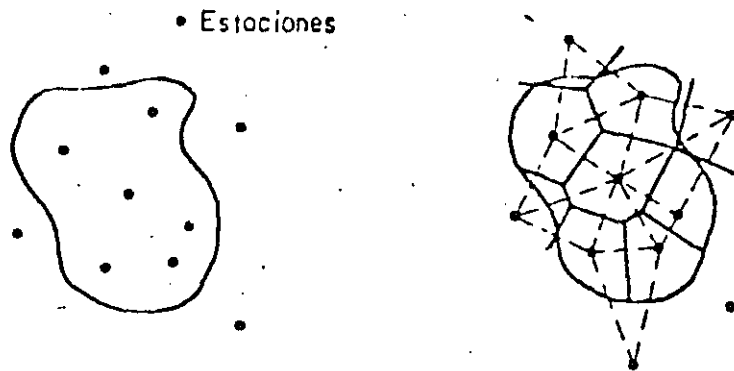


FIG. 3.5a Polígonos de Thiessen

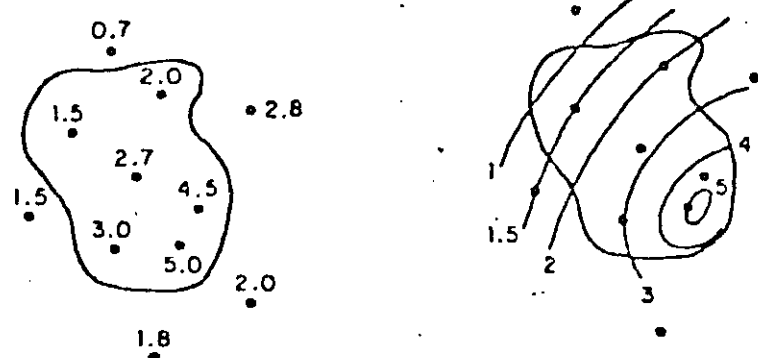


FIG. 3.5b Plano de isoyetas

El método de isoyetas permite obtener mejores resultados ya que al construir el mapa de isoyetas se puede incluir el posible efecto orográfico. El método de Thiessen es menos preciso, pero permite sistematizar fácilmente los cálculos, lo cual es muy útil cuando se necesita analizar una gran cantidad de tormentas. El promedio aritmético sirve únicamente para tener una idea aproximada del valor de la precipitación media. En cualquier caso, el volumen total de lluvia en la cuenca se obtiene multiplicando la precipitación media por el área de la cuenca.

#### Curva masa media ajustada

Se presentan dos opciones para calcularla

- 1) Todas las estaciones dentro y cercanas a la cuenca tienen pluviógrafos.
- 2) Algunas estaciones tienen pluviógrafos y otras pluviómetros.

En el procedimiento que se describe a continuación se consideran estas dos opciones.

- a) Se obtiene la curva masa de cada estación con pluviógrafo en la zona de estudio
- b) Se calcula la precipitación media para la duración total, empleando pluviógrafos y pluviómetros, con el método de isoyetas
- c) Superponiendo las gráficas de curvas masa, se escoge un origen a partir del cual se divide la duración total en intervalos de tiempo constantes
- d) Se obtiene la precipitación para cada estación pluviográfica y cada intervalo de tiempo
- e) Con los datos del inciso d, se obtiene la precipitación media en la cuenca para cada intervalo de tiempo, empleando el método de Thiessen
- f) Se grafican los valores de precipitación obtenidos en e; la unión de todos estos puntos es la curva masa media
- g) Si el valor de la precipitación media total calculado con el método de Thiessen es diferente del obtenido con el método de isoyetas, se deben ajustar los valores del inciso e. El factor de ajuste resulta de  $d_i$

- vidir el valor de la precipitación media total del método de isoyetas entre la precipitación media total obtenido con el de Thiessen
- h) Los valores obtenidos en e se multiplican por el factor de ajuste calculado en g
  - i) Se grafican los valores del inciso h; la unión de todos estos puntos es la curva masa media ajustada para la zona en estudio.

### 3.2.3 Curva altura de precipitación-área-duración

Una forma de analizar los registros de precipitación es mediante el cálculo de las combinaciones de precipitación respecto a sus áreas de distribución para diferentes duraciones de tormenta. Estas curvas deben trazarse para las tormentas más desfavorables, pues se trata de relacionar las condiciones más adversas. La secuencia de cálculo es la siguiente:

- a) Se efectúan los cálculos indicados en la página anterior hasta el inciso d
- b) Para cada zona encerrada por una isoyeta, empezando por la isoyeta de mayor valor, se calcula el área encerrada por la isoyeta, y la precipitación media correspondiente, con el método de isoyetas descrito en ec (314)
- c) Se trazan los polígonos de Thiessen asociados a las estaciones pluviográficas y se superponen al plano de isoyetas para determinar qué porcentaje del área encerrada por cada isoyeta le corresponde a cada pluviógrafo
- d) Se calcula una curva masa media para cada área encerrada entre isoyetas, multiplicando la curva masa de cada estación pluviográfica por el porcentaje correspondiente obtenido en el paso c
- e) Para cada caso, es decir, para cada área encerrada entre isoyetas, se calcula la curva masa media ajustada siguiendo el procedimiento indicado en los incisos g y h de la página anterior.
- f) Para todas las duraciones de interés, las cuales deben ser múltiplos del intervalo de tiempo utilizado en el análisis, y para cada área, se calculan los incrementos máximos de precipitación
- g) En una gráfica como la que se muestra en la fig 3.6 se relacionan las tercias de valores correspondientes al incremento máximo de precipitación, la duración y el área. Las curvas que se obtienen se denominan curvas altura de precipitación-área-duración

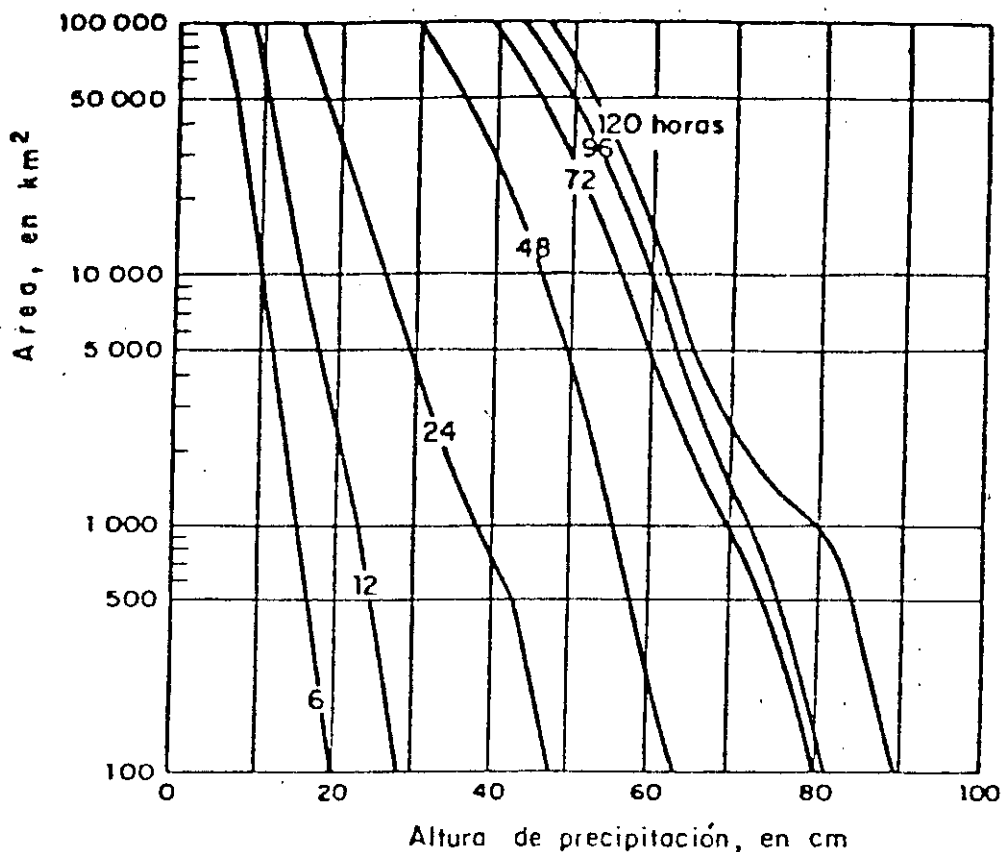


FIG.3.6 Curvas altura de precipitación-área-duración

### 3.2.4 CÁLCULO DE LA TORMENTA DE DISEÑO (MAXIMIZACIONES).

#### INTRODUCCION

En este apartado se describirá el proceso de cálculo más común para las condiciones medias de información en el país.

El procedimiento consiste fundamentalmente en trasponer hasta la cuenca en estudio grandes tormentas ocurridas en otros sitios. Las tormentas más grandes ocurridas en el sitio, más las que, siendo del mismo tipo, sean traspuestas desde otros lugares, se maximizan para obtener la tormenta de diseño.

En el proceso de trasposición se toma en cuenta la posibilidad de que, desde el punto de vista del meteorólogo, la tormenta ocurrida en otro lugar sea factible de ocurrir en el sitio en estudio, y el ajuste se realiza considerando las condiciones topográficas y las temperaturas de punto de rocío en ambos lugares.

La maximización se realiza bajo el supuesto de que las tormentas históricas extremas seleccionadas, son representativas de mecanismos que han trabajado a



su máxima eficiencia en cuanto a convergencia y movimiento vertical, y que únicamente pueden ser maximizados en términos de la humedad disponible.

#### PROCEDIMIENTO DE CALCULO

La determinación de la tormenta de diseño se realiza mediante los pasos que se indican a continuación en forma resumida y que posteriormente se describirán con más detalle.

- a) Con base en la información existente en la zona relativa a duraciones de tormentas, o con ayuda del meteorólogo, se seleccionan las duraciones críticas para el proyecto en estudio.
- b) Se analiza la información histórica de grandes tormentas ocurridas en la cuenca a fin de determinar las características típicas de las que puedan presentarse en la zona, para las duraciones seleccionadas en el punto anterior. Aún cuando no es una regla general, se pueden clasificar como grandes las diez mayores tormentas ocurridas en la cuenca.
- c) Se recopila información histórica de grandes tormentas ocurridas en cualquier sitio, pero con las características típicas definidas en el punto anterior. Con objeto de facilitar el desarrollo de este paso, en las ayudas de diseño se incluye información de grandes tormentas que han sido utilizadas para el cálculo de avenidas de diseño en México.
- d) Se calcula el factor de trasposición para tormentas ocurridas fuera de la cuenca en estudio y el factor de maximización por disponibilidad de humedad.
- e) Una vez hecha la trasposición y la maximización, se seleccionan las tormentas más desfavorables.
- f) Se obtiene la envolvente de las curvas altura de precipitación-área-duración ( $H_p-A-D$ ), tomando en cuenta la información histórica de las tormentas registradas en la cuenca en estudio (paso 6).

- g) Se transforman las curvas  $H_p$ -A-D en hietogramas, tomando en cuenta la forma típica de estos en la cuenca en estudio.
- h) Si las condiciones del proyecto indican la necesidad de utilizar una secuencia de tormentas, se establece la separación entre ellas.
- i) La secuencia de hietogramas seleccionados constituye la tormenta de diseño.

#### Selección de duraciones críticas

La selección de las duraciones críticas para el cálculo de la avenida de diseño de una presa, debe considerar fundamentalmente el área de la cuenca y el volumen de la presa destinado a regular la avenida.

En cuanto a la influencia del tamaño de la cuenca, esta puede tomarse en cuenta seleccionando las tres o cuatro avenidas históricas más importantes, y analizando los registros pluviográficos de las fechas correspondientes. De esta manera se tendrá una idea aproximada del tiempo de respuesta de la cuenca y de la duración mínima de una tormenta que le afecte sensiblemente.

La capacidad de regulación de una presa se toma en cuenta comparando el volumen de la mayor avenida histórica con el volumen destinado a regular avenidas en la presa; si la relación entre estos volúmenes es pequeña (por ejemplo menor que 0.3), la duración total de la tormenta que se utilice para el diseño deberá escogerse mayor que la correspondiente a la máxima avenida histórica. Si aún suponiendo tormentas con tres días de duración total, la capacidad de regulación de la presa sigue siendo muy importante en términos relativos, será necesario utilizar para el diseño una secuencia de tormentas.

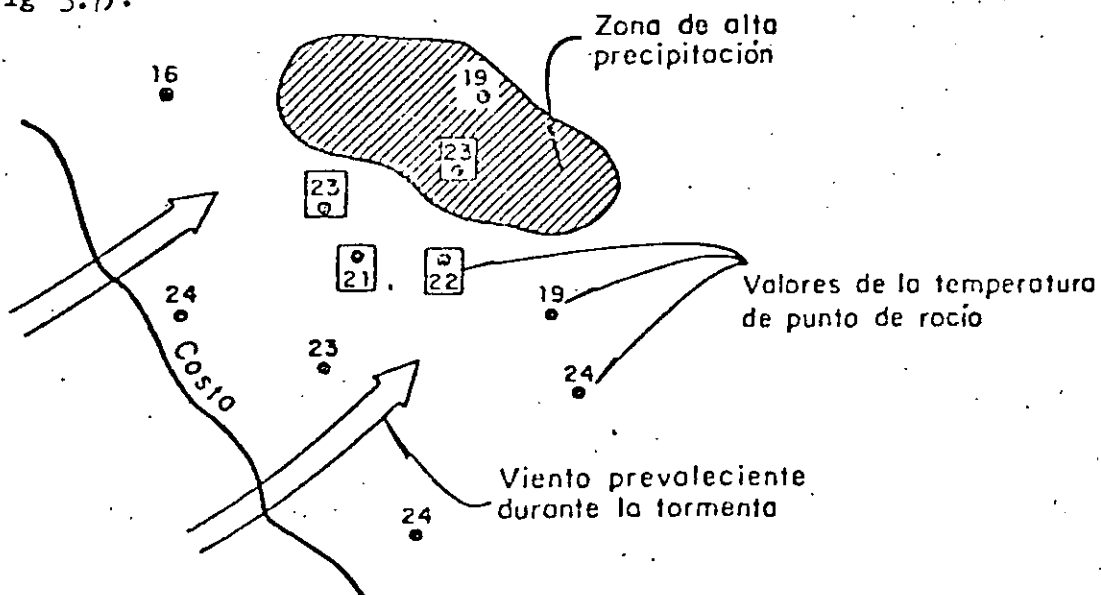
El proceso anterior sirve para dar idea del orden de magnitud de las duracion

nes importantes; sin embargo, conviene, para mayor seguridad, trabajar con duraciones totales mayores que la definida al analizar la capacidad de la presa, y formar el hietograma con intervalos de duración menores que el tiempo de respuesta de la cuenca.

### Análisis de información histórica de grandes tormentas ocurridas en la cuenca

Para cada una de las tormentas importantes ocurridas en la cuenca (10 tormentas, por ejemplo), debe analizarse la información y presentarse un resumen que incluya, de ser posible, los siguientes datos

- Cartas de isobaras, y en general información de características sinópticas, comentadas por un especialista en meteorología, indicando el tipo de fenómeno meteorológico predominante.
- Registros de temperaturas de punto de rocío representativos del ingreso de humedad a la zona. En este sentido, es preferible utilizar la información de puntos situados entre la fuente de humedad y la cuenca (fig 3.7).



Nota:  Valores que se tomaron como representativos

FIG. 3.7 Temperaturas de punto de rocío representativas de una tormenta

- Trayectorias generales del flujo en planta
- Velocidades medias del viento
- Mapas de isoyetas
- Curvas altura de precipitación-área-duración ( $H_p$ -A-D).

Recopilación de información sobre grandes tormentas ocurridas en otros sitios

En este caso, interesará la información relativa a

- Localización de la zona, incluyendo niveles medios y barreras topográficas
- Tipo de fenómeno meteorológico
- Temperaturas de punto de rocío
- Curvas  $H_p$ -A-D

En las Ayudas de diseño se incluye información sobre huracanes que han sido traspuestos a México para el cálculo de tormentas de diseño.

#### Trasposición y maximización

Debido a la poca frecuencia con que aparecen las tormentas extremas, es necesario ampliar la muestra de este tipo de fenómenos mediante el empleo de información registrada en otras zonas. Este procedimiento, llamado de trasposición, tiene como limitación que las tormentas por trasponer sean meteorológicamente factibles de ocurrir en la cuenca estudiada. Esta factibilidad debe ser consultada con un especialista en Meteorología.

El factor de ajuste necesario para trasponer la tormenta se determina calculando el cociente entre el agua precipitable en el lugar de origen de la tormenta y el que se tiene en la cuenca estudiada. Si el proceso es únicamente de trasposición, se puede suponer que la temperatura de punto de rocío no cambia. Si  $h_o$  y  $h_A$  designan el agua precipitable observada y traspuesta, respectivamente, el factor de ajuste,  $K$ , se obtiene con

$$K = \frac{h_A}{h_o} \quad (3.7)$$

donde

$h_o$  agua precipitable en el punto de ocurrencia de la tormenta, para la temperatura de rocío observada.

$h_A$  agua precipitable en la cuenca bajo estudio, para el mismo punto de rocío.

Una vez traspuestas las avenidas al sitio en estudio, se maximizan añadiendo a la muestra las tormentas registradas directamente en el sitio.

La maximización *in situ* de una tormenta consiste en multiplicar la precipitación observada por un coeficiente de maximización igual a

$$K_M = \frac{h_M}{h_1} \quad (3.8)$$

donde

$h_M$  agua precipitable calculada con el valor de la temperatura de rocío persistente máxima en la historia de la zona

$h_1$  agua precipitable calculada con el valor de la temperatura de rocío persistente observada durante la tormenta.

Los valores de los coeficientes de trasposición,  $K$ , y de maximización,  $K_M$ , asociados a cada tormenta, se utilizan para ajustar las curvas  $H_p$ -A-D, multiplicando las alturas de precipitación correspondientes a cada área y cada duración por el producto de ambos factores (en el caso de las tormentas registradas en el sitio, el factor  $K$  tiene un valor unitario).

Una vez ajustadas las curvas  $H_p$ -A-D se selecciona las más desfavorables, tomando en cuenta la duración escogida en el primer paso.

### Construcción de los hietogramas

Una vez seleccionadas las tormentas más desfavorables, se construyen los hietogramas correspondientes cumpliendo con la restricción que imponen las curvas  $H_p-A-D$ . Como pueden existir varios hietogramas que corresponden a la misma curva  $H_p-A-D$ , se seleccionan los que correspondan a la distribución observada en el pasado. En las Ayudas de diseño se muestra un ejemplo de como seleccionar la distribución.

Cuando sea necesario utilizar una secuencia de hietogramas se puede emplear como norma general una separación de cuatro días entre tormentas y analizar todas las combinaciones posibles en cuanto al orden de ocurrencia de los hietogramas seleccionando la más desfavorable.

### 3.3. RELACION LLUVIA - ESCURRIMIENTO.

#### 3.3.1 INTRODUCCION

La información acerca de escurrimientos en una sección de interés sobre una corriente es necesaria para diseñar obras de aprovechamiento o de protección. En muchas ocasiones, el diseñador se encuentra con poca o ninguna información de mediciones directas que le permitan conocer la historia de los escurrimientos en el sitio de interés, por lo que tiene que recurrir a estimarlos a partir de los datos de precipitación. Además, cuando la cuenca ha estado o estará sujeta a cambios de importancia (por ejemplo, por la construcción de obras de almacenamiento, urbanización y desforestación en partes de la cuenca, etc), estos cambios modifican el régimen del escurrimiento, por lo que su registro histórico no representa correctamente el comportamiento futuro de la corriente.

En esos casos, y evidentemente en los problemas de predicción de avenidas a corto plazo, es necesario contar con un modelo que permita estimar los escurrimientos a partir de las características de la lluvia,

tomando en cuenta las condiciones de la cuenca.

La relación entre la precipitación y el escurrimiento es compleja; depende por una parte de las características de la cuenca y por otra de la distribución de la lluvia en la cuenca y en el tiempo.

Debido a lo complejo del fenómeno y a que la cantidad y calidad de la información disponible varía de un problema a otro, se ha desarrollado una gran cantidad de métodos para relacionar la lluvia con el escurrimiento. Dichos métodos van desde simples fórmulas empíricas, hasta modelos extremadamente detallados basados en principios de la Física.

Este capítulo se ha dividido en tres partes básicas. En la primera se presentan criterios para cuantificar las características de la cuenca que más influyen en el proceso lluvia-escurrimiento, en la segunda parte se intenta clasificar los distintos métodos de cálculo y en la tercera se describen los métodos de uso frecuente.

### 3.3.2 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE UNA CUENCA

La cuenca de drenaje asociada a una sección dada de una corriente, es el área que puede aportar escurrimiento hacia la sección. Está limitada por el parteaguas, que es una línea imaginaria tal que la lluvia que cae dentro de él puede escurrir superficialmente hasta la sección considerada (ver fig. 3.8).

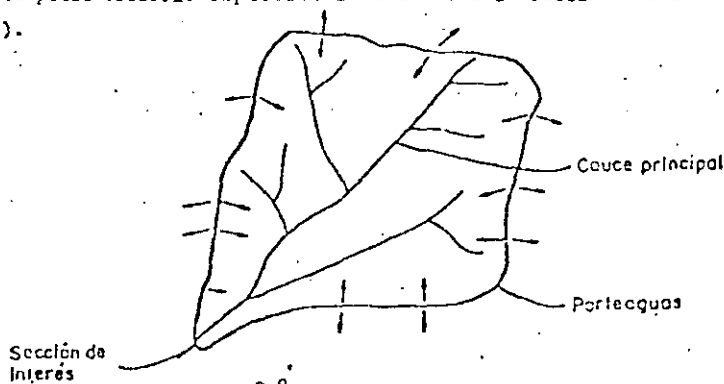


FIG. 3.8 Partes de una cuenca



Desde el punto de vista de las relaciones lluvia-escorrimento, las características de la cuenca interesan principalmente en dos aspectos:

- . El volumen de escurrimento producido por una tormenta dada
- . La forma del hidrograma, la cual depende de la velocidad de respuesta de la cuenca al presentarse una tormenta

Aun cuando en los libros clásicos de Hidrología

se describe gran cantidad de características de la cuenca, se ha preferido incluir aquí solamente las de mayor importancia en relación con los dos aspectos anteriores. Estas características son:

- a) Area de la cuenca (A). Es el área de la proyección horizontal de la superficie encerrada por el parteaguas. Para una misma lámina de lluvia efectiva, el volumen de escurrimento directo es proporcional al área de la cuenca.
- b) Longitud del cauce (L). Se acostumbra medir como la longitud del cauce principal en sentido horizontal.
- c) Pendiente del cauce (S). A diferencia de los conceptos anteriores, la pendiente del cauce no tiene un valor único, sino que varía de tramo en tramo, por lo que se le representa con un valor medio que sirve de índice. De las fórmulas propuestas por distintos autores, se recomienda aquí la de Taylor y Schwarz, debido a que la pendiente calculada con este criterio tiene una relación más directa con el tiempo de traslado del agua por el cauce. La ecuación correspondiente es

$$S = \left[ \frac{L}{L_1 \sqrt{S_1} + L_2 \sqrt{S_2} + \dots + L_m \sqrt{S_m}} \right]^2 \quad (3.9)$$

donde

- m número de tramos de pendiente uniforme sobre el cauce principal
- $L_i$  longitud del tramo i
- $S_i$  pendiente del tramo i

Las características de la cuenca determinan la forma del hidrograma cuyos

principales parámetros se muestran en la fig 3.9.

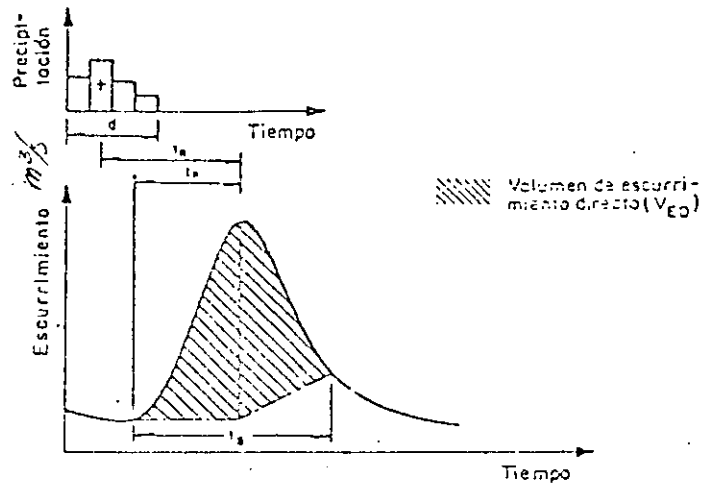


FIG. 3.9 Parámetros que caracterizan un hidrograma

Los principales parámetros que definen la forma del hidrograma son

- a) El volumen de escurrimiento directo,  $V_{ED}$  (área sombreada, fig 3.9)
- b) El tiempo de concentración,  $t_c$ , que se define como el tiempo que tarda el agua en trasladarse desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida de la misma. Teóricamente define el tiempo que se requiere para que si se presenta una tormenta con intensidad constante, el gasto a la salida de la cuenca alcance un valor de equilibrio.
- c) Tiempo de pico,  $t_p$ . Es el tiempo que transcurre entre el momento en que se inicia el escurrimiento directo y el momento en que alcanza su valor máximo.
- d) Tiempo de retraso,  $t_R$ . Es el que transcurre entre el centroide del hidrograma de precipitación efectiva y el gasto máximo o de pico.

### 3.3.3 Clasificación de métodos para calcular la relación lluvia - escurrimiento.

Existen varios métodos para evaluar los gastos pico de diseño de una alcantarilla o de un cruce, que van desde la utilización de fórmulas.

empíricas hasta métodos más elaborados. Dentro de las fórmulas empíricas más simples, la más conocida es la de Talbot, que permite determinar directamente el área hidráulica necesaria en la alcantarilla o en el cruce en función del área por drenar y de un coeficiente de escurrimiento que depende de las características de la cuenca. Sin embargo, no toma en consideración las características y ocurrencia de la precipitación, las características geográficas y fisiográficas de la cuenca, ni los más elementales principios de la hidráulica. Fue propuesta a fines del siglo pasado y su uso fue justificado debido a los conocimientos tan limitados de hidrología e hidráulica en aquel entonces. Sin embargo, hoy en día no hay justificación para seguir usando esta fórmula que no tiene verificación científica alguna.

Existe una gran variedad de modelos precipitación-escorrimento y conviene agruparlos en diferentes categorías a efecto de escoger el más adecuado para cada caso particular. Una manera de clasificarlos es de acuerdo con la información que se requiere para su calibración; de esta manera, los modelos de precipitación-escorrimento se dividen en tres grandes grupos:

- a) Modelos que requieren únicamente las principales características físicas promedio de la cuenca en estudio
- b) Modelos para los que es necesario contar con registros simultáneos de precipitación y escorrimento
- c) Modelos para los que se debe disponer (además de los registros simultáneos de precipitación y escorrimento) de las características físicas detalladas de la cuenca.

Al primer grupo corresponden las fórmulas empíricas, las que han sido obtenidas relacionando mediciones simultáneas de lluvia y de escorrimento con las características de las cuencas.

El segundo grupo se conoce como modelos de caja negra; se calibran a partir de los datos de ingreso y salida de la cuenca sin tomar en cuenta explícitamente sus características físicas.

Al tercer grupo pertenecen los modelos que, a partir de la información detallada de las características físicas de la cuenca y de la aplicación de las fórmulas fundamentales de la Hidráulica, pretenden simular el proceso de escorrimento en toda la cuenca. Un caso característico de este tipo de modelos es el de Stanford.

Aunque los modelos del tercer grupo son los más completos, ya que ofrecen

un conocimiento detallado del proceso precipitación-escorrimento, su aplicación se restringe a cuencas donde se dispone de una amplia información de características topográficas y geológicas, uso del suelo, condición de la superficie del suelo, etc, y se conoce con precisión la distribución de la lluvia en la cuenca y en el tiempo. Cuando no se tiene la información necesaria, no es recomendable utilizar esta clase de modelos.

Como se considera que la información disponible en las cuencas de México corresponde a los dos primeros grupos de modelos, no se tratará el tercero.

La mayoría de los modelos empíricos que se han desarrollado para relacionar la precipitación y el escurrimento se basa en los datos particulares de alguna región, por lo que su aplicación muchas veces se restringe a ella; sin embargo son de utilidad cuando no se tiene información de gastos y sólo se conocen características físicas promedio de la cuenca y registros de precipitación.

#### 3.3.4. Método de envolventes

Creager obtuvo datos sobre avenidas máximas registradas en diferentes cuencas del mundo y formó una gráfica como la de la fig 3.10, en la que relacionó el área de cada cuenca, A, con el gasto por unidad de área, q. En la gráfica trazó una envolvente cuya ecuación resultó

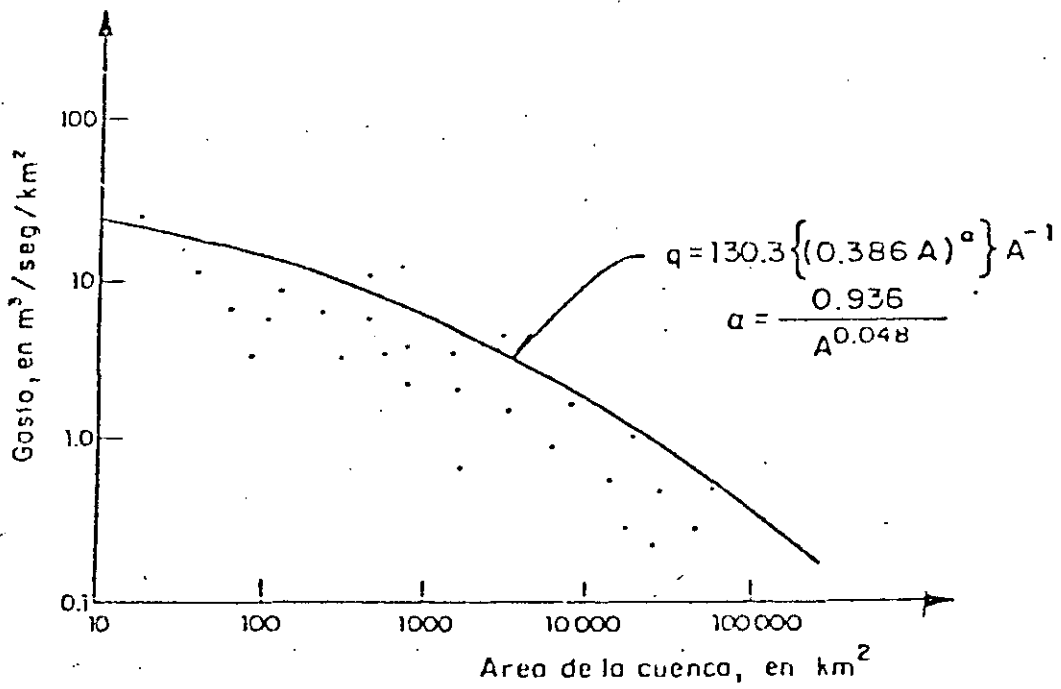
$$q = 1.303 \left\{ C (0.386 A)^\alpha \right\} A^{-1} \quad (3.10)$$

donde

$$\alpha = \frac{0.936}{A^{0.048}}$$



a) Regionalización de la República Mexicana



b) Envolvente mundial

FIG.3.10 Método de Creager

A área de la cuenca, en  $\text{km}^2$

q gasto máximo por unidad de área de la cuenca, en  $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$

Creager encontró que  $C = 100$  para la envolvente de los datos con los que trabajó, a la cual se le conoce como envolvente mundial. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos calculó el valor de  $C$  para envolventes regionales en la República Mexicana. Los valores correspondientes para las regiones indicadas en la fig 3.10a se muestran en la tabla 3.2.

Con base en la relación precipitación—escurrimiento existen varios métodos que, si bien se basan en fórmulas empíricas, su utilización es más racional, ya que permiten la libertad de hacer ajustes para ser utilizados en una región distinta de donde fueron obtenidos; están basados en una serie de hipótesis básicas, siendo las siguientes las más importantes:

- a) El tiempo del máximo de precipitación coincide con el tiempo de pico del escurrimiento
- b) Todas las porciones de la cuenca contribuyen a la magnitud del pico del escurrimiento
- c) La capacidad de infiltración es constante en todo tiempo
- d) La intensidad de precipitación es uniforme sobre toda la cuenca
- e) Los antecedentes de humedad y almacenaje de la cuenca son despreciables.

Estas suposiciones básicas indican las limitaciones de estos métodos y la forma en que deben ser aplicados. En todos los casos, es necesario determinar la intensidad de precipitación que corresponde a la frecuencia de la tormenta de diseño para una duración especificada y que se obtiene de las curvas intensidad—duración—frecuencia. La duración de la tormenta de diseño que se elija debe estar de acuerdo con la segunda hipótesis; esto es, debe ser con una duración tal que el agua llegue al punto de concentración o de desfogue desde todas las porciones del área de drenaje. Ello significa que dicha duración sea, por lo menos, igual al tiempo de concentración de la cuenca.

El tiempo de flujo en el canal de intercepción o natural puede ser aproximado por el cálculo de la velocidad media, y existen algunos datos disponibles para el tiempo de flujo sobre las superficies de terreno natural o pavimentado.

TABLA 3.2 Valores del coeficiente C de Creager para las regiones de la República Mexicana

<u>Región</u>	<u>Coeficiente de Creager</u>
1. Baja California Norte	30
2. Baja California Sur	72
3. Río Colorado	14
4. Noroeste	
a) Zona norte	35
b) Zona sur	64
5. Sistema Lerma-Chapala-Santiago	
a) Lerma-Chapala	16
b) Santiago	19
6. Pacífico Centro	100
7. Cuenca Río Balsas	
a) Alto Balsas	18
b) Bajo Balsas	32
8. Pacífico Sur	62
9. Cuenca Río Bravo	
a) Zona Conchos	23
b) Zona Salado y San Juan	91
10. Golfo Norte	61
11. Cuenca Río Pánuco	
a) Alto Pánuco	14
b) Bajo Pánuco	67
12. Golfo Centro	59
13. Cuenca Río Papaloapan	36
14. Golfo Sur	36
15. Sistema Grijalva-Usumacinta	50
16. Península de Yucatán	3.7
17. Cuencas cerradas del Norte, Zona Norte	4
18. Cuencas cerradas del Norte, Zona Sur	26
19. El Salado, Zona Sur	45
20. Durango	8.4
21. Cuencas de Cuitzeo y Pátzcuaro	6.8
22. Valle de México	19
23. Cuenca del Río Metztlán	37



### 3.3.5 Método racional

Es de los más antiguos (1889), y probablemente todavía uno de los más utilizados. Considera que el gasto máximo se alcanza cuando la precipitación se mantiene con una intensidad constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración. La fórmula racional es

$$Q_p = 0.278 C i A \quad (3.11)$$

donde

- $Q_p$  gasto máximo o de pico, en  $m^3/s$
- $C$  coeficiente de escurrimiento de la tabla 3.3.1
- $i$  intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, en  $mm/h$
- $A$  área de la cuenca, en  $km^2$

Cuando la cuenca por drenar está compuesta por diferentes tipos de superficie, el coeficiente global se calcula con la fórmula

$$C = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_i A_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i}$$

El tiempo de concentración para un punto dado, se define como el tiempo que tardaría una partícula de agua en viajar desde ese punto hasta la salida de la cuenca. Se calcula mediante

$$t_c = t_{cs} + t_t \quad (3.12)$$

donde:

- $t_c$  tiempo de concentración
- $t_{cs}$  tiempo de concentración sobre las superficies
- $t_t$  tiempo de traslado a través de los colectores

Para conocer  $t_{cs}$ , en horas, se puede utilizar la fórmula propuesta por Kirpich

$$t_{cs} = 0.0003245 \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.77} \quad (3.13)$$

donde  $L$  es la longitud del cauce principal, en m, y  $S$  la pendiente media del cauce principal.

Algunos autores proponen otras fórmulas para calcular el tiempo de concentración a través de la superficie; sin embargo, la ec 3.13 ha sido utilizada más frecuentemente en México y por ello se recomienda, a menos que existan razones especiales para utilizar otras. Para calcular la pendiente media del cauce principal existen también varios criterios ; la selección del más adecuado depende de la precisión de los datos sobre el perfil del cauce principal.

Para determinar el tiempo de traslado en los colectores se utiliza la fórmula de Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (3.14)$$

donde:

$V$  velocidad media de traslado, en m/s

$n$  coeficiente de rugosidad de Manning

$R$  radio hidráulico, en m

$S$  pendiente del tramo

El tiempo de traslado resulta entonces

$$t_t = \frac{\ell}{V} \quad (3.15)$$

donde  $\ell$  es la longitud del tramo considerado.

TABLA 3.3 Valores del coeficiente de escurrimiento

TIPO DEL AREA DRENADA	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	
	MINIMO	MAXIMO
<b>ZONAS COMERCIALES:</b>		
Zona comercial	0.70	0.95
Vecindarios	0.50	0.70
<b>ZONAS RESIDENCIALES:</b>		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares, espaciados	0.40	0.60
Multifamiliares, compactos	0.60	0.75
Semiurbanas	0.25	0.40
Casas habitación	0.50	0.70
<b>ZONAS INDUSTRIALES:</b>		
Espaciado	0.50	0.80
Compacto	0.60	0.90
CEMENTERIOS, PARQUES	0.10	0.25
CAMPOS DE JUEGO	0.20	0.35
PATIOS DE FERROCARRIL	0.20	0.40
ZONAS SUBURBANAS	0.10	0.30
<b>CALLES:</b>		
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.80	0.95
Adoquinadas	0.70	0.85
ESTACIONAMIENTOS	0.75	0.85
TECHADOS	0.75	0.95
<b>PRADERAS</b>		
Suelos arenosos planos (pendientes 0.02)	0.05	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.10	0.15
Suelos arenosos escarpados (0.07 ó más)	0.15	0.20
Suelos arcillosos planos (0.02 ó menos)	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 ó más)	0.25	0.35

EJEMPLO 3.1 CALCULO DEL GASTO MAXIMO EN UNA CUENCA URBANIZADA, UTILIZANDO LA FORMULA RACIONAL

Determine el gasto de diseño, para un periodo de retorno de 10 años, a la salida de la cuenca mostrada en la fig 3.11. Utilice las curvas intensidad-duración-periodo de retorno de la fig 3.12, las cuales fueron obtenidas con el procedimiento descrito en el capítulo 3.2.2. La parte superior de la cuenca ( $A_1$  en la figura) es una zona suburbana y la inferior es una zona residencial formada por casas habitación.

1. El tiempo de concentración total es

$$t_c = t_1 + t_2 = 20 \text{ min}$$

2. Cálculo del coeficiente de escurrimiento. Utilizando la tabla 3.3, se obtienen los siguientes valores

Zona suburbana	$C_1 = 0.3$
Zona residencial	$C_2 = 0.7$
Para toda la cuenca	

$$\bar{C} = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2}{A_1 + A_2} = 0.53$$

3. Cálculo de la intensidad de la lluvia. Conocidos el tiempo de concentración (20 min) y el periodo de retorno (10 años), de la fig 3.12, se obtiene:

$$i = 100 \text{ mm/h}$$

4. Cálculo del gasto de diseño. De acuerdo con la ec 3.11 se obtiene el gasto de diseño

$$Q_p = 0.278 CiA$$

$$Q_p = 0.278(0.53)(100)(3.5)$$

$$Q_p = 51.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

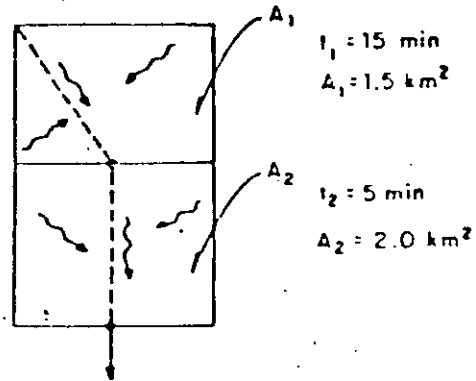


FIG. 3.11 Cuenca utilizada en el ejemplo 3.1

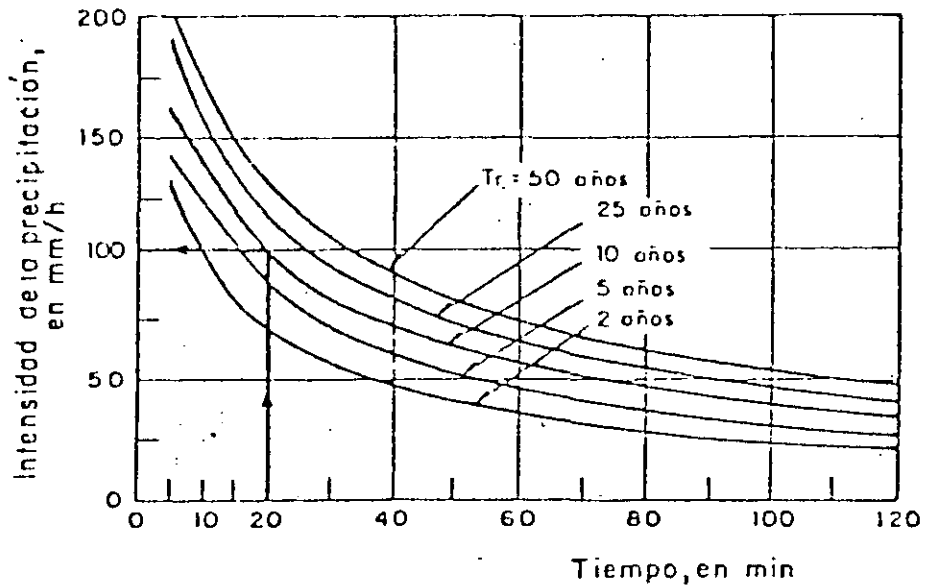


FIG. 3.12 Curvas intensidad-duración-periodo de retorno

En el diseño de drenaje municipal y de aeropuertos, el método racional puede producir valores exagerados del escurrimiento aun cuando se usen valores exactos de la precipitación y de los factores de impermeabilidad. La ignorancia de las condiciones antecedentes de humedad incrementan el error con el tamaño de la cuenca. El método es entonces adecuado para áreas pequeñas que no excedan de 4 km<sup>2</sup>.

Este método ha sido ampliamente utilizado por la Agencia Federal de Aviación de Estados Unidos en el drenaje de aeropuertos, la que lo completa por medio de gráficas para determinar el tiempo de concentración, obtenidas de los resultados empíricos que se muestran en la fig 3.13. En estas gráficas, el tiempo de concentración depende de la distancia de recorrido del agua desde el punto sobre el parteaguas más alejado de la cuenca al sitio de desfogue en metros y del valor de C elegido para la ec 3.11. El valor de  $t_c$  que se elija dependerá también del grado de encharcamiento que quiera tolerarse en las zonas de terreno que rodean a las pistas.

En carreteras, el tiempo de concentración será la suma del tiempo utilizado por el agua para recorrer la zona pavimentada a la del suelo natural más el utilizado en el flujo sobre bordillos y lavaderos o contracunetas hasta la entrada a la alcantarilla. Este último se puede estimar a partir de la velocidad media que adquiere el agua en su recorrido, y queda impuesta por el diseño hidráulico de cada estructura particular.

En el caso de áreas rurales, el tiempo de concentración se calcula con base en fórmulas empíricas que valen solo para la zona donde fueron obtenidas. Por ejemplo, la fórmula de Pickering, que vale para área rurales en California, es

$$t_c = 10 \left( \frac{L^2}{S} \right)^{1/3}$$

donde

L      longitud de recorrido sobre la cuenca proyectada horizontalmente,  
         en km

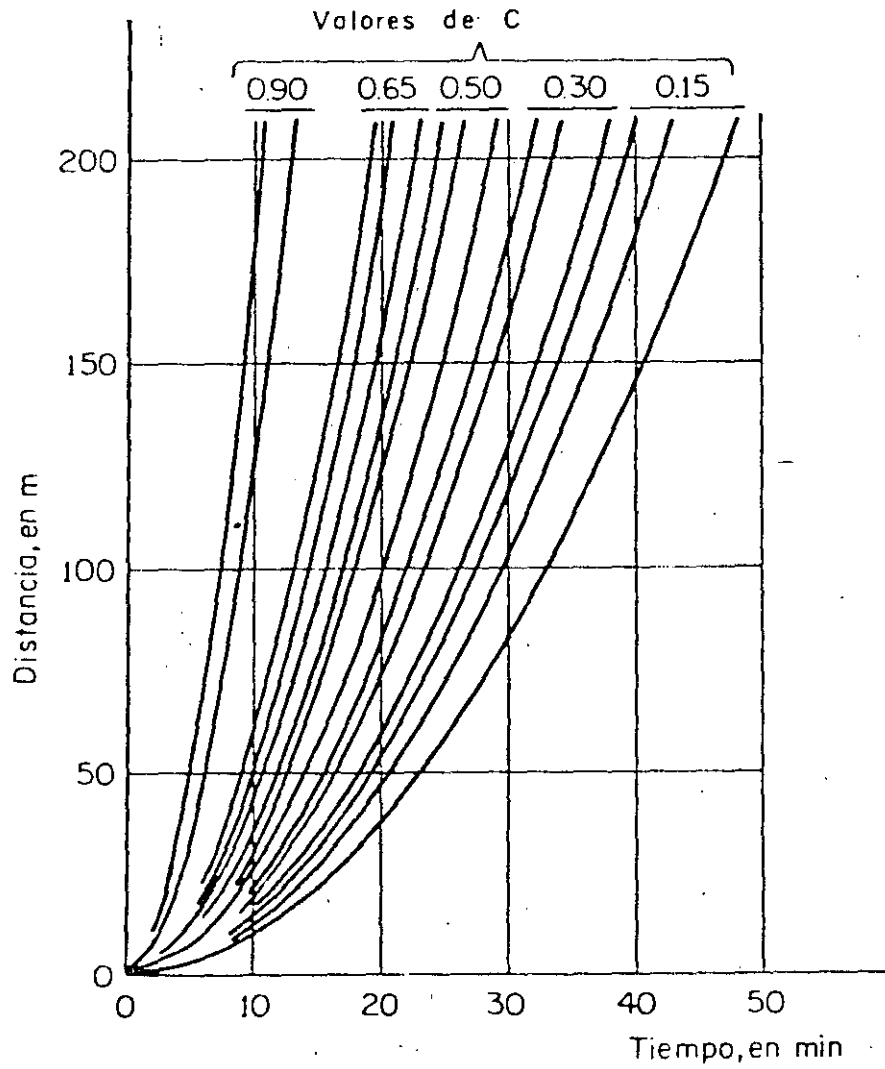


Fig 3.13

S pendiente media de la cuenca

$t_c$  tiempo de concentración, en min

### 3.3.6 Método de Henderson.

Un método basado en las ecuaciones fundamentales de la hidráulica ha sido desarrollado por Henderson para determinar la relación precipitación-escorrentía; encuentra aplicación en superficies planas con pendiente transversal como en los aeropuertos y carreteras y, de resultar efectivo, permitirá eliminar la estimación de factores como el tiempo de concentración en la zona plana, antes del canal colector.

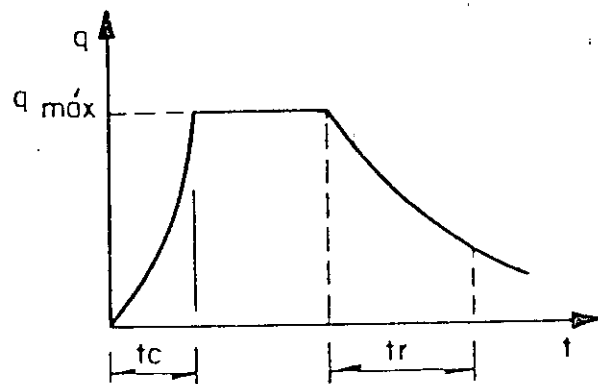
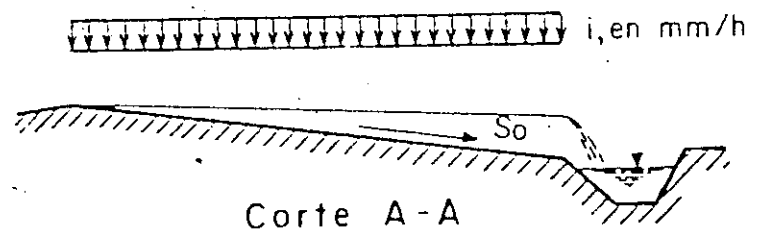
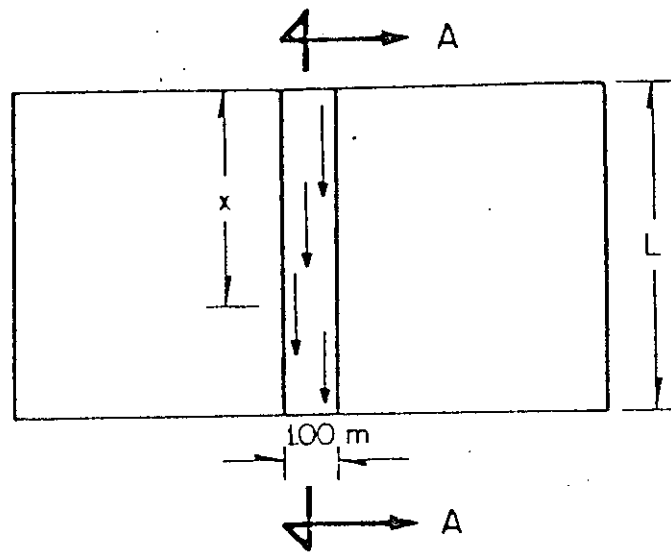
Supóngase una superficie plana con pendiente lateral  $S_o$  y un elemento de área de 1.00 m de ancho y de longitud L hasta la zanja de intercepción (fig. 3.14). Se conoce la intensidad de precipitación en exceso para la tormenta de diseño, esto es, la intensidad total menos las pérdidas por infiltración que puedan ser estimadas. Esta intensidad  $i$  se considera constante y uniformemente distribuida.

Por la integración de las ecuaciones diferenciales del flujo transitorio a superficie libre, Henderson ha llegado a establecer una serie de ecuaciones simples para determinar el tiempo  $t_c$  en que se establece el gasto máximo por unidad de ancho y el valor del mismo al final de la superficie plana (fig. 3.14). Estas son:

$$v_o = \frac{i}{3.6 \times 10^6} \quad (3.16)$$

$$a = \frac{\sqrt{S_o}}{n} \quad (3.17)$$





Hidrograma

Fig 3.14

$$t_e = \left( \frac{L}{a v_o^{2/3}} \right)^{3/2} \quad (3.18)$$

$$q = a (v_o t)^{5/3} \text{ para } 0 < t \leq t_e \quad (3.19)$$

$$q_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = a (v_o t_e)^{5/3} \text{ para } t_e \leq t \leq d \quad (3.20)$$

donde

- d · duración de la tormenta, en seg
- i intensidad de precipitación en exceso, en mm/h
- L longitud desde el parteaguas hasta la zanja de intercepción, en m
- n coeficiente de fricción de la superficie, en la fórmula de Manning
- q gasto en el instante t, en m<sup>3</sup>/seg/m
- q<sub>máx</sub> gasto máximo durante el intervalo (d - t<sub>e</sub>), en m<sup>3</sup>/seg/m
- S<sub>o</sub> pendiente media de la superficie
- t tiempo, en seg
- t<sub>e</sub> tiempo de equilibrio para que se presente el q<sub>máx</sub>, en seg

En la deducción de estas ecuaciones se ha considerado que las pérdidas por fricción en el escurrimiento se valúen con la fórmula de Manning, que es válida solo en el caso de flujo turbulento. Es obvio que el flujo podrá tener características desde laminar hasta turbulento, y en este sentido, Yu y McNown han hecho investigaciones para determinar los coeficientes de resistencia en flujos superficiales de este tipo. Estos autores han presentado un método de solución numérica que puede tomar en cuenta los distintos tipos de resistencia del flujo, así como cambios en la intensidad de lluvia; sin embargo, en este último caso, el procedimiento es más complicado. Sus investigaciones solo se refieren a superficies pavimentadas de concreto, para las cuales el valor medio recomendado para el coeficiente de fricción es del orden  $n = 0.016$  (Manning).

Por otra parte, en el método de Henderson la duración de la lluvia debe ser por lo menos igual al tiempo del pico y, además, no se toma en cuenta la posibilidad de encharcamiento.

### 3.3.7 Método de Izzard .

Un método empírico en el caso de flujo laminar sobre superficies se debe a Izzard. De los análisis de los hidrogramas resultantes de una precipitación uniforme de intensidad constante, simulada sobre una superficie de pendiente no mayor de 0.04, Izzard encontró que la forma del hidrograma en la rama de ascenso se puede representar por una curva adimensional sencilla como la mostrada en la fig 3.15 y cuya estación es la siguiente,

- $q$  gasto del flujo superficial, en  $m^3$ /seg por cada metro de ancho de superficie, en el instante  $t$  desde que empezó la lluvia
- $q_e$  gasto del flujo superficial, en  $m^3$ /seg/m, para la condición en que se alcanza el equilibrio; esto es, cuando la intensidad de precipitación es equivalente al gasto de salida al alcanzar el flujo permanente. Si  $i$  es la intensidad de precipitación, en mm/h, y  $L$  es la distancia, en m, hasta la cual se mide  $q$  (fig 3.14 entonces

$$q_e = \frac{i L}{3.6 \times 10^6} \quad (3.21)$$

- $t$  tiempo desde que empezó la lluvia, en min
- $t_e$  tiempo en que se alcanza el equilibrio, en min

En la Fig. 3.15 se observa que la condición de equilibrio se alcanza asintóticamente, por lo cual se considera que  $t_e$  resulta cuando  $q/q_e = 0.97$ . Se encontró empíricamente que el volumen de agua ( $D_e$ , en  $m^3$ ) en el flujo superficial sobre una franja de ancho unitario en equilibrio (área sobre la curva, fig 3.15 es sustancialmente igual al volumen de agua que ha sido descargado en el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio (área bajo la curva, fig 3.15). De este modo, el tiempo de equilibrio se expresa por

$$t_e = \frac{2 D_e}{60 q_e} \quad (3.22)$$

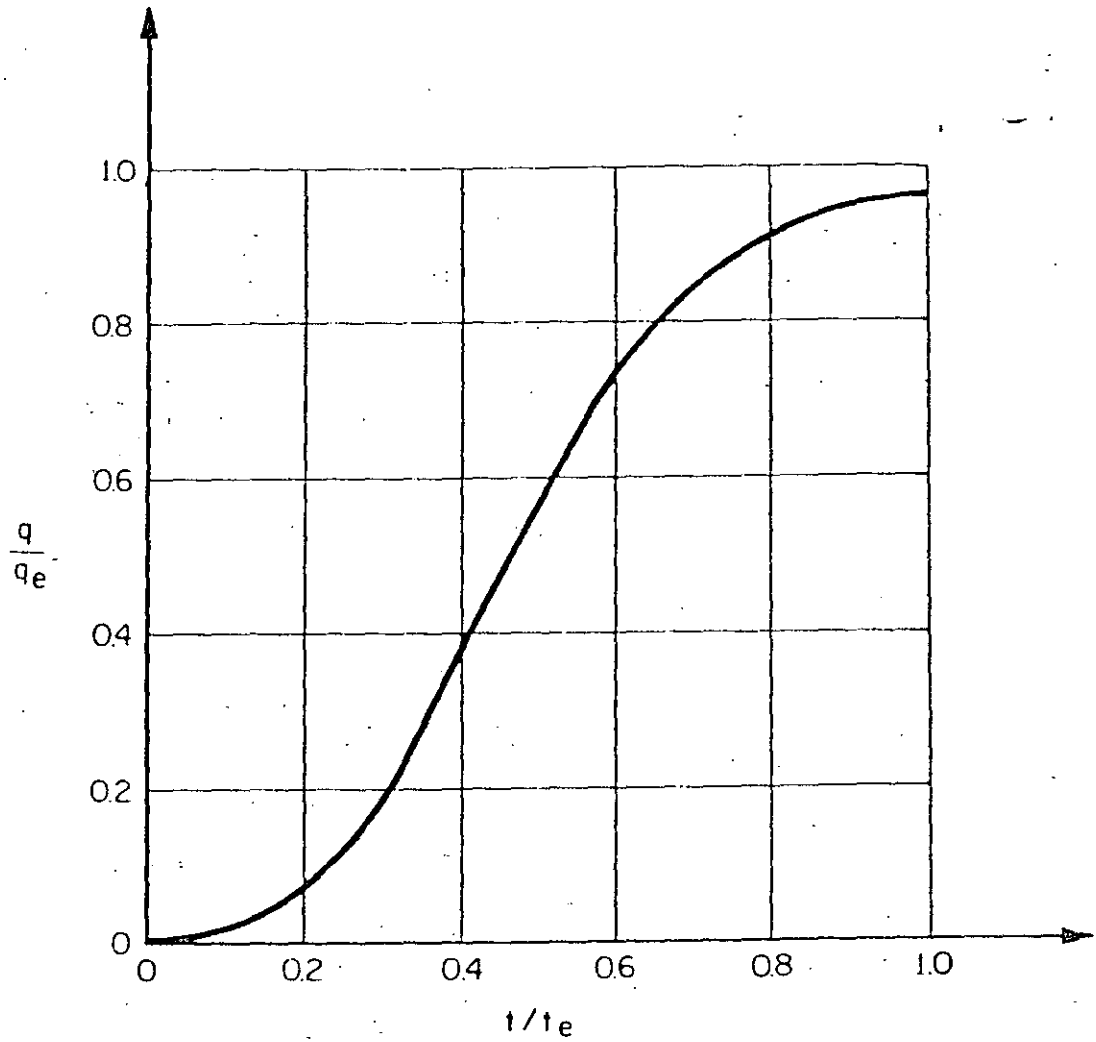


Fig 3.15 Hidrograma adimensional de flujo superficial

siendo  $D$  el almacenaje, en  $m^3$ , esto es, el volumen de agua en flujo superficial sobre una franja de ancho unitario, en el instante  $t$  desde que empezó la lluvia, el valor  $D_e$  almacenaje en el instante de equilibrio, en  $m^3$ .

Se ha encontrado empíricamente que  $D_e$  se puede expresar en forma general por

$$D_e = 1.485 K L q_e^{1/3} \quad (3.23)$$

En realidad se encontró que el exponente de  $q_e$  en la ecuación anterior varía desde aproximadamente 0.2 para superficies pavimentadas muy lisas, hasta aproximadamente 0.4 para superficies con pasto. El valor de  $K$  depende de la intensidad de la precipitación  $i$ , de la pendiente de la superficie  $S$  y de un factor de rugosidad  $c$ ; esto es

$$K = \frac{0.0000275 i + c}{S^{1/3}} \quad (3.24)$$

Los valores del factor de rugosidad  $c$  se presentan en la tabla 3.4

Cuando cesa la lluvia, el escurrimiento disminuye. El tiempo  $t_r$ , medido desde el inicio de la curva de receso del hidrograma (fig. 3.14) hasta el punto donde  $q/q_e = r$ , es

$$t_r = \frac{D_o F(r)}{60 q_e} \quad (3.25)$$

donde

$D_o$  almacenaje correspondiente a  $D_e$  después que cesa la lluvia; esto es, el valor calculado para  $D_e$  de las ecs. 3.23/3.24 cuando  $i = 0$

$$F(r) = 0.5 (r^{2/3} - 1) \quad (3.26)$$

La ec 3.25 se obtiene matemáticamente al suponer que el almacenaje sobre la curva de receso es proporcional a la potencia un tercio del gasto, esto es

$$\frac{D}{D_0} = \frac{q}{q_0}^{1/3} = r^{1/3} \quad (3.27)$$

Usando el hidrograma adimensional y las ecuaciones anteriores es posible construir un hidrograma para el escurrimiento superficial debido a la precipitación de intensidad y duración conocida. Se entiende que los resultados en el método de Izzard fueron obtenidos bajo la condición de que el flujo sea laminar en todo tiempo. Esto es, el método es aplicable para flujo laminar, y de acuerdo con Izzard, se limita a casos donde el producto de la intensidad de precipitación, en mm/h, y la longitud de la superficie de flujo, en mm, es menor de 64.5.

### 3.3.7 Método del Cuerpo de Ingenieros del Ejército.

Otro método aplicable al caso de flujo turbulento se debe a Horton y ha sido ampliamente utilizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos de Norteamérica. Está basado principalmente en la fórmula de Horton

$$q = \sigma \tan h^2 \left[ 0.101 t \left( \frac{\sigma}{n L} \right)^{0.5} S^{0.25} \right] \quad (3.28)$$

donde

- L longitud efectiva del área por drenar medida en metros, desde el punto más alejado del parteaguas hasta el punto de concentración; esto es, la longitud real corregida por pendiente y rugosidad. Se puede determinar con la longitud real y con la ayuda de la fig 3.13
- Si se permite encharcamiento, L se mide desde el punto más remoto del área de drenaje al punto medio del encharcamiento
- n coeficiente de almacenamiento que depende del tipo de superficie y vegetación. Los valores recomendados se presentan en la tabla 3.5

TABLA 3.4 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD  $c$

Pavimento de asfalto muy liso	0.0070
Pavimento de alquitrán y arena	0.0075
<u>Crushed-slate roofing paper</u>	0.0082
Pavimento de concreto en condiciones normales	0.012
Pavimento de alquitrán y grava	0.0170
Césped cortado al ras	0.0460
Cubierta con pasto azul denso	0.0600

TABLA 3.5 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO  $n$

*Tipo de superficie*

Pavimentos lisos	0.02
Relleno sin revestir, libre de piedras	0.10
Cubierta de pasto escaso o superficie moderadamente rugosa	0.30
Cubierta de pasto normal	0.40
Cubierta de pasto denso	0.80

$$n = \frac{n_1 A_1 + n_2 A_2 + \dots + n_i A_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i}$$

- q gasto máximo de escurrimiento superficial en el extremo inferior de una franja elemental de ancho unitario de superficie, medido como intensidad de precipitación, en mm/h. Para transformar el resultado a  $m^3/seg/m$ , se requiere el cálculo  $0.278 q A$  eq 3.11 donde A es el área de la franja de ancho unitario, en  $km^2$
- S pendiente media de la superficie en la dirección del flujo
- t tiempo de duración de la tormenta; generalmente igual al tiempo de concentración total calculado con ayuda de la fig 3.13 y expresado en min
- o precipitación en exceso de la tormenta, en mm/h, esto es, la intensidad de precipitación total menos las pérdidas por infiltración, consideradas estas últimas constantes durante toda la tormenta. Para superficies pavimentadas estas pérdidas se suponen iguales a cero, y para cubiertas de pasto del orden de 12.5 mm/h

La aplicación directa de la ec 3.28 es laboriosa; para encontrar rápidamente la solución se pueden utilizar las curvas preparadas por el Cuerpo de Ingenieros 3.3.8 Otros métodos.

Otro procedimiento para encontrar el gasto máximo es el recomendado por el *US Bureau of Reclamation*, llamado del hidrograma triangular, y que ha sido desarrollado para cuencas más o menos grandes en la determinación de avenidas en aprovechamientos superficiales. Permite obtener, además del gasto máximo, la forma del hidrograma.

Los métodos de Chow e I Pai Wu para el cálculo de gastos máximos en cuencas pequeñas han sido presentados en forma muy detallada y por esta razón no se hará aquí ninguna aclaración adicional, si bien en las aplicaciones numéricas se utilizarán los mismos. Estos métodos parecen ser los más aceptables, pues permiten hacer ajustes de acuerdo con los resultados obtenidos de mediciones o de la experiencia en la cuenca donde se aplican.



Los métodos anteriores se basan exclusivamente en datos de precipitación. Cuando la cuenca es más grande, existe la posibilidad de contar además con datos de escurrimiento en estaciones de aforo localizadas sobre el cauce principal. Esto permite refinar los procedimientos al hacer un mejor ajuste de la relación precipitación-escurrimiento.

Un estudio detallado de estos procedimientos y su discusión han sido presentados a la SOP por este Instituto por lo cual no se hará mayor mención a ellos.

El método de Powell, comúnmente usado en Europa, no es más que una variante del método de Gumbel

### 3.3.9 Evento de diseño

En general, la selección de la frecuencia de la avenida máxima que debe usarse para un sistema particular de drenaje queda a juicio del proyectista. Sin embargo, se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- a) La importancia de la vía de comunicación por lo que respecta a su costo y al volumen de tráfico
- b) Daños posibles de las propiedades adyacentes
- c) Costo de mantenimiento
- d) Costo de amortización de las estructuras de drenaje durante la vida de servicio
- e) Inconveniencia del tráfico
- f) Peligro de la vida humana.

En cualquier caso, es buena práctica comprobar el funcionamiento del sistema para condiciones más severas que la tormenta de diseño elegida.

Existen algunas recomendaciones respecto a la selección del periodo de retorno de un evento. Por ejemplo; se acepta comúnmente la elección de una frecuencia de 5 años en el drenaje de aeropuertos. Es cierto que tormentas de mayor periodo de retorno o asociadas a una perturbación atmosférica extraordinaria pueden ocasionar mayores volúmenes de escurrimiento; sin embargo, en esos casos, la perturbación por sí misma ocasiona el cierre de la navegación aérea al modificar notablemente las condiciones atmosféricas favorables al vuelo.

En el caso de alcantarillas y puentes, existen algunas recomendaciones para la selección de la frecuencia en la avenida de diseño. En general, se especifica que dicha frecuencia sea de 50 años, con la adición de una estimación de los escurrimientos basada en desarrollos futuros para 20 años más. A continuación se presentan algunas recomendaciones para estimar la frecuencia de diseño en varios tipos de estructuras de drenaje

<i>Tipo de estructura</i>	<i>Periodo de retorno, en años</i>
Puentes sobre carreteras importantes, donde el remanso puede causar daños excesivos por inundación u ocasionar la falla del puente	50 a 100
Puentes sobre carreteras menos importantes o alcantarillas sobre carreteras importantes	25
Alcantarillas sobre caminos secundarios, drenaje de lluvia, o contracunetas	5 a 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvias de corta duración	1 a 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenajes urbanos	2 a 10
Bordos	2 a 50 *

\* Puede aumentar si estas obras protegen poblados de importancia.

### 3.3.10 Conclusiones y recomendaciones

Son muchos los factores que intervienen en el ciclo hidrológico y contribuyen a la complejidad del problema. En los últimos años se han hecho grandes esfuerzos por resolverlo, y las contribuciones han sido posibles gracias a estudios más detallados de los distintos componentes del ciclo hidrológico, al incremento en el volumen de datos disponibles y al uso de métodos matemáticos para el tratamiento de los mismos. Por lo tanto, la utilización de métodos a base de fórmulas empíricas ha caído en desuso para dar lugar a criterios más racionales, si bien más complejos al tratar de tomar en cuenta todos los factores.

Por lo que se refiere a la selección de las características de una tormenta de diseño y al escurrimiento que produce, en los Estados Unidos de Norteamérica se ha publicado un gran número de contribuciones basadas en la mayor afluencia de datos y en un mejor conocimiento del mecanismo precipitación-escurrimiento. Se han hecho estudios a gran escala para determinar estas características en un gran número de zonas, los cuales han culminado en mapas que muestran la distribución de las características intensidad-duración para diferentes frecuencias de tormentas en la totalidad del país, que resuelven este problema.

Con base en esta experiencia, los resultados han tratado de extrapolarse para ser aplicados en otros países, donde el mecanismo de las tormentas es similar. En este sentido es digno de mencionarse el trabajo de Reich quien obtuvo mapas y gráficas para estimar la intensidad de precipitación de corta duración en Sudáfrica y presenta algunas ideas para hacer estimaciones similares en otros países donde se disponga de pocos datos de pluviógrafo. Con la misma idea de generalización, Bell presenta resultados muy interesantes en la solución de este mismo problema.

A la vista de estas experiencias, sería muy conveniente realizar en nuestro país estudios similares en gran escala. La diversidad de tipos de tor-

menta que se presentan se podrían estudiar por zonas, concentrando todos los datos disponibles que actualmente manejan distintas dependencias oficiales y particulares y cuyo procesamiento, muchas veces es difícil de lograr por diferentes razones. Con frecuencia, la medición no es la adecuada, existen registros con grandes interrupciones o bien no corresponden a datos de pluviógrafo que, para el problema aquí tratado, son de gran importancia.

El planteamiento del problema se ha hecho en varias publicaciones. De no ser resuelto, conducirá en cada caso a la utilización de métodos provenientes de la experiencia en otras zonas o países de comportamiento climatológico distinto, sin utilizar la experiencia que podría obtenerse con nuestros propios medios.

Los departamentos de drenaje de caminos o carreteras están en posición de reunir un gran número de datos útiles sobre el escurrimiento de pequeñas corrientes. Estos datos podrían obtenerse colocando escalas o limnigrafos para lecturas de niveles en alcantarillas seleccionadas, cuyos registros permitirían el cálculo de los gastos de descarga empleando las características hidráulicas de la alcantarilla como control. En caso de que la alcantarilla trabaje llena, serán necesarias las escalas aguas arriba y aguas abajo de la misma.

Por esta razón, los métodos que aquí se presentan solo darán resultados aproximados, y en ocasiones erróneos, que deben tomarse con reserva. Esto significa que el proyectista seguirá con la idea de subestimar la importancia del análisis hidrológico previo al diseño hidráulico y que, para sentir mayor seguridad, tenderá a realizar proyectos conservadores que signifiquen erogaciones muy por encima de las necesarias.

### 3.4 Tránsito de avenidas en un embalse

#### 3.4.1. Antecedentes

El tránsito de avenidas involucra un proceso analítico para determinar la forma del hidrograma de la avenida en una localización particular de un canal, almacenamiento o lago, resultado del conocimiento de dicha avenida en algún otro lugar. Este tipo de cálculos son necesarios para establecer la altura del pico de la avenida aguas abajo; estimar la predicción que resulte de la construcción de un almacenamiento; determinar la altura requerida para el control de avenidas, diseñar el vertedor, así como cualquier otro cálculo relacionado con las avenidas. La ecuación de continuidad puede expresarse como :

$$I\Delta t - O\Delta t = \Delta S$$

donde

- I son gastos del hidrograma de entrada al embalse
- O gastos del hidrograma de salida
- S volumen almacenado

En la ecuación anterior  $\Delta S$  es un cambio en el volumen de almacenaje durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$ . Los valores de I son conocidos y tabulados de acuerdo con el tiempo de intervalo en análisis. Los gastos de salida O son los que se requieren conocer, pero dado que S hasta el momento no se ha establecido como función del tiempo, en la ecuación antes planteada hay dos incógnitas que son S

y 0. A continuación se establecerá para el tránsito en un almacenamiento la expresión que define los cambios de almacenaje.

#### Tránsito en embalses

Para un almacenamiento se considera que la superficie del agua esta a nivel todo el tiempo, aunque no siempre es ese el caso. La información inicial de que se dispone para realizar el tránsito es :

- a) El hidrograma de los gastos de entrada
- b) ~~La profundidad~~ <sup>El nivel</sup> del agua en el almacenamiento antes de la llegada de la avenida (  $t = 0$  )
- c) El gasto de salida del almacenamiento antes de que llegue la avenida (  $0, t = 0$  )

En adición a lo antes indicado se dispone de suficiente información dado que el almacenamiento es una estructura realizada por el hombre. Así, la variación del volumen almacenado se puede obtener como una función de la elevación de la superficie del agua, lo cual se establece en apoyo en un plano topográfico suponiendo que el agua esta siempre a nivel. Un ejemplo de esta información se muestra en la tabla 3.6 También se dispone de información para conocer en un momento dado los gastos de salida por la obra de toma y el vertedor de acuerdo con el nivel del agua en el embalse. Lo anterior es valido si el vertedor y la obra de toma no tienen control; si lo tienen, o se conocerá o se fijará la política de opera-

TABLA 3.6

VALORES DEL VOLUMEN ALMACENADO, GASTOS DE SALIDA Y  
( $2S/\Delta t$ ) + O PARA UN  $\Delta t = 15$  MINUTOS

Elevación (h) ( m )	Almacenaje (S) ( m <sup>3</sup> ) ( 1 )	Gastos de Salida (O) ( m <sup>3</sup> /s ) ( 2 )	( $2S/\Delta t$ ) + O ( m <sup>3</sup> /s ) ( 3 )
10.29	530	0	1.18
10.3	535	0.01	1.20
10.4	680	0.32	1.83
10.6	1,050	2.55	4.88
10.8	1,550	7.50	10.9
11.0	2,240	14.4	19.4
11.2	3,210	21.6	28.7
11.4	4,580	28.9	39.1
11.6	6,430	36.3	50.6
11.8	8,800	44.3	63.9
12.0	11,900	53.0	79.4
12.2	16,800	62.0	99.3
12.4	23,400	71.5	123
12.6	31,600	81.5	152
12.8	41,800	92.0	185
13.0	53,600	103	222
13.2	67,900	114	265
13.4	86,200	126	318
13.6	111,000	138	385
13.8	143,000	150	468
14.0	190,000	163	585
14.2	256,000	177	746
14.4	352,000	191	973
14.6	493,000	205	1,300
14.8	658,000	219	1,680
15.0	952,000	233	2,350

Fuente : Carter, R.W.; and Godfrey, R.G. Storage and flood routing. U.S. —  
Geological Survey Water Supply Paper 1543-B, Washington, D.C., 1960

ción a seguir para el manejo tanto del vertedor como de la obra de toma.

Como resultado de la decisión anterior se pueden escribir las siguientes expresiones :

$$S = S ( h )$$

$$O = O_c + O_s ( h )$$

en las cuales

$h$  es la elevación

$O_c$  es la descarga controlada

$O_s ( h )$  es la descarga no controlada

Para realizar el cálculo numérico los términos involucrados en la ecuación de continuidad se pueden escribir de la siguiente manera

$$I = ( I_t + I_{t + \Delta t} ) / 2$$

$$O = ( O_t + O_{t + \Delta t} ) / 2 = ( O_{c_t} + O_{c_{t + \Delta t}} + O_{s_t} + O_{s_{t + \Delta t}} ) / 2$$

$$S = S_{t + \Delta t} - S_t$$

Notese que  $I$  y  $O_c$  son conocidos todo el tiempo, pero

$O_s$  y  $S$  sólo se conocen para  $t = 0$ . Las incógnitas son  $O_{s_{t + \Delta t}}$  y  $S_{t + \Delta t}$ .

Substituyendo la ecuación anterior en la ecuación de continuidad, colocando las cantidades conocidas del lado izquierdo de la ecuación y las incógnitas del lado derecho, se tiene que

$$( I_t + I_{t + \Delta t} ) - ( O_{c_t} + O_{c_{t + \Delta t}} ) + \frac{2S_t}{\Delta t} - O_{s_t} = \frac{2S_{t + \Delta t}}{\Delta t} + O_{s_{t + \Delta t}}$$



Tanto el almacenaje como el gasto involucrados en los términos del lado derecho de la ecuación anterior son funciones de  $h$  o sea que

$$(2S/\Delta t) + O_s = f(h)$$

lo que permite construir una tabla con estos términos (columna 3 tabla 3.6), de apoyo para la solución de la ecuación de continuidad antes planteada.

El proceso de análisis se indica en la tabla 3.7, en la cual por facilidad se considera que no existen descargas controladas. En dicha tabla se presenta una columna adicional cuyo parámetro es una función de  $h$ , misma que se puede calcular como

$$(2S/\Delta t) + O_s - 2O_s = 2S/\Delta t - O_s$$

Como la solución se realiza paso a paso, para evitarse interpolaciones es usual que los valores de la tabla 3.6 se grafiquen.

La construcción de la tabla 3.7 se hace como a continuación se indica:

COLUMNA	EXPLICACION
1	Especifica el intervalo de tiempo (variable independiente)
2	Hidrograma conocido de los gastos de entrada
3	Suma de dos gastos de entrada adyacente en la columna 2, considerando uno al inicio y otra al final del intervalo de tiempo en análisis
4	Para este ejemplo los gastos de salida son solo función de $h$ . El valor de $O$ en la columna 4 se determina por el valor de $h$ en la columna 7 y se obtiene de la tabla--

3.6 Para  $t = 0$ ,  $h = 10.29$  y  $O = 0$

5

Se obtienen restando  $2O$  de la columna 3 de la tabla 3.6. Corresponde al inicio del intervalo de tiempo; por un tiempo de  $0:15$ ,  $h = 10.47$ , lo que involucra  $O = .84$  y  $(2S/\Delta t) + O = 2.62$ ; así  $(2S/\Delta t - O) = 2.62 - 2(0.84) = .94$

6

Se obtiene agregando el valor de la misma línea de la columna 3 al valor. El valor de la línea anterior de la columna 5. Para un tiempo de  $0:30$ , se tiene  $5.78 + 0.94 = 6.72$

7

Se obtiene interpolando el valor de  $h$  de la tabla 3.6, para lo cual se usa el valor  $(2S/\Delta t) + O$  en la misma línea de la columna 6. Esta es la elevación al terminar un intervalo de tiempo y el inicio para el siguiente intervalo.

TABLA 3.7

CALCULO TIPICO PARA EL TRANSITO DE AVENIDAS A TRAVES DE UN ALMACENAMIENTO

Tiempo	I Gasto de Entrada ( $m^3/seg$ )	$I_t + I_{t+\Delta t}$	O Gasto de Salida ( $m^3/seg$ )	$2S/\Delta t - O$	$2S/t + O$	h Elevación (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
0:00	0		0	$2.62 - 2(0.84) = 0.94$	1.18	10.29
15	1.44	1.44	0.84	0.94	2.62	10.47
30	4.34	5.78	4.04	-1.36	6.72	10.67
45	8.90	13.24	8.30	-4.72	11.88	10.82
1:00	18.7	27.8	17.2	-11.5	22.8	11.08
1:15	38.8	57.5	33.5	-21.0	46.0	11.52
1:30	106	144.8	71.6	-19.4	123.8	12.40
1:45	216	322	123	57	303	13.35
2:00	291	507	161	242	564	13.97
2:15	320	611	185	483	853	14.31
2:30	325	645	198	732	1,128	14.50
2:45	309	634	208	950	1,366	14.64
3:00	285	594	214	1,116	1,544	14.73
3:15	260	545	219	1,223	1,681	14.80
3:30	235	495	220	1,278	1,718	14.81
3:45	211	446	220	1,284	1,724	14.81
4:00	188	399	219	1,245	1,683	14.80
4:15	165	353	217	1,164	1,598	14.77
4:30	145	310	212	1,050	1,474	14.70
4:45	128	274	208	912	1,324	14.61
5:00	116	245	199	760	1,158	14.51
5:15	108	222	191	600	982	14.40
5:30	98.4	202.4	181	400.4	802.4	14.25
5:45	88.0	184.4	168	292.8	624.8	14.04
6:00	80.2	168.2	149	183.0	461.0	13.78
15:00	0.75	1.82	0.83	0.95	2.81	10.47
15:15	0.47	1.22	0.54	1.08	2.17	10.43
15:30	0.22	0.69	0.30	1.18	1.78	10.39
15:45	0	0.22	0.11	1.18	1.40	10.33
16:00	0	0	0	....	1.18	10.29
Total	4,504		4,504			

-223-

Fuente: Carter, R.W.; and Godfrey, R.G. Storage and flood routing. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1543-B, Washington, D.C., 1950