

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

FECHA	HORARIO	TEMA	PROFESOR
5 de junio	9 a 9:15 h	INTRODUCCION	ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA
	9:15 a 10:30 h	GENERALIDADES SOBRE MECANICA DE SUELOS	ING. ALFONSO RICO RODRIGUEZ
	10:45 a 12:15 h	GENERALIDADES SOBRE MECANICA DE SUELOS	ING. ALFONSO RICO RODRIGUEZ
	12:30 a 13:30 h	MATERIALES PARA PAVIMENTOS	ING. FELIPE LOO GOMEZ
	15 a 16 h	MATERIALES PARA PAVIMENTOS	ING. FELIPE LOO GOMEZ
	16:15 a 17:30 h	ESTABILIZACION DE SUELOS CON ADITIVOS	ING. CARLOS FERNANDEZ LOAIZA
	17:45 a 19:00 h	ESTABILIZACION DE SUELOS CON ADITIVOS	ING. CARLOS FERNANDEZ LOAIZA
6 de junio	9 a 10:30 h	IMPORTANCIA DE LAS TERRACERIAS	ING. MIGUEL QUINTERO NARES
	10:45 a 12:15 h	DISEÑO DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS	ING. LUIS MIGUEL AGUIRRE MENCHACA
	12:30 a 13:30 h	DISEÑO DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS	ING. LUIS MIGUEL AGUIRRE MENCHACA
	15 a 16:45 h	DISEÑO DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS	ING. LUIS MIGUEL AGUIRRE MENCHACA
	17 a 19 h	DISEÑO DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS	ING. LUIS MIGUEL AGUIRRE MENCHACA

FECHA	HORARIO	TEMA	PROFESOR
7 de junio	9 a 11 h	TALLER DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS	ING. MIGUEL QUINTERO NARES
	11:15 a 12:15 h	EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS Y CRITERIOS PARA SU REHABILITACION	ING. MIGUEL QUINTERO NARES
	12:30 a 13:30 h	EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS Y CRITERIOS PARA SU REHABILITACION	ING. MIGUEL QUINTERO NARES
	15 a 16:45 h	DISEÑO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS EN AEROPUERTOS	ING. FERNANDO RODARTE LAZO
	17 a 19 h	DISEÑO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS EN AEROPUERTOS	ING. FERNANDO RODARTE LAZO
8 de junio	9 a 10:30 h	PLANEACION DE LOS TRABAJOS DE CONSTRUCCION	ING. CARLOS MANUEL CHAVARRI M.
	10:45 a 12:15 h	PRODUCCION DE AGREGADOS	ING. PEDRO LUIS BENITEZ E.
	12:30 a 13:30 h	PRODUCCION DE AGREGADOS	ING. PEDRO LUIS BENITEZ E.
	15 a 16:30 h	BASES Y SUBASES	ING. ALFREDO GUERRA GUAJARDO
	16:45 a 17:45	COMPACTACION EN EL CAMPO	ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO
	18 a 19 h	CARPETAS DE RIEGOS	ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO

FECHA	HORARIO	TEMA	PROFESOR
9 de junio	9 a 10:30 h	CARPETAS DE MEZCLAS	ING. EMILIO GIL VALDIVIA
	10:45 a 11:45 h	SELECCION DEL EQUIPO DE COMPACTACION	ING. ROBERTO PASQUEL LUJAN
	12:00 a 13:30h	TRANSPORTE, COLOCACION Y COMPACTACION DE MEZCLAS ASFALTICAS	ING. ROBERTO PASQUEL LUJAN
	15 a 16 h	PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS	ING. LUDWIG LINDNER STRAUSS
	16:15 a 17:30	PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS	ING. LUDWIG LINDNER STRAUSS
	17:45 a 19:30	CONTROL DE PRODUCCION	ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA
10 de junio	8 a 10 h	CONTROL DE CALIDAD	ING. ALFONSO RICO RODRIGUEZ
	10:15 a 13:00	INVESTIGACION (PANEL)	ING. ALFONSO RICO RODRIGUEZ ING. SANTIAGO CORRO CABALLERO ING. LUIS MIGUEL AGUIRRE MENCHACA ING. MIGUEL QUINTERO NARES ING. ROBERTO SOSA G. ING. MANUEL ZARATE AQUINO ING. CARLOS FERNANDEZ LOAIZA



DIRECTORIO DE PROFESORES

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

ING. LUIS MIGUEL AGUIRRE MENCHACA
ADMINISTRADOR GENERAL
GEOSOL, S.A.
ANT. TAXQUEÑA No. 174
COYOACAN
MEXICO 21, D.F.
TEL: 544.66.02 y 03

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO
DIRECTOR GENERAL Y VICEPRESIDENTE
SACMAG DE MEXICO, S.A.
NUEVA YORK No. 310 - 7º PISO
MEXICO 18, D.F.
TEL: 687.36.66

ING. PEDRO LUIS BENITEZ ESPARZA
COORDINADOR DE INGENIOS
FABRICACIONES INGENIERIA Y MONTAJE, S.A.
GUANAJUATO No. 163 P.B.
MEXICO 7, D.F.
TEL: 584.18.31

ING. SANTIAGO CORRO CABALLERO
COORDINADOR DE VIAS TERRESTRES
INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM
CIUDAD UNIVERSITARIA
MEXICO 20, D.F.
TEL: 550.03.88

ING. CARLOS MANUEL CHAVARRI MALDONADO
GERENTE
UNIVERSAL DE CONSTRUCCIONES, S.A.
TORRES ADALID No. 1412 DESP. 1
MEXICO 12, D.F.
TEL: 536.55.17

ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA
VICEPRESIDENTE I.C.A.
MINERIA 145 ENT. 1 EDIF. 2 - 3º PISO
MEXICO 18, DF.
TEL: 516.04.60 ext. 320

ING. CARLOS FERNANDEZ LOAIZA
SUPERVISOR DE ESTUDIOS GEOTECNICOS
OFICINA DE MECANICA DE ROCAS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
S. A. H. O. P.
XOLA Y AV. UNIVERSIDAD
MEXICO 12, D.F.
TEL: 519.76.60

ING. EMILIO GIL VALDIVIA
SUBGERENTE DE OBRAS CIVILES
COMISION DE VIALIDAD Y TRANSPORTE URBANO
D.D.F.
AV. JUAREZ No. 42 EDIF. B - 1º PISO
MEXICO 1, D.F.
TEL: 518.66.55

ING. ALFREDO GUERRA GUAJARDO
GERENTE GENERAL
GUERRA, S.A.
PASEO DE LA REFORMA No. 369
MEXICO 5, D.F.
TEL: 533.64.32

ING. LUDWIG LINDNER STRAUSS
ADMINISTRADOR UNICO
CONSTRUCCIONES Z, S.A.
ALCANFORES No. 49 - 1
COL. LAS AGUILAS
MEXICO 20, D.F.
TEL: 593.86.62 y 593.87.35

ING. FELIPE LOO GOMEZ
JEFE DE LA OFNA. DE CONTROL
DE CALIDAD, DIRECCION GENERAL
DE AEROPUERTOS
S. A. H. O. P.
XOLA 1755 - 3º PISO
MEXICO 12, D.F.
TEL: 519.80.10

ING. ROBERTO PASQUEL LUJAN
SUPERINTENDENTE DE OBRA
GUERRA, S.A.
PASEO DE LA REFORMA No. 369 DESP.5
MEXICO 5, D.F.
TEL: 533.64.32

DIRECTORIO DE PROFESORES

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

ING. LUIS MIGUEL AGUIRRE MENCHACA
ADMINISTRADOR GENERAL
GEOSOL, S.A.
ANT. TAXQUEÑA No. 174
COYOACAN
MEXICO 21, D.F.
TEL: 544.66.02 y 03

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO
DIRECTOR GENERAL Y VICEPRESIDENTE
SACMAG DE MEXICO, S.A.
NUEVA YORK No. 310 - 7º PISO
MEXICO 18, D.F.
TEL: 687.36.66

ING. PEDRO LUIS BENITEZ ESPARZA
COORDINADOR DE INGENIOS
FABRICACIONES INGENIERIA Y MONTAJE, S.A.
GUANAJUATO No. 163 P.B.
MEXICO 7, D.F.
TEL: 584.18.31

ING. SANTIAGO CORRO CABALLERO
COORDINADOR DE VIAS TERRESTRES
INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM
CIUDAD UNIVERSITARIA
MEXICO 20, D.F.
TEL: 550.03.88

ING. CARLOS MANUEL CHAVARRI MALDONADO
GERENTE
UNIVERSAL DE CONSTRUCCIONES, S.A.
TORRES ADALID No. 1412 DESP. 1
MEXICO 12, D.F.
TEL: 536.55.17

ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA
VICEPRESIDENTE I.C.A.
MINERIA 145 ENT. 1 EDIF. 2 - 3º PISO
MEXICO 18, DF.
TEL: 516.04.60 ext. 320

ING. CARLOS FERNANDEZ LOAIZA
SUPERVISOR DE ESTUDIOS GEOTECNICOS
OFICINA DE MECANICA DE ROCAS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
S. A. H. O. P.
XOLA Y AV. UNIVERSIDAD
MEXICO 12, D.F.
TEL: 519.76.60

ING. EMILIO GIL VALDIVIA
SUBGERENTE DE OBRAS CIVILES
COMISION DE VIALIDAD Y TRANSPORTE URBANO
D.D.F.
AV. JUAREZ No. 42 EDIF. B - 1º PISO
MEXICO 1, D.F.
TEL: 518.66.55

ING. ALFREDO GUERRA GUAJARDO
GERENTE GENERAL
GUERRA, S.A.
PASEO DE LA REFORMA No. 369
MEXICO 5, D.F.
TEL: 533.64.32

ING. LUDWIG LINDNER STRAUSS
ADMINISTRADOR UNICO
CONSTRUCCIONES Z, S.A.
ALCANFORES No. 49 - 1
COL. LAS AGUILAS
MEXICO 20, D.F.
TEL: 593.86.62 y 593.87.35

ING. FELIPE LOO GOMEZ
JEFE DE LA OFNA. DE CONTROL
DE CALIDAD, DIRECCION GENERAL
DE AEROPUERTOS
S. A. H. O. P.
XOLA 1755 - 3º PISO
MEXICO 12, D.F.
TEL: 519.80.10

ING. ROBERTO PASQUEL LUJAN
SUPERINTENDENTE DE OBRA
GUERRA, S.A.
PASEO DE LA REFORMA No. 369 DESP.5
MEXICO 5, D.F.
TEL: 533.64.32

ING. MIGUEL QUINTERO NARES
JEFE DE LA OFICINA DE TERRACERIAS
Y PAVIMENTOS, DIRECCION GENERAL DE
SERVICIOS TECNICOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
S. A. H. O. P.
CENTRO SCOP
XOLA Y AV. UNIVERSIDAD P.B.
MEXICO 12, D.F.
TEL: 519.13.46

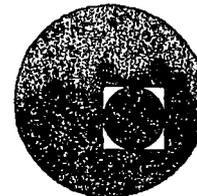
ING. ALFONSO RICO RODRIGUEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
XOLA Y AV. UNIVERSIDAD 1º PISO
MEXICO 12, DF.
TEL: 519.51.65

ING. ROBERTO SOSA GARRIDO
GERENTE DE TERRACERIAS y PAVIMENTOS
GEOTEC, S.A.
LONDRES No. 44
MEXICO 21, D.F.
TEL: 544.20.85

ING. MANUEL ZARATE AQUINO
JEFE DE LA OFICINA DE ESTUDIOS
GEOSOL, S.A.
ANT. TAXQUEÑA No. 174
COYOACAN
MEXICO 21, D.F.
TEL: 544.66.02 y 03



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

DISEÑO DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS.

ING. LUIS MIGUEL AGUIRRE MENCHACA.

JUNIO DE 1978.

Palacio de Minería

Calle de Tacuba 5,

primer piso.

México 1, D. F.

... el de la Mecánica de Suelos en la tecnología de pavimentos.

Por lo que se refiere a las aportaciones de la mecánica de suelos a las prácticas de diseño y construcción de los pavimentos, es indiscutible que éstas han sido y vienen siendo muy amplias y de gran trascendencia.

Como todos sabemos, el pavimento constituye la superestructura de una obra vial que, en última instancia, hace posible el rodamiento de los vehículos de una manera confortable y segura. Se trata, en consecuencia, de un elemento estructural que recubre o reviste a la terracería, con el fin de lograr que la superficie final o de acabado, presenta una serie de cualidades necesarias al apropiado rodamiento de los vehículos, durante un lapso o vida útil razonable, en el cual se ve expuesto no solo a la acción destructiva del tránsito, sino también a la de los diversos fenómenos de intemperie.

Esos que los materiales que utiliza el ingeniero para la construcción de las terracerías u "capas de tierra" suelen ser, como norma general, seleccionados en forma más inmediata la superficie de la corteza terrestre, es obvio que su selección no pueda ser la requerida para satisfacer

las exigencias del tránsito a que hemos hecho mención por lo mismo, la necesidad de construir pavimentos (las terracerías), una o varias capas con los materiales más adecuadamente seleccionados, a cuyo conjunto se le designa como pavimento, resulta igualmente obvia.

No hay duda entonces, de que el pavimento constituye tan solo una parte de la obra vial, a la cual por su ubicación, le corresponde estar en contacto directo con el tránsito y por lo mismo, servir de elemento de transmisión de los esfuerzos producidos por éste, hacia la capa superior de las terracerías. Por su parte, éstas últimas proporcionan, a su vez, el apoyo o cimentación del mismo, con análogos requerimientos en cuanto a la estabilidad o deformabilidad, que son comunes en la cimentación de cualquier otro tipo de estructura.

Podemos decir, en consecuencia, que los problemas que se plantean al diseñar un pavimento, no quedan circunscritos a la capa o conjunto de capas que forman su estructura, sino que abarcan, con igual importancia, a las capas inferiores que constituyen propiamente su cimentación, siendo en este particular aspecto en donde, por principio de cuentas, la Mecánica de Suelos proporciona una importantísima aportación.

Ciertamente, en la regla y no la excepción que en la práctica los materiales que forman las terracerías y mantos subyacentes, dispongan de las características o propiedades mecánicas apropiadas para satisfacer adecuadamente los requisitos de esfuerzo y deformación que les son necesarios para atender a las sollicitaciones impuestas, tanto por la acción del tránsito, como por el peso propio y los agentes de intemperie; sin embargo, las excepciones a la regla, no por ser relativamente de poca frecuencia, disminuyen su importancia; es decir cuando ello ocurre, adquiere una gran relevancia su estudio. Citemos como casos típicos, todas aquellas regiones en donde la obra vial cruza zonas caracterizadas por sedimentos fluviales o lacustres, preponderantemente arcillosos, de consistencia blanda o muy blanda, tal como ocurre en una amplia región del sureste de nuestro país, en diversas zonas sujetas a frecuentes inundaciones por el desbordamiento de ríos y arroyos, e inclusive al propio Valle de México, por mencionar los casos más familiares. Por cierto, a-

propósito de este último y para señalar al respecto al concreto, es pertinente comentar que mientras no tuvo conciencia del comportamiento mecánico de las arcillas del Valle y de sus características geotécnicas, desoñadas por la Mecánica de Suelos, no fueron aplicados estos conocimientos al proyecto.

los pavimentos en los aeropuertos de la zona (El Internacional y Militar de Sta. Lucía), su comportamiento fue por demás deficiente y su construcción extraordinariamente costosa. En la actualidad creemos que gracias a la contribución proporcionada por la Mecánica de Suelos se han logrado soluciones altamente satisfactorias.

Otro ejemplo interesante al respecto, puede encontrarse en el campo de los pavimentos rígidos. El propio Terzaghi, en uno de sus artículos publicado al principio de los años cuarenta, refiere el hecho de que en los EUA una buena parte de la carretera dotada con pavimento de concreto rígido, se encontraba en estado ruinoso o blando, habiendo sido reconstruida para su aprovechamiento poral, mediante la aplicación de capas renovadoras; la razón fundamental de esto se atribuye al desconocimiento, por parte de los diseñadores, de los fenómenos de interacción entre la losa y el suelo de apoyo, bajo la acción no sólo de las cargas, sino también de los diversos efectos de intemperie, que se traducen por ejemplo, en expansiones y contracciones diferenciales por variación en el contenido de agua del suelo, efectos producidos por la acción de las heladas, etc.

Como ustedes saben, hacia finales de los años 20 y principios de los 30, Westergaard dio a conocer una serie de trabajos sobre los esfuerzos producidos en una losa de concreto, bajo la acción del tránsito como de los cambios de temperatura. Una conclusión muy importante que se derivó de su teoría, la cual por cierto, dentro de ciertos límites sigue siendo válida, fue que los esfuerzos de tensión producidos en la losa de un pavimento, eran prácticamente independientes de las características del suelo que sirve de apoyo a la losa. Esta conclusión, aunque desde el punto de vista de las hipótesis de Westergaard es correcta, su influencia por aquella época resultó nefasta al descuidarse los factores antes mencionados, siendo inclusive usual, apoyar el concreto directamente sobre la subrasante, cuyo material, a su vez, podía corresponder a cualquier tipo de suelo por inconveniente que pudiera aparecer. Es indudable que en el esclarecimiento de esta anómala actitud mucho contribuyó la Mecánica de Suelos.

Pasando más concretamente a la estructura ensi de un pavimento, podemos decir que las técnicas utilizadas para su diseño se derivan en buena parte, de los conceptos y desarrollos establecidos dentro de la Mecánica de Suelos, lo que equivale a hablar de una Mecánica de Suelos aplicada al diseño de pavimentos, tal como puede decirse de la Mecánica de Suelos aplicada a otros campos de la Ingeniería Civil, como el de las cimentaciones, las presas, los muros de retención, etc.

No es el momento, ni habría tiempo para ello, de hacer una descripción exhaustiva de todos los conceptos desarrollados por la Mecánica de Suelos, y que la tecnología de los pavimentos ha asimilado y utilizado en su beneficio. Sin embargo, el enunciado de algunos de ellos en un breve comentario, podría ser elocuente, a propósito del tema que se me ha encomendado para comentar ante ustedes.

1. Procedimientos para la determinación de las propiedades ingenieriles de los suelos y sus técnicas de ensaye.

De hecho, la generalidad de los materiales que se emplean en la construcción de un pavimento, salvo obviamente, los aglutinantes o cementantes, se alinean dentro de la definición ingenieril de suelo, y por lo mismo, es lógico que su estudio quede comprendido dentro de la Mecánica de Suelos no sólo por lo que se refiere a la determinación de sus propiedades índice; granulometría, plasticidad, etc., sino al estudio concreto de su comportamiento: resistencia al esfuerzo cortante, compresibilidad, y cambios volumétricos en general.

2. Teorías de capacidad de carga en cimientos superficiales.

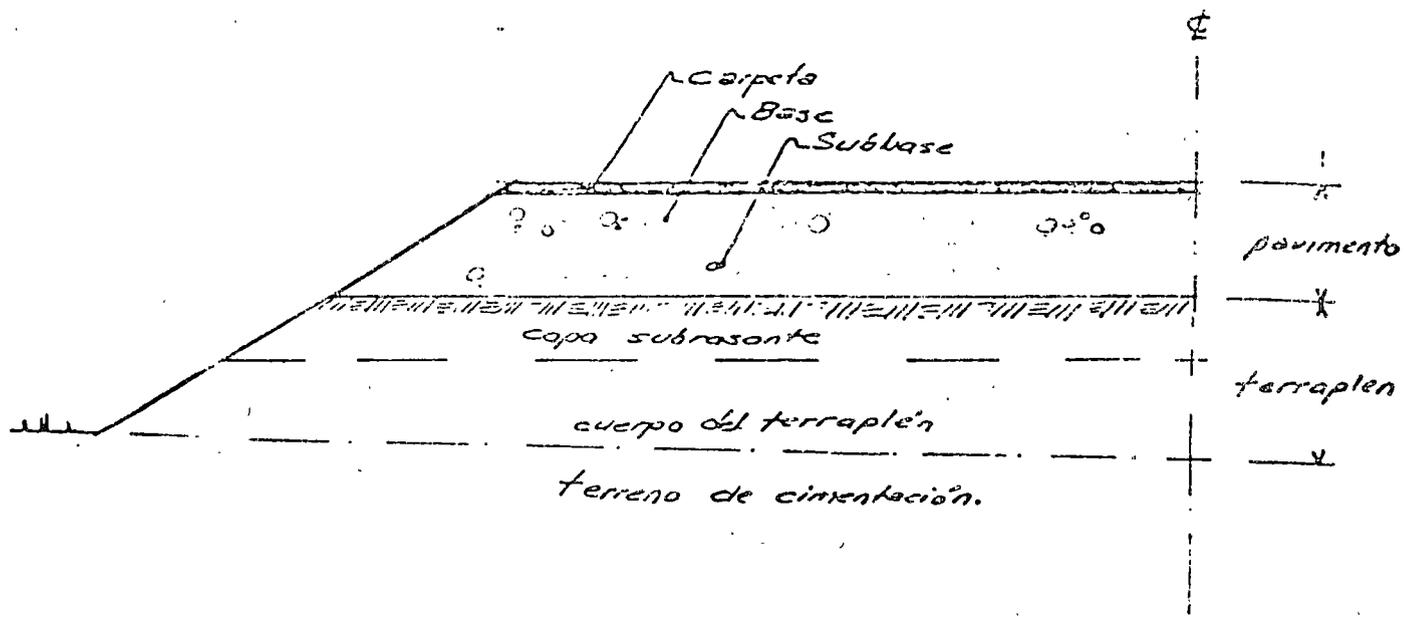
Ciertamente el considerar a un pavimento como una especie de cimiento superficial, no deja de ser una analogía un tanto simplista del problema. Sin embargo, la aceptación de este concepto, analizado a la luz de las teorías de capacidad de carga, ha permitido reconocer la influencia de una serie de factores que afectan el comportamiento de un pavimento, cuando menos desde un punto de vista cualitativo pero de gran utilidad. Por ejemplo, la importancia de emplear materiales predominantemente friccionantes en las capas inferiores de un pavimento flexible, y la necesidad de hacer intervenir una componente de resistencia cohesiva en las superiores; la influencia de la magnitud del área de contacto de las llantas en la capacidad de carga del pavimento, así como la importancia de las presiones de confinamiento en las inmediaciones a las orillas del mismo.

Por otra parte, el conocimiento acumulado por la Mecánica de Suelos en cuanto a los factores que afectan la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, particularmente en lo que se refiere a la forma de las partículas, la granulometría, la compactación, etc., ha sido grandemente utilizada de una manera normativa en los criterios de selección y utilización de los materiales de pavimentación.

3. Otro aspecto importante, en donde los conocimientos adquiridos por la Mecánica de Suelos encuentran una amplia aplicación en el diseño de los pavimentos, lo encontramos a propósito de la compactación de los suelos, en el estudio de los diferentes factores que la afectan y su influencia en el comportamiento de los mismos.

4. Finalmente, podríamos decir que, independientemente de las aportaciones más o menos concretas a que se ha hecho referencia con anterioridad, la Mecánica de Suelos, como una disciplina científica sustentada en una labor que se ha distinguido por su fecunda fuente de investigación creadora, es innegable que ha ejercido y ejerce, una influencia definitiva en la evolución y logros alcanzados por la tecnología de los pavimentos, la cual se percibe incluso, en la actitud y mentalidad de los técnicos e investigadores que encaran el importante y complejo problema de los pavimentos.

Ing. Luis M. Aguirre Menchaca



Terreno de Cimentación. - Soportar la obra vial.

Terraplén. a) **Cuerpo del Terraplén.** - Cubrir las funciones del terraplén.

b) **Capa subrasante.** - Apoyo adecuado del pavimento.

Subbase. - Transmitir esfuerzos a la capa subrasante

Transición entre base y subrasante.

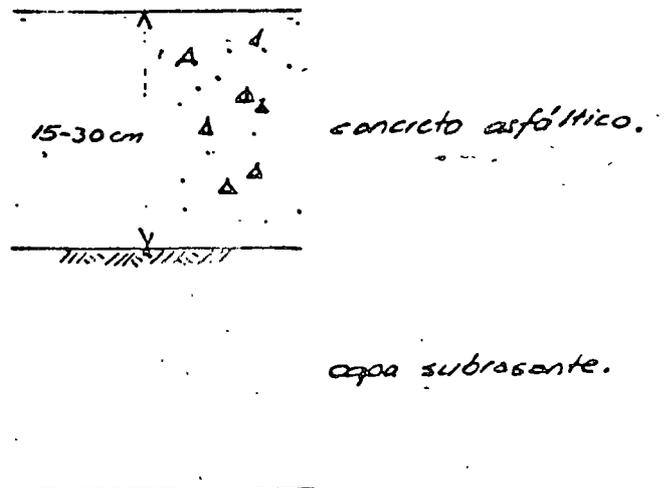
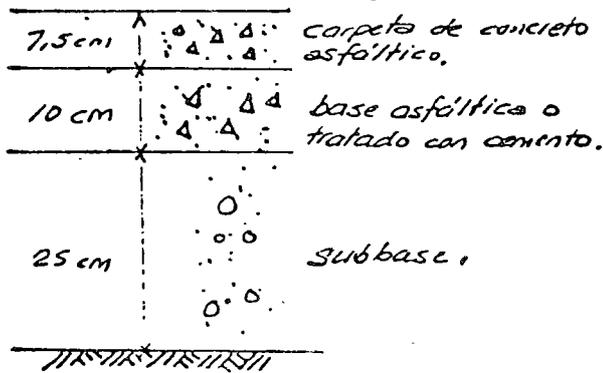
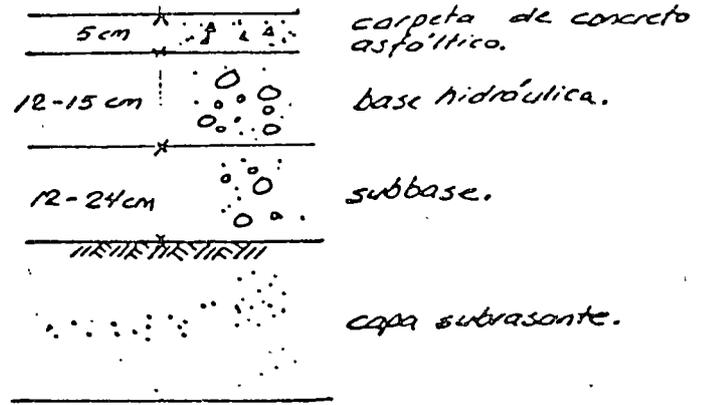
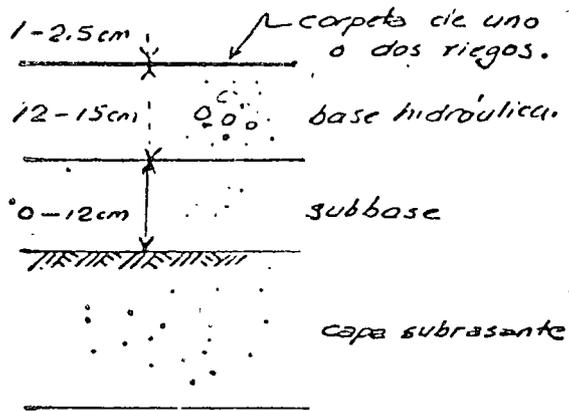
Reducir efectos de cambios volumétricos y rebote elástico

Reducir costo del pavimento.

Base. - Soportar adecuadamente las cargas y distribuir esfuerzos a las capas subyacentes en forma adecuada.

Carpete. - Proporcionar una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada.

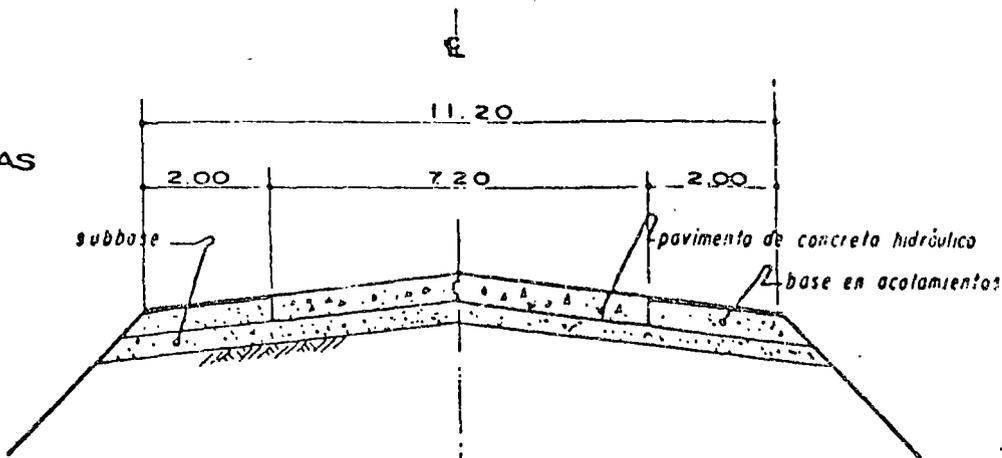
FIGURA - ESTRUCTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA DIFERENTES TIPOS DE TRANSITO



El espesor de la capa subrasante varía entre 30 y 50 cm.

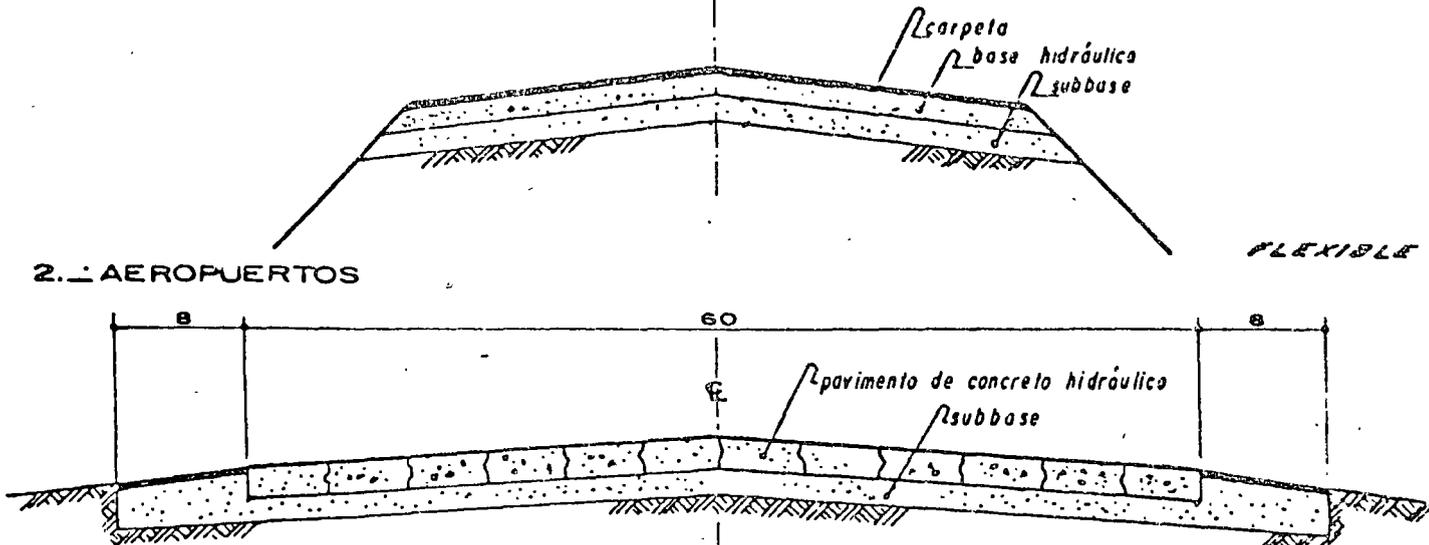
SECCIONES TIPIICAS DE PAVIMENTOS

1. CARRETERAS



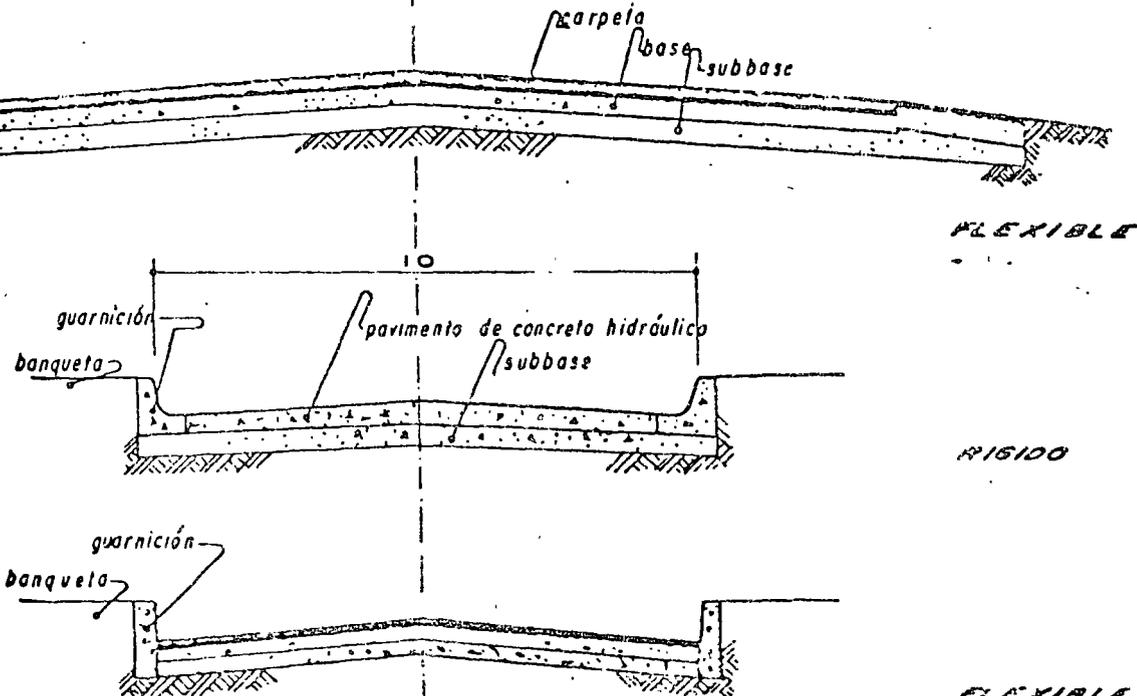
RIGIDO

2. AEROPUERTOS



FLEXIBLE

3. CALLES



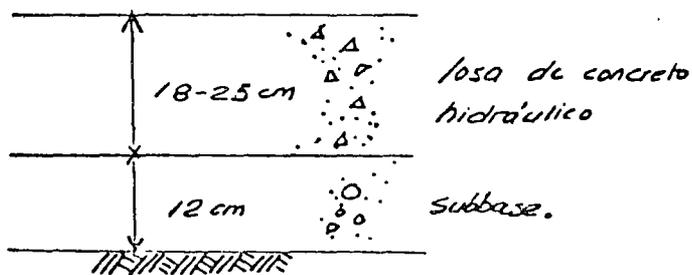
FLEXIBLE

RIGIDO

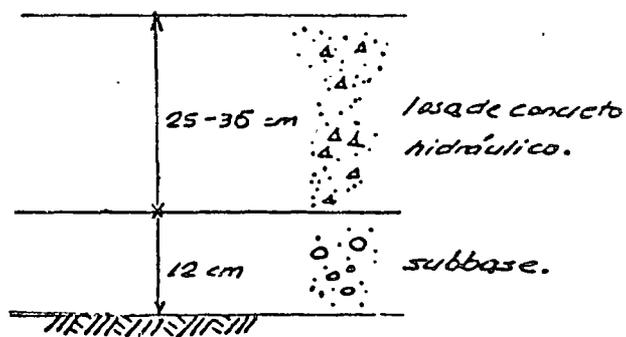
FLEXIBLE

FIGURA.-

ESTRUCTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTO RÍGIDO

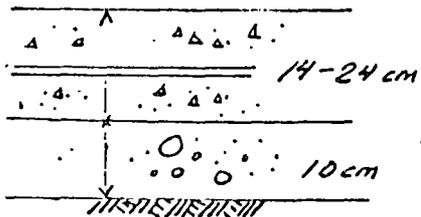


calles y carreteras.



aeropuertos.

acero de prestuerzo



losa de concreto prestresado.

subbase

1.- FASE DEL PROYECTO.

- ESTRUCTURACION Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS DIFERENTES CAPAS (P. FLEX). DIMENSIONAMIENTO DE LA LOSA, TIPO Y UBICACION DE LAS JUNTAS (P. RIGIDOS)
- FIJACION DE LAS NORMAS DE CALIDAD Y DE LAS FUENTES DE APROVISIONAMIENTO DE MATERIALES.
- ESPECIFICACIONES GENERALES Y NORMAS DE CONSTRUCCION
- TOLERANCIAS DE CONSTRUCCION Y ACABADO.

2.- QUE DEBEMOS HACER:

- ✓ ESTUDIOS ESPECIFICOS. {
- EXPLORACION Y MUESTREO A LO LARGO DE LA RUTA
 - ENSAYES DE LABORATORIO
 - ANALISIS DE TRANSITO
 - CLIMA Y FACTORES AMBIENTALES
 - RECURSOS Y POTENCIALIDAD DE MATERIALES

3.- QUE DEBEMOS TENER:

- BUEN CONOCIMIENTO DE LOS DIFERENTES FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE UN PAVIMENTO.
- CIERTO DOMINIO DE VARIOS DE LOS PRINCIPALES METODOS DESARROLLADOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS DIFERENTES CAPAS
- FAMILIARIDAD CON LAS NORMAS QUE REGULAN LA CALIDAD Y COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES.
- EXPERIENCIA Y BUEN JUICIO.

DATOS PARA EL PROYECTO

TRANSITO

- AERONAVE DE DISEÑO O TRANSITO EQUIVALENTE
- NUMERO DE APLICACIONES
- PESO TOTAL DE OPERACION
- CONFIGURACION DEL TREN DE ATERRIZAJE O NUMERO DE EJES
- PRESIONES DE INFLADO Y DE CONTACTO
- CANALIZACION DE TRANSITO

CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO Y DE LOS MATERIALES PARA PAVI- MENTACION

- PROPIEDADES INGENIERILES DE LOS SUELOS
- CARACTERISTICAS Y POTENCIALIDAD DE MATERIALES EN LA ZONA

CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS Y FACTORES AMBIENTALES

- VARIACION DE LA TEMPERATURA
- REGIMEN PLUVIOMETRICO
- DRENAJE Y SUBDRENAJE
- POSICION DEL NIVEL DE AGUAS FREATICAS
- TOPOGRAFIA

METODO S O P

<p>INTENSIDAD DE TRANSITO DE VEHICULOS CON CAPACI DAD DE CARGA IGUAL O SÚ PERIOR A 3 TONELADAS MÉ TRICAS, CONSIDERADO EN UN SOLO SENTIDO.</p>	<p>CURVA APLICABLE PARA EL PROYECTO DE ESPESORES.</p>
<p>Menos de 500 vehículos al día</p>	<p>IV</p>
<p>De 500 a 1000 vehículos al día</p>	<p>III</p>
<p>De 1000 a 2000 vehículos al día</p>	<p>II</p>
<p>Más de 2000 o autopistas</p>	<p>I</p>

NATIONAL CRUSHED STONE ASSOCIATION

TABLA DE VALORES DEL INDICE DE DISEÑO PARA DIVERSAS CATEGORIAS DE TRANSITO

INDICE DE DISEÑO	CARACTERISTICAS GENERALES GRUPO 1.- AUTOMOVILES, PANEL Y PICK-UP. GRUPO 2.- CAMIONES DE 2 EJES CARGADOS O MAYORES CON CARGAS LIGERAS O VACIOS. GRUPO 3.- TODOS LOS VEHICULOS CON MAS DE TRES EJES.	CARGAS EQUIVALENTES POR EJE DE 18 000 LB PROMEDIO DIARIO EN EL CARRIL DE DISEÑO PARA UN PERIODO DE PROYECTO DE 20 AÑOS CON MANTENIMIENTO NORMAL
DI - 1	Tránsito ligero.- Pocos vehículos mas pesados que los Automóviles	menos de 5
DI - 2	Tránsito mediano-ligero-similar al DI-1 1000 VPD como máximo, incluyendo 5% del Grupo 2. como máximo.	6-20
DI - 3	Tránsito mediano.- 3000 VPD máximo, incluyendo no más del 10% de los grupos 2 y 3 y 1% del grupo 3.	21-75
DI - 4	Tránsito mediano - pesado.- 6000 VPD máximo, incluyendo no más del 15% de los grupos 2 y 3 y 1% del Grupo 1	76-250
DI - 5	Tránsito pesado.- 6000 VPD máximo, incluyendo hasta el 25% de los grupos 2 y 3 y 10% del Grupo 3.	251-900
DI - 6	Tránsito muy pesado. Más de 6000 VPD, pudiendo incluir más del 25% de los grupos 2 y 3	901-3000

DEPARTAMENTO DE CARRETERAS DE CALIFORNIA

No. de ejes	Constantes	Tránsito diario al inicio del período de diseño	Factores de incremento	EWL por Grupo de ejes
2	280	80	2.0	44,800
3	930	18	1.8	30,100
4	1,320	7	1.5	13,900
5	3,190	18	1.85	106,200
6	1,950	2	1.5	5,800

Promedio anual de repeticiones 200,800

Multiplicando por el período de diseño: (20 años)

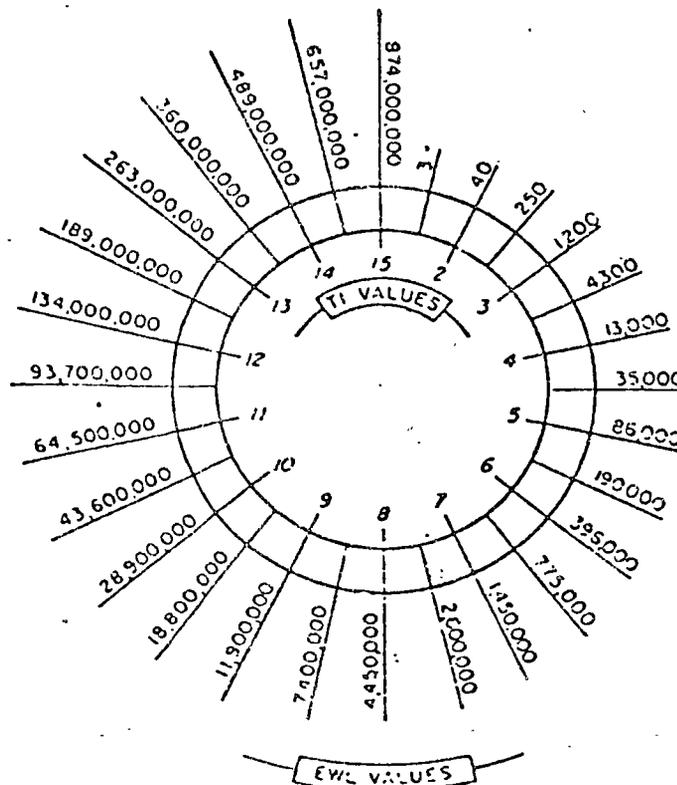
$$EWL = 20 \times 200800 = 4,016,000$$

Para convertir a índice de tránsito, se puede emplear la fórmula siguiente o bien, mediante la gráfica mostrada.

$$Tl = 6.7 \left(\frac{EWL}{10^6} \right)^{0.119}$$

$$Tl = 6.7 \left(\frac{4,016,000}{10^6} \right)^{0.119} = 7.9 \approx 8$$

CONVERSION CHART
EWL TO TRAFFIC INDEX



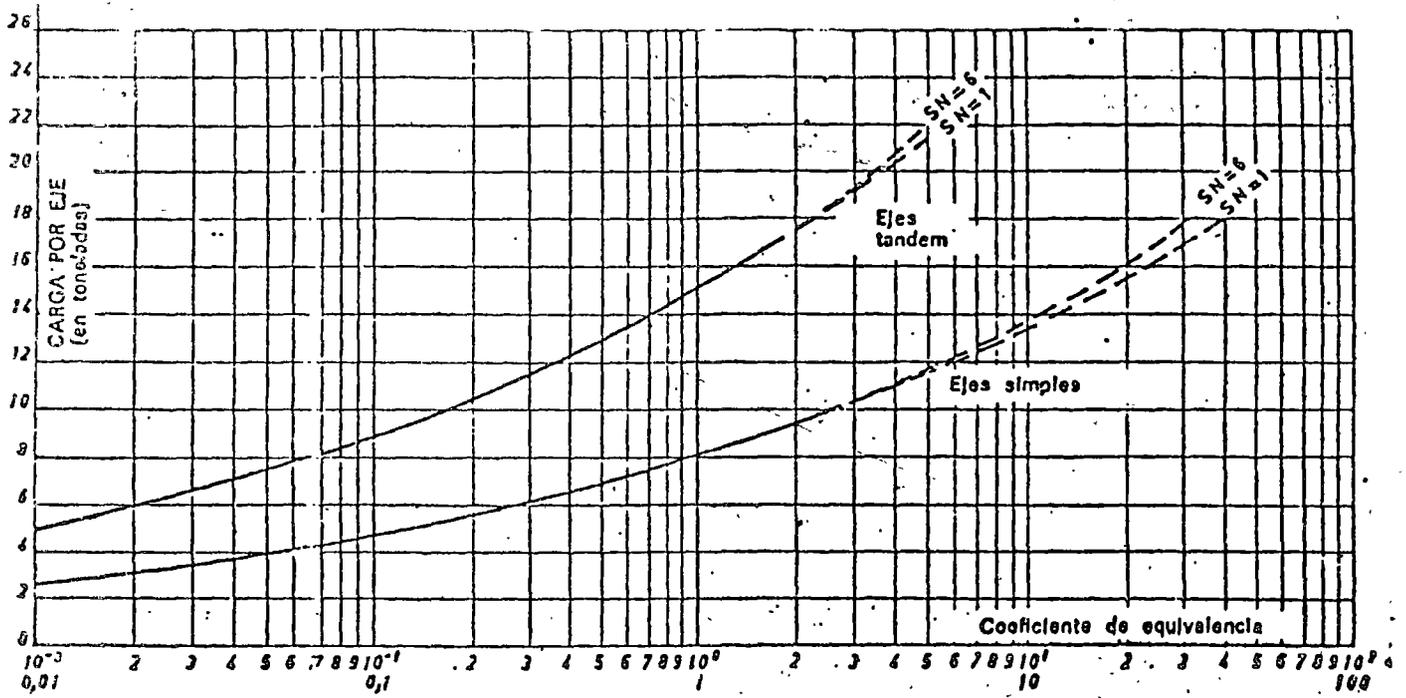


FIG. 34. Coeficiente de equivalencia (firmes flexibles).
 Según Liddle (Bureau of Public Roads). Índice de viabilidad final: 2,0

METODO AASHO

Tránsito diario en dos direcciones = 500 vpd
 Dirección del tránsito en 2 carriles = 50 y 50%
 Porcentaje de camiones = 25%
 Tasa de incremento por año = 5.5 %

$p = 2; SN = 4.$

CARGA POR EJE (KIPS)	EJES SENCILLOS POR CADA 100 CAMIONES			EJES EN TANDEM POR CADA 100 CAMIONES		
	NUMERO	F	NxF	NUMERO	F	NxF
Menos de 3	75.3	0.0002	0.02			
3-5	29.9	0.002	0.06			
5-7	10.5	0.01	0.11			
7-9	3.4	0.03	0.10			
9-11	4.2	0.08	0.34			
11-13	3.0	0.18	0.54			
13-15	4.1	0.35	1.43	0.1	0.03	0.01
15-17	9.3	0.61	5.78	0.5	0.05	0.03
17-19	11.0	1.00	11.00	1.5	0.08	0.12
19-21	8.0	1.55	12.40	2.0	0.12	0.24
etc.						
Totales			46.99			14.99

Ejes equivalentes por cada 100 camiones = 46.99 + 14.99 = 61.98
 Tránsito inicial de 18 000 LB por eje equivalente

$$\frac{500}{2} \times 0.25 \left(\frac{61.98}{100} \right) = 38.7$$

Tránsito acumulado para un período de 10 años

$$\sum_0^n EAL = \frac{EAL_0 (365)}{\log_e (1 + i)} \left[(1 + i)^n - 1 \right]$$

$$\approx EAL = \frac{38.7 \times 365}{0.0535} \left[(1.055)^{10} - 1 \right] = 186\ 818$$

o bien, efectuando los cálculos por cada año:

Fin del año	$(1 + i)^n$	Total en el año
1	1.000	$38.7 \left(\frac{1 + 1.055}{2} \right) (365) = 14\ 513$
2	1.055	$38.7 \left(\frac{1.055 + 1.113}{2} \right) (365) = 15\ 312$
3	1.113	$38.7 \left(\frac{1.113 + 1.174}{2} \right) (365) = 16\ 152$
etc.		TOTAL <u>186 804</u>

NOTA

74 K_v = Coeficiente de equivalencia para el vehículo vacío.
 K_c = Coeficiente de equivalencia para el vehículo cargado.

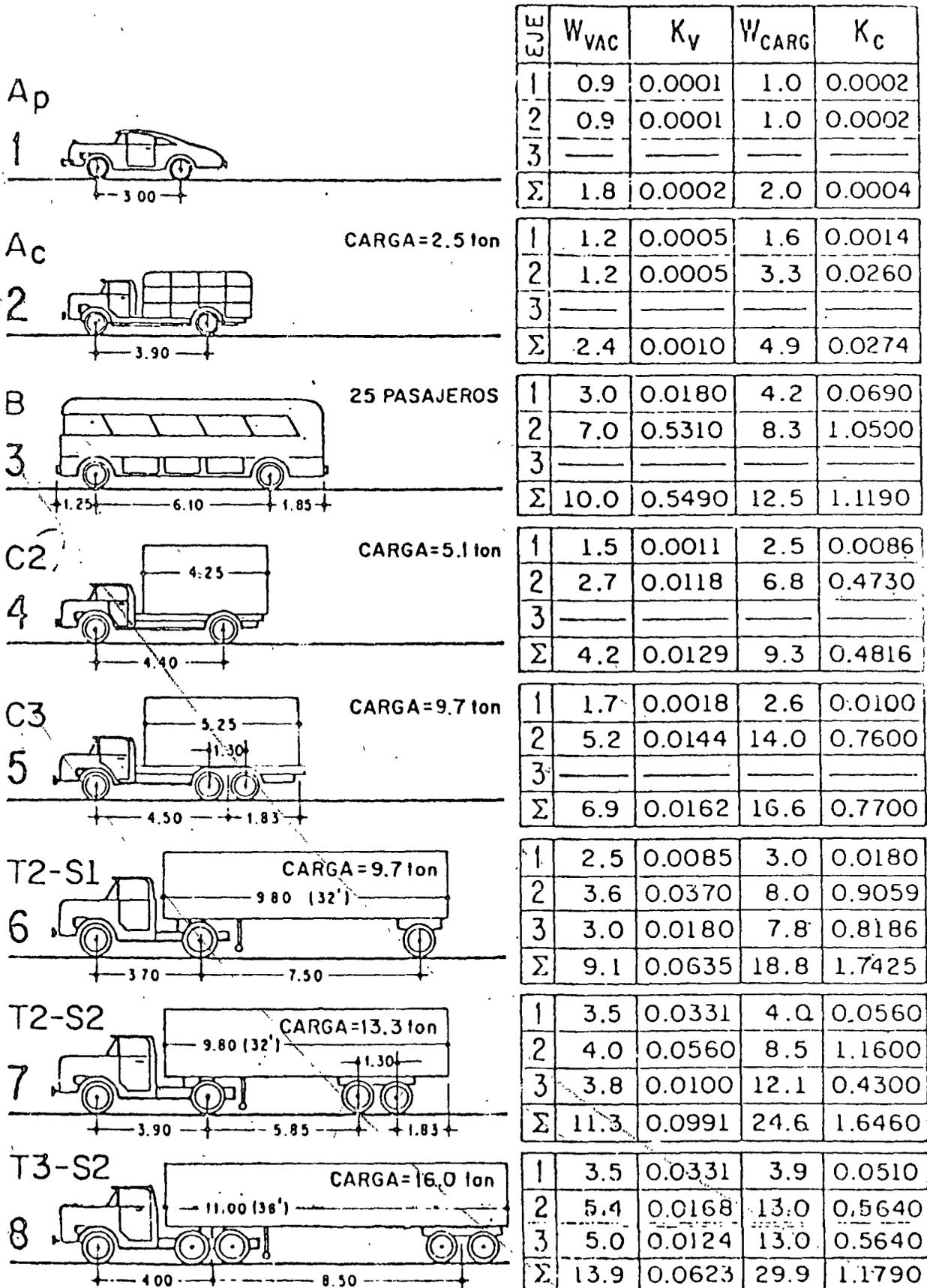
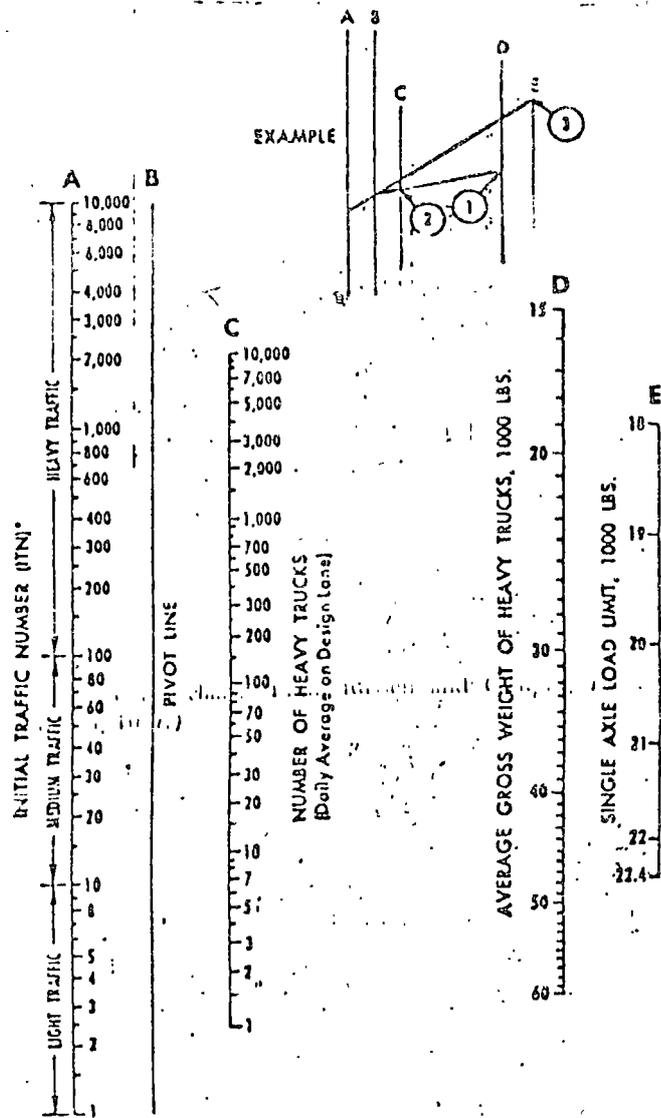


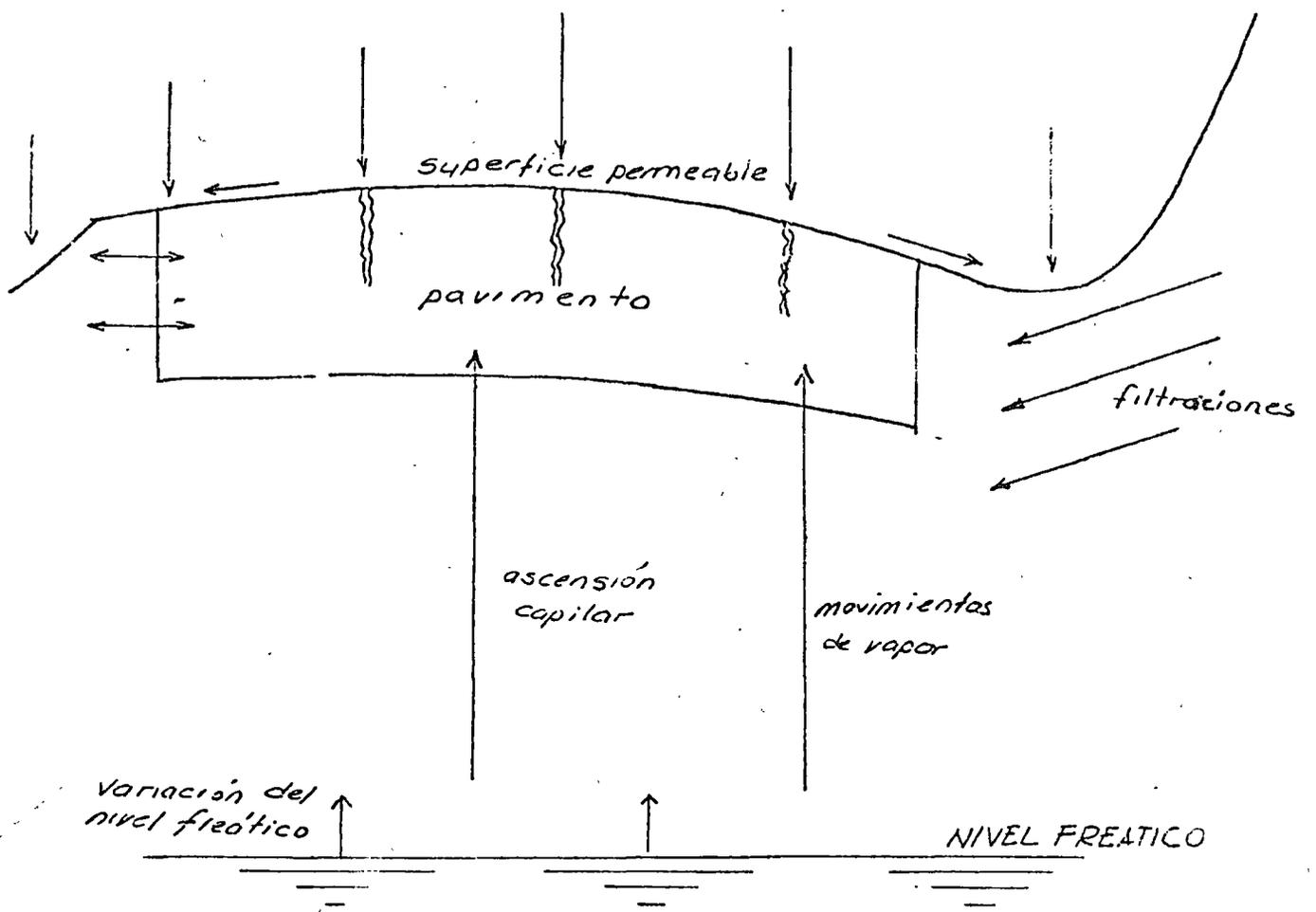
Fig 7 Conversión de vehículos a ejes equivalentes

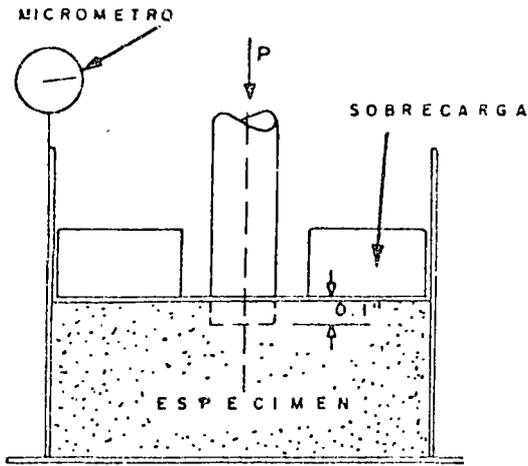


* ITN value may require correction where the IDT of automobiles and light trucks is relatively high. See Figure III-2

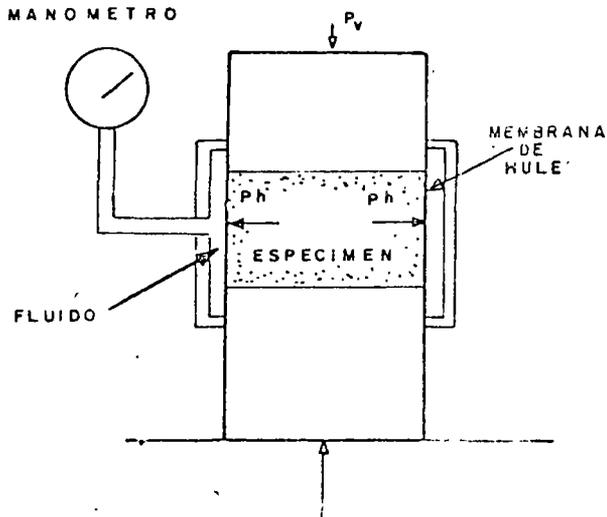
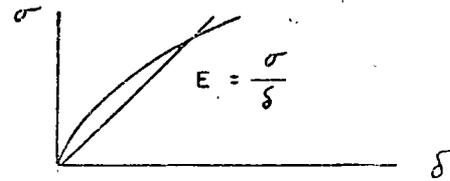
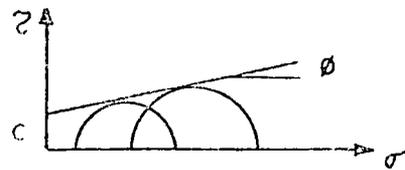
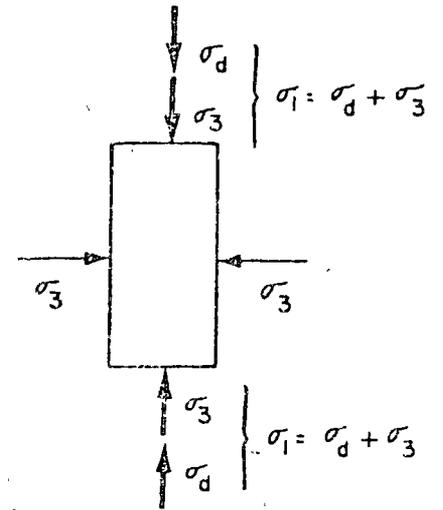
Additional copies of this nomograph are available at the nearest Asphalt Institute office.

Figure III-1—Traffic analysis chart

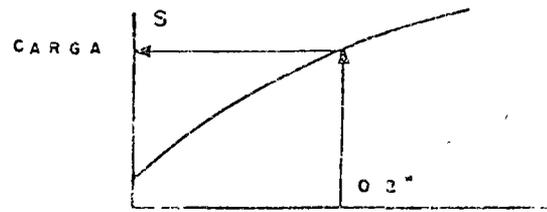
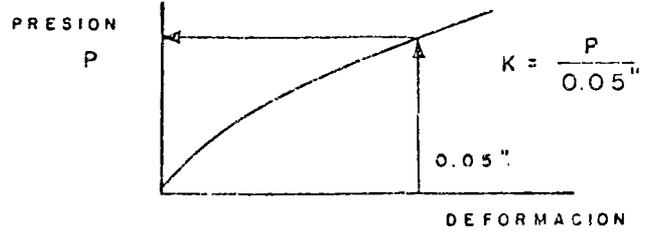
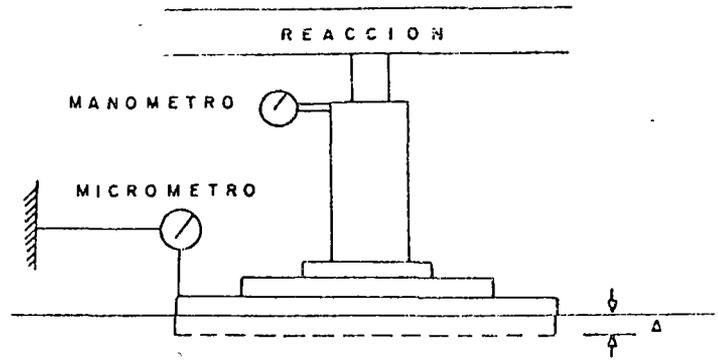




$$CBR = \frac{P_{0.1''}}{1360 \text{ Kg.}} \times 100$$



$$R = \left(1 - \frac{P_h}{P_v}\right) 100$$



DEFORMACION PROMEDIO PARA 10 REPETICIONES

6.- METODOS DE DISEÑO

1.- METODOS QUE PARTEN DE CONSIDERACIONES TEORICAS Y SEMITEORICAS, UTILIZANDO VALORES DE CORRELACION. PRUEBAS TRIAXIALES.

- KANSAS (E)
- TEXAS (c y ϕ)
- HVEEM (R, función de $\frac{P_h}{P_v}$)

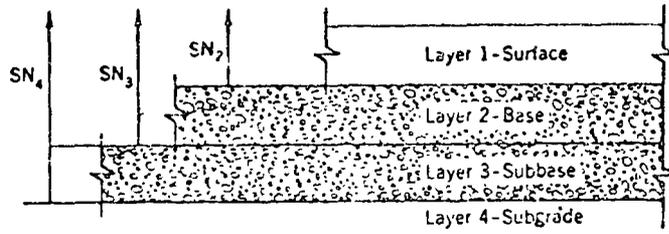
2.- PROCEDIMIENTOS EMPIRICOS BASADOS EN UNA PRUEBA ARBITRARIA, TAL COMO LA DE CBR.

- CUERPO DE INGENIEROS
- ROAD RESEARCH LABORATORY
- WYOMING, KENTUCKY
- SOP

3.- METODOS BASADOS EN PRUEBAS DE CLASIFICACION DE SUELOS. INDICE DE GRUPO.

4.- METODOS CON BASE EN CRITERIOS OBTENIDOS DEL TRAMO DE PRUEBA AASHO:

- SHOOK - FINN
- BOUREAU OF PUBLIC WORKS
- INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM.



Pavement structure analysis

Figure 15.4. Alternate procedure for determining flexible-pavement layer thicknesses. (From AASHTO Interim Guide, 1972.)

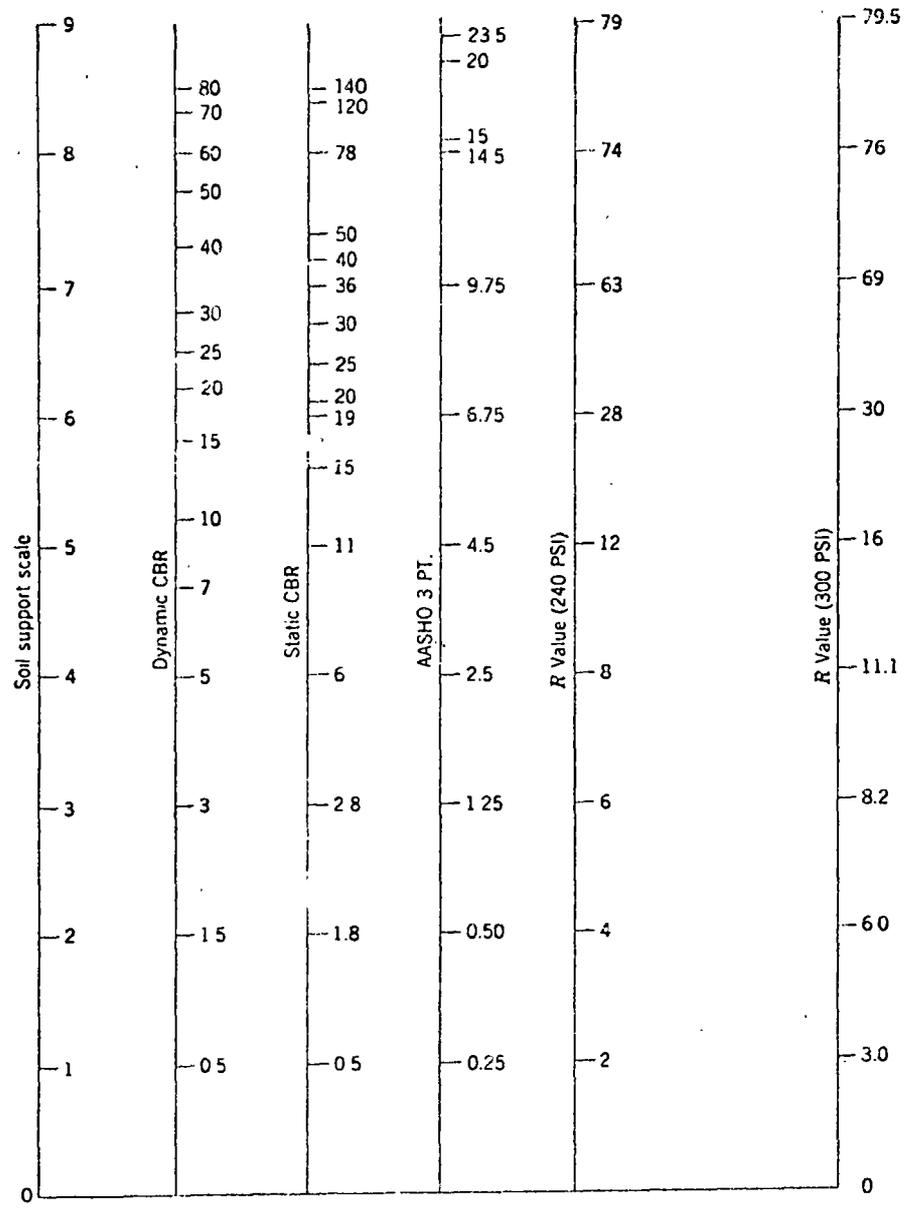


Figure 15.5. Soil support value correlations. (a) After Utah State Highway Department and (b) from Van Til et al., NCHRP 128.

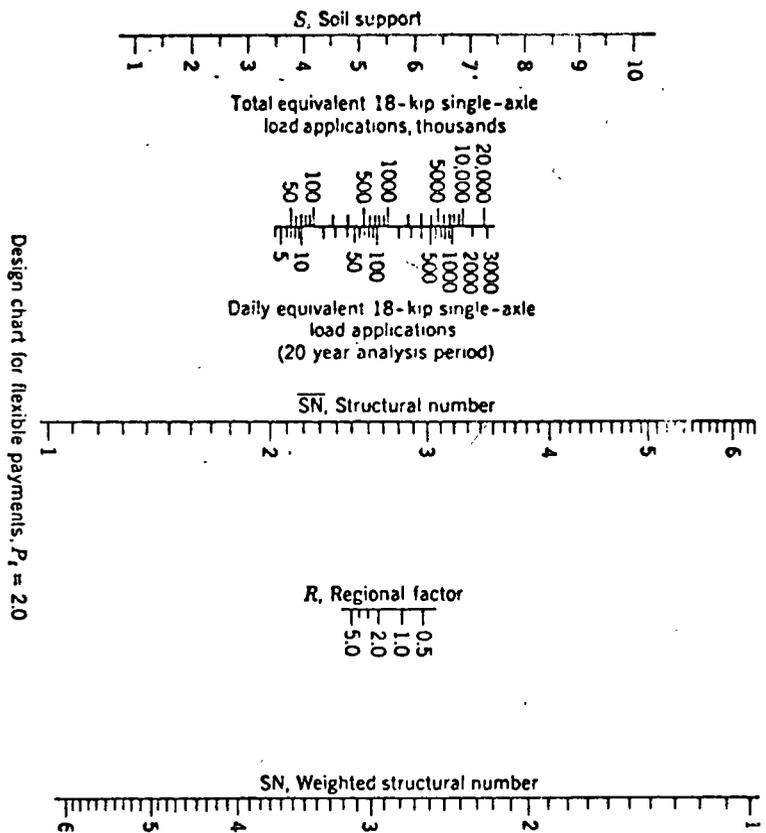
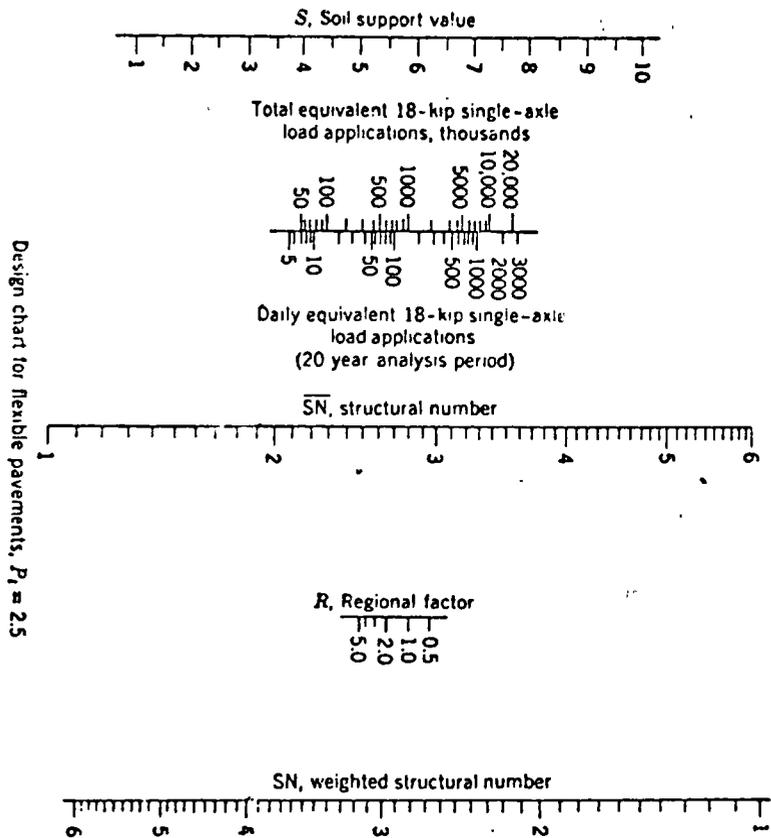
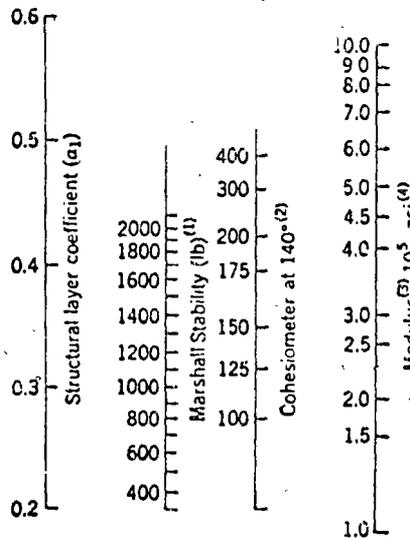
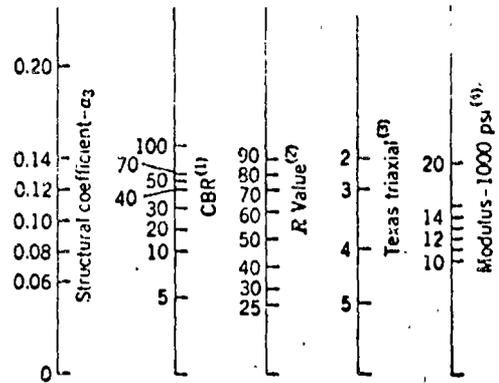


Figure 15.1. AASHO flexible-pavement design nomographs. (From AASHO Interim Guide, 1972.)



- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from the Asphalt Institute, Illinois, Louisiana, New Mexico, and Wyoming.
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California and Texas.
- (3) Scale derived on this project.
- (4) Modulus at 68°F.

(a)



- (1) Scale derived from correlations from Illinois.
- (2) Scale derived from correlations obtained from the Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived from correlations obtained from Texas.
- (4) Scale derived on this project.

(b)

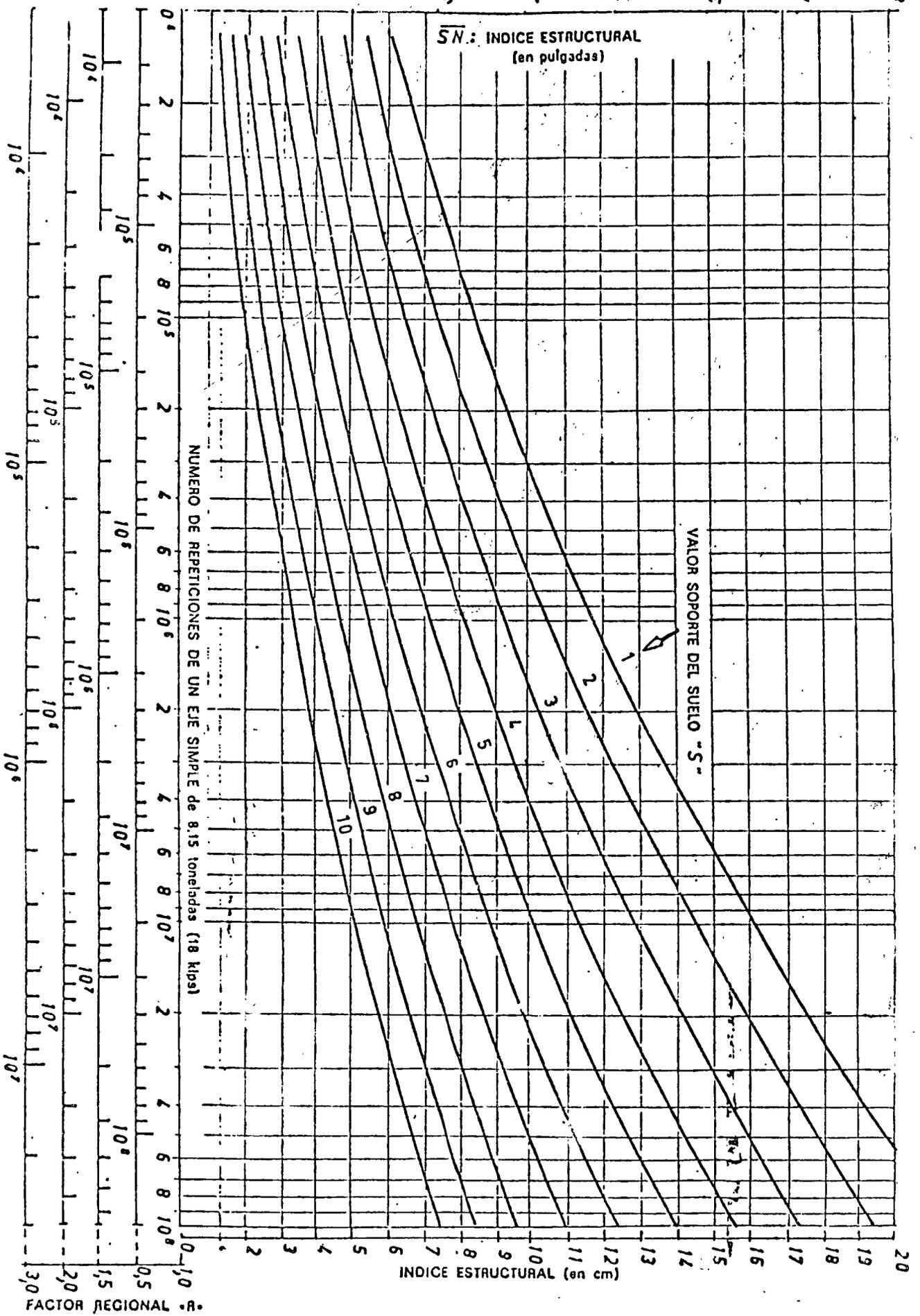


FIG. 39. Cálculo de firmes flexibles.
 Método de Liddle (Bureau of Public Roads). Índice de viabilidad final: 2.0

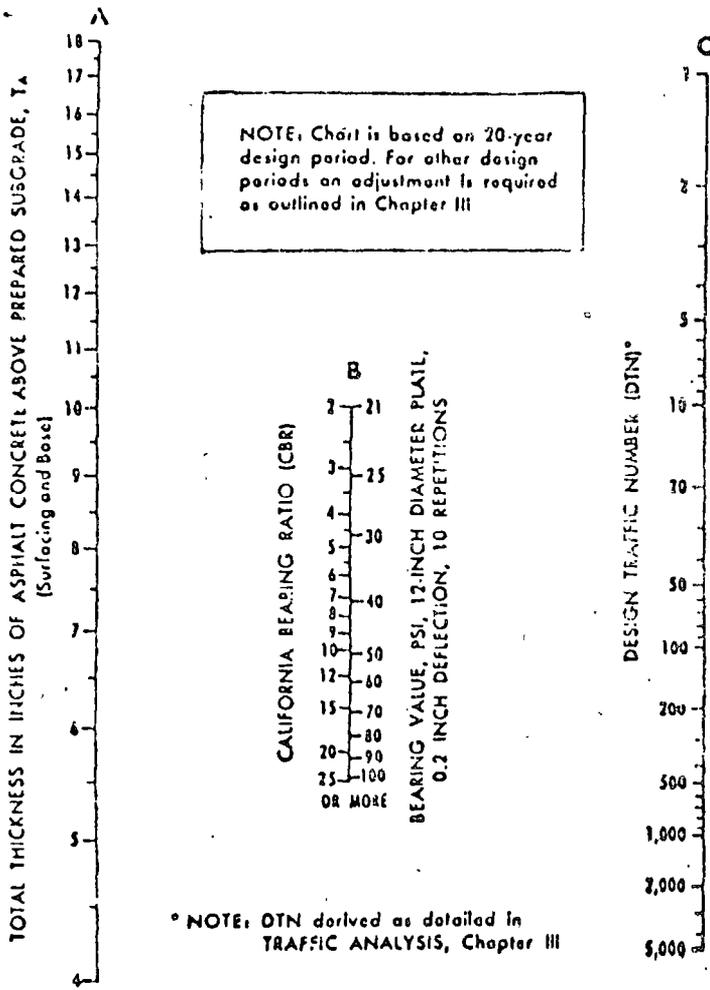


Figure V-1—Thickness design chart for asphalt pavement structures using subgrade soil CBR or Plate-Bearing values

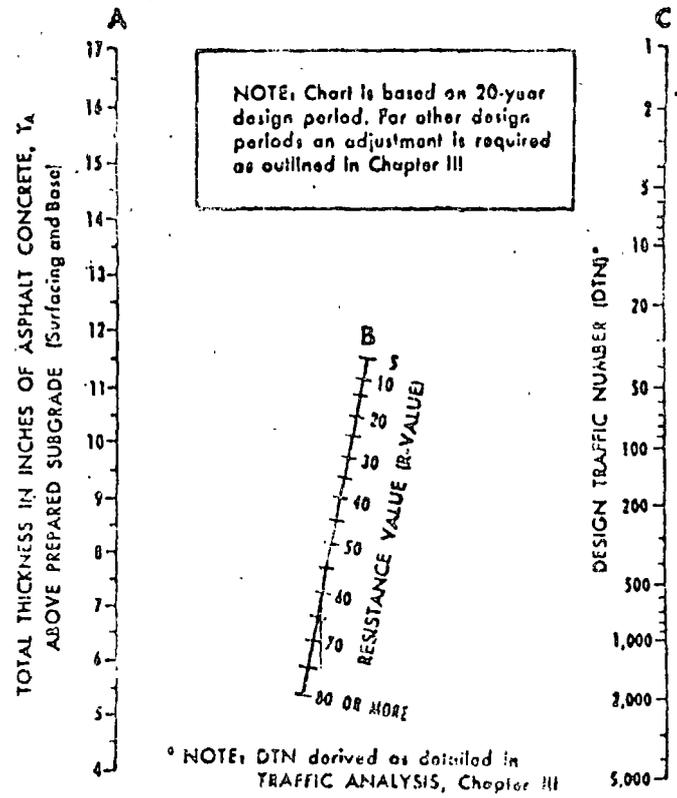


Figure V-2—Thickness design chart for asphalt pavement structures using subgrade soil R-Value

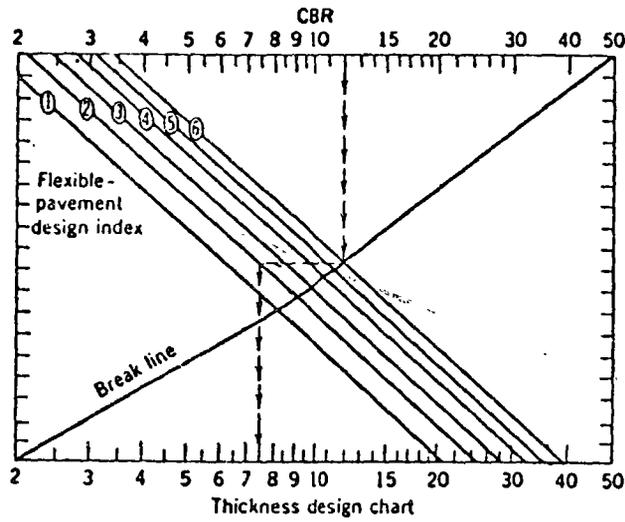


Figure 15.17. Thickness design chart. (From the National Crushed Stone Association and after U. S. Corps of Engineers TM 5-822-5.)

TABLE 15.12. Surfacing Thickness Recommendations

Traffic Intensity Category	Minimum Surfacing Required
DI-1	1 inch (use surface treatments)
DI-2	2 inches
DI-3	2.5 inches
DI-4	3 inches
DI-5	3.5 inches
DI-6	4 inches

$$GE = 0.0032(TI)(100 - R)$$

TABLE 15.13. California Gravel Equivalents of Structural Layers In Foot

Actual Thickness of Layer (ft)	ASPHALT CONCRETE										Cement-treated Base		Aggre- gate Base	Aggre- gate Sub- base	
	Traffic Index (TI)										BTB and LTB	Class			
	5 and below	5.5 6.0	6.5 7.0	7.5 8.0	8.5 9.0	9.5 10.0	10.5 11.0	11.5 12.0	12.5 13.0	13.5 14.0		A			B
	Gravel Equivalent Factor (G_f)											G_f			G_f
	2.50	2.32	2.14	2.01	1.89	1.79	1.71	1.64	1.57	1.52	1.2	1.7	1.2	1.1	1.0
0.10	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.12	—	—	—	—
0.15	0.38	0.35	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.18	—	—	—	—
0.20	0.50	0.46	0.43	0.40	0.38	0.36	0.34	0.33	0.31	0.30	0.24	—	—	—	—
0.25	0.63	0.58	0.54	0.50	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38	0.30	—	—	—	—
0.30	0.75	0.70	0.64	0.60	0.57	0.54	0.51	0.49	0.47	0.46	0.36	—	—	—	—
0.35	0.88	0.81	0.75	0.70	0.66	0.63	0.60	0.57	0.55	0.53	0.42	—	—	0.39	0.35
0.40	1.00	0.93	0.86	0.80	0.76	0.72	0.68	0.66	0.63	0.61	0.48	—	—	0.44	0.40
0.45		1.04	0.96	0.90	0.85	0.81	0.77	0.74	0.71	0.68	0.54	0.77	0.54	0.50	0.45
0.50		1.16	1.07	1.01	0.95	0.90	0.86	0.82	0.79	0.76	0.60	0.85	0.60	0.55	0.50
0.55			1.18	1.11	1.04	0.98	0.94	0.90	0.86	0.84	0.66	0.94	0.66	0.61	0.55
0.60				1.21	1.13	1.07	1.03	0.98	0.94	0.91	0.72	1.02	0.72	0.66	0.60
0.65				1.31	1.23	1.16	1.11	1.07	1.02	0.99	0.78	1.11	0.78	0.72	0.65
0.70					1.32	1.25	1.20	1.15	1.10	1.06	0.84	1.19	0.84	0.77	0.70
0.75						1.34	1.28	1.23	1.18	1.14	0.90	1.28	0.90	0.83	0.75
0.80						1.43	1.37	1.31	1.26	1.22	0.96	1.36	0.96	0.88	0.80
0.85						1.52	1.45	1.39	1.33	1.29	1.02	1.45	1.02	0.94	0.85
0.90							1.54	1.48	1.41	1.37	1.08	1.53	1.08	0.99	0.90
0.95								1.56	1.49	1.44	1.14	1.62	1.14	1.05	0.95
1.00								1.64	1.57	1.52	1.20	1.70	1.20	1.10	1.00
1.05									1.65	1.60	1.26	1.79	1.26	1.16	1.05

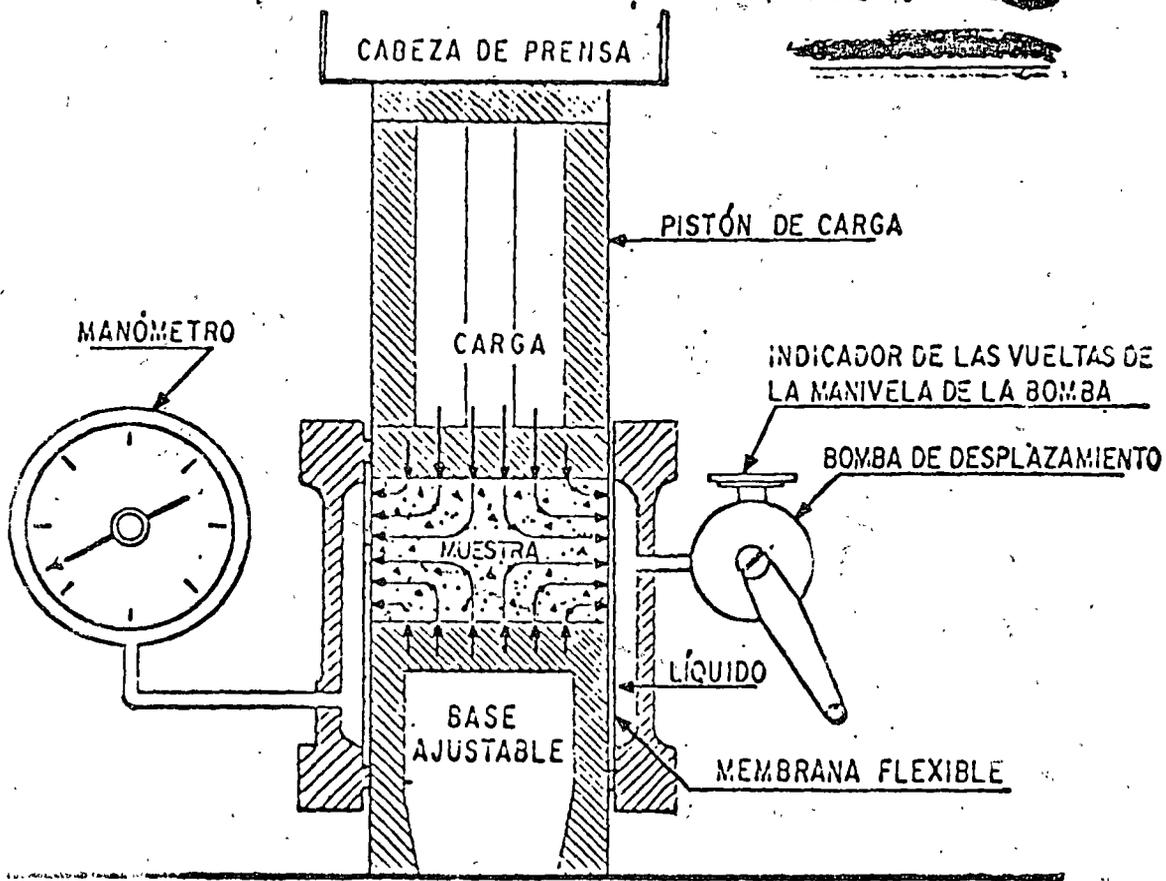
Notes:

BTB is bituminous-treated base.

LTB is lime-treated base.

For the design of road-mixed asphalt surfacing, use 0.8 of the gravel equivalent factors (G_f) shown above the asphalt concrete.

ESTABILOMETRO



$$R = \left(1 - \frac{P_h}{P_v} \right) 100$$

$$T_s = K \frac{P \sqrt{A} \text{ Logr}}{5 \sqrt{c}} \left(\frac{P_h}{P_v} - 0.1 \right)$$

En donde:

T = espesor del pavimento

k = constante (0.0175)

P = presión de inflado de las llantas

A = área de contacto

r = número de repeticiones de esfuerzos

c = Valor del cohesiómetro.

P_h = presión horizontal transmitida

P_v = presión vertical aplicada (160 psi)

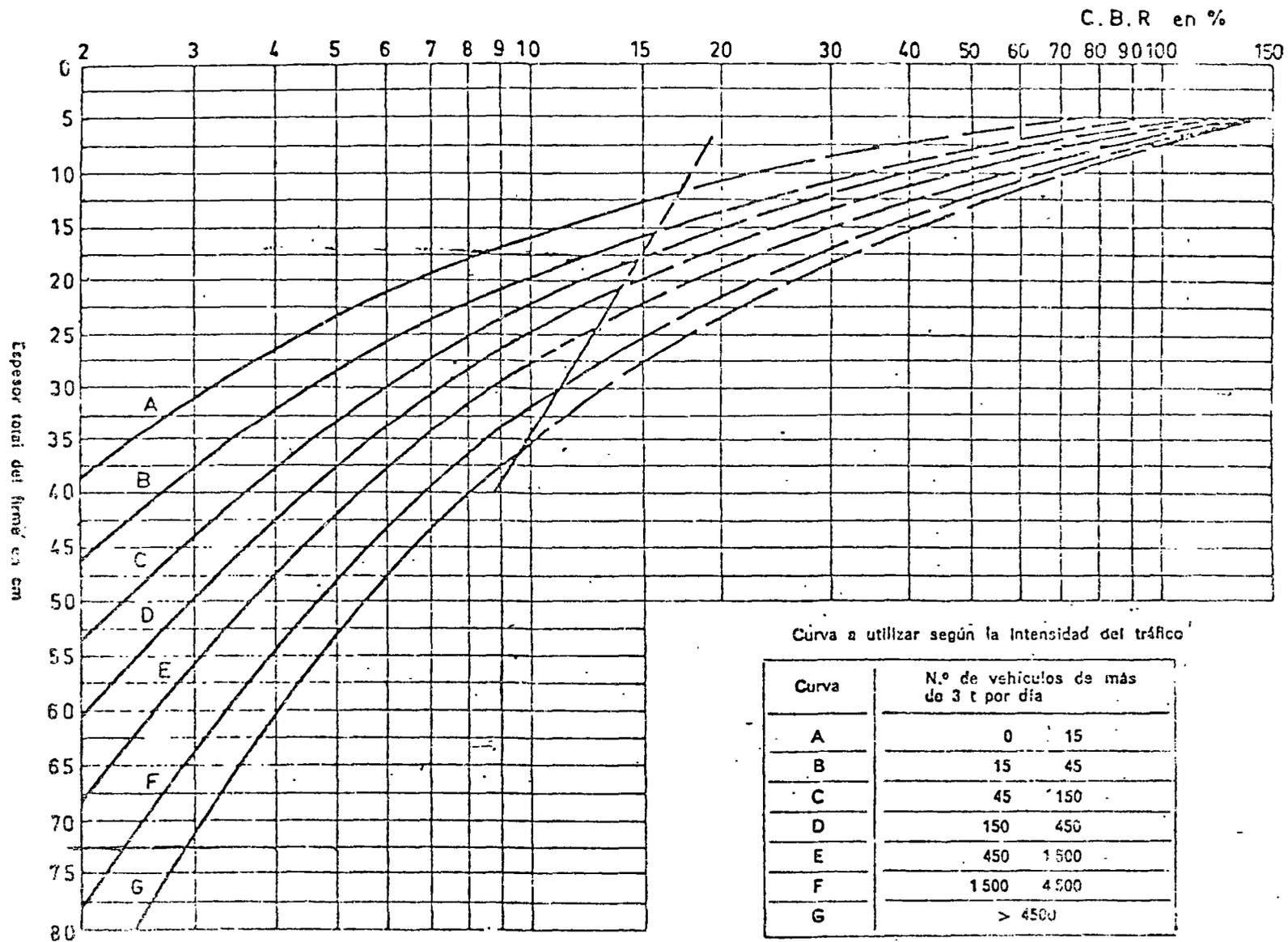
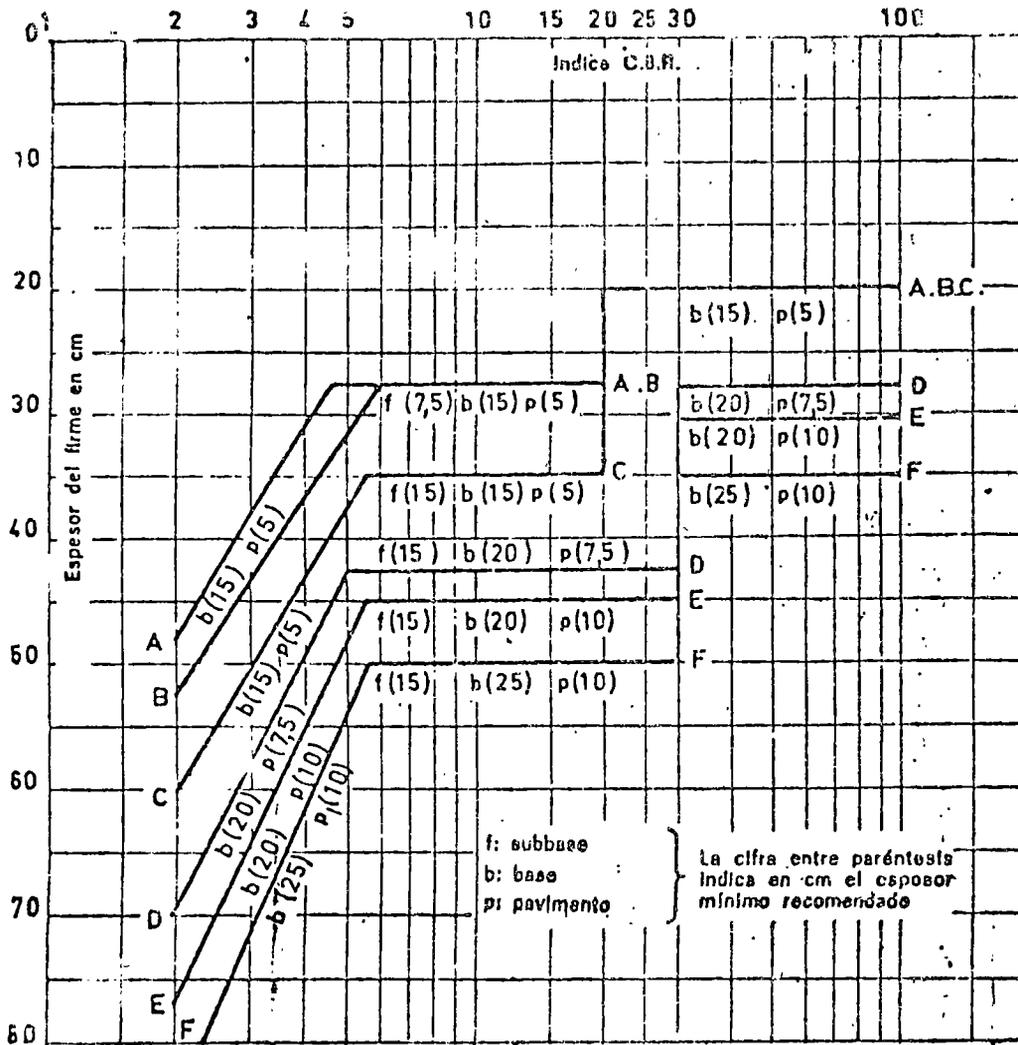
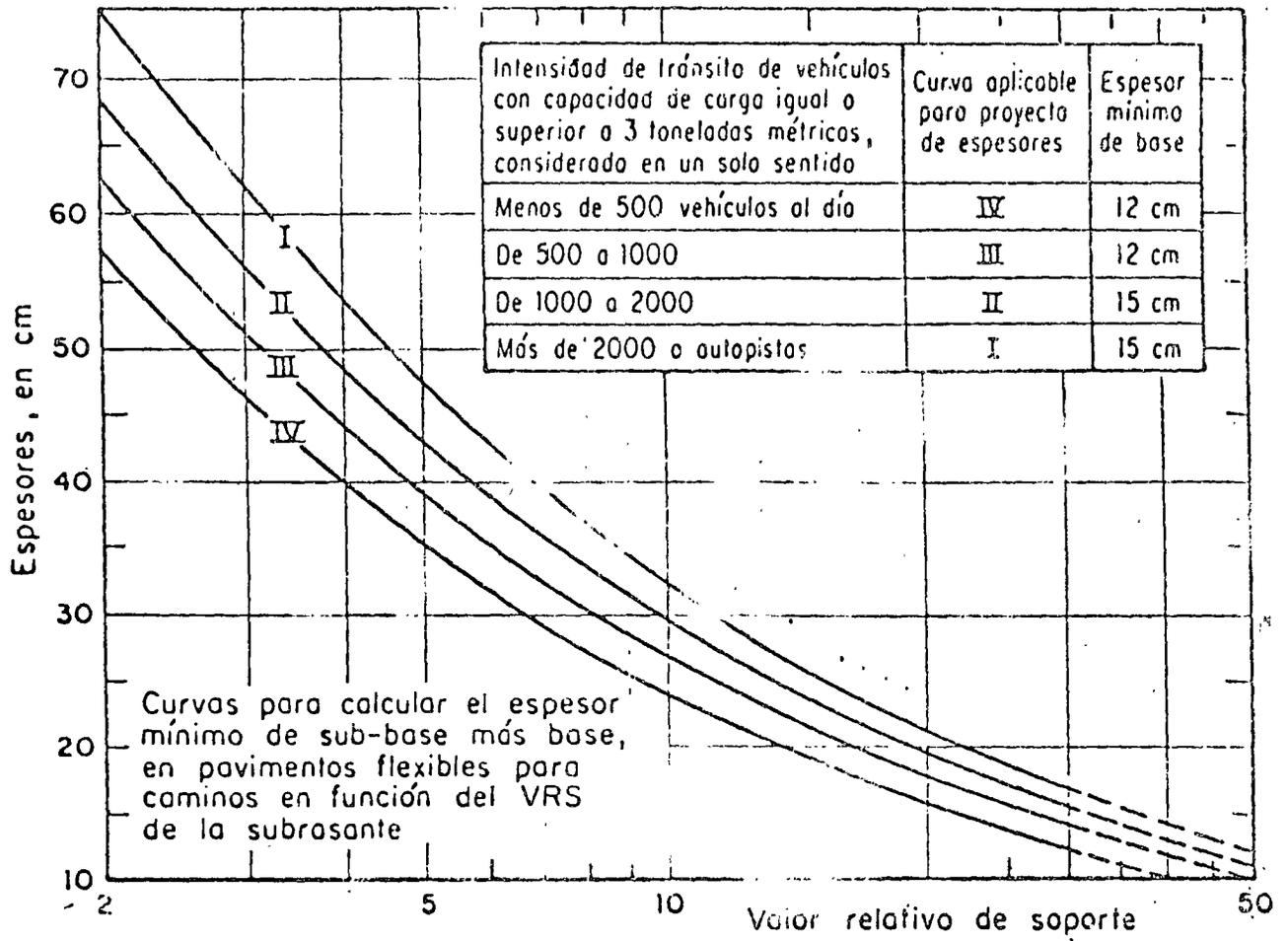


FIG: 12. Abaco del Road Research Laboratory



Línea	N.º de vehículos/día (tara > 1,5 t) (durante 20 años)
A	0-45
B	45-150
C	150-450
D	450-1500
E	1500-4500
F	> 4500

FIG. 40. Abaco del Road Research Laboratory. (R. N. 29; 1966).



Prueba 108-13, SCOP-1957

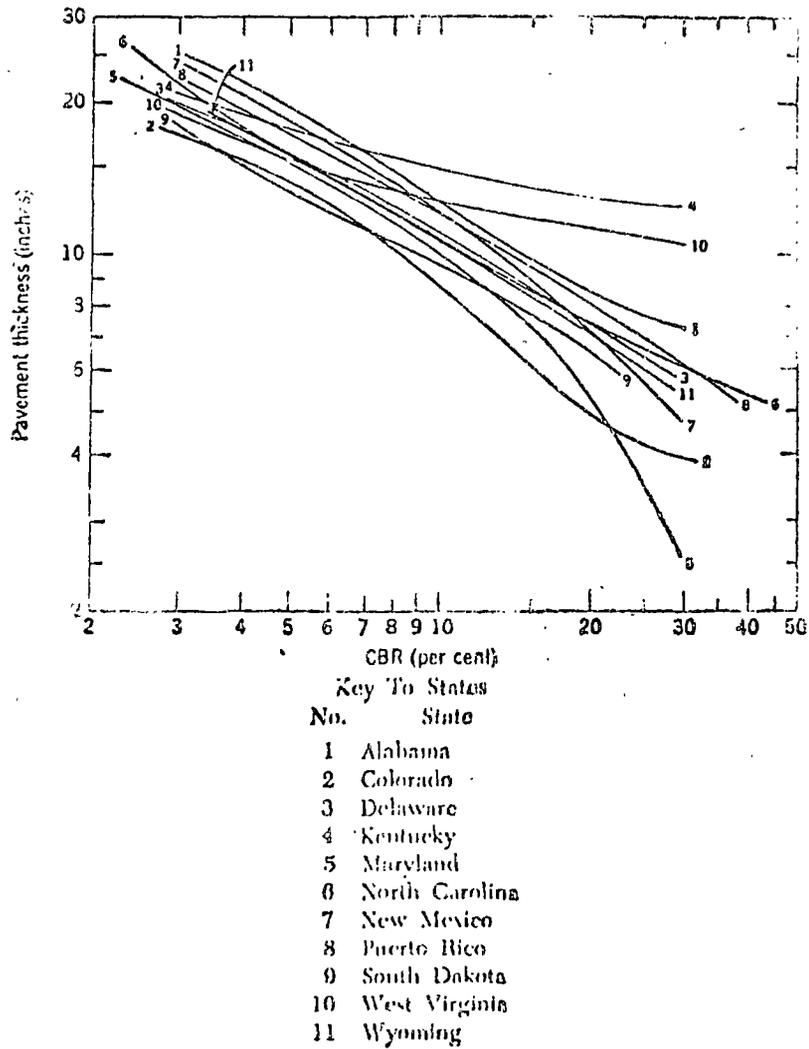


Figure 15.20. California Bearing Ratio curves for various states (9000-pound wheel including modifications suitable to WASHO test road conditions). (From Highway Research Board Bulletin 133.)

TABLE 15.16. Current State Highway Practice*

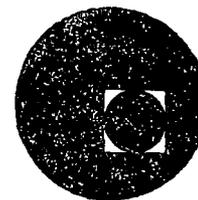
1. Use AASHO Interim Guide		6. Factors Considered in Regional Factor	
No direct use	16 ^b	Topography	5
Used to modify design only	1	Similarity to road test location	5
Used directly	32	Rainfall	13
Research in progress	3	Frost penetration	5
2. Use AASHO Equivalency Factors		Temperature	5
Use directly	31	Ground water table	2
BPR modified factors	4	Subgrade type	4
Do not use AASHO	17	Engineering judgment	13
3. Wheel Load Used for Design		Type of facility	3
18-kip axle	38	Subsurface drainage	5
5-kip wheel	8	7. Consideration of Frost Penetration	
Other	4	Regional factor	7
None	2	Use granular material	22
4. Methods for Subgrade Evaluation		Not considered	12
CBR	19	Not a problem	11
R value	10	8. Thickness of NFS Material	
Triaxial	5	Percentage of frost depth	11
Group Index	9	Standard thickness	2
Other soil classifications	4	USACE procedure	4
Pedologic classification	1	Experience	7
Frost index	1	9. Use AASHO Structural Layer Coeff.	
Standard section	1	Use AASHO guide	8
Experience	4	Use modification to guide	20
5. Use Regional Factor from AASHO Guide		Use guides (not for design)	6
Used from guides	14	Do not use	18
Used modified guides approach	18	10. Vary Structural Coefficient with	
Other sources	6	Pavement Position	
Regional factor not used	14	Vary struct. coeff.	13
		Do not vary	30
		Concept not used	9

* Results summarized from NCHRP 128.

^b Number of states (including D.C. and Puerto Rico).



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE
PAVIMENTOS

ING. LUIS MIGUEL AGUIRRE MENCHACA

JUNIO, 1978.

I.4 Evaluación de Pavimentos.

Con anterioridad a la ejecución del Tramo de Prueba AASHO, se prestaba poca atención a la evaluación de un pavimento; simplemente el pavimento era bueno o requería una reparación.

El conocimiento de las condiciones en que se encuentra un pavimento, es un aspecto que en la actualidad interesa sobremanera a los ingenieros y personal encargados de su diseño y conservación,

incluyendo en forma especial, a los usuarios. Consciente o inconscientemente, el usuario califica las condiciones en que se encuentra un pavimento cada vez que conduce un automóvil o durante el arribo de una aeronave en una operación de aterrizaje o despegue.

Son varias las razones que motivan el estudiar y conocer las condiciones en que se encuentra un pavimento, pudiendo señalarse entre otras, las siguientes:

1. Al ingeniero que ha realizado el proyecto de un pavimento, le ayuda a determinar el grado de éxito alcanzado por su proyecto, al cumplir con los criterios de diseño y, en su caso, le ayuda a comprender las causas de su fracaso.
2. Sirve para efectuar la planeación de un programa óptimo de mantenimiento y establecer la necesidad de realizar trabajos de conservación más importantes, reconstrucción y de reubicación del camino.
3. Permite realizar un pronóstico de la vida útil del pavimento.
4. Ayuda a determinar la capacidad del pavimento para soportar un volumen de tránsito, permitiendo así mismo, efectuar la actualización del pavimento, acorde con las futuras necesidades del tránsito.
5. Sirve para determinar el refuerzo que un pavimento deteriorado requiere para funcionar adecuadamente.
6. Constituye una base para el establecimiento de nuevos conceptos, importantes en el diseño de pavimentos.

Los estudios efectuados para la evaluación de un pavimento pueden clasificarse en dos grupos:

1. Estudios del comportamiento funcional, desde el punto de vista de su operación y servicio.
2. Evaluación mecanicista, desde el punto de vista de su capacidad estructural.

Los primeros proporcionan un juicio para valorar el grado en que un pavimento es adecuado para su transitabilidad. Los segundos permiten efectuar la evaluación estructural del pavimento, proporcionando la información suficiente para poder diseñar el refuerzo que en su caso llegara a requerir.

Estudios de Comportamiento-Servicio.

Comprenden estudios de evaluación de las condiciones superficiales que guarda un pavimento, estableciendo una apreciación de su capacidad para prestar servicio desde el punto de vista de su transitabilidad. La evaluación de esta cualidad

es un problema complejo en el que intervienen tres sistemas interrelacionados entre sí: el usuario, el vehículo y la rugosidad del pavimento, entendiéndose por esto último, como las irregularidades en la superficie de un pavimento que influyen en la calidad del rodamiento.

Los estudios a realizar son los siguientes:

1. La apreciación subjetiva de la transitabilidad del pavimento, efectuada mientras se conduce un vehículo a una velocidad normal.
2. La medición de la rugosidad del pavimento.
3. Valoración de los deterioros superficiales, mostrando la ubicación y extensión de los aspectos observados.

Los ingenieros de la prueba AASHO desarrollaron un método para la apreciación del estado superficial del pavimento, basado en el Concepto de Servicio Actual, de acuerdo con el cual, para un tramo específico de pavimento, el Servicio Actual es la capacidad que tiene, según la opinión del usuario, para proporcionar un tránsito suave y cómodo en condiciones normales de operación.

El método requiere que un grupo de cinco personas, como mínimo, efectúe un recorrido por el pavimento, previamente dividido en secciones. Basándose exclusivamente en las condiciones superficiales del pavimento y en el hecho de que este deberá prestar servicio a un volumen de tránsito mezclado bajo cualquier condición de tiempo, las personas que integran el grupo, deberán emitir una calificación del pavimento, variable entre cero para muy malo y 5 para muy bueno.

Las bases en que se apoya este método son las siguientes:

1. Las carreteras se construyen para conveniencia y comodidad del usuario.
2. La opinión del usuario en torno a la forma en que se da servicio una carretera, es enteramente subjetiva.
3. Las características que pueden medirse en una carretera, analizadas y manejadas convenientemente, pueden relacionarse con la opinión subjetiva del usuario.
4. El servicio dado por una carretera puede expresarse por el promedio de la evaluación efectuada por los usuarios de la misma.
5. El comportamiento de un pavimento puede establecerse a partir de las observaciones periódicas del servicio desde el momento de su construcción hasta el momento que se desee.

De los resultados de la prueba AASHO se obtuvo que la rugosidad de un pavimento o su perfil, se encuentran estrechamente relacionados con la apreciación de su servicio y que el comportamiento del pavimento evaluado en esta forma, se encuentra correlacionado con ciertos factores de diseño.

Para la medición de la rugosidad o bien, de las deformaciones de la superficie del pavimento se han diseñado dispositivos que permiten la evaluación superficial en forma rápida y mecánica. Los valores obtenidos en esta forma han sido correlacionados con las calificaciones obtenidas en la forma antes descrita, obteniéndose un valor numérico llamado Índice de Servicio Actual.

Entre estos dispositivos se pueden señalar los rugómetros desarrollados por la Oficina de Carreteras Públicas, y Departamento de Carreteras de California, fotografía (1); el perfilómetro CHLOE, fotografía (2) desarrollado en la Prueba AASHO y el perfilógrafo del Departamento de Carreteras de California, fotografía (3).

El primero determina un índice de rugosidad, en pulgadas por milla. Con el segundo se obtiene una medida del perfil del pavimento, expresada en términos del cambio del ángulo de dos líneas de referencia y el último proporciona un índice de perfil, expresado en pulgadas por milla.

El perfilógrafo transversal es otro dispositivo que permite obtener información sobre las deformaciones del pavimento en una sección transversal, fotografía (4).

Se llevan a cabo investigaciones del verdadero perfil del pavimento, en correlación con estudios de la sensibilidad del usuario para obtener ecuaciones de índice de servicio. También se investiga en aspectos de requisitos de operación y seguridad de las aeronaves. La Dirección General de Aeropuertos de la S.O.P. realiza estudios de este tipo en los aeropuertos del país.

Evaluación Mecanicista.

1. Examen de las condiciones que exhibe un pavimento.

Este aspecto es tan antiguo como la utilización misma de los caminos y constituye en sí la primera forma de investigación, que permitió la acumulación de la experiencia, a través de la observación del comportamiento del pavimento bajo diferentes situaciones. El examen y análisis de las condiciones que exhibe un pavimento proporciona la información necesaria para valorar el papel que desempeña cada elemento que lo constituye, en el comportamiento integral del pavimento, constituyendo una de las herramientas básicas en el conocimiento de la ingeniería de los pavimentos.

Los pavimentos fracasan a menudo debido a una combinación de varias razones, en ocasiones difíciles de determinar, siendo por lo tanto necesario que las inspecciones del estado del pavimento se realicen por personal experimentado, para conocer la causa o causas del fracaso. Al respecto es indispensable conocer los tipos y causas de falla en los pavimentos.

Las inspecciones se realizan con mayor detalle que el requerido para la calificación de un tramo, e incluyen un registro de la ubicación, magnitud y tipo de los deterioros observados, así como tipo y condiciones de los trabajos de mantenimiento.

Para el efecto, existen varias formas usadas para reportar la información recabada en el campo, incluyendo en la actualidad el empleo de tarjetas perforadas, en las que pueden anotarse los datos de construcción. Se está haciendo uso además de fotografías y películas, éstas últimas tomadas desde un camión en movimiento.

2. Pruebas no destructivas.

Es muy deseable poder efectuar una evaluación de la capacidad estructural de los elementos constituyentes de un pavimento, sin alterarlos o destruirlos. De esta manera, las mediciones se realizan en la superficie del pavimento y los resultados se relacionan a las propiedades estructurales de los materiales de las capas inferiores.

Generalmente se mide la respuesta de la estructura del pavimento a la aplicación de una fuerza o energía externa, y puesto que no se altera la estructura del pavimento, las pruebas pueden repetirse varias veces en el mismo sitio.

Se clasifican las pruebas de este tipo en tres categorías principales.

1. Mediciones de respuestas bajo cargas estáticas o móviles, aplicadas a baja velocidad.
2. Mediciones de respuestas a la aplicación de cargas repetidas.
3. Mediciones de respuestas de una masa a una fuente controlada de energía nuclear.

La respuesta a la aplicación de una carga sencilla es obtenida midiendo la deflexión producida en la superficie del pavimento. El dispositivo generalmente usado es la Viga Benkelman, medidor portátil desarrollado en el Tramo de Prueba WASHO, que determina deflexiones de milésimos de pulgada-fotografía 5. Los resultados de un estudio efectuado en California indican que cuando las deflexiones de la superficie de un pavimento flexible exceden de un cierto valor, ese pavimento generalmente muestra signos de deterioro. La comparación de las deflexiones medidas con un valor de deflexión crítica proporciona un medio de programar el mantenimiento de los pavimentos flexibles. Por otra parte, los estudios realizados en el Tramo de Prueba AASHO indicaron que en el caso de pavimentos flexibles, existe una relación entre las deflexiones producidas y su comportamiento, por lo que este método puede utilizarse como un medio de evaluar el comportamiento de un pavimento. Puede señalarse que la Viga Benkelman es un instrumento sencillo de operar, pero existen variables como la temperatura del pavimento y el radio de curvatura de la deflexión producida, que requieren ser tomadas muy en cuenta en la interpretación de los resultados. En pavimentos de aeropuertos se ha usado este método utilizando la aeronave de diseño para aplicar la carga, figura 6.

Varias agencias emplean las pruebas de placa para obtener deflexiones en el pavimento bajo la acción de cargas estáticas y repetidas. La Portland Cement Association ha desarrollado, por ejemplo, un método para determinar el valor del módulo de reacción de la subrasante en pavimentos rígidos, aplicando una carga al pavimento y midiendo las deformaciones unitarias y deflexiones ocasionadas por la misma.

Pruebas de este tipo han sido desarrolladas para su aplicación en la evaluación de pavimentos de aeropistas, citándose entre ellas, las desarrolladas por el Departamento del Transporte de Cana-

que permite obtener el Valor Soporte de la Subrasante. Esta agencia ha establecido una correlación de este método con los resultados obtenidos con Viga Benkelman. Asimismo, puede citarse el Método de Número de Clasificación por Cargas (LCN), aplicado a la evaluación de pavimentos rígidos y flexibles de Aeropuertos (Fotografías 7 y 8 Camión Lastrado con 110 ton y placa de 18" β).

Instalando dispositivos especiales dentro de la estructura del pavimento ha sido posible medir las deflexiones producidas al paso de cargas repetidas en movimiento. Los citados dispositivos deben instalarse permanentemente en el pavimento, no estando aún aclarada la influencia, en los resultados obtenidos de un dispositivo que es diferente al medio que lo rodea.

En el tramo de prueba AASHO se realizaron mediciones de vibraciones producidas a pavimentos flexibles, al aplicar en la superficie una fuerza vertical alternante y midiendo posteriormente las deflexiones y la velocidad de propagación de las ondas. Las primeras proporcionan un valor de la rigidez elástica de la estructura total del pavimento, en tanto que la segunda puede proporcionar idea de la rigidez de las varias capas que lo integran. El Cuerpo de Ingenieros de E.U.A. ha empleado un equipo vibratorio para determinar el módulo de elasticidad del suelo bajo un pavimento, siguiendo el método desarrollado por la Compañía Snell en Holanda. A partir del valor del módulo obtenido y aplicando la teoría de la elasticidad puede determinarse la resistencia del pavimento.

En Texas se realizó un estudio utilizando un sistema de cargas dinámicas y midiendo las deflexiones en la superficie mediante geófonos aplicados a la misma. Estas deflexiones fueron comparadas con las correspondientes a la Viga Benkelman, obteniéndose como resultado, la indicación de que puede establecerse una correlación entre ambos métodos. El equipo empleado es de tipo móvil y el tiempo requerido para la ejecución de las pruebas es bastante corto, lo que constituye factores favorables para su aplicación. En la fotografía 9 se presenta este equipo conocido comercialmente como Dynaflect, que la S.O.P. está empleando para estudios de evaluación de pavimentos.

En la época actual se han empleado pruebas nucleares para medir la densidad y humedad en los materiales de pavimentación y se ha extendido su uso a la determinación del contenido de asfalto y densidad de mezclas. En Wisconsin se han iniciado experimentos para adaptar el uso de estos dispositivos a la evaluación de los pavimentos, midiendo por ejemplo las variaciones de la densidad en el transcurso del tiempo.

Los métodos descritos proporcionan buena información sobre la capacidad estructural de los pavimentos y del suelo de cimentación, sin embargo ninguno de ellos puede considerarse que proporcione una evaluación precisa de la resistencia de las

capas inferiores. Existe actualmente la tendencia a emplear métodos electrónicos y nucleares, que permitan obtener mayor precisión en la determinación de la capacidad estructural de los elementos que constituyen el pavimento.

3. Pruebas destructivas.

Es necesario en ocasiones, observar directamente la estructura de un pavimento con el objeto de determinar dónde y porqué ocurrió una falla. En tales situaciones se requiere excavar una cala o una trinchera en el pavimento, destruyendo su estructura.

Las técnicas empleadas dependen del tipo de información requerida, llegando a requerir la obtención de muestras inalteradas de las diferentes capas.

La observación de las paredes del corte puede aclarar el mecanismo de falla y las pruebas ejecutadas en las muestras obtenidas proporcionarán información sobre la capacidad estructural del pavimento. La fotografía 10 ilustra una cala en el pavimento y la fotografía 11 una trinchera que permite apreciar las condiciones del pavimento.

Adicionalmente se requiere evaluar todas las variables que afectan el comportamiento del pavimento, antes de establecer una conclusión.

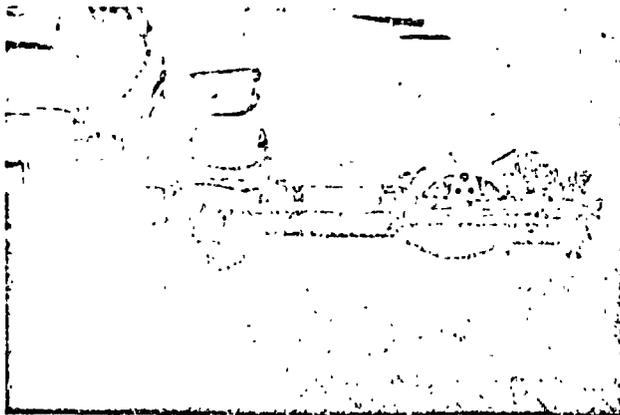
Actualmente se llevan a cabo estudios de evaluación tanto del tipo de comportamiento funcional, como mecanicista. Los métodos de investigación mediante sistemas destructivos se emplean en casos muy especiales.

Investigación.- Algunos de los tópicos actualmente en investigación en este campo son los siguientes:

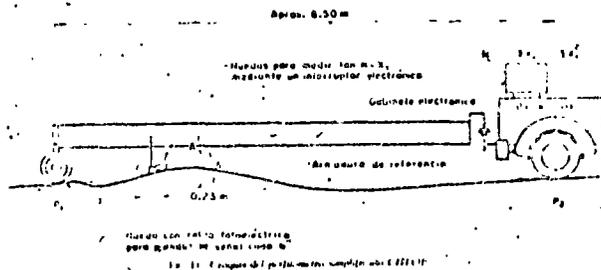
1. Desarrollar métodos de evaluación más rápidos y confiables.
2. Establecer técnicas de control de acabados superficiales durante la construcción.
3. Mejorar el concepto de índice de servicio.
4. Aumentar el conocimiento acerca de las propiedades mecánicas de los pavimentos y de sus componentes por métodos no destructivos.

Cabe mencionar que los métodos de evaluación antes descritos, aunque en gran parte han sido desarrollados por técnicas extranjeras, constituyen en la actualidad métodos cada vez más familiares a los ingenieros de nuestro País, observándose una franca tendencia a utilizarlos cada vez más en el estudio de nuestras carreteras y aeropistas.

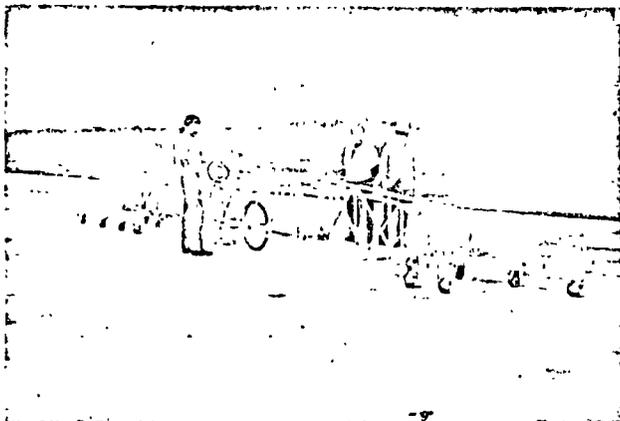
Ing. Manuel Zárate Aquino.



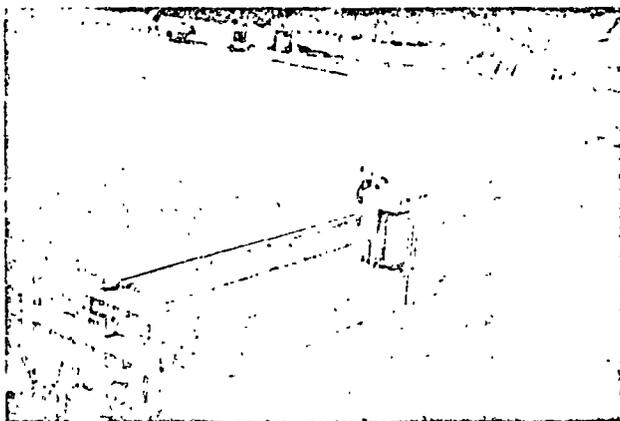
FOTOGRAFIA Nº 1



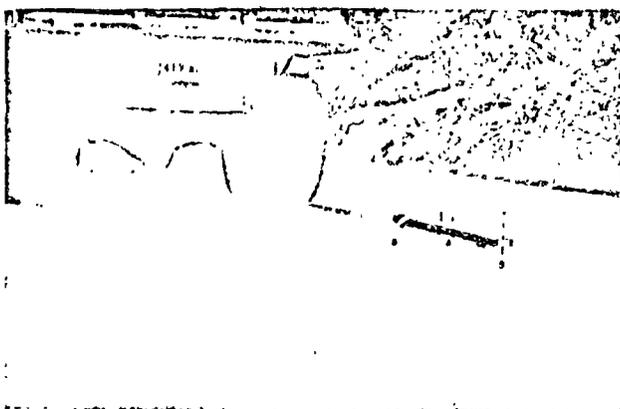
FOTOGRAFIA Nº 2



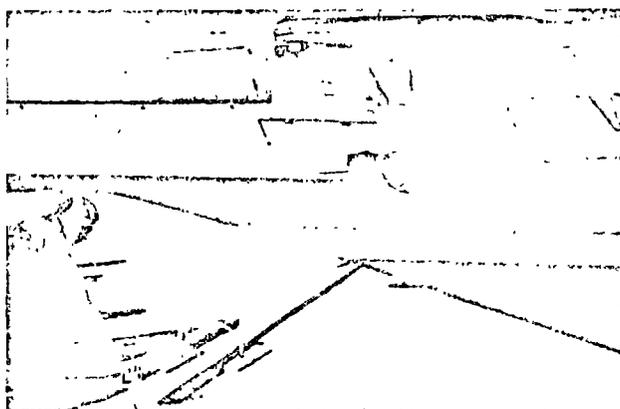
FOTOGRAFIA Nº 3



FOTOGRAFIA Nº 4



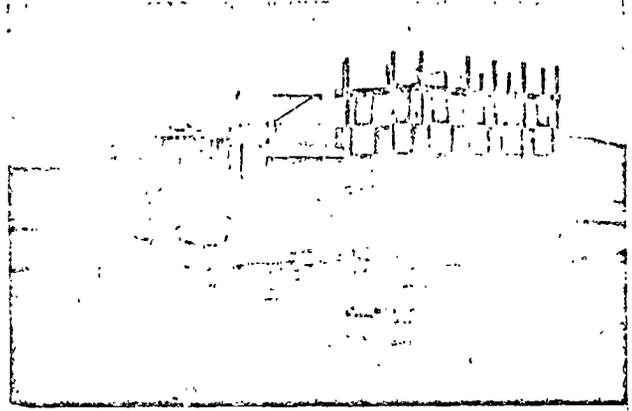
FOTOGRAFIA Nº 5



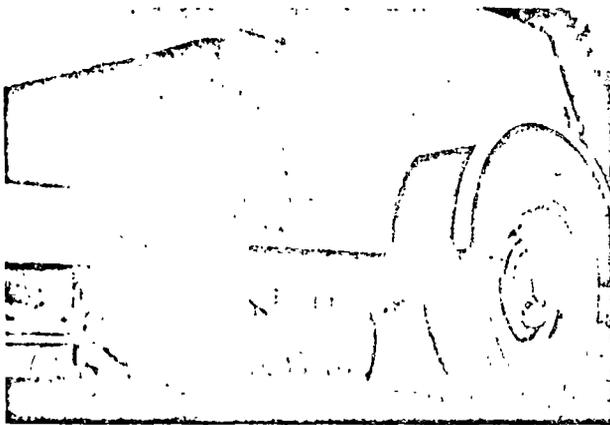
FOTOGRAFIA Nº 6



FOTOGRAFIA Nº 7



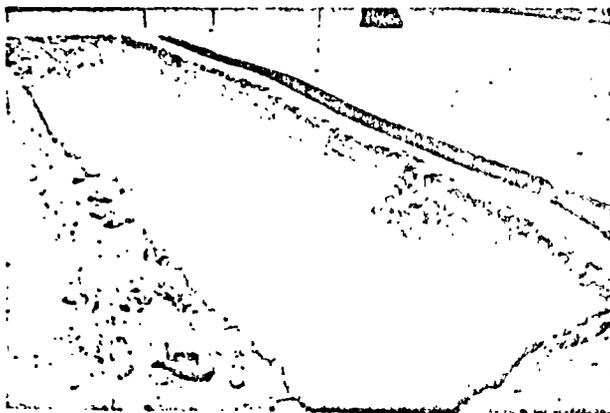
FOTOGRAFIA Nº 8



FOTOGRAFIA Nº 9



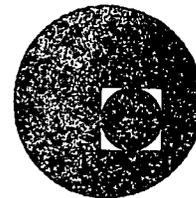
FOTOGRAFIA Nº 10



FOTOGRAFIA. Nº 11



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

TEMA: TALLER DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS

ING. MIGUEL QUINTEROS NARES.

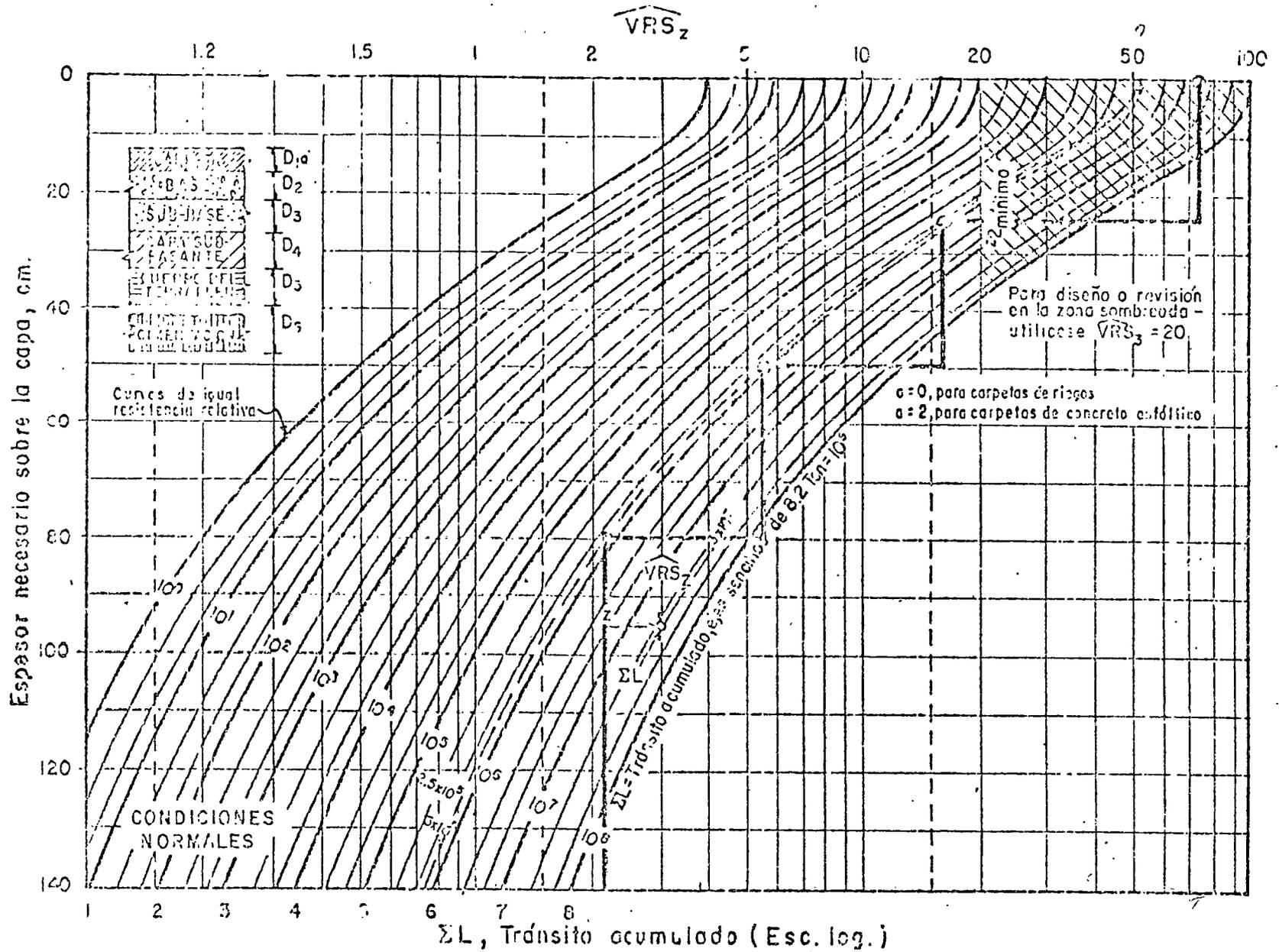
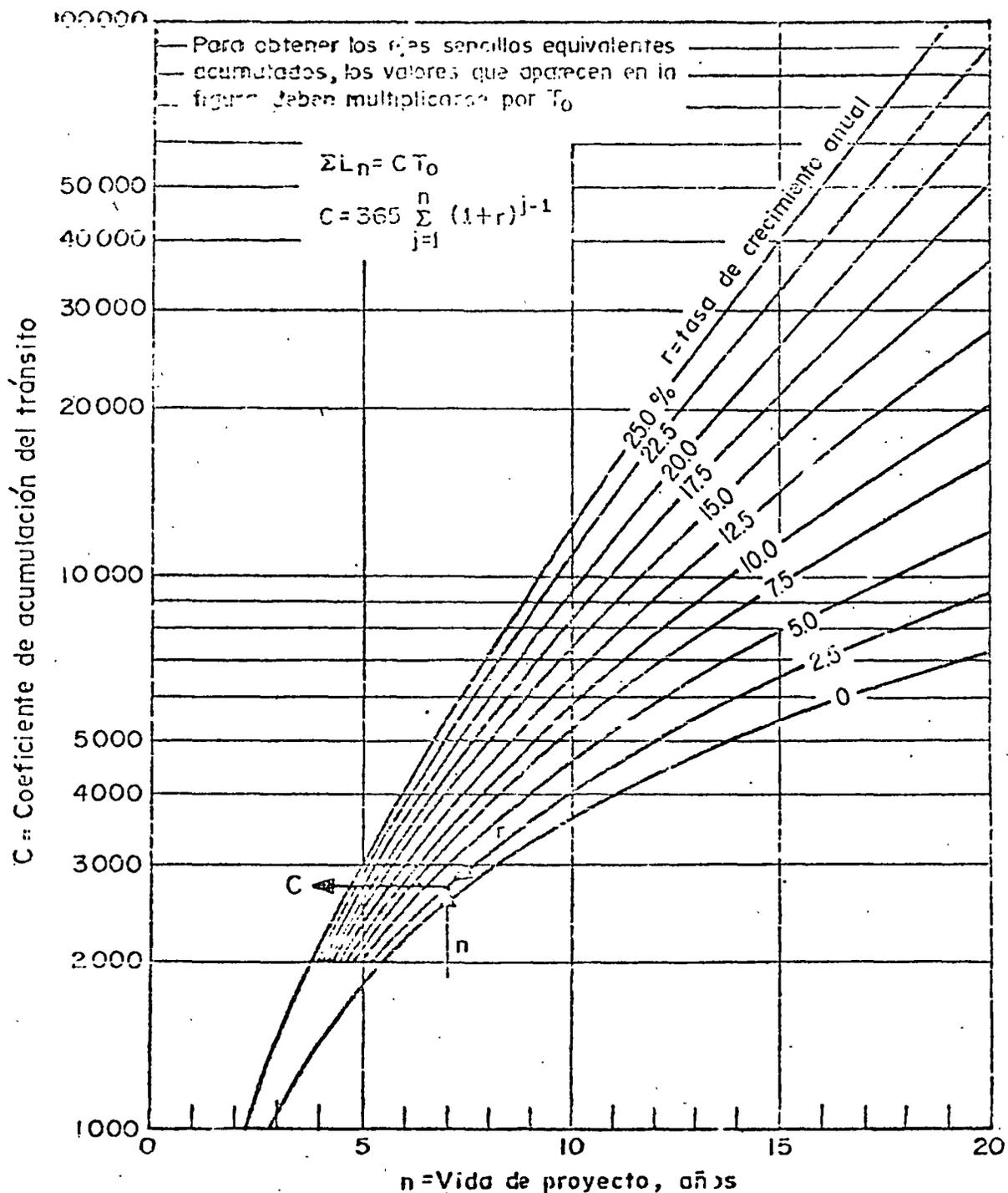


Figura 2

Crafico de diseño de espesores de pavimentos en carreteras, según el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.



ΣL_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

$$T_0 = \Sigma N_i F_i + \Sigma N'_i F'_i$$

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

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

FIG. 3.

TABLA N° 2

TIPO DE VEHICULO	Número de vehículos en ambas direcciones	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, N_1	Coeficientes de daño por tránsito, F_1, F_2		Número deajes equivalentes de 8.2 ton, F_1, F_2	
						Z=0 cm	Z=15 cm	Z=0 cm	Z=15 cm
Automoviles	8460	0.4	3384	C= 1.0	3384	0.005	0.000	16.5	0.0
				V= 0	0	--	--	--	--
Pick-up	2116	0.4	846	C= 1.0	846	0.34	0.042	287.6	35.5
				V= 0	0	--	--	--	--
Autobusos	684	0.4	274	C= 1.0	274	1.00	1.13	1548.0	318.1
				V= 0	0	--	--	--	--
C2	734	0.4	294	C= 1.0	294	0.88	0.415	258.7	136.7
				V= 0	0	--	--	--	--
C3	116	0.4	46	C= 1.0	46	0.88	0.675	40.5	31.1
				V= 0	0	--	--	--	--
T2-S1	0	--	--	C= --	--	--	--	--	--
				V= --	--	--	--	--	--
T2-S2	28	0.4	11	C= 1.0	11	4.00	1.57	44.0	17.3
				V= 0	0	--	--	--	--
T3-S2	102	0.4	41	C= 1	41	5.00	1.30	205.0	53.3
				V= 0	0	--	--	--	--
Total			4836			$T_0, T'_0 = \text{Tránsito equivalente inicial}$		1.400.7	589.0

Años de servicio, $n = 10$ Tasa de crecimiento anual, $r = 7\%$

Coeficiente de acumulación del tránsito $c = 5100$

Tránsito acumulado, $\sum L_n = c T_0 = 71435.70 (z=0)$ $\sum L_n = c T'_0 = 30039.00 (z=15)$

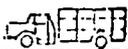
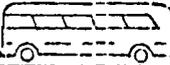
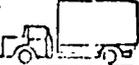
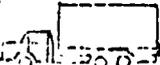
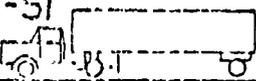
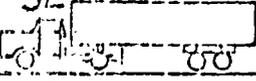
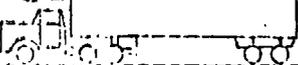
Cálculo del tránsito equivalente acumulado

Carretera _____

Tramo _____

Fecha _____

Notas _____

TIPO DE VEHICULO	Número de vehículos en ambas direcciones	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_i, N_i'	Coeficientes de daño por tránsito, F_i, F_i'		Número de ejes equivalentes de 0.2 ton, $N_i F_i, N_i' F_i'$	
						z=0 cm	z=15 cm	z=0 cm	z=15 cm
A _p 				C=		0.005	0		
				V=		0.005	0		
A _c 				C=		0.34	0.042		
				V=		0.34	0.001		
B 				C=		2.0	1.150		
				V=		2.0	0.640		
C2 				C=		0.88	0.465		
				V=		0.88	0.027		
C3 				C=		0.88	0.675		
				V=		0.88	0.044		
T2-S1 				C=		3.0	1.740		
				V=		3.0	0.140		
T2-S2 				C=		4.0	1.570		
				V=		4.0	0.210		
T3-S2 				C=		5.0	1.300		
				V=		5.0	0.150		
NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES 2 4 6 o más		COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, % 50 40-50 30-40		Total		$T_0, T_0' =$ Tránsito equivalente inicial			

Años de servicio, $n =$ _____ Tasa de crecimiento anual, $r =$ _____ %Coeficiente de acumulación del tránsito, $C =$ _____Tránsito acumulado, $\sum L_n = CT_0 =$ _____ $\sum L_n' = CT_0' =$ _____

FIG. 4.

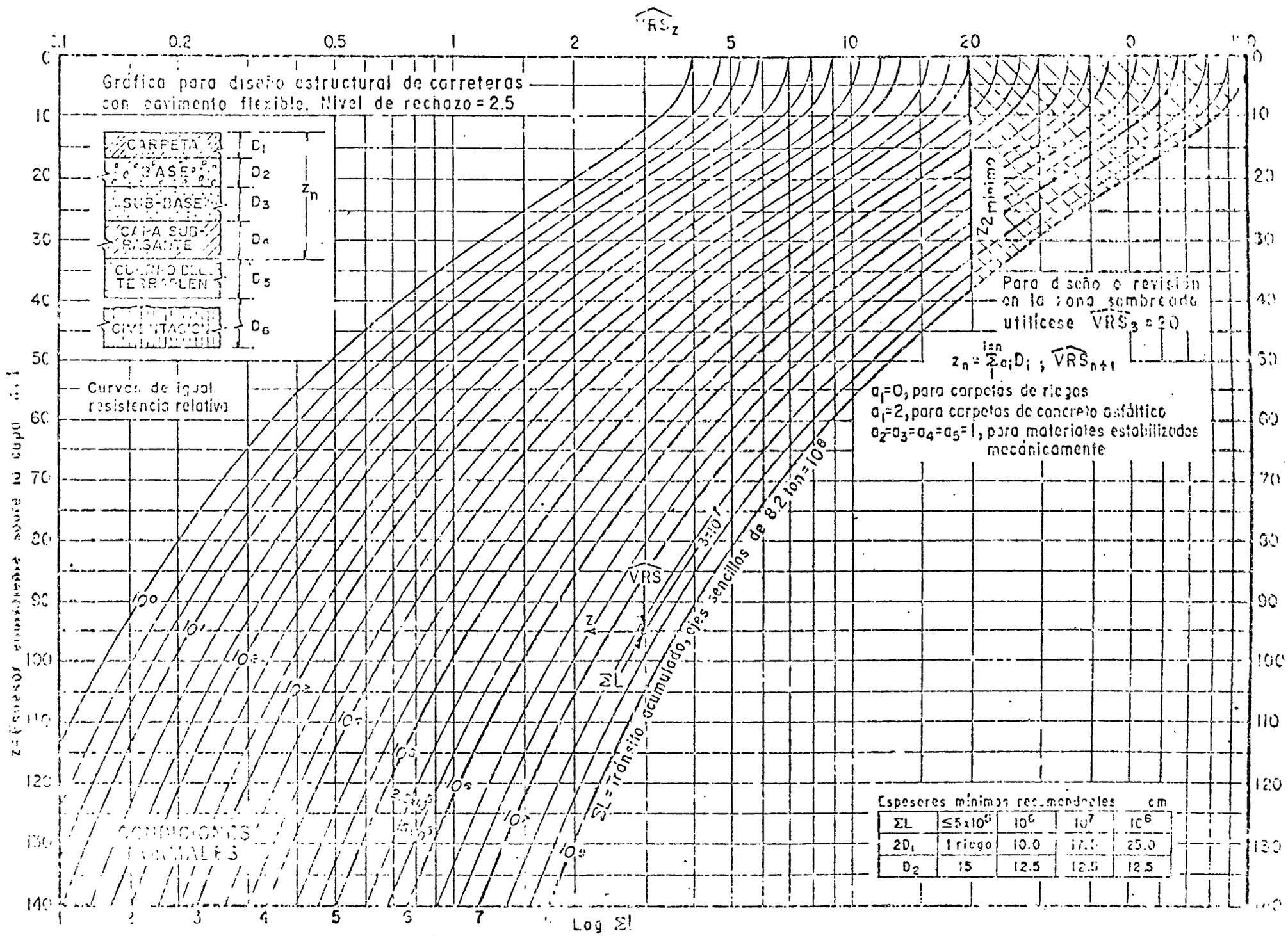
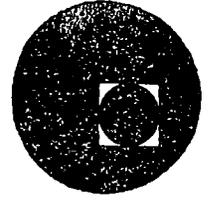


FIG. 5.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

EJERCICIOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA AEROPUERTOS

ING. FERNANDO RODARTE LAZO.

Palacio de Minería

Calle de Tacuba 5,

primer piso.

México 1, D. F.

JUNIO 1978

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA AEROPUERTOS.

Ejemplo Método Del Cuerpo De Ingenieros. (C B R)

f r l

Datos:

- Suelo natural: CBR = 4 %
- Capa subrasante : CBR = 18 %
(mejoramiento)
- Sub-base : CBR = 50
- Base : CBR = 100
- Avión de diseño : Douglas DC-8-55F
- Peso total = 328,000 lb.
- Presión llantas = 186 lb./pulg²
- Tren de aterrizaje con ruedas en doble tandem: 30" x 55"

Solución :

Peso en tren principal = $0.947 (328,000) = 310,616 \text{ lb.} (=140,895 \text{ Kg.})$

De fig.2-15 (Pag.45) :

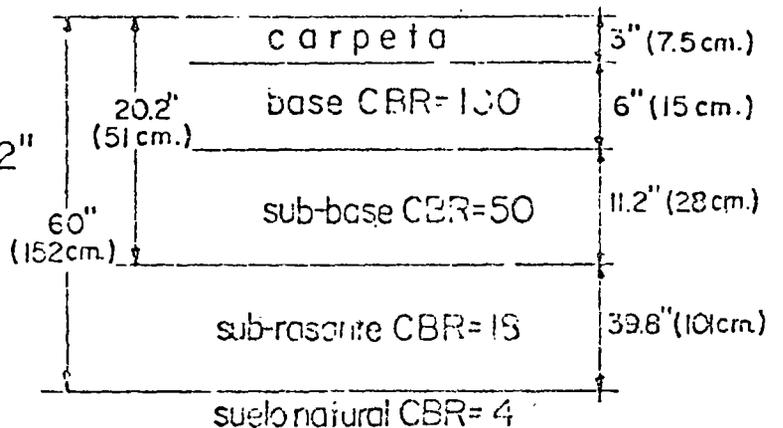
Para CBR = 4 ——— t = 60"

Para CBR = 18 ——— t = 20.2"

De tabla 2-6 (Pag.41) :

Carpeta ——— t = 3"

Base ——— t = 6"



De fig. 2-16(Pag.46) :

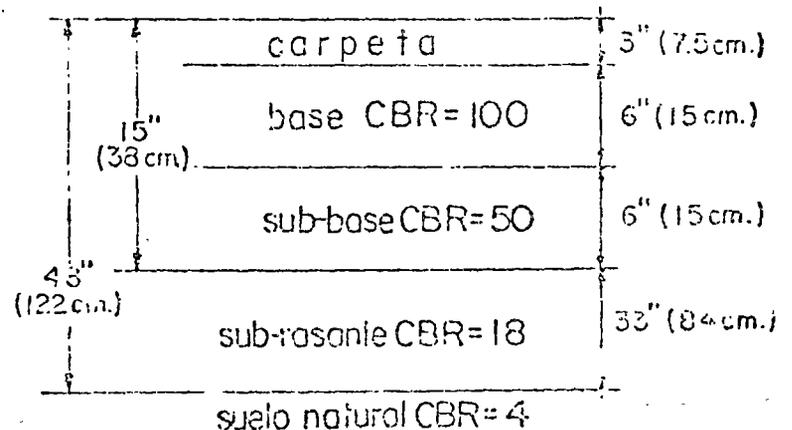
Para CBR = 4 ——— t = 48"

Para CBR = 18 ——— t = 15"

De tabla 2-6 (Pag.41) :

Carpeta ——— t = 3"

Base ——— t = 6"



DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA AEROPUERTOS

Ejemplo método de la FAA

FRL

Datos:

- Pavimento flexible con vida util de 10 años.
- Tráfico:

<u>Avión</u>	<u>Num. de salidas (R)</u>	<u>Carga por rueda (W)</u>
B-727-200	20,000	39,900 lbs.
B-707-320 B	10,000	37,800

- Clasificación del suelo: E-6 .
- Condiciones de drenaje: pobres .
- Penetración de heladas: nula .

Solución:

Se convierte el tráfico esperado a salidas equivalentes de B-707-320 B:

$$\text{Log. } R_1 = \text{Log. } R_2 \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{1/2}$$

Para B-727-200:

$$\text{Log. } R_1 = \text{Log. } (0.60 \times 20,000) \left(\frac{39,900}{37,800} \right)^{1/2}; \quad R_1 = 15,522$$

Para B-707-320B: R₁ = 10,000

Total ——— 25,522 salidas

o sea: 2,552 salidas equivalentes anuales .

Peso total del B-707-320B = $\frac{37,800 \times 4 \times 2}{0.95} = 318,316 \text{ lb.}$

De tabla 2-7 (pag. 52):

Clasificación de subrasante: F 4

De fig. 2-23 (pag. 56):

Espesor total de pavimento (areas criticas): T = 26 "

Espesor de base = 10 "

Espesor carpeta (areas criticas) = 4 "

Espesor carpeta (areas no criticas) = 3 "

Corrección por volumen de tráfico:

<u>Areas criticas</u>	<u>Areas no criticas</u>	<u>Orillas</u>
Espesor carpeta = 4" + 1" = 5" ———	3" + 1" = 4" ———	2" ———
Espesor base = 10" x 1.1 = 11" ———	11" x 0.9 = 10" ———	11" x 0.7 = 8" ———
Espesor sub-base = 12" x 1.1 = 13" ———	13" x 0.9 = 12" ———	29" - 10" = 19" ———
<hr/>		
Espesor total = 26" ———	29" ———	26" ——— 29"

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA AEROPUERTOS

Ejemplo método del departamento de transporte de Canada.

f r l

Datos:

- Valor soporte de la subrasante (percentil 25): $S = 16,080$ lb.
- Avión de diseño: DC-8 .
- Peso total = $315,000$ lb.
- Presión de inflado = 168 lb./pulg² .
- Tren de aterrizaje con ruedas en doble tandem: $30'' \times 55''$.

Solución:

De fig. 2-34 (pag. 70):

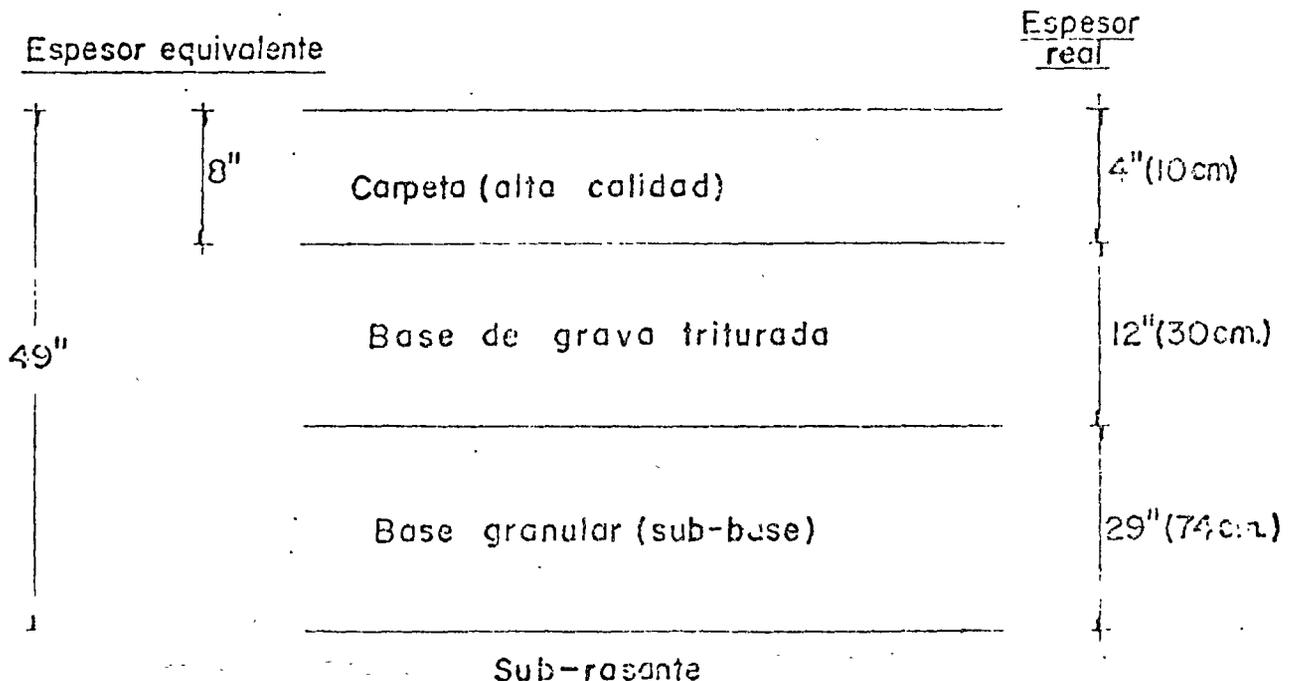
$t = 49''$ (Espesor equivalente de base granular).

De tabla 2-9 (pag. 71):

Espesor mínimo de carpeta = $4''$.

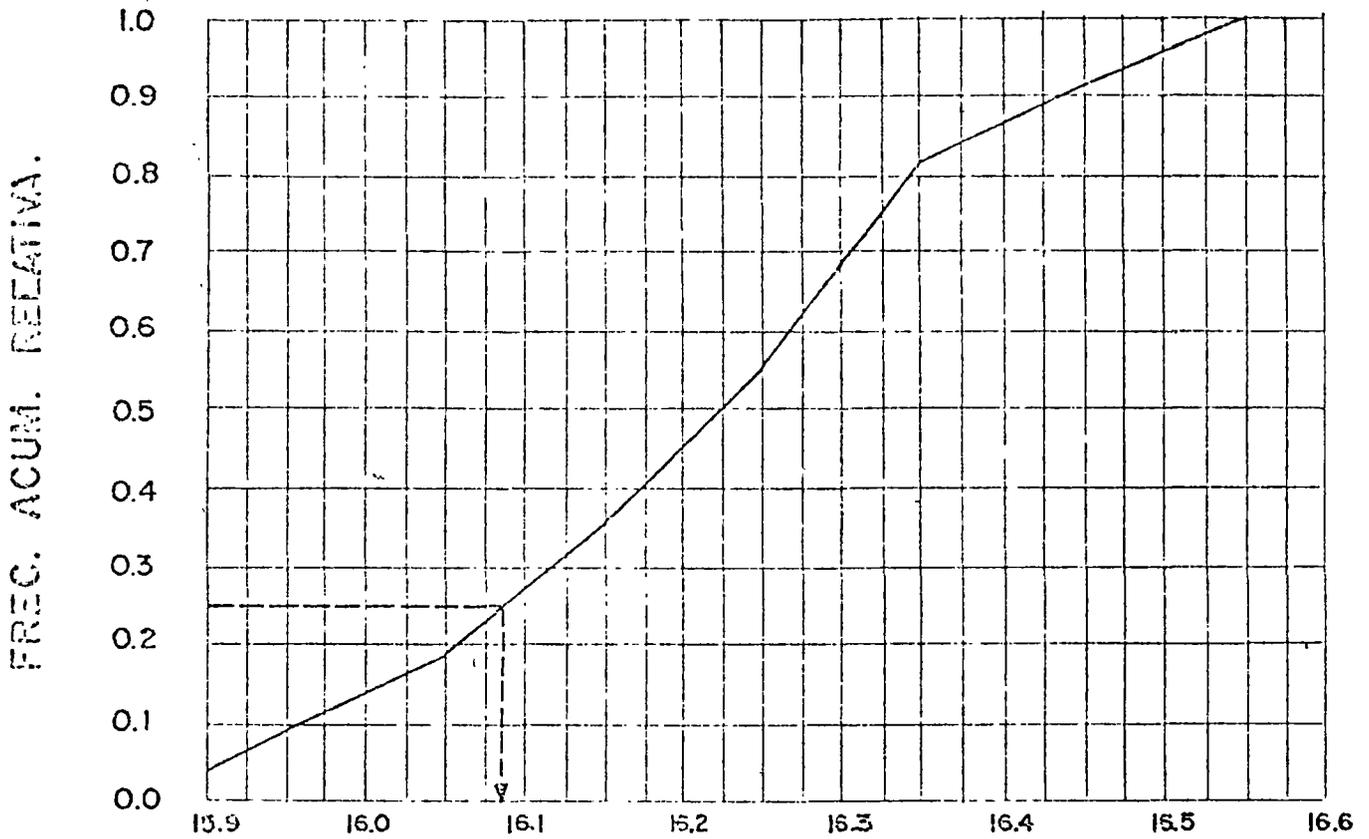
Espesor mínimo de base (grava triturada) = $12''$.

Aplicando equivalencias tabla 2-8 (pag. 71):



EJEMPLO METODO CANADIENSE.-

fri



Valor soporte de la subrasante "S" (Placa de 30", 0.5" de deflexión; 10 rep.)
(1,000 lb.)

Marca de clase (1,000 lb.)	Intervalos de clase (1,000 lb.)	Frecuencias	Frecuencias acumuladas.	Frecuencias acumuladas relativas.
15.95	15.90 - 16.00	1	1	0.09
16.05	16.00 - 16.10	1	2	0.18
16.15	16.10 - 16.20	2	4	0.36
16.25	16.20 - 16.30	2	6	0.55
16.35	16.30 - 16.40	3	9	0.82
16.45	16.40 - 16.50	1	10	0.91
16.55	16.50 - 16.60	1	11	1.00

Percentil 25% de S = 16,080 lb.

DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS DEPARTAMENTO TECNICO OFICINA DE ESTUDIOS ESPECIALES	No. 50 EL CE-EE LA OFICINA ING. FCO. FDO. RODARTE L. Revisó: J. Seca. ING. RODOLFO DAMIAN G Formó: _____
--	---

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA AEROPUERTOS.

Ejemplo Método "Full Depth" del Instituto del Asfalto.

f r i

Diseñar el pavimento flexible con los sig. datos :

- Módulo de elasticidad de la sub-rasante = $E_s = 7,000 \text{ psi. (48,260 KN/m}^2\text{)}$
- Temperatura media anual = $60^\circ \text{ F. (16}^\circ \text{ C.)}$
- Periodo de diseño = 20 años.
- Proyección del tráfico en el periodo de diseño:
142,000 operaciones de avión B-727-200

Solución :

I) Tráfico admisible (N_a) para diferentes espesores de pavimento (T_A) :

a) Para deformación por compresión vertical (ϵ_c) :

(de fig.2-38 pag.77)

$$N_a = 100 \quad \text{rep.} \quad \text{---} \quad T_A = 14.8''$$

$$N_a = 1,000 \quad \text{"} \quad \text{---} \quad T_A = 19''$$

$$N_a = 10,000 \quad \text{"} \quad \text{---} \quad T_A = 21.5''$$

$$N_a = 100,000 \quad \text{"} \quad \text{---} \quad T_A = 22.7''$$

$$N_a = 1,000,000 \quad \text{"} \quad \text{---} \quad T_A = 24''$$

b) Para deformación por tensión horizontal (ϵ_t) :

(de fig.2-39 pag. 81)

$$N_a = 100 \quad \text{rep.} \quad \text{---} \quad T_A = 6.7''$$

$$N_a = 1,000 \quad \text{"} \quad \text{---} \quad T_A = 10''$$

$$N_a = 10,000 \quad \text{"} \quad \text{---} \quad T_A = 14.6''$$

$$N_a = 100,000 \quad \text{"} \quad \text{---} \quad T_A = 21.5''$$

$$N_a = 1,000,000 \quad \text{"} \quad \text{---} \quad T_A = 31.5''$$

II) NUMERO DE OPERACIONES "Np" EQUIVALENTES DE DC-8-63 F.--

f r l

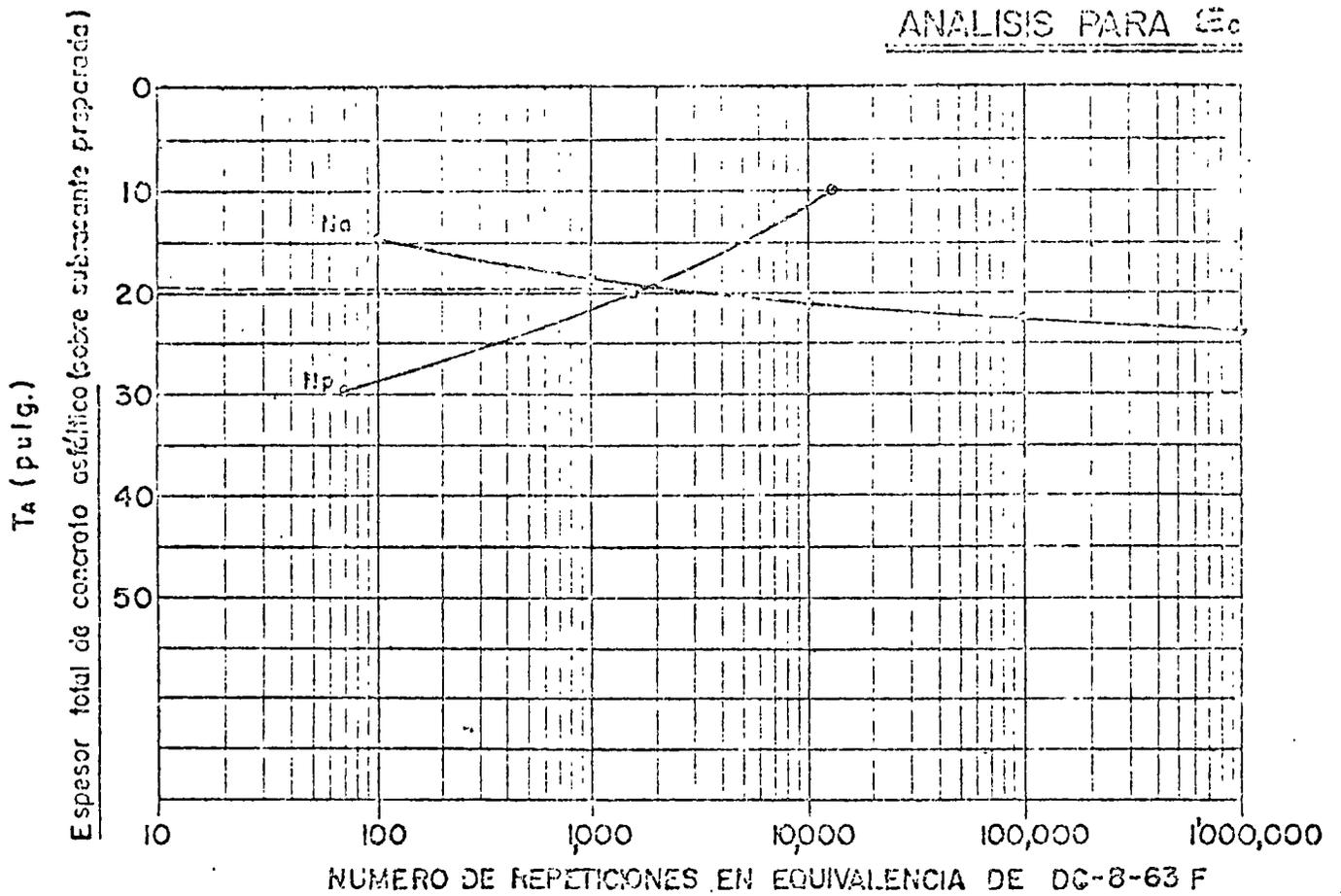
a) Para E_c : (de fig. 2-46 (pag. 89))

AVION	NUM. DE OPERACIONES DE DISEÑO	NUM. DE OPERAC. EQUIV. DE DC-8-63F(Np)					
		DISTANCIA AL EJE DEL PAVIMENTO					
		5.5 ft.	9.5 ft.	13.5 ft.	17.5 ft.	21.5 ft.	
PARA ESPESOR $T_A =$		10 in:					
B-727-200	142,000	9,000	(13,000)	6,500	1,150	—	
PARA ESPESOR $T_A =$		20 in:					
B-727-200	142,000	1,200	(1,600)	1,000	275	—	
PARA ESPESOR $T_A =$		30 in:					
B-727-200	142,000	60	(70)	54	23	—	
PARA ESPESOR $T_A =$		40 in:					
B-727-200	142,000	1	1	1	1	—	

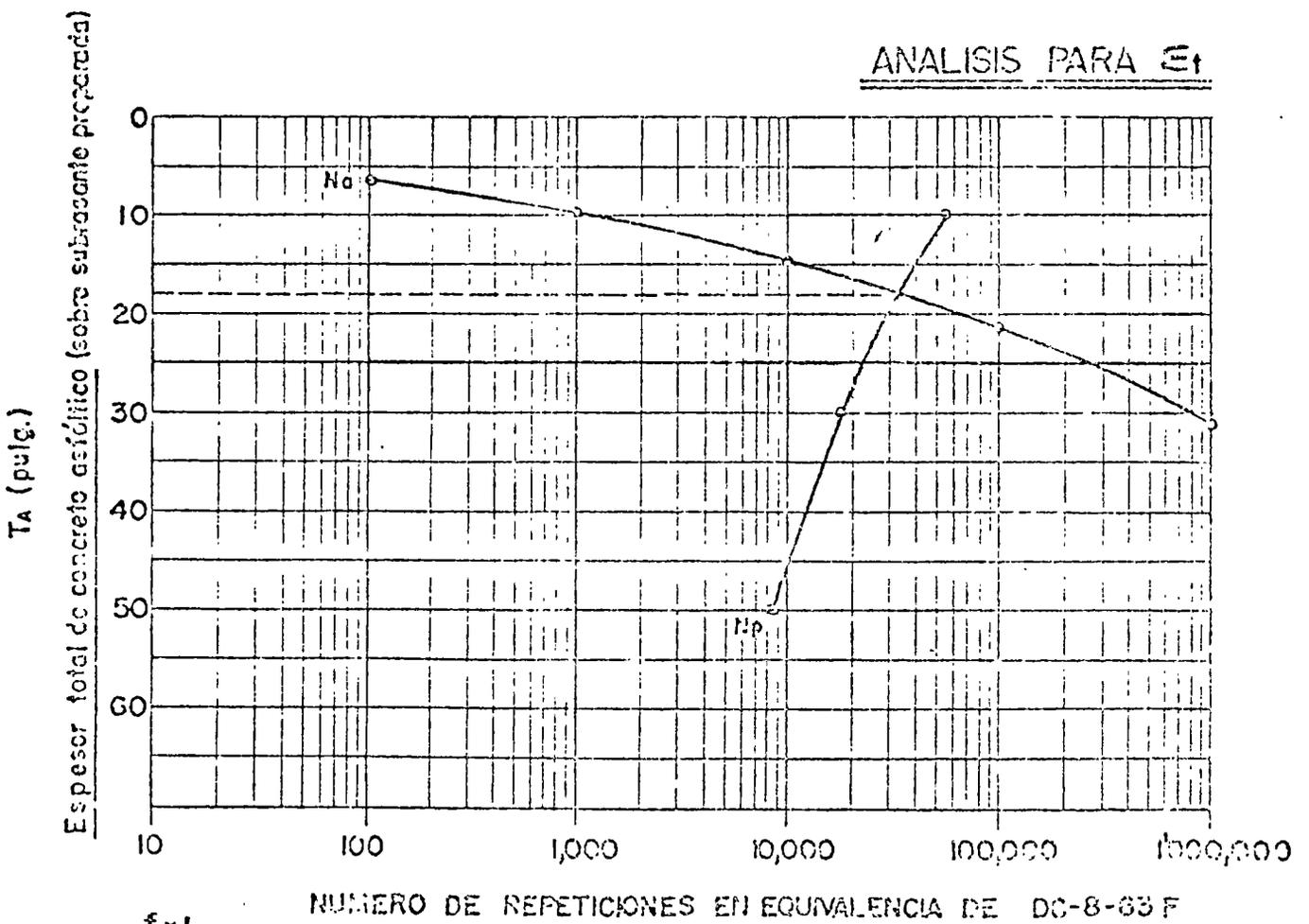
b) Para E_f (de fig. 2-48 (pag. 91)) :

AVION	NUM. DE OPERACIONES DE DISEÑO	NUM. DE OPERAC. EQUIV. DE DC-8-63F(Np)					
		DISTANCIA AL EJE DEL PAVIMENTO (ft)					
		5.5	9.5	13.5	17.5	21.5	
PARA ESPESOR $T_A =$		10"					
B-727-200	142,000	35,000	(75,000)	35,000	6,500	—	
PARA ESPESOR $T_A =$		30"					
B-727-200	142,000	9,500	(17,500)	9,500	1,800	—	
PARA ESPESOR $T_A =$		50"					
B-727-200	142,000	4,700	(8,800)	4,700	950	—	

ANALISIS PARA ϵ_c



ANALISIS PARA ϵ_t



ESPESOR CONCRETO ASFALTICO :

Para ϵ_c : $T_A = 19.5''$

Para ϵ_t : $T_A = 18''$

Por tanto, espesor de diseño :

$$T_A = 19.5'' \text{ (espesor critico)}$$

(se aproxima a la $1/2''$)

Los espesores menos criticos son un porcentaje de T_A y se determinan según las figs. 2-43 (pag. 86) y 2-44 (pag. 87)

$$0.95 \quad T_A = 18.5''$$

$$0.8 \quad T_A = 15.5''$$

$$0.7 \quad T_A = 13.5''$$

DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS DE AEROPUERTOS.

Ejemplo Método de la PCA

FRI

Datos:

- Diseñar el pavimento de una pista y una calle de rodaje.
- Aviones : B-727 ——— operaciones frecuentes
 DC-10 ——— " "
 DC-8-63 ——— " ocasionales.
- Subrasante: arcilla arenosa (suceptible a "bombeo").
- Módulo de reacción de la subrasante = $K = 170 \text{ lb./pulg.}^3$
- Módulo de ruptura del concreto = $M_R = 700 \text{ lb./pulg.}^2$

Solución:

Se requiere una sub-base para prevenir el "bombeo".

Se escoge un espesor de sub-base hidráulica de 8 pulg. (20 cm.).

De fig. 3-1-1 (pag. 94) :

K estimado de diseño = 220 lb/pulg.^3 (este valor se verifica posteriormente por medio de pruebas de placa sobre la sub-base de prueba construida.)

Avión	Carga por pierna de tren principal (lb.)	Calle de rodaje y cabeceras de pista.			Porción central de pista		
		F. S.	$\sqrt{S} = \frac{M_R}{F. S.}$	Espesor losa (pulg.)	F. S.	\sqrt{S}	Espesor losa (pulg.)
B-727	80,000	2.0	350	13.8"	1.7"	412	12.4
DC-10	190,000	2.0	350	14.2"	1.7"	412	12.6
DC-8-63	165,000	1.8	389	14.1"	1.5"	467	12.3

El espesor de la losa será:

- Para calle de rodaje y cabeceras : $t = 14.2" = \underline{\underline{14.5" (37\text{cm.})}}$

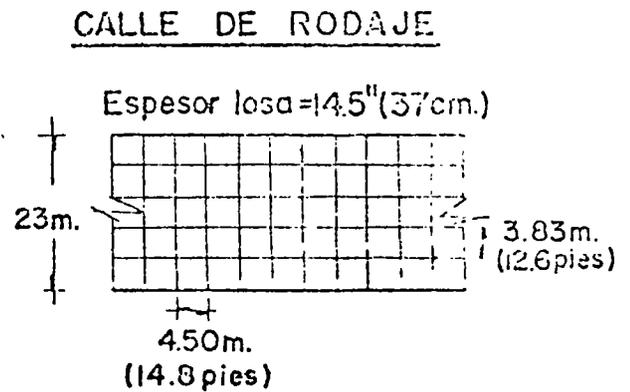
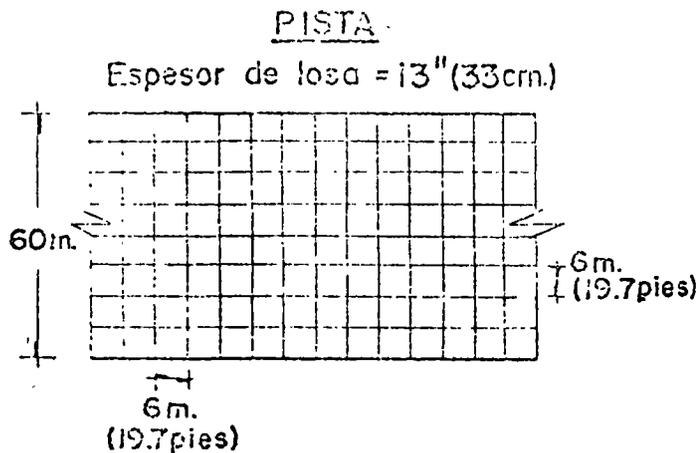
- Para porción central de pista : $t = 12.6" = \underline{\underline{13.0" (33\text{cm.})}}$

(se aproxima a la media pulgada superior)

EJEMPLO METODO PCA (cont.)

f r l

JUNTAS.—



Tamaño y espaciamento de barras lisas;

De tabla 3-1-4 (pag. 99):

Espesor losa : 12 a 16 pulg.

Diámetro de barra : 1 1/2" (3.81 cm.)

Longitud de barra : 20" (51 cm.)

Espaciamento de barras C.a.C. : 15" (38 cm.)

Barras de sujeción (varillas corrugadas):—

De fig. 3-1-10 (pag. 100):

ELEMENTO	ESPESOR LOSA	ANCHO LOSA	V A R I L L A		
			DIAMETRO	LONGITUD	ESPACIAMIENTO
RODAJE	14.5" (37 cm.)	12.5' (3.8 m.)	5/8" (1.58 cm.)	25" (64 cm.)	27" (69 cm.)
PISTA	13" (33 cm.)	19.7' (6.0 m.)	5/8" (1.58 cm.)	25" (64 cm.)	20" (51 cm.)

DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS PARA AEROPUERTOS

Ejemplo método de la FAA

f r l

Datos:

- Módulo de reacción de la subrasante = $K = 100 \text{ lb/pulg}^3$
- Condiciones de drenaje del suelo: pobres.
- Penetración de heladas: nula.
- Clasificación del suelo de la subrasante: E-9.
- Módulo de ruptura del concreto = $M_R = 650 \text{ lb./pulg}^2$
- Avión de diseño (obtenido de manera análoga que para pavimentos flexibles):
Peso total = 320,000 lb.
Tren de aterrizaje: ruedas en doble tandem.
- Tráfico equivalente del avión de diseño: 1,500 solidas anuales.

Solución:

Factor de seguridad = $F.S. = 1.85$

$$\text{Esfuerzo de trabajo} = \sigma_s = \frac{M_R}{F.S.} = \frac{650}{1.85} = 350 \text{ lb./pulg}^2$$

De fig. 3-2-3 (pag. 106):

Espesor losa en áreas críticas = $T = 18''$ (46 cm.) (se aproxima a la pulgada)

Se requiere una sub-base estabilizada, ya que el avión de diseño pesa más de 200,000 lb.

a) Si se utiliza una sub-base estabilizada no rígida, de $9''$ (23 cm.) de espesor, y después de efectuarle pruebas de placa se obtiene un valor

$$K = 300 \text{ lb/pulg}^3 \text{ (dato);}$$

De figura 3-2-3 (pag. 106) se tiene:

Espesor corregido de la losa en áreas críticas: $T = 15''$ (38 cm.)

	<u>Áreas críticas</u>	<u>Áreas no críticas</u>	<u>Orillas</u>
Espesor losa	15''	0.9 (15) = 14''	0.7 (15) = 11''
Espesor sub base	9''	9''	13''
Total	24''	23''	24''

EJEMPLO METODO DE LA FAA (cont.)

FRL

b) Si se utiliza una sub-base estabilizada rígida, estabilizada con cemento, de 9" (23 cm.) de espesor.

El valor del módulo de elasticidad de la sub-base (prueba ASTM-C-215) es:

$$E_2 = 1 \times 10^6 \text{ lb./pulg.}^2 \text{ (dato)}$$

$$h_1 = 18'' \text{ (espesor losa)}$$

$$h_2 = 9'' \text{ (espesor sub-base)}$$

$$h_1/h_2 = 2.0$$

De fig. 3-2-8 (pag.108):

$$r = 1.125$$

Utilizando la expresión:

$$\text{Espesor equivalente} = h(r)^{1.33}$$

$$\text{Esp. equiv.} = 18(1.125)^{1.33} = 21''$$

es decir, que las 9" de sub-base se comportan como 3" de losa.

2º Tanteo:

$$h_1 = 15'' \text{ (espesor losa)}$$

$$h_2 = 9'' \text{ (espesor sub-base)}$$

$$E_2 = 1 \times 10^6 \text{ lb./pulg.}^2 \text{ (sub-base)}$$

$$h_1/h_2 = 1.66$$

de fig. 3-2-8 (pag.108): $r = 1.15$

$$\text{Esp. equiv.} = 15(1.15)^{1.33} = 18''$$

que es el espesor total requerido.

	<u>Areas criticas</u>	<u>Areas no criticas</u>	<u>Orillas</u>
Espesor losa	15"	0.9(15) = 14"	0.7(15) = 11"
Espesor sub base(rigida)	9"	9"	13"
Total	24"	23"	24"

DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS DE AEROPUERTOS

Ejemplo Anteproyecto de Método para México

FRL

Datos:

- Diseñar pavimento rígido de calle de rodaje con vida útil de 18 años
- Tráfico esperado durante la vida útil :

AVION	Peso de Operación (Kg.)	Carga por rueda "P" (Kg)*	Número de Operaciones "R"
B-727-200	80,000	19,000	44,302 despegues
	68,000	16,150	44,302 aterrizajes
B-727-100	75,000	17,813	44,302 despegues
	62,000	14,725	44,302 aterrizajes
DC-9	49,000	11,638	59,067 despegues
	44,000	10,450	59,067 aterrizajes

* Se considera que el 95% del peso lo carga el tren principal.

- Diferencia de temperatura ambiente entre el día y noche = 9°C
- Módulo de reacción de la subrasante : $K = 10 \text{ Kg/cm}^3$
- Módulo de ruptura del concreto a los 90 días = $M_R = 49 \text{ Kg/cm}^2$

Ejemplo Anteproyecto de método para México (cont.)

f r l

Solución :

Se convierte el tráfico esperado a número de operaciones equivalentes de B-727-200 con peso total de 80,000 Kg. (avión crítico) con la expresión :

$$\text{Log. } R_1 = \text{Log. } R_2 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/2}$$

Para B-727-200(despegues): _____ $R_1 = 44,302$

Para B-727-200(aterriajes):

$$\text{Log. } R_1 = \text{Log. } 44,302 \left(\frac{16,150}{19,000} \right)^{1/2}; \text{ _____ } R_1 = 19,222$$

Para B-727-100(despegues):

$$\text{Log. } R_1 = \text{Log. } 44,302 \left(\frac{17,813}{19,000} \right)^{1/2}; \text{ _____ } R_1 = 31,546$$

Para B-727-100(aterriajes):

$$\text{Log. } R_1 = \text{Log. } 44,302 \left(\frac{14,725}{19,000} \right)^{1/2}; \text{ _____ } R_1 = 12,315$$

Para DC-9 (despegues):

$$\text{Log. } R_1 = \text{Log. } 59,067 \left(\frac{11,638}{19,000} \right)^{1/2}; \text{ _____ } R_1 = 5,423$$

Para DC-9 (aterriajes):

$$\text{Log. } R_1 = \text{Log. } 59,067 \left(\frac{10,450}{19,000} \right)^{1/2}; \text{ _____ } R_1 = 3,456$$

Número de operaciones equivalentes de B-727-200 = 116,264

De tabla 3-4-3 (Pag. 123):

Factor de repetición de carga (para $\nabla = 122 \text{ cm.}$) = 0.23

Número de repeticiones del avión de diseño = $116,264 \times 0.23 = 26,740$

EJEMPLO ANTEPROYECTO DE METODO PARA MEXICO (cont.)

f r l

DE Tabla 3-4-1 (pag.124):

Factor de seguridad = F.S. = 1.48

Si se escoge un espesor de sub-base hidraulica de 0 cm;
de fig. 3-4-3 A (pag. 129):

Módulo de reacción en la superficie de la sub-base = $K = 11.3 \text{ kg./cm}^3$

(Valor que debe ser comprobado o corregido por medio de pruebas de placa).

El esfuerzo de trabajo del concreto es:

$$\sigma = \frac{MR}{F.S.} = \frac{49}{1.48} = 33.1 \text{ kg./cm}^2$$

La carga por pierna del avión crítico de
diseño es de 38,000 kg.

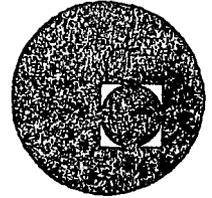
De fig. 3-4-10 (pag.136):

Espesor de losa para areas criticas (tipo A):

$$\underline{\underline{H = 27.5 \text{ cm. (calle de rodaje)}}$$



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

PLANEACION DE LOS TRABAJOS DE CONSTRUCCION.

ING. CARLOS M. CHAVARRI MALDONADO.

JUNIO DE 1978.

Palacio de Minería

Calle de Tacuba 5,

primer piso.

México 1, D. F.

I N D I C E

	Pag.
INTRODUCCION	1
PROCESOS Y SISTEMAS	9
MODELOS	12
VALUACION DE ALTERNATIVAS	16
TOMA DE DECISIONES	20
SOLUCION	23
DECISIONES CON VARIABLES ALEATORIAS	29
SINTESIS SOBRE PROBABILIDAD	31
ANALISIS DE DECISIONES BAJO RIESGO	43
DECISIONES A NIVEL OBRA	49
DECISIONES A NIVEL GERENCIA	51
PUNTO DE EQUILIBRIO	52

INTRODUCCION

CONSTRUCCION

Dentro de los campos en la profesión del Ingeniero Civil ocupa un lugar preponderante la construcción. En la realización de una obra, este campo sigue inmediatamente al diseño y precede a los de operación y mantenimiento de obras. Consiste la construcción e la realización de una obra combinando materiales, obra de mano y maquinaria con objeto de producir dicha obra de tal manera que satisfaga una necesidad normalmente colectiva, y que cumpla con las condiciones planteadas por el diseñador, entre las que se cuenta con primordial importancia la seguridad.

Consiste la construcción en uno o varios procesos de producción en el o los que se combinan en alguna forma recursos (materiales, obra de mano y maquinaria) para lograr el producto terminado, se trata pues de un típico proceso industrial, que solo difiere del clásico en que las obras normalmente son diferentes y se requiere estudiar un proceso que será diferente para cada obra, en cambio en el proceso típico industrial este es repetitivo.

CONSTRUCCION DE CAMINOS Y AEROPUERTOS

Entre estos procesos es muy común encontrar la construcción de pavimentos, que bien sea parte del proceso total o todo el proceso que se presenta en la mayor parte de las obras que se construyen. Con-

siste pues la construcción de pavimentos en combinar maquinaria, --
 materiales y obras de mano, a fin de obtener la obra o parte de la --
 obra de acuerdo con lo planteado en el diseño.

En la planeación de la construcción, el problema de selección de equipo trata de determinar que tipo, modelo y tamaño de máquinas deberá usar el ingeniero para realizar su proceso dentro de las restriciones impuestas por el proyecto. Al definir esto el ingeniero estará planeando el proceso constructivo, o dicho en otra forma definirá en todos sus puntos el procedimiento de construcción a usarse.

PROCESOS

Podemos pues presentar la construcción en general como uno o --
 varios procesos de transformación con una entrada, los recursos y --
 una salida, la obra terminada.



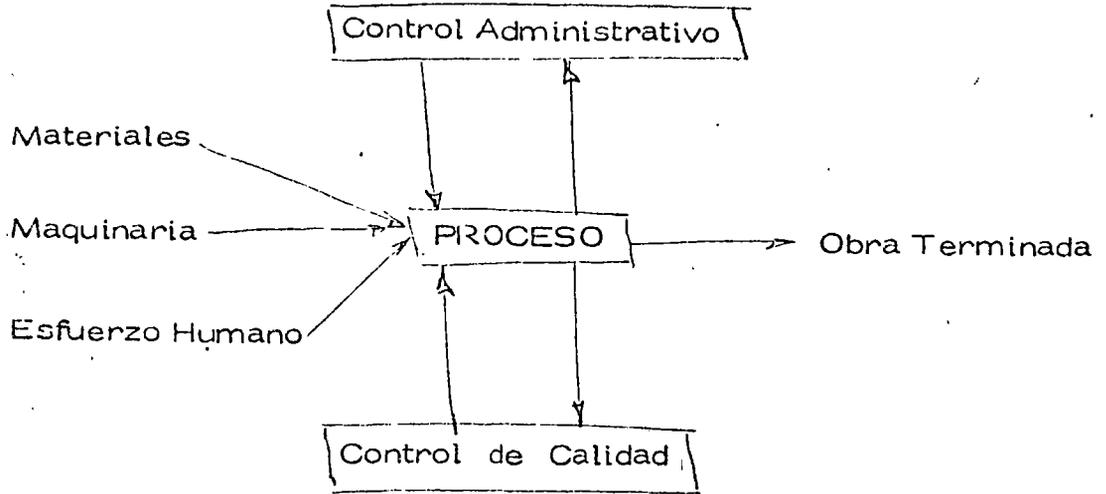
Como habíamos dicho antes el proceso puede ser uno o varios, --
 pero también podremos dividirlo en subprocesos, cada uno de los cuales
 les producirán una parte de la obra, estos pueden ser simultáneos o --
 en cadena, y es usual que estos subprocesos se analicen por separado
 para definir los procedimientos de construcción que producirán la obra

que deseamos.

CONTROLES

A lo largo de la ejecución deberemos revisar para que nuestro esfuerzo nos vaya llevando a la obra terminada tal y como lo concebimos. Es fácil comprender que no conviene esperar al fin de la obra para revisar si esta coincide con la diseñada, y si nuestra planeación se cumplió, esto es, si las cantidades y calidades que calculamos usar de nuestros recursos realmente fueron las utilizadas. Si algo falla lo planeado no coincidirá con lo ejecutado. A la revisión de el uso de los recursos a lo largo de la ejecución se le llama Control Administrativo. A la revisión de la calidad de la obra en todas sus partes a fin de que realmente ésta sea la diseñada se le denomina Control de Calidad. Estos controles consisten en tomar muestras a lo largo del proceso y compararlas con los estándares tomados de la planeación; en realidad constituyen en si un proceso capaz también de ser planeado. Este tipo de procesos se denominan de Control o Retroalimentación. Si en estos procesos se encuentran desviaciones significativas con el estándar actúan sobre los procedimientos de construcción para corregir las desviaciones y acercar el producto al estándar.

Puede pues representarse la construcción y sus controles con el siguiente esquema.



DECISIONES

TOMA DE DECISIONES

El ingeniero que se ocupa del movimiento de tierras tiene que planear anticipadamente el equipo a utilizarse en el proceso. Esto lo hace seleccionando varios tipos de máquinas en ciertas combinaciones -- que él sabe le producirán la obra de acuerdo con el diseño. Se le presentan pues varias alternativas, una de las cuales escogerá para realizar las obras. Esto constituye la toma de una decisión. Una decisión es simplemente una selección entre dos o más cursos de acción. Podemos decir pues que la selección del equipo en movimiento de tierras es un caso de la toma de decisiones.

La toma de decisiones puede realizarse intuitiva o analíticamente. Si se aplica la intuición normalmente se usa lo que ha sucedido en el pasado y aplicando este conocimiento se estima lo que puede suceder en el futuro, con cada una de las vías de acción, y en función de esta apreciación se toma la decisión. La decisión tomada analíticamente -- consiste en un estudio sistemático y evaluación cuantitativa de el pasado y el futuro, y en función de este estudio se selecciona la vía de acción más adecuada. Ambos métodos se usan comúnmente en el problema de selección de equipo.

OBJETIVOS

Si queremos hacer la selección de un camino entre varios que se presentan, y que solucionará el problema tendremos en alguna forma --

que comparar las posibles soluciones. Se presenta el problema de como compararlas ¿En función de qué? ¿Cómo valorarlas? El ingeniero deberá pues determinar un objetivo u objetivos que le servirán -- para valorar dichas vías de acción o caminos alternativos.

La labor del ingeniero está orientada por la economía; es decir -- tiene como objetivo fundamental adecuar el costo con la satisfacción -- de una necesidad. Aún cuando no es raro que en su labor el ingeniero se enfrente a problemas con objetivos contradictorios en el caso de la selección de equipo sus decisiones están orientadas por el criterio económico.

La valuación de las alternativas será pues una valuación de tipo -- económico, habrá que determinar el costo de las entradas a lo largo -- del tiempo y el beneficio que proporcionará la salida, también a lo lango del tiempo, para cada alternativa. De la comparación de estos costos-beneficios saldrá una manera de comparar las alternarivas en que se basará el ingeniero para tomar su decisión. El ingeniero deberá -- pues tener un conocimiento profundo de los costos, y deberá poder definir tanto los costos físicamente creados por el uso de su alternativa, -- como los derivados de usar la solución propuesta por él.

La selección dependerá pues del criterio económico. La evalua -- ción de las alternativas podría tomar la forma de :

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} = \frac{\text{Ingreso}}{\text{Costo}}$$

También puede decirse pues que lo que busca el ingeniero es hacer

máximas las utilidades.

PROCEDIMIENTO PARA TOMAR DECISIONES.

Definido el problema deberá hacerse un análisis del mismo, en esta fase se recaba toda la información que nos de un conocimiento profundo y completo del problema, con el objeto de poder definir y valorar el mismo, lo que traerá como consecuencia una selección más depurada de las distintas alternativas-solución que se formulará en la siguiente etapa de la toma de decisión. Esta definición y valuación del problema se hará tomando en cuenta el objetivo.

En la siguiente fase se toman todas las alternativas posibles o cursos alternativos de acción. En este caso es muy importante para escoger las alternativas posibles la preparación técnica del ingeniero.

La tercera fase consiste en comparar estos posibles cursos de acción en función del objetivo y al final de esta fase podremos tomar ya una decisión que vaya guiada al objetivo propuesto.

Por último se considera una última fase de especificación e implementación, en la cual se hace una descripción completa de la solución elegida y su funcionamiento.

CERTEZA - RIESGO - INCERTIDUMBRE.

Se dice que una decisión se toma bajo certeza cuando el ingeniero conoce y considera todas las alternativas posibles y conoce todos los estados futuros de la situación, consecuencia de tomar dichas alternati

vas, y a cada alternativa corresponde un solo estado futuro.

Se dice que una decisión se toma bajo riesgo si a cada una de las alternativas corresponden diversos estados futuros, pero el ingeniero conoce la probabilidad de que se presente cada uno de ellos.

Se dice que la decisión se toma bajo incertidumbre si el ingeniero no conoce las características probabilísticas de las variables.

PROCESO - SISTEMAS

Al analizar el proceso constructivo y planearlo nos encontramos - que en realidad estamos encontrando el grupo de decisiones que permitirán el logro de nuestros objetivos.

Para estudiar este proceso será indispensable analizar todas las - variables o las más importantes que intervienen en él, las relaciones - entre ellas y como una variación en cada una de ellas influye en que el resultado final se acerque más o menos a nuestro objetivo. Esto en -- realidad equivale a considerar la totalidad de cursos alternativos de acción en función del objetivo.

Normalmente las variables tienen limitaciones. Podremos tener - limitaciones en tiempo, en recursos, en sumas mensuales a gastar, - etc.

Muchas veces los cursos alternativos de acción son muy grandes - en número, y por esto es conveniente para compararlos con facilidad, encontrar como cada valor de la variable influye en la salida del pro-- ceso.

RESTRICCIONES

En la fase de análisis se fijan normalmente las restricciones o li - mitaciones. Estas pueden provenir de las especificaciones del diseña dor, de limitaciones propias de la empresa, o restricciones externas.

Es muy conveniente que el ingeniero no se cree restricciones ficticias, que le limitarán el encontrar soluciones alternas posibles. Esto limitaría la aplicación de la técnica del ingeniero.

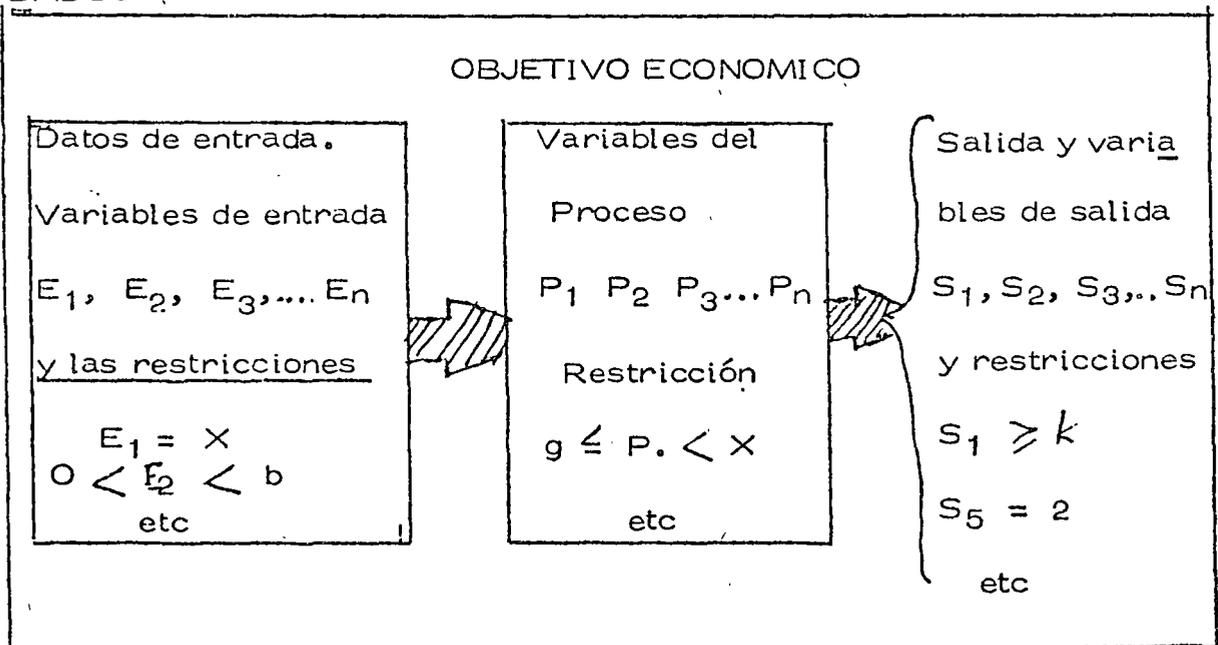
SELECCION DE VARIABLES

No es fácil encontrar todas las variables; por otro lado no todas influirán importantemente en el proceso, es pues conveniente definir las variables significativas, esto es las que modifiquen importantemente la salida valuada en función del objetivo. Las variables pueden ser :

- Controlables, aquellas que podremos variar a nuestro antojo.
- Las que no pueden ser controladas o manipuladas en el proceso, pero que influyen en la salida.

Podemos pues definir nuestro método de decisión usando la siguiente notación :

DADOS



ENCONTRAR

El conjunto de valores de las variables controlables que hagan óptimo el criterio económico y que satisfagan las limitaciones y restricciones.

SISTEMAS - MODELOS

Para tomar nuestra decisión o conjunto de decisiones dentro de los considerados repasados anteriormente requerimos representar - nuestro proceso (sistema), de tal manera que operando sobre la - representación modificando los valores de las variables controlables tengamos salidas que se aproximen o sean las mismas que las obteni- das al operar el sistema real .

Se define sistema como una entidad individual delimitada forma- da por un conjunto de componentes (pueden ser subsistemas) diseña- das para actuar estimulados por factores externos (entradas) y -- orientadas para lograr la salida deseada. De acuerdo con esta defi- nición nuestro proceso constructivo en realidad constituye un siste- ma.

Una característica importante de los sistemas es que deben ser integrados, esto es que exista una clara interdependencia entre todas sus partes (independientemente de que estas partes sean Sub-Siste- mas o no) que constituyan un todo de tal manera que al efectuarse un cambio en una parte , otras queden en mayor o menor grado afectadas por dicho cambio.

MODELOS MATEMATICOS.

Para manejar y planear sistemas, así como para ayudar a tomar decisiones sobre sistemas establecidos, se han desarrollado gran can- tidad de modelos matemáticos cuyo estudio pertenece a la investiga- ción de operaciones .

Al enfrentarse el Ingeniero a las decisiones que tiene que tomar - respecto a su sistema-obra, debe aprovechar los modelos ya desarro- llados para analizar sub-sistemas o el sistema en conjunto.

La construcción de modelos ha tenido un desarrollo impresionante en los últimos años y esta actividad se amplía cada vez más. Parale- lo a la construcción, la ampliación de los modelos a la práctica se - está generalizando también y los campos en donde se puede aplicar se pluralizarán en el futuro.

En la actualidad existen modelos como la construcción de red de - actividades que proporcionan un método sencillo, práctico y completo para representar y analizar un proceso constructivo dividido en sus - actividades. El análisis de tiempos y relaciones de precedencia de la red se amplía al obtenerse además la ruta crítica y al poder agregar - análisis de costos y análisis de recursos utilizados en las actividades.

Modelos como los de reemplazo ayudan a determinar la vida - - económica de las máquinas indicando cuando se debe hacer un reem- - - plazo y cuando una reparación, etc. para que la operación de la - - - máquina sea económica.

Modelos de control de inventarios pueden ayudar a establecer - - políticas óptimas, desde el punto de vista económico, para determinar cuánto y cuando se debe ordenar de cada uno de los materiales que se manejan en almacén y que tienen una demanda conocida.

La programación lineal y el problema del transporte tienen varias aplicaciones en el campo de la ingeniería civil. Se puede encontrar de la manera más económica de transportar cierto material (comen

to, concreto, etc.), desde un conjunto de orígenes donde existe en -- cantidades conocidas, hasta un conjunto de destinos donde es requerido en cantidades también conocidas. Se pueden aplicar también: a la -- asignación científica de personal, o de maquinaria, a la determinación óptima de la mezcla de materiales procedentes de diferentes bancos -- para proporcionar cierta cantidad cumpliendo con especificaciones conocidas, al diseño de la red más económica para abastecer de agua potable una población, a la concesión de contratos, etc.

En aquellos fenómenos en los que se forma una cola porque no -- existe un equilibrio entre la demanda de servicio y la rapidez con que -- este servicio se proporciona, también pueden utilizarse modelos ya -- desarrollados.

La parte de la investigación de operaciones que se ocupa de su estudio se llama teoría de los fenómenos de espera. Es fácil localizar -- problemas de este tipo en un sistema-obra.

Por ejemplo los camiones en fila, esperando que una excavadora, -- pala, draga, etc., los cargue para estudiar la capacidad, número -- rapidez (eficiencia) que las dragas deben tener para lograr un equilibrio económico, o para impedir que la cola de camiones sea demasiado larga.

Hay además multitud de problemas económicos de comparación entre alternativas en los que debemos mencionar la necesidad de juzgar las -- diversas alternativas que se presenten no solo por el costo directo, -- inmediato que cada una de ellas tengan, sino también por los costos futuros consecuencias de dichas alternativas.

Para hacer estas comparaciones con cantidades homogéneas hay que

tomar en consideración el valor del dinero en el tiempo y el manejo -
de tasas de interés, temas de gran interés para las decisiones del - -
ingeniero.

Con el desarrollo de las computadoras electrónicas de la investiga-
ción de operaciones se ha desarrollado en la creación de modelos no - -
analíticos que expresan las relaciones más importantes y que simulan lo
más posible las condiciones reales.

Esta técnica se llama simulación y su aplicación ha tenido éxitos -
notables. Han sido especialmente útiles aplicados al diseño y la opera-
ción de obras de ingeniería, pero no hay razón para suponer que no -
pueden aplicarse con igual éxito a la construcción.

La explotación de una pedrera, la perforación de túneles, de pasos
a desnivel, etc., son operaciones que fácilmente se podrían simular.

TABLAS DE INTERES COMPUESTO
FACTORES DE ACTUALIZACION

No.	1%		12%	
	Pago Simple	Serie Uniforme de pagos	Pago Simple	Serie Uniforme de pagos
1	0.9901	0.990	0.8929	0.893
2	0.9803	1.970	0.7972	1.690
3	0.9706	2.941	0.7118	2.402
4	0.9610	3.902	0.6355	3.037
5	0.9515	4.853	0.5674	3.605
6	0.9420	5.795	0.5066	4.111
7	0.9327	6.728	0.4523	4.564
8	0.9235	7.652	0.4039	4.968
9	0.9143	8.566	0.3606	5.328
10	0.9053	9.471	0.3220	5.650
11	0.8963	10.368	0.2875	5.938
12	0.8874	11.255	0.2567	6.194
13	0.8787	12.134	0.2292	6.424
14	0.8700	13.004	0.2046	6.628
15	0.8613	13.865	0.1827	6.811
16	0.8528	14.718	0.1631	6.974
17	0.8444	15.562	0.1456	7.120
18	0.8360	16.398	0.1300	7.250
19	0.8277	17.226	0.1161	7.366
20	0.8195	18.046	0.1037	7.460
21	0.8114	18.857	0.0926	7.562
22	0.8034	19.660	0.0826	7.645
23	0.7954	20.456	0.0738	7.718
24	0.7876	21.243	0.0659	7.784
25	0.7798	22.023	0.0588	7.843
26	0.7720	22.795	0.0525	7.896
27	0.7644	23.560	0.0469	7.943
28	0.7568	24.316	0.0419	7.984
29	0.7493	25.066	0.0374	8.022
30	0.7419	25.808	0.0334	8.055
31	0.7346	26.542	0.0298	8.085
32	0.7273	27.270	0.0266	8.112
33	0.7201	27.990	0.0238	8.135
34	0.7201	27.703	0.0212	8.157
35	0.7050	29.409	0.0189	8.176
40	0.6717	32.835	0.0107	8.244
45	0.6391	36.095	0.0061	8.283
50	0.6080	39.196	0.0035	8.305
75	0.4741	52.587		
100	0.3697	63.029		

TOMA DE DECISION

a) PRUEBA DEL MODELO

Es muy conveniente que al desarrollar un modelo, para que represente convenientemente el sistema se pruebe continuamente mientras se esta construyendo.

Al terminar el modelo se realizan pruebas para garantizar su propiedad. Si el modelo tiene deficiencias, es decir las salidas, no corresponden a la realidad del sistema, pueden deberse a que no se seleccionaron adecuadamente las variables significativas, o bien las relaciones entre variables no corresponden a la realidad.

Pueden también probarse el modelo a través de pruebas parciales o restringidas de las soluciones propuestas siempre que esto sea posible.

b) SENSIBILIDAD.

Sensibilidad de un sistema en general se refiere al cambio o cambios en los parámetros del sistema (coeficiente o en su caso entradas).

La sensibilidad tiene especial importancia, pues le indica al ingeniero como se comporta una decisión cuando las condiciones cambian por alguna razón.

El estudio de la sensibilidad es muy importante para formar la decisión, puede ser que una decisión tenga alta sensibilidad, esto sea vulnerable a pequeños cambios de las variables controlables. Cuando

esto sucede es muy conveniente realizar una investigación que nos asegure la validez de los datos que están siendo evaluados.

c) SELECCION DE LA VIA DE ACCION.

Cualquiera que sea el sistema de comparación de alternativas, desde simple intuición hasta el uso de complicados modelos matemáticos, hay que tomar en cuenta ciertas condiciones que influyen importantemente en la decisión.

En primer lugar la persona o personas que van a tomarla. - -
 En general la valuación en términos del objetivo no forma algunas variables en consideración, o puede ser que se consideren variables no significativas algunas variables de carácter probabilístico. Una persona con propensión a no tomar riesgos en un caso de los anteriores, tomará una decisión diferente a una persona que toma riesgos. Esto es una característica psicológica del sujeto que va a tomar la decisión y conviene tomarlo en cuenta.

De todos modos hay que repasar las variables que se consideran no-significativas, pues hay variables que para ciertos valores no - -
 son significativas, pero que en otros rangos si lo son. Un repaso en - -
 función de la valuación de las alternativas es pues conveniente.

También es frecuente que la valuación se realice bajo certeza, -
 cuando en practicamente todos los problemas de Ingeniería se presentan bajo riesgo o incertidumbre. En el momento de tomar una decisión, conviene también repasar cuales son las condiciones en que realmente se --
 presenta el problema.

El análisis de sensibilidad es también muy conveniente, pues nos indicará como se comporta una solución ante variaciones en las condiciones planteadas.

En general todos estos puntos son analizados y pesados al tomar la decisión, cualquiera que sea el procedimiento de valuación de alternativas que se haya seguido.

SOLUCION

Especificación de una Solución. Una vez elegida la solución en la toma de decisiones inmediatamente se deberá proceder a especificar los atributos físicos y las características de funcionamiento de la misma con tanto detalle como se requiera para que las personas que van a participar en su implementación conozcan hasta el detalle necesario. Principalmente cuando el que planea es una personas diferente del que ejecuta, es preciso elaborar cuidadosamente documentación, de tal manera completa, que pueda comunicar a otros la solución.

Normalmente se hace mención de la necesidad de la solución propuesta, se especifica la solución, mediante dibujos y especificaciones y se justifican sus características y funcionamiento.

Muchas veces se hace necesario acompañar todo esto con un resumen del proceso decisorio, y de los argumentos empleados para seleccionar la vía de acción, de tal manera que si se hace necesario en algún momento revisar la solución esto pueda hacerse fácil y rápidamente.

Aceptación de la Solución. Se ha demostrado con experimentos que una solución derivada de un análisis cuantitativo normalmente tiene poca aceptación. Es frecuente que las personas a las que se propone se inclinen por aceptar más fácilmente una solución derivada de la experiencia que una que tenga bases cuantitativas, pero que sea deducida.

Para tener mayores probabilidades de éxito en la aceptación de la so -

lución a la persona o personas que se van a dedicar posteriormente a la implementación.

Esto es común hacerlo formando un equipo con la persona que planea y la o las que posteriormente van a encargarse de la implantación del plan. Desafortunadamente esto no es posible a veces o la planeación en Movimiento de Tierras muchas veces se hace antes de iniciar los trabajos; por ejemplo si se concursa para definir el valor probable de los trabajos. Esto hace difícil lograr que se facilite al planeador el que se acepte su plan a priori.

Por otra parte es común que se tenga que cambiar al encargado de los trabajos y que el nuevo encargado no acepte las soluciones contenidas en el plan que se estaba siguiendo.

Es pues muy conveniente que se preste gran atención a la forma en que se va a presentar el plan que contiene las decisiones deducidas analíticamente, pues si el ejecutor no piensa que las decisiones son correctas es bastante probable que la solución sea un fracaso.

Un sistema que se ha seguido con éxito es reunir a todos los encargados de las obras para prepararlos en las técnicas de la decisión. Aprovechar para que entre todos planeen el sistema de información-decisión que servirá para planear las obras, de modo que tengan confianza en el método y crean en él. Sin embargo cualquier sistema tiene sus fallas que tendremos que estar prontos a corregir cualquier problema que se presente en la implementación proveniente de que el encargado "duda" de la solución propuesta.

IMPLANTACION. Es muy frecuente que al implantar la solución se presenten condiciones no previstas que obliguen a modificar en poco o en mucho la solución especificada. Por otro lado puede también suceder que la realidad no conteste completamente a lo previsto en el análisis. En ambos casos es muy conveniente que en estas modificaciones necesarias intervenga la persona que se encargó de seleccionar la vía de acción más conveniente, para que al realizar dichas modificaciones no se caiga en otra vía de acción inconveniente desde el punto de vista del objetivo.

Esto se obvia organizando reuniones entre los encargados de planeación y los de la implantación del plan, que muchas veces conduce a modificaciones que mejoran inclusive la solución.

CONTROL. Cuando se trata de una cadena de decisiones o el proceso se realiza en tiempos largos es indispensable al planear la solución, planear también las herramientas de control, con objeto de poder supervisar fácilmente si la realidad se comporta de acuerdo con lo previsto.

Posteriormente se ampliará el concepto de control, pero conviene recordar que el control es una herramienta indispensable para lograr resultados satisfactorios.

OPORTUNIDAD DE LAS DECISIONES. Toda decisión tomada por el ingeniero debe cumplir entre otras condiciones la de ser adecuada y oportuna.

La segunda de las características mencionadas, la oportunidad en las decisiones, es tan importante como la primera. No basta que la decisión que se toma sea adecuada, es necesario que también sea oportuna para que ejerza la función para la cual se requiere.

Si la decisión es adecuada y oportuna, se logrará el resultado deseado.

Si sólo se satisface una de las dos condiciones anteriores, no se obtendrán los resultados apetecidos.

Si se define el costo de la decisión atrasada como la diferencia entre el costo en el tiempo t menos el costo en el tiempo cero, considerando que el tiempo cero es aquel en que se debe tomar la decisión, se puede describir la forma teórica general que el costo de la decisión atrasada tiene, independientemente del tipo de decisión de que se trate, a través de la gráfica siguiente :

COSTO
DE LA
DECISION
ATRASADA

Si la decisión se toma en el momento justo (tiempo cero) el costo de la decisión atrasada será cero; a medida que pasa el tiempo el costo de la decisión atrasada aumenta con una cierta rapidez de crecimiento -- hasta llegar a un tiempo t_i después del cual esta rapidez se incrementa notablemente. Así, para toda decisión se pueden distinguir dos regiones: la primera de 0 a t_i , donde el costo de la decisión atrasada no es muy importante, y de t_i en adelante, donde el costo de la decisión atrasada puede resultar tan alto, que puede afectar seriamente la actividad de que se trate, o tal vez el proyecto completo desde el punto de vista económico. Sin embargo, aunque se conoce la forma de la curva, es muy difícil definirla cuantitativamente para una decisión cualquiera. Las escalas, como es lógico suponer, son diferentes para cada caso; tanto en lo que se refiere a los costos como a los tiempos. El costo de la decisión atrasada es tanto más difícil de cuantificar -- cuanto más complejo sea el sistema en el cual se hace la decisión, ya que un atraso en una decisión no suele afectar exclusivamente a una actividad, sino a un conjunto de actividades directa o indirectamente conectadas a ella.

Decisiones Correctivas. A lo largo del tiempo de ejecución del proyecto y mediante los mecanismos de control podemos detectar desviaciones significativas entre lo planeado y lo real. Estas desviaciones -- deberán corregirse tomando una serie de decisiones que tiendan a colocar al proyecto en su ejecución correcta. Esta serie de decisiones --

correctivas pueden originar una modificación completa de la planeación o sea una replaneación del proceso. En el caso de estas decisiones es particularmente importante que sean oportunas, pues en caso de dilaciones el costo de la decisión atrasada se eleva muy rápidamente con el tiempo, puesto que el proyecto está en marcha.

DECISIONES CON VARIABLES ALEATORIAS

a. Generalidades

En todos los problemas a que se enfrenta el Ingeniero Civil existe un grado de incertidumbre principiando por la información que recibe, las condiciones del medio ambiente etc.

El concepto probabilidad es conocido por todo el mundo y su definición ha variado en el transcurso del tiempo. La definición matemática de la probabilidad no pertenece a este curso y en su lugar se puede hablar de probabilidad como la frecuencia relativa de éxito en un experimento, de forma que es el cociente del número de eventos favorables dividido entre el número total de eventos del experimento. De esta definición se puede de inmediato concluir que la probabilidad variará entre cero y uno incluyendo ambos valores, pero que no puede tomar ningún otro valor menor de cero o mayor de uno.

Certeza probabilista es la que se tiene con respecto a un fenómeno o evento cualquiera con probabilidad de ocurrencia = 1. (Evento seguro).

Sin embargo, dentro de los sistemas - obra es muy difícil encontrar eventos cuya probabilidad de ocurrencia sea uno. Esto nos dirige hacia la utilización de técnicas que tomen en cuenta el aspecto probabilista de los fenómenos que maneja. Esto no quiere decir que el ingeniero trate todos los problemas en forma probabilista, sino que cuando menos tenga en cuenta el aspecto probabilista y lo utilice cuando el pro

blema por su importancia se lo exija.

Antes de hacer referencia a las técnicas que ayudan al ingeniero a hacer frente a los problemas probabilistas, comentaremos brevemente los aspectos de riesgo e incertidumbre.

Muy relacionados con los aspectos de probabilidad están los conceptos de riesgo e incertidumbre. En realidad ambos reflejan el punto de vista probabilista de los problemas y no hay distinción clara entre ambos conceptos. Mientras algunos autores los consideran equivalentes, otros establecen una distinción, la que adoptaremos aquí: El análisis del riesgo lo utilizaremos en aquellos casos en que existan eventos probabilistas, pero sus características (la más importante es la distribución de probabilidad) se conocen; mientras que la incertidumbre existe en aquellos casos en que no se conocen las características probabilistas de un fenómeno.

SINTESIS SOBRE PROBABILIDAD

por

S. ZUÑIGA B.

En el presente trabajo se hace una síntesis sobre algunos conceptos de probabilidad, enunciándolos someramente y sin demostración. - Para hacerlos más claros frecuentemente se recurre a dar ejemplos.

Experimento:

Es una acción mediante la cual se obtiene un resultado y se realiza la observación de éste.

Experimento Aleatorio:

Experimento cuyo resultado no se puede predecir antes de que se realice el experimento.

Ejemplo 1.- Tirar un volado, antes de tirarlo no se conoce si el resultado es águila o sol.

Experimento Determinista:

Experimento cuyo resultado se puede predecir antes de que se realice el experimento.

Ejemplo 2.- Sumar 2 números pares, se conoce de antemano que el resultado va a ser un número par.

Eventos Elementales:

Son los resultados más simples de un experimento.

Ejemplo 3.- Al tirar un dado y observar el "número resultante" - los eventos elementales son seis: 1, 2, 3, 4, 5, 6. El evento "cae par".

no es un evento elemental ya que se puede expresar mediante los eventos 2, 4, 6.

Espacio de Eventos:

Es la totalidad de eventos elementales de un experimento.

Ejemplo 4.- Al tirar un dado, el espacio de eventos es el conjunto de los seis eventos elementales $s = 1, 2, 3, 4, 5, 6$.

Eventos Elementales igualmente posibles:

Cuando al realizar un experimento aleatorio no existen factores -- que favorezcan la aparición de un evento elemental, se dice que estos son igualmente posibles.

Probabilidad Clásica:

Supóngase que es finito el número de eventos elementales "n" de -- que está compuesto el espacio de eventos asociado a un experimento -- aleatorio y además que todos son igualmente posibles. Si un evento A del espacio de eventos está compuesto por "m" eventos elementales, -- entonces la probabilidad de que el evento A se verifique está definida -- por la relación:

$$P(A) = \frac{m}{n}$$

en donde:

m = número de eventos elementales en A

n = número de eventos elementales en el espacio de eventos.

Los valores entre los cuales varía la probabilidad de que se verifique un evento son:

$$0 \leq P(A) \leq 1$$

Si la probabilidad de un evento es muy cercana a cero se dice que el evento es prácticamente imposible.

Por el contrario, si la probabilidad de un evento es muy próxima a uno se dice que el evento es prácticamente seguro.

La probabilidad de que no se verifique el evento A es : -----
 $P(\bar{A}) = 1 - P(A)$.

Ejemplo 5.- Si se extrae al azar una bola de una urna que contiene 6 bolas rojas, 4 blancas y 5 azules, encontrar la probabilidad de -- que la bola extraída:

a) Sea roja a) $P(R) = \frac{6}{15}$

b) Sea Blanca b) $P(B) = \frac{4}{15}$

c) No sea roja c) $P(\bar{R}) = 1 - \frac{6}{15} = \frac{9}{15}$

Probabilidad Condicional :

Se representa por $P(B/A)$ y se interpreta como la probabilidad de que el evento B se verifique, con la condición de que previamente el -- evento A se haya verificado.

Ley de Adición de Probabilidades:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

en donde :

$P(A \cup B)$ es la probabilidad de que se verifique A y/o B.

$P(A \cap B)$ es la probabilidad de que se verifique A y B.

Si los eventos A y B se excluyen mutuamente: $P(A \cap B) = 0$

entonces :

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

Ejemplo 6.- A partir del ejemplo 5, cual es la probabilidad de que la bola extraída sea roja o blanca.

$$P(R \cup B) = P(R) + P(B) = \frac{2}{5} + \frac{4}{15} = \frac{10}{15} = \frac{2}{3}$$

Ley Condicional de Probabilidades :

$$P(A \cap B) = P(A) P(B/A)$$

Ejemplo 7.- Si de la urna del ejemplo 5 se extraen sucesivamente 2 bolas, ¿cuál es la probabilidad de que una sea roja y la otra blanca? .

$$\begin{aligned} P(R \cap B) &= P(R) P(B/R) \\ &= \left(\frac{2}{5}\right) \left(\frac{4}{14}\right) \end{aligned}$$

Variable Aleatoria (v.a.):

Si x es una variable mediante la cual se pueden representar los resultados de un experimento aleatorio, entonces se dice que " x " es una variable aleatoria.

Ejemplo 8.- Sea el experimento aleatorio tirar dos dados y el resultado que interesa es la suma de los números asociados a las caras que caen hacia arriba, los valores de esos resultados se pueden representar mediante una variable que toma los siguientes valores:

$$x = [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]$$

Tipos de Variable Aleatoria:

a) Discreta.- La v. a. está definida en el intervalo (a, b) y solo toma ciertos valores de ese intervalo.

Ejemplo 9.- Tirar un dado, la v.a. está definida en el intervalo $(1, 6)$ y solo toma los valores 1, 2, 3, 4, 5, 6.

b) Continua.- La v.a. está definida en el intervalo (a, b) y toma cualquier valor comprendido en dicho intervalo.

Ejemplo 10.- Medir la altura de k estudiantes, la v.a. puede tomar cualquier valor entre la altura de la persona más pequeña y la de la más alta.

VARIABLE ALEATORIA DISCRETA (v.a.d.)

Distribución de Probabilidad:

Si x es una v.a.d. con valores $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ y se conoce la probabilidad de que se verifiquen cada uno de ellos $P(x_i)$, con la condición de que $\sum P(x) = 1$, el conjunto de valores $P(x_i)$ recibe el nombre de distribución de probabilidad.

Ejemplo 11.- La distribución de probabilidad de la v.a.d. definida en el problema 8 es:

x	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P(x)	1/36	2/36	3/36	4/36	5/36	6/36	5/36	4/36	3/36	2/36	1/36

Esperanza Matemática:

Cualquier función $h(x)$ de la v.a.d. x es una v.a.d. que puede tomar los valores $h(x_1), h(x_2), \dots, h(x_n)$. La esperanza matemática de $h(x)$ se define como:

$$E [h(x)] = \sum_{i=a}^b h(x_i) P(x_i)$$

Momento respecto al origen:

Se establece cuando $h(x) = x^n$, entonces:

$$E [x^n] = \sum_{i=a}^b x_i^n P(x_i)$$

Si $n = 1$, se obtiene la media de la v.a.d. y se representa por :

$$\mathcal{M}_x = E \quad x = \sum_{i=a}^b x_i P(x_i)$$

Ejemplo 12.- Para el caso de los dados (problema 8) se tiene:

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_x &= 2(1/36) + 3(2/36) + 4(4/36) + 6(5/36) + 7(6/36) + \\ &+ 8(5/36) + 9(4/36) + 11(2/36) + 12(1/36) = 252/36 = 7 \end{aligned}$$

Momento con respecto a la media: se define cuando $h(x) = (x - \mathcal{M}_x)^n$,

entonces:

$$E \left[(x - \mathcal{M}_x)^n \right] = \sum_{i=a}^b (x_i - \mathcal{M}_x)^n P(x_i)$$

Si $n = 2$, se obtiene la variancia de la v.a.d. x y se representa -

por:

$$\sigma_x^2 = E \left[(x - \mathcal{M}_x)^2 \right] = \sum_{i=a}^b (x_i - \mathcal{M}_x)^2 P(x_i)$$

Ejemplo 13.- La variancia de la v.a.d. en el caso del problema -

3 es :

$$\begin{aligned} \sigma_x^2 &= (2-7)^2 (1/36) + (3-7)^2 (2/36) + (4-7)^2 (3/36) + \\ &+ (5-7)^2 (4/36) + (6-7)^2 (5/36) + (7-7)^2 (6/36) + \\ &+ (8-7)^2 (5/36) + (9-7)^2 (4/36) + (10-7)^2 (3/36) + \\ &+ (11-7)^2 (2/36) + (12-7)^2 (1/36) = 35/6 \end{aligned}$$

Desviación Estándar: Se define como la raíz cuadrada de la variancia y se representa por : $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$

Ejemplo 14.- La desviación estándar en el caso del problema 8 es:

$$\sigma = \sqrt{35/6} = 2.42$$

Variable Aleatoria Continua (v.a.c.) :

Densidad de Probabilidad.- Para este caso se define la distribución de probabilidad por medio de una función $f(x)$, llamada densidad de probabilidad, la que debe cumplir con las siguientes restricciones.

$$a) f(x) \geq 0 \forall x$$

b) El área bajo la curva definida por la función $f(x)$ y el eje de las abscisas debe valer uno.

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$$

c) La probabilidad de que la v.a.c. tome un valor en el intervalo (c, d) está dada por :

$$P(c \leq x \leq d) = \int_c^d f(x) dx$$

Distribución de Probabilidad Acumulada:

La d.p.a. $F(x)$ de la v.a.c. x está definida por :

$$F(x) = P(x \leq a) = \int_{-\infty}^a f(x) dx$$

Esperanza Matemática de una v.a.c. :

$$E[h(x)] = \int_{-\infty}^{\infty} h(x) f(x) dx$$

Momento de orden n :

$$E[x^n] = \int_{-\infty}^{\infty} x^n f(x) dx$$

Si $n = 1$, se define la media de la v.a.c. x

$$x = E[x] = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$$

Momento de orden n con respecto a la media:

$$E[(x - \mu_x)^n] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^n f(x) dx$$

Si $n = 2$, se define la variancia de la v.a.c. x

$$E[(x - \mu_x)^2] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^2 f(x) dx$$

DISTRIBUCIONES TEORICAS DE UNA VARIABLE

a) Variables discretas :

1. Distribución Binomial o de Bernoulli.

Supóngase efectuar "n" experimentos independientes tales que el resultado de cada uno de ellos es un éxito o un fracaso; la probabilidad de un éxito es p y la de fracaso es q, siendo $p + q = 1$. En tal caso se dice que se tienen n pruebas de Bernoulli con probabilidad "p" de éxito.

Al realizar un experimento de Bernoulli, la probabilidad de que se presenten x éxitos consecutivos seguidos por (n - x) fracasos es:

$$\underbrace{p \dots p \dots p \dots q \dots q \dots q}_{\substack{x \qquad n-x}} = p^x q^{n-x} \quad (1)$$

La probabilidad de obtener precisamente x éxitos y (n-x) fracasos con otro orden de ocurrencia, está dada también por la expresión(1).

La probabilidad de que se presenten x éxitos y (n-x) fracasos en cualquier orden será la suma de las probabilidades de todas las combinaciones posibles de n elementos de los cuales x son éxitos y (n-x) fracasos.

Lo anterior puede expresarse por :

$$P(x) = nC_x p^x q^{n-x}$$

que recibe el nombre de distribución de Probabilidad Binomial.

La media en esta distribución de probabilidad es:

$$M_x = E [x] = \sum x P(x) = \sum x nC_x p^x q^{n-x} = np$$

$$M_x = np$$

La variancia queda definida por :

$$\begin{aligned}\sigma_x^2 &= E \left[(x - \mu_x)^2 \right] = \sum (x - \mu_x)^2 P(x) \\ &= \sum (x - \mu_x)^2 n C_x p^x q^{n-x} = n p q\end{aligned}$$

$$\sigma_x^2 = n p q$$

2. Distribución de Poisson.

Si la v.a. x designa el número de éxitos de una sucesión de pruebas de Bernoulli y se considera n suficientemente grande y p suficientemente pequeña.

$$n p = \lambda \quad n \geq 50 \quad p \leq 0.10$$

$$f(x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!}$$

expresión que define la d.p. de Poisson.

La media y la variancia son :

$$\mu_x = E [x] = \sum (e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!}) x = \lambda$$

$$\sigma_x^2 = E (x - \mu_x)^2 = \sum_{i=0}^n (x - \lambda)^2 e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!} = \lambda$$

b) Variables Continuas.

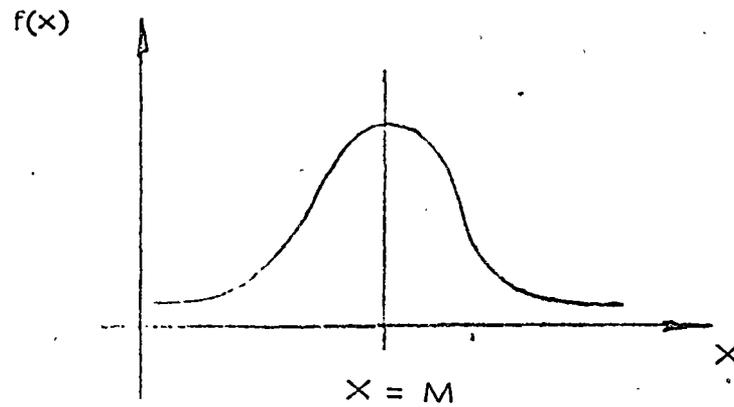
1. Distribución Normal.

Una variable casual que se encuentra frecuentemente en la práctica es una v.a. continua cuya d.p. es la distribución normal.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} s} e^{-\frac{(x-m)^2}{2s^2}}$$

- $-\infty < x < \infty$ rango en el cual se encuentra definida la v.a.

La función anterior tiene la siguiente representación geométrica :



La media de la distribución es $\mu_x = m$

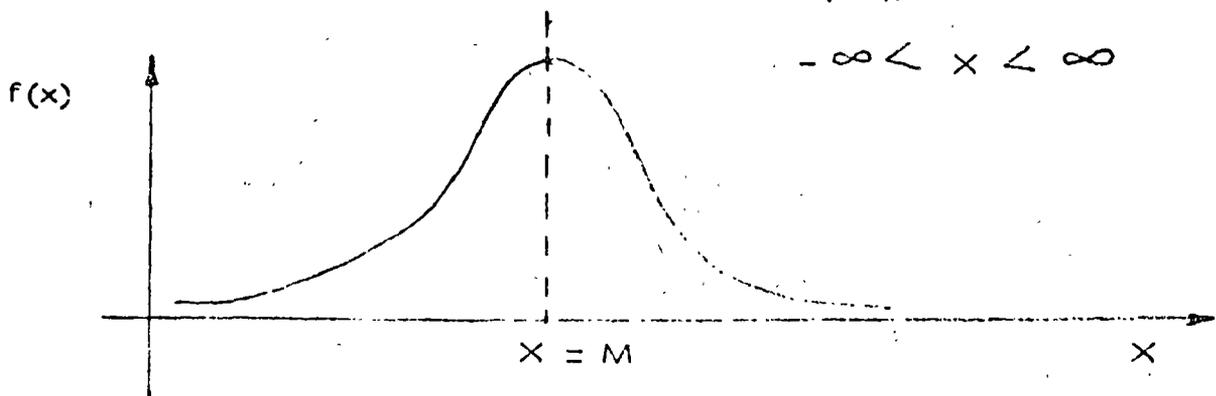
La variancia de la distribución es $\sigma_x^2 = S^2$

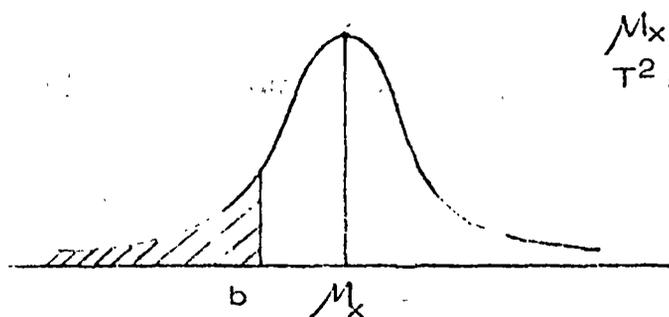
Dadas m y S^2 es posible calcular que x tome valores menores o mayores que un cierto número o bien que quede comprendida entre dos valores, por ejemplo :

DISTRIBUCION NORMAL

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} S} e^{-\frac{(x-m)^2}{2S^2}}$$

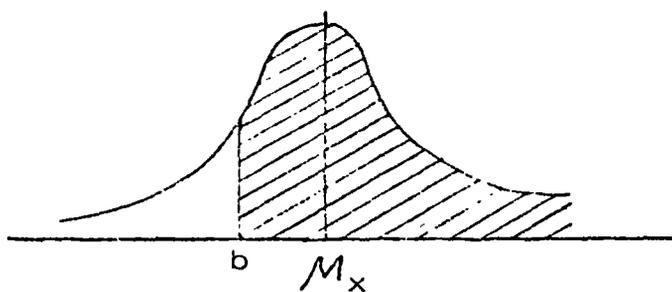
$$-\infty < x < \infty$$



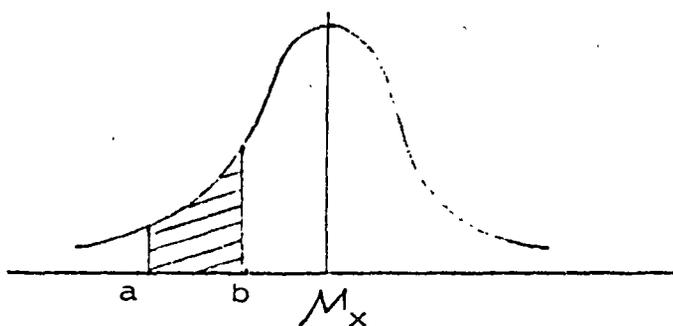


$$\begin{aligned} M_x &= m \\ T^2 &= S^2 \end{aligned}$$

$$P(x < b) = \int_{-\infty}^b f(x) dx$$



$$P(x > b) = \int_b^{\infty} f(x) dx$$



$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx$$

2.- Distribución Gamma y Exponencial.

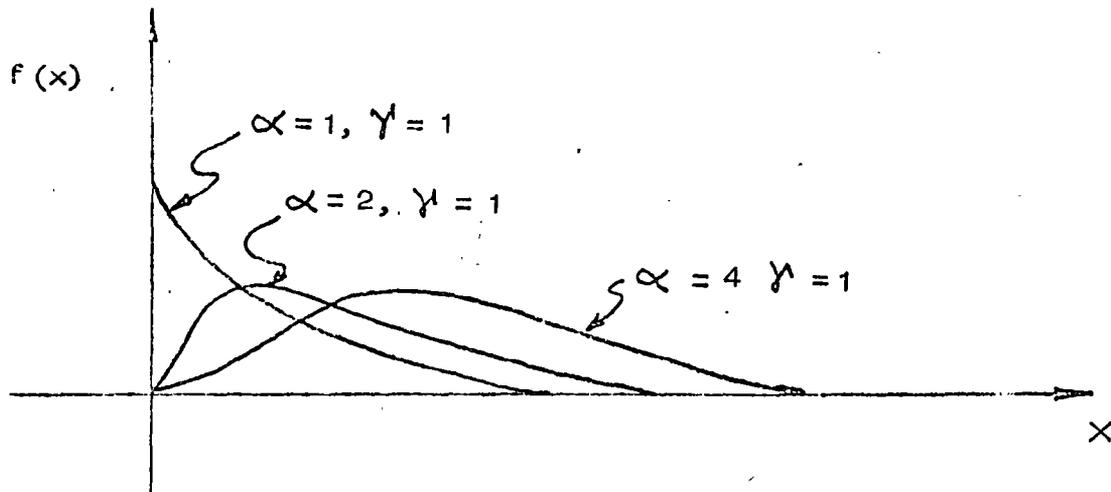
Se dice que la v. a. x. tiene distribución gamma si su d. p. es de la forma :

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha) \gamma^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\gamma}}$$

$$x > 0, \alpha > 0, \gamma > 0$$

$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx$ recibe el nombre de función gamma.

$$\mu_x = \alpha \gamma \quad \sigma_x^2 = \alpha \gamma^2$$



Si $\gamma = 1$ a la función gamma se le llama distribución exponencial.

$$f(x) = \frac{1}{\gamma} e^{-\frac{x}{\gamma}}$$

$$\mu_x = \gamma \quad \sigma_x^2 = \gamma^2$$

NOTA: Sacado del libro Ingeniería de Sistemas de la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción

ANALISIS DE DECISIONES

BAJO RIESGO

por

F. J. JAUFFRED

Howard señala que :

1. EL PROCESO DE TOMAR DECISIONES SE ENCUENTRA EN LA MAYORIA DE LOS PROBLEMAS TECNICOS, GUBERNAMENTALES Y DE NEGOCIOS.
2. USUALMENTE EL TOMAR DECISIONES REQUIERE EL ESTUDIO DEL RIESGO Y DE LA INCERTIDUMBRE.
3. EL RIESGO Y LA INCERTIDUMBRE SE ESTUDIAN FORMALMENTE MEDIANTE LA TEORIA DE LA PROBABILIDAD.
4. LA PROBABILIDAD ES UN ESTADO DE LA MENTE, NO DE LAS COSAS.
5. AL ASIGNAR PROBABILIDADES DEBE TOMARSE EN CUENTA TODA LA EXPERIENCIA ANTERIOR DISPONIBLE.
6. EL TOMAR DECISIONES REQUIERE TANTO LA ASIGNACION DE PROBABILIDADES COMO DE VALORES.
7. SOLO PUEDEN TOMARSE DECISIONES CUANDO SE DISPONE DE UN CRITERIO PARA SELECCIONAR ENTRE ALTERNATIVAS.
8. SIEMPRE DEBEN CONSIDERARSE LAS CONSECUENCIAS AL FUTURO DE LA DECISION TOMADA HOY.
9. AL TOMAR DECISIONES SE DEBE DISTINGUIR ENTRE UNA BUENA DECISION Y UN BUEN RESULTADO.

Una buena decisión es aquella basada en la lógica, en el conocimiento de la incertidumbre de la utilidad y preferencias de los ejecutivos.

Un buen resultado es aquel que reporta beneficios esto es, uno altamente valorado.

Tomando una buena decisión se asegurará un alto porcentaje de buenos resultados.

El Análisis de Decisiones es el procedimiento lógico para la evaluación de los factores que influyen a una decisión.

Proceso del Análisis de Decisiones :

I. Fase Determinista

Es indispensable contestar a las siguientes preguntas :

1. ¿Cuál es la decisión a tomar?
2. ¿Qué cursos de acción se encuentran a nuestro alcance?
3. ¿Cómo vamos a determinar cuáles cursos de acción son buenos y cuáles malos?
4. Suponiendo que tuviera una bola de cristal a su alcance ¿Qué preguntas numéricas haría con objeto de medir los beneficios de un posible resultado?
5. Construya una matriz de pagos.
6. ¿Cómo se compara el beneficio que recibiré en el futuro con el recibido hoy? (valor presente etc....).

Ya que se ha completado la fase determinista, conviene jugar con las variables de estado, llevándolas separadas y conjuntamente a los

valores extremos en su rango de variabilidad. Se observa cual de las alternativas es siempre mejor que cualquier otra. De ocurrir esto se dirá que la primera domina a la segunda; esta primera se elimina.

Con este análisis de sensibilidad se identifican las variables de estado para las que el resultado es sensible y se les llama críticas.

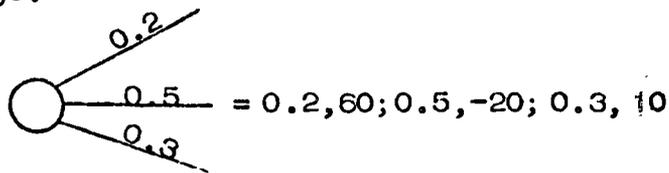
II. Fase Probabilista

1. Esta fase principia asignando probabilidades a las variables -- de estado críticas.
2. Encontrar la incertidumbre en beneficios para cada alternativa implicada por la relación funcional a las variables de estado -- críticas y la distribución de probabilidad en esas variables de estado críticas para la alternativa. A esta distribución de -- probabilidad del beneficio, se le llama la lotería del beneficio para la alternativa.
3. Ahora se considerará la manera de elegir entre dos alternati -- vas con diferente lotería de beneficio. Para ello conviene em -- plear las distribuciones acumuladas de probabilidad buscando -- dominancia estocástica.

III. Fase Posóptica

Aquí se principia encontrando el equivalente en pesos de eliminar la incertidumbre en cada una de las variables de estado, consideradas separadas o conjuntamente. Esto conduce a la siguiente etapa que con -- siste en diseñar el programa más simple para conseguir informac -- ión -- cuando ya se ha encontrado que es conveniente conseguir más informa -- ción.

Una lotería está definida por varias decisiones aleatorias cada una con su probabilidad y su pago.



El equivalente de la certeza para esta lotería es:

$$60 (0.2) + (-20) (0.5) + 10 (0.3) = 12 - 10 + 3 = 5$$

y representa el monto mínimo que se pide por permitir que sea otro el que juegue la lotería.

Fundamentos de la lotería de la Utilidad

Considérense los premios A, B, C, en una lotería.

a) Notación

A preferido a B se representa mediante $A \succ B$

A indiferente a B se representa mediante $A \sim B$

A no preferido a B se representa mediante $B \succsim A$

B preferido a A se representa mediante $A \succ \alpha B$

b) La ley de la transitividad expresa que si $A \succ B$, $B \succ C$ entonces $A \succ C$.

c) La ley de la continuidad expresa que si para una lotería se tiene que $A \succ B \succ C$, entonces

$$B \sim [p, A; (1-p), C] \quad B = \begin{array}{l} \text{---} p \text{---} A \\ \circ \\ \text{---} 1-p \text{---} C \end{array}$$

En particular para algún p si $B \sim B^{\sim}$ (B^{\sim} es el equivalente de la certeza para dicha lotería).

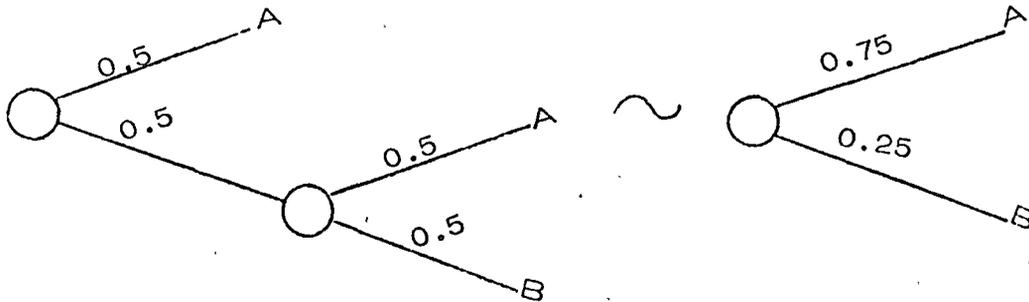
d) La ley de la sustituibilidad expresa que en cualquier lotería B^{\sim} puede ser sustituido por B.

e) La ley de la monotonocidad expresa que si $A \succ B$ entonces

$$[p, A; (1-p), B] > [p', A; (1-p'), B]$$

si y sólo si $p > p'$

f) La ley de descomposición expresa que una lotería compuesta es indiferente a su descomposición en loterías simples :



Se entiende por función utilidad $u(x)$ una con las siguientes características:

1. Dadas tres loterías L_1, L_2, L_3

a) Si $L_1 > L_2$

entonces

$$u(L_1) > u(L_2)$$

b) si $L_3 \sim (1-p), L_1; p, L_2$

entonces

$$u(L_3) = (1-p)u(L_1) + pu(L_2)$$

2. Cualquier transformación lineal de la función $u(x)$ produce igual utilidad de las loterías.

$$\text{Sea } u^1(x) = \alpha + \beta u(x) \quad \beta > 0.$$

a) puesto que

$$u(L_1) > u(L_2) \text{ cuando } L_1 > L_2$$

entonces

$$u^1(L_1) > u^1(L_2) \text{ cuando } L_1 > L_2$$

b) Puesto que

$$u(L_3) = (1-p)u(L_1) + pu(L_2)$$

$$\text{cuando } L_3 \sim [(1-p), L_1; p, L_2]$$

Entonces una posible función utilidad es $u(x) = a + bx$

En efecto, si

$$a) X_1 > X_2$$

$$u(X_1) > u(X_2)$$

$$b) \text{ si } X_3 \sim [p, X_1; (1-p), X_2]$$

entonces

$$u(X_3) = pu(X_1) + (1-p)u(X_2)$$

entonces:

$$a + bX_3 = p(a + bX_1) + (1-p)(a + bX_2)$$

$$X_3 = pX_1 + (1-p)X_2$$

Cumple con las condiciones especificadas y la recta es una función utilidad.

NOTA: Sacado del libro Ingeniería de Sistemas de la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción.

DECISIONES A NIVEL DE OBRA

a) MINIMIZANDO COSTO DIRECTO

Este es un método comúnmente usado en la obra para definir el --
equipo adecuado y en general tomar la decisión de qué procedimiento --
debe usarse en una obra determinada. Tiene la ventaja de su simplici-
dad, pero considera como sistema la actividad específica a analizar y
no considera la relación de las diferentes actividades o subsistemas --
de la obra entre si.

Es costumbre relacionar a posteriori las actividades similares pa-
ra buscar una optimización posterior. Por ejemplo todas las activida-
des que se refieran a compactación.

b) CONSIDERANDO GASTOS INDIRECTOS

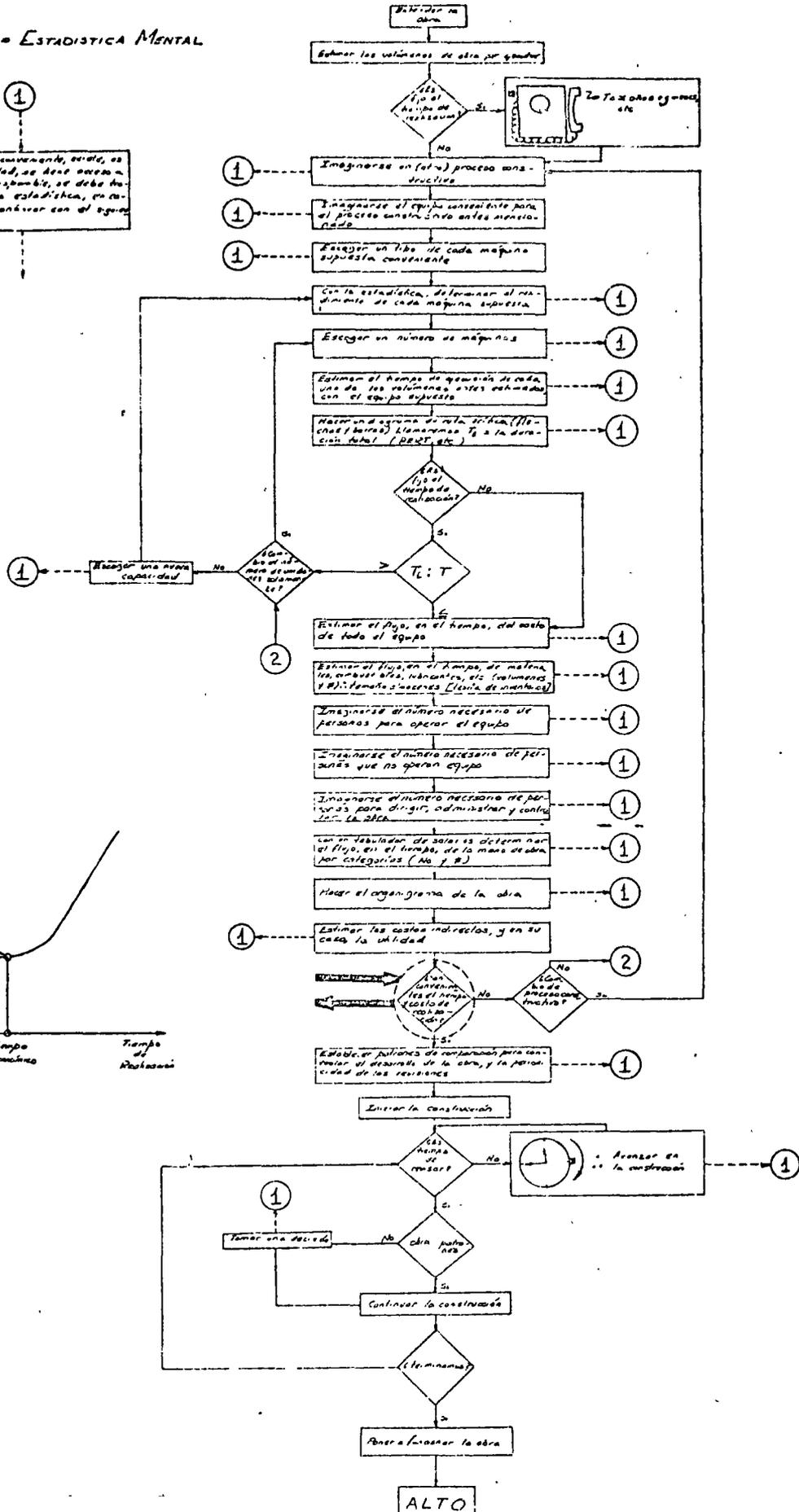
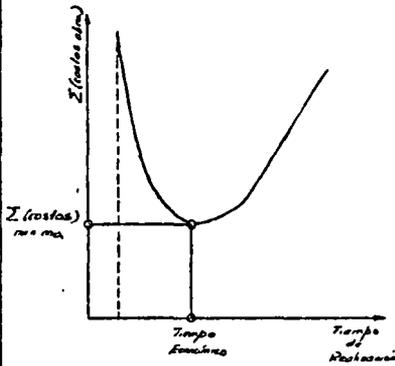
Puede considerarse el sistema obra completo, lo cual es compli-
cado, pero más comúnmente se consideran algunas variables significa-
tivas que tienen que ver con gastos generales y se controlan como ta--
les. Por ejemplo considerar el Costo del Almacén, Costo del Finan--
ciamiento, etc.

c) FLUJO DE INFORMACION

Se adjunta flujo de actividades para evaluar una alternativa, este
flujo es de carácter general y tendrá las modificaciones que el tipo es-
pecial de obra indique. La decisión del tipo de equipo puede hacerse --
repetiendo la evaluación alternativa por alternativa seleccionando la --
más conveniente desde el punto de vista económico. Es común este --
sistema.

EXPERIENCIA = ESTADISTICA MENTAL

①
 Si se mandan sucesivamente, o si, es de buena calidad, se hace caso a ella y esta disponible, se debe tomar de usar la estadística, en caso contrario, convivir con el siguiente paso



DECISIONES A NIVEL GERENCIA

Las decisiones a nivel gerencia se tomarán considerando el sistema-empresa. En este sistema las obras son subsistemas.

Es común que una decisión a nivel gerencia modifique una decisión aparentemente óptima considerando el sistema obra. Esto si no es explicado adecuadamente puede ocasionar problemas serios entre las relaciones ejecutor-gerente; pues aparece como contradictorio el hecho de que se proponga una solución a nivel de obra, que ha sido convenientemente analizada y la decisión sea diferente y en apariencias menos convenientes.

Es difícil aplicar un método cuantitativo que tome en cuenta todas las variables significativas. Sin embargo se consideran algunas que son de especial relevancia, por ejemplo los aspectos financieros.

Como ejemplo de métodos simples para tomar en cuenta el sistema empresa se presenta el caso del análisis del punto de equilibrio. Esto es aplicable a todas las empresas, aunque su aplicación específica a la construcción no ha tenido a mi modo de ver el desarrollo que pudiera esperarse.

ANALISIS DEL PUNTO DE EQUILIBRIO PARA LA PLANEACION Y RESOLUCION DE PROBLEMAS

En los negocios, el punto de equilibrio es el punto donde el volumen de ventas en dinero cubre exactamente los costos. En este punto, la empresa recobra en ingresos todo el dinero que incurrió en la fabricación, promoción y distribución de un producto.

Debido a que la empresa está equilibrando los gastos (costos fijos, variables y semi-variables), con los ingresos procedentes de las ventas, debemos tener dos ecuaciones: (1) la ecuación que relaciona los ingresos con el volumen vendido, y (2) la ecuación que relaciona los gastos con el volumen vendido. Si no tuviéramos ecuaciones algebraicas, sino costos tabulados y datos sobre los ingresos, deberemos usar el método gráfico en vez del método algebraico para determinar el punto de equilibrio.

El punto de equilibrio muestra el punto por debajo del cual una empresa incurrirá en pérdida (gastos mayores que ingresos) y por encima del cual obtendrá una ganancia (ingresos mayores que gastos). Examinando periódicamente el volumen de ventas, una empresa puede controlar sus operaciones, o por lo menos, tendrá un sistema de alarma que le indicará los ingresos mínimos que necesita la empresa para sobrevivir.

Cálculo del punto de equilibrio

Supongamos que existen algunos costos fijos asociados con la fabricación y venta de cierto producto, digamos \$10,000. Supongamos, también, que los costos variables de fabricación y venta son de \$50 -- por cada artículo vendido. Estos \$50 son el costo de los materiales, mano de obra, servicios, etc., que se invierten en convertir el pro -- ducto en artículo para la venta. Si se vendiese el producto en \$70, el análisis de la venta de 100 artículos sería como sigue:

INGRESOS		COSTOS	
100 artículos a		Costos Fijos	= \$ 10.000
\$70 c/u	= \$ 7.000	Costos Variables	
		100 artículos a	
		\$50 c/u	= <u>5.000</u>
Ingresos Totales	<u>\$ 7.000</u>	Costos Totales	\$ 15.000
Ganancia = Ingresos - Costos	= \$7,000 - \$15,000		= \$ 8.000

Por lo tanto, la fabricación y venta de 100 artículos produciría una pérdida de \$8,000. Las unidades fabricadas y vendidas no cubren los gastos fijos.

Si se fabricaran y vendieran 300 artículos, el análisis sería como sigue:

INGRESOS		COSTOS	
300 artículos a		Costos Fijos	= \$ 10,000
\$70 c/u	= \$ 21.000	Costos Variables	
		300 artículos a	
		\$50 c/u	= <u>15.000</u>
Ingresos Totales	<u>\$ 21.000</u>	Costos Totales	\$ 25,000
Ganancia = \$21.000 - \$25.000	= - \$4.000		

Todavía habría una pérdida, pero sería de solamente \$4.000, en vez de \$8.000 como en el caso anterior. Notaremos que las ventas se han triplicado, mientras las pérdidas solamente se han doblado.

Ahora supongamos que se venden 500 artículos :

INGRESOS		COSTOS	
500 artículos a		Costos Fijos	= \$ 10,000
\$70 c/u	= \$ 35,000	Costos Variables	
		500 artículos a	
		\$50 c/u	= <u>25,000</u>
Ingresos Totales	\$ 35,000	Costos Totales	\$ 35,000
Ganancia =	\$ 35,000 - \$ 35,000		= 0

En este caso no hay ni ganancias ni pérdidas. Esta cantidad de -- producción, es decir, 500 artículos, es el punto de equilibrio.

Ahora veremos el problema desde el punto de vista algebraico. -- El objeto es desarrollar una fórmula que pueda utilizarse para calcu-- lar directamente el punto de equilibrio.

Supongámonos que "I" representa los ingresos procedentes de las ventas del artículo; "p" representa el precio de venta por unidad. Por lo tanto, si vendemos "x" unidades, los ingresos por estas ventas po-- drán representarse mediante la ecuación:

$$I = px$$

Si "c_" representara los gastos totales; una parte de "c" serían -- los costos fijos, que estarían representados por "f". Además, habrá un costo por unidad, o digamos "b" dólares por unidad, que representa el costo variable. Entonces, si se fabrican y venden "x" artículos, ha

brá un costo fijo de "f" y un costo variable de "bx". Tendremos la --
ecuación :

$$C = F + bx$$

La solución de la ecuación algebraica se obtiene estableciendo la --
cuación de I igual a la ecuación de C y resolviéndola por "x". Este --
valor nos da una cantidad tal que I es igual a C (la definición del punto
de equilibrio). Se plantea de la siguiente manera:

$$I = C$$

$$px = F + bx$$

$$(p - b)x = F$$

$$x = \frac{F}{(p - b)}$$

La anterior fórmula determinará el punto de equilibrio. Tomando
las cifras del ejemplo anterior, tendremos:

$$F = \$10,000; p = \$70; b = \$50$$

$$x = \frac{F}{(p - b)} = \frac{\$10,000}{(\$70 - \$50)} = \frac{\$10,000}{\$20} = 500 \text{ artículos anuales}$$

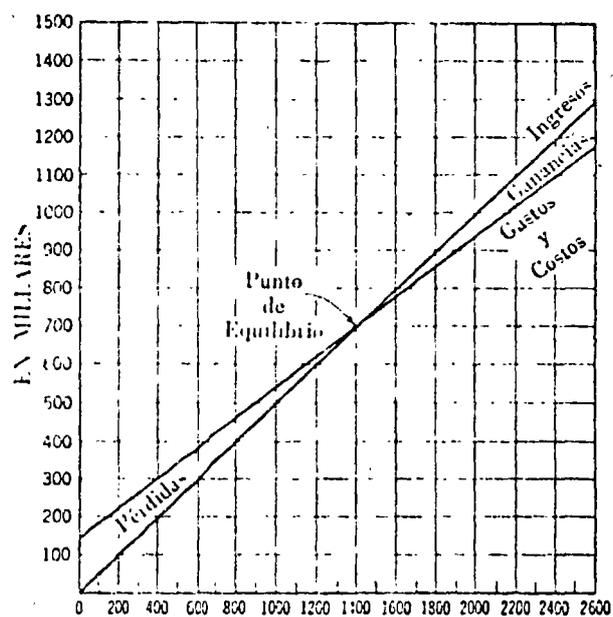
Ahora veremos un problema con el tipo de información que nor --
malmente pone a nuestra disposición el departamento de contabilidad.

Costos Fijos

Gastos de fabricación	= \$105.000 anuales
Gastos de Ventas y Demás	= <u>35.000</u> anuales
Total de Costos Fijos (valor de F)	\$140.000

Costos Variables

Materiales y Mano de Obra	\$240,000 por unidad
Gastos de Fabricación	60,000 por unidad
Gastos de Venta y Administración	<u>100,000 por unidad</u>
Total de Gastos Variables	\$400,000 por unidad



CANTIDAD PRODUCIDA EN UNIDADES

FIGURA 1

Precio de Venta de Cada Artículo (valor de "p") = \$500,00 por unidad

Capacidad de Producción de la Planta = 2.000 unidades anuales

$$\begin{aligned} \text{Punto de Equilibrio} &= \frac{F}{(p - b)} = \frac{\$140.000}{\$500 - \$400} \\ &= 1.400 \text{ unidades anuales} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Punto de Equilibrio} &1,400 \\ \text{(como \% de capacidad de la planta)} &= \frac{1,400}{2,000} \\ &= 0,70, \text{ o sea } 70\% \end{aligned}$$

La representación gráfica se muestra en la Figura 1.

Como utilizar la fórmula del punto de equilibrio

La fórmula del punto de equilibrio puede usarse para probar las reacciones del sistema debido a cambios en el precio de venta, costos fijos, u otros elementos que cambiarían cualquier valor de la fórmula. Consideraremos varios cambios en los elementos "F", "p" y "b" y la influencia subsecuente en "x", el punto de equilibrio. La dirección de la empresa puede utilizar estos resultados para comparar la posición actual, con la que resultaría si se tomaran ciertas medidas. Aumentaremos y disminuirémos estos elementos en cierto porcentaje y desarrollaremos nuevas fórmulas para "x". Indicaremos el porcentaje de incremento por "I" y el porcentaje de disminución por "D", ambos expresados en forma decimal.

Cambios del "F" (Costos Fijos)

1. Auméntese "F" por "I" por ciento:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Nuevo} \\ \text{Punto de} \\ \text{Equilibrio} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Antiguo} \\ \text{Punto de} \\ \text{Equilibrio} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} 1 \\ + \\ 1 \end{array} \right]$$

2. Disminúyase "F" por "D" por ciento :

$$\left[\begin{array}{c} \text{Nuevo} \\ \text{Punto de} \\ \text{Equilibrio} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Antiguo} \\ \text{Punto de} \\ \text{Equilibrio} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} 1 - D \end{array} \right]$$

Cambios en "p" (Precio de venta)

1. Auméntese "p" por "I" por ciento :

$$\left[\begin{array}{c} \text{Nuevo} \\ \text{Punto de} \\ \text{Equilibrio} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Antiguo} \\ \text{Punto de} \\ \text{Equilibrio} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} 1 \\ \hline I_p \\ 1 + \frac{\quad}{p-b} \end{array} \right]$$

2. Disminúyase "p" por "D" por ciento :

$$\left[\begin{array}{c} \text{Nuevo} \\ \text{Punto de} \\ \text{Equilibrio} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Antiguo} \\ \text{Punto de} \\ \text{Equilibrio} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} 1 \\ \hline D_p \\ 1 - \frac{\quad}{p-b} \end{array} \right]$$

Cambios en "b" (gastos variables)

1. Auméntese "b" por "I" por ciento :

$$\left[\begin{array}{c} \text{Nuevo} \\ \text{Punto de} \\ \text{Equilibrio} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Antiguo} \\ \text{Punto de} \\ \text{Equilibrio} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} I \\ \hline I_b \\ 1 - \frac{\quad}{p-b} \end{array} \right]$$

2. Disminúyase "b" por "D" por ciento :

$$\left[\begin{array}{c} \text{Nuevo} \\ \text{Punto de} \\ \text{Equilibrio} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Antiguo} \\ \text{Punto de} \\ \text{Equilibrio} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} 1 \\ \hline D_b \\ 1 + \frac{\quad}{p-b} \end{array} \right]$$

Por lo tanto, si quisiéramos determinar el nuevo punto de equilibrio que podría ocasionar un cambio en "F", "p" o "b", únicamente tendríamos que usar la fórmula correspondiente. Las cantidades que-

se utilizan para multiplicar el antiguo punto de equilibrio en estas fórmulas nos dan idea de la elasticidad, o la sensibilidad, de las variables del punto de equilibrio. Estas cantidades le sirven a la dirección para tomar decisiones, tales como: "¿Debiéramos aumentar los precios en un 10%?"

La siguiente tabla resume el rumbo que tomaría el punto de equilibrio al producirse cambios en las variables "F", "p" y "b". Los nuevos valores auténticos se determinan mediante las fórmulas descritas.

TABLA 1
CAMBIOS DE DIRECCION DEL PUNTO DE EQUILIBRIO
DEBIDO A LAS VARIABLES F, p y b

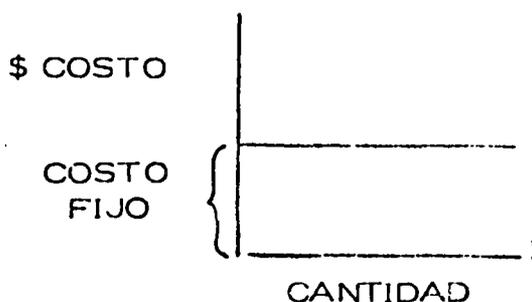
Elementos en la Fórmula que deben Aumentarse o Disminuirse (uno cada vez)			El Resultado del -- Cambio en el Punto de Equilibrio
Costos Fijos F	Precio de Venta p	Costo Variable b	
Aumentos	_____	_____	aumentos
Disminuciones	_____	_____	disminuciones
_____	aumentos	_____	disminuciones
_____	disminuciones	_____	aumentos
_____	_____	aumentos	disminuciones
_____	_____	disminuciones	aumentos

Clases de costos

En esta parte clasificaremos las clases de costos que normalmente se presentan en el análisis del punto de equilibrio: costos fijos, costos variables y costos semi-variables.

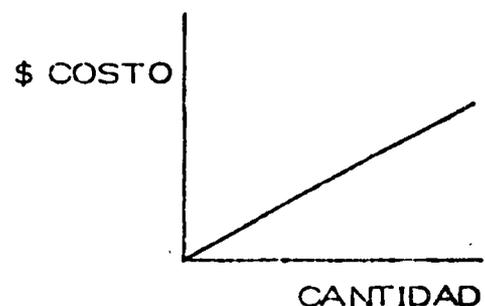
Los costos fijos son los que no varían con la producción de distintas cantidades. Algunos ejemplos son: renta, seguro y determinados costos de instalaciones industriales. La representación gráfica de esta clase de costo se muestra en la figura 2.

Los costos variables son los que aumentan o disminuyen en proporción constante con la cantidad de artículos producidos. Por ejemplo, si 10 artículos cuestan \$1.000 y 20 artículos cuestan \$2.000, 30 artículos costarán \$3.000, debido a que los costos aumentan en proporción constante de \$100 por artículo. La representación gráfica de esta clase de costo se muestra en la figura 3.



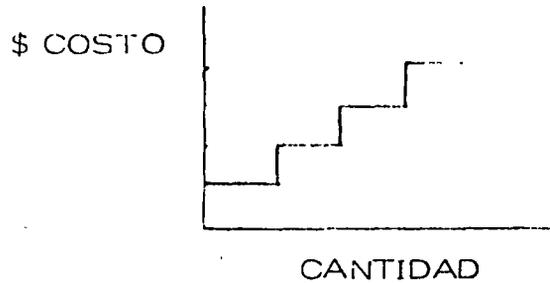
COSTO FIJO

FIGURA 2



COSTO VARIABLE

FIGURA 3



COSTO SEMI-VARIABLE

FIGURA 4

Los costos semi-variables son los que permanecen fijos hasta que se alcanza cierta cantidad y luego saltan a un nivel mayor. En este nivel mayor permanecen fijos hasta que se alcanza una segunda cantidad, en donde vuelve a saltar. Un ejemplo de un costo semi-variable puede encontrarse en el manejo de pedidos. El número de pedidos que puede manejar el personal llega a cierta cantidad máxima, por ejemplo, 10.000 pedidos diarios. Entonces, para cualquier cantidad inferior a 10.000 hay un costo fijo de personal. Si los pedidos sobrepasan de 10.000 diarios, la empresa necesitaría más personal. Esto produciría un aumento en el costo. El nuevo personal podría manejar hasta 15.000 pedidos diarios, pero al sobrepasarse ese número de pedidos, el costo aumentaría nuevamente, ya que se necesitarían más empleados. La representación gráfica de un costo semi-variable se muestra en la figura 4.

Normalmente, el primer paso para determinar el punto de equilibrio es el enfoque gráfico cuando se trata de estos costos — especialmente varios costos semi-variables. Una vez que se determinen, utilizando el gráfico, los valores fijos de los costos semi-variables, po-

dremos utilizar las fórmulas que tratan estos costos semi-variables - como fijos. Todo lo que tenemos que hacer es dibujar un gráfico de to dos los gastos y costos que cubren los ingresos procedentes de las ven tas. Luego, los sumamos, uno por uno, para que nos dé el gráfico de los gastos totales. Después superponemos un gráfico de la ecuación de ingresos (o colocamos datos si estamos utilizando datos tabulados), y la intersección de estos dos gráficos representa el punto de equilibrio.

A menudo, el gráfico de ingresos no está realmente representado por una línea recta. Los precios por artículo pueden ser más altos -- cuando la cantidad vendida es pequeña. Este caso se presenta, por -- ejemplo, cuando la empresa ofrece una escala de descuentos, en pro -- porción a la magnitud de la compra. En este caso, la "p" no será cons tante y el gráfico puede resultar curvilíneo o puede estar compuesto -- de diferentes fases de producción, cada una con su precio. La repre -- sentación gráfica se muestra en la figura 5.

En este gráfico de precios usamos un elemento de precio distinto -- a medida que vamos sobrepasando ciertos volúmenes. Hacemos esto -- para determinar el gráfico de ingresos, que se muestra en la figura 8. Este gráfico de ingresos es el que se utiliza en el análisis del punto -- de equilibrio.

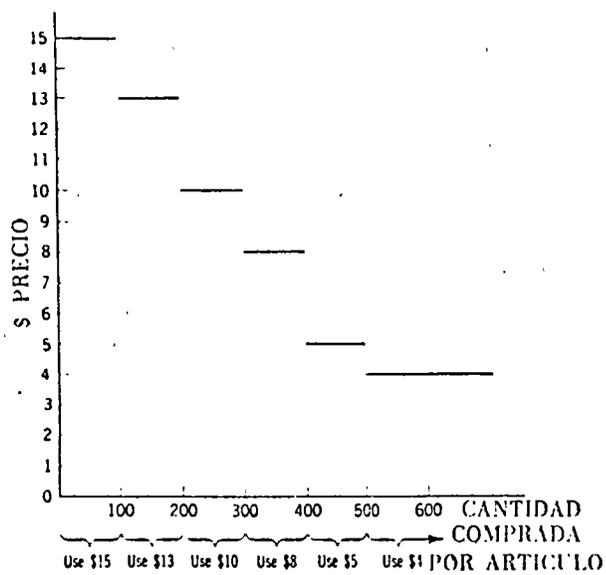


GRAFICO DE PRECIO VARIABLE
FIGURA 5

INGRESOS
DE
CIENTOS
DE PESOS

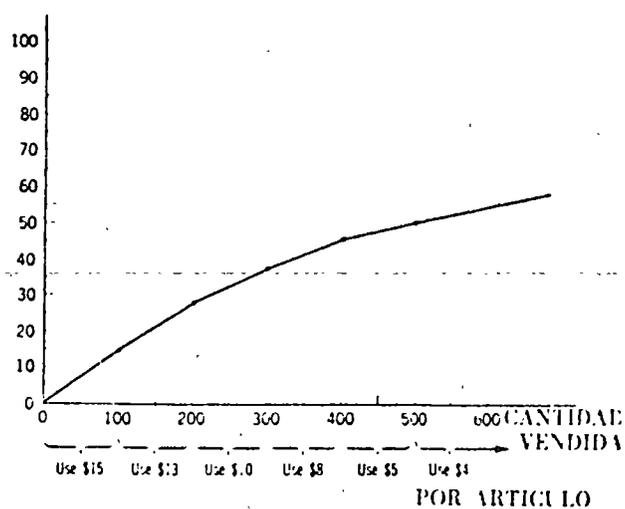


GRAFICO DE INGRESOS POR PRECIO VARIABLE
FIGURA 6

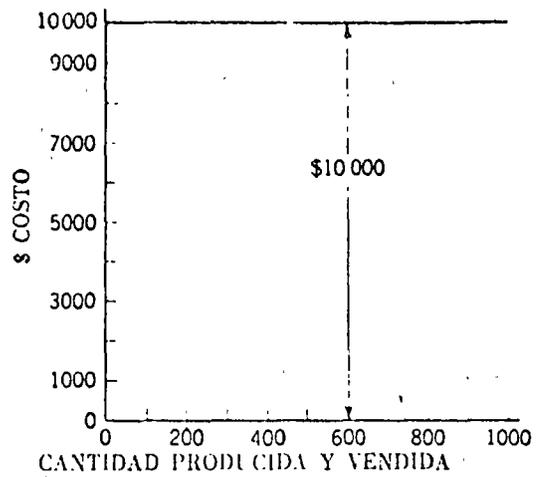
Cuando hay muchas clases distintas de costos y el gráfico de precios es complicado, el enfoque del gráfico quizá sea lo mejor que podemos esperar.

Ejemplo: Supongamos que tenemos tres clases de costos y gastos asociados a la fabricación de cierto producto (A). No se mencionan por nombre o clasificación, pero se muestran en la tabla 2.

Estos costos se muestran separadamente en las figuras 7, 8 y 9 y el total se muestra en la figura 10. Nótese las características de las tres clases de costos: los costos fijos permanecen fijos en \$10.000 anuales; los costos variables aumentan en proporción constante en \$10 por artículo; los costos semi-variables permanecen fijos durante una fase de la producción y luego saltan a un nivel mayor (aumentan en \$1.000 después que se producen 200 artículos más).

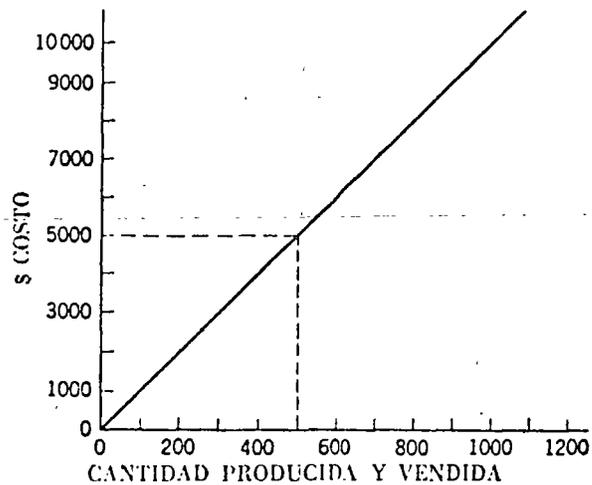
Las escalas de precios que se ofrecen a los compradores del producto A se muestran en la tabla 3, junto con los ingresos que se consiguen de los distintos volúmenes y precios.

En la figura 11 se ha colocado el total de los gastos de la tabla 2 y los ingresos de la tabla 3. La intersección de ambas líneas indica que 500 artículos marcan el punto de equilibrio.

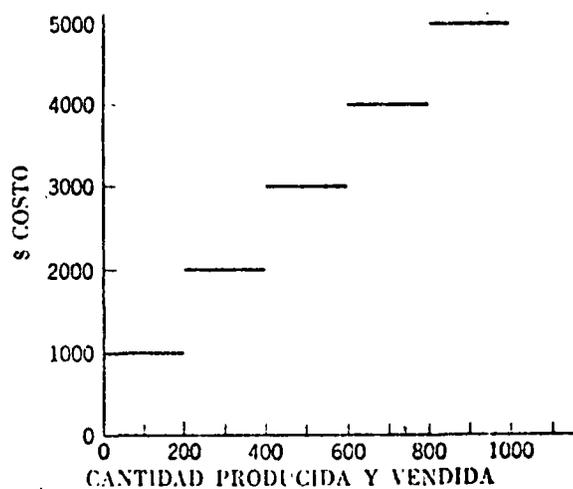


COSTO FIJO DEL PRODUCTO A
FIGURA 7

COSTO FIJO DEL PRODUCTO A
FIGURA 7

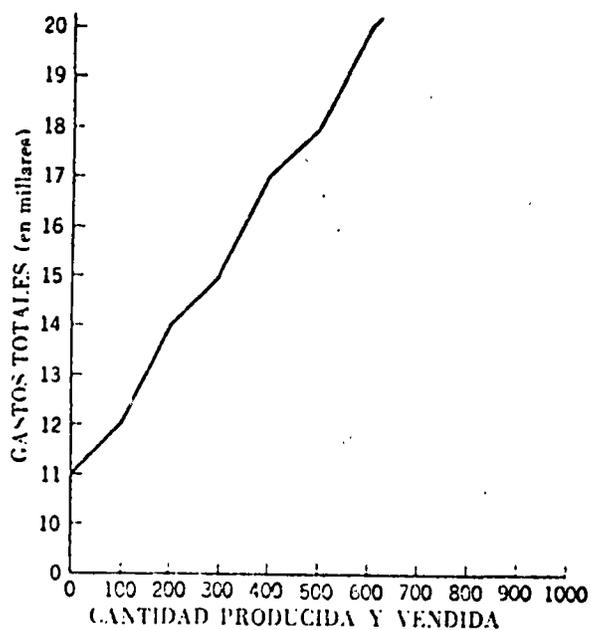


COSTO VARIABLE DEL PRODUCTO A
FIGURA 8



COSTOS SEMI-VARIABLES DEL PRODUCTO A

FIGURA 9



COSTOS TOTALES DEL PRODUCTO A

FIGURA 10

TABLA 2

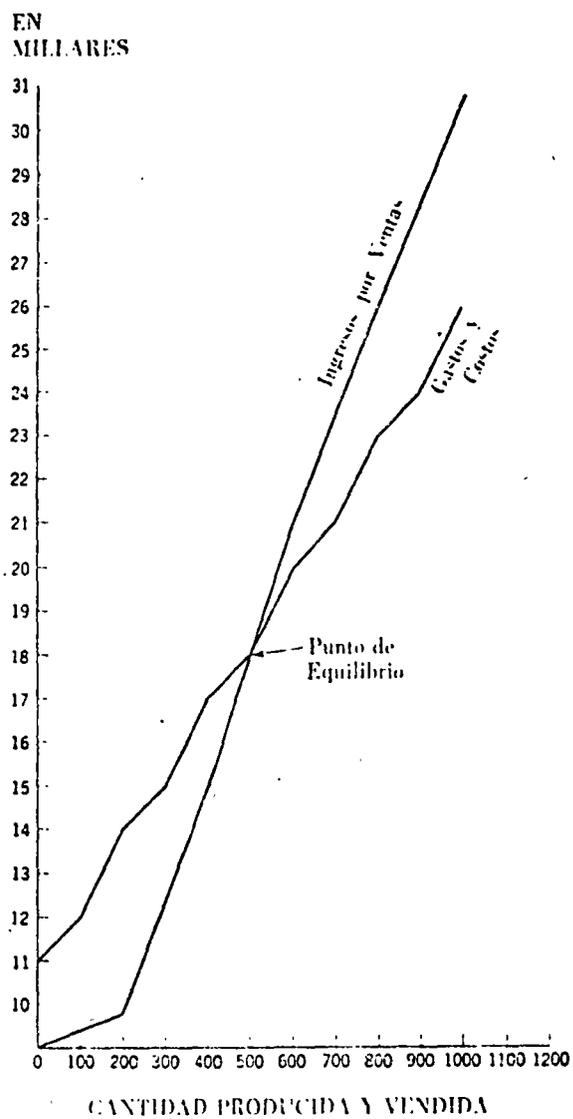
COSTOS Y GASTOS DEL PRODUCTO A

Cantidad Producida (en artículos)	Costos Fijos (\$/anual)	Costos Variables (a razón de \$10 por artículo)	Costos Semi-Variables (aumento de \$1000 por cada 200 artículos)	Total de Gastos
0	\$10.000	0	\$1.000	\$11.000
100	10.000	\$ 1.000	1.000	12.000
200	10.000	2.000	2.000	14.000
300	10.000	3.000	2.000	15.000
400	10.000	4.000	3.000	17.000
500	10.000	5.000	3.000	18.000
600	10.000	6.000	4.000	20.000
700	10.000	7.000	4.000	21.000
800	10.000	8.000	5.000	23.000
900	10.000	9.000	5.000	24.000
1000	10.000	10.000	6.000	26.000

TABLA 3

ESCALA DE PRECIOS E INGRESOS TOTALES DEL PRODUCTO A

Número de Artículos Adquiridos	Costo por Artículo	Cantidad Total Vendida	Ingresos por Ventas	Total de Ingresos
Los primeros 200 artículos	\$40	200	\$8.000	\$ 8.000
Los próximos 200 artículos	\$35	400	\$7.000	\$15.000
Los próximos 200 artículos	\$30	600	\$6.000	\$21.000
Los próximos 200 artículos	\$25	800	\$5.000	\$26.000
Los próximos 200 artículos	\$24	1000	\$4.800	\$30.800
Los 1000 artículos de arriba	\$20	1200	\$4.000	\$34.800



PUNTO DE EQUILIBRIO

FIGURA 11

Utilización del punto de equilibrio para la toma de decisiones

Los principios del punto de equilibrio pueden aplicarse a la solución de problemas distintos de los relacionados con cantidad-ganancia que normalmente tienen relación con este método.

Considere una compañía que está tratando de determinar si debe remunerar a sus vendedores a base de una comisión únicamente o a base de un salario más una comisión. Bajo el primer plan, se le pagaría a un vendedor 10% de comisión sobre las ventas; bajo el segundo, se le pagaría \$2.000 anuales más el 5% de comisión sobre las ventas. La gerencia de la empresa estaría interesada en saber en qué nivel de ventas los dos métodos costarían a la empresa lo mismo. También, cuándo un plan sería más costoso que el otro.

Estos dos planes de remuneración pueden tomar la forma de dos ecuaciones. Si "x" representase los \$ de ventas de un vendedor "y" la remuneración pagada al vendedor, la ecuación se presentaría como sigue:

Plan de Comisión

Únicamente : $y = (0,1)x$

Plan de Salario

más Comisión: $y = \$2.000 + (0,05)x$

Se determina el punto de equilibrio haciendo estas ecuaciones iguales y resolviéndolas por "x" :

$$\begin{aligned} & (0,1)x = \$2.000 + (0,05)x \\ \text{ó: } & (0,1 - 0,05)x = \$2.000 \end{aligned}$$

$$\text{ó: } (0,05)x = \$2.000$$

$$\text{entonces: } x = \frac{\$2.000}{(0,05)} = \$40.000 \text{ ventas}$$

Por lo tanto, con ventas de \$40.000 ambos planes proveerán ---- \$4.000 o sea el mismo ingreso al vendedor. Después de \$ 40.000, el plan de comisión únicamente le costará más a la empresa que el plan de salario más comisión. Con ventas menores de \$40.000 el plan de comisión costará menos. Consecuentemente, la gerencia de la empresa estará en situación de poder calcular el nivel del promedio de ventas de cada vendedor para determinar el plan que resultará más económico.

Se ha incluido este ejemplo para ilustrar otro uso del punto de equilibrio. Hay muchos otros usos. La idea básica es la solución de dos ecuaciones simultáneas, cada una de ellas conteniendo la misma variable desconocida. La decisión de si se debe utilizar la fórmula algebraica o gráfica depende de los datos de costo de que se dispongan. Se pueden encontrar otras aplicaciones en áreas tales como decidir la ubicación de una nueva planta, añadir o reducir productos de la línea de productos, decidir compras y ventas, invertir y valorar inversiones de capital, etc.

¿ Qué hay que planear?

1) Programas

De Obra.
De Recursos.
De egresos.
De ingresos.

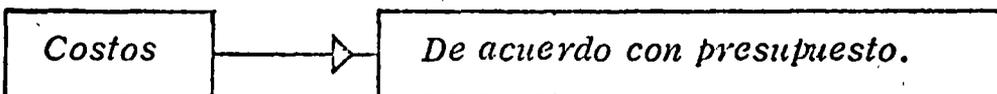
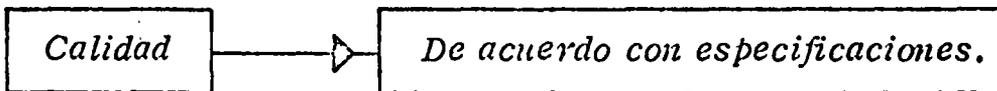
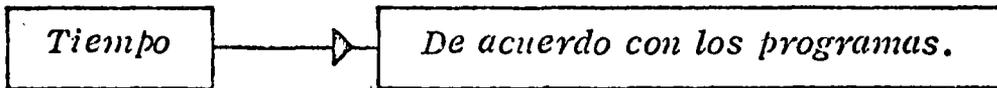
2) Costos

De recursos.
De conceptos de obra.
Indirectos.

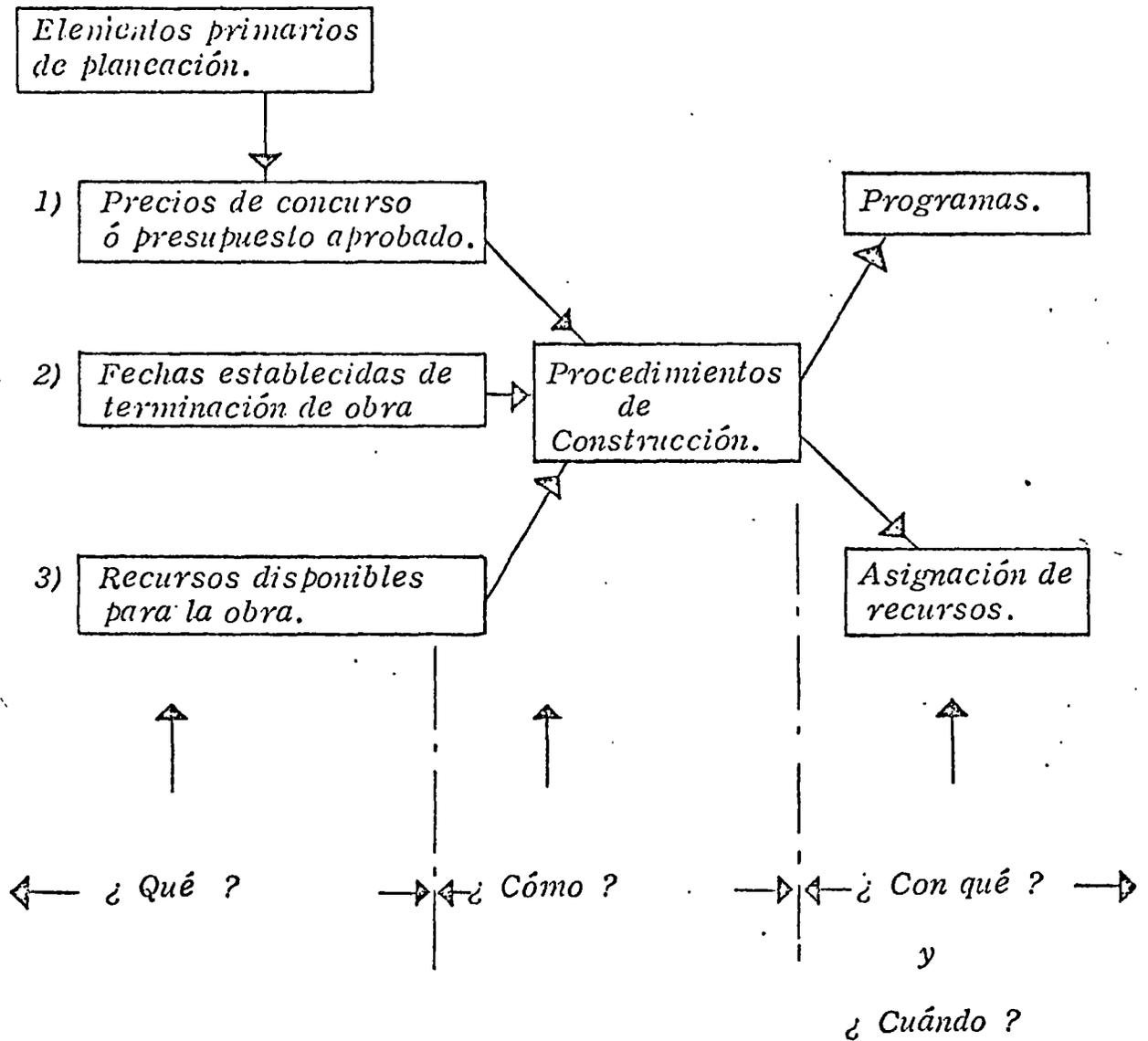
3) Especificaciones

De materiales.
De resultados.
De medición.

¿ Qué hay que controlar ?

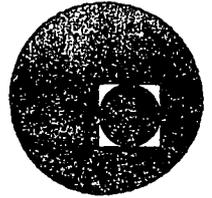


¿ Cómo planear ?





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

BASES Y SUB-BASES

ING. ALFREDO GUERRA GUAJARDO

JUNIO, 1978.

SUBBASES Y BASES

Definimos como subbase y base a las capas sucesivas de material seleccionado que se construyen sobre la subrasante, cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas de manera que no se produzcan deformaciones perjudiciales en éstas.

Nuestro objetivo será señalar el procedimiento de construcción más apropiado en nuestro país, para la elaboración, transportación, tendido, afinamiento y compactación de subbases y bases.

Desde el punto de vista de procedimientos de construcción es indistinto referirse a la subbase o a la base, pues los procedimientos para construir una y otra, en sus diferentes fases, son los mismos.

En México las subbases y bases se construyen, en general, con un material seleccionado mezclado con: cementante natural y agua, cemento y agua, cal y agua, emulsión asfáltica, o asfalto fluxado. Las más usuales son las construidas con un material seleccionado mezclado con cementante natural y agua, y aquéllas en las que el material seleccionado se mezcla con emulsión asfáltica.

Algunas veces, los pavimentos se diseñan con una capa de concreto asfáltico elaborada en planta estacionaria, a la que se llama base por construirse a todo el ancho de la corona y por no usarse como superficie de rodamiento. No nos referiremos a este caso especial porque se tratará en el tema correspondiente a carpetas asfálticas elaboradas en planta estacionaria.

Obtención y tratamiento de los ingredientes pétreos.

En nuestro país, los materiales pétreos para subbase y base se obtienen: en forma natural, por disgregado, por cribado, o por trituración y cribado. Los procesos para la obtención y el tratamiento de los ingredientes pétreos deben haber quedado incluidos en el tema correspondiente a material pétreo; sin embargo, sólo deseo insistir —estoy seguro que al tratar este tema se analizó ampliamente—, en el hecho de que el equipo de trituración, que en México, en la mayoría de los casos es el más conveniente, consta de conos y no de rodillos, como anteriormente se venía usando en forma casi generalizada en el país.

Elaboración de subbase y base

No obstante que el método más apropiado para mezclar subbase y base es utilizando plantas mezcladoras, en México este mezclado todavía se hace, en la mayoría de los casos, por medio de motoconformadora.

Todos los tipos de subbase y base, exceptuando el que se construye con un material seleccionado mezclado con asfalto fluxado, es muy conveniente procesarlos en plantas mezcladoras de subbase y base.

Estas plantas mezcladoras son del tipo volumétrico y constan de lo siguiente: alimentador(es), desgrumador de cementante, unidad mezcladora de una o dos flechas, bomba de agua de gasto variable y/o bomba de emulsión asfáltica también de gasto variable.

La decisión más importante, después de haber determinado la capacidad de la planta mezcladora por adquirir, es la selección del tipo de alimentador(es). Exceptuando la alimentación de cemento y cal, que siempre debe hacerse con tornillos sinfín, en una planta mezcladora se puede considerar la utilización de cualquiera de los tres tipos de alimentador que se mencionan a continuación:

- 1.- Alimentador de banda de velocidad variable (el más exacto de los tres), utilizado para alimentar materiales finos o muy finos en volumen de regular cuantía. El flujo de material se regula por medio de ajuste de la compuerta de entrada y/o por medio de la velocidad de la banda.
- 2.- Alimentador de mandil (el de más alto costo de los tres), utilizable donde se requiera soportar cargas por impacto y donde sea necesario alimentar materiales gruesos y abrasivos en volumen de gran cuantía. El flujo de material se regula por medio de ajuste de la compuerta de entrada.
- 3.- Alimentador de plato reciprocante (el de más bajo costo de los tres), utilizable para alimentar materiales húmedos de todos tamaños en volúmenes que pueden ser de gran cuantía. El flujo se regula por medio de ajuste de la compuerta de entrada y/o por medio de la mayor o menor longitud del brazo del excéntrico y/o por medio de la velocidad.

Podría ser que para un mismo caso cupiera la posibilidad de escoger más de un tipo de alimentador.

La construcción de subbase y base con planta mezcladora, tiene las siguientes ventajas sobre el procedimiento de mezclado por medio de motoconformadora:

- 1.- Proporcionamiento volumétrico exacto.
- 2.- Homogeneidad de la mezcla.
- 3.- Ahorro, cuidando de no incurrir en acarreo hacia atrás.
- 4.- Menor interrupción al tránsito.
- 5.- Mejor utilización del equipo de compactación.
- 6.- Menos perjuicios por causa de lluvia.
- 7.- Mejor control general de la obra.

A continuación se hace un estudio comparativo de los elementos de costo que varían, utilizando, por un lado, motoconformadora para mezclar y, por otro, planta mezcladora.

A) Motoconformadora.

1.- Revoltura

motoconformadora 12; \$ 376.51/hr
producción 54m³/hr

$$\frac{\$ 376.51/\text{hr}}{54\text{m}^3/\text{hr}} = \$ 6.97/\text{m}^3$$

2.- Agua

Extracción y acarreo del agua \$ 15.00/m³
\$ 15.00/m³ agua x 200 lt. agua/m³ = \$ 3.00/m³

$$\begin{array}{r} 1.- \$ 6.97/\text{m}^3 \\ 2.- \underline{3.00} \\ \hline \$ 9.97/\text{m}^3 \quad (1) \end{array}$$

B) Planta mezcladora de subbase y base.

1.- Elaboración de la mezcla en planta

tractor D7, 7U, 7	\$ 550.13/hr
Bomba de agua	
planta mezcladora de subbase y base	570.63
alimentador de banda de 24"	25.77
disgregador de grumos	14.52
planta de luz de 75KW	75.14
bomba de agua de 4"	110.06
pipa de agua de 8000 lt	<u>177.48</u>
	\$ 1,523.73/hr

producción 200 m³ sueltos/hr

$$\frac{\$ 1,523.73/\text{hr} \times 1.35}{200 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$ 10.29/\text{m}^3$$

2.- Agua para compactación que se incorpora en el camino.

Extracción y acarreo del agua \$ 15.00/m³ agua.
\$ 15.00/m³ agua x 50 lt/m³ = \$ 0.75/m³

1.-	\$	10.29/m ³	
2.-		<u>0.75</u>	
	\$	11.04/m ³	(2)

Este aparente encarecimiento del:

$$\frac{(2) \$ 11.04/m^3 - (1) \$ 9.97/m^3}{(1) \$ 9.97/m^3} = 11 \%$$

que se obtiene usando el procedimiento de mezclado en planta contra el de mezclado con motoconformadora, es absorbido con margen, por los ahorros que se obtienen como consecuencia de las ventajas 5, 6 y 7 antes señaladas. Para que realmente exista un ahorro global es indispensable que la producción se organice en forma rutinaria y masiva.

Transportación

Una vez elaborada la mezcla en planta, los camiones de volteo son cargados por gravedad mediante la apertura de las compuertas de la tolva de descarga.

Pensando en acarreo no mayores de 20 Km. es usual que, para un trabajo de pavimentación en el que la subbase y la base se produzcan en planta mezcladora de 540 Ton/hr de capacidad y la carpeta asfáltica en planta de 3000 lb/pesada de capacidad, se requieran hasta 300 camiones de volteo. Sería absurdo adquirir camiones de volteo para satisfacer las demandas que se requieren en trabajos organizados a base de plantas, la inversión sería altísima y el control de los camiones prácticamente imposible. Si por alguna circunstancia no se contara con el número necesario de camiones, el trabajo se encarecería extraordinariamente.

Para agilizar el pago de los camiones, evitar errores y tener mejor control, es recomendable calcular los fletes por medio de computadora y utilizar, en lo posible, básculas de piso.

Tendido y afinado

El tendido y afinado de la subbase y base puede hacerse usando cualquiera de los siguientes procedimientos:

- 1.- Por el método tradicional utilizando motoconformadora estándar. Este es el procedimiento más barato y más inexacto, y cuando se aplica, el perfil, las secciones, los espesores y el acabado de la subbase y/o la base no cumplen con lo estipulado en los incisos 51-04.7 y 53.04.15 de las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Obras Públicas.

2. - Por medio de una extendidora de carpeta asfáltica (finisher) equipada con control electrónico y dotada de un área de acabado suficiente para extender espesores hasta de 25 cm. Este procedimiento es muy recomendable para subbases y bases estabilizadas con cemento, con cal, o con emulsión asfáltica. Es un sistema muy práctico para extender subbase y base en caminos en operación y con fuerte tránsito.

Sin embargo, el gran desgaste de la extendidora, cuando no se maneja un producto asfáltico, hace que este procedimiento resulte caro, no obstante que elimina la eventualidad de camellones saturados por lluvias imprevistas y que hace trabajar muy eficientemente al equipo de compactación.

3. - Por medio de una máquina afinadora extendidora del tipo CMI equipada con sistema de control electrónico. La presencia de tránsito, el ancho de la corona, los alineamientos vertical y horizontal y, su alto costo hacen que la aplicación de esta máquina, en las carreteras de nuestro país, sea un tanto difícil. La ausencia de tránsito y las características geométricas de los aeropuertos permiten, en ellos, la aplicación exitosa de esta máquina.

Compactación

El costo de compactación representa una muy pequeña parte del costo total de la obra. A cambio de esto, la compactación tiene una decisiva influencia en la calidad y tiempo de vida de la obra. Una compactación eficiente incrementa sustancialmente el valor soporte y la estabilidad del material, mejora la impermeabilidad en la mayoría de los casos y prácticamente elimina los asentamientos. Así, la compactación hace al suelo capaz de soportar las cargas de los vehículos y reduce sustancialmente los costos de mantenimiento.

La compactación de subbase y base ha tenido una evolución muy importante con la introducción de compactadores vibratorios autopropulsados.

Actualmente, para compactar la producción de una planta mezcladora de subbase y base de 540 Ton/hr de capacidad, se requiere de un compactador vibratorio autopropulsado de 9 Ton. de peso estático compuesto de un solo rodillo y, de un compactador neumático autopropulsado de 11 Ton. con llantas de 90 psi. El compactador neumático se utiliza no por falta de capacidad de producción del compactador vibratorio, sino porque éste no puede orillarse lo suficiente para compactar los hombros del pavimento. El compactador vibratorio autopropulsado cuenta con la tracción suficiente para compactar espesores hasta de 25 cm., lo que hace que el número de capas de pavimento se reduzca.

El costo de compactación de subbase y base utilizando el equipo antes mencionado es como sigue:

compactador vibratorio CA25A llantas tracción	\$ 303.44
compactador neumático SP54BD	<u>189.64</u>
	\$ 493.08

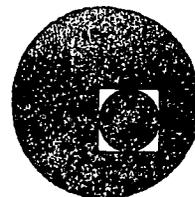
$$\frac{\$ 493.08/\text{hr} \times 1.35}{200 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$ 3.33/\text{m}^3$$

Las ventajas principales de este método de compactación son las siguientes:

- 1.- Bajo costo
- 2.- Menos interrupción al tránsito
- 3.- Estandarización de equipo para compactar tanto subbase y base como carpeta asfáltica.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

COMPACTACION EN EL CAMPO

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO

JUNIO, 1978.

I N D I C E

Página

C A P I T U L O	I	
INTRODUCCION		1
C A P I T U L O	II	
CLASIFICACION DE LOS SUELOS		3
C A P I T U L O	III	
COMPACTACION		6
C A P I T U L O	IV	
TRABAJO DEL EQUIPO DE COMPACTACION		16
C A P I T U L O	V	
EQUIPO DE COMPACTACION		23
C A P I T U L O	VI	
FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACION		36

C A P I T U L O	VII	
SELECCION DE COMPACTADORES		41
C A P I T U L O	VIII	
REGLAS A SEGUIR EN CASO DE TENER PROBLEMAS CON LA COMPACTACION		44
C A P I T U L O	IX	
RENDIMIENTO DEL EQUIPO DE COMPACTA- CION Y COSTO DE LA COMPACTACION		46
C A P I T U L O	X	
CONCLUSIONES		58
B I B L I O G R A F I A		59

C A P I T U L O

I N T R O D U C C I O N

La palabra "Compactación" resulta de sustantivar el Adjetivo "compacto" que deriva del latín "compactus", participio pasivo de "compingere" que quiere decir unir, juntar.

Desde tiempos antiguos se ha reconocido la conveniencia de compactar los terraplenes de los caminos. Los métodos primitivos incluían llevar -- borregos de un lado para otro del terraplén y arrastrar con caballos aplanadoras pesadas de madera.

Hasta hace pocos años se podía contar con la compactación hecha por las unidades de transporte y por aplanadoras casuales, junto con los asentamientos naturales, para estabilizar los terraplenes, de modo que retuvieran su forma y soportaran las cargas que se colocaran sobre ellos.

En los últimos quince años a habido un gran progreso en la ciencia de la compactación de los suelos. Los estudios de laboratorio han resuelto muchos problemas del comportamiento del suelo, y los fabricantes han -- diseñado una amplia variedad de equipo para producir el máximo de compactación con el máximo de economía.

La compactación de los suelos debe ejecutarse de la forma mas adecuada, ya que a excepción de unas correctas características de drenaje, es el factor que tiene mayor influencia en las condiciones funcionales de cualquier obra civil, como pueden ser terraplenes, Sub-bases, bases y superficies de rodamiento.

Se desprende de la anterior, que la vida útil de una obra, en la interviene la compactación, dependerá en gran parte del grado de compactación especificado, el cual deberá ser estrictamente controlado.

La realización de proyectos cada vez más ambiciosos y de programas agresivos ha originado una intensa y constante evolución del equipo de compactación.

Se han introducido mejoras como: Poderosos sistemas hidráulicos, sensores electrónicos confiables, diseños mas funcionales, mayor versatilidad en su uso, transmisiones rápidas, potentes motores, etc., las cuales se han traducido en una mayor producción de los equipos.

Con objeto de poder cumplir con plazos cada vez menores en la ejecución de obras cada vez mayores, se ha llegado a la necesidad de utilizar equipos de gran producción.

Los grandes equipos de carga, acarreo y tiro de material, han obligado a los fabricantes de equipo de compactación a diseñar máquinas compactadoras capaces de balancear al tiro con la compactación, para evitar interferencia de actividades y pérdida de tiempo, lo que da por resultado un proyecto antieconómico.

C A P I T U L O II

CLASIFICACION DE LOS SUELOS

Para poder clasificar los suelos nos basaremos en el "Sistema Unificado de Clasificación de Suelos" S.U.C.S.

Este sistema cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo - ambos por el cribado a través de la malla 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino; si más la mitad de sus partículas, en peso son finas.

i) SUELOS GRUESOS.

El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas, - que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos-- de ese grupo.

G (Gravel) Gravas y suelos en que predominen estas.

S (Sand) Arenas y suelos arenosos.

Las gravas y las arenas se separan con la malla No. 4, de manera - que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50 % de su frac--

ción gruesa (retenida en la malla 200) no pasa la malla No. 4, y es del grupo genérico S, en caso contrario.

- a) Material practicamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo W (well graded). En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos GW y SW.
- b) Material practicamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo P (poorly graded). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GP y SP.
- c) Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo M (del Sueco Mo y Mjala). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GM y SM.
- d) Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C (Clay). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GC y SC.

2) SUELOS FINOS.

También en este caso el Sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los suelos gruesos, y dando lugar a las siguientes divisiones:

M (Del Sueco Mo y Mjala) Limos inorgánicos.

C (Clay) Arcillas Inorgánicas.

O (Organic) Limos y Arcillas Orgánicas.

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdividen, según su límite líquido, en dos grupos. Si este es menor del 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra L (Low Compressibility), obteniéndose por esta combinación los grupos ML, CL y OL. Los suelos finos con límite líquido mayor del 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra ---

H (High Compressibility), teniéndose así los grupos MH, CH y OH.

Al final de este capítulo aparece una tabla general del "Sistema - Unificado de Clasificación de Suelos".

Los materiales friccionantes son principalmente gravas y arenas; - entendiéndose por fricción interna a la resistencia al desplazamiento entre las partículas internas del material.

Los materiales cohesivos son arcillas y limos arcillosos; cohesión podemos definirla como la atracción mutua de las partículas de un suelo - debido a fuerzas moleculares y a la presencia de humedad.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELO INCLUYENDO IDENTIFICACION Y DESCRIPCION

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO				SIMBOLOS DEL GRUPO (a)	NOMBRES TÍPICOS	INFORMACION NECESARIA PARA LA DESCRIPCION DE LOS SUELOS				
<p style="text-align: center;">ARENAS</p> <p style="text-align: center;">Mas de 1/4 mm (No. 60) y menos de 2 mm (No. 10) en la fraccion gruesa y mas de 0.075 mm (No. 200) en la fraccion fina.</p>	<p style="text-align: center;">GRAVAS</p> <p style="text-align: center;">Mas de 2 mm (No. 10) y menos de 75 mm (No. 2) en la fraccion gruesa y mas de 0.075 mm (No. 200) en la fraccion fina.</p>	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 40				<p>Describe el nombre tipico, indiquense los porcentajes aproximados de grava y arena (no mas de 10% cada uno), consistencia, dureza de las particulas (usando nombre local y geologico), cualquier otra informacion descriptiva pertinente y el simbolo entre parentesis.</p> <p>Para los suelos malterados agreguese informacion sobre estructura, estratificacion, cohesividad, cementacion, condiciones de humedad características de drenaje.</p> <p>EJEMPLO Arena limosa con grava, como un 20% de grava de particulas duras, angulosas, 1.5 cm de tamaño maximo, arena con 15% de particulas redondeadas y un 10% de resistencia en estado seco, compacta y humeda en el lugar, arena aluvial, (GW)</p>				
		RESISTENCIA EN ESTADO SECO (Características al rompimiento)		DILATANCIA (Reaccion al agitado)	TENACIDAD (Consistencia cerca del limite plastico)					
		Nulo a ligera	Rapida a lenta	Nulo	ML		Limos inorganicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plasticos	<p>Describe el nombre tipico, indiquense el tipo y caracter de la plasticidad, cantidad de grava y tamaño maximo de las particulas gruesas, color del suelo humedo, nombre local y geologico, cualquier otra informacion descriptiva pertinente y el simbolo entre parentesis.</p>		
		Medio a alta	Nulo a muy lenta	Medio	CL		Arcillos inorganicos de baja a media plasticidad, arcillos con grava, arcillos arenosos, arcillos limosos, arcillos pobres			
		Ligera a medio	Lenta	Ligera	OL		Limos organicos y arcillos limosos organicos de baja plasticidad			
		<p style="text-align: center;">LIMOS Y ARCILLAS</p> <p style="text-align: center;">Limite liquido menor de 50</p>	<p style="text-align: center;">LIMOS Y ARCILLAS</p> <p style="text-align: center;">Limite liquido mayor de 50</p>	Ligera a medio	Lento a nulo		Ligera a medio	MH	Limos inorganicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elasticos	<p>Para los suelos malterados agreguese informacion sobre la estructura, estratificacion, consistencia tanto en estado malterado como malterado, condiciones de humedad y drenaje.</p> <p>EJEMPLO Limo arcilloso, cafe, ligeramente compactado, reducido de arena fina, numerosos agujeros verticales de raíces, firme y seco en el lugar, loess, (ML)</p>
				Alta a muy alta	Nulo		Alta	CH	Arcillos inorganicos de alta plasticidad, arcillos francos	
				Medio a alta	Nulo a muy lenta		Ligera a medio	OH	Arcillos organicos de medio a alta plasticidad, limos organicos de media plasticidad	
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjoso y frecuentemente por su textura fibrosa		Pt	Turba y otros suelos altamente organicos					

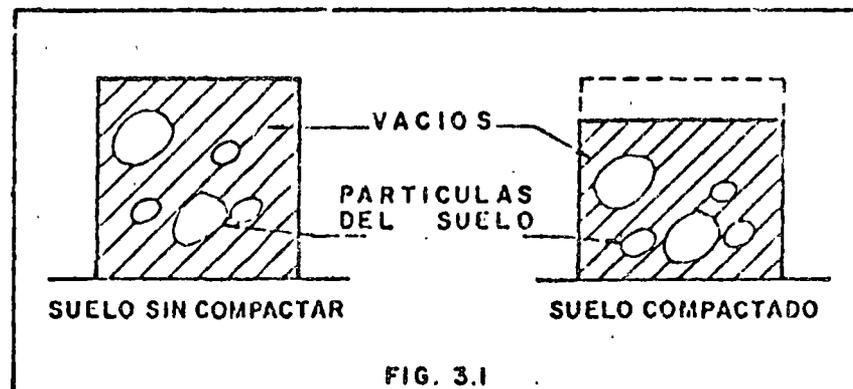
(a) Clasificaciones de frontera - Los suelos que poseen las características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos.
 (b) Todos los tamaños de los mallas en esta carta son los U.S. Standard

1.- D E F I N I C I O N .

En la terminología de Mecánica de Suelos, la reducción de los vacíos de un suelo recibe varios nombres: Consolidación, Compactación, Densificación, etc., existen ligeras diferencias en el significado de los dos primeros.

Consolidación, se usa para la reducción de vacíos, relativamente lenta, debida a la aplicación de una carga estática, usualmente acompañada de expulsión de agua del suelo, por ejemplo la reducción de vacíos en el suelo bajo un edificio.

El término Compactación se usa para la reducción de vacíos, más ó menos rápida, producida por medios mecánicos durante el proceso de construcción. (Fig. 3.1)



Al reducirse los vacíos del suelo hay un incremento del peso volumétrico del material, de donde se puede dar la siguiente definición:

Compactación: Es el aumento artificial, por medios mecánicos, del peso volumétrico de un suelo, esto se logra a costa de la reducción de los vacíos del mismo al conseguir un mejor acomodo de las partículas que los forman mediante la expulsión de aire y/o agua del material.

2.- PROPOSITO E IMPORTANCIA.

La compactación mejora las características de un suelo en lo que se refiere a:

- a) Resistencia mecánica.
- b) Resistencia a los asentamientos bajo cargas futuras.
- c) Impermeabilidad.

Entre las obras que requieren compactación se pueden señalar como más importantes las carreteras, las aeropistas y las presas de tierra.

Estas estructuras deberán ser capaces de soportar su propio peso y el peso de las cargas super-impuestas, si falla, el costo de la reparación puede ser muy elevado.

Desde el punto de vista del constructor el problema es obtener la densidad especificada por el diseñador. Obtenida esta densidad se asegura que la resistencia a futuros asentamientos y la impermeabilidad sean las supuestas por el diseñador, sin embargo la obtención de la densidad de diseño no necesariamente asegura la resistencia mecánica supuesta, ya que ésta depende, en muchos suelos, de la humedad a la cual fué compactado. Es necesario entonces que la compactación sea efectuada a la humedad especificada, especialmente para suelos cohesivos.

Se hace notar que compactar a mayores grados del especificado no es conveniente, es decir, compactar de más, puede resultar perjudicial al proyecto.

La falla de algunas obras han obligado a que las especificaciones de compactación sean cada vez más estrictas; las tolerancias en más ó en menos, del grado de compactación especificado, son generalmente fijadas -- desde el inicio de la obra.

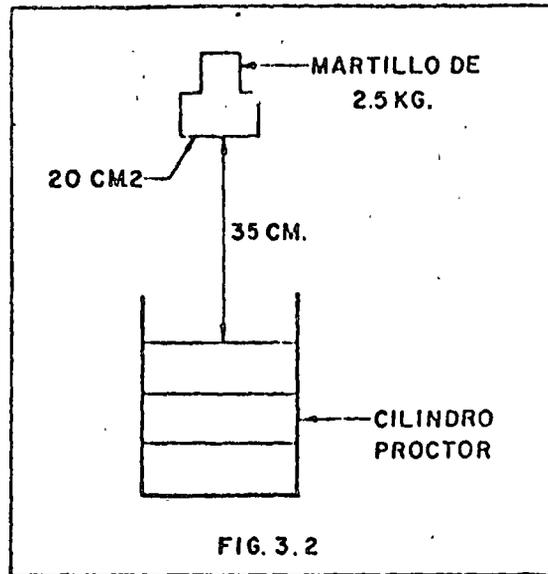
3.- PRUEBAS DE COMPACTACION .

En la construcción de terraplenes sería ideal poder medir la resistencia del suelo para determinar cuando se ha alcanzado la resistencia necesaria, pero el equipo para medir esta resistencia (especialmente a esfuerzos de compresión y cortante) es difícil de manejar, es caro y no es aplicable a todos los suelos, por lo tanto se han preparado las siguientes pruebas de laboratorio.

- A) P r o c t o r
- B) Proctor Modificada
- C) P o r t e r .

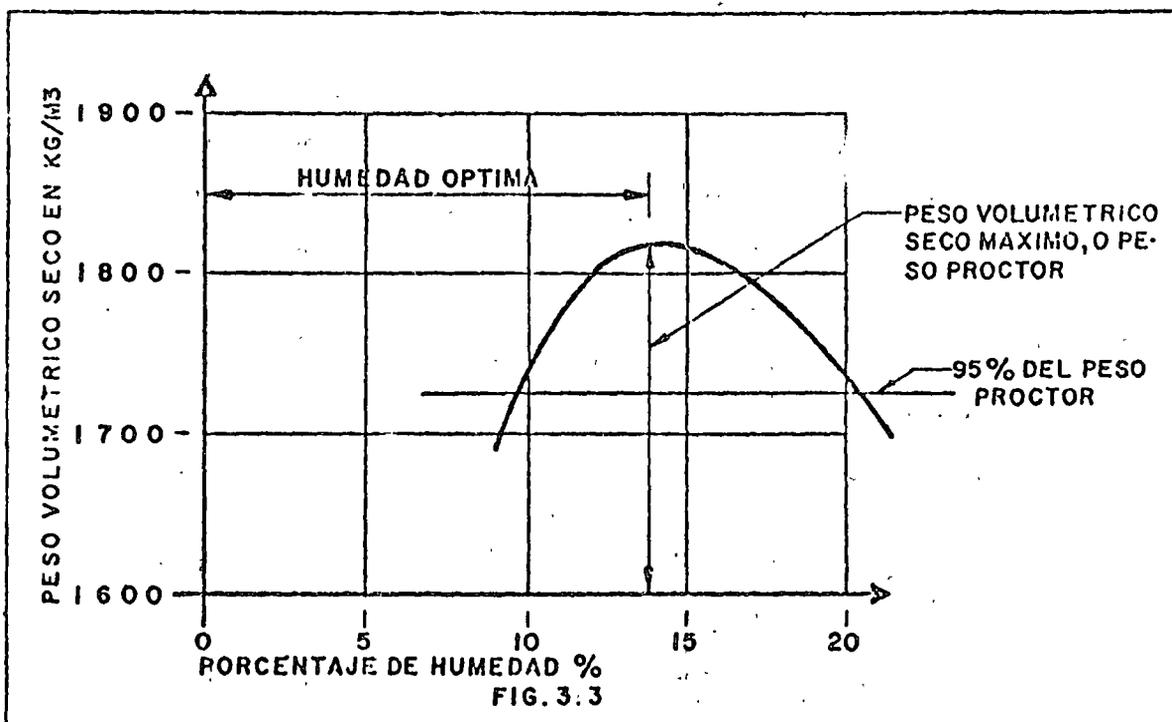
A).- Proctor: R.R. Proctor estableció que hay una correspondencia entre el peso volumétrico seco de un suelo compactado y su resistencia. El equipo para hacer pruebas de compactación en la obra es un equipo económico y sencillo. Proctor desarrolló una prueba que consiste en:

- a) Se toma una muestra representativa del suelo a compactar, de humedad conocida.
- b) Se toma un cilindro de 4" de diámetro x 4½" de altura, se llena en tres capas aproximadamente iguales con material de prueba.
- c) Cada capa se compacta con 25 golpes de un martillo de 2.5 Kg. con un área de contacto de 20 cm²., el que se deja caer de 35 cm. de altura. (Fig. 3.2) Todo esto con el objeto de siempre dar al material la misma energía de compactación.



- d) Se pesa el material y como el volumen es conocido se calcula el peso volumétrico húmedo, simplemente dividiendo el peso del material entre su volumen. Como la humedad es conocida, se resta el peso del agua y se obtiene el peso volumétrico seco para esa humedad.
- e) Se repite la prueba varias veces, variando cada vez el grado de humedad, con lo que se obtienen pares de valores Humedad-Peso - Volumétrico seco.

Con estos pares de valores se dibuja la siguiente gráfica. (Fig.3.3)



Puede observarse que hay un cierto contenido de humedad para el cual el peso volumétrico es máximo, este peso se conoce como: "Peso volumétrico Seco Máximo" (P.V.S.M.), ó peso proctor, y el contenido de humedad como humedad óptima.

El diseñador entonces especifica el porcentaje del peso proctor que debe obtenerse en la construcción del terraplén y la humedad óptima.

Por ejemplo: Si el proyectista especifica 95% Proctor en el caso de la gráfica, tenemos: $P.V.S.M. = 1820 \text{ Kg/M}^3$.

$$95 \% \text{ de P.V.S.M.} = 0.95 \times 1820 = 1729 \text{ Kg/M}^3.$$

es decir el constructor debe obtener un peso volumétrico seco mínimo de 1729 Kg/M^3 en ese material.

La razón de la existencia de un peso volumétrico máximo es que en todos los suelos, al incrementarse su humedad, se les proporciona un medio lubricante entre sus partículas, que permite un cierto acomodo de estas cuando se sujetan a un cierto trabajo de compactación. Si se sigue aumentando la humedad, con el mismo trabajo de compactación, se llega a obtener un mejor acomodo de sus partículas y en consecuencia un mayor peso volumétrico, si se aumenta más la humedad todavía, el agua empieza a ocupar el espacio que deberían ocupar las partículas del suelo y por lo tanto comienza a bajar el peso volumétrico del material, para el mismo trabajo de compactación.

Por lo tanto, si se aumenta ó disminuye la humedad será necesario aumentar el trabajo del equipo de compactación, lo que, en general, no es económico.

B).- Proctor Modificada: Conforme fueron aumentando las cargas sobre las terracerías por el uso de camiones y aeroplanos cada vez más pesados, se vió la necesidad de desarrollar mayores densidades y resistencias en muchos materiales usando mayor trabajo de compactación. Por esta razón

se desarrolló la prueba Proctor modificada.

Para esta prueba se usa el mismo cilindro proctor, pero el material se compacta en 5 capas con un martillo de 4.5 Kg. y cayendo de una altura de 46 cm., dando 25 golpes por capa. (Fig. 3.4)

En todos los aspectos las dos pruebas son semejantes, únicamente el trabajo de compactación se ha incrementado aproximadamente 4.5 veces.

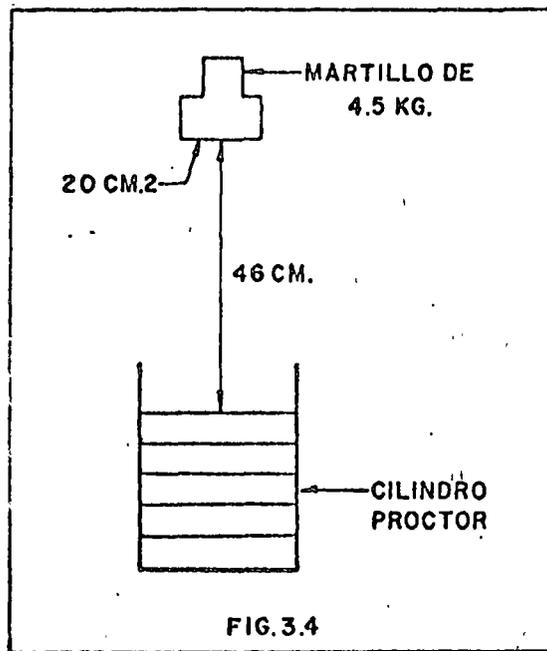


FIG. 3.4

La gráfica siguiente es un ejemplo de la prueba proctor y la prueba proctor modificada efectuadas en el mismo material. (Fig. 3.5)

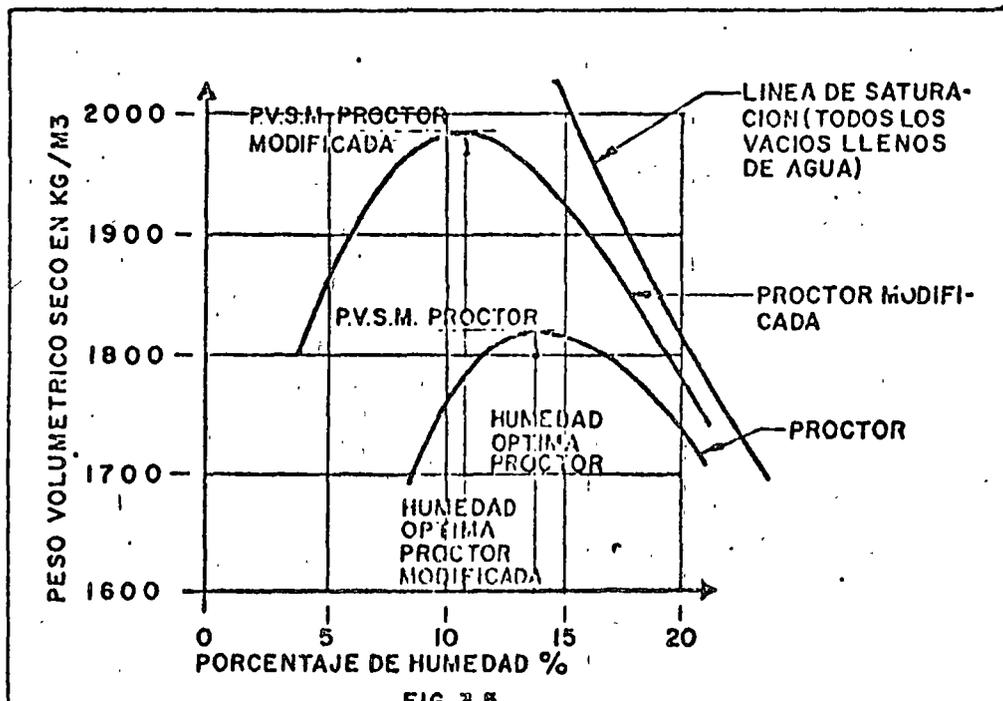


FIG. 3.5

Obsérvese en esta gráfica que aunque el trabajo de compactación se ha incrementado 4.5 veces, la densidad solamente se incrementó 9%, y que la humedad óptima disminuyó 3%. Esto último es invariablemente cierto.

C).- Porter: Tanto la prueba Proctor como la Proctor modificada han dado muy buen resultado en suelos cuyos tamaños máximos son de 10 mm. (3/8"), en suelos con partículas mayores el golpe del martillo no resulta uniforme y por lo tanto la prueba puede variar de resultados en un mismo material.

Para obviar esta dificultad se ideó la prueba Porter, que consiste en lo siguiente:

- a) Se toma una muestra del material a probar y se seca.
- b) Se pasa por la malla de 25 mm. (1") y se determina el porcentaje, en peso, retenido en la malla, si el porcentaje es menor del 15%, se usará para la prueba el material que pasó la malla. Si el porcentaje retenido es mayor del 15% se prepara, del material original, una muestra que pase la malla de 1" y que sea retenida en la malla No. 4, de esta muestra se pesa un tanto igual al peso del retenido, el que se agrega al material que pasó la malla de 1", con este nuevo material se procede a la prueba.
- c) A 4 Kg. de la muestra así preparada se le incorpora una cantidad de agua conocida; y se homogeniza con el material.
- d) Con este material se llena, en tres capas, un molde metálico de 6" de diámetro por 8" de altura con el fondo perforado. Cada capa se pica 25 veces con una varilla de 5/8" (1.9 cm.) de diámetro por 30 cm. de longitud con punta de bala.
- e) Sobre la última capa se coloca una placa circular ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro, y se mete el molde en una prensa de 30 tons.
- f) Se aplica la carga gradualmente de tal manera que en cinco minutos se alcance una presión de 140.6 Kg/cm²., la cual debe mantenerse durante un minuto, e inmediatamente se descarga en forma gradual durante un minuto.

Si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde, la humedad ensayada es inferior a la óptima.

- g) Se prosigue por tanteos hasta que la base del molde se humedezca al alcanzar la carga máxima. La humedad de esta prueba es la humedad óptima. Se determina entonces el peso volumétrico seco de la muestra dentro del cilindro, a este peso se le conoce como el "Peso Volumétrico seco Máximo Porter", y que será el peso comparativo para el trabajo de campo.

Por ejemplo: si en la prueba Porter obtuvimos un "Peso Volumétrico-seco Máximo" de $2,000 \text{ Kg/m}^3$, y el diseñador ha pedido el 95% Porter, en la obra tendremos que alcanzar un peso volumétrico seco de: $0.95 \times 2,000 = 1,900 \text{ Kg/m}^3$.

4.- METODOS DE CONTROL.

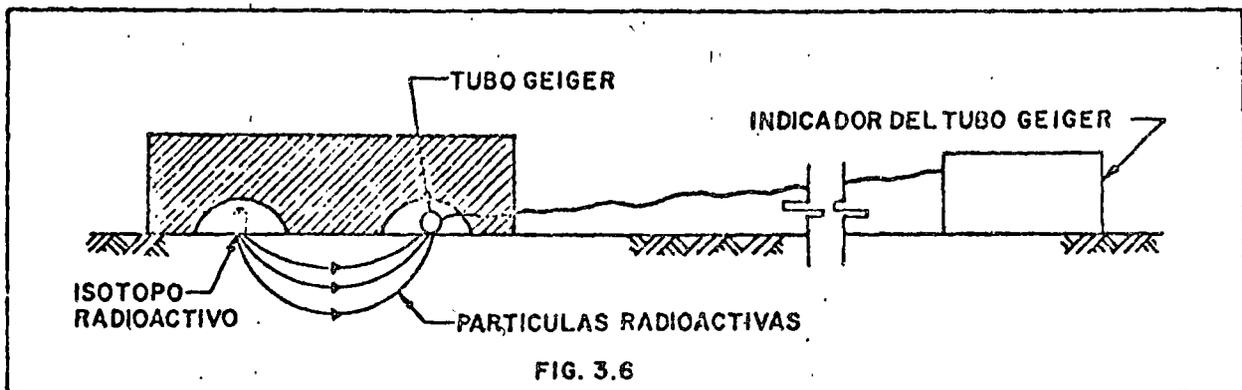
Para medir en la obra si se ha alcanzado el peso volumétrico especificado hay varios métodos:

- A) Medida física de peso y volumen.
- B) Mediciones nucleares.
- C) O t r o s.

A).- Medida Física de Peso y Volumen: En cualquiera de los métodos-existentes el principal problema radica en la determinación de la humedad-para poder calcular el peso volumétrico seco en función del peso volumétrico húmedo que es el que se obtiene en las pruebas de campo. Normalmente -se calienta una parte del material hasta secarlo y por diferencia se obtiene la humedad, pero este método es lento y peligroso porque en algunos suelos se altera el peso volumétrico con el calentamiento, debido a la evaporación de partes orgánicas principalmente. Nunca debe llegarse a la calcinación que también puede alterar el peso volumétrico, este método consiste en:

- a) Se excava un agujero de 10 a 15 cm. de diámetro, ó un cuadrado - de 15 cm por lado, a la misma profundidad de la capa por probar.
- b) El material excavado es cuidadosamente recogido y pesado. Se se ca para determinar la humedad y el peso volumétrico seco.
- c) El volumen del agujero es medido. El método usado generalmente es llenándolo con una arena de peso volumétrico constante que se tiene en un recipiente graduado.
- d) Conocidos el peso seco de la muestra y el volumen del agujero, - se calcula el peso volumétrico seco de la muestra, que debe ser igual ó mayor que el peso volumétrico seco especificado.

B).- Prueba de Medición Nuclear: Para evitar el tiempo y costo que -- significa la prueba anterior se han ideado varios métodos, uno de ellos es el Método nuclear, que consiste en un bloque de plomo que contiene un isótopo radioactivo y un tubo geiger. (Fig. 3.6)

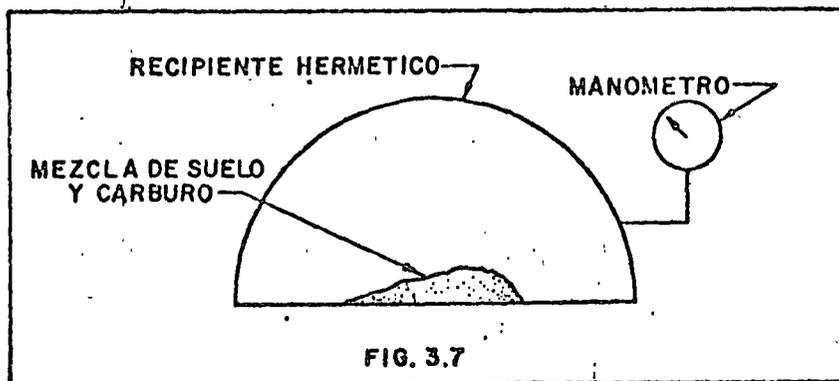


El bloque de plomo se coloca sobre la capa a probar, el número de -- partículas que llegan al tubo Geiger está en función de la masa del mate -- rial que tienen que atravesar, es decir, es función del peso volumétrico, -- entonces la medida del indicador debe compararse con otra medida hecha en -- una capa que tenga el peso volumétrico especificado.

Estos aparatos necesitan frecuente calibración, no siempre hay una -- indicación clara cuando el aparato no funciona bien y su exactitud varía -- con el tipo de suelo.

Estas desventajas, sin embargo son despreciadas por los constructores en grandes trabajos de terracerías, pues el aparato le permite asegurar que una cierta capa ha sido compactada, con un alto grado de confiabilidad, prosiguiendo el trabajo de inmediato con la siguiente capa.

C).- Otros: Como el problema principal es la determinación de la humedad se han desarrollado últimamente algunos métodos entre los que destaca principalmente el denominado "Speedy" (Fig. 3.7), que consiste en colocar un peso conocido de suelo mezclado con carburo de calcio dentro de un recipiente hermético provisto de un manómetro. El carburo reacciona con la humedad del suelo, produciendo gas acetileno y por lo tanto una presión que es registrada en el manómetro el que se puede inclusive graduar en gramos de agua, determinándose rápidamente de esta manera el porcentaje de humedad, y así poder calcular su peso volumétrico seco.

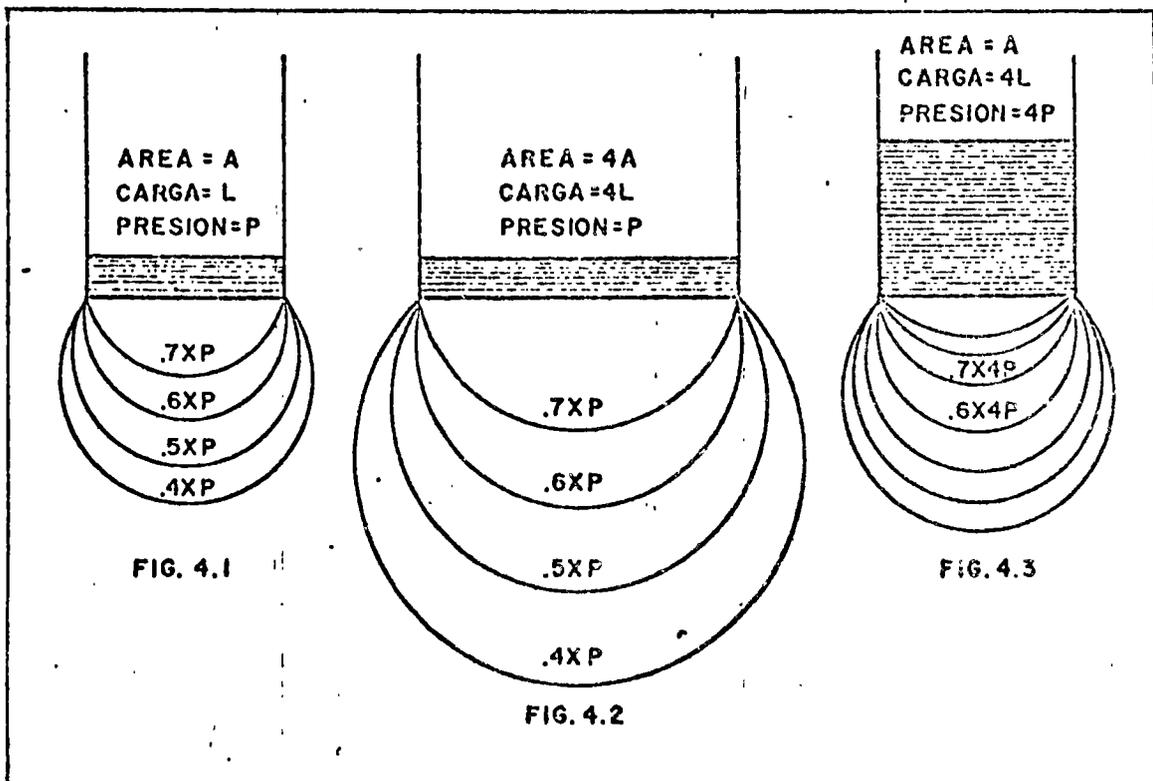


C A P I T U L O IV

TRABAJO DEL EQUIPO DE COMPACTACION

Para comprender mejor la transmisión de los esfuerzos de compresión en un suelo, consideremos una placa rígida, circular, de área "A", - colocada sobre un suelo, a la que se aplica una carga "L", dando una presión de contacto "p". (Fig. 4.1)

En el suelo se desarrollan presiones, si unimos los puntos de igual presión, obtendremos superficies llamadas, bulbos de presión.



Obsérvese lo siguiente:

- a) Si aumenta el tamaño de la placa pero la presión permanece constante, incrementando la carga: la profundidad del bulbo de presión aumenta. (Fig. 4.2)
- b) Si aumenta la presión, y el área permanece constante. (Fig. 4.3) la profundidad del bulbo no aumenta significativamente, pero la presión, y por lo tanto la energía de compactación, si aumenta.

Si consideramos un cierto equipo de compactación, trabajando capas de un determinado espesor:

De (a) y (b) se deduce que es necesario controlar el espesor de las capas para tener suficiente presión en el suelo para obtener la compactación deseada.

De (b) se deduce que no podemos aumentar significativamente el espesor de la capa de compactación simplemente lastrando excesivamente el equipo.

De (a) se deduce que para aumentar el espesor de la capa, debemos cambiar el equipo por otro que tenga mayor superficie de contacto, aunque la presión permanezca constante.

La Teoría de los bulbos de presión fué desarrollada por Boussinesq para un medio elástico. Para fines prácticos todos los suelos son elásticos y la teoría es razonablemente cierta aún para suelos granulares.

Los esfuerzos mecánicos empleados en la compactación, son una combinación de uno ó más de los siguientes efectos:

- 1).- PRESION ESTÁTICA: La aplicación de una fuerza por unidad de área.
- 2).- IMPACTO: Golpeo con una carga de corta duración, alta amplitud y baja frecuencia.
- 3).- VIBRACION: Golpeo con una carga de corta duración, alta frecuencia, baja amplitud.

4).- AMASAMIENTO: Acción de amasado, reorientación de partículas--
próximas, causando una reducción de vacíos.

5).- CON AYUDA DE ENZIMAS.

1.- COMPACTACION POR PRESION ESTATICA .

Este principio se basa en la aplicación de pesos más o menos grandes sobre la superficie del suelo.

La acción de este principio de compactación es de arriba hacia abajo, es decir, las capas superiores alcanzan primero mayores densidades que las de abajo.

Este principio de compactación tiene dos inconvenientes en la obtención de una rápida densificación:

A).- Su Acción de Arriba hacia Abajo: El inconveniente de que la parte superior se compacte primero que la de abajo, es que el esfuerzo compactivo debe atravesar la parte ya compactada, para poder compactar la inferior. Se consume por lo tanto mayor energía de compactación.

También suele suceder que las características granulométricas del material varíen, debido a la sobrecompactación de la porción superior de la capa; dicha sobrecompactación ó exceso de energía compactiva produce una fragmentación de partículas.

B).- Fomentar la resistencia de la fricción interna del material, durante la compactación: Definiendo como fricción interna a la resistencia de las partículas de un suelo para deslizarse dentro de la masa del mismo, se puede juzgar este segundo inconveniente.

Si llamamos (F) a la fuerza aplicada por el compactador y (n) al coeficiente de fricción interna del material, se puede deducir la reacción (R) de las partículas para deslizarse dentro de la masa de suelo.

$$R = nF$$

A mayor fuerza aplicada mayor la reacción de la fricción interna -- del material, aquí es donde el papel que juega el agua resulta muy impor-- tante, ya que, tendrá efectos lubricantes entre las partículas reduciendo-- (n) y por consecuencia a (R).

Para este tipo de compactación es necesario hacer riegos intensivos de agua cuando el material así lo soporte.

2.- COMPACTACION POR IMPACTO .

La compactación por medio de impacto se logra haciendo caer repeti-- damente un peso desde una cierta altura.

Cuando una unidad compactadora tiene una frecuencia baja y una am-- plitud grande, la unidad cae dentro de este tipo de compactación.

El principio en que se basa este tipo de compactación es que, cuan-- do un cuerpo se levanta una cierta distancia sobre una superficie y se de-- ja caer, la presión que ejerce sobre ésta, es varias veces mayor que la -- presión que ejerce el mismo cuerpo estando apoyado estáticamente sobre di-- cha superficie.

3.- COMPACTACION POR VIBRACION .

Este principio de compactación es el que últimamente ha tenido ma-- yor desarrollo y prácticamente ha invadido todos los materiales por compac-- tar.

En la mayoría de los tipos de material, la compactación dinámica ó vibratoria, supera en eficiencia a los compactadores estáticos.

Como en la compactación por presión estática, en este tipo de com-- pactación también se aplica una cierta presión, pero al mismo tiempo se so-- mete al material a rápidos y fuertes impactos ó vibraciones, entre 700 y -- 4,000 dependiendo del compactador.

Debido a las vibraciones producidas por el equipo sobre el material, la fricción interna de éste, desaparece momentáneamente, propiciando el --

acomodo de las partículas.

Esto se puede demostrar mediante el experimento de girar una perforadora de álabes dentro de un recipiente que contenga arena ó grava, primero en estado estático y luego colocando el recipiente sobre una placa vibratoria.

La vibración multiplica la movilidad interna del material en forma contundente; en suelos de granulometría gruesa la movilidad dinámica es de 10 a 30 veces mayor que la movilidad estática.

La experiencia sueca nos proporciona la siguiente tabla:

Material	Contenido de agua %	Momento Resistivo (Kg-cm)	
		En Reposo	Con Vibraciones
Grava	0	1700	40
Arena	10	600	45
Limo	12	150	25

La compactación por vibración tiene un efecto de penetración como el sonido, el cual también es dinámico, pero tiene una frecuencia mayor y audible; este tipo de compactación evita los efectos de arco y disminuye la fricción interna del material permitiendo que las fuerzas compactivas trabajen a mayor profundidad y a mayor anchura.

Con este principio de compactación las partículas de material se ven sujetas a presión estática y a impulsos dinámicos de las fuerzas vibratorias, con lo cual se logra una compactación con menor esfuerzo.

La densificación de un material por medio de compactadores vibratorios es de abajo hacia arriba.

VENTAJAS DE LA COMPACTACION POR VIBRACION.

- a) Es posible compactar a más altas densidades; facilita la obtención de los últimos porcentos del grado de compactación que son tan difíciles de obtener, y a veces imposibles de obtener, con -

compactadores estáticos.

- b) Permite el uso de compactadores más pequeños.
- c) Se puede trabajar sobre capas de material de mayor espesor.
- d) Permite hacer trabajos más rápidos por menor número de pasadas.
- e) Por las razones anteriores los costos de compactación resultan más económicos.

4.- COMPACTACION POR AMASAMIENTO .

Amasar en este caso puede confundirse con exprimir, es decir el efecto de una pata de cabra al penetrar en un material ejerce presión hacia todos lados, obligando al agua y/o al aire a salir por la superficie.

La compactación por este principio se lleva a cabo de abajo hacia arriba; es decir las capas inferiores se densifican primero y las superiores posteriormente. Por esto se dice que un rodillo pata de cabra emerge o sale cuando el material se encuentra compactado debidamente.

Los rodillos pata de cabra se emplean fundamentalmente en materiales cohesivos; en cambio su efectividad es casi nula en materiales granulares.

5.- COMPACTACION CON LA AYUDA DE ENZIMAS .

Mediante la adición de productos enzimáticos en el agua de compactación, se ha pretendido obtener, en combinación con algún otro esfuerzo compactador mecánico, la densificación más rápida de los materiales.

Según la definición de Sumner o Somers una enzima es: "cierta sustancia química-orgánica que está formada por plantas, animales y microorganismos, capaz de incrementar la velocidad de transformación química del medio donde se encuentra, sin que sea consumida por ello en este proceso, llegando a formar parte del conjunto".

Según los fabricantes de enzimas para compactación, esta se logra mediante una reacción química de ionización de los componentes orgánicos e inorgánicos del terreno, permitiendo que esta reacción origine una fusión-

molecular progresiva, lo que trae por consecuencia que las partículas del suelo se agrupen y se transformen en una masa compacta y firme.

Se hace hincapié en que el agregar productos enzimáticos al agua de compactación no densificará al material tratado, sino que es necesario --- aplicar esfuerzo compactivo adicional; es decir, se usará algún equipo compactador y agua con enzimas, con lo cual puede reducirse el tiempo de compactación.

C A P I T U L O V

EQUIPO DE COMPACTACION

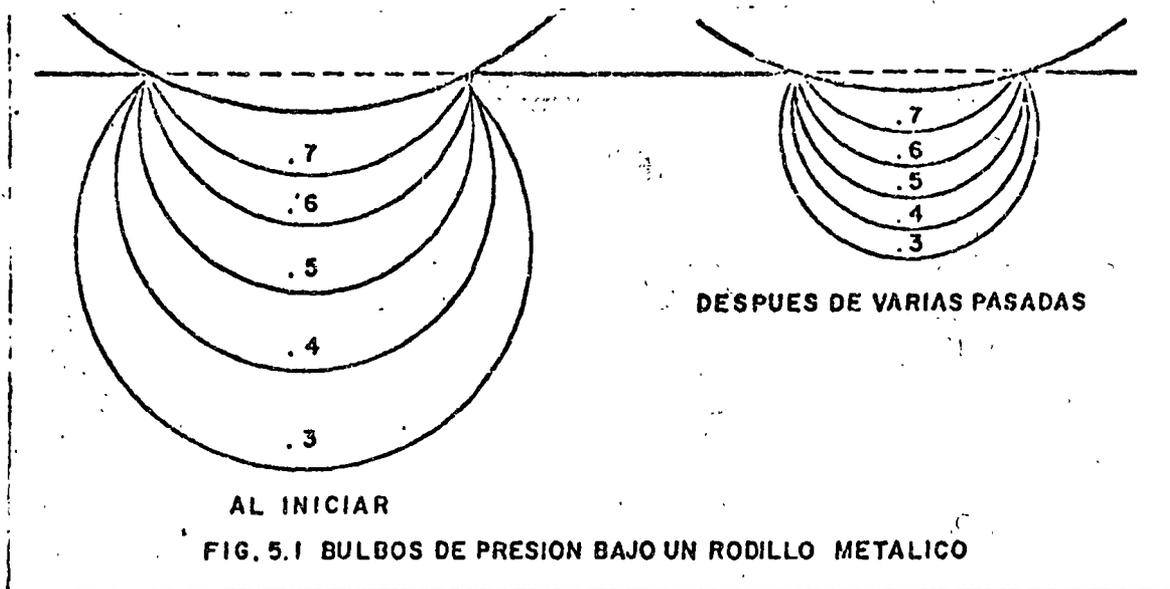
TIPOS DE COMPACTADORES.

Hay una gran variedad de equipos de compactación, se describirán--- sus características básicas:

1. RODILLOS METALICOS.

Un rodillo metálico utiliza solamente presión estática con un mínimo de manipulación en materiales plásticos.

Cuando estos rodillos inician la compactación de una capa el área de contacto es más ó menos ancha y se forma un bulbo de presión de una --- cierta profundidad, conforme avanza la compactación, el ancho del área de contacto se reduce, y por lo tanto también se reduce la profundidad del -- bulbo de presión y aumentan los esfuerzos de compresión en la cercanía de la superficie. (Fig. 5.1). Estos esfuerzos son con frecuencia suficientes para triturar los agregados en materiales granulares, e invariablemente -- causan la formación de una costra en la superficie de la capa (encarpeta-- miento).



Si a esto se agrega la costumbre de hacer riegos adicionales durante la compactación, para compensar la evaporación, en una capa en donde la penetración del agua es difícil por la misma compactación del material llegamos a un estado de estratificación de la humedad, en este momento la formación de la costra es inevitable.

También es costumbre más ó menos generalizada, el sobre lastrar estos equipos cuando no se está obteniendo la compactación, para aumentar la penetración y la profundidad del bulbo de presión, esto generalmente tiene como consecuencia el sobre esforzar la superficie.

Un rodillo metálico, no compacta pequeñas áreas suaves, debido a -- que la rigidez de la rueda las puentea, estas áreas suaves se presentan -- con frecuencia en terracerías debido a la irregularidad de la capa.

Dentro de este grupo se puede hacer la división siguiente:

A) Planchas Tandem.- Son aquellas que tienen dos o tres rodillos -- metálicos paralelos. Los rodillos son generalmente huecos para ser lastrados con agua y/o arena. Tienen generalmente dos números por nomenclatura. El primero es el peso de la máquina sin lastre y el segundo es el peso de la máquina lastrada totalmente. (Fig. 5.2)

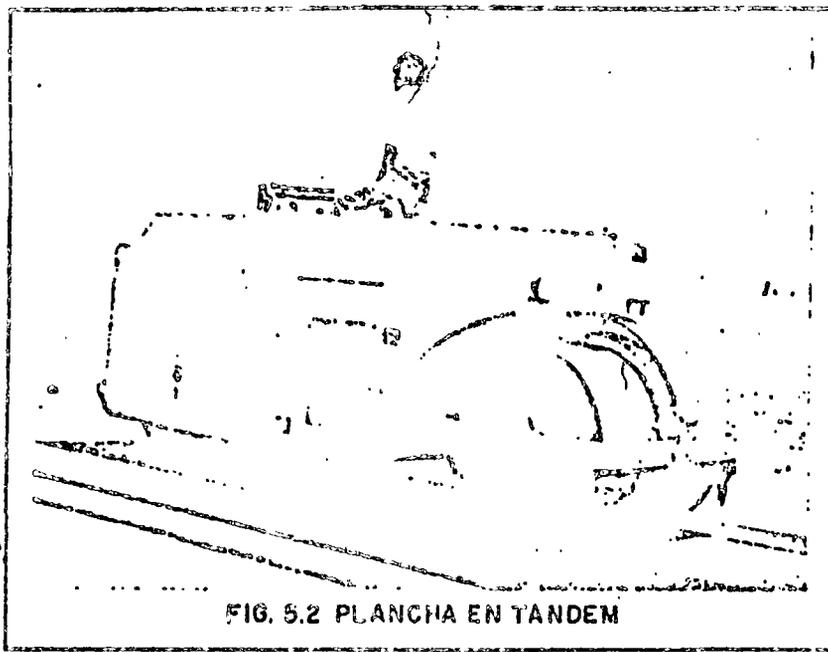


FIG. 5.2 PLANCHA EN TANDEM

B) Planchas de Tres Ruedas.- Son quizás las de más antiguo diseño; estas planchas tienen dos ruedas traseras paralelas y una rueda delantera; las ruedas pueden ser huecas para ser lastradas ó formadas por placas de acero roladas con atiesadores. (Fig. 5.3)

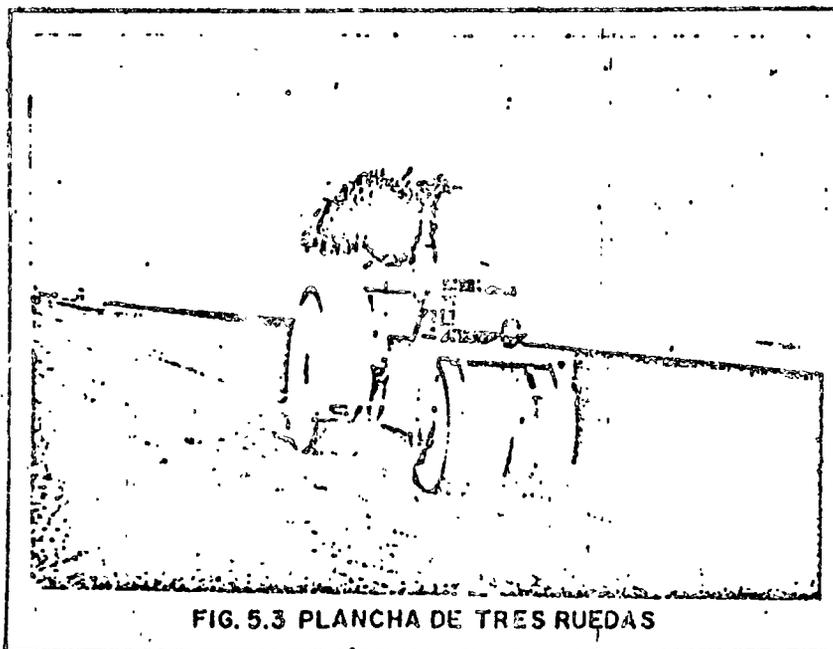


FIG. 5.3 PLANCHA DE TRES RUEDAS

Las planchas tandem, a pesar de que son generalmente de menor peso que las de tres rodillos, suelen tener mayor compresión por centímetro ---

lineal de generatriz que las de tres rodillos, por tener menor superficie de contacto con el material.

Tanto las planchas tandem como las de tres rodillos, tienen bajas velocidades de operación y poca seguridad al compactar las orillas de terraplenes altos.

Son efectivas en suelos de naturaleza granular donde su efecto triturador puede ser necesario; su efectividad se ve mermada en materiales granulo plásticos, donde se tiende a un encarpamiento; en materiales plásticos o cohesivos no tienen gran aplicación.

Resumiendo, puede decirse que estas máquinas por su lentitud y poca profundidad de acción, han perdido terreno en la compactación de grandes movimientos de tierra; también en algunas aplicaciones específicas que tienen estos equipos como la compactación de carpetas asfálticas, van siendo desplazadas por otras máquinas compactadoras.

2.- RODILLOS NEUMATICOS .

Los rodillos neumáticos son muy eficientes y a menudo esenciales para la compactación de sub-bases, bases y carpetas, sus bulbos de presión son semejantes a los de los rodillos metálicos, pero el área de contacto permanece constante por lo que no se produce el efecto de reducción del bulbo. Por otra parte, el efecto de puenteo del rodillo metálico, sobre zonas suaves, se elimina con llantas de suspensión independiente.

Estos compactadores pueden ser jalados ó autopropulsados.

Se pueden dividir conforme al tamaño de sus llantas en:

A) De llantas pequeñas

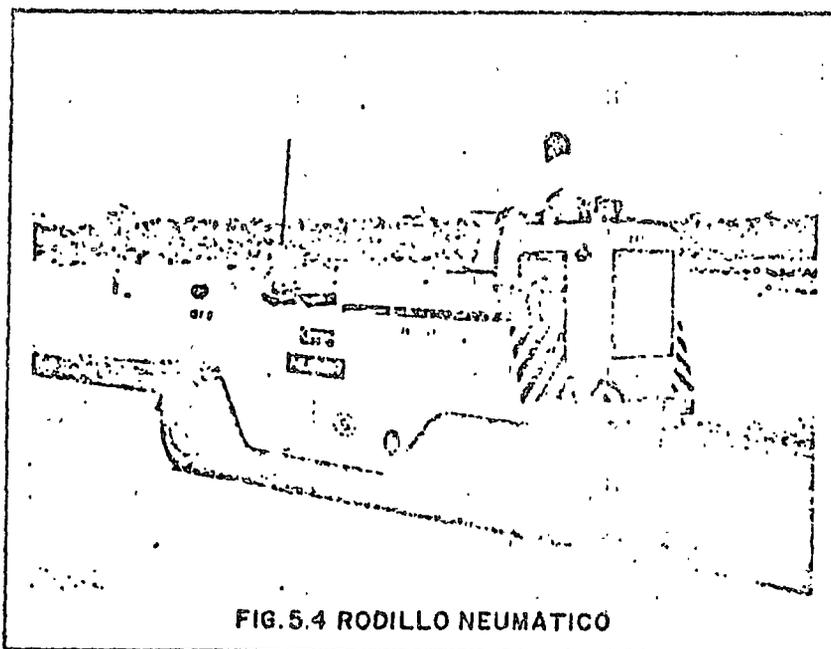
B) De llantas grandes.

A) DE LLANTAS PEQUEÑAS.- Generalmente tienen dos ejes en tandem y el número de llantas puede variar entre 7 y 13. El arreglo de las llantas

es tal que las traseras traslapan con las delanteras. (Fig. 5.4)

Algunos de estos compactadores tienen montadas sus ruedas en forma tal que oscilan o "bailan" al rodar, lo que aumenta su efecto de amasamiento.

Estos compactadores proporcionan una presión de contacto semejante a la proporcionada por equipos de mayor peso y llantas grandes, tienen mayor maniobrabilidad, no empujan mucho material adelante de ellos, tienen poca profundidad de acción y poca flotación en materiales sueltos.



B) DE LLANTAS GRANDES.- Son generalmente arrastrados por tractor y pesan de 15 a 50 tons. Tienen 4 ó 6 llantas en un mismo eje. Su costo horario es generalmente caro por el tipo de tractor que se utiliza para arrastrarlos.

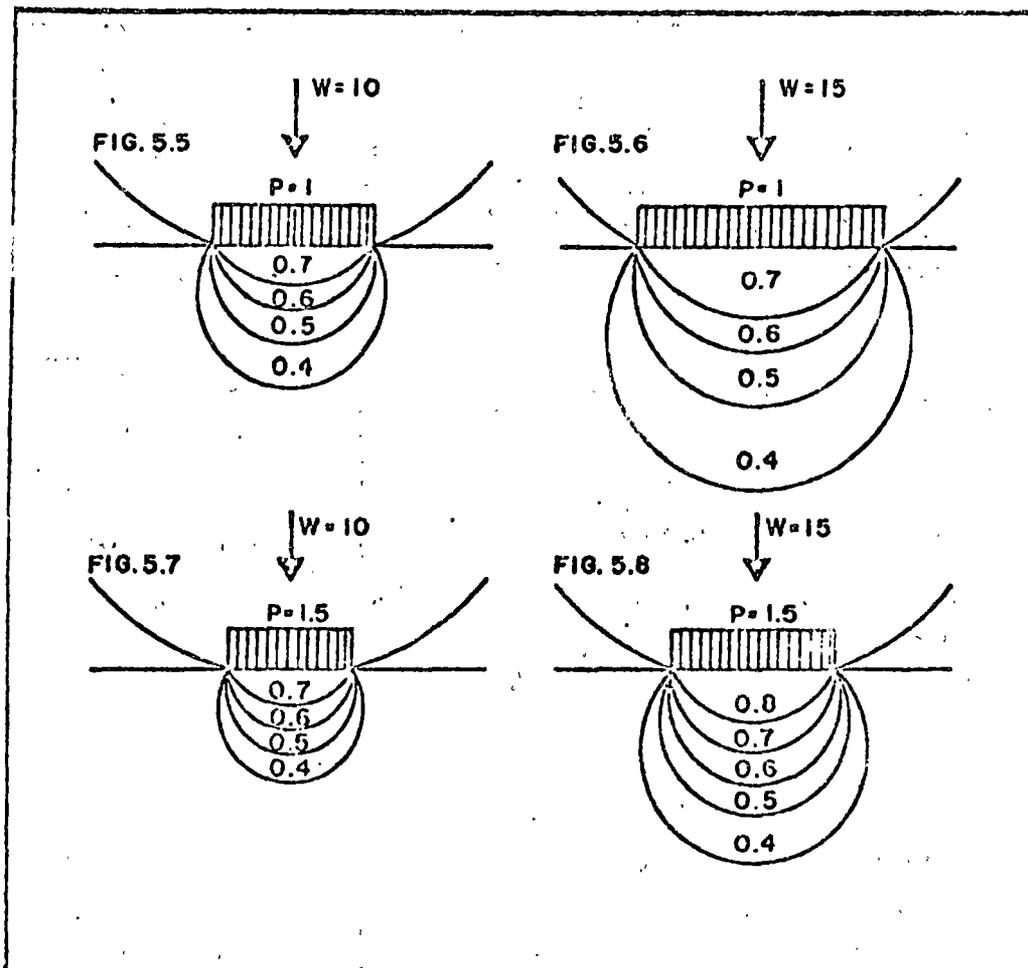
Su mejor aplicación es usarlos como compactadores de prueba.

Los dos factores más importantes que intervienen en este tipo de compactadores son:

a) Peso total.- Dependiendo del número total de llantas y del sistema de suspensión del compactador se puede conocer el peso o fuerza aplica

da por llanta. A mayor peso total, mayor carga por llanta, en caso de tratarse de una suspensión isostática.

b) La presión de inflado es importante, pero está ligada íntimamente a la carga de la llanta. Si "W" es el peso del compactador, y "p" es la presión de contacto: (Fig. 5.5)



Podemos observar que si aumentamos el peso sin aumentar la presión (Fig. 5.6), aumentamos la profundidad del bulbo, pero no aumentamos la presión, esto nos permitiría trabajar capas relativamente mayores, pero el aumento de eficiencia es casi nulo, y las llantas durarán menos pues estamos aumentando el trabajo de deformación de la llanta.

Si aumentamos la presión sin aumentar la carga (Fig. 5.7) disminuimos la profundidad del bulbo de presión, y podemos llegar a encarpetar la capa. Esto puede ser eficiente si la capa es delgada como suele serlo en

bases y sub-bases.

Si aumentamos el peso y la presión, (Fig. 5.8) estamos aumentando la presión efectiva sobre la capa y por lo tanto el trabajo de compactación sobre la capa, sin embargo esto nos puede disminuir la vida útil de las llantas y del equipo.

En el concepto moderno de un compactador neumático la carga sobre la llanta y la presión de inflado, deben ser las adecuadas para dar la presión de contacto suficiente para ejercer el esfuerzo requerido de compactación (es aconsejable no alejarse mucho de las recomendaciones del fabricante).

Por la razón anterior los fabricantes de equipo progresistas han provisto, a sus máquinas con implementos para variar rápidamente la presión de inflado de sus equipos.

Las presiones de inflado usuales son del orden de 50 psi, para compactadores pequeños (hasta 10 tons) y puedan llegar hasta 80 psi en compactadores grandes. (de 10 a 60 tons.)

La presión de inflado no es igual a la de contacto ya que interviene (en mucho) la rigidez de la llanta inflada.

Tienen aplicaciones especializadas como la compactación del terreno natural en aeropuertos (grandes extensiones, terreno plano, alto grado de compactación, fácil acceso, etc.), tienen gran utilidad para sellar las capas superiores, con lo que se logra una buena impermeabilidad.



FIG. 5.9 COMBINACION DE RODILLOS METALICO Y NEUMATICO (DUO-FACTOR)

3. RODILLOS PATA DE CABRA .

Son ahora raramente usados, excepto para amasamiento y compactación de arcillas donde las estratificación debe ser eliminada como en el corazón impermeable de una presa. Debido a la pequeña área de contacto de una pata y al alto peso de éstos equipos el bulbo de presión es intenso y poco profundo. La compactación se consigue por penetración y amasamiento más - que por efecto del bulbo de presión. (Fig. 5.10)

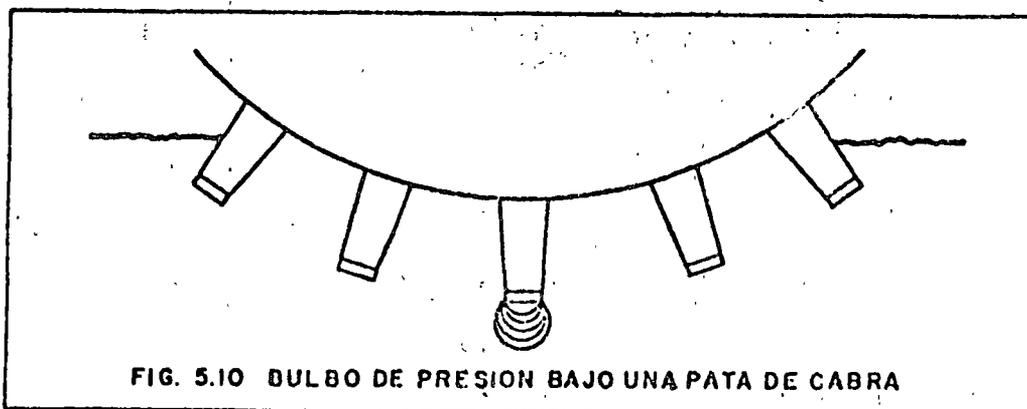
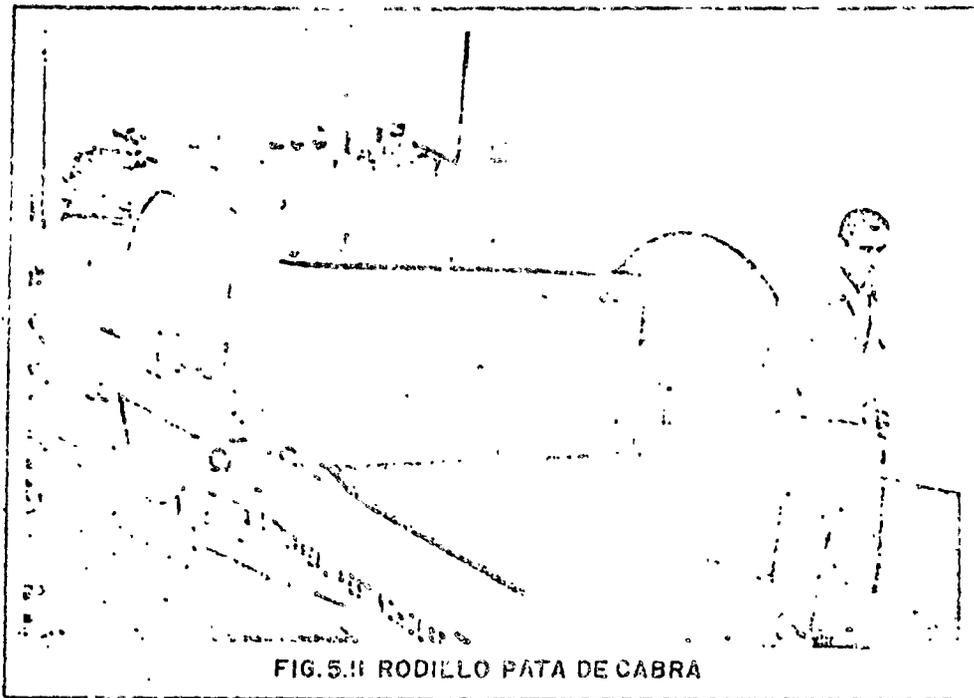


FIG. 5.10 BULBO DE PRESION BAJO UNA PATA DE CABRA

Los rodillos pata de cabra son lentos, tienen una gran resistencia al rodamiento, por lo que consumen mucha potencia. Este equipo es todavía

pedido en especificaciones algunas veces pero su uso está declinando debido a los altos costos que tienen, usualmente por unidad de volumen compactado. (Fig. 5.ii)



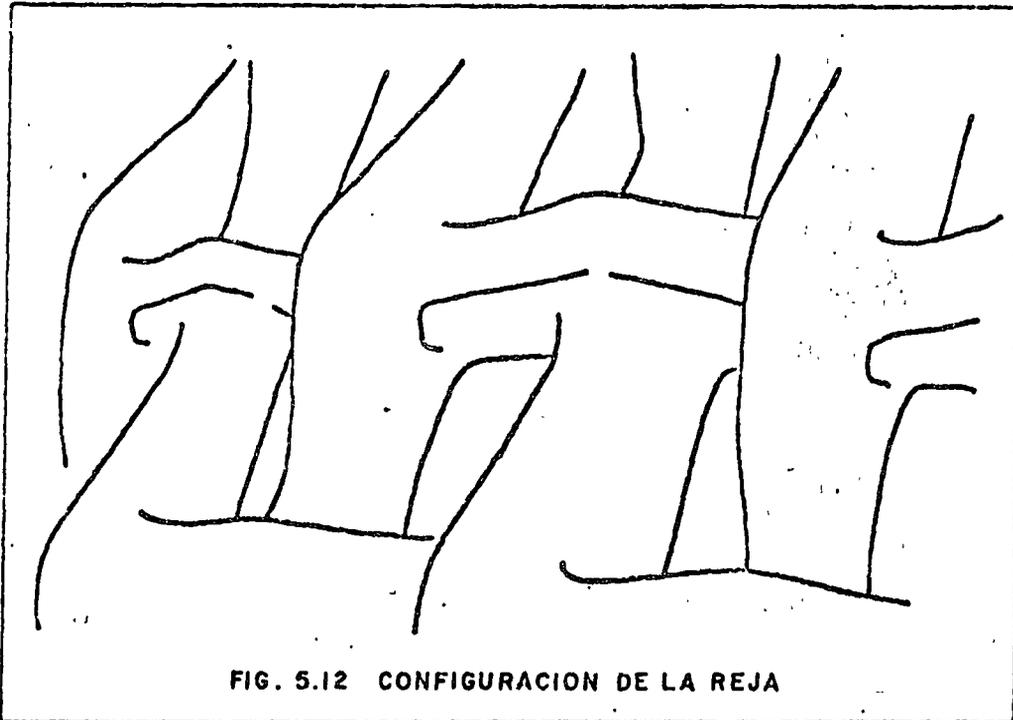
4.- RODILLO DE REJA .

Este compactador fué desarrollado originalmente para disgregar y compactar rocas poco resistentes a la compresión, como rocas sedimentarias y algunas metamórficas, para hacer caminos de penetración transitables todo el año.

El rodillo transita sobre la roca suelta sobre el camino, rompiéndola y produciendo finos que llenan los vacíos formando una superficie suelta y estable. Como una gufa la roca que se puede escarificar también se puede disgregar.

Al ser usado este equipo se encontró que era capaz de compactar a alta velocidad una gran variedad de suelos. Los puntos altos de la rejilla producen efecto de impacto, y cuando es remolcado a alta velocidad, produce efecto de vibración, efectivo en materiales granulares. El perfil alternado alto y bajo de la rejilla produce efecto de amasamiento por lo que

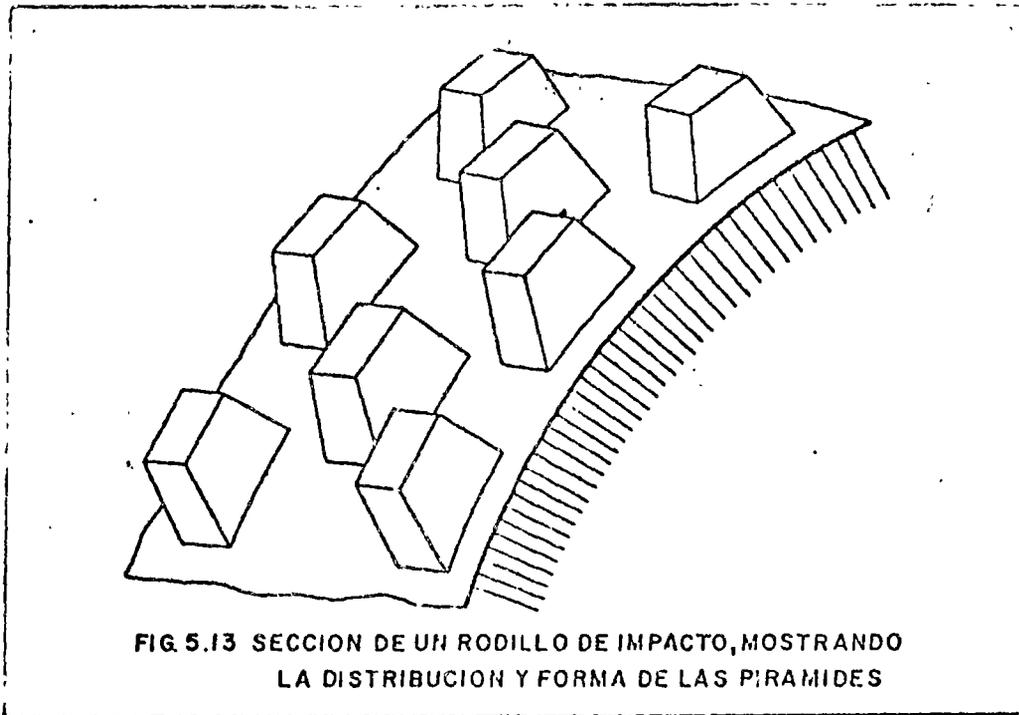
este rodillo también es eficiente en materiales plásticos. Desafortunadamente, como los materiales plásticos suelen ser pegajosos, se atascan de material los huecos de la reja y se reduce la eficiencia. (Fig. 5.12)



Estos rodillos, debido a su misma configuración no pueden dejar una superficie tersa como puede ser una base de una carretera.

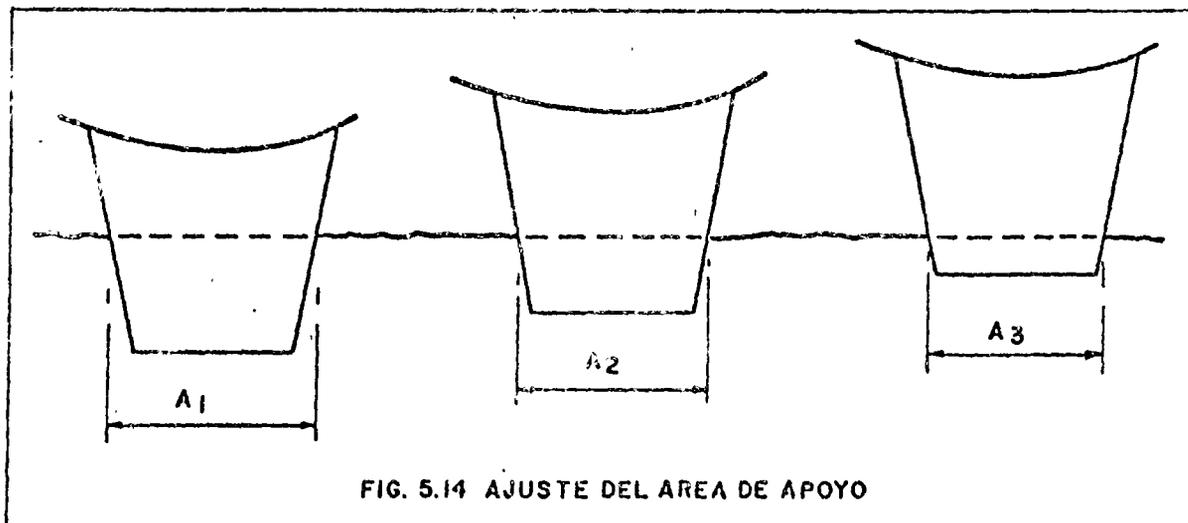
5.- RODILLO DE IMPACTO. (TAMPING ROLLER).

A causa de los problemas de limpieza del rodillo de reja, se diseñó un nuevo rodillo usando los mismos principios: el rodillo de impacto, este es un rodillo metálico, en el que se han fijado unas salientes en forma -- aproximada de una pirámide rectangular truncada. (Fig. 5.13)



Estas pirámides no son de la misma altura pues hay unas más altas-- que otras, siguiendo el modelo de puntos altos y bajos del rodillo de re-- ja, esto le dá las mismas ventajas, pudiéndose limpiar fácilmente por me-- dio de dientes sujetos al marco.

Estas salientes han sido diseñadas de tal manera que el área de con-- tacto se incrementa con la penetración, ajustándose automáticamente la pre-- sión a la resistencia del suelo compactado. (Fig. 5.14)



El diseño contempla también una fácil entrada y salida a la capa, - lo que disminuye la resistencia al rodamiento.

Estos rodillos han probado ser muy eficientes y eliminan estratificación en los terraplenes, esto es importante en corazones impermeables de presas.

Cuando un rodillo de impacto empieza una nueva capa, que no sea mayor de 30 cm. los bulbos de presión y las ondas de impacto proveen suficiente amasamiento con la capa inferior para eliminar la estratificación que ocurre con cualquier otro compactador excepto la pata de cabra.

El rodillo de impacto ha probado ser uno de los más versátiles y económicos compactadores en terracerfas, capaz de compactar eficientemente la mayor parte de los suelos. (Fig. 5.15)

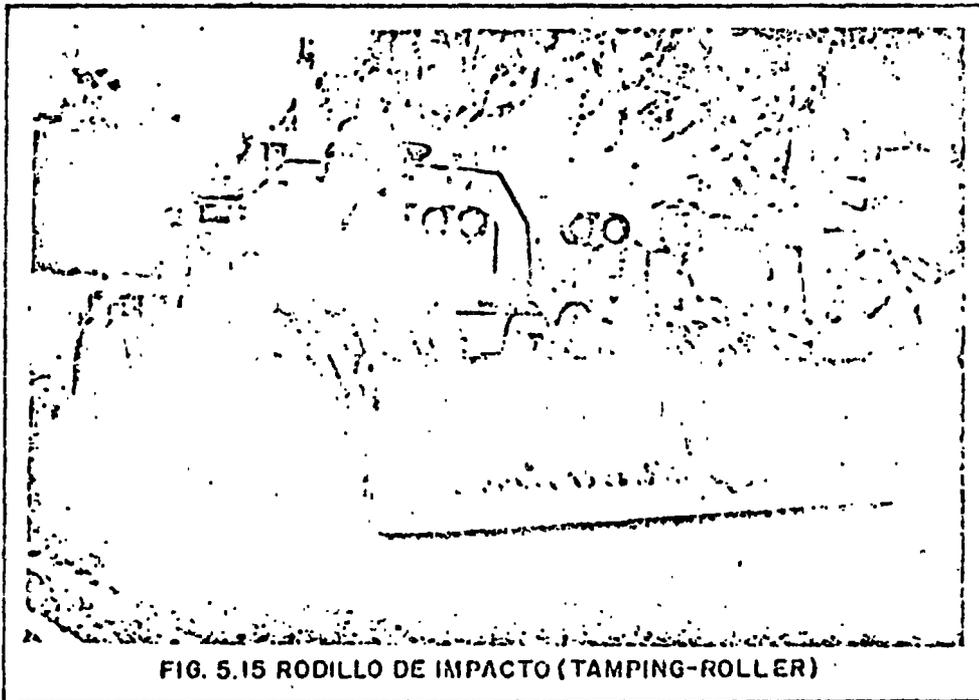


FIG. 5.15 RODILLO DE IMPACTO (TAMPING-ROLLER)

6.- RODILLOS VIBRATORIOS .

Estos rodillos funcionan disminuyendo temporalmente la fricción interna del suelo. Como en los suelos granulares (gravas y arenas) su resistencia depende principalmente de la fricción interna (en los suelos plásticos depende de la cohesión), la eficiencia de estos rodillos está casi li-

mitada a suelos granulares.

La vibración provoca un reacomodo de las partículas del suelo que resulta en un incremento del peso volumétrico, pudiendo alcanzar espesores grandes de la capa (0.80 m).

Estos rodillos pueden producir un gran trabajo de compactación en relación a su peso estático ya que la principal fuente de trabajo es la fuerza dinámica de compactación. (Fig. 5.16)

Buscando extender ventajas a suelos cohesivos se han desarrollado rodillos pata de cabra vibratorios, en los que la fuerza y la amplitud de la vibración se han aumentado, y se ha disminuido la frecuencia. Con el mismo objeto se han acoplado dos rodillos vibratorios, "fuera de fase", a un marco rígido para obtener efecto de amasamiento.

Estos rodillos se clasifican por su tamaño, pequeños hasta 9,000 kg. de fuerza dinámica y grandes de más de 9,000, pudiendo llegar hasta 20,000 Kg. ó más. Los grandes pueden llegar a sobreesforzar suelos débiles por lo que hay que manejarlos con cuidado.

Todos los vibradores deben de manejarse a velocidades de 2.5 a 5 Km/h. Velocidades mayores no incrementan la producción, y con frecuencia no se obtiene la compactación.

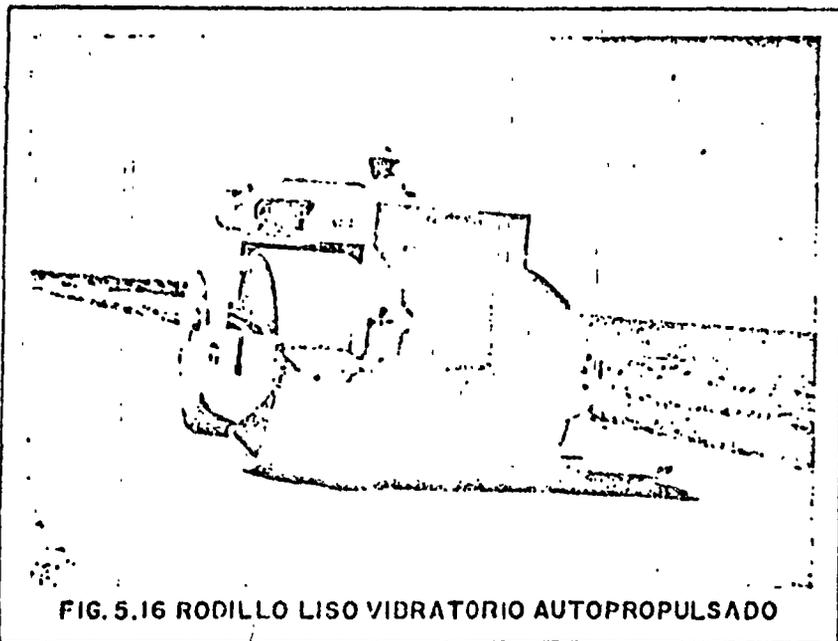


FIG. 5.16 RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO

C A P I T U L O VI

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACION

Los factores que primordialmente influyen en la obtención de una compactación económica son:

- 1) CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL
- 2) GRANULOMETRIA DEL MATERIAL
- 3) NUMERO DE PASADAS DEL EQUIPO
- 4) PESO DEL COMPACTADOR
- 5) PRESION DE CONTACTO
- 6) VELOCIDAD DEL EQUIPO COMPACTADOR
- 7) ESPESOR DE CAPA.

i) CONTENIDO DE HUMEDAD. El agua tiene en el proceso de compactación, el papel de lubricante entre las partículas del material. Una falta de humedad exigirá mayor esfuerzo compactivo, así como también lo exigirá un exceso de la misma.

Debe recordarse que todo material tiene un contenido óptimo de humedad, para el cual se obtiene, bajo una cierta energía de compactación, una densidad máxima.

El agua, entonces, facilita el trabajo de compactación.

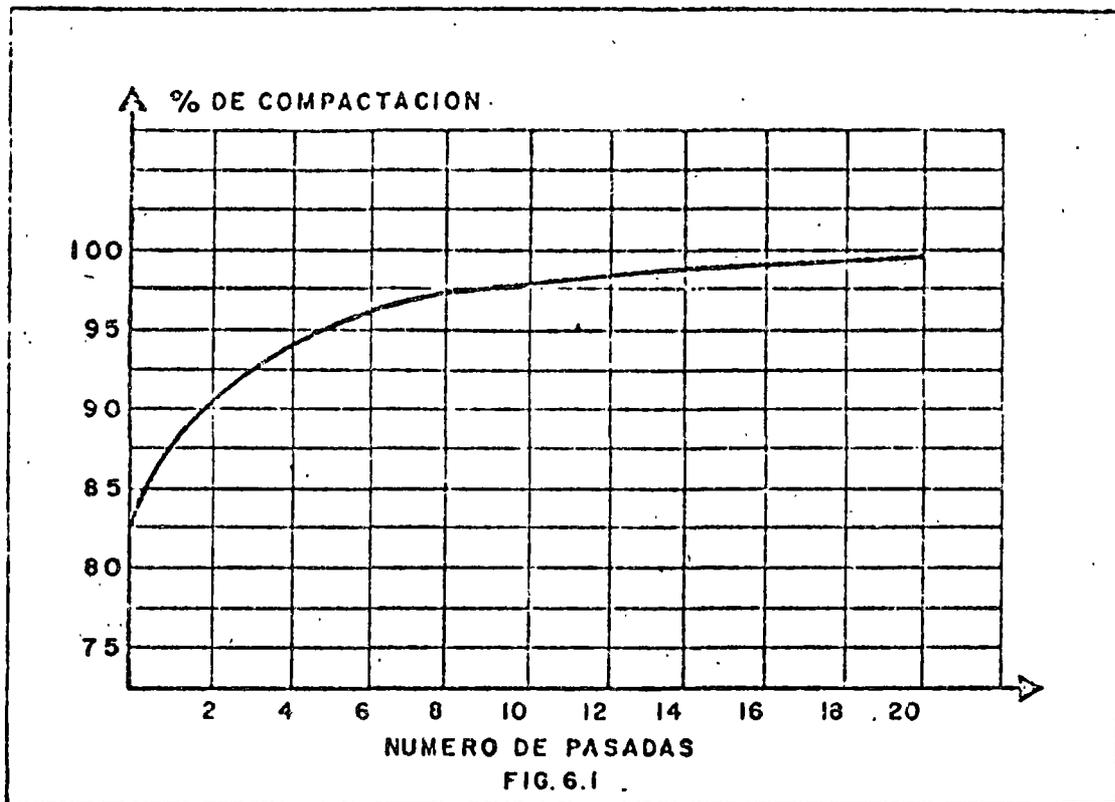
2) GRANULOMETRIA DEL MATERIAL. Para la obtención de una eficiente compactación es necesario, que haya partículas de varios tamaños en el material por compactar, ya que las partículas de menor tamaño ocuparán los espacios formados entre partículas de mayor tamaño.

Un material que contenga partículas de un solo tamaño será difícilmente compactado; sólo a través de un enérgico esfuerzo de compactación, el que provocará la fragmentación de las partículas, podrá ser densificado.

Es oportuno hacer notar aquí, que la forma de las partículas también tiene importancia en la compactación. Materiales con partículas de forma angulosa son generalmente más fácilmente compactados por sus acunamiento, que materiales con partículas redondeadas.

3) NUMERO DE PASADAS. El número de pasadas que un equipo deba dar sobre un material dependerá de: (Fig. 6.1)

- A) Tipo de compactador
- B) Tipo de material
- C) Contenido de humedad
- D) Forma en que se aplique la presión al material.
- E) Maniobrabilidad del equipo.



4) PESO DEL COMPACTADOR. La presión ejercida sobre el material dependerá, en parte, del peso del equipo de compactación.

5) PRESION DE CONTACTO. Más que el peso del compactador importa la presión de contacto; ésta depende de:

- A) Tipo de material
- B) Estado del material (Suelto ó Semicompacto).
- C) Area expuesta por el compactador
- D) Presión de inflado en el caso de un equipo sobre neumáticos.
- E) Peso del compactador.
- F) Temperatura del material tratándose de mezclas asfálticas.

Los fabricantes de equipo de compactación se han preocupado por que sus máquinas ejerzan presiones de contacto uniformes, lo cual han logrado mediante suspensiones isostáticas.

Es necesario hacer hincapié, que resulta de mayor importancia la presión de contacto de un compactador, que el peso del mismo.

Por ejemplo un compactador muy pesado necesita de un mayor número-- de llantas ó de llantas más grandes, con lo cual, el área de contacto en-- tre el compactador y el material se incrementa, resultando la presión de - contacto, similar a la de un compactador normal con menos llantas o llan-- tas menores.

6) VELOCIDAD DEL EQUIPO. De la velocidad de traslación del compacta-- dor y del número de pasadas, dependerá la habilidad de producción de un de-- terminado equipo.

El equipo de compactación debe ser de una eficiencia tal, que no in-- terfiera con el veloz equipo de depósito de material.

En virtud de que el equipo para movimiento de tierras se ha mejora-- do en tamaño, rapidez y eficiencia, así también los equipos de compactación se han modificado para poder mantenerse a un nivel de producción semejante.

La maniobrabilidad de un equipo compactador influye definitivamente en la velocidad del equipo.

7) ESPESOR DE CAPA. El espesor de capa por compactar dependerá esen-- cialmente de:

- A) Tipo de material
- B) Humedad en el material
- C) Tipo de compactador
- D) Grado de compactación especificado.

Para determinar cual es el espesor de capa, de un cierto material, -- que puede compactar un equipo determinado, se puede uno referir al método-- del bulbo de presión.

Suponiendo que se quiere compactar, con un determinado equipo, un -- material que con una presión de 2.7 Kg/cm^2 . se densifica correctamente, -- tratemos de encontrar el espesor de capa.

$$\text{presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}}$$

Se supone una área circular de contacto = $3.14 e^2$.

La fuerza es el peso por llanta del compactador = F .

La presión de contacto es:

$$p_0 = \frac{F}{3.14 e^2}$$

De donde:

$$e = \sqrt{\frac{F}{3.14 p_0}}$$

Suponiendo $F = 1800 \text{ Kg.}$ y $p_0 = 9 \text{ Kg/cm}^2$.

$$e = \sqrt{\frac{1800 \text{ Kg.}}{3.14 \times 9}} \doteq 8 \text{ cm.}$$

Recurriendo a los factores de influencia para diferentes profundidades de la teoría de Boussinesq obtenemos:

Profundidad	Factor de Influencia	Presión
$e = 8 \text{ cm.}$	$p_1 = 0.6 p_0$	$p_1 = 5.4 \text{ Kg/cm}^2$
$2e = 16 \text{ cm.}$	$p_2 = 0.3 p_0$	$p_2 = 2.7 \text{ Kg/cm}^2$
$3e = 24 \text{ cm.}$	$p_3 = 0.15 p_0$	$p_3 = 1.35 \text{ Kg/cm}^2$
$4e = 32 \text{ cm.}$	$p_4 = 0.09 p_0$	$p_4 = 0.81 \text{ Kg/cm}^2$

De lo anterior se concluye que para un material que requiere 2.7 Kg/cm^2 de presión para ser compactado eficientemente con un compactador de 1800 Kg. de carga por rueda y una presión de contacto de 9 Kg/cm^2 , se puede usar un espesor de capa de 16 cm.

SELECCION DE COMPACTADORES

La selección del compactador más adecuado no siempre es sencilla, ya que depende de muchos factores: tipo de suelo, tipo de trabajo, método de movimiento de tierras, compatibilidad con equipo de otras actividades, compactadores disponibles, continuidad de trabajo, al final de este capítulo se da una tabla de selección que se intenta como guía únicamente, pero en la selección final deben hacerse intervenir, cuando menos, los factores mencionados. Es frecuente la combinación de varios equipos que combinen los diferentes efectos de compactación.

Los factores mas importantes que deben tomarse en cuenta para esta selección son:

- 1) Tipo de Material
- 2) Tamaño de la Obra
- 3) Requerimiento especiales.

i) TIPO DE MATERIAL.

Los materiales de granulometría gruesa son los más apropiados para-

compactar por el método dinámico.

Arenas, gravas y piedra triturada son eficientemente compactadas -- con este método.

Para estos tipos de material se usan con éxito los compactadores vibratorios lisos arrastrados ó autopropulsados.

Bases y sub-bases que pueden compactar al 95%, en espesores de 20 a 25 cm. en 3 ó 4 pasadas de un rodillo vibratorio de 4600 Kg. de peso y con una frecuencia de 1500-1800 vibraciones por minuto.

Para la compactación de limos se puede usar el rodillo liso vibratorio en caso de contener un 35 % de arena. El rodillo pata de cabra vibratorio resulta adecuado para la compactación de limos que contengan arcilla.

Para materiales arcillosos o arcilla se usa el rodillo pata de cabra vibratorio ó un rodillo de impacto. Habrá que vigilar la humedad del material, como en cualquiera otro de los métodos, cuando se trate de arcillas.

2) TAMAÑO DE LA OBRA.

Dependiendo del tamaño de la obra y habiendo ya seleccionada el tipo de compactador adecuado para el material por compactar, se puede determinar, el número de compactadores necesarios para cumplir con el plazo estipulado.

3) REQUERIMIENTOS ESPECIALES.

Existen casos en que por requerimientos especiales es necesario decidir por un determinado tipo de compactador. Cuando se exige una superficie determinada ó altos grados de compactación será necesario escoger al compactador adecuado.

Debemos tener en mente que, en la construcción pesada, la inversión en equipo es cuantiosa y que éste se adquiere usualmente fuera del país. -

por lo que es muy importante pesar cuidadosamente todas las posibilidades-
para poder escoger la máquina más eficiente; esto es, el menor número posi-
ble de unidades para un trabajo determinado.

S E L E C C I O N D E C O M P A C T A D O R E S

T I P O D E M A T E R I A L

T I P O D E M A T E R I A L		RODILLO DE REJA	RODILLO DE IMPACTO	PATA DE CABRA	RODILLO VIBRATORIO	PATA DE CAJITA VIBRADOR	RODILLO METALICO	RODILLO NEUMATICO
ACABADOS DE CAMINOS Y BASES Y SUB-BASES	ACABADO DE SUPERFICIES ASFALTICAS						o	o
	BASES ASFALTICAS				o		o	o
	BASES GRANULARES					o	x	o
	SUB-BASES GRANULARES					o	x	o
ROCAS	ROCA CON FINOS		o	o		x		
GRAVAS LIMPIAS	GW	GRAVAS BIEN GRADUADAS, MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS	o	o		o		
	GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS	o	o		o		
GRAVAS CON FINOS	GM	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO	o	o		o		
	GC	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA	o	o		o		
ARENAS LIMPIAS	SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENA CON GRAVA, CON POCO O NADA DE FINOS	o	o		o		
	SP	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA CON POCO O NADA DE FINOS	o			o		
ARENAS CON FINOS	SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMOS	o	o		o	x	o
	SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y ARCILLA	x	o		o	x	o
ARCILLAS Y LIMOS	ML	LIMOS INORGANICOS, POLVO DE ROCA, LIMOS ARENOSOS O ARCILLOSOS LIGERAMENTE PLASTICOS	x	o		o	o	o
	CL	ARCILLAS INORGANICAS DE BAJA O MEDIA PLASTICIDAD, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS POBRES	x	o	o	x	o	o
	OL	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD	x	o	o	x	o	o
	MH	LIMOS INORGANICOS, LIMOS MICACEOS O DIAFOMACEOS, LIMOS ELASTICOS		o	o	x	o	o
	CH	ARCILLAS INORGANICAS DE ALTA PLASTICIDAD, ARCILLAS FRANCAS		o	o	x	o	o
	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE MEDIA O ALTA PLASTICIDAD, LIMOS ORGANICOS DE MEDIA PLASTICIDAD		o	o	x	o	o
	PI	TURBAS Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS						
PRIMERA SELECCION o		SEGUNDA SELECCION O COMBINACION o		POSIBLE REQUIEREN: ESTRICTO CONTROL x				

13-A

C A P I T U L O VIII

REGLAS A SEGUIR EN CASO DE TENER PROBLEMAS CON LA COMPACTACION

¿ Qué hacer cuando el control nos indica una falla ?

Esta pregunta la vamos a contestar por medio de diagramas lógicos, - que siguen a continuación, en los que intenta, en forma general, mostrar-- un camino lógico para un análisis formal.

En estos diagramas se usan los siguientes símbolos:



= Un hecho ó una acción.



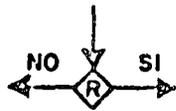
= Una alternativa.



= Pasa al punto X

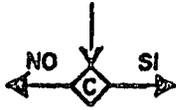


= El punto X



=

¿ Se resolvió el problema ?



=

¿ Se alcanzó la compactación ?

- P = Producción horaria (m³/h).
- A = Ancho compactado por la máquina (m)
- V = Velocidad (Km/h)
- E = Espesor de capa (cm)
- N = Número de pasadas
- 10 = Factor de conversión
- C = Eficiencia (0.6 a 0.8)

La eficiencia (C) afecta la capacidad teórica, reduciéndola por --- traslapes de pasadas paralelas, por tiempo perdido para dar vuelta y otros factores.

Conociendo los factores anteriores para cada equipo compactador, se pueden graficar, para espesor constante, las capacidades de producción como se indica en la gráfica. (Fig. 9.1)

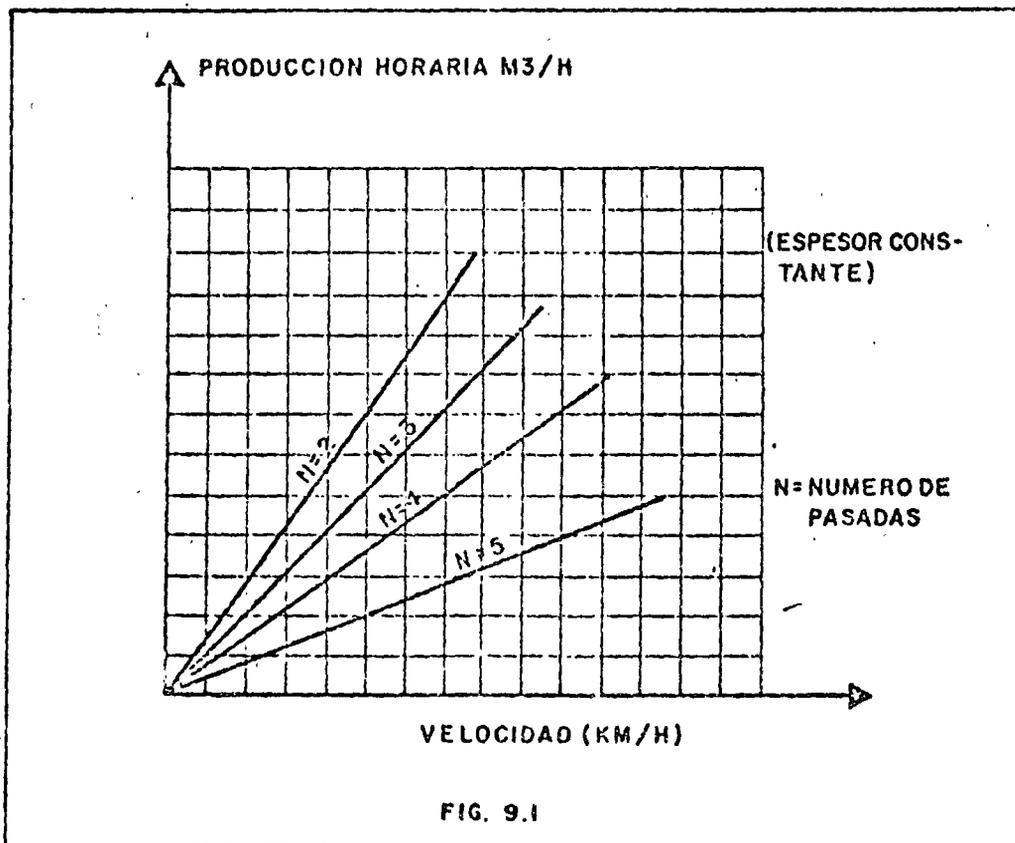


FIG. 9.1

C A P I T U L O IX

RENDIMIENTO DEL EQUIPO DE COMPACTACION- Y COSTO DE LA COMPACTACION

i) RENDIMIENTO DE UN EQUIPO DE COMPACTACION

Para determinar la producción horaria de un equipo de compactación se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- A) Ancho compactado por la máquina = A
- B) Velocidad de operación = V
- C) Espesor de Capa = E
- D) Número de pasadas para obtener la compactación especificada = N

Para calcular la producción se determina primero el área cubierta - en una hora con una pasada; dividiendo la cifra así obtenida entre el número de pasadas requeridas para obtener la compactación estipulada, resulta el área compactada de suelo por hora. Multiplicando esta última área por el espesor compactado de capa se obtiene el volumen compactado por hora.

La fórmula puede escribirse:

$$P = \frac{A \times V \times E \times 10 \times C}{N}$$

- P = Producción horaria (m³/h).
- A = Ancho compactado por la máquina (m)
- V = Velocidad (Km/h)
- E = Espesor de capa (cm)
- N = Número de pasadas
- IO = Factor de conversión
- C = Eficiencia (0.6 a 0.8)

La eficiencia (C) afecta la capacidad teórica, reduciéndola por --- traslapes de pasadas paralelas, por tiempo perdido para dar vuelta y otros factores.

Conociendo los factores anteriores para cada equipo compactador, se pueden graficar, para espesor constante, las capacidades de producción como se indica en la gráfica. (Fig. 9.1)

2) COSTO DE LA COMPACTACION.

Conociendo la capacidad de producción de un compactador y para conocer el costo del (m²) compactado es necesario determinar el costo horario del equipo.

Para la determinación del costo horario del equipo de compactación se siguen los mismos pasos que se siguen para la determinación de cualquier otro costo horario de equipo de construcción.

Es decir se deben obtener:

A) Cargos fijos.

Depreciación

Intereses

Seguros

Almacenaje

Mantenimiento

B) Consumos

Combustibles

Lubricantes

Llantas

C) Operación

D) Transporte

Sumando.

A) Cargos fijos

B) Consumos

C) Operación

D) Transporte

COSTO HORARIO

Determinado el costo horario del equipo y conociendo la producción-

del mismo, para un cierto grado de compactación, se puede obtener el costo por (m³) compactado:

$$\text{Costo por m}^3 = \frac{\text{Costo horario Equipo.}}{\text{Producción Horaria Equipo.}}$$

E J E M P L O: ①

Se tiene por compactar un material compuesto por 30 % limo y 70 % - arena.

Consideramos que se trata de un material granular y por lo tanto un compactador vibratorio es el indicado.

Se analizarán las siguientes alternativas:

- 1.- Rodillo liso vibratorio arrastrado por tractor agrícola.
- 2.- Rodillo sencillo liso vibratorio autopropulsado.
- 3.- Rodillo doble (tandem) vibratorio autopropulsado.

I.- DETERMINACION DE COSTOS HORARIO .

- 1.- Rodillo liso arrastrado por tractor agrícola.

PRECIO DE ADQUISICION RODILLO	\$ 180,000.00
PRECIO DE ADQUISICION TRACTOR	\$ <u>140,000.00</u>
	\$ 320,000.00

Se considera una vida útil del conjunto de 8000 Horas y un valor de rescate de cero.

Cargos fijos	\$ 102.00
Consumos	\$ 6.00
Operación	\$ 12.00
Transporte	\$ <u>3.00</u>
	\$ 123.00/HORA

2.- Rodillo sencillo vibratorio autopropulsado.

PRECIO DE ADQUISICION \$ 390,000.00

Se considera también una vida útil de 8000 Horas y un valor de rescate de cero.

Cargos fijos	\$ 112.00
Consumos	\$ 6.00
Operación	\$ 12.00
Transporte	\$ 3.00
	<hr/>
	\$ 133.00/HORA

3.- Rodillo tandem vibratorio autopropulsado.

PRECIO DE ADQUISICION \$ 725,000.00

Haremos la misma consideración por lo que respecta a vida útil y -- valor de rescate que las alternativas anteriores.

Cargos fijos	\$ 205.00
Consumos	\$ 12.00
Operación	\$ 12.00
Transporte	\$ 3.00
	<hr/>
	\$ 232.00/HORA.

II.- DETERMINACION DE PRODUCCIONES HORARIAS.

I.- Rodillo arrastrado por tractor agrícola.

Ancho = 1.50 m.

Velocidad = 4 Km/h.

Espesor = 20 cm.

Número de pasadas = 4 para 95%

Coefficiente de reducción = 0.7.

$$P = \frac{1.50 \times 4 \times 20 \times 10 \times 0.7}{4}$$

$$P = 210 \text{ m}^3/\text{HORA.}$$

2.- Rodillo autopropulsado.

Ancho = 2.14 m.

Velocidad = 4 Km/h.

Espesor = 20 cm.

Número de pasadas = 4 para 95 %

Coefficiente de reducción = 0.8

(Es de mayor maniobrabilidad y de mayor energía dinámica).

$$P = \frac{2.14 \times 4 \times 20 \times 10 \times 0.8}{4}$$

$$P = 342.4 \text{ m}^3/\text{HORA}$$

3.- Rodillo tandem autopropulsado.

Ancho = 1.50 m.

Velocidad = 4 Km./h.

Espesor = 20 cm.

Número de pasadas = 2 (por ser dos rodillos)

Coefficiente de reducción = 0.8

$$P = \frac{1.50 \times 4 \times 20 \times 10 \times 0.8}{2}$$

$$P = 480 \text{ M}^3/\text{HORA.}$$

III.- DETERMINACION DE COSTO DE COMPACTACION .

	COSTO HORARIO	PRODUCCION COSTO x M ³ .
Caso 1	\$ 123.00/h.	210 M ³ /h. \$ 0.59/M ³ .
Caso 2	\$ 133.00/h.	342.4 M ³ /h \$ 0.39/M ³ .
Caso 3	\$ 232.00/h.	480 M ³ /h. \$ 0.48/M ³ .

Se hace notar que a pesar de que la diferencia de valor de adquisición entre los casos (1) y (3) es de 126 % aproximadamente, se obtiene un ahorro en el caso (3), del costo de compactación, cercano al 20 %.

Suponiendo que se contara con un compactador de impacto autopropulsado, con costo horario de \$ 240.00 y se tratara de compactar el material granular del ejemplo, se obtiene:

Producción Horaria:

Ancho = 1.94 mts.

Velocidad = 9 Km./hora

Espesor = 20 cm.

Número de pasadas = 8 pasadas (contando sus cuatro rodillos).

Coefficiente de reducción = 0.8

$$\text{Producción} = \frac{1.94 \times 9 \times 20 \times 10 \times 0.8}{8}$$

$$\text{Producción} = 349.2 \text{ M}^3/\text{H}$$

$$\text{Costo por compactación} = \frac{\$ 240.00/\text{H.}}{349.2 \text{ M}^3/\text{H.}}$$

$$\text{Costo} = \$ 0.69/\text{M}^3.$$

El costo obtenido demuestra una mala selección del equipo, ya que resultó mayor que los obtenidos para rodillos vibratorios.

El caso contrario puede encontrarse cuando con un rodillo vibratorio liso traten de compactarse materiales altamente cohesivos para los cuales el compactador de impacto resultará más ventajoso.

EJEMPLO ②

MATERIAL POR COMPACTAR: Arena bién graduada.

VOLUMEN POR COMPACTAR: 800 m³. sueltos/hora.

FACTOR DE REDUCCION AL 95% = 0.85

A) PLANCHA TANDEM.

Ancho rodillos = 2.00 mts.

Velocidad máxima de desplazamiento 7 Km./h.

Número de pasadas para obtener el 95 % de compactación = 10.

Espesor compacto de capa = 12 cm.

Costo horario = \$ 68.00/h.

B) RODILLO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO

Ancho rodillo = 1.50 mts.

Velocidad máxima de desplazamiento = 4 Km./h.

Número de pasadas para obtener el 95 % de compactación = 3

Espesor compacto de capa = 25 cm.

Costo horario = \$ 180.00/hora.

PREGUNTAS.

- 1.- ¿ Cuantas planchas tandem son necesarias para compactar 800 m³. sueltos por hora?.
- 2.- ¿ Cuantos rodillos vibratorios son necesarios para compactar -- 800 m³. sueltos por hora ?.
- 3.- ¿ Cual equipo proporcionará una compactación más económica ?.

Se determinan primero las producciones horarias de los equipos.

A) PLANCHA TANDEM.

$$P = \frac{2.00 \times 7 \times 12 \times 10 \times 0.8}{10}$$

$$P = 134.4 \text{ M}^3/\text{h. (compactos)}$$

B) RODILLO VIBRATORIO.

$$P = \frac{1.50 \times 4 \times 25 \times 10 \times 0.8}{3}$$

$$P = 400 \text{ m}^3/\text{h. (Compactos)}$$

Como las producciones se han determinado en forma compacta y el volumen por hora por compactar esta dado en m^3 . sueltos, se debe convertir este último también a forma compacta.

Volumen suelto x factor de reducción = Vol compacto.

$$\begin{aligned} \text{Vol compacto} &= 800 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.85 \\ &= 680 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

RESPUESTAS: -

1.- Se necesitan tantas planchas como:

$$\frac{680 \text{ m}^3/\text{h.}}{134.4 \text{ m}^3/\text{h.}} = \text{No. de planchas}$$

$$\text{No. de planchas} = 5.06$$

Se pueden utilizar 5 unidades, pero con utilización óptima que frecuentemente resulta difícil de obtener.

Se recomienda usar 6 unidades.

2.- Los rodillos vibratorios necesarios son:

$$\frac{680 \text{ m}^3/\text{h.}}{400 \text{ m}^3/\text{h.}} = \text{No. de rodillos}$$

No. de rodillos = 1.7

No. de rodillos = 2

Usando dos rodillos tendremos como factor de seguridad 0.3 de rodillo.

3.- Determinación del costo de compactación:

A) Planchas Tandem.

$$\text{Costo} = \frac{\text{Costo horario}}{\text{Producción}}$$

$$\text{Costo} = \frac{\$ 68.00/\text{h.}}{134.4 \text{ M}^3/\text{h.}}$$

$$\text{Costo} = \$ 0.51/\text{m}^3.$$

B) Rodillos Vibratorios.

$$\text{Costo} = \frac{\$ 180.00/\text{h.}}{400 \text{ m}^3/\text{h.}}$$

$$\text{Costo} = \$ 0.45/\text{m}^3.$$

EJEMPLO ③

Una compañía dispone para un trabajo de terracerías, de un rodillo-liso vibratorio autopulsado con las siguientes características:

Ancho del rodillo = 1.50 mts.

Velocidad máxima de desplazamiento = 5 Km./h.

Número de pasadas para obtener el 100 % de compactación = 9.

Espesor compacto de capa = 18 cm.

Costo horario = \$ 180.00/h.

El material por compactar es una arcilla limosa y el volumen total es de 900,000 M³. compactos.

PREGUNTA.

¿ Se justifica la adquisición de un compactador de impacto con las siguientes características?.

Costo de adquisición \$ 850,000.00

Costo horario = \$ 230.00/h.

Producción horaria al 100 % de compactación = 230 m³/h.

Se debe determinar para cada equipo el costo de compactación.

A) Para rodillo vibratorio.

$$\text{Producción} = \frac{1.50 \times 4 \times 18 \times 10 \times 0.8}{9}$$

$$\text{Producción} = 96 \text{ m}^3/\text{h}.$$

$$\text{Costo compactación} = \frac{\$ 180.00/\text{h}}{96 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\text{Costo compactación} = \$ 1.88/\text{m}^3.$$

B) Para compactador de impacto.

$$\text{Costo compactación} = \frac{\$ 230.00/\text{h.}}{230 \text{ m}^3/\text{h.}}$$

$$\text{Costo compactación} = \$ 1.00/\text{m}^3.$$

Comparando un costo contra el otro, se observa que existe una diferencia de \$ 0.88/m³. a favor del compactador de impacto.

Como el volumen por compactar es de 900,000 m³. el ahorro total por compactación es de \$ 792,000.00 el cual justifica ampliamente la adquisición del compactador de impacto, que en este caso específico, resultaría el adecuado para el material por tratar.

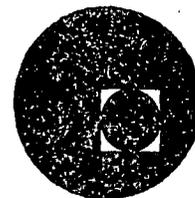
C A P I T U L O X

CONCLUSIONES

- 1) La forma de mejorar los elementos mecánicos resistentes en un suelo es la compactación.
- 2) Los efectos mas importantes que produce una buena compactación en un suelo son: Resistencia mecánica, minimización de asentamientos y reducción de la permeabilidad.
- 3) El factor de mayor importancia para dar una compactación óptima en un suelo; es el contenido de humedad del material.
- 4) Los esfuerzos de compactación pueden transmitirse al suelo por la combinación de uno ó mas de los siguientes efectos: Presión-estática, impacto, vibración, amasamiento ó con ayuda de enzimas.
- 5) El compactador que deba usarse dependerá básicamente del tipo de suelo que se quiera compactar.
- 6) La selección de compactadores deberá hacerse con mucho cuidado y tratando de hacer intervenir todas las variables posibles ya que de esto dependerá el éxito económico y funcional de la compactación.
- 7) De un buen control depende que la compactación se lleve a cabo correctamente.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

CARPETAS DE RIEGOS

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO

JUNIO, 1978.

CONSTRUCCION DE CARPETAS ASFALTICAS DE RIEGOS, CARPETAS DE MEZCLA EN FRIO CON PLANTA ESTACIONARIA Y CARPETAS DE MEZCLA EN EL LUGAR.

1. - EQUIPOS Y MATERIALES.

Antes de describir los procedimientos de construcción, hablaremos de los equipos y materiales que intervienen en ellos.

1.1) PETROLIZADORA. Esta máquina consiste básicamente en un tanque de almacenamiento para el asfalto y está provista de un sistema de calentamiento, de una bomba de presión, una barra de riego con espreas, tacómetro, termómetro y aditamento de medición de volúmenes.

Esta máquina debe ser capaz de regar los asfaltos de una manera uniforme y dosificada.

Para ello, el asfalto debe tirarse a una temperatura adecuada, y la presión en las espreas debe ser uniforme.

Para calentar los asfaltos a la temperatura indicada está provista de unos quemadores que pueden ser de diesel ó de gas. Para mantener una presión y un flujo uniforme sobre la barra de riego está provista de una bomba de engranes movida por un motor especial para ello.

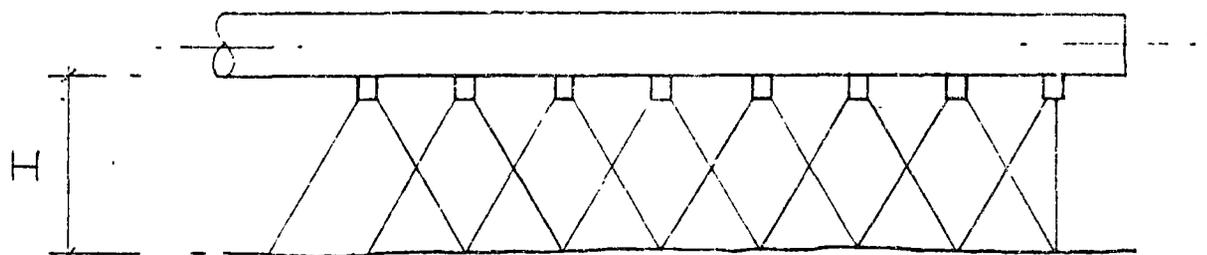
Para operarla se siguen las siguientes operaciones:

- a) Se llena con una cantidad mayor a la que se va a regar (200 ó 300 Lts. más).*
- b) Se encienden los quemadores para calentar el asfalto a la temperatura adecuada, la que se vigila por medio del termómetro.*
- c) Se calcula la velocidad de la máquina en función del número de litros por segundo de asfalto que tiran las barras y de la dosificación de asfalto para el riego.*

Por ejemplo, sabemos que por cada metro de barra se tiran 4 lts/seg. y que debemos tirar 1.2 lts/m².

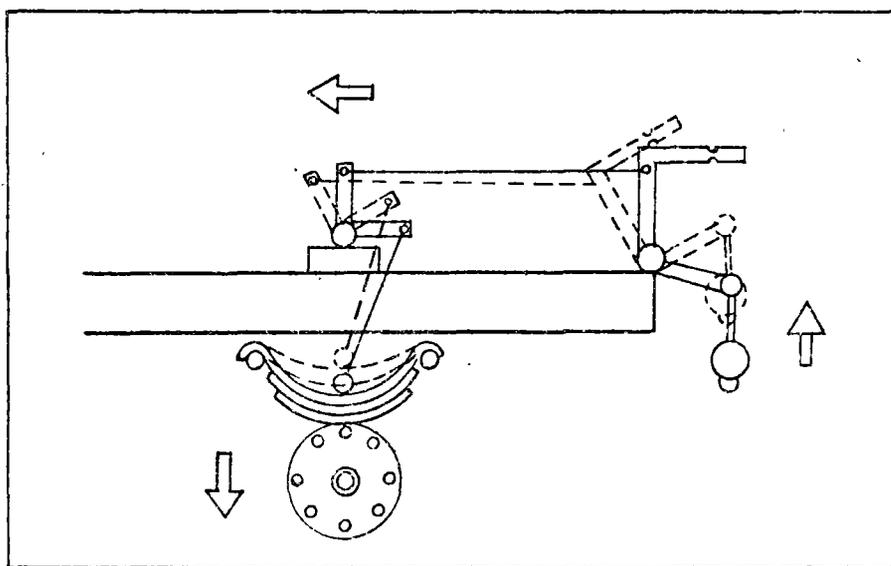
$$\text{velocidad} = \frac{4 \text{ lts/seg.} \cdot m}{1.2 \text{ lts/m}^2} = 3.33 \text{ m/seg.}$$

Esta velocidad se controla con el tacómetro que es una pequeña rueda adicional que mide velocidades pequeñas con una gran

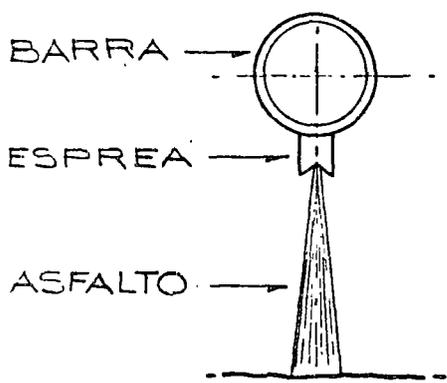


VISTA DE FRENTE (CORRECTO)

FORMA COMO LAS ESPREAS DISTRIBUYEN
EL ASFALTO (CONTINUACION)

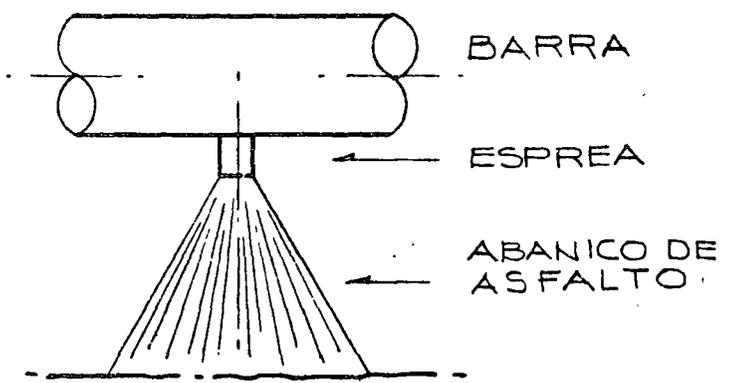


MECANISMO PARA MANTENER UNIFORME
LA ALTURA DE LA BARRA DE RIEGO



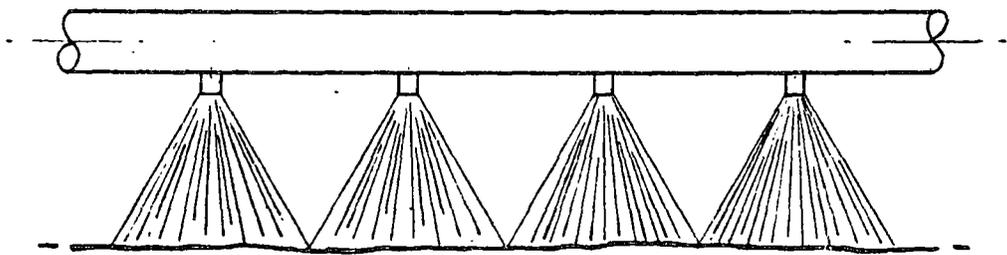
BARRA →
ESPREA →
ASFALTO →

VISTA DE LADO



BARRA
ESPREA
ABANICO DE ASFALTO

VISTA DE FRENTE



VISTA DE FRENTE (INCORRECTO)

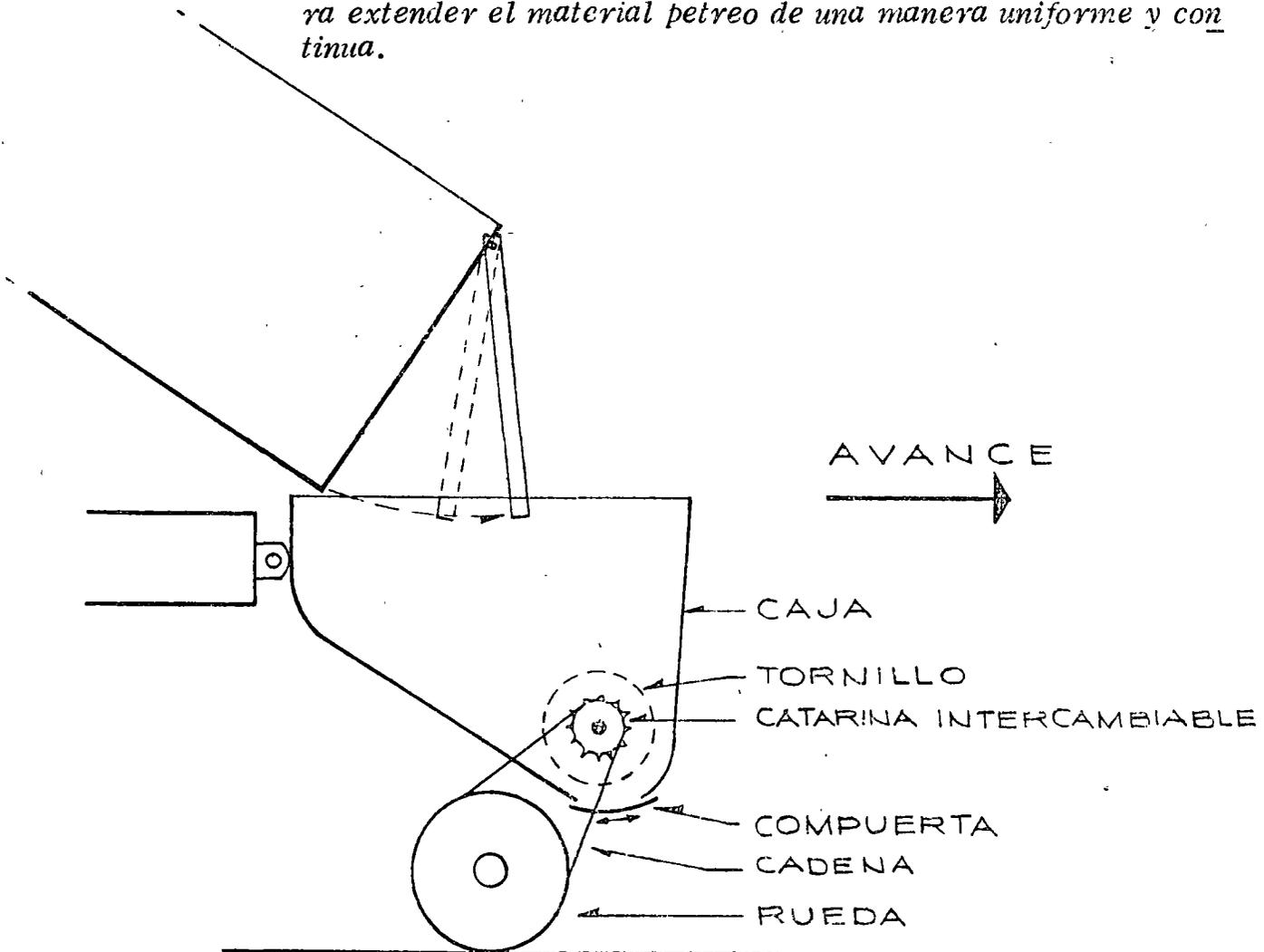
FORMA COMO LAS ESPREAS DISTRI-
BUYEN EL ASFALTO

precisión. La carátula del tacómetro está cerca del volante - visible al operador.

De esta forma la petrolizadora está lista para operar.

1.2) ESPARCIDOR DE MATERIALES PETREOS.

Esta máquina, se engancha a un camión de volteo y sirve para extender el material petreo de una manera uniforme y continua.



CROQUIS DE UN ESPARCIDOR

El material petreo cae del camión a la caja del esparcidor, un tornillo de Arquímedes movido por una cadena desde las ruedas del esparcidor se encarga de uniformizar el flujo del material y una compuerta, movida por una palanca regula el flujo del material. Estas máquinas se regulan a base de cambiar la catarina la que controla la velocidad del tornillo.

Los principales defectos a evitar en carpetas de riegos son:

- 1) Rayado (aparición de rayas longitudinales).
- 2) Poco asfalto.
- 3) Mucho asfalto.
- 4) Desprendimiento de agregados.

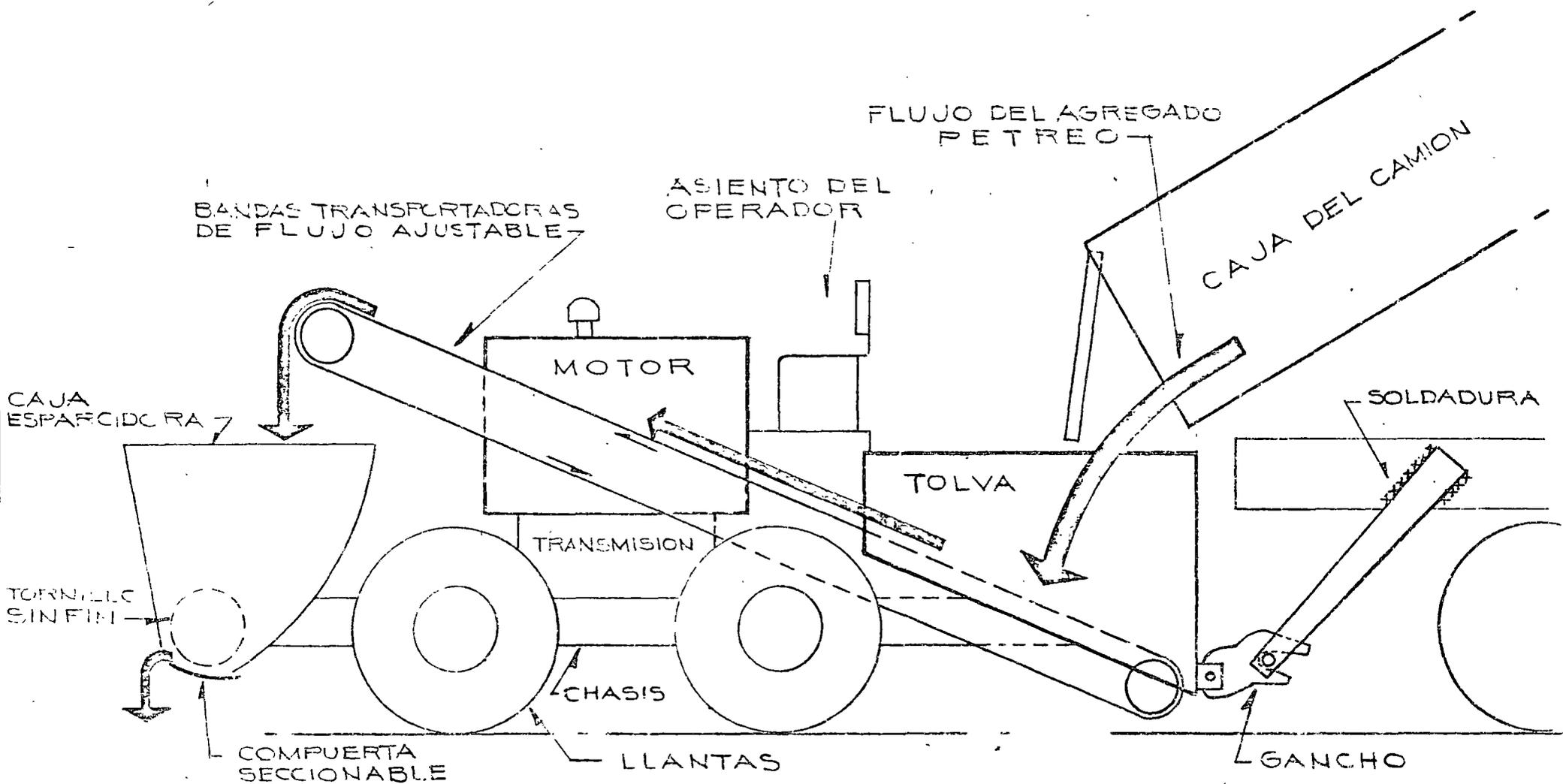
Estos se evitan con riegos uniformes y bien dosificados. Hasta hace poco tiempo esto era muy difícil de hacer por las siguientes razones:

- a) Riegos de asfalto: la dosificación dependía de la habilidad del operador para mantener la velocidad es decir si el operador tenía que llevar la petrolizadora a 300 pies por minuto, normalmente la llevaba entre 250 y 350 f. p. m. lo que hacía el riego poco uniforme.

Por otra parte la altura de la barra de riego, generalmente fija a la máquina, dependía de la carga variable del asfalto, empezando baja la altura de la barra y terminando alta al vaciarse la petrolizadora. Esto provocaba traslapes variables de los chorros de las espreas lo que daba por resultado un riego rayado.

En las petrolizadoras modernas estos defectos se han eliminado por medio de mecanismos que regulan el flujo del asfalto en función de la velocidad y mantienen fija la altura de la barra de riego.

- b) Riegos de material pétreo. Los continuos cambios del esparcidor colgado a los camiones provocaban retardos en el tiempo de riego y no permitían un riego continuo pero si provocaban traslapes defectuosos en cada cambio. Esto se ha remediado con esparcidores autopropulsados de enganche rápido a los camiones y que disponen de tolvas de capacidad suficiente para permitir el cambio de camiones sin interrumpir el riego.



CROQUIS DE UN ESPARCIDOR
 AUTOPROPULSADO

a)Asfaltos rebajados de freguado rápido

Características	G R A D O				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
<u>Pruebas al material asfáltico.</u>					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo.....			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25°C, segundos..	75-150				
A 50°C, segundos..		75-150			
A 60°C, segundos..			100-200	250-500	
A 82°C, segundos..					125-250
<u>Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C</u>					
Hasta 190°C, mínimo	15	10			
Hasta 225°C, mínimo	55	50	40	25	8
Hasta 260°C, mínimo	75	70	65	55	40
Hasta 315°C, mínimo	90	88	87	83	80
<u>Residuo de la destilación a 360°C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo</u>					
	50	60	67	73	78
<u>Agua por destilación, por ciento, máximo</u>					
	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<u>Pruebas al residuo de la destilación.</u>					
Penetración, grados	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad en centímetros, mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

b) Asfaltos rebajados de fraguado medio

Características.	G R A D O				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
<u>Pruebas al material asfáltico</u>					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag.) °C mínimo.	38	38	66	66	66
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25°C, segundos	75-150				
A 50°C, segundos		75-150			
A 60°C, segundos			100-200	250-500	
A 82°C, segundos					125-250
Destilación: Por ciento a 360°C					
Hasta 225°C, máximo	25	20	10	5	0
Hasta 260°C,	40-70	25-65	15-55	5-40	30 Máx.
Hasta 315°C,	75-93	70-90	60-87	55-85	40-80
Residuo de la destilación a 360°C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo	50	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<u>Pruebas al residuo de la destilación.</u>					
Penetración, grados	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en centímetros mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

b) *Asfaltos rebajados de fraguado medio:*

*FM-0 de 20°C a 40°C
FM-1 de 30°C a 60°C
FM-2 de 70°C a 85°C
FM-3 de 80°C a 95°C
FM-4 de 90°C a 100°C.*

c) *Asfaltos rebajados de fraguado rápido:*

*FR-0 de 20°C a 40°C
FR-1 de 30°C a 50°C
FR-2 de 40°C a 60°C
FR-3 de 60°C a 80°C
FR-4 de 80°C a 100°C*

d) *Emulsiones asfálticas:*

Por lo general no requieren calentamiento de 5°C a 40°C

No deberán aplicarse riegos de materiales asfálticos cuando la temperatura sea menor de 5°C, cuando haya amenaza de lluvia ó cuando la velocidad del viento impida que la aplicación sea uniforme.

2. - CARPETAS ASFALTICAS DE RIEGOS.

Estas carpetas se usan para tránsitos ligeros (menores de 250 vehí- culos por día) y se pueden definir como lo hace la Secretaría de -- Obras Públicas:

Las que se construyen mediante uno (1), dos (2), ó tres (3) riegos de materiales asfálticos, cubiertos sucesivamente con capas de materiales pétreos de diferentes tamaños, triturados y/ó cribados.

CARPETAS DE 1 RIEGO. - Después que la imprimación haya cura- do durante 24 horas por lo menos, se aplica el material asfáltico (según la dosificación prescrita) directamente sobre la capa de ba- se que ha recibido la imprimación.

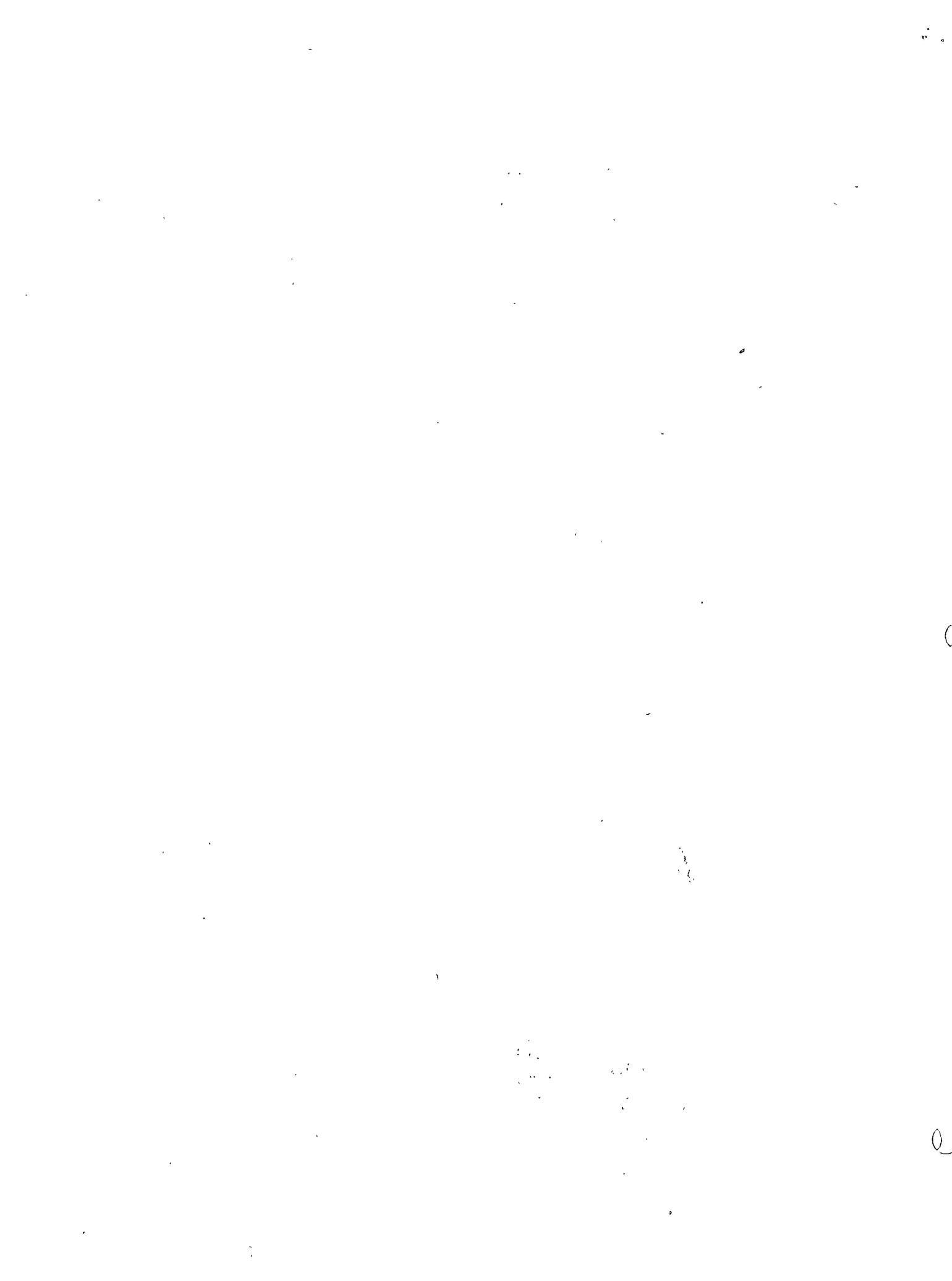
El traslape de las aplicaciones de material asfáltico en la unión de dos aplicaciones produce un exceso de asfalto que fluye a la superficie y origina una situación de inestabilidad y un aspecto desagradable del riego terminado. Las lagunas ó aplicaciones es- casas en las uniones dan lugar a la retención de poca ó ninguna -- gravilla, y el retoque es necesario inmediatamente.

Para eliminar estos defectos al final de una aplicación y comienzo de otra, las aplicaciones de material asfáltico deben empezar y -- terminar todas sobre una ó más tiras de papel de construcción ó -- de envolver, colocado a través del camino antes de iniciar el tra-- bajo. El borde anterior del papel se coloca de tal forma que coin-- cida exuctamente con el borde del material asfáltico aplicado en -- último lugar, para mantener este en su sitio se coloca sobre él -- una pequeña cantidad de áridos. A continuación, la petrolizadora inicia su movimiento hacia adelante, a suficiente distancia detrás del borde anterior de las tiras de papel, para alcanzar la veloci-- dad predeterminada en el momento en que la barra regadora al-- canza el papel, de manera que el paso de material asfáltico a tra-- vés de la barra distribuidora se abre cuando ésta pasa sobre el pa-- pel, y el primer material se riega sobre este antes de alcanzar su borde anterior. Después se retira el papel y se destruye. Así se obtiene un borde bien definido de la capa de ligante asfáltico aplica-- do a la base sobre la imprimación.

Como las aplicaciones de material asfáltico se terminan sobre una ó más tiras de papel, situadas a través del camino ó de la zona en la que se está aplicando el material, es necesario que el papel se coloque antes del comienzo de la operación. La posición de este -- para terminar una aplicación se determina calculando la distancia que debería cubrirse por la carga de material asfáltico que lleva la petrolizadora y situando el papel a suficiente distancia por delante de este punto teórico para que al alcanzarlo queden en el tanque de 200 a 300 litros de material. El paso del asfalto se corta cuando la barra llega al papel, al mismo tiempo que se detiene el avance del camión, de forma que todo el material que gotee de la barra caiga sobre aquel. Después de quitar el papel queda otro borde bien de-- finido de material asfáltico, que permite obtener un buen enlace con la aplicación siguiente. No debe intentarse aplicar toda la carga -- del distribuidor, porque cuando el material baja demasiado en el -- tanque, la bomba empieza a aspirar material mezclado con aire y el caudal deja de ser uniforme.

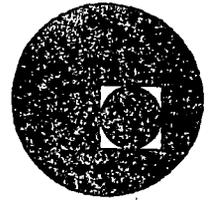
Para asegurar una alineación adecuada de la aplicación del mate-- rial asfáltico se atiranta una cuerda a lo largo del paseo ó cerca -- del borde de la aplicación, de modo que sirva de guía al conductor de la petrolizadora.

Inmediatamente después de la aplicación del material asfáltico se -- extienden los materiales pétreos por medio de un esparcidor mecá-- nico, con el fin de aprovechar la fluidez del asfalto y obtener la --- adherencia de la máxima cantidad de pétreos. En determinadas con-- diciones puede ser necesario reducir la longitud de la aplicación del asfalto para que pueda ser cubierto con los áridos en un tiempo má-- ximo especificado.





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

CARPETAS DE MEZCLAS

ING. EMILIO GIL VALDIVIA.

JUNIO DE 1978.

TEMARIO.

OBJETIVOS.

INTRODUCCION

PARTE PRIMERA.

PLANTA DE PRODUCCION DISCONTINUA

PARTE SEGUNDA.

PLANTA DE PRODUCCION CONTINUA

PARTE TERCERA.

CONTROL DE CALIDAD

ESPECIFICACIONES

PROBLEMAS

BIBLIOGRAFIA.

O B J E T I V O S :

Se pretende que al término de esta plática, el alumno sea capaz de describir los diferentes tipos de plantas para elaboración de concreto asfáltico y su funcionamiento.

Con los datos que se le proporcionarán deberán efectuar la calibración teórica de una planta para elaboración de concreto asfáltico. Un buen trabajo será aquél que se apegue al proyecto, cumpla con las tolerancias especificadas y logre la mayor eficiencia de la planta.

INTRODUCCION.

En la construcción de pavimentos, se puede decir, que la calidad de las diferentes capas que lo forman, es mayor a medida que están más cerca de la rasante. Esto trae como consecuencia que las capas superiores sean construídas con procedimientos tales que garanticen la calidad esperada.

Por lo tanto, la calidad de las mezclas asfálticas, esta en función directa del procedimiento y equipo de elaboración de estas.

Las mezclas asfálticas elaboradas en planta, son de una calidad superior a las construídas por otros procedimientos.

Es por esto que tiene una especial importancia, para el constructor de pavimentos, el conocimiento detallado del funcionamiento de las plantas para elaboración de mezclas asfálticas.

Estas plantas pueden ser, desde simples mezcladoras hasta dosificadoras que son accionadas por una computadora.

Los elementos básicos de una planta para elaboración de mezclas asfálticas son:

- a).- Sistema para alimentación de áridos fríos.
- b).- Sistema de secado y calentamiento de materiales.
- c).- Sistema de dosificación y mezclado.

Existen otros accesorios que no son indispensables para la elaboración de la mezcla, como son:

- a).- Sistemas especiales para colección de polvos,
- b).- Sistemas para almacenamiento de mezclas (Silos)
- c).- Sistemas de control automático de dosificación por medios electrónicos.

Estos accesorios no son indispensables, pero existe una marcada tendencia a su utilización, por las ventajas que presentan, en los países donde se utilizan.

Haciendo una breve descripción de cada una de las secciones de una planta, podemos decir lo siguiente:

A. - Sección de dosificación de áridos fríos.

Está formada por varias tolvas (3 ó 4), que en su parte inferior tienen compuertas que sirven para regular el caudal del material contenido en ellas. Tiene además alimentadores de banda o de vaivén que sirven para transportar los materiales al elevador de fríos que comúnmente es del tipo de canchales.

B. - Sección del secador y colector de polvos.

Está formado por un horno rotatorio o secador, cuya función es la de sacar el material y calentarlo a una temperatura que facilite el mezclado con el asfalto. Tiene además un ciclón o colector de polvos que como su nombre lo indica, sirve para recoger las partículas finas que por efecto de la combustión y de la corriente de aire, tiende a salirse por el tiro del secador.

C. - Sección de dosificación y mezclado de materiales calientes.

Esta parte está formada por un sistema de cribas vibratorias, cuya función es separar los materiales calientes en los diferentes tamaños que se requieran de acuerdo con el número de tolvas que en esta parte se tienen para almacenamiento de material pétreo. El sistema de básculas (en las plantas de producción discontinua) y las compuertas de las tolvas de material caliente (en las de producción contfínua), sirven para dosificar adecuadamente los materiales pétreos. El sistema de incorporación de asfalto es la parte de esta sección que regula la cantidad necesaria de asfalto para la mezcla. Por último está el mezclador que como es obvio, efectúa la mezcla de los materiales pétreo-asfalto.

P A R T E P R I M E R A

PIANTA DE TIPO DISCONTINUO.

Este tipo de planta es el más común en la actualidad en nuestro país. También se le llama Planta de "Bachas". Puede ser de muy variadas capacidades, pero las más usuales son las de 2,000 y 4,000 lbs. por "bacha".

La planta de tipo discontinuo, está compuesta de varios elementos principales, como se puede ver en el esquema.

El funcionamiento de la planta y sus distintos elementos es el siguiente (numerados conforme el esquema).

El material procedente del almacén se alimenta a la planta por medio de tractor o cargador, depositándose en las tolvas para material frío (1), por lo general son cuatro tolvas, dispuestas para alimentar material pétreo de distintos tamaños. Estas tolvas están equipadas, en su descarga, con compuertas ajustables para regular la caída del material al alimentador de fríos (2) (el cual puede ser de banda o de vaivén), por lo que es posible dosificar el material pétreo frío, para que caiga al depósito (3) con una primera graduación granulométrica. De este depósito es llevado por el elevador de --cangilones (4), hasta la tolva de entrada del secador (5), en esta parte se encuentra una rejilla para impedir la entrada de objetos mayores al tamaño fijado. Al entrar el material al secador (7), el polvo (6), puede ser reincorporado, en caso necesario, en el recipiente (8), en donde se une al material que sale del secador. De allí es llevado por un segundo elevador de

INSTALACION MEZCLADORA DISCONTINUA

1 ALMACENAJE Y ALIMENTACION DE ARIDOS FRIOS

Almacena los aridos y los alimenta exactamente la cantidad de cada uno a la vez para ser mezclados en la unidad mezcladora.

7 SECADOR

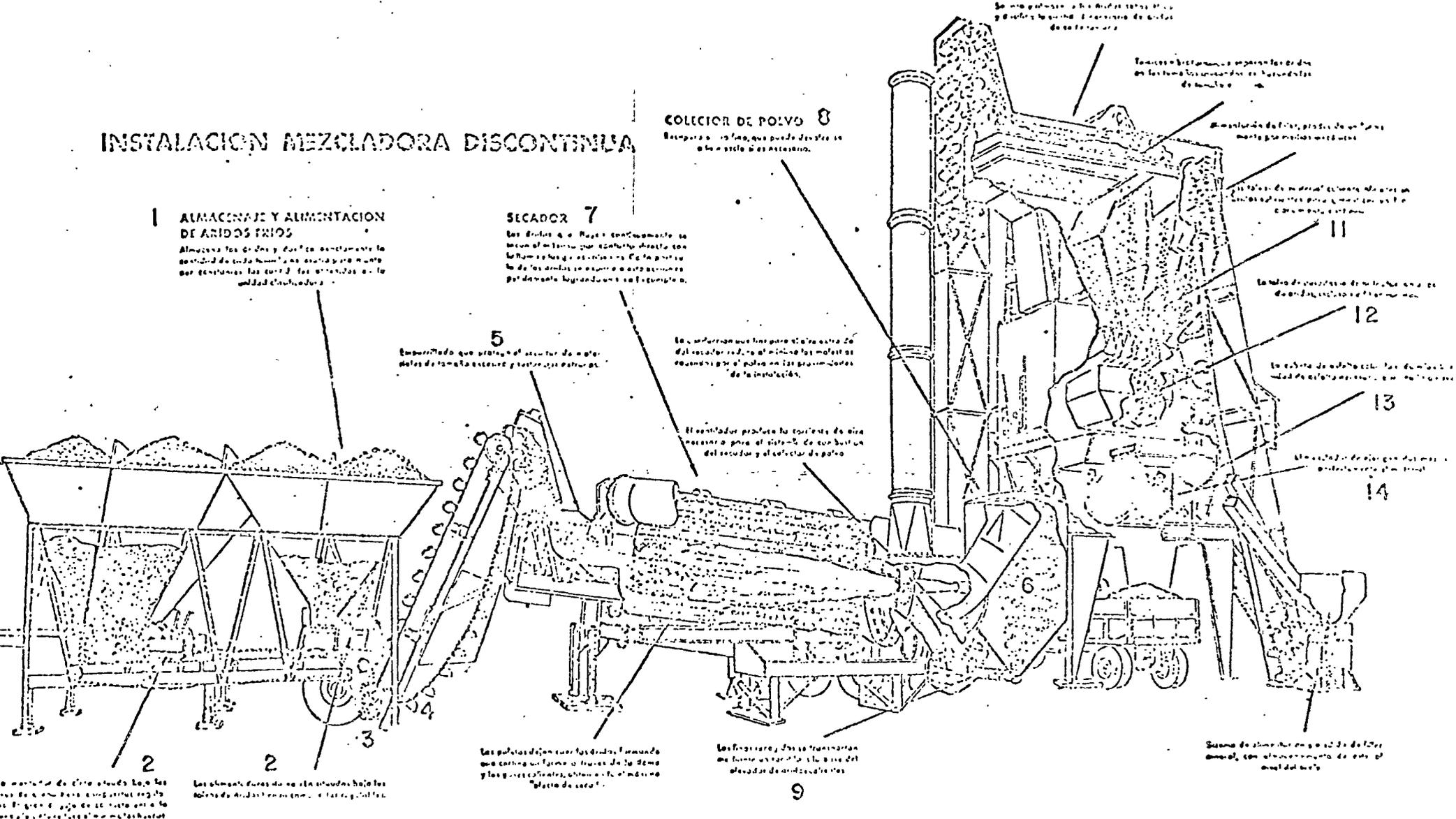
Los aridos que llegan directamente al secador se calientan directamente por la llama de los gases calientes. En la parte superior de los aridos se acumula una escoria por donde se separan los gases calientes.

8 COLECTOR DE POLVO

Resguarda los aridos que pueden estar en el estado de polvo.

10 UNIDAD DE CONTROL DE LA GRANULOMETRIA

Se mezcla y selecciona los aridos para dar la granulometria deseada.



5 Empujador que sirve al secador de materiales de tamaño escoria y otros materiales.

El separador que sirve para separar los aridos del secador y los aridos que se acumulan en las proximidades de la instalación.

El elevador produce la corriente de aire necesaria para el sistema de combustión del secador y el colector de polvo.

Tomacorrientes y separadores de aridos en forma de unidades de granulometria.

11 Armadura de filtro, produciendo un efecto de filtrado de aridos.

12 Las partes de material de aridos que se acumulan en las proximidades de la instalación.

13 Las partes de material de aridos que se acumulan en las proximidades de la instalación.

14 La escoria de aridos que se acumula en las proximidades de la instalación.

15 Almacén de aridos que se acumulan en las proximidades de la instalación.

2

2

3

Las partes de aridos que se acumulan en las proximidades de la instalación.

Las partes de aridos que se acumulan en las proximidades de la instalación.

9

Sumo de aridos que se acumulan en las proximidades de la instalación.

Figura VI-6—Instalación mezcladora discontinua

cangilones (9), hasta las cribas vibratorias (10), para ser separado por tamaños depositándose en las tolvas de material caliente (11), por las compuertas de estas tolvas se extrae de cada una, la cantidad en peso que fija la granulometría de proyecto, valiéndose del recipiente pesador (12), y adicionando por la válvula (13), el cemento asfáltico caliente. Los materiales ya dosificados, así como el cemento asfáltico pasan al mezclador (14), en donde se homogeniza la mezcla y se descarga el camión que la ha de transportar.

Esto es en una muy breve síntesis, el funcionamiento de una planta de tipo discontinuo.

Ahora bien, para lograr que la producción de una planta sea realmente la requerida por el proyecto, es absolutamente necesario que se cumplan los siguientes requisitos:

- a) Que el funcionamiento mecánico de la planta sea correcto.
- b) Que el material pétreo que se alimenta al secador sea uniforme en su granulometría y contenga los tamaños básicos necesarios para formar la curva granulométrica de proyecto.
- c) Conocer y corregir la contaminación en las tolvas de material caliente.

Para que el primero de los requisitos se cumpla, es necesario efectuar primero una revisión general de la instalación haciendo hincapié en todos los elementos de la planta que fácilmente pueden fallar, y hacer fallar la producción, para ella, lo mejor es hacer un recorrido, primero siguiendo todos -

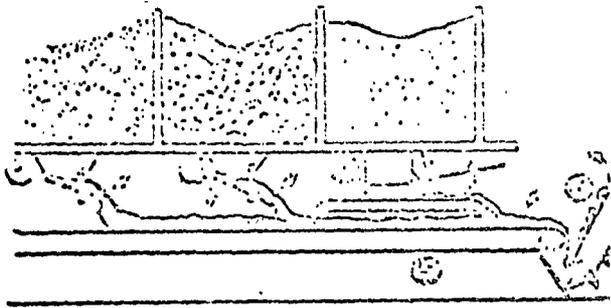


Figura No. 12

- 2.- Almacenamiento de los Agregados y Sección del Alimentador Frío.
- 1.- Almacenamiento de los Agregados en tolvas o depósitos de abastecimiento sobre el Túnel.
- 2.- Alimentador de los Agregados Gruesos (tipo de gravedad).
- 3.- Alimentador de los Agregados Medianos (tipo de gravedad).
- 4.- Alimentador de los Agregados Finos (tipo de correa de transmisión).
- 5.- Principal Colector de Agregados (tipo de correa de transmisión).
- 6.- Elevador de Fríos.

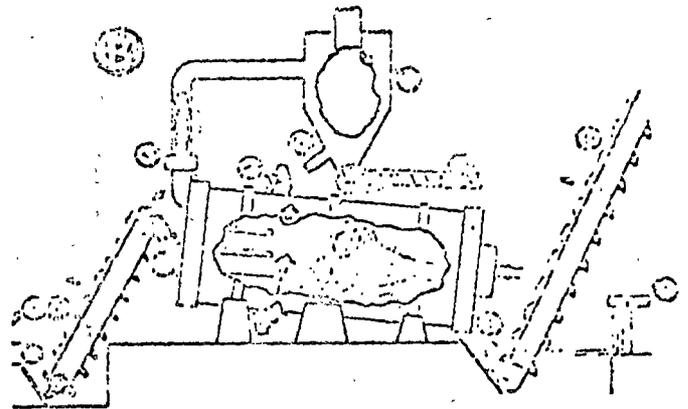


Figura No. 13

- 3.- Sección del Secador y del Colector de Polvo.
- A6.- Elevador de Fríos.
- 1.- Extremo del Cargador del Secador.
- 2.- Secador Rotativo.
- 3.- Abanico que Desarrolla la Succión.
- 4.- Colector de Polvo (ciclón)
- 5.- Compuerta Ajustable del Control del Vertedor de Polvo.
- 6.- Vertedor del Exceso de Polvo.
- 7.- Retorno Uniforme del Polvo al Elevador de Calientes.
- 8.- Quemador y Extremo de Descarga del Secador.
- 9.- Aparato Indicador de Temperaturas.
- 10.- Elevador de Calientes.

los pasos del material pétreo, desde la alimentación de las tolvas de material frío, hasta la descarga final, y enseguida siguiendo todos los pasos del cemento asfáltico, desde su descarga en el almacenamiento de la instalación hasta la descarga final de mezcla.

Los principales puntos de falla probable son los siguientes:

Las compuertas ajustables de las tolvas de materiales fríos.

El alimentador de fríos (de banda o vaivén)

El secador (inclinación y carburación adecuadas).

Las cribas vibratorias (comprobar si no hay fugas por rotura, si el vibrador tiene los contrapesos adecuados, si la inclinación es correcta y si son de las dimensiones requeridas).

Compuertas de las tolvas de material caliente (Deben cerrar perfectamente, sin fugas, sobre todo las de materiales finos).

Básculas (debe comprobarse por medio de pesos conocidos, si las lecturas son correctas).

Depósitos y tuberías de calentamiento de cemento asfáltico (si el calentamiento es por vapor o aceite, no debe haber fugas que contaminen el cemento asfáltico).

Válvula de descarga del cemento asfáltico (debe cerrar perfectamente, sin derrames).

Mezclador (debe cerrar la compuerta sin derramar, y tener las paletas en buen estado).

Los puntos fijados sólo son una guía de lo que debe comprobarse, sin embar

go, puede haber fallas en otras partes, como entradas de grasa de lubricación en el mezclador, fallas en los cangilones de los elevadores, fallas en los pirómetros, etc. Por lo tanto, debe hacerse una inspección detallada.

Para que se cumplan los otros dos requisitos, que se refieren al material pétreo, es necesario llevar a cabo la Calibración de la Planta, la cual puede separarse en dos fases:

Calibración primaria o de aproximación.

Ajuste definitivo.

Para que una planta funcione correctamente, debe producir el volumen de mezcla que se le solicite conforme a la capacidad de tendido y acarreo, sin demoras ocasionadas por falta de material en una o varias tolvas de material caliente, y sin desperdicios excesivos por derrames en otras tolvas. Además de los requisitos de eficiencia mencionados, su producción debe ser tal y como fué proyectada en cuanto a granulometría y contenido de cemento asfáltico.

Los dos problemas principales que se presentan para lograr que la planta funcione como se menciona antes son:

- 1o.- Una alimentación variable en cuanto a granulometría y no controlada en cuanto a cantidad.
- 2o.- Una contaminación de material en las tolvas de material caliente - (Material correspondiente a una tolva, contaminando a otra).

El primero de estos problemas tiene consecuencias en el segundo, ya que aún cuando se logren controlar las contaminaciones entre las tolvas, si la alimentación de la planta es irregular y variable, ésto destruirá todo lo hecho. Por lo tanto, es muy importante que estos problemas se ataquen en el orden señalado, a fin de evitar trabajos inútiles.

La solución del primero de los problemas se logra por medio de la calibración primaria, que consiste en ajustar las compuertas de las tolvas de fríos con objeto de que alimenten un material pétreo dosificado con una granulometría lo más aproximada posible a la de proyecto, y sobre todo una granulometría uniforme. Además de que la alimentación debe ser la adecuada para satisfacer la demanda de producción, en cuanto a volúmen. Para lograr lo anterior, hay que proceder como sigue:

Primero deberá determinarse el volúmen de mezcla que se requiere de la planta, lo cual depende del equipo de tendido y compactación, así como del equipo de acarreo disponible ya que estos factores determinan el volúmen de producción que se requiera de la planta (dado en Kg/min.) Por lo general, una planta trabajada correctamente, es capaz de elaborar dos barchas por minuto, obteniéndose un mezclado satisfactorio, sin embargo debe comprobarse en cada caso, el tiempo necesario para obtener una barcha bien mezclada, y tomar en cuenta los tiempos necesarios para cargar los camiones.

Una vez conocida la cantidad de mezcla por minuto que se vá a producir, deberá calcularse la cantidad de material pétreo necesario por minuto, Asi por ejemplo, si se van a producir 1,800 Kg/min. de mezcla, y el proyecto señaló un 5% de cemento asfáltico, el material pétreo necesario por minuto será:

$$\frac{1,800}{1.05} = 1,715 \text{ Kg/min.}$$

Por lo tanto, la alimentación a la salida de las tolvas de fríos deberá ser de 1,715 Kg/min. a fin de que la planta trabaje eficientemente. Pero hay que tomar en cuenta que además de la cantidad de material pétreo, éste debe alimentarse con una cierta granulometría (la de proyecto) y mantenerse ésta uniforme durante toda la producción, para ello, se separan los materiales de alimentación en distintos tamaños (todas las plantas tienen tres o cuatro tolvas de fríos), debiendo ser en un mínimo de dos, pero debe tenerse en cuenta que mientras mayor sea el número de tamaños en que se haga la separación, mejores resultados se obtendrán. Como se decía antes, el mínimo de tamaños en que se separe el material de alimentación serán dos:

Material retenido en malla 1/4" y material que pasa malla de 1/4", al separarse los materiales y ser almacenados en tolvas distintas, permiten efectuar la dosificación primaria conforme a la curva de proyecto, regulando la compuerta de cada tolva, de tal modo que alimenten los distintos tamaños en la proporción debida. El ajuste de las aberturas de las compuertas, se lleva a cabo inicialmente en forma teórica, calculándose aritméticamente; pero como para esto es necesario suponer una eficiencia determinada, por

lo general se procede a hacer una corrección a la abertura obtenida por la fórmula, en forma práctica comprobando la granulometría y ajustando hasta obtener lo deseado, ya que el ajuste definitivo se hará posteriormente en las tolvas de material caliente. El cálculo de la abertura de una tolva se efectúa por medio de las fórmulas:

Para alimentador de banda:

$$H = \frac{G}{B.V.P.v E}$$

Para alimentador tipo vaivén o alternativo:

$$H = \frac{G}{B.N.C.P.v E}$$

en donde:

G = Gasto de la tolva en Kg/min.

B= Ancho de la compuerta en Mts.

H = Altura de la compuerta en Mts.

V = Velocidad de la banda en Mts/min.

Pv = Peso volumétrico del material en Kg/M³.

E = Eficiencia

N = Número de carreras por minuto del alimentador.

C = Carrera del alimentador en metros.

El gasto se determina conforme a la curva granulométrica de proyecto y la cantidad de material pétreo por minuto necesario. Por ejemplo, suponiendo que la cantidad necesaria de material pétreo por minuto sea 1725 Kg/min.

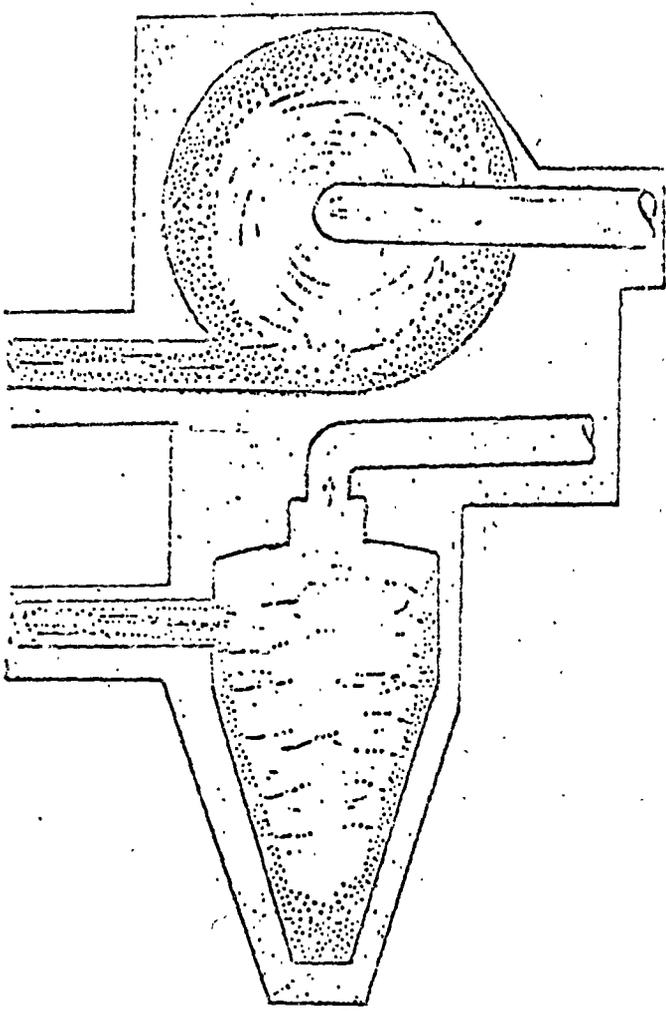
y que la curva granulométrica exige un 45% de material que pasa la malla de 1/4" entonces, para calcular la apertura de la compuerta de la tolva - que contiene dicho material, primero se calculará el gasto:

$$G = 1,715 \times 0.45 = 771.75 \text{ Kg/min.}$$

Este será el Gasto para la tolva que se trata. Los otros datos son medidos directamente en la planta y el Pv se determina con el material usado.

Una vez calculado la abertura para cada tolva, se hace funcionar la máquina y se muestrea la descarga del alimentador de fríos, comprobándose la granulometría, cerrando o abriendo la compuerta según el caso, y repitiendo la operación y muestreo, hasta que se obtenga una curva granulométrica lo más cercana posible a la de proyecto, en lo que se refiere a los porcentajes en los tamaños en que se hizo la separación de material. La operación de muestreo para granulometría, puede aprovecharse para comprobar el gasto del alimentador de fríos, recogiendo el material descargado en un tiempo medido y calculando la cantidad de material alimentado por minuto.

Con esto queda terminada la calibración primaria, o de aproximación, por lo que el siguiente paso consistirá en efectuar el Ajuste Definitivo, que consiste en lograr que la granulometría de la mezcla producida sea igual a la proyectada para lo cual, es necesario neutralizar el efecto desfavorable ocasionado por la contaminación.



Corriente de aire y polvo a través del colector de polvo. Las partículas gruesas son descargadas por el fondo y las finas por la parte superior del colector.

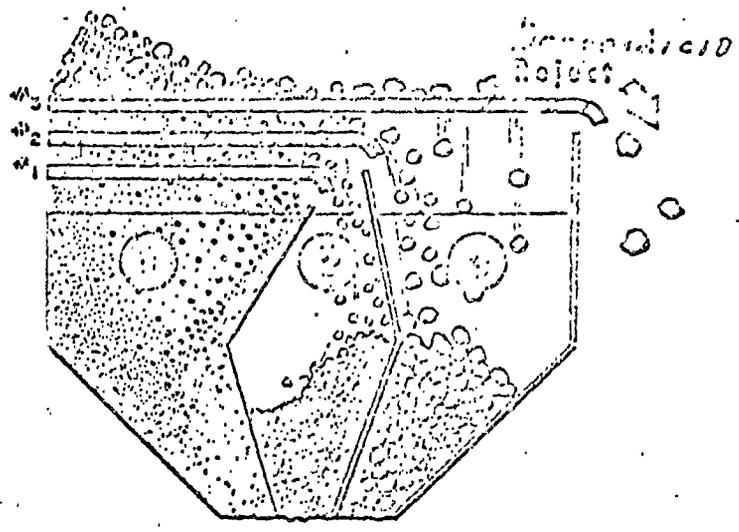


Figura No. 17

Arreglo típico de cribas y tolvas de agregados.

La Tolva No. 1 contiene el material fino, el que está sujeto a considerable segregación a causa de la rapidez de su cribado, mientras que los tamaños grandes recorren la cama de las cribas antes de caer en las tolvas. Por la criba No. 1, se retiene el material de la tolva No. 2 y dicha criba está sujeta a una sobrecarga pudiendo ser este un factor que pueda afectar la producción de la planta, en aquellos casos, en que sea muy pequeña o se obstruya.

La Tolva No. 2 contiene el tamaño siguiente más grande de material que será usado.

La Tolva No. 3 contiene el tamaño más grande del material que va a usarse.

Como es sabido, el sistema vibratorio de cribado en las plantas no tiene un 100% de eficiencia, ocasionándose que en una tolva destinada a almacenar exclusivamente determinados tamaños, se encuentre material correspondiente a las otras. Este, como es natural ocasiona una variación en la curva granulométrica cuando el operador dosifica el material, extrayendo la cantidad que sería necesaria de una determinada tolva, sin tomar en cuenta que de esa cantidad extraída sólo un determinado porcentaje corresponde al tamaño correcto y el resto está formado por tamaños que deberían estar en otras tolvas. Para remediar esto, es necesario conocer qué porcentaje de material de una tolva se encuentra contaminando a las otras, y esto se determina comprobando la granulometría del material que se encuentra en cada una de las tolvas de material caliente.

El muestreo de las tolvas de material caliente, no siempre es sencillo, ya que no todas las plantas tienen fácil acceso a ellas. En algunos casos, es necesario usar un muestreador de tipo especial y en otros introducir un hombre al mezclador para obtener una muestra, debiendo tenerse en cuenta que dentro de una misma tolva el material tiende a clasificarse, separándose los tamaños mayores a un lado de la tolva.

Una vez conocida la granulometría real del material contenido en cada una de las tolvas, se calculan los porcentajes de contaminación. Para mayor claridad sobre como proceder, se verá un ejemplo: Tenemos que la separación por tolvas será como sigue:

Tolva No.	Material que pasa malla	Material Retenido en malla.
1	No. 8	- . -
2	1/4"	No. 8
3	1/2"	1/4"
4	3/4"	1/2"

Supondremos que la granulometría de proyecto exige los siguientes porcentajes:

Material	% de Proyecto	
1	43	0 - No. 8
2	22	No. 8 - 1/4
3	25	1/4 - 1/2
4	10	1/2 - 3/4

Al efectuar la granulometría del material en cada tolva, se obtuvo la siguiente contaminación:

Material No.	T O L V A S N o .			
	1	2	3	4
1	100%	9%		
2		78%	24%	0%
3		13%	76%	43%
4				57%

Es decir, que en tolva No. 2 (para material de 1/4" a No. 8), se encuentra un 9% de material Número 1 (pasa malla No. 8) y un 13% de material No. 3 (de 1/2" a 1/4", y sólo un 78% del material que contiene es el correspon-

diente a esa tolva (en este ejemplo se supone que la eficiencia del cribado es muy baja, pues las tolvas Nos. 2, 3 y 4 sólo contienen 78%, 76% y 57% del material que les corresponde. Esto es con el fin de hacer más claro el ejemplo, pero lo que se impondría en un caso como ese, sería hacer una revisión del sistema de cribado para mejorar la eficiencia, comprobando por ejemplo, si los contrapesos del sistema de vibración son los adecuados, ya que un vibrado más enérgico obliga a pasar a las partículas incrustadas en las mallas, sobre todo cuando tienen forma de laja, pero también hace al material desplazarse más rápido sobre la criba en el sentido de la inclinación de ésta).

Habrá que modificar los porcentajes de proyecto conforme a la contaminación de tal manera que la suma de todo el material No. 1, por ejemplo, extraído tanto de la tolva 1 como de la tolva 2, nos dé precisamente la cantidad requerida por el proyecto.

El procedimiento de cálculo para corrección de la contaminación, que se expone a continuación, aún cuando no es matemáticamente preciso, el error que se obtiene no afecta grandemente para fines prácticos, y es un método bastante rápido:

Material No.	T O L V A S N o .				Proyecto	
	1	2	3	4		
1	100	9			109	43
2		78	24	0	102	22
3		13	76	43	132	25
4				57	57	10

Material No. 1:

$$\frac{100 \times 43}{109} = 39.5$$

$$\frac{9 \times 43}{109} = 3.5$$

Material No. 2:

$$\frac{78 \times 22}{102} = 16.9$$

$$\frac{24 \times 22}{102} = 5.2$$

Material No. 3:

$$\frac{13 \times 25}{132} = 2.5$$

$$\frac{76 \times 25}{132} = 14.4$$

$$\frac{43 \times 25}{132} = 8.1$$

Material No. 4:

$$\frac{57 \times 10}{57} = 10$$

Material No.	Tolvas No.				Material No.	o/o Corregidos.
	1	2	3	4		
1	39.5	3.5			1	39.5
2		16.8	5.2	0.0	2	22.8
3		2.5	14.4	8.1	3	19.6
4				10.0	4	18.1
	39.5	22.8	19.6	18.1		100.0

Los porcentajes así obtenidos serán los que, debido a la contaminación, deberán extraerse de cada tolva para obtener la curva granulométrica de proyecto, pero aún así estos valores deben comprobarse y ajustarse en caso necesario, lo cual ya puede hacerse disminuyendo o aumentando un poco conforme a las granulometrías obtenidas.

Como es lógico suponer si la alimentación de la planta es variable, y en ese caso el cálculo hecho con cierta granulometría, unas batchas después

no servirá, por lo que no será posible obtener una granulometría previamente fijada. De lo anterior se desprende la importancia de la calibración -- primaria o de las tolvas de material frío, tratando de reducir las variaciones de alimentación al mínimo.

Hasta aquí ya es posible producir la mezcla de prueba y tener, si no con la seguridad de que se mantenga exactamente dentro de la granulometría de - proyecto, si la de que podemos mantenerla dentro de aproximadamente un 1% de variación y con la posibilidad de localizar en caso dado, la causa de - anormalidad en la producción.

Al iniciarse la producción de la planta, y antes de que sea transportada la mezcla para ser tendida, es conveniente tomar una muestra y someterla a - pruebas completas, para determinar si reúne las características de proyec- to, y esta comprobación debe comenzar por asegurarse si las temperaturas a que están siendo calentados los materiales pétreos y el cemento asfálti- co son adecuados (el cemento asfáltico se calienta del orden de los 130°C y los materiales pétreos aproximadamente a 160°C). así como la tempera- tura de salida de la mezcla, la cual debe, corresponder al clima del lugar de trabajo y la distancia a que deberá acarreararse debiendo procurarse que su temperatura de tendido sea proximadamente 120°C y pudiendo tomarse - 10°C como un valor medio para la temperatura que se pierde en el acarreo la cual debe ajustarse conforme a lo obtenido en los primeros viajes, para las condiciones particulares de cada obra.

Se decía arriba que debe someterse a todos los ensayos pertinentes la mez
cla primeramente elaborada, esto incluye, además de la granulometría y --
contenido de cemento asfáltico, la prueba Marshall y adherencia, ésta úl-
tima prueba aún en el caso de que haya sido satisfactoria en anteriores en
sayes y muy especialmente si el quemador del secador de la planta funcio-
na con un combustible derivado del petróleo, ya que una mala mezcla de ai
re y combustible puede hacer que se forme una película de carbón, envol-
viendo el material pétreo, lo cual dificulta la adherencia y disminuye la es
tabilidad, facilitando la disgregación de la mezcla.

Cuando los materiales pétreos con que está siendo alimentada la planta, -
contienen humedad, no debe descuidarse la comprobación de la humedad a
la salida del secador, para lo cual puede muestrearse deteniendo el funcio
namiento de la planta, en la base del elevador de calientes. Esto nos in
dica la eficiencia del secador.

P A R T E S E G U N D A .

123

El tipo de planta llamado de producción contínua, es en nuestro país mé nos empleada que la llamada de producción discontinua (Bachas).

DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO.

La descripción de una planta contínua, se puede hacer dividiéndola en tres secciones:

A. - Dosificación de áridos fríos (Fig. 1)

B. - Secador y colector de polvo (Fig. 2)

C. - Dosificación y mezclado de materiales calientes (Fig. 3)

El funcionamiento de una planta de este tipo es el siguiente (Fig. 4)

El material procedente del almacén se alimenta a la planta por medio de tractor o cargador, depositándose en las tolvas para material frío (1), - por lo general son cuatro tolvas, dispuestas para alimentar material pétreo de distintos tamaños. Estas tolvas están equipadas, en su descarga, con compuertas ajustables para regular la caída del material al alimentador de fríos (2), (el cual puede ser de banda o de vaivén), por lo que es posible dosificar el material pétreo frío, para que caiga al depósito (3) con una primera graduación granulométrica. De este depósito es llevado por el elevador de cangilones (4), hasta la tolva de entrada del secador (5), en esta parte de encuentra una rejilla para impedir la entrada de objetos mayores al tamaño fijado. Al entrar el material al secador (7), el polvo (6), puede ser reincorporado, en caso necesario, en el recipiente (8), en donde se une al material que sale del secador.

De allí es llevado por un segundo elevador de cangilones (9), hasta las cribas vibratorias (10), para ser separado por tamaños depositándose en las tolvas de material caliente (11), por las compuertas (12) de estas tolvas se extrae de cada una, la cantidad que fija la granulometría de proyecto, y adicionando por la válvula (13), el cemento asfáltico caliente.

Los materiales ya dosificados, así como el cemento asfáltico pasan al mezclador (14) en donde se homogeniza la mezcla y se descarga el camión que la ha de transportar.

Esto es una muy breve síntesis del funcionamiento de una planta de tipo continuo.

En este tipo de plantas continuas, el material procedente de las tolvas de almacenaje en caliente se dosifica por medio de compuertas regulables que descargan sobre los alimentadores de material caliente. Todos los materiales son transportados al mezclador en forma continua.

El asfalto también afluye en forma continua, y se regula con un sistema de bombeo conectado con el mecanismo de dosificación (Fig. 5), de tal manera que se obtiene una relación constante entre la cantidad total de los agregados pétreos y el producto asfáltico empleado, esto en forma independiente de la velocidad de producción.

CALIBRACION DE LA PLANTA.

Los principales pasos para iniciar la producción de mezcla con este equipo son los siguientes:

- 1.- Ajuste de las compuertas de las tolvas de almacenamiento de agregados pétreos fríos, a fin de que estos pasen al secador en las proporcio-

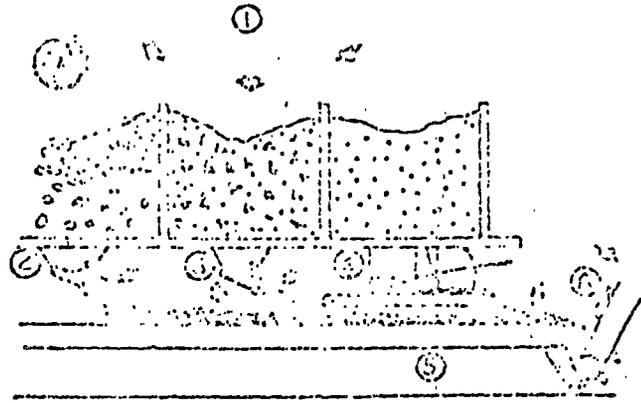


Fig. No. 1

A. - Sección de Dosificación de áridos fríos.

1. - Almacenamiento de los agregados en tolvas o depósitos de abastecimiento sobre el Túnel.
2. - Alimentador de los Agregados Gruesos (tipo de gravedad)
3. - Alimentador de los Agregados Medios (tipo de gravedad).
4. - Alimentador de los agregados finos (tipo de correa de transmisión)
5. - Principal Colector de Agregados (tipo de correa de transmisión).
6. - Elevador de Fríos.

Fig. No. 1

- A. - Sección de dosificación de áridos fríos.
 - 1.- Almacenamiento de los agregados en tolvas o depósitos de abastecimiento sobre el túnel.
 - 2.- Alimentador de los agregados gruesos (tipo de gravedad)
 - 3.- Alimentador de los agregados medianos (tipo de gravedad)
 - 4.- Alimentador de los agregados finos (tipo de correa de transmisión)
 - 5.- Principal colector de agregados (tipo de correa de transmisión)
 - 6.- Elevador de fríos.

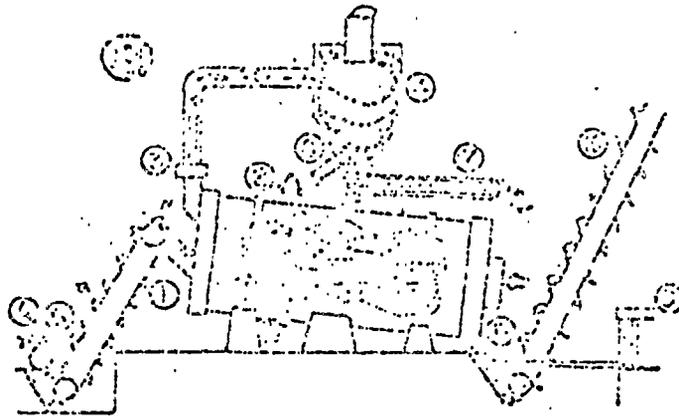


Fig. No. 2

B. - Sección del Secador y del Colector de Polvo.

10. - Elevador de Trifos.

1. - Ingreso del Cargador del Secador.

2. - Secador Rotativo

3. - Abanico que desarrolla la succión.

4. - Colector de Polvo (ciclón)

5. - Compuerta Ajustable del Control del vertedor de polvo.

6. - Vertedor del exceso de polvo.

7. - Retorno uniforme del polvo al Elevador de calientes.

8. - Quemador y extremo de descarga del Secador.

9. - Aparato indicador de temperaturas.

10. - Elevador de calientes.

Fig. No. 2

- B.- Sección del secador y del colector de polvo.
- A6.- Elevador de fríos
- 1.- Extremo del cargador del secador
- 2.- Secador rotativo
- 3.- Abanico que desarrolla la succión
- 4.- Colector de polvo (ciclón)
- 5.- Compuerta ajustable del control del vertedor de polvo
- 6.- Vertedor del exceso de polvo
- 7.- Retorno uniforme del polvo al elevador de calientes.
- 8.- Quemador y extremo de descarga del - secador.
- 9.- Aparato indicador de temperaturas
- 10.- Elevador de calientes.

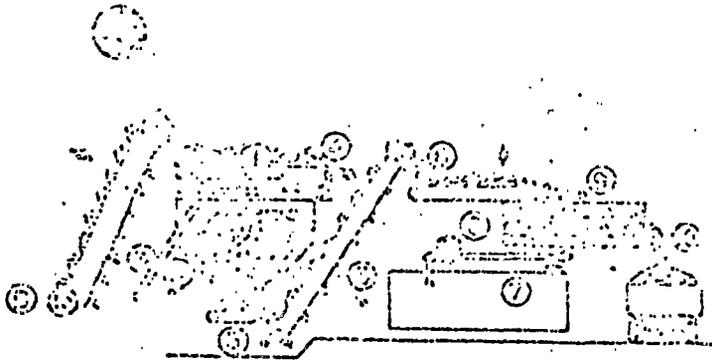


Fig. No. 3

C.- Sección de Dosificación y mezclado de materiales calientes.

B-10.- Continuación del elevador de calientes.

1.- Cama de cribas.

2.- Tolva para los agregados calientes.

3.- Tubos vertedores de sobrantes.

4.- Rechazo de tamaños mayores.

5.- Alimentador de agregados proporcionados (tipo de correa de transmisión)

6.- Colector elevador de agregados al sistema de mezclado.

7.- Tanque de almacenamiento de asfalto.

8.- Bomba para el asfalto, motor y sistema de alimentación.

9.- Mezclador amasador.

10.- Mezcla completa que se descarga en los camiones.

Fig. No. 3

- C.- Sección de dosificación y mezclado de materiales calientes.
- B-10.- Continuación del elevador de calientes.
 - 1.- Cama de cribas.
 - 2.- Tolva para los agregados calientes.
 - 3.- Tubos, vertedores de sobrantes.
 - 4.- Rechazo de tamaños mayores.
 - 5.- Alimentador de agregados proporcionados (tipo de correa de transmisión).
 - 6.- Colector elevador de agregados al sistema de mezclado.
 - 7.- Tanque de almacenamiento de asfalto.
 - 8.- Bomba para el asfalto, motor y sistema de alimentación.
 - 9.- Mezclador amasador.
 - 10.- Mezcla completa que se descarga en los camiones.

INSTALACION MEZCLADORA CONTINUA

ALMACENAJE Y ALIMENTACION DE ARIDOS FRIOS

A las unidades de almacenamiento se alimenta la cantidad de cada tipo de material para hacer la mezcla adecuada a cada tipo de mezcla en la unidad de mezclado.

SECADOR

El secador consiste de un cilindro horizontal, una sección de entrada por un extremo, abierta con la cámara de combustión. Cada partícula de los áridos se expone repetidamente a este espacio, obteniendo el máximo efecto de secado.

COLECTOR DE POLVO

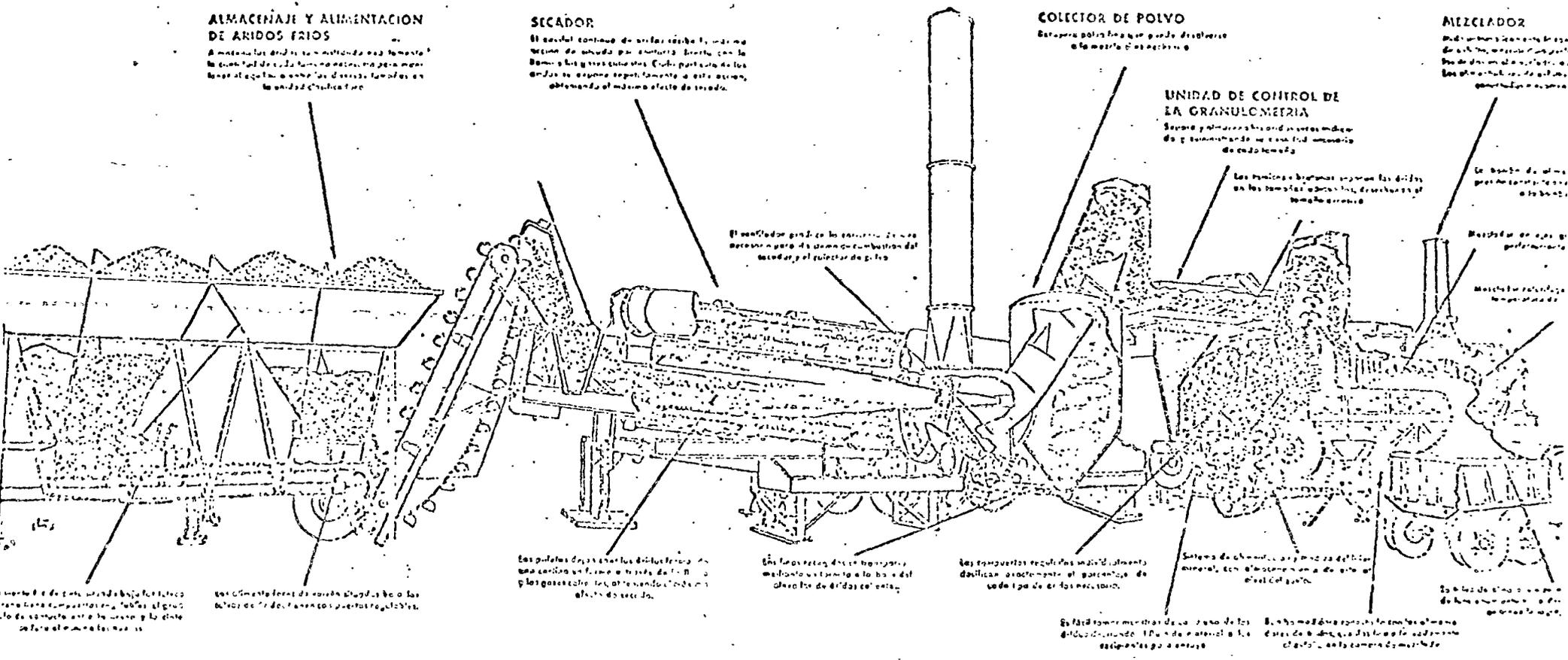
Es una parte que recoge el polvo que se desprenden de la mezcla de los áridos.

MEZCLADOR

El mezclador es un cilindro horizontal que mezcla los áridos secos y el polvo que se desprenden de la mezcla de los áridos.

UNIDAD DE CONTROL DE LA GRANULOMETRIA

Se trata de una unidad que controla la granulometría de la mezcla de los áridos y el polvo que se desprenden de la mezcla de los áridos.



El mezclador produce la mezcla de los áridos secos y el polvo que se desprenden de la mezcla de los áridos.

Las piletas de aluminio que sirven para recoger el polvo que se desprenden de la mezcla de los áridos.

La base de aluminio que sirve para recoger el polvo que se desprenden de la mezcla de los áridos.

Mezclador de agua y cemento.

Mezclador de cemento y arena.

Las piletas de aluminio que sirven para recoger el polvo que se desprenden de la mezcla de los áridos.

Las piletas de aluminio que sirven para recoger el polvo que se desprenden de la mezcla de los áridos.

Las piletas de aluminio que sirven para recoger el polvo que se desprenden de la mezcla de los áridos.

Las piletas de aluminio que sirven para recoger el polvo que se desprenden de la mezcla de los áridos.

Las piletas de aluminio que sirven para recoger el polvo que se desprenden de la mezcla de los áridos.

Figura VI-7--Instalación mezcladora continua

nes requeridas.

2.- Determinación de la cantidad de material que debe pasar al mezclador desde cada una de las tolvas de agregados calientes, y de la cantidad de producto asfáltico.

Ajuste de las compuertas de agregados en frío.

Generalmente hay dos tipos de alimentadores para agregados en frío:

- 1).- Alimentadores Alternativos (Cangilones) y
- 2).- Alimentadores de Correa (Bandas transportadoras)

La cantidad que suministra un alimentador alternativo, en kilogramos por minuto, puede calcularse por la ecuación.

$$C_t = WHRLUE$$

En donde:

W = Anchura de la compuerta, en metros

H = Altura de la compuerta, en metros

L = Carrera de alimentador, en metros

R = Carreras por minuto

C_t = Capacidad teórica, en kilogramos por minuto

U = Peso de los agregados, en kilogramos por M³.

E = Rendimiento

Los kilogramos por minuto que se suministran por un alimentador de correa se determinan por la siguiente ecuación.

$$C_t = WHSUE$$

En donde:

S = Velocidad de la correa, en metros por minuto

En la práctica es factible determinar la abertura de las compuertas de las tolvas por tanteos, no siendo indispensable las ecuaciones citadas; de tal manera que las áreas correspondientes a los distintos agregados sean proporcionables a los porcentajes requeridos.

Es muy importante la calibración de los alimentadores en frío, y es una maniobra fácil de realizar. Cuando el material se lleva al secador por medio de transportadores de banda, sólo es necesario ajustar la compuerta de una tolva en la posición en que se espera suministre la cantidad correcta de material, se cierran las otras tolvas y se pone en marcha la planta. Cuando ha funcionado durante un minuto, aproximadamente, se separa y pasa el material contenido en el transportador de banda en una distancia media por ejemplo 3 m., y se convierte la cifra a Kg/m. Esta, multiplicada por la velocidad de la cinta en M. por minuto, da Kg. por minuto entregados por la tolva con esa abertura particular de la compuerta. Se convierte a Tons. p/h y por centímetro de abertura de compuerta y se calcula la proporción a número exacto de centímetros a que debe abrirse la compuerta para suministrar la cantidad deseada de tons./h.

Ya efectuado lo anterior, se pone nuevamente la planta en marcha durante un minuto aproximado, después que los agregados han empezado a caer en las tolvas de materiales calientes, se vacían las tolvas y se continúa con la planta en marcha unos minutos más para volverlos a llenar hasta la mitad cuando menos, procediéndose al muestreo de los distintos agregados en caliente para el análisis granulométrico.

M U E S T R E O .

Previo al muestreo de las tolvas deben de verse aproximadamente 500 Kgs. de cada una de ellas, ello con el fin de establecer un flujo de pétreos regulado, una vez efectuado lo anterior, se sueita la palanca de una de las tolvas y se toma una muestra de 20 Kg., por lo menos del material que cae. Se repite esta operación con las otras tolvas, este tipo de plantas tienen por lo general dispositivo bastante accesible para efectuar los muestreos, es muy conveniente dejar siempre la planta en funcionamiento durante algunos minutos antes de llevar a cabo el muestreo.

ANALISIS DE LAS MUESTRAS.

Cada una de las muestras debe de cuartearse cuidadosamente hasta obtener las cantidades mínimas de material adecuadas para los estudios de laboratorio.

Como regla general, la muestra procedente de la tolva de finos, después del cuateo debe ser de 500 gr., las muestras de tolvas de un tamaño aproximado de 1/4" de 1,000 gr., y las muestras de las tolvas conteniendo agregados mayores, de 2,000 gr. Una vez hecho lo anterior, se procede al análisis granulométrico de cada una de estas, se anotan los resultados y con estos se calcula la granulometría combinada, la que una vez determinada se presenta gráficamente.

En cada tolva existe siempre algún material menor que el tamiz de menor -- abertura representado por ella, esto se debe a que cierta cantidad de los -- materiales más finos es siempre arrastrada a la tolva siguiente por los agre

P R I M E R A J U S T E .

Malla No.	P O R C E N T A J E Q U E P A S A .						Granulo metrfa Combinada	Granulo metrfa de Tra-bajo.	Pro-yec-to	Toleran-cias. Especificadas.
	Tolva No. 3		Tolva No. 2		Tolva No. 1					
	3/4" a 3/8"	3/8" a No. 10	3/8" a No. 10	Menor No. 10	Total	30%				
3/4"	100.0	30.0	100.0	40.0	100.0	30.0	100.0	100	100	± 5
1/2"	58.2	17.5	100.0	40.0	100.0	30.0	87.5	88	94	± 5
3/8"	10.1	3.0	100.0	40.0	100.0	30.0	73.0	73	85	± 5
1/4"	0.1	1.8	84.2	33.7	100.0	30.0	65.5	65	76	± 5
No. 4	2.0	0.6	68.5	27.4	100.0	30.0	58.0	58	68	± 4
No. 10	0.5	0.2	21.0	8.4	100.0	30.0	38.6	39	44	± 3
No. 20	0.4	0.1	16.0	6.4	77.5	23.2	29.7	30	35	± 3
No. 40	0.3	0.1	11.0	4.4	55.1	16.5	21.0	21	24	± 1
No. 60	0.2	0.1	8.6	3.4	42.9	12.9	16.4	16	19	± 1
No. 100	0.1	-	4.8	1.9	19.8	5.9	7.8	8	10	± 1
No. 200	0.0	-	3.2	1.3	9.1	2.7	4.0	4	6	± 1
Contenido de Cemento asfáltico										± 0.26 (0.06CA)

P R I M E R A J U S T E :

Malla No.	P O R C E N T A J E Q U E P A S A .						Granulo metrfa de Trabajo. Combinada	Granulo metrfa de Trabajo. Proyecto	Tolerancias. Especificadas.	
	Tolva No. 3 3/4" a 3/8"		Tolva No. 2 3/8" a No. 10		Tolva No. 1 Menor No. 10					
	Total	30%	Total	40%	Total	30%				
3/4"	100.0	30.0	100.0	40.0	100.0	30.0	100.0	100	100	± 5
1/2"	58.2	17.5	100.0	40.0	100.0	30.0	87.5	88	94	± 5
3/8"	10.1	3.0	100.0	40.0	100.0	30.0	73.0	73	85	± 5
1/4"	0.1	1.8	84.2	33.7	100.0	30.0	65.5	65	76	± 5
No. 4	2.0	0.6	68.5	27.4	100.0	30.0	58.0	58	68	± 4
No. 10	0.5	0.2	21.0	8.4	100.0	30.0	38.6	39	44	± 3
No. 20	0.4	0.1	16.0	6.4	77.5	23.2	29.7	30	35	± 3
No. 40	0.3	0.1	11.0	4.4	55.1	16.5	21.0	21	24	± 1
No. 60	0.2	0.1	8.6	3.4	42.9	12.9	16.4	16	19	± 1
No. 100	0.1	- . -	4.8	1.9	19.8	5.9	7.8	8	10	± 1
No. 200	0.0	- . -	3.2	1.8	9.1	2.7	4.0	4	6	± 1
Contenido de Cemento asfáltico									5.2	± 0.26 (0.06CA)

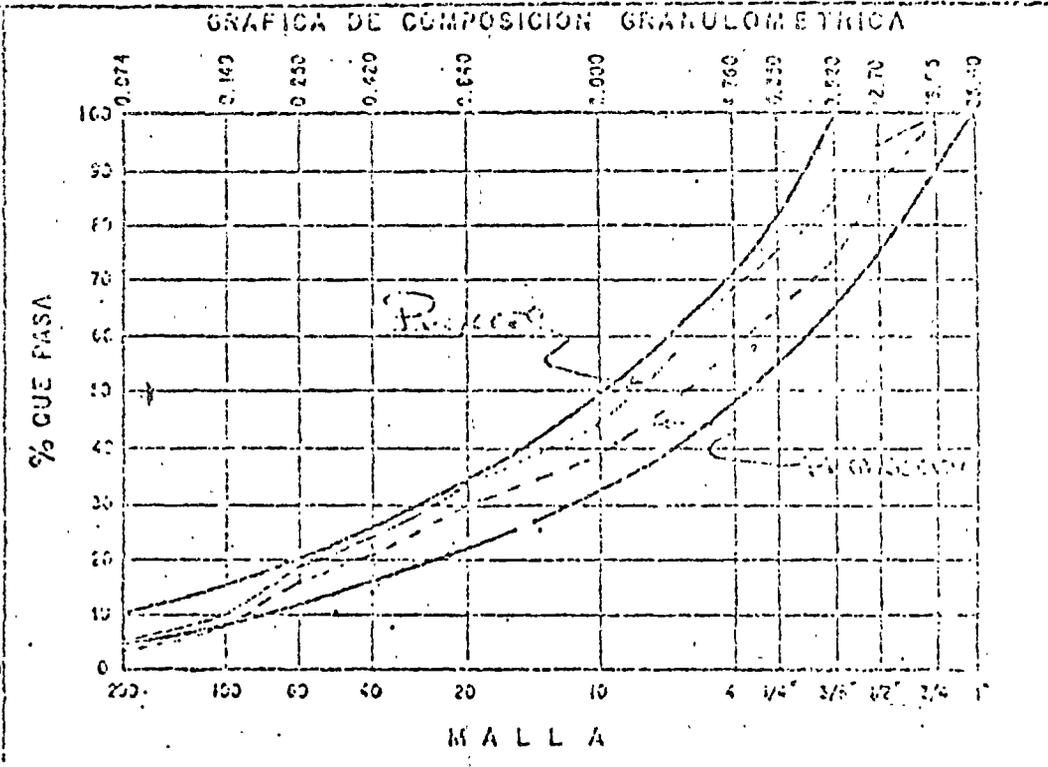
SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
DEPARTAMENTO DE LABORATORIOS

REPORTE DE CONCRETO ASFALTICO

MATERIAL <u>MARCA 30%-40%-30%</u>	EXPEDIENTE <u>12-1</u>
ENSAYE NUM. <u>1</u>	MUESTRA NUM. <u>1-2-3</u>
ENVIADA POR _____	FECHA RECIBO <u>24 JUL 18</u>
PROVENIENCIA <u>ARRIAGA AJUSTE</u>	FECHA INFORME <u>24 JUL 18</u>

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

CLASIFICACION PETROGRAFICA _____	
PESO VOL. SUELTO, Kg/m ³ _____	
CUE FASA MALLA, %	
1" <u>100</u>	<u>100</u>
3/4" <u>100</u>	<u>100</u>
1/2" <u>88</u>	<u>94</u>
3/8" <u>12</u>	<u>61</u>
1/4" <u>6</u>	<u>16</u>
No. 4 <u>1</u>	<u>6.5</u>
" 10 <u>0.5</u>	<u>4.4</u>
" 20 <u>0.5</u>	<u>3.5</u>
" 40 <u>0.1</u>	<u>2.4</u>
" 60 <u>0.1</u>	<u>1.9</u>
" 100 <u>0.1</u>	<u>1.6</u>
" 200 <u>0.1</u>	<u>0.6</u>
DENSIDAD _____	
FASCCION, % _____	
DESBASTE, % _____	
PARTICULAS PLANAS, % _____	
PARTICULAS EN FORMA DE LAJA, % _____	
EQUIVALENTE DE ARENA _____	



CARACTERISTICAS DEL ASFALTO	
TIPO _____	CONT. OPT. DE ASFALTO (SM) <u>5.2%</u>
TEMPERATURA RECOMENDABLE DE APLICACION _____	PESO VOL. MAX. EN MEZCLA COMPACTA (Kg/m ³) _____
PENETRACION _____	AFINIDAD CON EL ASFALTO _____

PRUEBAS EN LA MEZCLA ASFALTICA	
GRADO DE COMPACTACION EN CARPETA % _____	CONT. ASFALTO EN MEZCLA <u>4.8%</u>
PERMEABILIDAD DE LA CARPETA _____	

OBSERVACIONES:

EL LABORATORISTA	EL JEFE DEL LABORATORIO	EL JEFE DEL LABORATORIO REGIONAL
------------------	-------------------------	----------------------------------

P O R C E N T A J E Q U E P A S A										
Malla No.	Tolva No. 3 3/4" a 3/8"		Tolva No. 2 3/8" a No.10		Tolva No. 1 Menor No. 10		Granulo metría Combinada.	Granulo metría de Pro- Trabajo yec- to.		Tolera- cias Específ- cadas.
	Total	30%	Total	40%	Total	30%				
3/4"	100.0	19.0	100.0	40.0	100.0	32.0	100.0	100	100	+ 5
1/2"	58.2	11.0	100.0	49.0	100.0	32.0	92.0	92	94	+ 5
3/8"	10.1	1.9	100.0	49.0	100.0	32.0	82.9	83	85	+ 5
1/4"	0.1	1.1	84.2	41.2	100.0	32.0	74.3	74	76	+ 5
No. 4	2.0	0.4	68.5	33.6	100.0	32.0	66.0	66	68	+ 4
No. 10	0.5	0.1	21.0	10.3	100.0	32.0	42.4	42	44	+ 3
No. 20	0.4	0.1	16.0	8.0	77.5	24.8	32.9	33	35	+ 3
No. 40	0.3	0.1	11.0	5.4	55.1	17.6	23.1	23	24	+ 1
No. 60	0.2	--	8.6	4.2	42.9	13.9	217.9	18	19	+ 1
No. 100	0.1	--	4.8	2.3	19.8	6.3	8.6	9	10	+ 1
No. 200	0.0	--	3.2	1.6	9.1	2.9	4.5	5	6	+ 1
Contenido de Cement o asfáltico								5.2		+ 0.1 (+ 0.

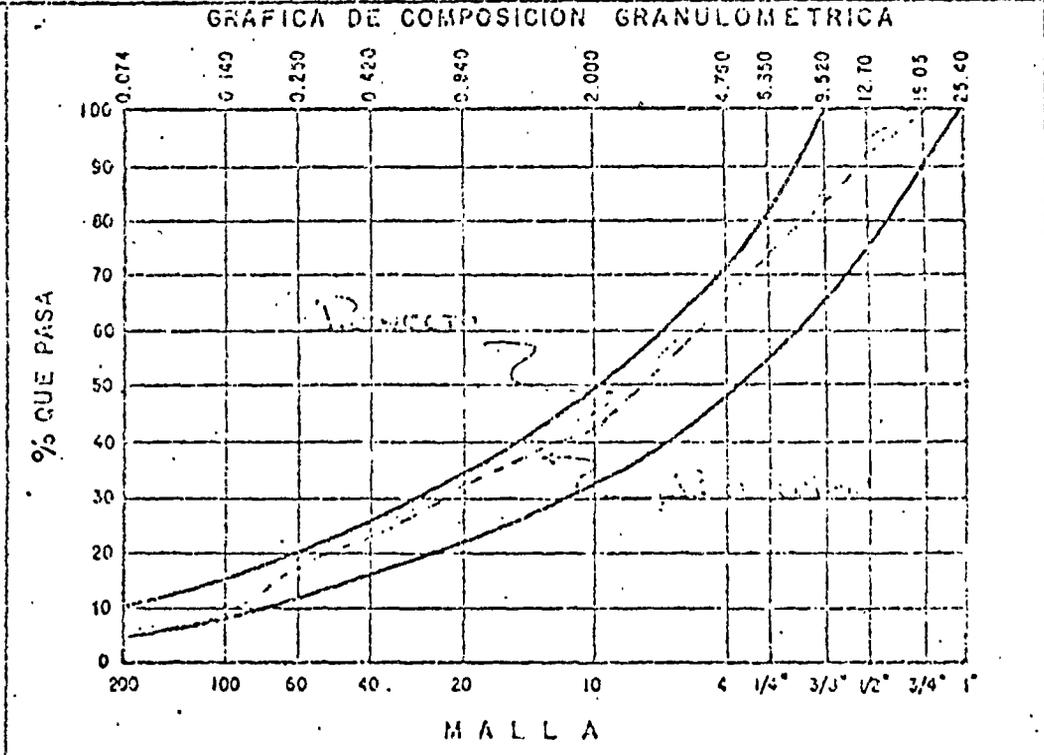
SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS
 DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIOS

REPORTE DE CONCRETO ASFALTICO

MATERIAL <u>Asfalto 10% - A.S.P. - 327</u>	EXPEDIENTE <u>12-35</u>
ENSAYE NUM. <u>2</u>	MUESTRA NUM. <u>A-1-5</u>
ENVIADA POR _____	FECHA RECIBO <u>24/11/55</u>
PROCEDECIA <u>A.S.P. - 327</u>	FECHA INFORME <u>24/11/55</u>

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

CLASIFICACION PETROGRAFICA _____	
PESO VOL. SUELTO, Kg./m ³ _____	
QUE PASA MALLA, %	
1" _____	_____
3/4" _____	_____
1/2" _____	_____
3/8" _____	_____
1/4" _____	_____
No 4 _____	_____
" 10 _____	_____
" 20 _____	_____
" 40 _____	_____
" 60 _____	_____
" 100 _____	_____
" 200 _____	_____
DENSIDAD _____	
ABSORCION, % _____	
ELSGASTE, % _____	
PARTICULAS AARRAGADAS, % _____	
PARTICULAS EN FORMA DE LAJA, % _____	
EQUIVALENTE DE ARENA _____	



CARACTERISTICAS DEL ASFALTO

TIPO _____
TEMPERATURA RECOMENDABLE DE APLICACION _____
PENETRACION _____

PRUEBAS EN LA MEZCLA ASFALTICA

CONT. OPT. DE ASFALTO (%) <u>7.0</u>	GRADO DE COMPACTACION EN CARPETA % _____
PESO VOL. MAX. EN MEZCLA COMPACTA (Kg./m ³) _____	CONT. ASFALTO EN MEZCLA <u>10</u>
AFINIDAD CON EL ASFALTO _____	PERMEABILIDAD DE LA CARPETA _____

OBSERVACIONES :

EL LABORANTISTA	EL JEFE DEL LABORATORIO	EL JEFE DEL LABORATORIO REGIONAL
-----------------	-------------------------	----------------------------------

gados mayores. Este efecto aumenta cuando disminuye el tamaño del tamiz. Por esta razón no deben o no se emplean en una planta de elaboración de mezcla en caliente, tamices menores del No. 10.

En la tabla ejemplo, puede observarse que el material, salvo en lo que se refiere al de los tamices 100 y 200, puede combinarse ajustándose muy estrechamente a la fórmula de dosificación en planta. Como regla general, los análisis combinados de las tolvas en caliente, darán en estos, porcentajes correspondientes a mezclas de agregados más gruesos que los que se obtendrían de la granulometría de extracción. Esto se debe, a que es imposible separar los agregados de tamaños correspondientes a las mallas 100 y 200, que están adheridas a la piedra, esto en un análisis por vía seca y que si se separan cuando el análisis se efectúa por lavado, bien con agua, cuando el material aún no se mezcla con el producto asfáltico o con algún disolvente cuando el análisis se efectúa ya a la mezcla producida.

Ejemplo de Ajuste de la producción de planta continua.

Datos:

Producción requerida 100 Ton. por hora

Porcentaje de cemento asfáltico con respecto al peso de la mezcla.

CA = 5.2%

Peso específico del cemento asfáltico = 0.93 Kg/lt.

(a la temperatura de empleo)

De la calibración de las tolvas se tienen los siguientes porcentajes:

Tolva No. 3	19%
Tolva No. 2	49%
Tolva No. 1	32%

Solución:

1o.- Se determina la cantidad de asfalto necesaria por minuto.

$$\text{Producción de mezcla : } 100 \text{ Ton./hora} = 100 \frac{\text{Ton.}}{\text{hora}} \times \frac{(1,000\text{Kg}) \text{ hora}}{60 \text{ min.}}$$

$$P. \text{ mezcla} = 1666 \text{ Kg/min.}$$

$$\% \text{ de cemento asfáltico} = 5.2\% = 0.052 \text{ (expresado en forma decimal).}$$

$$\text{Cantidad de cemento asfáltico} = 1666 \times 0.052$$

$$C. \text{ de cemento asfáltico} = 86.6 \text{ Kg/min.}$$

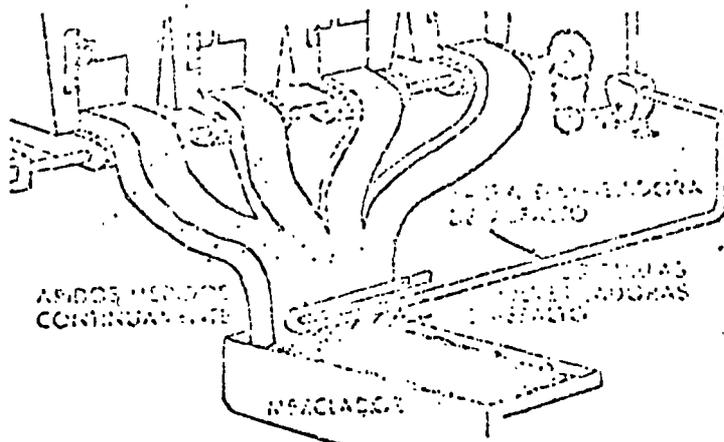
Haciendo la transformación a Lts/min.

$$86.6 \text{ Kg/min.} = 86.6 \frac{\text{Kg.}}{\text{min.}} \times \frac{1 \text{ Lt.}}{0.93 \text{ Kg.}}$$

$$C. \text{ de C Asfáltico} = \underline{93 \text{ lts./min.}}$$

2.- Selección de la combinación de engranajes.

Dado que el gasto de la bomba para asfalto, en este tipo de plantas, se regula mediante engranajes intercambiables, se debe encontrar en la información que proporciona el fabricante, (catálogo o manual de operación de la planta), cuál es la combinación de engranajes de la que se pueda obtener la cantidad de asfalto que más se aproxime a la requerida.



De los datos de fabricante, se pueden obtener las siguientes cantidades de asfalto por minuto.

90 Lts./min. para combinación de engranajes A

94 Lts./min. para combinación de engranajes B

98 Lts./min. para combinación de engranajes C

Para este caso escogeremos la combinación de engranajes "B" que nos dá 94 Lts./min.

Lo anterior producirá una ligera alteración en la dosificación calculada, ya que solo necesitamos 93 Lts./min. por lo que es indispensable hacer una corrección a los cálculos originales.

3.- Corrección.

a).- Convertimos 94 Lts/min. a Kg/min.

$$\frac{94 \text{ Lts.}}{\text{min.}} = \frac{94 \text{ Lts.}}{\text{min.}} \times \frac{0.93 \text{ Kg.}}{\text{Lt.}}$$

$$\frac{94 \text{ Lts.}}{\text{min.}} = \frac{87.5 \text{ Kg.}}{\text{min.}}$$

b).- Calculamos la cantidad de material pétreo por minuto que será necesario para conservar el mismo porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla.

Para 1666 Kg/min., (100 ton./hora) de mezcla y 5.2% de cemento asfáltico, necesitamos 86.6 Kg/min. de cemento asfáltico. Qué cantidad de mezcla necesitamos producir para tener 5.2% de cemento asfáltico y 87.5 Kg/min. de cemento asfáltico.

$$\frac{X \text{ Kg/min. de mezcla}}{100\% \text{ de mezcla}} = \frac{87.5 \text{ Kg/min. de C. Asf.}}{5.2\% \text{ de C. Asf.}}$$

$$X \text{ Kg/min. de mezcla} = \frac{87.5 \text{ Kg/min.}}{5.2\%} \times 100\%$$

$$\text{Mezcla} = 1682 \text{ Kg/min.}$$

$$100\% \text{ de mezcla} - 5.2\% \text{ de C. Asf.} = 94.8\% \text{ de material pétreo.}$$

$$\text{Mat. pétreo} = 1682 \text{ Kg/min.} \times 94.8\%$$

$$\text{Mat. pétreo} = 1682 \times 0.948 \text{ Kg/min.}$$

$$\text{Mat. pétreo} = 1594.5 \text{ Kg/min.}$$

Resultado;

$$\text{Cemento asfáltico} = 5.2\% \text{ del peso total de la mezcla } 87.5 \text{ Kg/min.}$$

$$\text{Mat. pétreo} = 94.8\% \text{ del peso total de la mezcla } 1594.5 \text{ Kg/min.}$$

$$\text{Mezcla } 1682 \text{ Kg/min.}$$

$$\text{Mezcla} = \frac{1682 \text{ Kg.}}{\text{min.}} \times \frac{60 \text{ min.}}{1 \text{ hora}} \times \frac{1 \text{ ton.}}{1000 \text{ Kg.}}$$

$$\text{Mezcla} = 101 \text{ ton/hora.} \quad \text{Comprobación de la producción.}$$

La producción práctica resultó un poco mayor que la requerida originalmente de 100 ton/hora.

4.- Determinación de las cantidades en Kg/min, que es necesario dosificar de cada tolva, para producir la cantidad de mezcla calculada.

De los datos que proporciona el fabricante se puede obtener el número de vueltas del alimentador de áridos calientes (vuelta/minuto); si en este caso dicho valor es de 15.28, los kilogramos de material pétreo por vuelta se calcula así:

$$\text{Mat. Pétreo} = 1594.5 \text{ Kg/min.}$$

$$\text{Por cada vuelta} = 1594.5 \frac{\text{Kg.}}{\text{min.}} \times \frac{1 \text{ min.}}{15.28 \text{ vueltas}}$$

$$\text{Por cada vuelta} = 104 \frac{\text{Kg.}}{\text{vuelta}}$$

A continuación se calibra cada tolva de material pétreo caliente, por separado, haciendo variar la abertura de la compuerta y midiendo la cantidad de material que se obtiene en Kg/vuelta, para cada abertura en cm. La calibración de las tolvas de material caliente, se puede representar gráficamente (ver ejemplo de gráfica) a escala aritmética, teniendo en el eje horizontal la abertura de la compuerta en cm. (o pulgadas) y en el eje vertical la cantidad en Kg/vuelta (o lbs./vuelta) que sale de dicha compuerta.

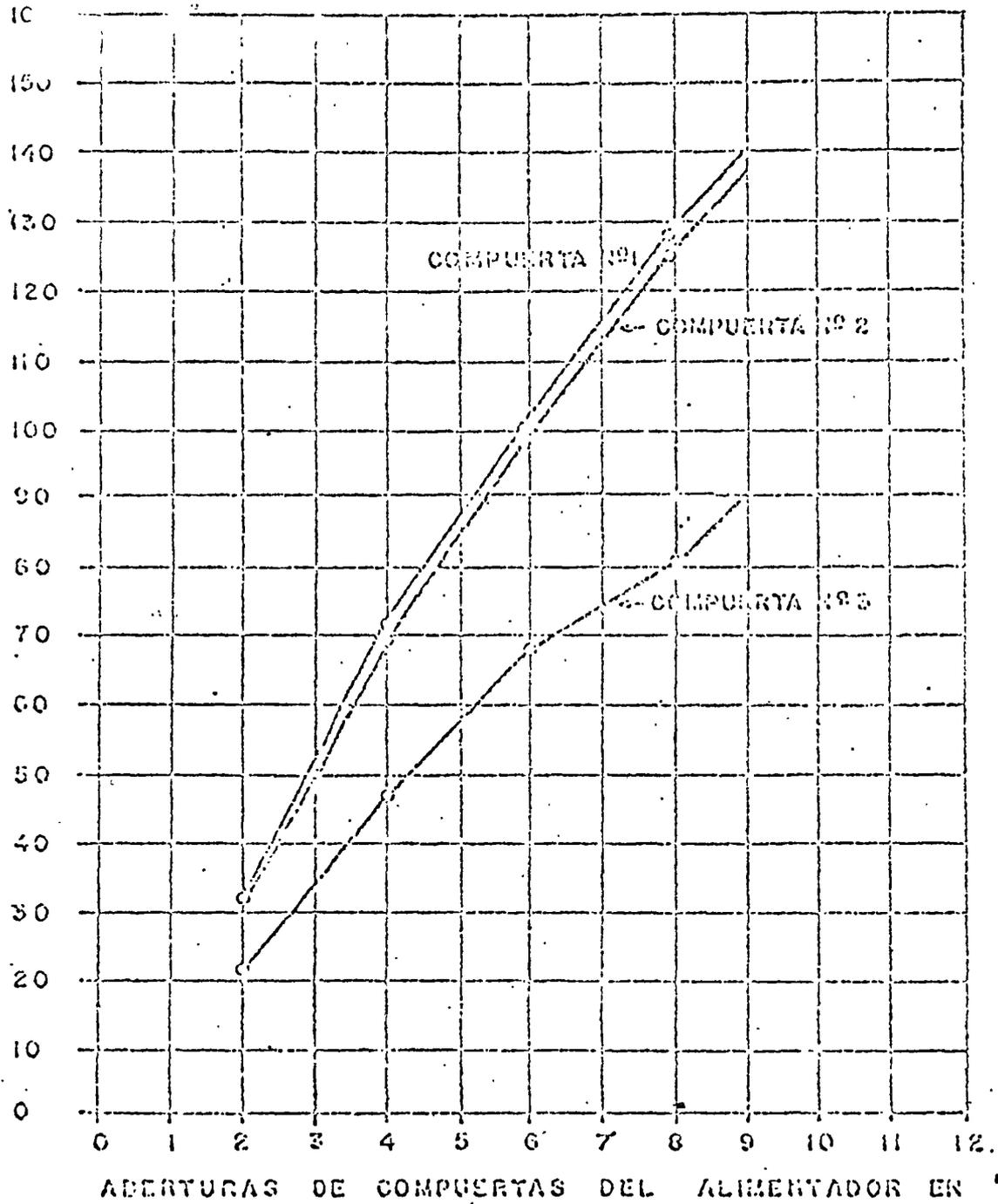
En este ejemplo la gráfica de calibración tiene como unidades libras por vuelta y pulgadas.

Para poder utilizar esta gráfica, hacemos la transformación de Kg/vuelta a libras/vuelta.

$$104 \text{ Kg/vuelta} = 104 \frac{\text{Kg.}}{\text{vuelta}} \times \frac{1 \text{ libra}}{0.454 \text{ Kg.}} \quad 104 \text{ Kg/vuelta} = 229 \text{ libras/vuelta}$$

CURVAS DE CALIBRACION DEL SUMINISTRO DE AGREGADOS EN PLANTAS DE TIPO CONTINUO

CAPACIDAD DEL ALIMENTADOR EN LIBRAS POR VUELTA DEL CONTADOR



Los porcentajes de material de cada tolva son los siguientes:

Tolva No.	Porcentaje	Libras/Vuelta
1	32%	$0.32 \times 229 = 73.3$
2	49%	$0.49 \times 229 = 112.2$
3	19%	$0.19 \times 229 = \underline{43.5}$
		229.0 Lbs/vuelta.

La abertura de cada tolva se obtendrá de la gráfica de calibración.

Tolva No.	Lbs/Vuelta	Abertura en pulgadas
1	73.3	4.0
2	112.2	7.0
3	43.5	3.8

Ya a partir de este punto pueden hacerse cambios diferenciales, los cálculos se efectúan sobre los Kg. de agregados por vuelta, y se modifican las aberturas de las tolvas por medio de la curva de la gráfica de calibración de suministro.

Es muy frecuente que al comenzar el funcionamiento normal de una planta, la granulometría de la mezcla tome un aspecto algo distinto del obtenido en las mezclas de prueba. Con el objeto de mantener el producto dentro de los líneamientos del diseño, es conveniente efectuar pequeños cambios en las aberturas de las tolvas. Estos cambios deben de llevarse a cabo con extremo cuidado y por pequeños incrementos; antes de cualquier modificación, se requiere la seguridad de que se hace en la dirección adecuada. No es co-recto efectuar ningún cambio basándose en un único ensayo, conviene e

tuar un mínimo de tres, a fin de estar seguro de que la variación no está basada en una muestra no representativa.

Por lo anterior, es muy importante que la toma de muestras sea en extremo cuidadosa, en especial en mezclas con agregados con tamaños máximos de 3/4" ó más, ya que unas piedras suplementarias del tamaño mayor, pueden hacer que el resultado del ensaye caiga fuera de los límites de la fórmula de dosificación en planta por exceso de gruesos, o inversamente, la falta de unas de estas piedras puede hacer que el ensaye indique que los agregados se salen de la fórmula de dosificación en planta por defecto de agregados gruesos.

Es muy común no obtener resultados satisfactorios en la prueba inicial, por ello después de haber empezado la producción normal, es frecuente que una de las tolvas de agregados fríos empiece a rebozar, mientras que es necesario esperar para que una ó más de las otras se llenen. Para corregirlo anterior, deben hacerse gradualmente pequeños cambios en las tolvas en frío, hasta obtener un funcionamiento adecuado de la planta.

La naturaleza de variación de resultados, puede deducirse de la naturaleza del exceso o deficiencia en la capacidad de las tolvas, por ejemplo:

Si la tolva de agregados que pasan por la malla No. 10, reboza, mientras que es necesario esperar a que se llene la tolva de agregados de 3/8", disminuiríamos ligeramente la abertura de la tolva C de agregados fríos, aumentando proporcionalmente la abertura de la tova A.

Como otro ejemplo, podría citarse el siguiente.

Suponiendo que la tolva de agregados gruesos reboza, pero que las otras dos funcionan correctamente, en este caso se está suministrando en conjunto un exceso de material, de manera que será necesario reducir ligeramente la dosificación de la tolva A de agregados finos y no será necesario modificar la de las otras. Cuando deba de aumentarse o disminuirse la alimentación en conjunto por exigencias del funcionamiento, se modifica la abertura inicial de cada tolva en la misma proporción hasta que se obtiene el volumen total necesario. No es recomendable hacer dos correcciones a la vez; por ejemplo: Si se sabe que la alimentación total es escasa y que la dosificación de agregados en una tolva es ligeramente excesiva, es preferible corregir primero el volumen total y hacer después una nueva corrección en las proporciones de agregados de las diversas tolvas.

Es relativamente frecuente no poder producir una mezcla en planta con los materiales de alimentación en frío que se usan, especialmente cuando las tolerancias son relativamente estrechas, como en nuestro ejemplo. En tal caso deben tomarse muestras de los almacenamientos, determinar su granulometría y obtener una nueva fórmula de dosificar en planta, si esta fórmula produce una granulometría que cumple con las especificaciones generales y tiene características satisfactorias, no hay motivo para cambiar la fórmula de dosificación de modo que el productor pueda mantenerse dentro de los límites de aquella con los agregados de que dispone. Es común que incidentes como el que acabamos de indicar, procedan de muestras de los agregados en frío.

Es indiscutible la importancia del estricto control de la alimentación en función de cada tipo de agregados, la alimentación de estos al secador, de be regularse de tal manera que el caudal de cada tipo de ellas sea uni- forme y lo más próxima posible a la cantidad exacta necesaria para man- tener las tolvas de agregados calientes bien llenas, pero sin rebozar:

La irregularidad del caudal de cualquiera de los materiales fríos, es per- judicial de dos maneras distintas para el buen funcionamiento de la plan- ta. Si se sobrecargan las mallas de uno de los tamaños, disminuye el rendimiento del cribado y se produce generalmente un exceso de arrastre de unos agregados por otros.

El exceso o defecto de uno de los materiales fríos puede dar lugar a que una de las tolvas de agregados en caliente, reboze o se vacíe, una tolva rebozante significa pérdida de calor y vacía, disminuye la capacidad de la planta. En ambos casos, los gastos de funcionamiento de la planta au- mentan.

En el caso relativamente frecuente de agregados húmedos o inclusive saturados a consecuencia de lluvias o por su extracción de lechos de ríos, puede eliminarse gran parte de la humedad superficial removiendo las ca- pas superiores y empleando la parte que se ha ventilado en mayor propor- ción. En el caso de usar continuamente agregados mojados, uno de los mejores métodos para asegurarse del empleo de material estrictamente se- co, es utilizar dos secadores en serie, De esta forma puede lograrse el máximo de rendimiento de la planta, sin duda alguna sobre el perfecto se- cado de los agregados.

P A R T E T E R C E R A .

Control de Calidad.- La supervisión y control deben comenzar al momento de iniciarse la producción, sin embargo, es conveniente que se observe la maniobra de instalación y armado de la planta (en caso de que no esté instalada), con objeto de obtener, desde un principio los datos necesarios sobre las condiciones del equipo, como bandas, elevadores, quemadores, cribas, compuertas, etc., y poder prever las probables causas de futuros problemas de producción.

Actualmente las reclamaciones de la S. O. P. dejan a juicio y criterio del contratista los ajustes y calibración de las plantas, por lo que la mayoría de las veces, no se efectúa ninguna calibración, culpándose a los bancos de material cuando no se logra producir la granulometría de proyecto. Debido a lo anterior, en la mayor parte de los casos en que se ha trabajado concreto asfáltico, ha sido necesario elaborar ciertos de bachas fuera de lo especificado, para lograr producir la mezcla con una granulometría y contenido de cemento asfáltico aceptables, y como para determinar si son aceptables las bachas producidas, es necesario conocer su granulometría y contenido de cemento asfáltico, por lo general cuando se obtienen estos datos, la mezcla analizada ya fué tendida. Para evitar esto es necesario que no se inicie el tendido de la mezcla asfáltica mientras no se haya elaborado una mezcla de prueba que demuestre que ya se han logrado las condiciones exigidas por el proyecto.

Hay que tener en cuenta, al trabajar el concreto asfáltico, que:

Una buena mezcla, mal tendida y mal compactada, nos dá una mala carpeta.

Una mala mezcla bien tendida y bien compactada, nos dá una mala carpeta.

Es decir, que en el concreto asfáltico no puede descuidarse ni la elaboración, ni el tendido ni la compactación, pues de estos tres factores depende el que se obtenga una buena o mala carpeta.

Uno de los principales requisitos para que una carpeta se comporte satisfactoriamente y tenga una larga vida útil, es el grado de compactación que se le dá. Este puede determinarse por medio de corazones extraídos con una máquina perforadora o con cincel, determinándoles su densidad por medio del método descrito en el inciso 108-7.4 de las especificaciones usadas por la S.O.P., conocido como "Método de la - Parafina". Otra forma de determinar la densidad es con el uso de equipo conocido por AP-425 fabricado por la Soiltest, y con el cual no se causa ningún daño a la carpeta, además de ser un procedimiento mucho más rápido.

Respecto al grado de compactación que debe tener la carpeta, las especificaciones usadas por la S.O.P. establecen:

"...hasta alcanzar un grado mínimo de noventa y cinco por ciento (95% del peso volumétrico máximo que fije -

el proyecto y lo ordene la Secretaría....."

-- (Parte Cuarta.- Inciso 57-04.13 Pag. 124)
Edic. 1971.

Con respecto a este punto es conveniente aclarar que: Cuando se utiliza el peso volúmetrico máximo del proyecto se está haciendo una comparación en la que existen variables no controlables en la producción - por lo que no siempre resulta conveniente usar el peso volúmetrico máximo de proyecto.

Las variables no controlables a que se refiere el párrafo anterior, son - las variaciones, que pueden ser aceptables dentro de ciertos rangos especificados, en cuanto a granulometría y contenido de cemento asfáltico - en la mezcla.

Por otra parte, se puede utilizar el peso volúmetrico máximo de la mezcla producida, el cual es determinado de las pastillas que se elaboran para el control de la planta. Al utilizar este peso volúmetrico se efectúa una comparación más racional ya que se hace la determinación de la compactación con los pesos volúmetricos del mismo material tendido y - de la muestra tomada de dicho material.

Las características que debe reunir una mezcla asfáltica elaborada en caliente, están fijadas en el siguiente cuadro.

Características	Uso de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico.	Para Carreteras		Para Aeroportas.
		Hasta 2,000 Veh. - pesados	Más de 2,000 Veh. pe- sados.	<u>tas.</u>
No. de golpes por cara		50	75	75
Estabilidad mínima Kgs.	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.	450	700	700
Flujo, en milímetros.	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.	2-4.5	2-4	2-4
Por ciento de vacíos en la mezcla respecto al volumen del espécimen	Para carpetas y mezclas de renivelación.	3-5	3-5	3-5
	Para bases asfálticas.	3-8	3-8	3-8
Por ciento de vacíos en el agregado mineral (VAM) respecto al volumen del espécimen de mezcla, de acuerdo con el tamaño máximo del pétreo.	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.			
	Tamaño Máx.			
	4.76 mm. (No. 4)	18	18	18
	6.35 mm. (1/4")	17	17	17
	9.51 mm. (3/8")	16	16	16
	12.7 mm. (1/2")	15	15	15
	19.0 mm. (3/4")	14	14	14
25.4 mm. (1")	13	13	13	

Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.

Los porcentos de vacíos de la mezcla y del material pétreo, respecto al volumen del espécimen, deberán determinarse de acuerdo con el procedimiento descrito en el

Capítulo CXII de la Parte Novena.

TRABAJO COMPLEMENTARIO.

- CONOCIDAS LAS GRANULOMETRIAS DE TRES MATERIALES, QUE SEGUN ESTUDIOS PREVIOS, REUNEN CARACTERISTICAS ACEPTABLES PARA SU EMPLEO EN LA ELABORACION DE CONCRETO ASFALTICO, DETERMINE LAS PROPORCIONES EN QUE SE DEBERAN USAR PARA OBTENER LA CURVA GRANULOMETRICA DE PROYECTO.

MALLA No.	PORCENTAJE QUE PASA.			PROYECTO
	MAT. "A"	MAT. "B"	MAT. "C"	
3/4	100	100		100
1/2	72	96		88
3/8	50	91		75
1/4	32	80		60
No. 4	23	66		51
No. 10	11	42	100	35
No. 20	6	26	99	24
No. 40	4	20	77	18
No. 60	3	16	22	10
No. 100	2	11	4	7
No. 200	1	7	2	5

PROBLEMA:

- 1.- Determinar los desperdicios que se tendrán al usar una curva granulométrica de proyecto y conocida la del material original.. Dibujar las curvas con los datos anexos.
- 2.- Hacer el ajuste o calibración teórica de una planta de producción discontinua, con los siguientes datos:

Tolva No.	Material que pasa malla	Material retenido en malla.
1	1/4"	
2	1/2"	1/4"
3	3/4"	1/2"

Supondremos que la granulometría de proyecto exige los siguientes porcentajes:

Material	% de Proyecto
1	68
2	17
3	15

Al efectuarse la granulometría en cada tolva, se obtuvo la siguiente contaminación:

Material	T o l v a s N o .		
	1	2	3
1	100%	13%	
2		87%	8%
3			92%

- a. - Calcular los porcentajes que será necesario extraer de cada tolva, de manera que se aproveche al máximo el material que se encuentre en cada tolva.
- b. - Calcular los desperdicios que habría de cada material si la capacidad de las tolvas para cada una de estas, es la misma.

B I B L I O G R A F I A

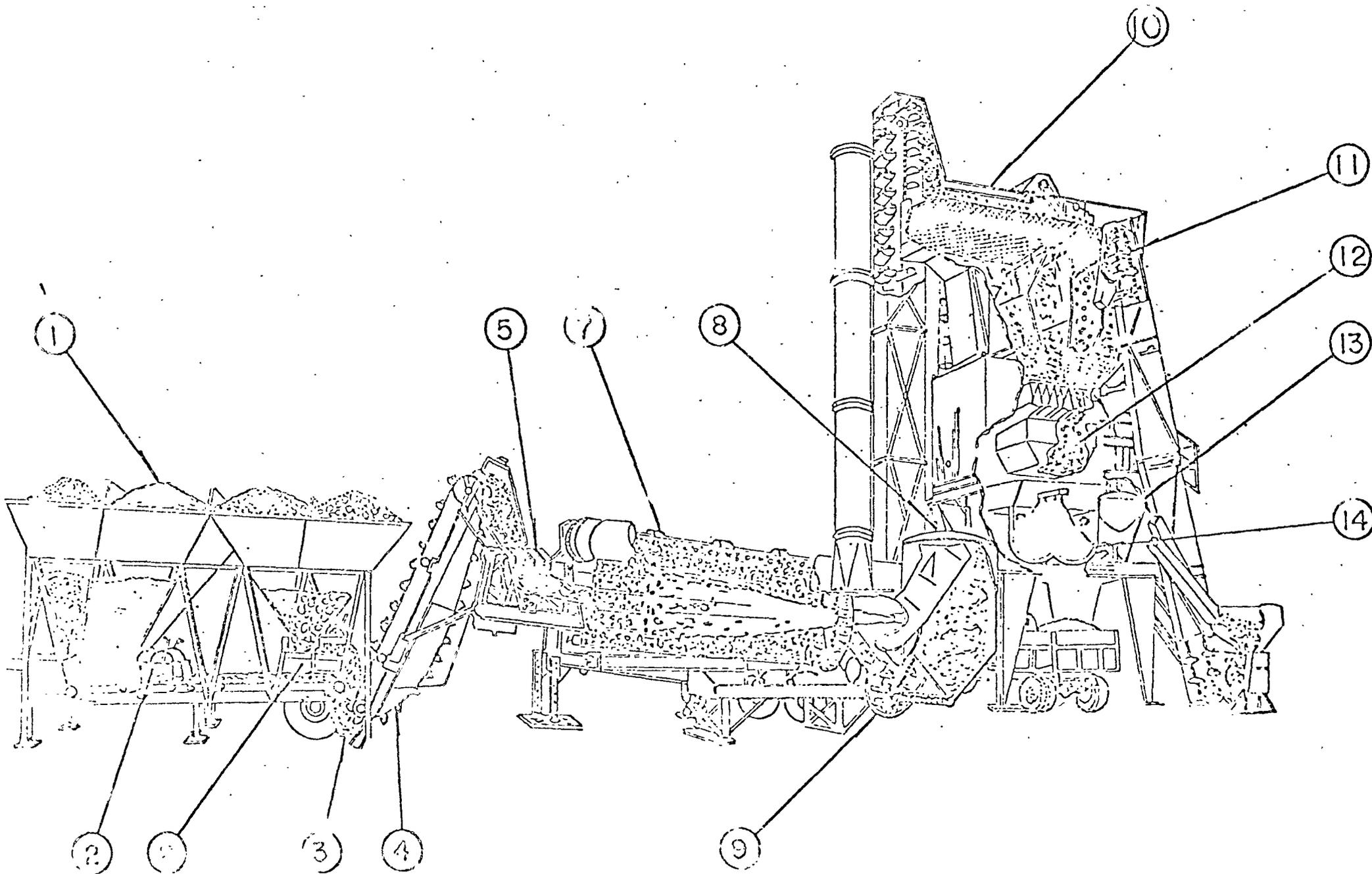
ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION S.O.P.
PARTES IV, VIII Y IX.

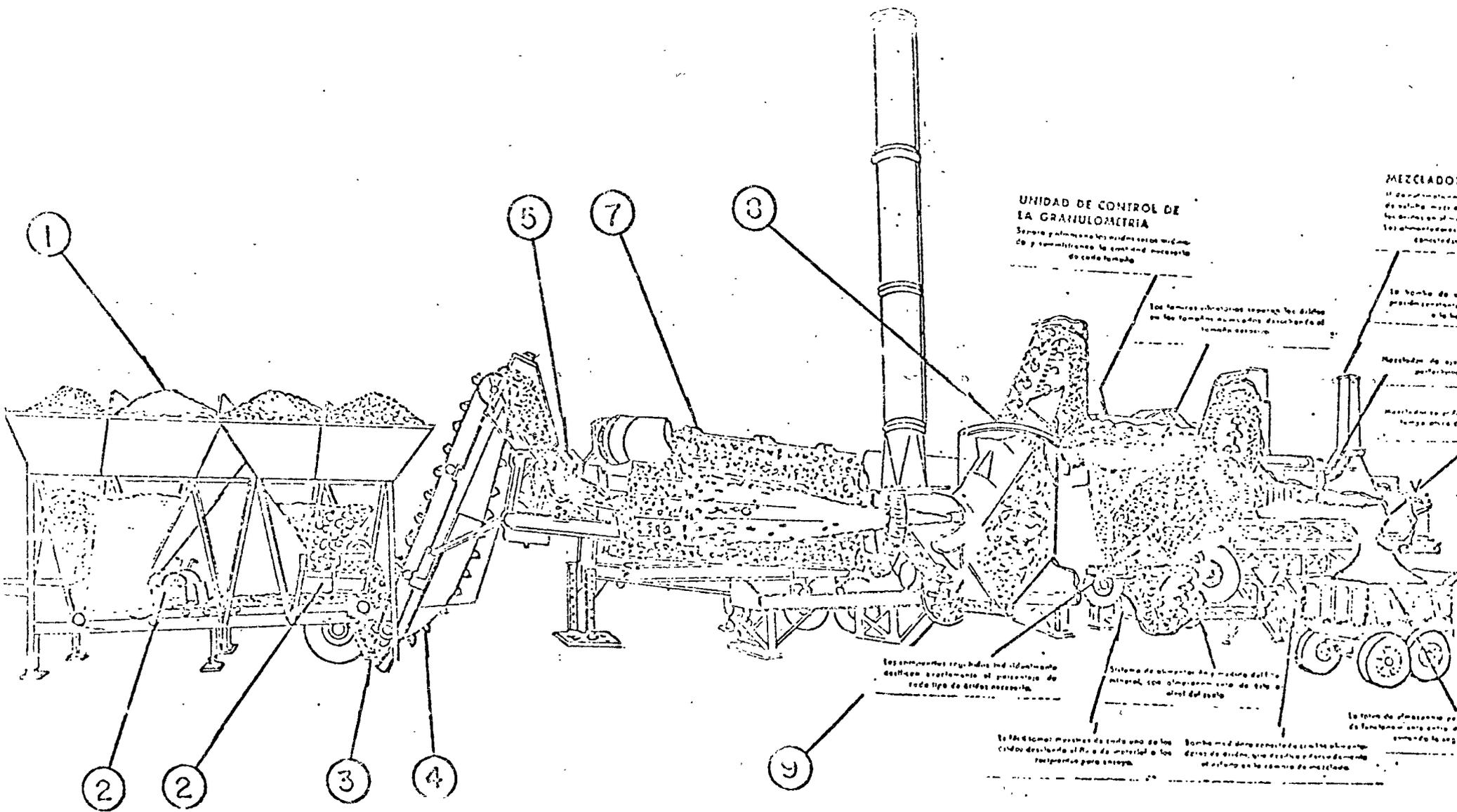
PAVIMENTOS ASFALTICOS
MARTIN Y WALLACE.
EDITORIAL AGUILAR

ELABORACION DEL CONCRETO ASFALTICO (APUNTES).
ING. ALFONSO GRACIA SAENZ RICO.

EL CONCRETO ASFALTICO (APUNTES).
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION DE LA DIVISION
DE CAMINOS DEL ESTADO DE CALIFORNIA, E. U. DE N.A.

MANUAL DEL ASFALTO.
THE ASPHALT INSTITUTE
COLLEGE PARK
MARYLAND, U.S.A.





UNIDAD DE CONTROL DE LA GRANULOMETRIA

Separa y almacena las partículas según su tamaño y suministra la cantidad necesaria de cada tamaño.

Las lambras vibratorias separan los diámetros de los tambores neumáticos desechando el tamaño necesario.

Los sensores vibradores individualmente desfilan exactamente el porcentaje de cada tipo de diámetro necesario.

Sistema de alimentación de muestra del tipo mineral, con almacenamiento de tipo a nivel del suelo.

Se toma muestra de cada uno de los cilindros durante el flujo de material a los recipientes para ensayo.

Bomba mecánica controlada por un sistema de diámetros, que desliza y hace avanzar el sistema en la cámara de mezcla.

MEZCLADOR

El dispositivo de control de la granulometria de cada muestra se conecta con el sistema de control de la granulometria.

La bomba de alimentación de muestra se conecta con el sistema de control de la granulometria.

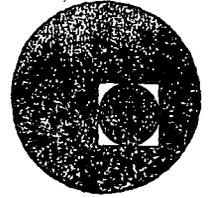
Muestras de tipo mineral.

Muestras de tipo orgánico.

La toma de muestra para el funcionamiento de la bomba de alimentación de muestra se conecta con el sistema de control de la granulometria.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

CARPETAS DE MEZCLAS
PRIMERA PARTE

ING. EMILIO GIL VALDIVIA

JUNIO, 1978.

CARPETAS DE MEZCLAS

ING. EMILIO GIL VALDIVIA.

OBJETIVOS:

Conocer

- . Diferentes tipos de mezclas
- . Sus procedimientos de construcción
- . Equipo que se emplea.

TEMARIO:

Mezclas

- . Elaboradas en el lugar
- . De emulsión
- . De riegos sucesivos
- . Elaboradas en plantas

Procedimiento de construcción

- . Mezclado
- . Tendido
- . Compactación

EQUIPOS

- . De mezclado y tendido
- . De mezclado *
- . De tendido
- . De compactación

* Plantas de Bachas

Plantas de producción continua.

1).- MEZCLAS

Clasificación:

Frías : Elaboradas con asfaltos rebajados y con emulsiones asfálticas.

Calientes: Elaboradas en planta estacionaria.

Carpetas de riegos:

Las mezclas llamadas "frías" son producidas en el lugar.

Como en su nombre se indica, se incorporan los agregados con el cementante en frío; el cementante usa como vehículo: gasolina, para el caso de los asfaltos rebajados; agua, en el caso de las emulsiones, la mezcla pueda transportarse a la temperatura ambiente, lo que solamente se ve limitado por condiciones -- climatológicas.

Se usan asfaltos rebajados de fraguado rápido que se incorporan al pétreo, -- previamente "acamellonado"; la dosificación se hace en volúmen, en forma - - aproximada, lo que nos indica que el producto es de baja calidad. Por ello , generalmente se usan materiales en "greña" cuya granulometría no ha sido con trolada. El asfalto mas comunmente usado en México, para estos propósitos - es el FR-3 que contiene 73% de Residuo y 27% de Solventes.

Se emplean estas mezclas en bacheos de carreteras, reconstrucciones de caminos, sobrecarpetas, siempre y cuando haya poca intensidad de tránsito.

Se usan también como superficie de rodamiento para caminos con intensi dad de tránsito de menos de 1000 vehículos por día.

Es importante que antes del tendido y compactación hayan sido eliminados, por evaporación la mayor parte de los solventes y de la humedad contenida por los agregados. Se recomienda colocar la mezcla cuando la humedad sea del 1% aproximadamente.

No deben usarse cuando se requieran altas especificaciones en la superficie de rodamiento, ó cuando las cargas sean de importancia, por su frecuencia, ó por su intensidad. El acabado es regular no es posible fabricarlos impermeables y están limitados también por condiciones climatológicos (lluvias y temperaturas bajas, cercanas a los 5°C).

MEZCLAS DE EMULSION

Las emulsiones de asfalto usan agua como vehículo, la que, ubicada entre las partículas del cemento las separan, permitiendo su transporte en forma de líquido.

Se clasifican en: Aniónicas

Catiónicas.

Al incorporarse al pétreo, según la carga eléctrica que presente, habrá de permitir su acercamiento con el cementante, expulsando al agua, que hasta entonces había mantenido separadas a las partículas de cementante; así se formará -- una estructura de agregados y cemento que constituye a la mezcla.

Al momento de expulsión del agua se le conoce como "rompimiento" de la --- emulsión y es entonces cuando debe procederse a la compactación.

Las mezclas pueden hacerse en camellones ó en máquinas revolvedoras.

Pueden esperarse de estas mezclas, características de bases estabilizadas.

Su uso queda entonces restringido a carpetas de caminos de poca intensidad del tránsito, bacheos y desde luego bases estabilizadas de autopistas y aeropuertos, y se prefieren para lugares lluviosos, ó de alta humedad del ambiente, donde es muy difícil el uso de asfaltos rebajados.

CARPETA DE RIEGOS.

Son de uso muy generalizado en nuestro país y se reducen a la colocación de un riego de asfalto caliente sobre la base terminada, para regarles un producto pétreo fino (materiales 3-A ó 3-E) los que se adhieren a la base, la sellan y la protegen de la acción del tránsito.

No añaden capacidad estructural a las capas de subbase y base, las que habrán de soportar los esfuerzos que imponen las cargas.

MEZCLAS ELABORADAS EN PLANTA.

Son mezclas, como las denominadas en el lugar de pétreos y cementante. Sin embargo pueden considerarse (estas de planta) de calidad controlada.

Conviene entonces mencionar que para obtener una buena mezcla, debe contarse con un control de calidad adecuado para cada uno de los componentes.

Haremos mención de las cualidades necesarias de los componentes y de ellos una vez constituidos en mezcla.

Corresponden al primer grupo:

- Naturaleza y calidad de los agregados. (dureza, forma, afinidad con el cementante).
- Granulometría.- Distribución de tamaños.
- Calidad del cemento asfáltico.- En general se usa en México el cemento asfáltico No. 6, su penetración varía entre 80 - 100 debe cuidarse esta cualidad ya que los cementos "duros" en mezclas de alta compactación, producen carpetas "frágiles".

Como cualidades de la mezcla se pueden mencionar:

- Resistencia.
- Durabilidad.
- Textura.

Los pétreos y el cementante combinan sus cualidades al ser mezclados. Se requiere en esta etapa del cuidado para que la mezcla sea homogénea, que las proporciones de los componentes sea la adecuada (diseño de la mezcla) y que el mismo equipo usado para su elaboración no altere las propiedades del cemento -- por defecto en el control de la temperatura.

II).- PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION

Tanto en las mezclas frías como en las calientes pueden distinguirse 3 fases bien definidas en el procedimiento de construcción:

Mezclado.

Tendido.

Compactación.

Se agregan a los anteriores:

- Para el caso de mezclas frías, en algunos casos, el disgregado de materiales, operación previa al mezclado, tendiente a componer las propiedades granulométricas del material en "greña", cuando existe un porcentaje alto de partículas mayores.

- Y el transporte de la mezcla, para el caso de mezclas de planta, ya que esta se encuentra a cierta distancia del lugar del tiro de la carpeta.

MEZCLADO

- Para carpeta de rebajados:

Se lleva a cabo mediante motoconformadoras, una vez que ha sido incorporado el asfalto a 80°C aproximadamente, en el material previamente colocado en camellones, se da el número de pasadas necesario, hasta que se han evaporado los solventes, vehículo del asfalto, operación que es controlada por el Laboratorio. En caso de que se eliminen durante el proceso de mezclado y "desfluxado" la totalidad de los solventes, obtendremos una mezcla de muy difícil trabajabilidad. Conviene conservar una pequeña proporción de solventes que faciliten la operación de extendido. Durante ella y en la primera etapa de vida, de la carpeta dichos solventes se perderán por evaporación. Sin embargo si se dejan solventes residuales en exceso, la carpeta será deformable bajo la acción de las cargas.

Es importante señalar que la humedad en el pétreo es perjudicial para la liga con el cementante, por tanto, si ésta situación se presenta, los -- agregados deben ser secados, también mediante una motoconformadora, a fin -- de permitir la evaporación de la humedad excedente. Como se mencionó se recomienda una humedad residual del 1%, sin embargo ello debe revisarse en -- función de la humedad ambiente y de la absorción natural del agregado pétreo.

- Para mezclas de emulsión:

La operación es similar a la del caso anterior; una vez que se ha conseguido una distribución uniforme, la mezcla se deja reposar hasta su "rompimiento"; en este momento ya se puede iniciar la compactación.

- Mezclas en planta:

Como su nombre lo indica, esta operación se lleva a cabo en plantas diseñadas para este propósito:

Se distinguen plantas de producción distontinua ó de bachas.

Y plantas de producción continua; a continuación se hace la descrip- -
ción de las plantas:

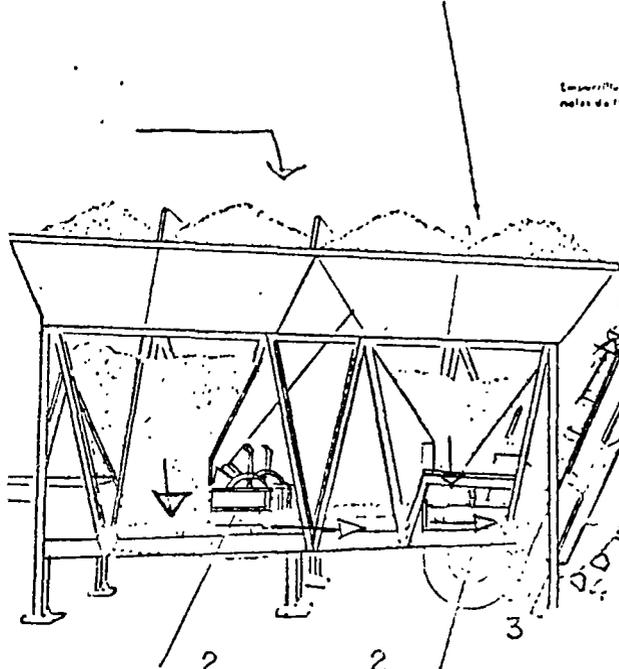
DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DE

UNA PLANTA DE " BACHAS "

INSTALACION MEZCLADORA DISCONTINUA

1 ALMACENAJE Y ALIMENTACION DE MATERIAS PRIMAS

Almacena las drizas y da forma convenientemente la cantidad de cada tipo de materia prima para mantener constantes los niveles de las cubetas en la unidad mezcladora.



Las cubetas de almacenamiento de las materias primas se alimentan por gravedad a través de un sistema de conductos que se comunican con el sistema de alimentación de la unidad mezcladora.

Los alambres de acero inoxidable que forman los tubos de alimentación forman parte del sistema de alimentación de la unidad mezcladora.

7 SECADOR

Los drizas que fluyen continuamente se secan en un tambor que gira sobre un eje con la ayuda de los rodillos. En la parte inferior de los rodillos se dispone un sistema de pendingente que conduce al siguiente equipo.

5 Emparrillado que sirve de estructura de male para el transporte de las materias primas.

8 COLECTOR DE POLVO

Reservorio para el polvo que puede ser llevado a la planta de procesamiento.

Las unidades que se giran a alta velocidad del tambor reducen al mínimo las molestias causadas por el polvo en las proximidades de la instalación.

El tambor gira sobre un eje con la ayuda de los rodillos que se encuentran en la base del tambor y al exterior de éste.

Los rodillos de caucho que giran sobre un eje con la ayuda de los rodillos que se encuentran en la base del tambor y al exterior de éste.

Los rodillos de caucho que giran sobre un eje con la ayuda de los rodillos que se encuentran en la base del tambor y al exterior de éste.

9

UNIDAD DE CONTROL DE LA GRANULOMETRIA

Se trata de una unidad que controla el tamaño y da forma la cantidad de materia prima que se debe utilizar.

Tambor de control y separación de drizas en las tambores y unidades de granulometria de la unidad.

Alimentación de la materia prima para las unidades de granulometria.

El tambor de control y separación de drizas en las tambores y unidades de granulometria de la unidad.

La parte de control y separación de drizas en las tambores y unidades de granulometria de la unidad.

La parte de control y separación de drizas en las tambores y unidades de granulometria de la unidad.

El sistema de control y separación de drizas en las tambores y unidades de granulometria de la unidad.

Sistema de control y separación de drizas en las tambores y unidades de granulometria de la unidad.

Figura VI-6—Instalación mezcladora discontinua

El material procedente del almacén se alimenta a la planta por medio de tractor ó cargador, depositándose en las tolvas para material frío (1), por lo general son cuatro tolvas, dispuestas para alimentar material pétreo de distintos tamaños. Estas tolvas están equipadas, en su descarga, con compuertas ajustables para regular la caída del material al alimentador de fríos (2), (el cual puede ser de banda ó de vaivén), por lo que es posible dosificar el material pétreo frío, para que caiga al depósito (3) con una primera graduación granulométrica. De este depósito es llevado por el elevador de cangilones (4), -- hasta la tolva de entrada del secador (5), en esta parte se encuentra una rejilla para impedir la entrada de objetos mayores al tamaño fijado. Al entrar el material al secador (7), el polvo (6), y puede ser reincorporado, en caso necesario, en el recipiente (8), en donde se une al material que sale del secador. De allí es llevado por un segundo elevador de cangilones (9), hasta las cribas vibratorias (10), para ser separado por tamaños depositándose en las tolvas de material caliente (11), por las compuertas de estas tolvas se extrae de cada una la cantidad en peso que fija la granulometría de proyecto, valiéndose del recipiente pesador (12), y adicionando por la válvula (13), el cemento asfáltico caliente. Los materiales ya dosificados, así como el cemento asfáltico pasan al mezclador (14), en donde se homogeniza la mezcla y se descarga el camión que la ha de transportar.

Esto es en una muy breve síntesis, del funcionamiento de una planta de tipo discontinuo.

DESCRIPCION DE UNA PLANTA DE

PRODUCCION CONTINUA

INSTALACION MEZCLADORA CONTINUA

ALMACENAJE Y ALIMENTACION DE ARIDOS SECOS

Almacena los aridos en grandes cantidades y los alimenta a la planta de procesamiento. El sistema de alimentación es de tipo continuo y se alimenta a la planta de procesamiento.

SECADOR

El material que sale de la planta de procesamiento se seca en un horno de secado. El sistema de secado es de tipo continuo y se alimenta a la planta de procesamiento.

COLISOR DE POLVO

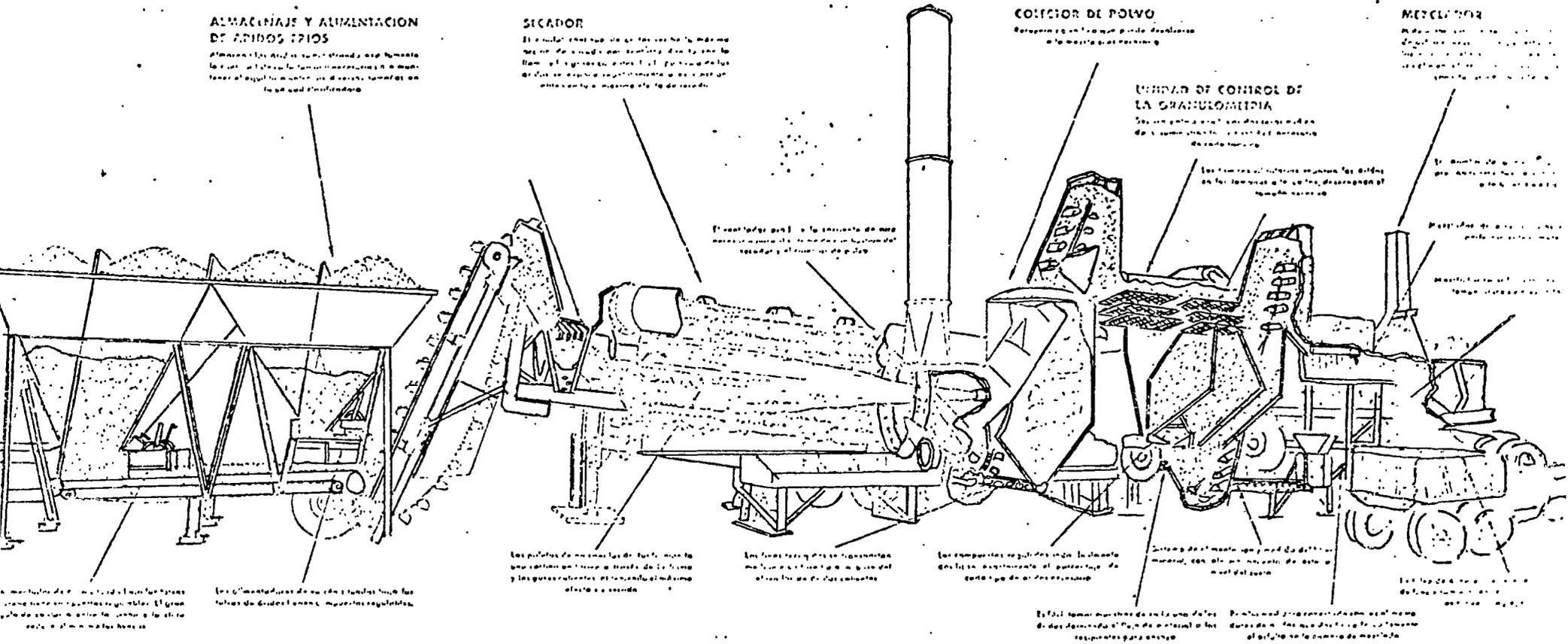
Separador que permite separar el polvo de la mezcla que se procesa.

MEZCLADORA

El material que sale de la planta de procesamiento se mezcla en una mezcladora. El sistema de mezcla es de tipo continuo y se alimenta a la planta de procesamiento.

UNIDAD DE CONTROL DE LA GRANULOMETRIA

Sección que controla el tamaño de las partículas de la mezcla que se procesa.



El material que sale de la planta de procesamiento se seca en un horno de secado.

Los materiales que se procesan se separan en polvo y se separan de la mezcla que se procesa.

El material que sale de la planta de procesamiento se mezcla en una mezcladora.

El material que sale de la planta de procesamiento se mezcla en una mezcladora.

El material que sale de la planta de procesamiento se mezcla en una mezcladora.

Los pulidos de mermas de la planta de procesamiento se separan en polvo y se separan de la mezcla que se procesa.

Los materiales que se procesan se separan en polvo y se separan de la mezcla que se procesa.

Los materiales que se procesan se separan en polvo y se separan de la mezcla que se procesa.

El material que sale de la planta de procesamiento se mezcla en una mezcladora.

El material que sale de la planta de procesamiento se mezcla en una mezcladora.

El material que sale de la planta de procesamiento se mezcla en una mezcladora.

El material que sale de la planta de procesamiento se mezcla en una mezcladora.

Figure VI-7-Instalación mezcladora continua

El tipo de planta llamado de producción continua, es en nuestro país menos empleada que la llamada de producción discontinua (Bachas).

DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO.

La descripción de una planta de producción continua, se puede hacer dividiéndola en tres secciones:

- A.- Dosificación de áridos fríos (Fig. 1)
- B.- Secador y colector de polvo (Fig. 2)
- C.- Dosificación y mezclado de materiales calientes (Fig. 3).

El funcionamiento de una planta de este tipo es el siguiente (Fig. 4).

El material procedente del almacén se alimenta a la planta por medio de tractor ó cargador, depositándose en las tolvas para material frío (1), por lo general son cuatro tolvas, dispuestas para alimentar material pétreo de distintos tamaños. Estas tolvas están equipadas, en su descarga, con compuertas ajustables para regular la caída del material al alimentador de fríos (2), (el cual puede ser de banda ó de vaivén; por lo que es posible dosificar el material pétreo frío, para que caiga al depósito (3) -- con una primera graduación granulométrica. De este depósito es llevado por el elevador de cangilones (4), hasta la tolva de entrada del secador (5), en esta parte se encuentra una rejilla para impedir la entrada de objetos mayores al tamaño fijado. Al entrar el material al secador (7), el polvo (5), puede ser reincorporado, en caso necesario,

en el recipiente (8), en donde se une al material que sale del secador. De allí es llevado por un segundo elevador de cangilones (9), hasta las cribas vibratorias (10), para ser separado por tamaños depositándose en las tolvas de material saliente (11), por las compuertas (12) de estas tolvas se extrae de cada una la cantidad que fija la granulometría de proyecto, y adicionando por la válvula (13), el cemento asfáltico caliente.

Los materiales ya dosificados, así como el cemento asfáltico pasan al mezclador (14), en donde se homogeniza la mezcla y se descarga el camión que la ha de transportar.

Este es una muy breve síntesis, del funcionamiento de una planta de tipo continuo.

En este tipo de plantas continuas el material procedente de las tolvas de almacenaje en caliente se dosifica por medio de compuertas regulables que descargan sobre los alimentadores de material caliente. Todos los materiales son transportados al mezclador en forma continua.

El asfalto también afluye en forma continua, y se regula con un sistema de bombeo conectado con el mecanismo de dosificación (Fig.5), de tal manera que se obtiene una relación constante entre la cantidad total de los agregados pétreos y el producto asfáltico empleado, esto en forma independiente de la velocidad de producción.

TENDIDO.

. Mezclas frías: Se usa el mismo equipo que para el

mezclado: la motoconformadora. Mediante la altura de la cuchilla, se controla el espesor que desea colocarse. Es te procedimiento tiene como desventaja que clasifica los materiales por efecto de arrastre, sin embargo, dada la - calidad esperada de la mezcla, se considera adecuado.

En algunos casos, sobre todo para bases estabilizadas, puede usarse la máquina extendedora ó "finisher", -- cuando se ha empleado emulsión; con ello se evitan las clasificaciones de tamaños del pétreo y se consigue un mejor control de espesores.

. Mezclas calientes:

Se tienden con equipo especialmente diseñado para - este fin. Por lo tanto cuentan con los dispositivos necesarios para garantizar:

- Un extendido continuo.
- Un espesor controlado.
- Una compactación primaria.
- Una mezcla uniforme.

COMPACTACION.

MEZCLAS FRIAS:

Su comportamiento a la compactación y a la circulación puede ser muy diferente, según sea la granulometría del material:

Gruesa
Buena
Fina

Se llevan a cabo mediante el uso de rodillos lisos y se deja una parte del proceso al tráfico.

Según Arquíé en su libro: COMPACTACION lo anterior es válido siempre que se usen granulometrías gruesas, lo que da estructuras permeables y posiblemente con granulometrías buenas, se presentan bajas compactaciones y perfiles defectuosos.

Para las mezclas de emulsión será necesario permitir la expulsión del agua y evitar que se presenten inestabilidades mecánicas por ello.

MEZCLAS CALIENTES:

Intervienen 2 equipos: rodillos lisos y rodillos de neumáticos.

Es bien conocido el efecto compactador de cada uno:

Liso.- Accionando de arriba hacia abajo.

De Neumáticos.- Todo el espesor. En la práctica conocida consiste en aplicar primero el rodillo liso, para "armar" y posteriormente el de neumáticos para alcanzar el grado deseado de compactación.

No obstante lo anterior es interesante observar la técnica francesa moderna:

"Se debe emplear en cabeza, muy cerca de la extendidora, hasta casi tocarla, un compactador de neumáticos, para aprovechar el efecto de amasado".

Las huellas que marca son borradas por el rodillo - liso.

Son factores importantes para lograr una buena compactación:

El espesor de la capa.

El tipo de agregados, granulometría y forma de las partículas.

El diseño de la mezcla.

El peso y tipo del compactador.

La temperatura de compactación.

CALIDAD DE LA MEZCLA:

La supervisión y control deben comenzar al momento de iniciarse la producción, sin embargo, es conveniente -- que se observe la maniobra de instalación y armado de la -- planta (en caso de que no esté instalada), con objeto de -- obtener, desde un principio los datos necesarios sobre las condiciones del equipo, como bandas, elevadores, quemado-- res, cribas, compuertas, etc., y poder preveer las proba-- bles causas de futuros problemas de producción.

Actualmente las reglamentaciones de la SAHOP., dejan a juicio y criterio del contratista los ajustes y calibración de las plantas, por lo que la mayoría, de las veces, no se efectúa ninguna calibración, culpándose a los bancos de material cuando no se logre producir la granulometría de proyecto. Debido a lo anterior, en la mayor parte de -- los casos en que se ha trabajado concreto asfáltico, ha si do necesario elaborar cientos de bachas fuera de lo especi

ficado, para lograr producir la mezcla con una granulometría y contenido de cemento asfáltico aceptables, y como para determinar si son aceptables las batchas producidas - es necesario conocer su granulometría y contenido de cemento asfáltico, por lo general cuando se obtienen estos datos, la mezcla analizada ya fué tendida. Para evitar - esto es necesario que no se inicie el tendido de la mezcla asfáltica mientras no se haya elaborado una mezcla de prueba que demuestre que ya se han logrado las condiciones exigidas por el proyecto.

Hay que tener en cuenta, al trabajar el concreto asfáltico que:

Una buena mezcla, mal tendida y mal compactada nos dá una mala carpeta.

Una mala mezcla bien tendida y bien compactada nos dá una mala carpeta.

Es decir, que en el concreto asfáltico no puede descuidarse ni la elaboración, ni el tendido ni la compactación.

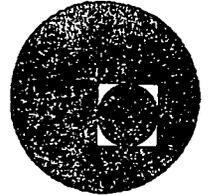
Características	Uso de la mezcla asfáltica elabo- rada con cemento asfáltico	Para carreteras Hasta 2,000 Veh. pe- sados.	Más de 2,000 Veh. pe- sados.	Para Aero- pistas.
No. de golpes por cara,		50	75	75
Estabilidad míni- ma Kgs.	Para carpetas - capas de renive- lación, bases - asfálticas y ba- cheo.	450	700	700
Flujo, en milime- tros.	Para carpetas, capas de renive- lación, bases - asfálticas y ba- cheo.	2-4.5	2-4	2-4
Por ciento de va- cios en la mezcla, respecto al volú- men del especimen	Para carpetas y mezclas de reni- velación. Para bases as- fálticas.	3 - 5 3 - 8	3-5 3-8	3-5 3-8
Por ciento de va- cios en el agrega- do mineral (VAM), respecto al volú- men del espécimen de mezcla, de - - acuerdo con el ta- maño máximo del - pétreo.	Para carpetas, capas de renive- lación, bases - asfálticas y ba- cheo. Tamaño Máx.			
	4.76mm. (No.4)	18	18	18
	6.35mm. (1/4")	17	17	17
	9.51mm. (3/8")	16	16	16
	12.7 mm. (1/2")	15	15	15
	19.0 mm. (3/4")	14	14	14
	25.4 mm. (1")	13	13	13

Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.

Los porcentajes de vacíos de la mezcla y del material pétreo, respecto al volumen del espécimen, deberán determinarse de acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo CXII de la parte novena.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

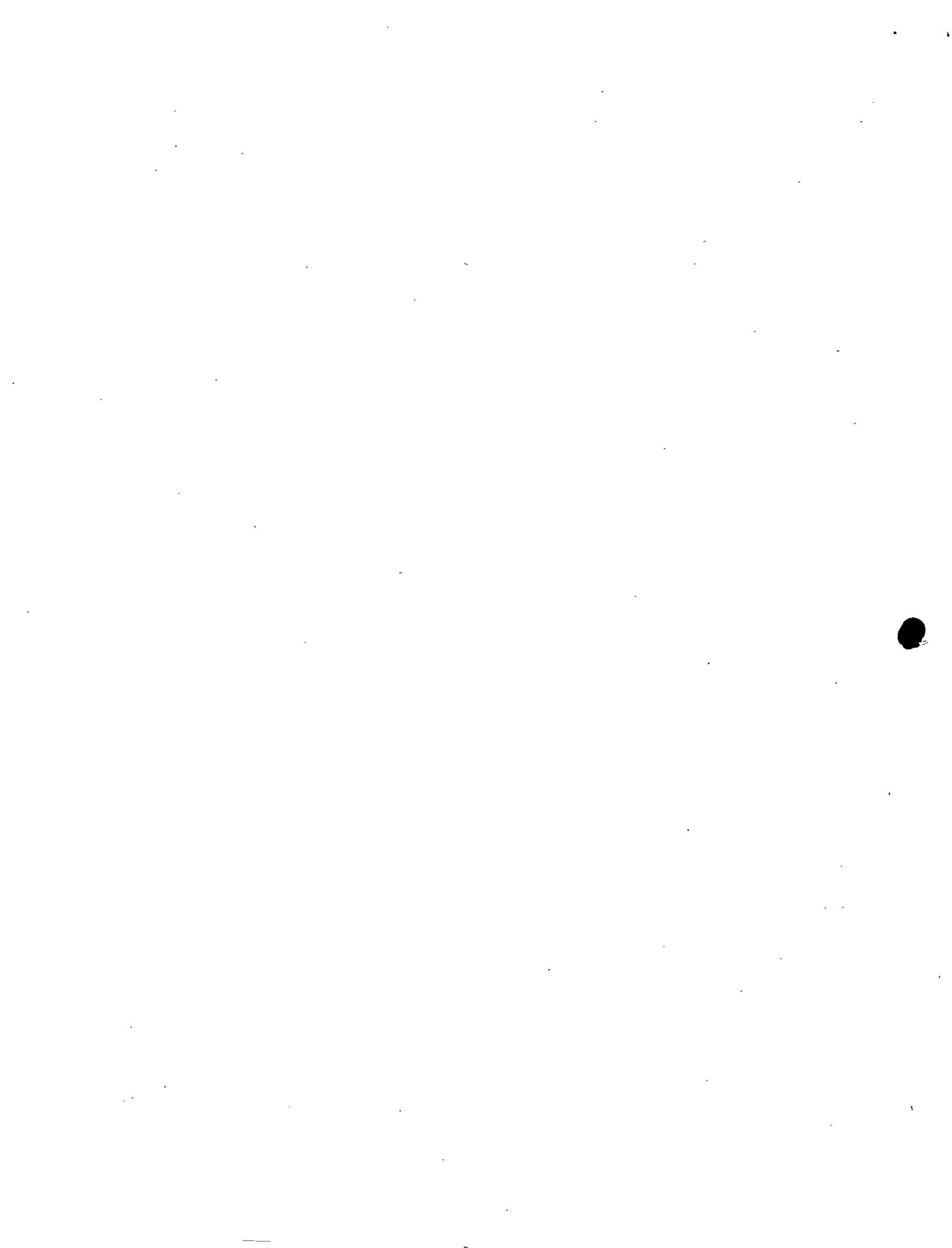


DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

TRANSPORTE, COLOCACION Y COMPACTACION
DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE.
PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION Y CRITE-
RIOS PARA LA ELECCION DEL EQUIPO. CAU-
SAS QUE ORIGINAN DEFECTOS DE CONSTRUC-
CION Y METODOS PARA EVITARLOS Y CORRE-
GIRLOS.

ING. ROBERTO PASQUEL LUJAN

JUNIO, 1978.



CENTRO DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA
U. N. A. M.
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

"TRANSPORTACION, COLOCACION Y COMPACTACION DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE".

ING. ROBERTO PASQUEL LUJAN.

Durante esta plática analizaremos la transportación, colocación y compactación de la mezcla asfáltica producida en planta, sin perder de vista que estas etapas son parte de un todo que abarca desde la obtención de los componentes de la mezcla hasta la entrega final del trabajo, y que el funcionamiento económico de cualquiera de ellas depende de una administración general eficiente.

El ciclo de la transportación se inicia en la planta asfáltica, con la carga de la mezcla y con una duración que depende de:

- 1.- La capacidad de la planta.
- 2.- El grado de humedad de los materiales pétreos.
- 3.- El tiempo de mezclado.
- 4.- La capacidad de la unidad de transporte.

Puede haber otros factores que influyan en el tiempo de carga de los camiones, como fallas en el suministro de algún material a la planta, pero no los consideraremos en esta discusión. Por lo general, para un trabajo de terminado, el tiempo de carga es constante; la única forma de disminuir ese tiempo, en tales condiciones, es mediante el uso de silos para almacenar la mezcla.

El empleo de sistemas para el almacenamiento de la mezcla asfáltica mejora

la eficiencia de la transportación, puesto que, disminuyendo el tiempo de carga reduce el número de camiones necesarios para una producción determinada. También mejora la producción diaria de la planta al no estar sujeta, para su operación continua, a la disponibilidad de camiones.

El tiempo de descarga de la mezcla en la extendedora es constante, de aproximadamente dos minutos; puede abarirse este tiempo, aunque muy poco, mediante el uso de un dispositivo dentro del cual descarga el camión y, al avanzar éste, forma un camellón frente a la extendedora.

En lo que más influye el acamellonador es en abatir el tiempo de espera para descarga de los camiones, cuando se juntan dos o más, frente a la extendedora. Mas adelante veremos la influencia de este dispositivo en la calidad de la carpeta terminada.

Completa el ciclo de transportación de la mezcla, el acarreo de la planta a la extendedora; esto es, el viaje del camión cargado y su retorno vacío. Este elemento del ciclo siempre es variable y depende de muchos factores, entre ellos:

- 1.- La velocidad máxima permitida.
- 2.- La densidad de tránsito.
- 3.- Obstáculos, semáforos, desviaciones, etc.
- 4.- El grado de las pendientes y el estado del camino.

Tenemos ya los tiempos que intervienen en el cálculo del ciclo y que determinan el número de camiones que vamos a emplear. La experiencia nos obliga a considerar otro factor: los tiempos de espera o demoras, pues tienen una muy

significativa influencia en la eficiencia global del trabajo.

Las demoras pueden ser: internas, o sea aquellas que ocurren, dentro del sistema global de la producción, ocasionando que alguna unidad tenga que esperar a otra para completar su ciclo, y externas: aquellas que son provocadas por causas ajenas al sistema de producción.

Son las demoras, internas y externas, las responsables de que el ciclo de transportación sea tan variable; además, si no es por la experiencia de muchos trabajos, no hay forma de suponer su duración. El objetivo, por lo tanto, debe ser la minimización de las demoras internas mediante, como dijimos antes, de la administración ~~eficiente del sistema.~~

Consideremos ahora la capacidad que deben tener los camiones. Se ha demostrado, mediante observaciones en diferentes trabajos (Systems Analysis of Storage, Hauling and Discharge of Hot Asphalt Paving Mixtures, NAPA-Texas A & M University), que:

- 1.- La mayor economía se logra usando, para la transportación de la mezcla, las unidades de mayor capacidad que sea posible, desde plantas también de gran capacidad (600 Ton./hr.). Aun en plantas de 200 Ton./hr. se observarán los mayores rendimientos en los camiones grandes. Los camiones comparados fueron de 7.5 Ton., 15 Ton., y 22.5 Ton. (toneladas de 2000 lb.). Las distancias de los acarreo fueron de 1.0, 7.5 y 22.5 millas.
- 2.- La relación: peso de la unidad/H.P., es determinante; al camión mas eficiente, le corresponde el menor valor.

3.- Se logra la mayor eficiencia y por lo tanto la máxima economía, manteniendo en equilibrio las producciones de la planta y de la extendedora con el número adecuado de camiones.

Para nuestro medio, estamos obligados a considerar algunas limitaciones en cuanto a la capacidad de los camiones. Los muy grandes necesitan también áreas grandes para efectuar las maniobras que requiere el trabajo, tales como: vueltas, retrocesos, acomodados, etc.; el ancho promedio de los caminos nacionales no permite el aprovechamiento eficiente de este tipo de unidades.

Con lo que hemos visto hasta ahora, podemos determinar tanto el número de unidades de acarreo, como decidir sobre la capacidad más conveniente de los camiones que necesitamos.

Lo anterior debemos aplicarlo aun cuando se alquilen camiones para efectuar el trabajo porque, como ya vimos, la eficiencia del sistema es muy sensible a estos factores.

Con camiones propios o alquilados, conviene que el personal que los opera obedezcan algunas reglas o recomendaciones:

- 1.- Ante todo, deben obedecer las indicaciones del personal que administra, tanto la planta como la extendedora; es en ésta, o sea en la descarga de la mezcla, donde el chofer contribuye a que se obtenga una buena calidad.
- 2.- Para evitar fallas y demoras, deben conservar sus camiones en perfectas condiciones mecánicas, tanto por el costo de la carga como por la temperatura que debe tener la mezcla al extenderse.
- 3.- Se acostumbra, después de limpiar la caja, embarrarle un poco de diesel para que la mezcla no se pegue y fluya mejor; después de hacerlo se levanta la caja para que escurra el excedente.

Al analizar la operación de extendido veremos otras recomendaciones, para el personal, con mas detalle.

El extendido de la mezcla asfáltica se lleva a cabo con una máquina extendedora-pavimentadora. Consiste ésta de dos partes principales: una es la parte tractiva y la otra una plancha flotante. La unidad tractiva proporciona la fuerza motriz a través de bandas de orugas o de neumáticos que ruedan sobre la base; ésta unidad incluye: la tolva receptora, los tornillos distribuidores de la mezcla el motor, transmisiones, dos centros de control y el sitio para el operador. La plancha maestra es jalada por la unidad tractiva y consiste de: la placa maestra, vibradores o barra compactadora, controles para variar el espesor de tendido, controles para variar la pendiente transversal y los calentadores de la placa. A cada lado de la plancha maestra tiene un largo brazo que la conectan con la unidad tractiva con un centro pivote cada uno en el punto de unión. Este mecanismo le permite, a la plancha maestra, flotar sobre la mezcla mientras se tiende. La plancha, al recibir la mezcla que reparten los tornillos, la extiende y le aplica una compactación inicial mediante una barra o de vibradores. Al avanzar la unidad de tracción, jala la plancha hacia la mezcla haciendo que la superficie inferior viaje en una dirección paralela al avance de la máquina. La plancha mantendrá este nivel hasta que se cambie el ajuste de los controles correspondientes. La plancha niveladora maestra continuamente mantiene en equilibrio las fuerzas que actuan sobre ella, por lo que es importante mantener un ajuste adecuado en los mecanismos que le envían la mezcla:

- 1.- Los transportadores de la tolva a los tornillos deben trabajar uniformemente.
- 2.- Las compuertas que regulan el flujo de mezcla deben ajustarse convenientemente.

3.- Se debe conservar un nivel de mezcla uniforme frente a la plancha para que los tornillos lleven la cantidad justa de mezcla. La regla práctica para esto es que el tornillo esté cubierto de mezcla hasta las dos terceras partes de su altura.

4.- No deben moverse excesivamente los controles del espesor.

La operación de extendido propiamente se inicia con la colocación en su lugar de la extendedora sobre tacones de madera, de altura igual al espesor suelto que se va a extender; se coloca la plancha maestra y se ajustan los controles para que se mantenga ese nivel. Al avanzar la máquina se revisa el espesor mediante un escantillón. Esta revisión se hace continuamente para modificar la posición de la plancha, si acaso el espesor es mayor o menor que el deseado. Sin embargo, se debe considerar que al girar el control para corregir el espesor, el resultado se logra al haber avanzado la plancha de 20 a 30 metros. Estos controles solamente los debe mover o mandar mover el sobrestante o cabo del extendido, pues la uniformidad de la superficie terminada es afectada, como ya se dijo, por el abuso del ajuste continuo de los controles.

Desde hace algunos años se emplean sistemas eléctricos o electrónicos para conservar o mantener la plancha maestra en un nivel de rasante determinado. Su empleo ofrece muchas ventajas en cuanto a la uniformidad de la superficie de rodamiento. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que este sistema, al mantener un nivel fijo, obliga a emplear mayor cantidad de mezcla, dependiendo de la uniformidad de la superficie de la base sobre la que se está extendiendo. Esto se debe a que, por lo general, se solicita un espesor mínimo y al respetarse éste, la extendedora llena las depresiones que existan en la base. Para la cuantificación de la cantidad de mezcla que se empleó en un trabajo, lo mejor es llevar la cuenta

ta del número de pesadas en el caso de plantas de pesadas, o pesar los camiones en el caso de plantas continuas, para que, conociendo el peso total de la mezcla empleada sea fácil su conversión a unidades de volumen para su pago.

Usando un sistema u otro para el extendido, conviene seguir algunas recomendaciones generales:

- 1.- Observar continuamente, para su corrección inmediata, si existen segregaciones en los materiales.
- 2.- Observar también el aspecto de la mezcla para detectar posibles cambios en la cantidad de asfalto en ella. El color de la mezcla debe ser uniforme.
- 3.- Se debe llevar un registro de las temperaturas a que llega la mezcla, de cada uno de los camiones, revisando que esté dentro de los límites especificados.

La calidad de un trabajo, en que se empleó carpeta de mezcla asfáltica elaborada en planta, lo califica el usuario; generalmente, lo hace por la frecuencia con que se siente o escucha golpes de las llantas de su coche con cada borde transversal. Estos bordes (que pueden estar dentro de tolerancia), se pueden y se deben evitar. Para hacerlo, se deben eliminar interrupciones en la llegada de los camiones, pues la espera de la extendidora enfría la mezcla que queda bajo su plancha maestra, obstruyendo la uniformidad del extendido. Además, como ya vimos, tampoco se deben poner camiones en exceso; por lo que, lo mejor es trabajar la extendidora a una velocidad ligeramente mayor que la capacidad de la planta convertida en metros/minuto. Por ejemplo, una planta de 90 toneladas/hora de capacidad establecería la velocidad de la extendidora; suponiendo 5 cm.

de espesor, 3.60 m. de anchura de extendido y el peso de la mezcla de 2.3 Ton./m³

El peso de un metro de carpeta es:

$$3.60 \text{ m.} \times 0.05 \text{ m.} \times 1.0 \text{ m.} \times 2.3 \text{ Ton./m}^3. = 0.414 \text{ Ton./m.}$$

La planta produce 1.5 Ton./minuto

La velocidad de extendido debe ser un poco mayor de:

$$\frac{1.5 \text{ Ton./min.}}{0.414 \text{ Ton./m.}} = 3.6 \text{ m./min.}$$

Esta velocidad le permite trabajar continuamente a la extendedora, evitándose los bordillos.

La mejor forma de controlar la continuidad del extendido, es mediante el empleo de un acamellonador y de un levantador de mezcla. El acamellonador es un mecanismo que, mediante ganchos, se pega al camión de volteo. Es una caja de lámina de acero con una puerta ajustable en la que vierte su carga el camión. Al avanzar éste, la puerta (previamente ajustada para que deje pasar la cantidad de mezcla que exactamente vamos a usar), va formando un camellón frente a la extendedora. Frente a ésta se instala un levantador de aspas o cangilones que coge la mezcla del camellón y la deposita en la tolva de la extendedora. Las demás operaciones se llevan a cabo de igual forma.

Cuando se emplea el sistema de descarga directa de los camiones en la tolva de la extendedora, adquiere mucha importancia la disciplina de los choferes y la experiencia del checador o acomodador, a quién siempre deben obedecer aquellos. Se evitan defectos en el extendido observando estas recomendaciones:

1.- El camión debe detenerse antes de tocar a la extendedora.

2.- Es ésta la que, al avanzar, hace contacto con las llantas del camión, (ambas rodadas a la vez).

- 3.- A una señal del acomodador, el chofer levanta la caja justamente a la altura que se le señale.
- 4.- La transmisión del camión debe estar en neutral y el pie del chofer oprimiendo muy ligeramente el freno para evitar que se separen las llantas de los rodillos empujadores; la extendedora siempre empujará al camión.
- 5.- Solamente en casos de subidas en que la extendedora necesite ayuda, el camión usará tracción propia, cuidadosamente.
- 6.- Terminada la descarga, a una señal del acomodador, debe retirarse inmediatamente el camión.

El personal experimentado y la disciplina de todos los que intervienen en el manejo del sistema, son factores principales en la entrega de una carpeta de óptima calidad.

La única alternativa, para seleccionar el equipo de extendido, es entre el tipo de tracción mediante orugas o mediante neumáticos, pues como ya vimos, en cuanto a su capacidad, está determinada por el tamaño de la planta. Ambos sistemas ofrecen ventajas; la decisión, yo creo, están en la rapidez de movilidad que se necesite, no para un trabajo en sí, sino para la actividad a que se vaya a dedicar el equipo en un plazo largo. En cuanto al fabricante, todos ofrecen un producto de buena calidad; en este caso es determinante la capacidad de sus representantes para resolver problemas de suministro de refacciones y servicio de mantenimiento.

La compactación de mezclas asfálticas se logra fácilmente cuando se lleva a cabo a la temperatura adecuada, ésta debe iniciarse tan pronto como sea posible después de extendida la mezcla. El espesor de la carpeta influye en el gra-

do de dificultad que encontremos para compactarla; entre más delgado sea el espesor, más pronto pierde temperatura y por lo tanto el rodillado debe efectuarse inmediatamente después del extendido. En cambio, si el espesor es de 7 cm. o más, la pérdida de temperatura es más tardada, proporcionando mayor tiempo para compactar. También el número de máquinas que se requieren para compactar la mezcla, interviene el espesor de la carpeta pues, entre más delgado sea éste, mayor es el avance longitudinal de la extendidora. Como la velocidad de los compactadores es limitada, necesariamente hacen falta en mayor número.

El equipo que tradicionalmente se emplea para la compactación de la mezcla, es:

- 1.- La plancha metálica de tres llantas lastrables, con peso de 10 a 14 toneladas.
- 2.- El compactador autopropulsado de nueve u once llantas neumáticas de peso variable. Algunos fabricantes ofrecen de hasta 30 toneladas.
- 3.- Planchas de dos y de tres ejes en tandem, su peso varía de 6 a 20 toneladas según el tamaño que se escoja.

Para cualquier trabajo, es conveniente que cuando menos se usen dos máquinas compactadoras.

La operación de compactación se puede dividir en tres fases:

- 1.- El planchado inicial. Se puede usar para esta fase la plancha de ejes en tandem, pero da mejores resultados la de tres llantas, manejado con las ruedas motrices hacia adelante, o sea, en el sentido del avance de la extendidora. El mayor peso en las llantas motrices y su gran diámetro incrustan la mezcla hacia abajo sin desplazarla. Durante esta fase se debe lograr casi totalmente la compactación. Se aplica el patrón de plan-

chado mas conveniente, según el ancho del equipo disponible procurando siempre cubrir la superficie extendida lo mas uniformemente posible.

- 2.- El planchado intermedio. Esta segunda fase se efectúa lo mas cercanamente que sea posible a la primera, mientras la mezcla asfáltica mantiene algo de su plasticidad y temperatura. Aquí se emplean las aplanadoras autopropulsadas de neumáticos, pues proporcionan la compactación muy uniforme; tienen la tendencia a " cerrar " la superficie y, por lo tanto, contribuyen a la impermeabilidad de la carpeta y acomodan las partículas de los agregados por lo que aumentan la estabilidad. En realidad, esta fase no incrementa notablemente la densidad lograda por la plancha metálica, pero aporta seguridad contra deformaciones bajo condiciones severas de tránsito.
- 3.- El planchado final. Su única finalidad consiste en borrar las huellas del equipo que trabajó en las fases uno y dos. En esta se emplean planchas de ejes en tandem.

Hace algunos años se empezó a aplicar, para compactar mezclas asfálticas, el equipo autopropulsado vibratorio, sobre todo el que está dotado de algún mecanismo que disminuye la amplitud de la vibración para reducir la fuerza aplicada sin variar la frecuencia. Esto proporciona la posibilidad de efectuar las tres fases de compactación en una sola. Cada mezcla es, en algo, única y diferente a las demás, por lo que es necesario determinar en cada caso la forma o patrón de compactación, mediante vibradores. Estos pueden ser de un tambor liso metálico propulsado por llantas neumáticas o de dos tambores o rodillos con tracción en ambos.

Nosotros hemos empleado compactadores vibratorios Dynapac CA25A para com-

pactar mezclas asfálticas, obteniendo resultados que consideramos satisfactorios, porque hemos logrado, en casi todos los casos, sustituir dos o más máquinas con un solo vibrador. La secuela de compactación que generalmente empleamos es la siguiente:

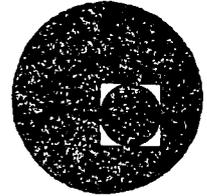
- 1.- Una pasada, a todo el ancho, sin vibración. Esta se efectúa inmediatamente después del extendido en carpetas delgadas de hasta 5 cm. En carpetas más gruesas hay que esperar un poco, sin que se pueda establecer una receta, tal vez 60 metros atrás de la extendedora.
- 2.- Inmediatamente después, se inicia la vibración a 2400 r.p.m. en baja amplitud. Aquí es muy importante determinar la velocidad lineal del compactador. Debe ser tal que no provoque grietas ni bordes, o sea, ni tan despacio que estemos aplicando demasiados golpes muy cercanos unos a otros, ni tan de prisa que espaciemos demasiado la aplicación de la fuerza provocando grietas. También ésta es una determinación práctica, producto de varias pruebas que hacemos al iniciar un trabajo. Por lo general es suficiente con dos pasadas a todo el ancho y otra en alta amplitud para obtener el grado de compactación deseado.
- 3.- Si acaso es necesario, se retrasa el compactador para borrar alguna huella y dar el acabado final. En algunos trabajos nos hemos visto precisados a emplear, para esta fase final, un compactador de neumáticos, autopropulsados de 9 llantas.

La compactación por vibración puede ser efectiva aun estando la mezcla a una temperatura tan baja que sería inoperante el equipo de tipo estático, lo que permite emplear durante más tiempo el equipo y, por lo tanto, usar menos máquinas

En cuanto a la elección del equipo, es muy conveniente, antes de tomar una decisión, observar detenidamente ^{los} compactadores vibratorios porque, tomando en cuenta la administración eficiente del conjunto, la máxima economía se logra, generalmente, empleando el menor número posible de máquinas; naturalmente, teniendo a la vista el resultado final que es la construcción de carpetas de alta calidad.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

TEMA XV: SELECCION DEL EQUIPO DE COMPACTACION

ING. ROBERTO PASQUEL LUJAN

JUNIO, 1978.

CENTRO DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA
U. N. A. M.
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

"SELECCION DEL EQUIPO PARA COMPACTACION DE TERRACERIAS".

ING. ROBERTO PASQUEL LUJAN.

La finalidad de esta plática es comentar algunas ideas sobre los métodos que hemos empleado en la selección del tipo de máquina compactadora de terracerías, que creemos mas conveniente, para conjugar factores de inversión, producción, movilidad, eficiencia, disponibilidad de refacciones y servicios.

Debemos tener en mente que, en la construcción pesada, la inversión en equipo es cuantiosa y que éste se adquiere usualmente fuera del país, por lo que es muy importante pesar cuidadosamente todas las posibilidades para poder escoger la máquina más eficiente; esto es, el menor número posible de unidades para un trabajo determinado.

La vida útil de los pavimentos depende, primordialmente, de un drenaje bien proyectado, y de la estabilidad de las terracerías, ya que en ésta interviene, de manera importante, el grado de compactación a que fueron sometidas.

Compactación es la densificación artificial de los suelos mediante la aplicación de presiones que expulsan el aire y el agua de la masa del suelo. En términos de nuestra plática, debemos agregar que la compactación debe lograrse al menor costo posible. Para llegar a esto, necesitamos conocer ampliamente las especificaciones, los materiales de que se trate, los métodos que pensamos emplear, el equipo disponible, etc.

Las especificaciones de compactación las fija el proyectista de la obra, solicitando el grado de compactación, expresado como un porcentaje del peso volumétrico máximo, obtenido en el laboratorio de muestras representativas de los materiales que se van a emplear.

El grado de compactación es afectado por:

- 1.- El contenido de humedad en el material.
- 2.- La naturaleza del material, esto es, sus propiedades físicas, granulometría, etc.
- 3.- El tipo e intensidad de la fuerza compactiva.

La humedad en el material es un factor que siempre debe ser bien controlado. Para esto contamos con la determinación, en el laboratorio, del contenido óptimo de humedad. El contenido óptimo de humedad es la cantidad de agua contenida en la muestra, con la que se obtuvo el peso volumétrico máximo, expresada como porcentaje del peso seco máximo de la muestra. Haciendo pruebas en el campo, en los bancos o cortes de donde proceden los materiales para las terracerías, podemos conocer la cantidad de agua que debemos agregarle o quitarle al material. Es conveniente, para compensar la que se pierde por evaporación, agregar agua un poco en exceso de la humedad óptima. La compactación la daremos sin dificultad, con el equipo adecuado, si el contenido de agua en los materiales es el conveniente, para que lleve a cabo su función de lubricante para el acomodo de las partículas de los suelos. Cuando la cantidad de agua por agregar es considerable, y siempre que las condiciones de espacio, pendiente adecuada, ubicación del banco de agua, etc., lo permitan, es conveniente agregar agua, necesaria para la compactación, directamente en el banco de materiales. Esto se hace después de arar o aflojar la superficie del banco a una profundidad tal que per-

mita el tránsito de las pipas. Los bancos que, por su dureza o por razones de rendimiento en la carga, se deben aflojar, se prestan para agregar el agua. También, en caso de requerirse, se puede quitar humedad a los materiales en el banco con la simple acción aflojadora de los desgarradores. Es más usual agregar el agua directamente en el lugar donde se lleva a cabo la compactación. El personal encargado de vigilar estas operaciones debe ser muy experimentado y conocedor de los materiales, sobre todo para aquellos que exijan, para su adecuada compactación, de mucha precisión en el grado de humedad. El equipo que hemos encontrado más apropiado para agregar agua a las terracerías, ha sido el de pipas de 8 m³. que riegan el agua en abanico cubriendo una buena superficie por pasada.

El tamaño y peso de estas unidades permiten bastante maniobrabilidad en la construcción de terracerías, sobre todo en caminos relativamente angostos, porque pueden también entrar y salir de la zona de tiro rápidamente después de cumplir con su cometido, sin estorbar a los compactadores ni a las unidades de acarreo y depósito de materiales.

Decíamos que también la naturaleza de los suelos afecta la compactación que debemos obtener, no solamente por su peso, sino también por su comportamiento ante los esfuerzos compactivos con humedades menores a la óptima. Por ejemplo: algunas arcillas pesadas pueden ser compactadas adecuadamente con algunas variaciones en más o en menos en el contenido de humedad; en cambio, suelos de tipo granular más o menos bien graduados son muy sensibles a cualquier diferencia en su contenido de agua con relación a la óptima. En general, los suelos en su estado natural son raramente homogéneos y solamente pueden ser estudiados y trabajados mediante comparaciones con otros de tipo similar de los que se tiene alguna experiencia. Los tipos de suelos con los que comunmente nos encontra-

mos los constructores de caminos son: gravas, que son piedras graduadas hasta la malla de 1/4", y arenas con partículas de hasta 0.002", (este es un material de tipo granular sin atracción entre sus partículas por lo que seco no tiene ninguna resistencia). Las arenas y las gravas pueden ser vibradas hasta obtener buenas densidades, porque los granos se acomodan hasta que logran su acomodo, minimizando los vacíos.

Los limos son arena muy fina, pero sin parecer granulares al tacto que en estado puro, cuando son agitados en agua, se depositan en el fondo del recipiente dejando el agua clara en la parte superior. Aunque sus tamaños son menores de 0.002" se les considera de tipo granular. No se obtienen buenas compactaciones con el limo puro; casi no tiene resistencia estando seco, pues no hay cohesión entre sus granos. Los materiales granulares permiten el paso del agua; esto es, son permeables. Los materiales hasta ahora mencionados, se han usado en terraplenes, claro que en alguna medida mezclados entre sí, con bastante buen éxito, con altas capacidades de resistencia y larga vida, requiriendo para esto que los taludes se cubran inmediatamente con alguna especie vegetal que los confine y la superficie del terraplén se impermeabilice.

La arcilla es el suelo mas fino; consiste de partículas microscópicas coloidales que le dan su propiedad plástica. En agua, los coloides se mantienen en suspensión; tienen atracción entre sí que los convierte en un material cohesivo. Seca, la arcilla tiene alta resistencia; no se erosiona fácilmente, se trabaja bien y se compacta fácilmente cuando las condiciones de humedad son favorables. Las terracerías de material arcilloso deben también protegerse inmediatamente del intemperismo, porque son susceptibles de hinchamiento y enjutamiento cuando absorben o pierden humedad.

La material orgánica es otro material que halla el constructor en cantidad abundante. La menciono porque debe evitarse que forme parte de las terracerías, por sus efectos dañinos, pues al continuar su descomposición en el cuerpo del terraplén, producen vacíos y reducen la plasticidad y la resistencia.

Estos son los tipos de suelo que, mezclados entre sí en menor o mayor grado, encontramos disponibles para construir un camino. A diferencia de terracerías para aeropuertos o presas en que, por lo general, se fijan uno o pocos bancos de materiales, casi siempre semejantes para toda la obra; en caminos, según avanza la obra, los bancos de materiales usualmente van cambiando de naturaleza en los suelos que los componen y es en este caso donde, creo yo, se debe escoger cuidadosamente el tipo de compactadores que permitan la máxima latitud en su capacidad de compactar diversos suelos económicamente. La configuración del terreno influye notablemente en la selección del tipo de compactador; en caminos de terracerías compensadas en que el área de los terraplenes es reducida, sobre todo en su desplante, conviene pensar en equipo de compactación autopropulsado con transmisiones que permitan avances y retrocesos muy rápidos y de dirección hidráulica.

La compactación se logra en el campo mediante máquinas que aplican cuatro tipos de fuerzas en los suelos: presión, impacto, vibración y manipulación. La presión es producto de una fuerza vertical aplicada por el compactador. Sujeto el material a la fuerza, es comprimido y, por lo tanto, aumentada su densidad. Mientras actúa esta fuerza, el material tiende a desplazarse. Algunos compactadores son más eficientes que otros al prevenir estos desplazamientos. Entre menor sea el desplazamiento del material, mayor será la eficiencia compactiva de

la fuerza aplicada. También se nota que al aplicarse la fuerza verticalmente, según avanza el compactador, se forman grietas transversales que van desapareciendo, según se densifica el material, hasta el punto en que se igualan las fuerzas compactivas y la capacidad del material para soportarlas.

La compactación por impacto y vibración se logra a través de una serie de golpes. Habría que considerarlos como dos tipos de fuerzas compactivas que están íntimamente ligadas. Generalmente se estima que las fuerzas que se aplican por impacto, están en frecuencias de 50 a 600 golpes por minuto. Los compactadores vibratorios usualmente operan a frecuencias que pueden ir de 900 a 2400 vibraciones por minuto. Las fuerzas empleadas son, también, de impacto, aunque a velocidades mucho más altas.

Las fuerzas de manipulación o amasado son muy importantes en el arreglo o acomodo de las partículas de los suelos para lograr altas densidades. Esta acción de amasado se logra, principalmente, en rodillos tipo pata de cabra o de almohadillas que aplican las fuerzas alternadamente a baja o alta presión.

Actualmente, el mercado de equipo para compactación de terracerías ofrece planchas de llantas metálicas, aplanadoras de neumáticos de diversos tamaños, tambores pata de cabra, tractores con llantas metálicas segmentadas o de almohadillas, vibradores etc.

Aunque se pueden emplear en terracerías, vamos a dejar fuera de esta plática a las planchas de llanta rígida y a las aplanadoras de neumáticos, debido a que en general su rendimiento es muy bajo para trabajos de alguna importancia. Las planchas metálicas de llantas en tandem o en triciclo, afectan un espesor muy

pequeño y, en algunos materiales plásticos, tienden a encarpetar la superficie. Las aplanadoras de neumáticos, principalmente por la baja velocidad a que deben operarse, no son aplicables en trabajos de gran producción, como ya dijimos.

Esto nos deja, para escoger el equipo adecuado, un campo mas reducido, como es el de los compactadores de impacto-amasado y los de vibración.

Los compactadores de impacto-amasado dependen para efectuar un buen trabajo de su velocidad de translación. Entre más aprisa trabajen aplicarán sus patas o almohadillas, sean del dibujo que sean, mayor número de veces por minuto.

Estas máquinas son generalmente autopulsadas logrando velocidades de 30 Km./hr. a 35 Km./hr. Hemos logrado altas producciones en la compactación de materiales del tipo de arenas cementadas con el uso de compactador de rejillas con peso de 16 ton., jalado por tractor sobre neumáticos de 250 a 300 HP. a velocidades de 25 Km./hr. a 30 Km./hr. Así, también, con el compactador de piones jalado con equipo similar en materiales más plásticos. Este tipo de equipo tiene la limitación de que necesita, para desarrollar esas velocidades, una zona de tiro del equipo de acarreo muy extendida y de suficiente amplitud para darse vuelta sin perder demasiado su velocidad. Las llantas de los tractores pierde tracción y por lo tanto capacidad para desarrollar la velocidad conveniente si, compactando materiales plásticos, se excede la cantidad de agua, por lo que los riegos deben aplicarse, como ya dije, por personas experimentadas.

Cuando la zona de tiro está muy confinada, digamos en el tipo de caminos angostos de terracerías compensadas, hemos encontrado muy conveniente por su

alta producción, los compactadores de pisones autopropulsados, pues la alta velocidad que desarrollan junto con la habilidad para retroceder también a alta velocidad, gracias a su transmisión, le permiten trabajar sin estorbar al equipo de transporte de materiales y a las pipas del agua. La cuchilla de que están dotados también ayuda a eliminar en algunos casos equipo adicional de extendido.

También son muy útiles en los casos en que debemos disgregar los materiales previamente a su compactación. Cualquier tipo de equipo que desmenuce los materiales, esto es, que los disgregue completamente al compactarlos asegura una buena compactación pues la presencia de grumos en los materiales influye en el grado de compactación buscado.

La compactación de suelos mediante vibración se ha popularizado debido a que los fabricantes están ofreciendo equipo autopropulsado muy maniobrable que además aplica una fuerza considerable. La frecuencia de vibrado de estas máquinas suele andar entre 1500 y 2400 r.p.m. La densificación del material se logra de abajo hacia arriba pudiéndose compactar capas gruesas, según el material. En suelos de tipo granular son muy eficientes los compactadores vibratorios de rodillos lisos; para materiales plásticos se emplea un rodillo pata de cabra o de pisones, también vibratorio. Este tipo de compactador está dotado de tracción en el tambor que lo hace muy maniobrable en lugares de difícil acceso. Un fabricante, Dynapac, ofrece tambores intercambiables dotando a la máquina básica de un rango muy amplio de aplicaciones.

Para tomar una decisión sobre adquisición de equipo es ineludible considerar estas máquinas, pesando cuidadosamente las ventajas que ofrecen y su aprovechamiento en un trabajo determinado.

Las consideraciones que solemos hacer para decidir qué máquina compactadora conviene adquirir, se inician por la determinación de producciones esperadas para un trabajo determinado. Del plazo de ejecución depende el número de unidades de carga y acarreo de los materiales que debemos emplear; el número de ellas nos dará la producción diaria y horaria, o sea, el volumen de terracerías que estamos obligados a compactar.

Desde luego, contamos con la información de los materiales de que se trata. Con estos datos iniciales determinamos qué número de máquinas son capaces de desarrollar el trabajo y qué ayuda de equipo adicional es necesario; para esto es fundamental la experiencia y la observación detallada y prolongada del equipo en cuestión en donde éste se haya empleado. Con los precios de adquisición y otros datos de fabricante y del lugar donde se usarán, se calculan los costos horarios de cada tipo de máquina. El costo comparativo será el que nos indique la relación costo horario rendimiento esperado.

Algunos compactadores tienen, como herramienta auxiliar, una cuchilla topadora para extender, acercar o retirar los materiales en el lugar en que se compactarán; por lo tanto, al efectuar la comparación de costo entre éste y otro que no disponga de cuchilla topadora, debemos agregarle el costo horario de otra máquina, (tractor o motoconformadora), que cumpla con la misma función.

Una de tantas formas de calcular el costo horario de una máquina es la que se muestra a continuación.

Precio de adquisición de la máquina y sus
accesorios

Menos:

Costo total del repuesto de las llantas _____

Valor de rescate _____

Valor neto de depreciación _____

VALOR DE TENENCIA

1.- Depreciación: $\frac{\text{Valor neto de depreciación}}{\text{Período de depreciación en horas}} =$ _____

2.- Intereses y seguro

Tasa anual: Intereses _____%

Seguro _____%

Uso anual supuesto _____hr.

$\frac{\text{Factor x precio de adquisición}}{\text{horas /año}} =$ _____

Costo de tenencia 1 + 2 = _____

COSTO DE OPERACION

3.- Combustible:

Consumo horario _____ x costo unitario \$ _____ = _____

4.- Lubricantes, grasas y filtros:

Motor: consumo horario _____lt. x costo unitario \$ _____ = _____

Transmisión " " " " = _____

Mandos: " " " " = _____

Hidráulico: " " " " = _____

Grasa " " " " = _____

Filtros " " " " = _____

Lubricantes, filtros y grasas (subtotal) = _____

5.- Llantas

$$\frac{\text{Costo del repuesto de llantas}}{\text{horas de vida de las llantas}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

6.- Reparaciones:

$$\frac{\text{Factor de reparación} \times \text{Precio de adquisición menos llantas}}{\text{Perfodo de depreciación}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$7.- \text{Conceptos especiales} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$8.- \text{Salarios de operación (horario)} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$9.- \text{Fletes y varios (horario)} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{Costo de operación (3 a 9)} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{COSTO DE LA HORA MAQUINA} = \underline{\hspace{2cm}}$$

De la comparación de los costos probables que arrojan estos cálculos, al menor de ellos debe sujetársele a otras consideraciones. Una de ellas es su transportabilidad, rápida y económica pues no debemos olvidar que se cambiará continuamente de lugar de trabajo. Otra, muy importante y en algunos casos decisiva, es la capacidad del fabricante a través de su representante de proporcionar servicio y refacciones. La disponibilidad de la máquina es vital para la ejecución de los trabajos económicamente y dentro de los plazos estipulados y para esto es fundamental contar con los repuestos de las piezas que se desgasten. Se afina aún más el cuadro general tomando en cuenta factores como inversión y financiamiento.

La decisión final es el resultado de las consideraciones que se han mencionado, aunque hay otra muy importante que es el número de máquinas que se deben adquirir, esto es, una sola capaz de ejecutar el trabajo programado o bien dos o mas que juntas produzcan lo mismo. Tomando en cuenta la cuantía de los trabajos que usualmente se ofrecen en la construcción de caminos, vale la pena pensar en la flexibilidad que proporciona el contar con máquinas mas chicas que separen-

das nos pueden permitir la posibilidad de llevar a cabo en el futuro trabajos diferentes mas pequeños, económicamente.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE
PAVIMENTOS RIGIDOS

ING. FERNANDO RODARTE LAZO.

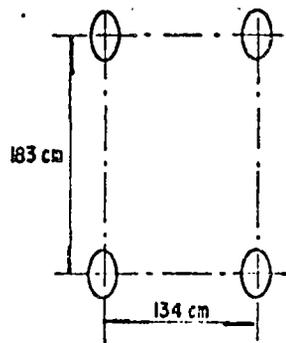
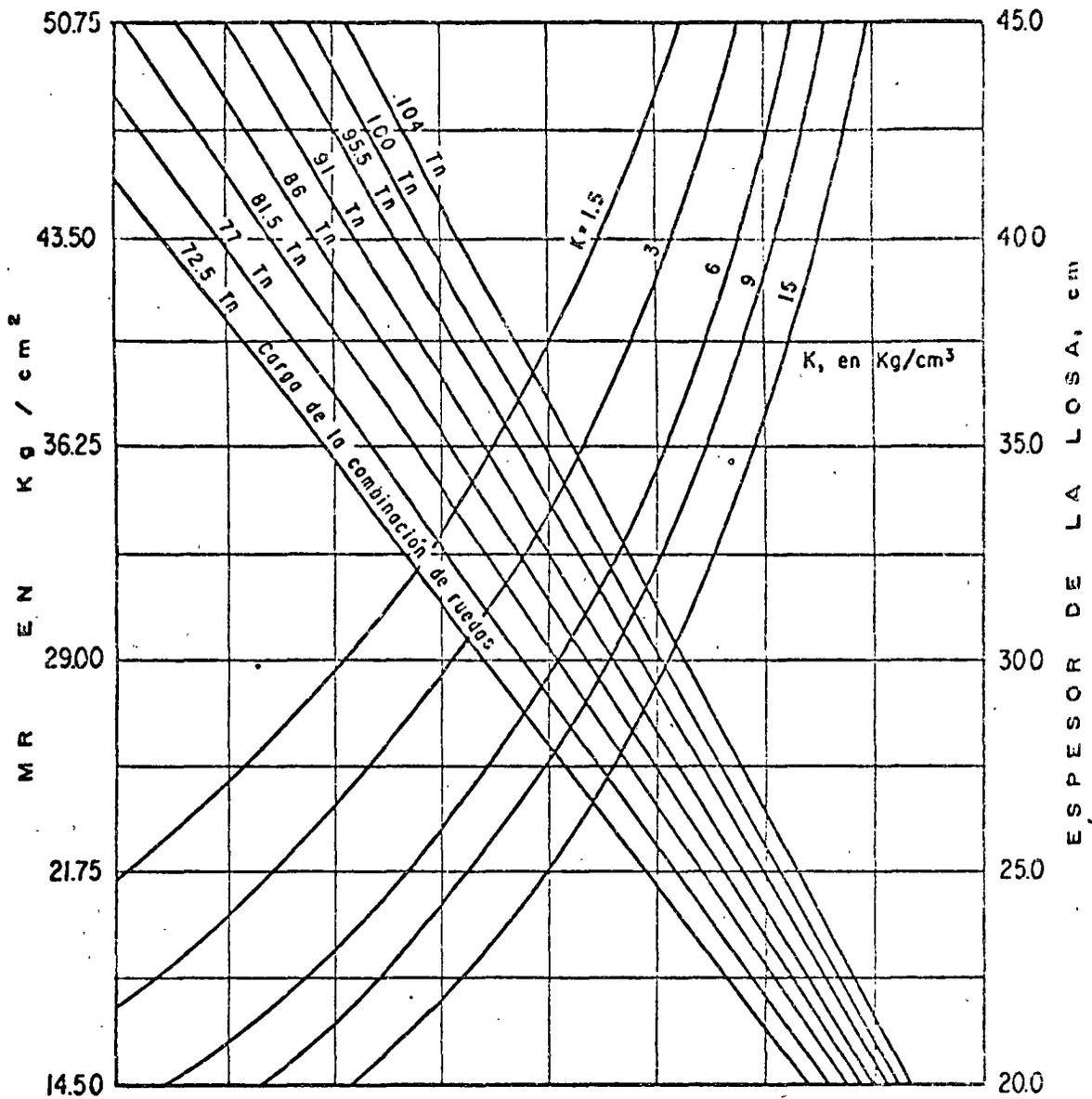
JUNIO, 1978.

Palacio de Minería

Calle de Tacuba 5,

primer piso.

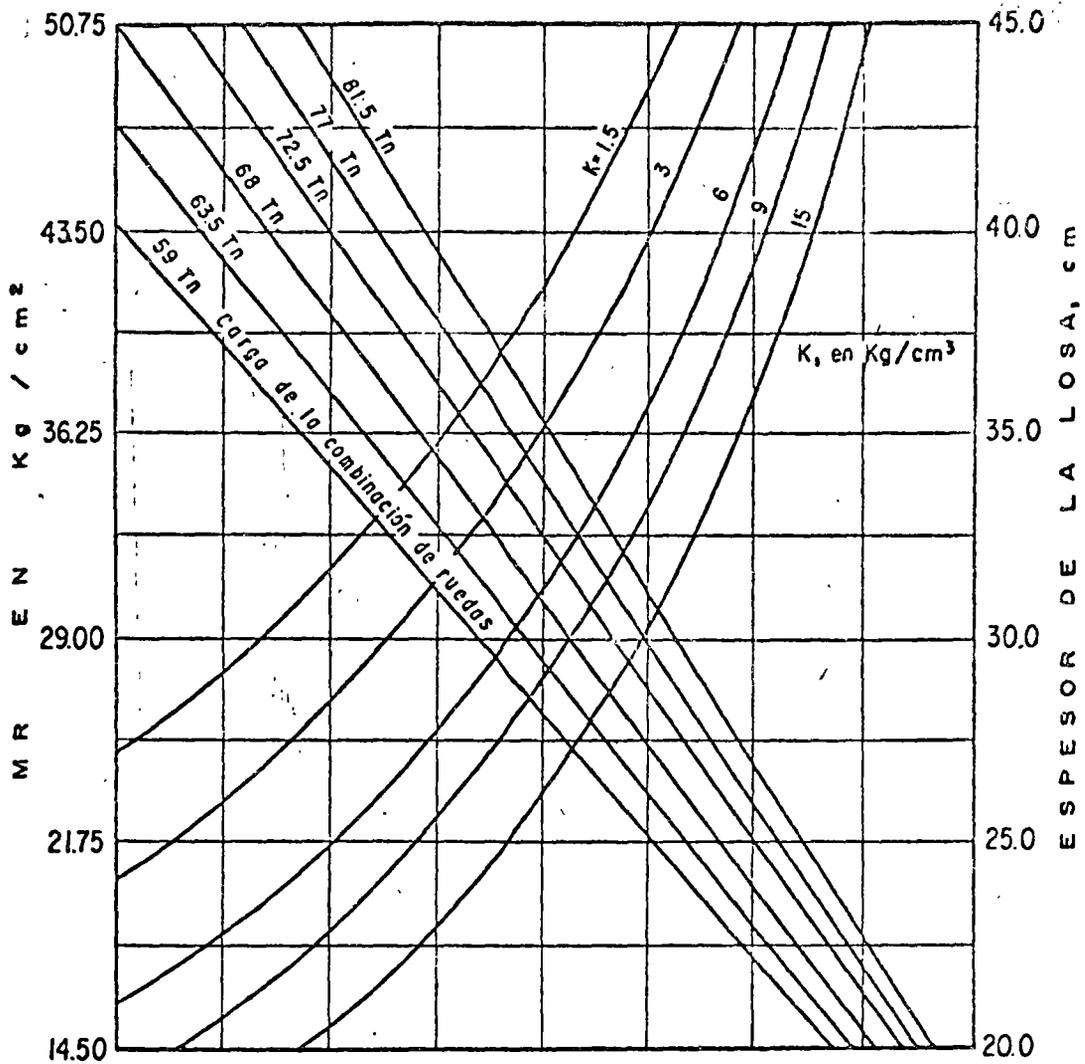
México 1, D. F.



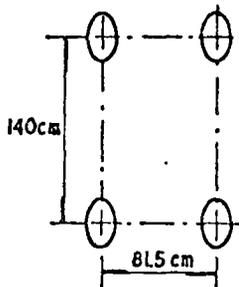
AREA DE CONTACTO POR LLANTA:
 1550 cm² (240 pulg²)

plg

a/ Fig. X-9 Gráfico de diseño de espesores de losa de concreto.
 Avión Lockheed L-500 (Ref.17).



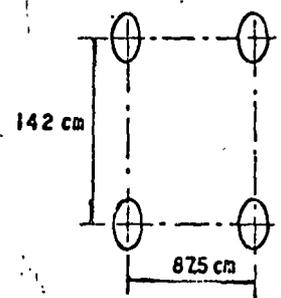
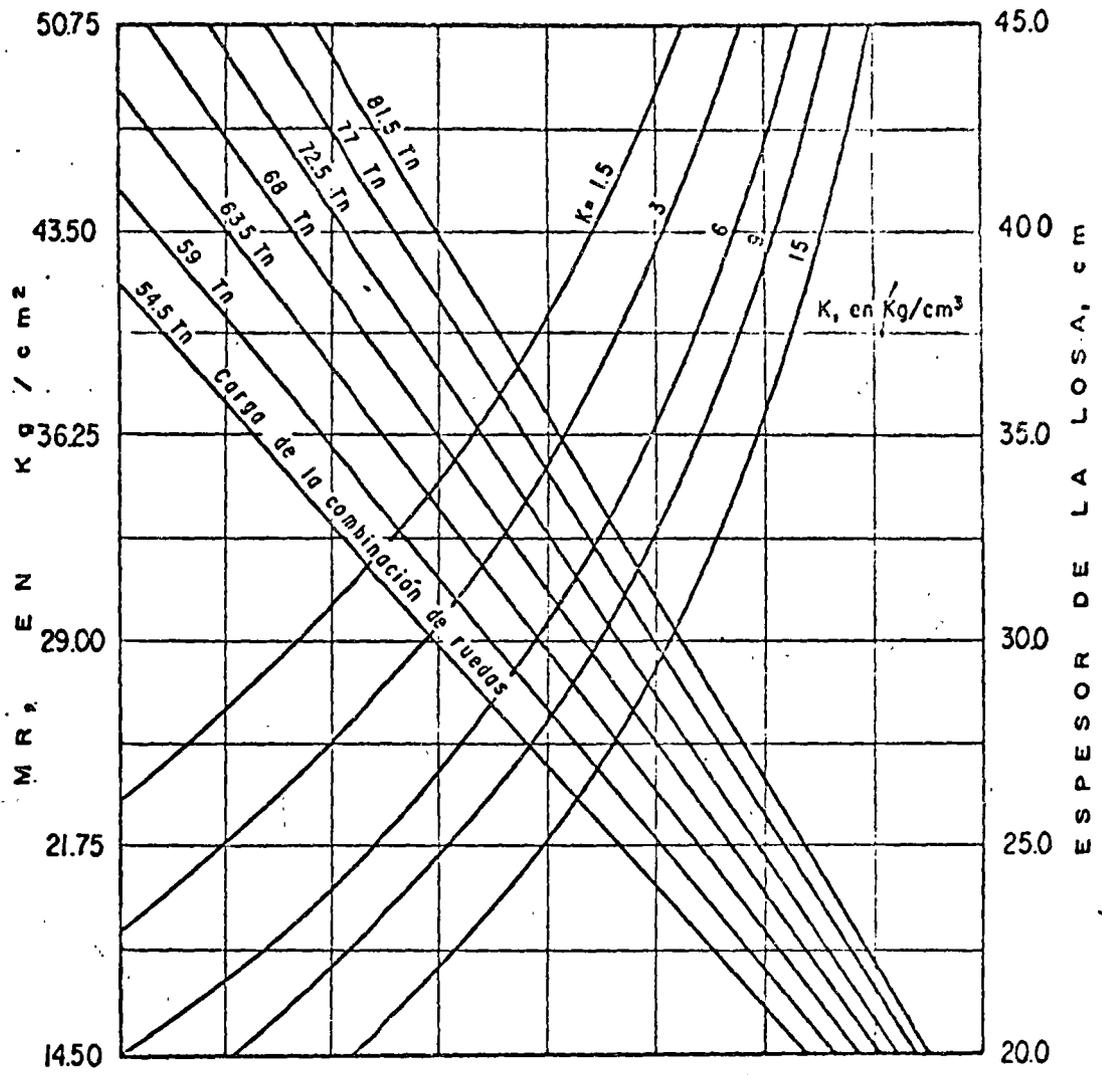
K



AREA DE CONTACTO POR LLANTA:
1420 cm² (220 pulg²)

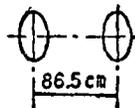
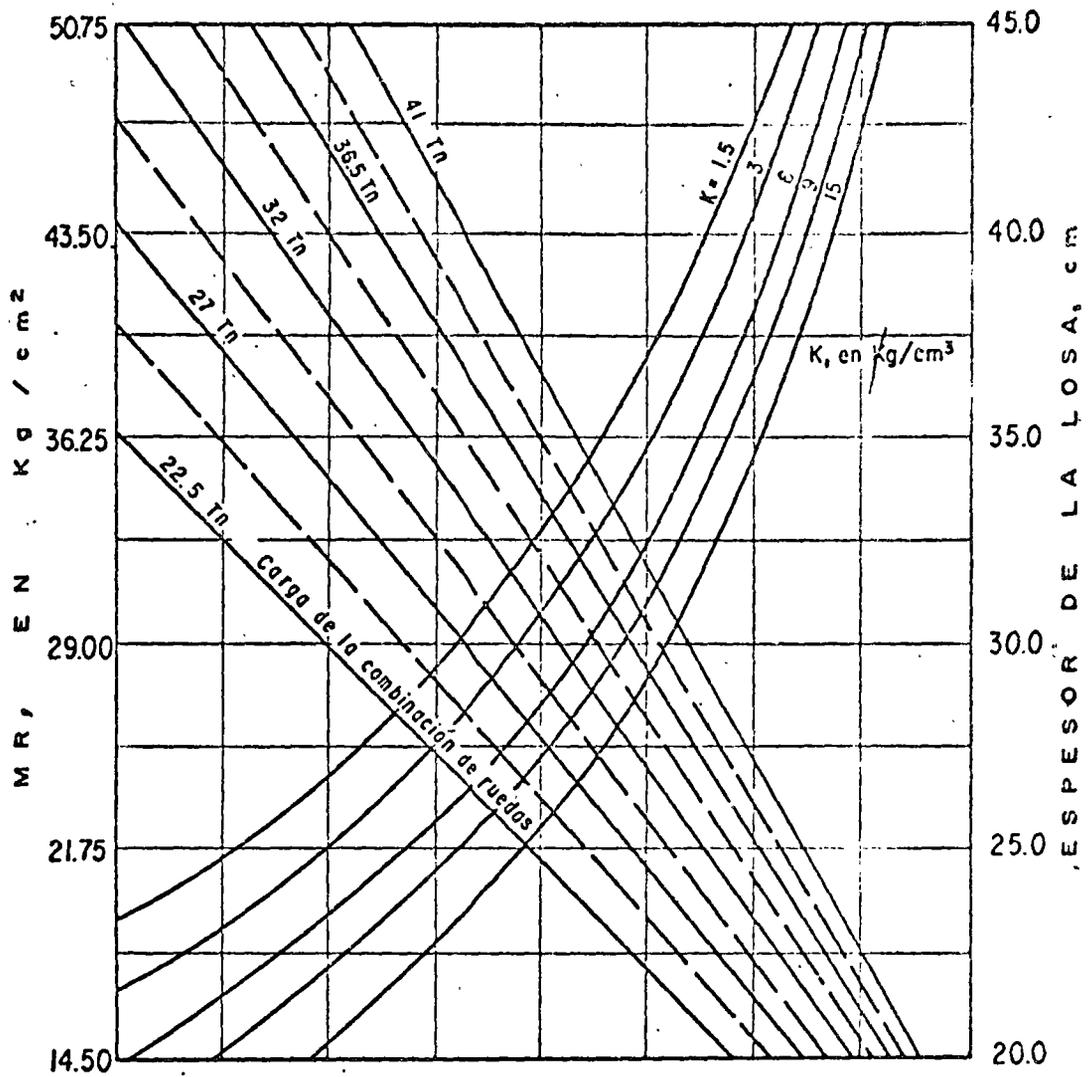
plg

af Fig. X-10 Gráfico de diseño de espesores de losa de concreto Avión DC-8 (Series 62 y 63) (Ref 17).



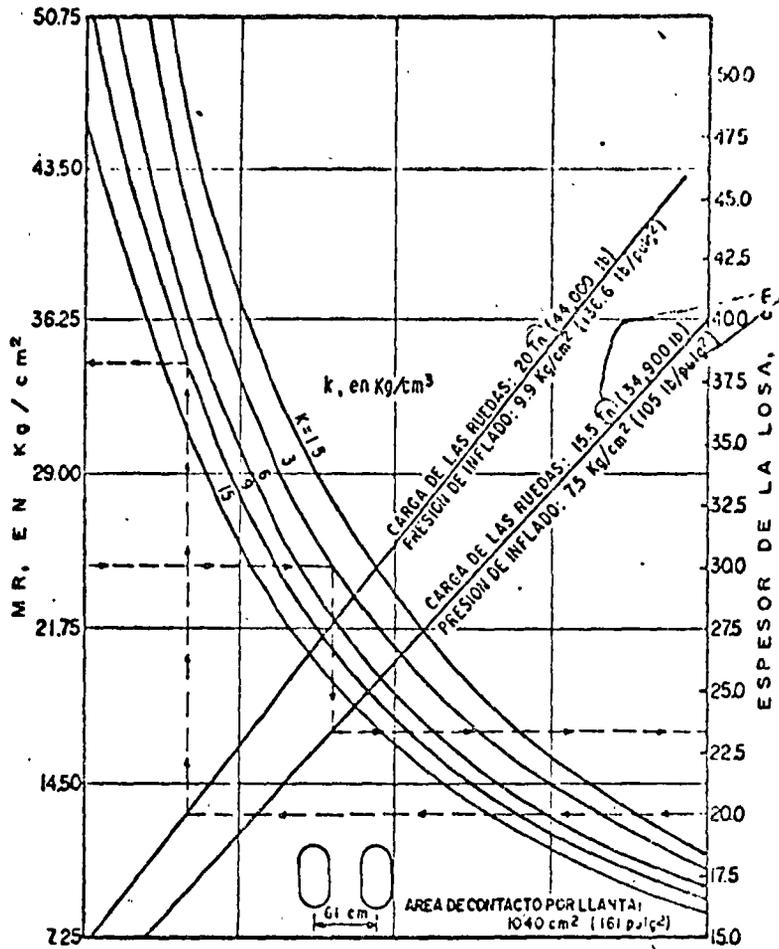
AREA DE CONTACTO POR LLANTA:
1410 cm² (218 pulg²)
plg

a/ Fig. X-II Gráfico de diseño de espesores de losa de concreto. Avión B-707 (Ref. 17)-



AREA DE CONTACTO POR LLANTA:
1530 cm² (237 pulg²)

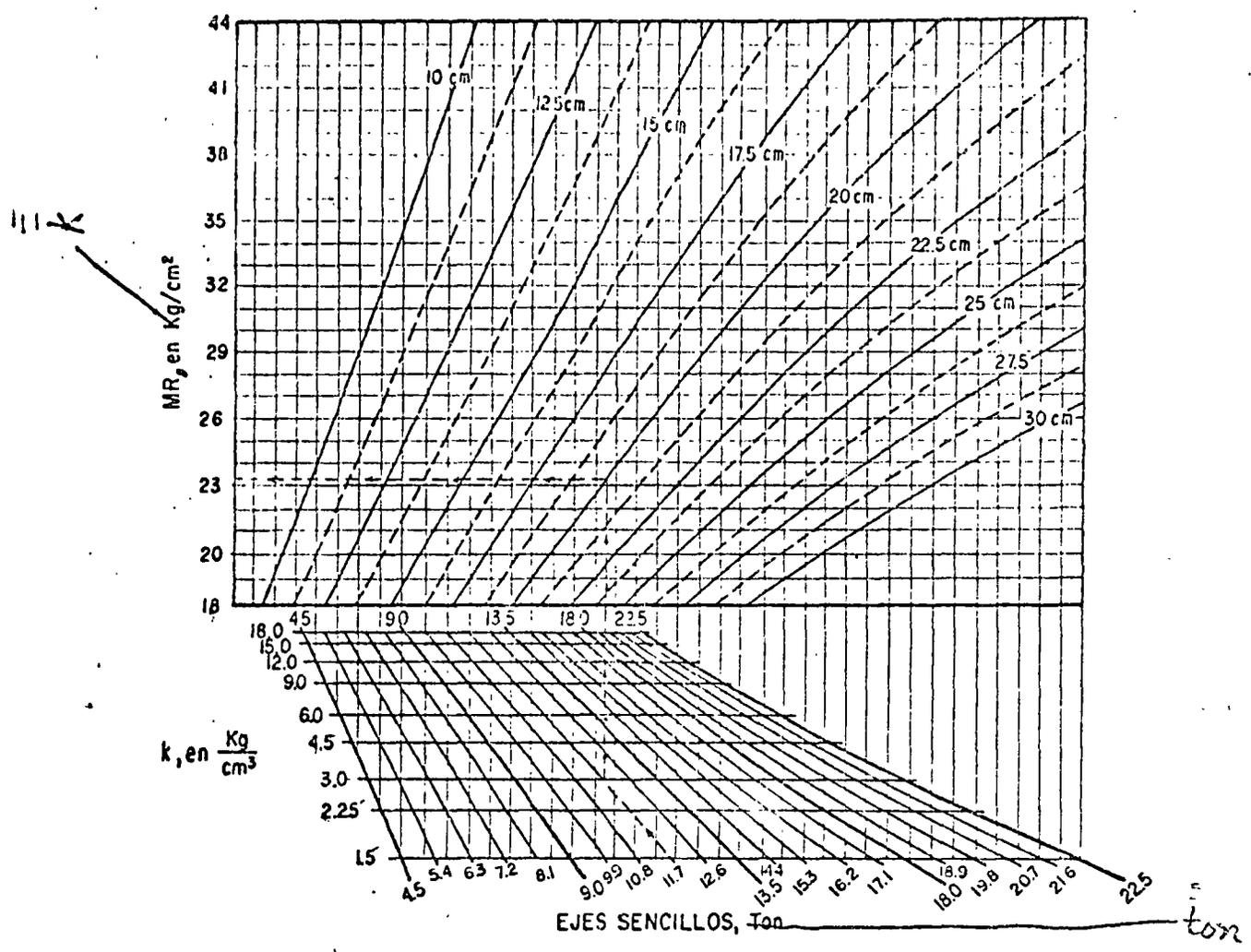
af Fig. X-12 Gráfico de diseño de espesores de losa de concreto.
Avión B-727 (Ref. 17).



a/ Fig. X-13 Gráfico de diseño de espesores de losa de concreto.
Avión DC-9 (Ref 17).

plg
ton

plg



a/ Fig. X-14 · Gráfico de diseño para cargas en ejes sencillos Pavimentos rígidos de carreteras. (Ref. 2)

1112

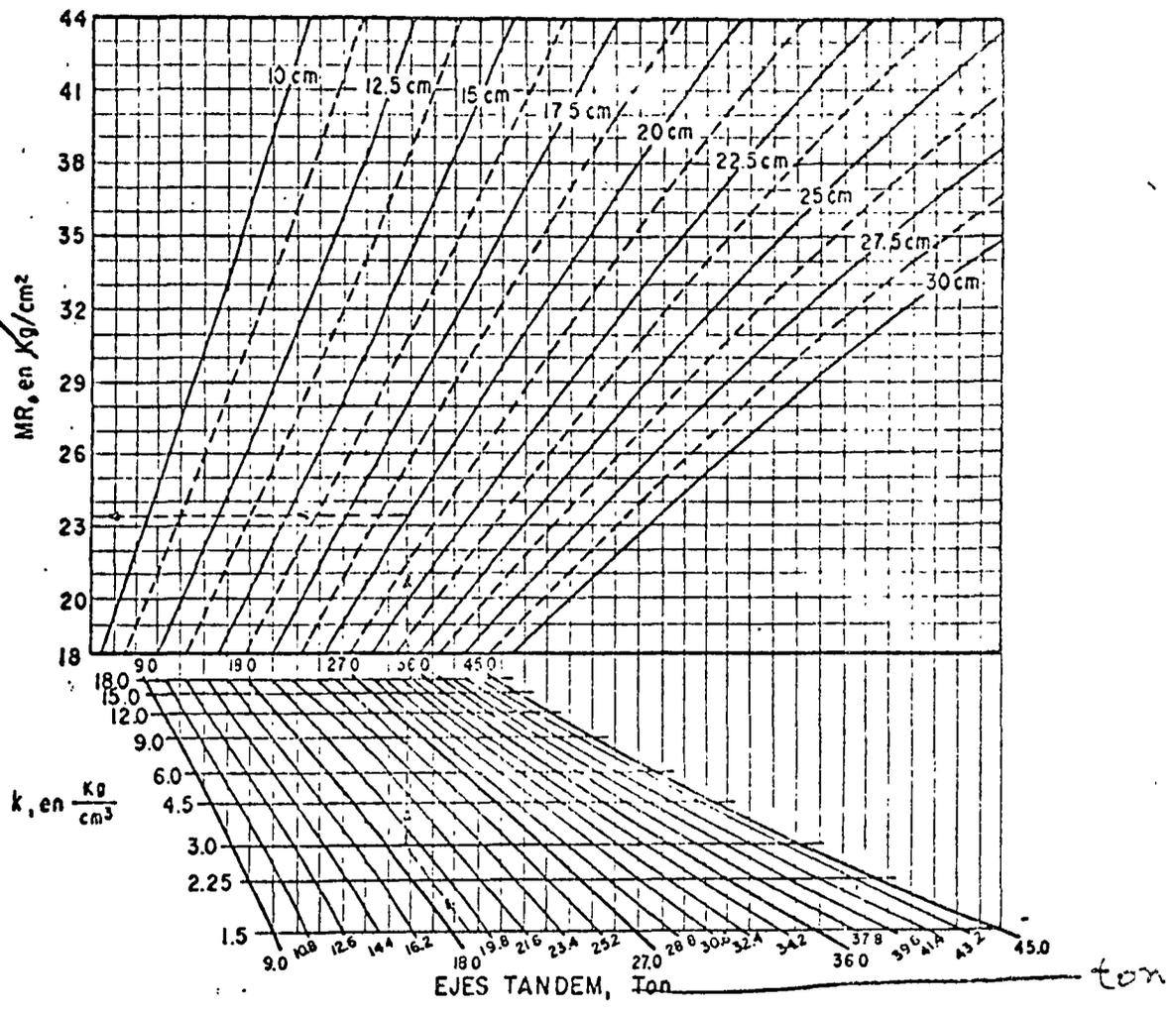


Fig. X-15 Gráfico de diseño, para carga en tandem. Pavimentos rígidos de carreteras. (Ref. 2)

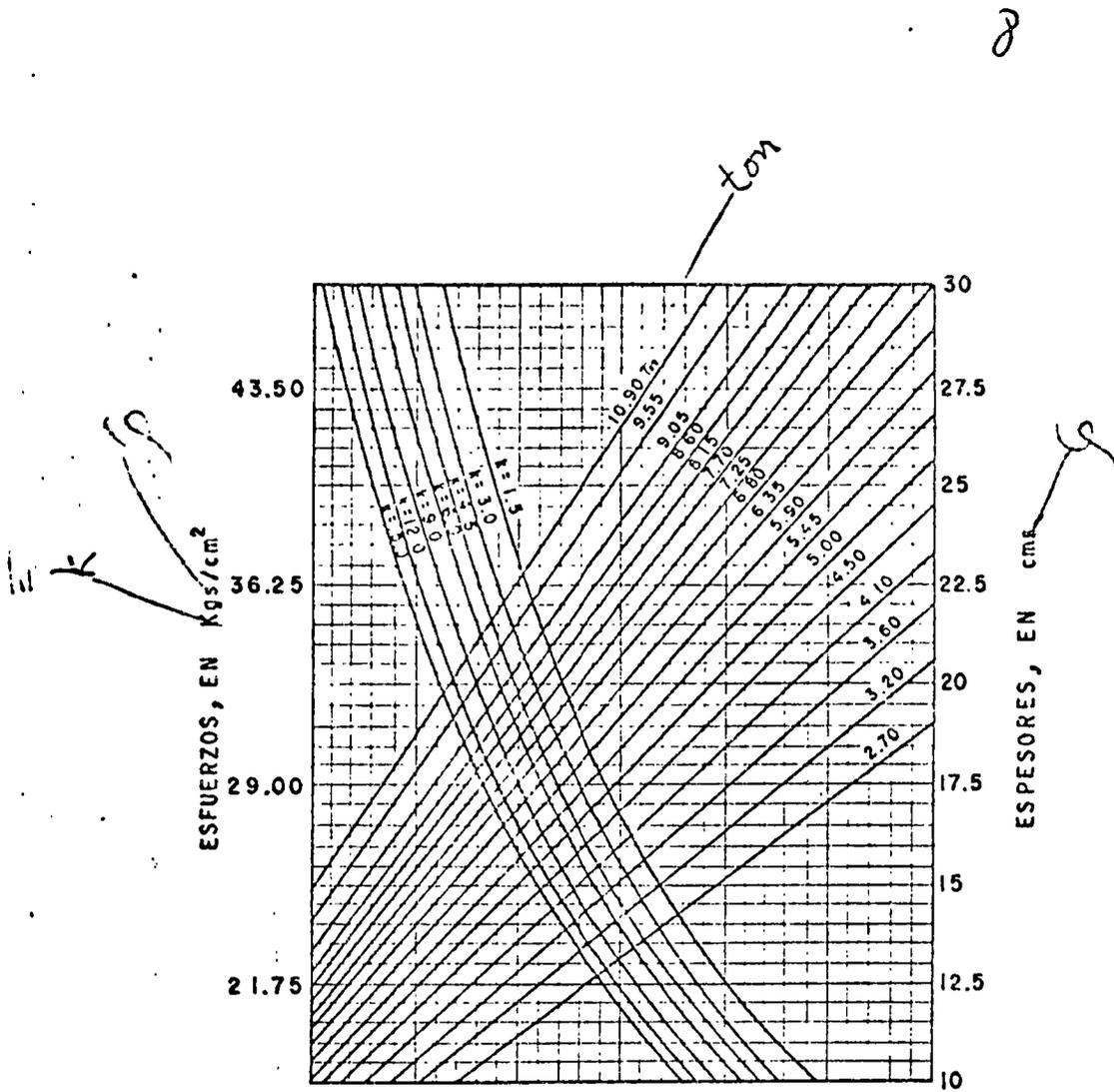
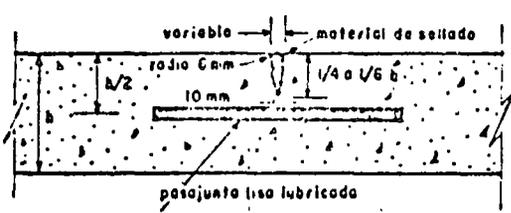


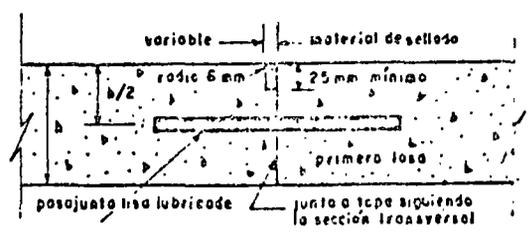
Fig. X-16 Gráfica del P.C.A. para el cálculo de espesor de pavimentos rígidos en caminos, carga de rueda doble.



10x

a.

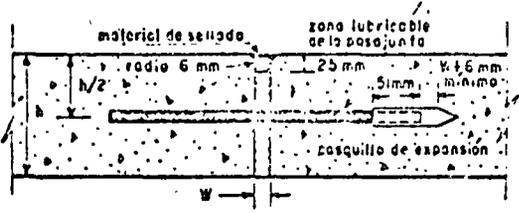
JUNTA DE CONTRACCIÓN CON RANURACIÓN PARA DESARROLLO ULTERIOR DE GRIETA.



b.

JUNTA DE CONTRACCIÓN CON LOSAS A TOPE.

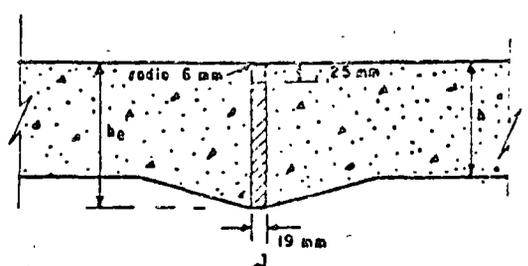
10x



10x

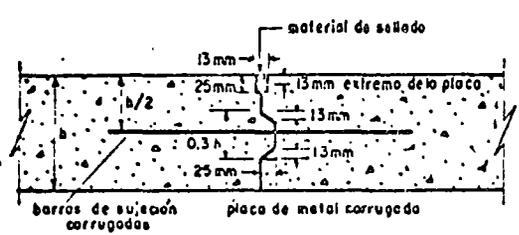
c.

JUNTA DE EXPANSIÓN CON PASAJUNTA Y CASQUILLO.



d.

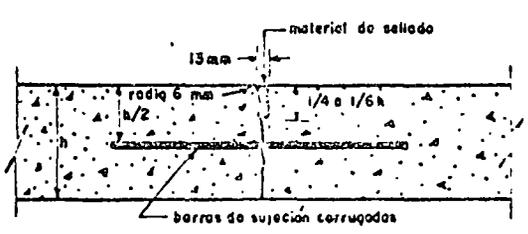
JUNTA DE EXPANSIÓN SIMPLE.



10x

e.

JUNTA DE CONSTRUCCIÓN MACHIHEMBADA.



f.

JUNTA DE ALABEO.

Fig. X-17. Juntas comunes en pavimentos rígidos (Ref. 20)

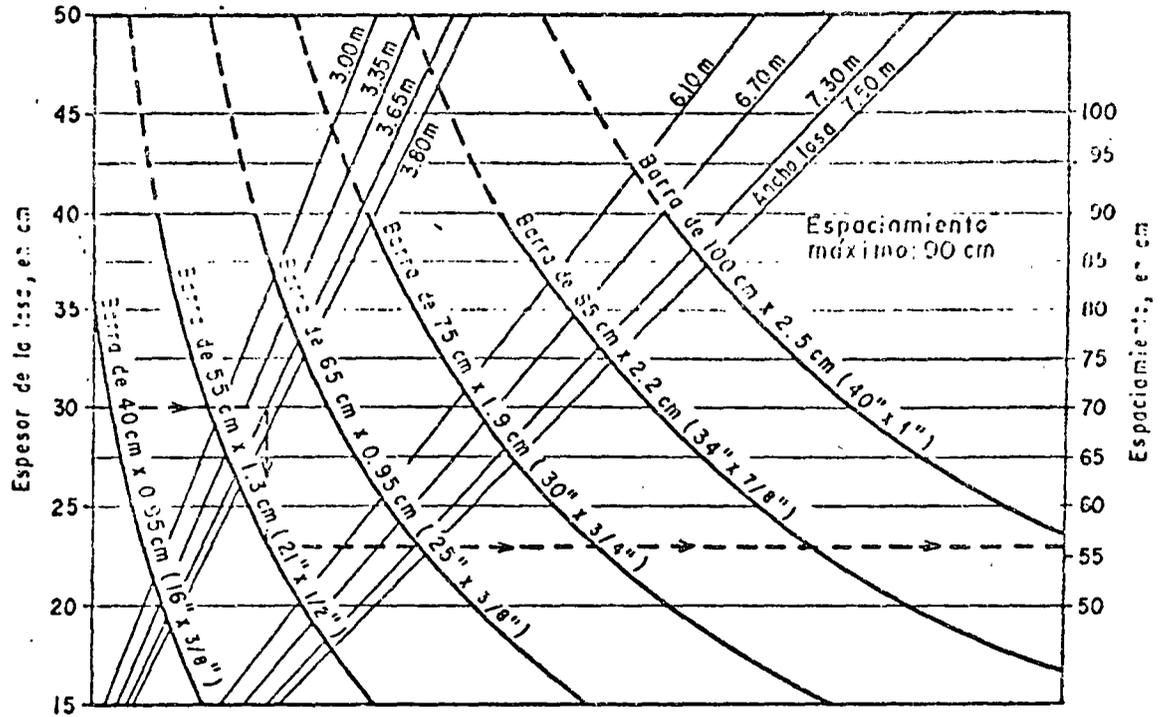


Fig. X-18. Espaciamiento mínimo de dispositivos de transmisión de carga en losas de concreto en pavimentos de aeropistas. (Ref. 5)



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

CONTROL DE PRODUCCION

ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA.

JUNIO, 1978.

I N D I C E

	PAGINA
1. INSTRUCCIONES	2
2. EL CONTROL	3
3. CONTROL DE CANTIDADES	14
4. CONTROL DE COSTOS	17
5. CONTROL PRESUPUESTAL	19
6. CORRECCIÓN DE DESVIACIONES	22
7. REQUISITOS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE COSTOS	22
8. PROBLEMA	26
9. ESTUDIAR LOS SISTEMAS DE - CONTROL PARA UNA PLANTA DE TRITURACION	27

INSTRUCCIONES

La primera parte de estos apuntes utiliza el sistema denominado EDUCACION PROGRAMADA. Rogamos al lector atender las siguientes instrucciones para obtener el mejor aprovechamiento :

- 1) Cubriendo la columna de la derecha con la tira que se anexa, lea cada uno de los temas.
- 2) Escriba la respuesta en el espacio marcado o en una hoja -- por separado, cuando así se requiera. (Es esencial que no se concrete usted a pensar la respuesta, DEBE ESCRIBIRLA).
- 3) Revise su respuesta, moviendo la tira hacia abajo, descubriendo la respuesta correcta en la columna de la derecha.
- 4) Si su respuesta es correcta pase al siguiente tema.
- 5) Si su respuesta no es correcta, lea el tema nuevamente y -- trate de comprender por qué está usted equivocado.

PROCEDIMIENTO

Cada tema deberá ser resuelto en orden. NO ALTERE EL ORDEN, a menos que así se le indique. Si tiene dificultad en un determinado punto debe regresar al lugar donde este punto apareció por primera vez y revisar los temas relacionados con él.

CONVENCIONES

- _____ = Escriba la palabra solicitada.
- _____ = Anote la letra que se requiere.
- ...(si/no) = Subraye o circule la alternativa correcta.
- _____ = Escriba las palabras que se requieran.
- () = Ponga el número correcto

EL CONTROL

1.- GENERALIDADES.

1.- Control es el proceso que determina que -- también se está llevando a cabo una actividad va lorizándola y si es necesario aplicando las medi das correctivas apropiadas, de manera que la -- ejecución esté de acuerdo con lo planeado.

(sin respuesta)

2.- La comparación entre lo planeado y lo ejecu tado es lo que constituye la base del _____ y la determinación del estándar o patrón que es la esencia de dicha comparación, es el primer - paso a seguir.

control

3.- El control es pues, un _____ que requiere de la determinación del _____, en primer lugar y después de la comparación el estándar planeado y el trabajo ejecutado y por -- último el de llevar a cabo la acción correctiva - en caso necesario.

proceso
estándar

4.- La identificación de los objetivos que se rea liza en la función de la _____ norma el primer paso del control que consiste - en la _____ de los _____.

planeación
determinación
estándares

5.- Entonces la definición de la cantidad de tra - bajo a realizar en una jornada, es lo que consti tuye la determinación de un _____ para la valuación del desempeño del trabajador. La definición de un modelo de comportamiento o ac ción es lo que constituye un estándar (sí/no) _____.

estándar

sí

6.- La valorización de lo ejecutado y lo planea - do, sería una etapa de la comparación entre el - estándar y lo que se está realizando. En caso de que exista una diferencia entre lo _____ y lo _____ es cuando se debe tomar la _____.

planeado
ejecutado
acción correctiva

7.- Principio de Control.- Para que un _____ sea efectivo debe cubrir y regular el funciona - miento planeado. Es decir se debe buscar y lo - grar que la actividad se esté realizando de acuer do con lo _____.

control

planeado

- 8.- Se analizarán en seguida los diferentes tipos de modelos, patrones o como los hemos llamado _____ que son más usados: Cantidad, Calidad, Uso del tiempo y Costo. estándares
- 9.- La determinación del volumen medio esperado de producción, de acuerdo a la actuación de los empleados más eficientes es lo que define un estándar de _____. cantidad
- 10.- El especificar las sumas de dinero a gastar en la adquisición de materias primas o publicidad es lo que implica un _____. estándar de costo
- 11.- El establecimiento de un programa a seguir en la realización de ciertas actividades constituye la implantación de un estándar de _____. uso del tiempo
- 12.- Por último, el definir las tolerancias que se pueden especificar en la realización de las actividades que permiten lograr los objetivos organizacionales es lo que define un estándar de _____. calidad
- 13.- Para poder comparar los resultados obtenidos se cuenta con los estándares de _____, _____ y _____ que nos indican si podremos o no lograr, por ese medio, los _____ de la empresa. cantidad, calidad, uso del tiempo, costo objetivos
- 14.- El establecimiento de puntos estratégicos de control nos permite el lograr una mejor _____ entre el estándar definido y lo que se está realizando. Cuando surgen diferencias en la comparación se dice que existe una excepción. comparación
- 15.- El control administrativo es más fácil concentrando la atención sobre las excepciones o variaciones entre lo planeado y lo _____ es lo que nos dice el Principio de Excepción. Se puede decir que donde el Principio de _____ es válido, debemos colocar un punto _____ de control. ejecutado o realizado
excepción
estratégico

16.- Lo anterior significa que el esfuerzo con-
trol está dirigido a los lugares donde una -----
_____ tiene lugar, es decir en el -
punto donde lo realizado no se conforma con el -
_____ o patrón definido.

excepción

estándar

17.- En los sitios de excepción es donde se de-
be colocar un _____
de control y donde se debe aplicar el tercer paso
del proceso control, es decir la toma de la ac-
ción _____.

punto estratégico

correctiva

18.- La determinación de los sitios donde existe
una _____ es básica para lograr
un buen control, ya que el incluir todas las face-
tas de una empresa en él, consume demasiado -
tiempo y esfuerzo, por lo que resulta muy costo-
so.

excepción

19.- El concentrar el control en _____
estratégicos ahorra tiempo y esfuerzo y es una
práctica muy unida al Principio de _____
_____. Cuando al comparar estándares y -
funcionamiento no existe ninguna desviación o -
_____ el control de esa activi-
dad pasa a segundo término y solo requiere de -
revisiones periódicas.

puntos

excepción

excepción

20.- En resumen: La _____ surge
cuando al comparar el funcionamiento o resulta-
dos obtenidos y los _____ existe
alguna diferencia y es el sitio donde debemos es-
tablecer un _____
de control y llevar a cabo la toma de la -----
_____ correctiva.

excepción

estándares

punto estratégico

acción

DISPOSITIVOS DE CONTROL.

21.- Una vez establecidos los estándares y que-
se han medido y comparado éstos con los resulta-
dos para poder llevar a cabo la acción _____
_____ se utilizan varios _____
de control que son :

correctiva

dispositivos

Presupuesto

Informes estadísticos de control

Análisis del punto no pérdida-no ganancia

Reportes especiales de control

Auditoría Interna

22.- El presupuesto es el _____ de control que se utiliza con más frecuencia. Cuando el presupuesto sirve para corregir y revisar el trabajo que se está ejecutando forma parte del proceso de _____ mientras que su determinación como recurso para el logro de objetivos lo hace parte del proceso de la función - _____.

dispositivo

control

planeación

23.- El presupuesto entonces es de gran importancia como dispositivo de _____ y como parte integrante del proceso de la _____. La definición del estándar costo es base común para coordinar las actividades de la empresa y forma parte del dispositivo _____.

control

planeación

presupuesto

24.- El dispositivo que se basa en la determinación de los costos, es el de _____. Pero el dar importancia a la reducción de costos solamente, puede tener como consecuencia - que esto afecte al estándar (cantidad/calidad/uso del tiempo) _____.

presupuesto

calidad

25.- El segundo dispositivo de control consiste en la elaboración de reportes periódicos de las actividades realizadas, con el fin de estudiar la historia de la marcha de la empresa y es lo que implican los _____.

informes estadísticos

estadísticos

26.- El hecho de que los informes _____ de control sirvan de base para que se les compare con otros informes previos, significa que es importante que se elaboren en forma - (continua/no continua) _____.

continua

27.- El análisis del punto no pérdida no ganancia es otro de los _____ que más se usa. El uso de gráficas que muestran el porcentaje de utilización de una planta contra ingresos y gastos pueden utilizarse para el análisis del punto _____.

dispositivos de control

no pérdida - no ganancia

28.- La determinación de las utilidades o pérdidas de la empresa, es otro ejemplo de lo que se puede lograr al utilizar el dispositivo de _____.

análisis del punto no pérdida no ganancia

29.- Los reportes especiales de control son el -
cuarto dispositivo de _____ . Estos-
_____ son
los que investigan casos particulares en un tiem-
po y lugar definido.

control, repor-
tes especiales

30.- De acuerdo a lo anterior estos reportes se
realizan en forma (continua/no continua) _____
_____ y por el hecho de referirse a
situaciones particulares donde se presume existe
alguna desviación, constituyen una aplicación di-
recta del Principio de _____ .

no continua

excepción

31.- Cuando se realizan investigaciones periódi-
cas, sobre actividades generales se está utilizan-
do el dispositivo de _____
_____ de control. En cambio in-
vestigaciones acerca de los procedimientos, fun-
cionamiento de un área específica de trabajo se-
usan para elaborar _____
_____ .

informes'es-
tadísticos

reportes
especiales

32.- El último dispositivo de control mencionado
es el de la _____ interna. Así por
ejemplo cuando la central de adiestramiento del
personal revisa las operaciones de las unidades
subsidiarias se está llevando a cabo una _____
_____ .

auditoría

auditoría
interna

33.- Los cinco _____
son: presupuesto, informes estadísticos de con-
trol, análisis del punto no pérdida-no ganancia,-
reportes especiales de control y auditoría inter-
na.

dispositivos
de control

34.- Los dos dispositivos que tienen que ver con
los análisis monetarios, costos y flujo de fondos
son: _____ y el _____
_____ .

presupuesto,
análisis del punto
no pérdida-no ga-
nancia

35.- El dispositivo que se elabora en forma no -
continua y que está relacionado con el Principio
de Excepción es el de _____
_____ de control.

reportes
especiales

36.- Los dispositivos que se realizan en áreas -
extensas y en forma más o menos periódica son:
la _____ y los _____
_____ de control.

auditoría interna,
informes estadís-
ticos

37.- Para que en toda empresa no se pierda la -
continuidad en el flujo de las actividades es nece-
sario que se utilicen como forma de control, los
_____ antes mencionados.

dispositivos

2.- SISTEMAS DE CONTROL Y CONTROL DE LA ACTUACION HUMANA

38.- Los sistemas de control son aquellos que se
utilizan para determinar si los objetivos y metas
de la organización definidos en la función _____
_____ se están ejecutando correcta-
mente. Dichos sistemas se auxilian de los _____
_____ de control para cumplir su
cometido.

planeación

dispositivos

39.- El control centralizado es el _____
de control que se lleva a cabo en áreas específi-
cas de una empresa. Así el control de prespues-
tos departamentales a cargo del staff de finanzas
es lo que constituiría un _____
_____.

sistema

control cen-
tralizado.

40.- El control personal es el que incluye el che-
queo y correcciones que realiza un supervisor a
un trabajador o grupo de ellos. Así el sistema -
de control que se realiza en áreas más específi-
cas y es de primera línea primordialmente es el
de control _____.

personal

41.- Los sistemas de _____
_____ y control _____ son ---
los que se deben ejercer de acuerdo a las teorías
clásicas de la Administración. Es lógico pensar
que los datos así obtenidos fluyen hasta (los nive-
les superiores/los niveles más bajos) _____
_____.

control centralizado
personal

los niveles
superiores

42.- El tercer sistema es el auto-control. El in-
dividuo que instituye cambios en sus propios mé-
todos de trabajo con el fin de lograr mayor éxito
está practicando el _____.

auto-control

43.- La supervisión realizada por los niveles altos de la empresa sobre áreas extensas de trabajo es lo que implica un _____ . El perfeccionamiento del individuo debido a un supervisor que chequea su trabajo constituye la meta a alcanzar del _____ . El deseo de superación personal, la automotivación y la iniciativa del individuo para ir perfeccionando sus métodos de trabajo son consecuencia del _____ .

control centralizado

control personal

auto-control

44.- Desde el punto de vista de la Teoría y (unidad anterior) el sistema de control mejor es el _____ . Según la Teoría X que establece que el hombre es incapaz de lograr nada por sí mismo, sería necesario el uso de los controles _____ y _____ .

auto-control

centralizado personal

45.- Porque fomenta el sentido de responsabilidad y brinda una cierta libertad en la elección de los métodos de trabajo y estrategias a seguir el sistema de control ideal sería el _____ .

auto-control

CONSECUENCIA DE LA APLICACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

46.- El éxito de los _____ de control se basa, en que sean aceptados por los individuos a quienes se aplica. Por desgracia los estudios del comportamiento humano han demostrado que el hombre generalmente (acepta/rechaza), _____ los sistemas de control.

sistemas

rechaza

47.- Los sistemas de control producen en el hombre un rechazo que se traduce en un incumplimiento del deber. El _____ o resistencia a dichos sistemas se debe generalmente a las siguientes causas:

rechazo

1) El control tiende a romper la imagen propia de la persona.

2) El no aceptar los objetivos de la empresa.

3) La creencia de que los estándares exigidos son demasiado altos.

4) No gustarle que se asigne el control a determinados grupos de la organización.

48.- El hecho de que la mayoría de los reportes o informes de control, acusan sólo las deficiencias en la actuación de la persona, hacen que sean (aceptados/rechazados) _____ ya que tienden a _____ la imagen de la propia persona.

rechazados
romper

49.- Ahora suponiendo que el individuo acepta el control como un medio para corregir sus deficiencias es necesario, además, que los objetivos de los sistemas de control le hagan sentir que valen la pena.

(sin respuesta)

50.- Así otra de las razones por las que se rechazan los sistemas de control es porque existe incompatibilidad entre los _____ de la persona y los de la organización.

objetivos

51.- Si un empleado siente que lo que le están exigiendo es demasiado para sus aptitudes o habilidades, puede deberse a que los _____ son muy altos y por ello (admite/no admite) _____ que se le controle.

estándares

no admite

52.- Por ejemplo la fijación de volúmenes de venta a un vendedor basados en su desempeño anterior es más fácilmente (aceptada/rechazada) _____ que si se aplica un volumen estándar sin tener en cuenta la experiencia.

aceptada

53.- Se estableció que un individuo rechaza los _____ de control cuando no le gusta, que para tal efecto, hayan asignado a un determinado _____. Es de esperarse que un control ejercido por los mismos compañeros se (acepta/rechaza) _____ en tanto que un control proveniente de un staff de "afuera" sea aceptado/rechazado) _____.

sistemas

grupo

acepta

rechazado

54.- Se han visto hasta ahora, las razones por las que se _____ un sistema de control, que trae como consecuencia un incumplimiento del deber. Un individuo no cumple con su _____ ante la percepción del peligro.

rechaza

deber

55.- Cuando aquellos a quienes se aplica un sistema de control sienten que éste constituye una amenaza para ellos, se dice que hay _____
_____.

percepción
del peligro

56.- La percepción del _____ nace cuando se insiste en el castigo en vez de la ayuda y del apoyo para alcanzar las metas y/o los _____ cuando existe falta de confianza en las relaciones entre superior y subordinado, personal staff y de línea, etc.

peligro

objetivos

57.- Las amenazas y castigos, así como la falta de confianza o comunicación entre los jefes y los _____ es lo que hace que aparezca la _____ y con ello la falta de _____ del deber.

subordinados
percepción
del peligro
cumplimiento

58.- Se puede concluir que los sistemas de control tienden a provocar y a acentuar la conducta que tratan de evitar que es la falta de _____ la razón de ello es que las presiones para cumplir con el deber en una atmósfera de falta de _____ en las relaciones y de castigos hacen percibir el _____.

cumplimiento
del deber

confianza
peligro

59.- Desgraciadamente la ausencia del peligro no garantiza el cumplimiento del _____. El cumplimiento del deber puede lograrse con sentido de dedicación a la causa.

deber

60.- Como ya vimos el objeto de todo control es lograr la determinación de un _____ o patrón para evaluar el trabajo. Entonces el éxito del control consiste en la determinación del nivel del estándar apropiado, ni muy alto porque puede ser inalcanzable y por ello _____ ni tan bajo que no se logran las metas y los _____ organizacionales.

estándar

rechazados

objetivos

61.- Sin embargo la reacción favorable del individuo no estará determinada por la meta-objetivo en sí sino por la percepción que de ella tenga de acuerdo a sus sentimientos, necesidades y actitudes de ahí que el estudio de las Ciencias del _____ humano son básicas en la administración.

comportamiento

62.- El cumplimiento del deber, según se dijo en el cuadro 50, se logra con sentido de _____ a la causa y ello se logra cuando el individuo logre la _____ de las metas u objetivos.

dedicación

percepción

63.- Mayor será la _____ a la causa cuando más compatibles sean las _____ u _____ de la empresa con los sentimientos, inquietudes, aspiraciones y necesidades del hombre que en ella trabaja.

dedicación

metas

objetivos

64.- Teniendo en mente estas ideas, se puede entrar al estudio de lo que está constituyendo el sistema de control moderno y que se basa en lograr una mayor _____ a alcanzar las metas y objetivos de la empresa. A este sistema se le conoce por sistema orgánico de control.

dedicación

65.- El sistema _____ de control viene siendo la forma de promover una mayor _____ a la causa de la empresa basado en la idea de que imponiendo a los demás determinados objetivos y normas atractivas se logra su aceptación.

orgánico

dedicación

66.- El establecimiento de los _____ y las _____ debe hacerse en base a una exploración conjunta y abierta de la realidad. -- Así la exposición y discusión de los criterios de la empresa para competir con éxito en cualquier ocasión son la base para el _____ de los objetivos y las normas.

objetivos

normas

establecimiento.

67.- Esto puede parecer engorroso y lento, pero se basan en la convicción de que el tiempo empleado en lograr la identificación de los objetivos, actividad propia de la función _____ estará compensado de sobra con el tiempo que se ahorrará en la solución de problemas posteriores.

planeación

68.- Así definidos en forma concreta y conjunta todos los objetivos, metas y normas a seguir y por haber sido determinados con el concurso de todos los miembros de la empresa, teniendo en cuenta todos los puntos de vista y sugerencias, -- será (fácil/difícil) _____ podense dedicarse por entero a la causa.

fácil

69.- El sistema orgánico de control basado en lo antes expuesto tendría una aplicación ----- (igual/muy distinta) _____ a los sistemas convencionales, ya que si se ha logrado la entera _____ al logro de los _____, lo primero, para realizar un _____ efectivo, será proporcionar ayuda a los subsistemas (departamentos) en su esfuerzo por alcanzar los niveles acordados en común.

muy distinta

dedicación
objetivos
control

70.- La función de las unidades administrativas en el sistema _____ será la de proporcionar a cada uno de los niveles de la empresa la información relativa a su funcionamiento para que pueda utilizarla a este fin.

organico de
control

71.- Así cada subsistema tendrá que dar cuenta de sus actividades al sistema inmediato superior, periódicamente indicando el desarrollo alcanzado, la exposición de los problemas encontrados y de los planes para resolverlos. Ello elimina la utilización de grupos especiales de control que hacen (más caro/más barato) _____ el control.

más caro

72.- Con ello también se evita en gran parte la vigilancia directa, en el sentido estricto de la palabra, ya que el problema no consiste en obtener un cumplimiento pasivo, sino en capacitar a todas las secciones a lograr los _____ propuestos.

objetivos

73.- Así el sistema _____, motiva al empleado a ir corrigiendo sus errores y a ejercer sobre sí mismo un _____ control de sus movimientos. El auto-control es la mejor manera de responsabilizar al individuo y lograr el _____ de su deber y su mayor _____ a tratar de alcanzar los objetivos de la empresa.

organico de
control

auto

cumplimiento
dedicación

74.- El _____-control desarrollado en base al estudio de situaciones particulares, producto, a su vez de las necesidades e inquietudes del individuo y que se ejerce por medio de informes de subsistemas al sistema superior, a base de confianza y sinceridad es lo que constituye el _____ de control.

auto

sistema organico

CONTROL DE CANTIDADES

El controlar las cantidades es muy usual en la Industria de la Construcción. Conocida desde la planeación la cantidad de una obra determinada por unidad de tiempo (hora, día, mes) que se requiere producir es muy fácil utilizar esa cantidad planeada como estándar. A medida que se desarrolla la obra pueden irse afinando los estándares.

En el proceso de planeación se determina primero un estándar ideal o teórico, esto es la cantidad de obra que puede producirse con un 100% de eficiencia, luego se aplican factores producto de la experiencia para llegar al estándar práctico, o de otra manera, si se tienen datos estadísticos de obras anteriores con el mismo proceso productivo pueden tomarse estos datos para determinar los estándares reales o prácticos.

Establecidos los estándares por unidad de tiempo se procede a establecer los puntos de control; normalmente se van controlando las cantidades por lapsos acordes con el control contable de la obra. Así pueden establecerse controles diarios, semanales o mensuales.

La ventaja de ligar el control de cantidades a la contabilidad de costos es que se tendrán puntos de control iguales para cantidades y costos lo cual es muy útil puesto que la producción real en un determinado plazo junto con el costo real nos dará el costo por unidad de obra ejecutada que es un dato que interesa primordialmente al constructor.

Otra característica del control de cantidades es que los puntos de control son diferentes dependiendo del nivel jerárquico que toma decisiones usando el control. Así por ejemplo en una planta de agregados el jefe de la planta recibe un informe de producción por turno, el superintendente de pavimentación recibiría un informe condensado de producción semanal y el superintendente general este mismo informe pero mensual. Estos sucede desde luego si no hay desviaciones significativas. Si las hay el sistema de control debe ser capaz de alertar hasta un nivel que pueda tomar las decisiones que corrijan aquellas fallas del proceso que estaban provocando una falta de producción respecto a los estándares.

Esto se hace en diferentes formas. El superintendente de pavimentación puede por ejemplo decirle al jefe de la planta que debe avisarle si la producción de cualquier turno de 8 hrs. es inferior en 10% al estándar por turno. El superintendente general podrá enterarse si la producción semanal es 10% inferior al estándar semanal. Esto desde luego facilita la operación organizada de control.

Es muy común que al reporte de control se le añadan una serie de datos estadísticos que sirvan para tomar decisiones en caso de que exista alguna desviación.

Siguiendo el ejemplo de la planta de agregados el reporte debería contener aquellos datos que permitan conocer las causas de alguna posible desviación. Por ejemplo el número de horas paradas de la máquina por cualquier causa indicando dichas causas o no, demoras causadas por deficiencias en el suministro, deficiencias en el almacenamiento, fallas en el personal, etc.

Si todos estos datos se llevan a lo largo del trabajo esto permitirá que además de llevar el control y facilitarse las decisiones se pueda revisar periódicamente las causas de las demoras para poder, por ejemplo, replanear el proceso o si es conveniente, fijar estándares más altos en beneficio de la economía de la obra modificando el proceso completo, parte del proceso o simplemente aumentando el estándar en función de la experiencia acumulada si pareciera lo indicado.

En realidad el control es un proceso de retroalimentación, este es, un sistema que toma muestras, las compara con el estándar y en caso de desviaciones significativas actúa sobre el proceso de producción para regresarlo a la producción planeada.

El reporte de control permite pues a los diferentes funcionarios que manejan el proceso tomar decisiones. Estas decisiones son de diferente tipo y podríamos dividir las en dos :

- a) Decisiones de Emergencia.
- b) Decisiones Preventivas.

Como ejemplo de decisiones de emergencia podría mencionarse el hecho de que una máquina trituradora tenga problemas mecánicos y esto origine una producción inferior al estándar. Otro ejemplo sería que una máquina se descomponga por rotura de una pieza. En estos casos la decisión inmediata será proceder a la reparación.

Como ejemplo de decisión preventiva puede mencionarse la siguiente: las horas perdidas por descompostura de una máquina, tienen tendencia a aumentar. Analizando la causa pueden presentarse varios casos :

- a) La máquina está fuera de la vida económica
- b) El mantenimiento es defectuoso
- c) La operación es defectuosa
- d) Algún mecanismo de la obra tiene un efecto importante

El atacar este problema y tomar decisiones respecto a él sería una decisión preventiva si se toma antes de que ésta causa de demora provoque que la producción quede abajo del estándar.

Es costumbre que para poder tomar estas acciones preventivas se usen cartas de control, que indiquen en forma gráfica y durante lapsos grandes las variaciones reales del comportamiento de la producción, demoras, etc.

CONTROL DE COSTOS

Este sistema de control es muy usual en lo que a construcción se refiere, ligado íntimamente al control de cantidades como ya se indicó.

Este control consiste en ordenar en diferentes cuentas los costos correspondientes a los insumos que se van utilizando en la obra.

El conjunto de estas cuentas se denomina catálogo de cuentas de costos, y pueden dividirse de acuerdo con las necesidades del control. Así por ejemplo puede llevarse una cuenta de costos para producción de agregados, otra cuenta de costos para elaboración de concreto asfáltico, una más para colocación de concreto revestido, etc., es usual que se subdividan estas cuentas de costos en sub cuentas, en función del tipo de insumo, así pues cada una de estas cuentas podría llevar las siguientes sub cuentas :

- a) Obra de Mano
- b) Materiales
- c) Maquinaria
- d) Acarreos
- e) Destajistas

El control de costos compara las cantidades erogadas por cada una de las cuentas y sub cuentas con las supuestas y cuando hay una desviación importante tomará una decisión para corregir esta desviación.

El estándar en el caso de control de costos puede elaborarse a base de presupuestos mensuales o, relacionando un control de cantidades con el de costos en base a los costos unitarios supuestos en la planeación.

Así por ejemplo se puede presuponer cuánto se va a gastar en una determinada empresa por concepto de maquinaria para agregados, y usar esta cantidad como estándar y contra ella comparar el costo real. Puede también fijarse un costo unitario como estándar por m³ de agregado por ejemplo y con los datos reales de cantidades de costos dividiendo la cantidad erogada realmente en el mes entre la cantidad producida realmente en el mes en m³ tendríamos el costo unitario real que se compararía con un costo unitario supuesto. En ambos casos, si hay desviaciones se deberá contar con un mecanismo en la organización de la obra que tome decisiones de inmediato para corregir las deficiencias que presente el mecanismo de producción, con objeto de hacer que el costo real sea igual o menor que un costo estimado.

La información del control de costos se puede presentar en base a listados que nos indican las cantidades realmente erogadas en cada una de las cuentas y sub cuentas, se puede presentar en gráficas, o pueden presentarse exclusivamente aquellos costos que se disparan del presupuesto (control por excepción).

Como se puede ver estas cuentas de costos pueden sofisticarse y pueden ampliarse hasta llegar a un control muy detallado. La experiencia en construcción indica que es muy difícil llegar a un gran detalle ya que normalmente en los datos de campo se originan errores que hacen inútil este control tan detallado. Es más frecuente que se tengan cuentas por actividades generales y en caso de tener que tomar una decisión se hace un análisis de detalle de esa cuenta particular dividiéndola con el criterio del ingeniero en sub cuentas.

La contabilidad de costos implica una buena organización contable de la obra, ya que esta contabilidad de costos deberá estar ligada a la contabilidad general de la empresa para que dé siempre datos reales.

Desde luego se deberán llevar cuentas de los costos directos, así como de indirectos y gastos generales de la empresa con objeto de tener siempre un panorama completo y tomar decisiones que conduzcan a la obra y a la empresa al objetivo cuantitativo predefinido.

Los estándares deben modificarse y revisarse continuamente, ya que es muy frecuente que haya variaciones en el proyecto en las cantidades de obra y en los métodos de construcción que evidentemente modifican el estándar.

Para llevar adecuadamente el control de costos es indispensable que el ingeniero que hace uso de este control tenga conocimientos básicos de contabilidad, lo que le permitirá interpretar adecuadamente los resultados de las diferentes cuentas que tiene que supervisar.

Existen diferentes métodos para llevar el control de costos, que usan desde sistemas manuales hasta computadoras electrónicas, en general el uso de computadoras está restringido a aquellas áreas de trabajo en donde se tenga una máquina cercana, ya que la transmisión de datos masivos por teléfono o radio no ha sido resuelta satisfactoriamente en México. Esto es muy importante ya que la información debe ser oportuna para que las decisiones que se tienen que tomar en base a esa información también lo sean.

CONTROL PRESUPUESTAL

El control presupuestal permite llevar el control de cantidades y costos al mismo tiempo, y desde luego permite tomar las decisiones que se requieran tanto en el área de producción como en otras áreas tales como compras, manejo financiero, cobranzas, etc.

Para poder llevar un control presupuestal se requieren los siguientes requisitos.

Un sistema de planeación que permita la elaboración de un presupuesto completo que servirá de estándar para el control.

Un sistema idóneo de contabilidad y costos de la empresa.

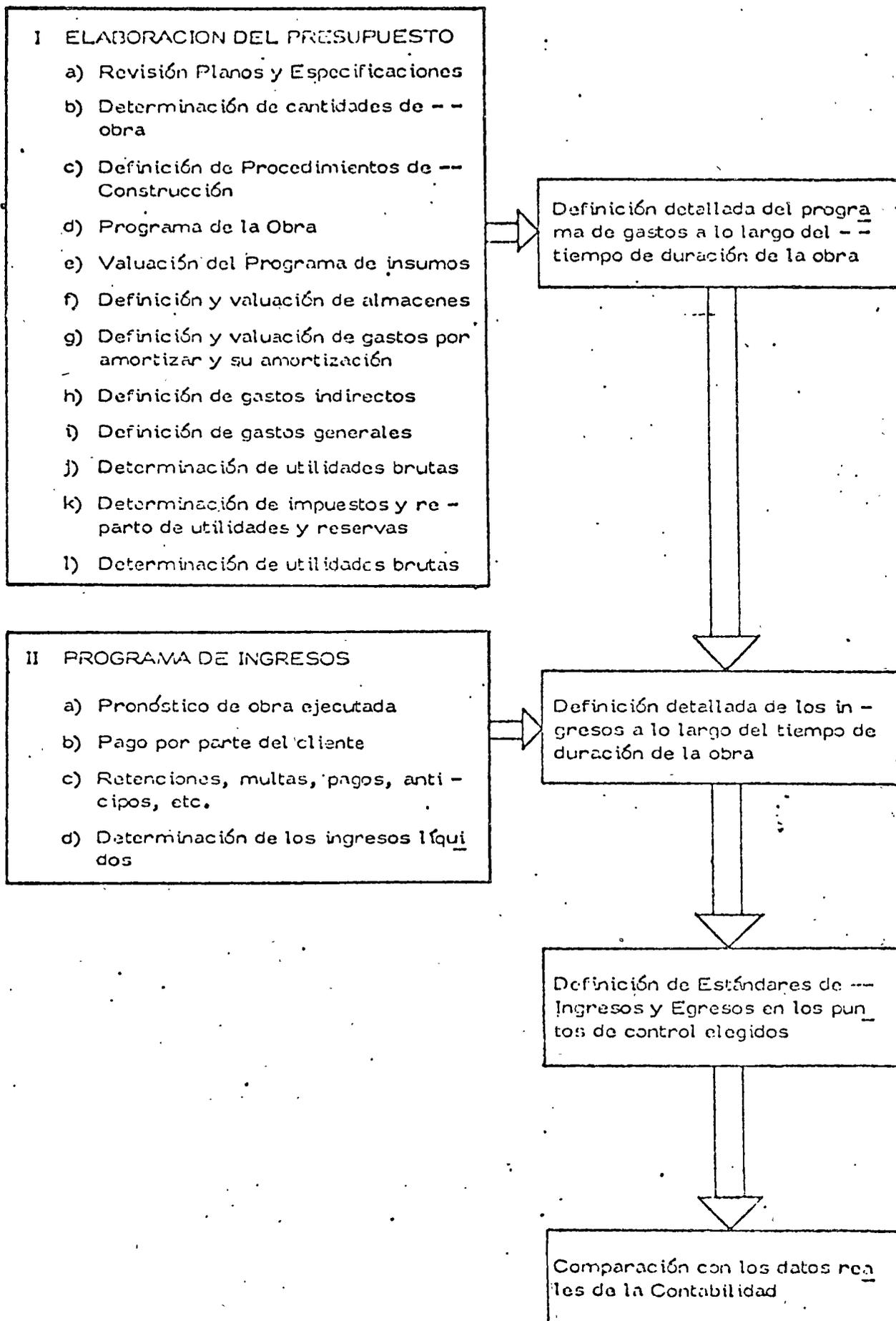
En general puede decirse que un sistema integrado de control presupuestal en una empresa de construcción tiene limitaciones e inconvenientes que algunas veces anulan a las indudables ventajas que tiene el sistema.

Entre los inconvenientes que presenta pueden mencionarse :

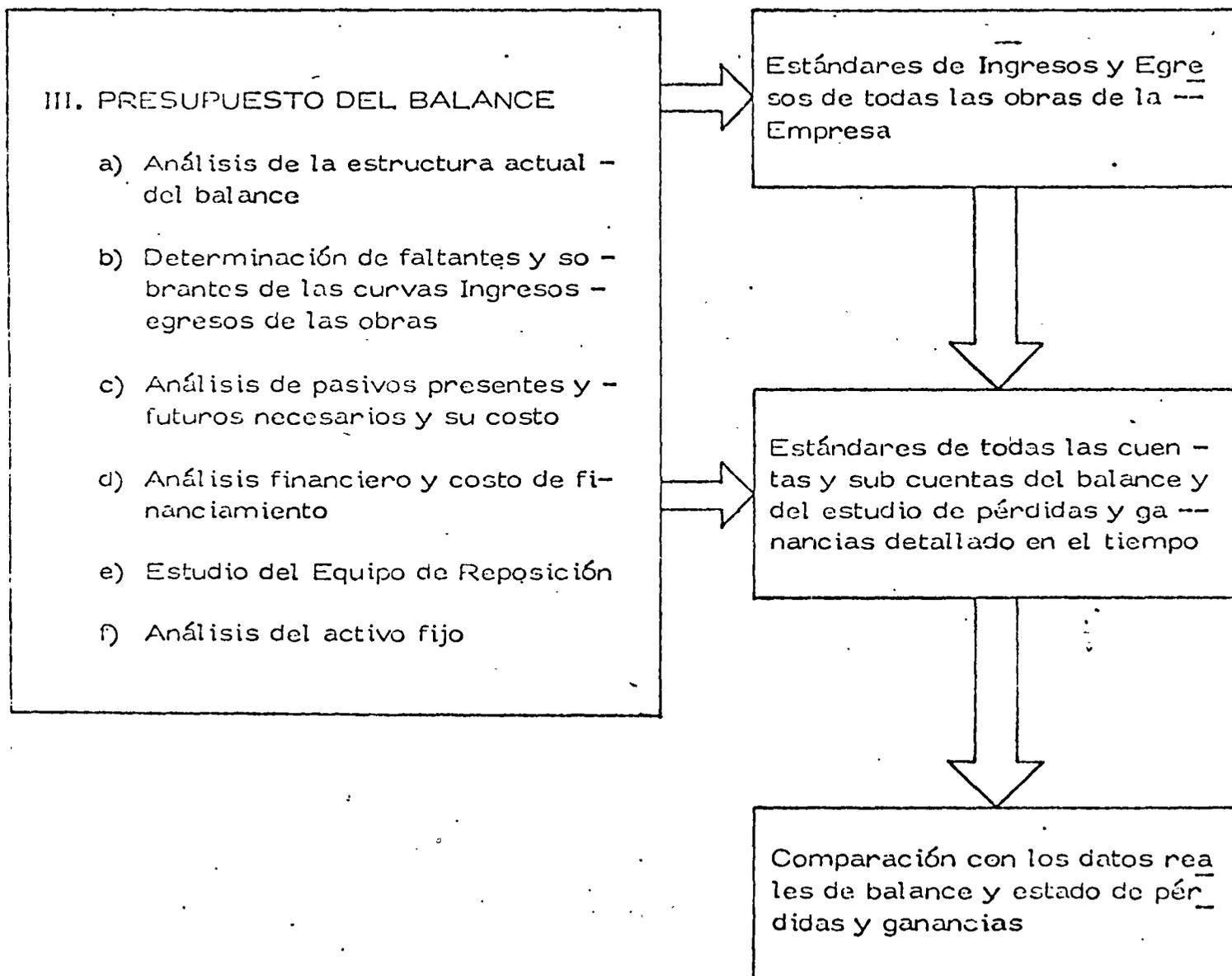
- a) Los presupuestos deben modificarse continuamente debido a las variaciones en programas y volúmenes que tienen la mayor parte de las obras de construcción en nuestro país.
- b) Al implantar el sistema no se deben esperar resultados completos a corto plazo.
- c) Existen obstáculos psicológicos importantes, pues el cambio de sistema significa una modificación en los hábitos del personal.

Existen gran número de procedimientos diferentes para llevar el control presupuestal, desde sistemas que se operan manualmente hasta los que hacen uso de las computadoras.

El control presupuestal a nivel de obra podría definirse como sigue:



El control presupuestal a nivel de empresa podría esquematizarse así:



Como en los casos anteriores desviaciones significativas originan de inmediato decisiones correctivas.

CORRECCION DE DESVIACIONES

El establecimiento de los medios adecuados para corregir las desviaciones de los estándares es probablemente la etapa más importante de todo control.

Si el "aviso" no es oportuno y no llega rápidamente a la persona capaz de tomar las decisiones correctivas se pierden total o parcialmente las ventajas del control.

La empresa puede mejorar sistemas de construcción modificar su organización para definir mejor las funciones y responsabilidades de cada puesto, mejorando así la coordinación de sus actividades, o modificar los sistemas de dirección de la empresa, en función de los reportes de control debidamente evaluados.

Como consecuencia del control de costos, puede reducirse la inversión real y mejorar la rentabilidad de la obra, o aumentar los beneficios del contratista, generalmente muy por encima del gasto necesario para ejercer el control. Cuando la decisión para ejecutar una obra se ha basado en hipótesis falsas respecto a los costos, el control de éstos generalmente revela prontamente este hecho, permitiendo así una oportuna reevaluación y corrección de los planes. Por supuesto que el control de costos no puede corregir los defectos en los estimados de costos, pero la misma experiencia derivada del control permitirá realizar estimados cada vez mejores.

REQUISITOS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE COSTOS, DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA.

Los textos de administración señalan diversas exigencias para que un sistema de control opere adecuadamente. Se analizará cada una de ellas con referencia especial al control de los costos.

1. Los controles deben reflejar la naturaleza y las necesidades de la actividad. El sistema para controlar los costos de ingeniería de proyecto será indudablemente distinto del que se use para controlar los costos de construcción. Los sistemas e instrumentos adecuados para controlar los costos de construcción de una planta industrial son diferentes de los que deben usarse en la construcción de una presa. Los costos de operación y mantenimiento requieren

procedimientos de control especiales, y lo mismo puede decirse de los costos de producción en serie. Por lo tanto, los catálogos de cuentas de costos y los sistemas de información correspondientes tienen que diseñarse para las necesidades de cada empresa y las características de cada tipo de obras.

2. Los controles deben indicar rápidamente las desviaciones.

Ya se hizo notar anteriormente la importancia del "tiempo de respuesta" de un sistema de control. Los sistemas de contabilidad tradicionales generalmente tienen un tiempo de respuesta exageradamente largo; debido a que tienen que satisfacer diversos requisitos legales, además de servir para el control financiero de la empresa, deben ser meticulosamente exactos y reportar únicamente transacciones completamente terminadas y debidamente documentadas. Por lo tanto, su funcionamiento es lento y un tanto inflexible. El control de los costos requiere el establecimiento de un sistema de información más ágil y flexible, que permita conocer rápidamente las desviaciones de los planes y apreciar con igual rapidez los efectos de las medidas correctivas. El procesamiento electrónico de datos constituye una valiosa herramienta para lograr sistemas de control de respuesta rápida. Es importante, sin embargo, que exista una fuente de datos común para el sistema contable y el de control de costos, de tal manera que exista armonía y complementación entre ellos.

3. Los controles deben mirar hacia adelante. A este respecto debe también señalarse que los sistemas contables están generalmente orientados al pasado, es decir, tienen el carácter de registros de las transacciones realizadas en el pasado. Por lo tanto, se concluye como en el punto anterior, que es necesario establecer sistemas de control de costos orientados al futuro o lo que es lo mismo, capaces de predecir las consecuencias de las desviaciones de los planes. Los sistemas de programación y control de obras por redes de actividades constituyen instrumentos idóneos para proyectar hacia el futuro el efecto de las desviaciones presentes.

4. Los controles deben señalar las excepciones en los puntos estratégicos. Se hace referencia aquí al principio de control por excepción, según el cual el ejecutivo debe concentrar su atención

en los casos de excepción, es decir, en aquéllos en que lo logrado se aparta de las normas o planes establecidos. Los sistemas de programación por ruta crítica, al señalar claramente la secuencia de actividades cuyo cumplimiento es crítico para la consecución de la meta pre-fijada, facilitan la identificación de los puntos estratégicos. Para poder apreciar las desviaciones significativas en los costos, es indispensable que los presupuestos-

y estimados de costo sean enteramente congruentes con el programa de obra aprobado, y se elaboren mediante un análisis de las secuencias de operaciones por realizar. Podrá así advertirse fácilmente cuándo el costo se aparta en forma inconveniente del presupuesto y de los estándares prefijados.

5. Los controles deben ser objetivos. Es necesario subrayar aquí nuevamente la importancia de basar el control de costos en un buen estimado de costo. Sin él, la apreciación que pueda hacerse respecto a los costos observados en la obra se convierte en un proceso totalmente subjetivo y de escasa significación. Cuando el estimado de costo se integra con el programa de obra, de tal manera que se fija un costo directo para cada actividad, el control de costos adquiere máxima objetividad y oportunidad.
6. Los controles deben ser flexibles. Con frecuencia, diversas circunstancias fuera de control del ejecutivo hacen que se tenga que cambiar los planes. Los sistemas de control de costos deben poder adaptarse fácilmente a estos cambios sin perder su validez y utilidad. Sucede en ocasiones que al elaborar un programa por CPM, se pretende darle un carácter estático e inflexible, que lo hace obsoleto rápidamente, debido a que no se ha previsto su frecuente revisión y actualización, de acuerdo con los cambios impuestos por las circunstancias. Los estimados de costo deben mantenerse consecuentemente actualizados para que siempre señalen en forma realista las metas alcanzables.
7. Los controles deben reflejar el modelo de organización. En toda buena organización las responsabilidades de los diferentes niveles ejecutivos y de los diferentes puestos están perfectamente definidos. Es indispensable que los sistemas de control provean a cada ejecutivo de una información congruente con sus responsabilidades. Se infiere la necesidad de establecer reportes de costos adecuados a cada nivel administrativo. Así por ejemplo, el reporte que reciba el responsable de una fase de la obra será más detallado y más específico que el que reciba el superintendente general de la misma, y el que éste reciba, más detallado y menos general que el que se dé al gerente de la empresa constructora.
8. Los controles deben ser económicos. Deben distinguirse claramente el volumen de información y el valor de la información. Dar mayor número de datos no significa necesariamente mejorar la información; por el contrario, en muchas ocasiones el exceso de información provoca incertidumbre, indecisión e incapacidad para interpretar adecuadamente la gran cantidad de datos que se reciben. Por lo tanto, hay que establecer un equilibrio adecua-

do entre la cantidad de datos que conviene generar y el costo de procesarlos y distribuirlos para convertirlos en información utilizable. En general sólo debe proporcionarse la información indispensable para que cada ejecutivo pueda tomar las decisiones que le competen.

9. Los controles deben ser comprensibles. Los reportes de costos deben tener siempre una interpretación fácil y presentarse en forma inmediatamente utilizable. Resultan de poca utilidad los datos de costos que el ejecutivo deba todavía procesar y analizar para que adquieran significado.
10. Los controles deben indicar una acción correctiva. Ya se expresó anteriormente que si no hay acción correctiva no existe control. Por lo tanto, los informes de costos deben presentarse de tal manera que se puedan apreciar claramente las causas de las desviaciones, los responsables de las mismas y las medidas que puedan adoptarse para corregirlas.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

PANEL DE INVESTIGACION

REFLEXIONES SOBRE " EL CONTROL DE CALIDAD "

ING. ALFONSO RICO RODRIGUEZ.

JUNIO, 1978.

REFLEXIONES SOBRE " EL CONTROL DE CALIDAD".

L.- INTRODUCCION.

Considero que lo expuesto por el Ing. Orozco ha sido muy interesante ya que ha abordado aspectos básicos del Control de Calidad, tema que por cierto resulta ser particularmente polémico dado que existen muy diversos enfoques, en donde no es raro observar prácticas viciosas, inadecuadas o cuando menos poco ingenieriles. Creo que se ha seleccionado un tema en donde los Ingenieros estamos hasta cierto punto urgidos de intercambiar nuestros puntos de vista, nuestras experiencias y nuestras inquietudes, dentro de un marco cordial y de elevado nivel técnico propició a este ambiente de tan respetable concurrencia.

Considero que aun cuando el C. C. tiene un fácil planteamiento, ya que en esencia supone una serie de actividades -- que tienden a asegurar que la obra realizada satisfaga los -- niveles de calidad fijados en el proyecto, el logro de tal -- meta dista mucho de ser una empresa fácil en la práctica. -- Son muchos los factores que se acumulan para no satisfacer -- dicho fin, los cuales pueden ser tanto tecnológicos como de carácter humano siendo sobre todo estos últimos, los que a -- menudo resultan más difíciles de conjugar, sobre todo si pen -- samos que en la práctica es común advertir una cierta dife -- rencia entre los objetivos de quienes intervienen en las dis -- tintas fases de una obra. Así por ejemplo, mientras el con -- tratante está preocupado en lograr una obra que a la vez de ser eficiente y segura resulte económica, el proyectista por su parte espera que la obra se realice con el mayor apego a su diseño y el constructor tratará de reducir a un mínimo -- los problemas constructivos, evitando hasta donde sea posible efectuar correcciones que implican en muchos casos, el repe -- tir prácticamente una labor ya realizada. Por lo tanto, es obvia la importancia que tiene el poder armonizar estas dife -- rentes concepciones, en beneficio de la obra en lo concer -- niente a su calidad. Para éllo, se hace indispensable defi -- nir con claridad los objetivos y la participación de cada -- Sector que interviene en la obra, poniendo lo mejor de sí -- mismo, teniendo presente que no es posible alcanzar las me -- tas fijadas, sin una verdadera labor de equipo, en donde se manifieste lo que alguien ha dado en llamar la conciencia de

calidad en todos los participantes, sin distinción de jerarquía ni grupo.

Dentro de la amplia gama de aspectos que implica el control de calidad, destacan tres que en mi concepto merecen la mayor consideración, y que seguramente las opiniones y comentarios que sobre el particular se expresen en esta reunión serán de gran interés.

Ellos son:

- 1.- Hasta dónde debe ejercerse el control de calidad, -- cuál debe ser su alcance y cual su frecuencia.
- 2.- En qué momento debe realizarse, es decir: antes, durante o después.
- 3.- Por quién debe realizarse.

1.- Tratando de hacer algunas reflexiones sobre estos aspectos, podría decirse con relación al primero de ellos, que no es posible dar respuesta cabal sin precisar de antemano el tipo de obra en particular, si bien puede enunciarse que el control de calidad deberá cubrir todos aquellos aspectos -- esenciales que tengan un significado directo con el buen comportamiento, sin incurrir en detalles de secundaria importancia, que tan solo abrumen la labor y que su atención puede contribuir a que se descuiden los aspectos relevantes.

La frecuencia de las inspecciones no necesariamente debe ser uniforme, ya que en determinados procesos resulta más ventajoso extremar la vigilancia durante la etapa inicial, que correspondé propiamente a la puesta a punto de un determinado sistema o proceso, y espaciar las inspecciones cuando los trabajos se encuentran plenamente sistematizados. Por otra parte, reconociendo que en la generalidad de las obras de ingeniería intervienen elementos de gran variabilidad, tanto en lo que concierne a las características de los materiales como a las de los productos con ellos obtenidos, la ampliación de métodos estadísticos ha demostrado ser un auxiliar indispensable en las actividades modernas involucradas en el control de calidad. Dichos procedimientos, además de permitirnos decir con mayor fundamento el alcance de factores tales como la actividad del muestreo, ensayos de laboratorio y campo, entre otros son de gran ayuda en la evaluación de la dispersión y -- determinación de valores característicos del cúmulo de resultados obtenidos en las diversas mediciones efectuadas durante el control.

Cabe advertir, sin embargo; que el Ingeniero nunca debe perder de vista el verdadero papel de la estadística en estas actividades, como un medio, más que un fin, razón por la cual sus resultados no deben convertirse en acciones directas sin antepasar por el tamiz de un sano juicio ingenieril.

2.- La segunda pregunta planteada precisa conocer no sólo cuándo debe iniciarse las labores involucradas en el control, sino también cuál debiera ser su evolución. Para muchos el control de calidad debiera empezar desde la propia selección del contratista, aduciendo que el conocimiento de sus antecedentes, experiencia, equipo, personal, sistema de autocontrol etc., proporcionan una base que augura que la obra se va a realizar con mayores probabilidades de éxito en cuanto apego a las normas, que cuando se selecciona a un contratista sin tomar en cuenta estos aspectos. Se piensa así mismo que en todas las fases de la obra debiera ponerse especial énfasis al control "antes de" y "durante", que "después de"; buscando con éllo obtener el mayor provecho posible de las ventajas que implica el prevenir que remediar. Elló no significa sin embargo, que quiera establecerse una disyuntiva entre una y otra, sino más bien establecer una jerarquización ya que tales acciones por lo general son necesarias. La participación "antes" y "durante", debe constituir evidentemente la clave para garantizar los niveles de calidad prefijados, cuya verificación propiamente, corresponde a la fase del control a realizar "después de". Si bien es cierto que los resultados obtenidos en esta última fase, son los que en definitiva califican a la obra y tienen una repercusión directa sobre las bases de pago y criterios de aceptación, no debe olvidarse que dichos valores no son sino la consecuencia de la labor realizada en las anteriores etapas y que por lo mismo, en la mentalidad de quien ejerce el control de calidad debe representar menos índices confirmatorios de la bondad o eficiencia de la labor ejercida "antes de", y "durante" cada proceso.

En resumen, la idea que trato de expresar en relación a este tópicó es en el sentido de que el control de calidad debe tener una concepción dinámica, y por lo mismo, debe intervenir en todas las fases de la obra, incluyendo a las que tienen un carácter preliminar. Por lo tanto, quienes sostienen que el control de calidad sólo debe ejercitarse en las etapas finales de la obra y juzgar a la misma exclusivamente ante acciones consumadas, no actúan en consonancia con la realidad, dando oportunidad con éllo a la creación y desarrollo de problemas que, de otra manera pudieran ser exitados.

Por lo que se refiere a la última de las preguntas que me permití formular al principio, es bien sabido que existen diversos puntos de vista en nuestro medio ingenieril; los cuales

considero que pueden englobarse en 2 opciones fundamentales. En la primera de ellas, el control de calidad es ejercido en toda su amplitud por el contratante, por lo que la labor ejecutada por el contratista queda supeditada íntegramente al juicio que sobre ella emita el propio contratante, a través de la entidad dispuesta expresamente para éllo.

La segunda opción por el contrario, adjudica al contratista la obligación de realizar el control de calidad, reservándose el contratante el derecho a verificar y aceptar en su caso, la obra ejecutada por el contratista.

En ambas opciones existe la variante de incorporar a su propia organización, el equipo humano y técnico que debe realizar dicha tarea, o bien, la de contratar este tipo de servicios con una Empresa independiente, con un carácter que ha dado en llamarse de tercería o tercero.

En mi opinión, la segunda opción responde a un mejor planteamiento, ya que acumula mayores ventajas al otorgar al contratista un mayor grado de responsabilidad y al mismo tiempo establecer en él una mayor conciencia de su labor, en sus diversas etapas, si bien a decir verdad, este sistema en nuestro medio ha sido establecido desde hace varios lustros por diversos organismos, su evaluación desafortunadamente no ha llegado a cristalizar del todo. Creo que hace falta mucho por realizar para perfeccionarlo.

1.- Con respecto a la infalibilidad de las normas de calidad.- Por regla general los proyectos fijan normas ó especificaciones que deben satisfacerse en una obra. Estas deben ser obviamente claras y lo más precisas que sea posible. Sin embargo, desafortunadamente, la práctica llega en ocasiones a demostrar que no son difíciles, sino imposibles de construir (dentro de una acción o labor razonable). Estos suele ser fuente de serios problemas entre contratistas y contratante, e incluso crea formas de presión del segundo sobre el primero, llegándose a una situación que puede calificarse como injusta.

Puede ocurrir por otra parte que en la práctica algunas normas no son idóneas, ya que aún cuando estas sean satisfechas en la obra, la calidad no queda garantizada. Es más, durante la ejecución de la obra se puede descubrir la ausencia de algunas normas indispensables para garantizar el buen comportamiento de la misma, las cuales no fueron contempladas en el proyecto.

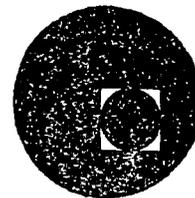
Esta situación que a todos luces es conflictiva, debiera quedar prevista en el régimen del contrato, cosa que generalmente constituye una laguna comunmente.

2.- Sobre el papel del Laboratorio.- Ciertamente el Laboratorio constituye una parte importante en el control de calidad de una obra de ingeniería, sin embargo, este servicio debe ser tan sólo un apoyo a quienes ejercitan dicho control, y por lo mismo, un complemento. Por lo tanto, el Laboratorio no sustituye a la labor sistemática de inspección que un grupo organizado y bien preparado de personas debe realizar, con clara visión y sentido práctico. Muchas veces vemos -- que esto último se relega, descansando el C. C. en una labor intensa de pruebas, no siempre bien realizadas y con frecuencia deficientemente interpretadas o cuando menos tardamente analizadas.





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

PANEL DE INVESTIGACION

ING. SANTIAGO CORRO CABALLERO.

JUNIO, 1978.

SANTIAGO CORRO CABALLERO
 Profesor Investigador, Facultad de Ingeniería
 UNAM

1. INTRODUCCION

El diseño de pavimentos es uno de los problemas más complejos que existen en la actualidad dentro del campo de las vías terrestres y constituye una especialización estrechamente relacionada con la mecánica de suelos.

Es indiscutible la importancia socio-económica de este tema en cuanto a proyecto, construcción y conservación de carreteras, aeropistas, terminales de carga y desarrollos urbanos e industriales.

Lo anterior explica el gran esfuerzo de investigación teórico-experimental que se realiza en el mundo, y que ha ido en aumento a partir de 1960 en que se realizaron las pruebas de carreteras AASHO.

Lo extenso del tema, que se discute ampliamente a través de publicaciones de congresos e instituciones especializadas solo permite, dentro del espacio destinado a esta presentación, hacer una descripción cualitativa.

La literatura disponible generalmente se subdivide en dos campos: pavimentos rígidos y flexibles.

De acuerdo con las definiciones tradicionalmente empleados, el pavimento rígido es una estructura de concreto simple, reforzado, continuo o presforzado, que puede apoyarse en la sub-base o directamente en las terracerías; el pavimento flexible generalmente está constituido por una carpeta asfáltica, una capa de material de base y otra de material de sub-base. Las terracerías son el conjunto de cortes y terraplenes ejecutados entre el terreno de cimentación y la subrasante.

Puede decirse que la aplicación rutinaria del término "pavimento" en su acepción usual definida en el párrafo anterior, ha causado grandes perjuicios en el desarrollo de técnicas racionales sobre diseño de pavimentos, ya que frecuentemente ha dado lugar a subestimar o desprestigiar su interacción con las capas subyacentes del camino o de la aeropista.

Actualmente se tiende a cambiar la noción de pavimento, antes restringida a una o varias capas resistentes aisladas, por conceptos estructurales de carácter general, y a considerar que la carretera o la aeropista son sistemas multicapa sujetos a interacciones aleatorias debidas a tránsito, estructuración y características reológicas de los materiales asociadas con variaciones en las condiciones ambientales.

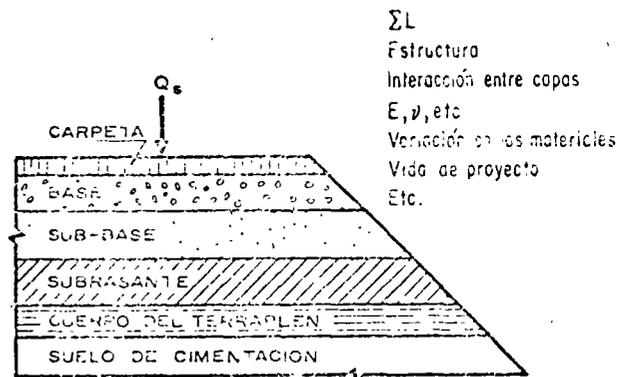


Fig 1. Estructura de una carretera flexible

Tal como lo ha sugerido el Instituto, rigurosamente debería hablarse de diseño estructural de carreteras o aeropistas, rígidas o flexibles, en lugar de emplear la terminología familiar de diseño de pavimentos rígidos o flexibles para carreteras o aeropistas.

Desde el punto de vista teórico no hay necesidad de diferenciar entre pavimentos rígidos o flexibles, puesto que su comportamiento queda definido si se caracterizan adecuadamente las propiedades mecánicas de los materiales que constituyen las diversas capas.

Sin embargo, en la práctica siguen tratándose por separado dichos temas y en la actualidad el estado del conocimiento presenta aspectos radicalmente diferentes:

- a) En el caso de pavimentos rígidos, lo

métodos de diseño se basan generalmente, en los criterios de Westergaard o de Burmister. Las tendencias de las investigaciones en desarrollo concuerdan en sus lineamientos generales y pretenden considerar de manera más precisa los conceptos de fatiga, efectos de alabeo por temperatura y condiciones de frontera; en este sentido, los métodos de análisis numérico han sido auxiliares valiosos para estimar cualitativamente ciertos problemas. Sin embargo, en la mayoría de los casos se conserva la noción tradicional de falla mecánica del pavimento de concreto, causada por la aparición de la primera grieta, al excederse el esfuerzo de rotura a la tensión.

Los nuevos estudios sobre el diseño de pavimentos rígidos tratan de analizar globalmente el comportamiento de la estructura multicapa, tomando en cuenta sus condiciones de transferencia de carga en las juntas para establecer criterios más racionales de proyecto en que la falla funcional del pavimento permita elegir los coeficientes de seguridad de manera más lógica y económica.

b) En el caso de pavimentos flexibles, las variables que intervienen en forma significativa son más numerosas y el análisis se complica notablemente. Las investigaciones se basan en teorías elásticas lineales o viscoelásticas, aun cuando también hay métodos que emplean elasticidad no lineal. En la mayoría de los casos los criterios se basan en las teorías de Boussinesq o de Burmister; además, en años recientes se han dado pasos importantes hacia el uso de modelos de multicapa, empleando los métodos de elementos finitos y diferencias finitas.

Puede decirse que, desde el punto de vista teórico, el problema de los pavimentos flexibles aparentemente está resuelto. Sin embargo, en la práctica (de manera semejante al caso de los pavimentos rígidos) todos los métodos en uso son empíricos o semiempíricos, basados en pruebas muchas veces arbitrarias que se supone tienen semejanza con las condiciones esfuerzo-deformación en el pavimento. Los diseños se establecen experimentalmente, relacionando el comportamiento de pavimentos en condiciones de servicio específicas con las pruebas de diseño utilizadas, fijándose gráficas para el proyecto de espesores y límites de aceptación o rechazo, en cuanto se refiere a la calidad de los materiales.

Entre los obstáculos fundamentales que impiden aplicar los criterios teóricos directamente al diseño de pavimentos, pueden mencionarse los siguientes:

a) Existen diferentes posibilidades de falla (por ejemplo, fatiga, deformación, desintegración o combinaciones de ellas) en cada una de las capas de la estructura, por lo que no es fácil establecer una teoría

única que permita predecir el comportamiento de los pavimentos en condiciones generales.

b) Las pruebas actuales de laboratorio tienen limitaciones fuertes y no permiten obtener datos fundamentales del comportamiento esfuerzo-deformación de los materiales, para incluirlos dentro de métodos generales de proyecto.

Por lo anterior, sobre todo en el caso de pavimentos flexibles, es frecuente encontrar estudios con puntos de vista aparentemente contradictorios, por estar basados en diferentes necesidades socioeconómicas (que se reflejan en los coeficientes de seguridad y condiciones de servicio esperados)

así como por corresponder a experiencias en distintas condiciones regionales y diferentes grados de experimentación local.

A este respecto debe insistirse en que el diseño estructural de pavimentos no se limita exclusivamente a las gráficas o fórmulas para el proyecto de espesores, como frecuentemente se supone, sino que comprende tres aspectos fundamentales que deben estar estrechamente relacionados entre sí para que el criterio sea aplicable:

a) Especificaciones de materiales, procedimientos y tolerancias de construcción, normas de conservación, niveles de aceptación o rechazo, factores de seguridad, etc.

b) Métodos de prueba para obtener indicadores estándar sobre clasificación o resistencia de materiales, uniformidad de construcción, resistencia de conjunto, etc.

c) Gráficas y tablas que relacionen de una manera explícita el mayor número de variables que puedan valuarse en la práctica a través de procedimientos debidamente normalizados.

Por tanto, es necesario que los criterios de proyecto se desarrollen a través de experimentación propia que se adapte a las condiciones regionales de los diferentes países.

2. CONCLUSIONES

Revisando los avances logrados de 1960 a la fecha, se obtienen las siguientes conclusiones:

a) Se pueda considerar que en una primera etapa el problema teórico está resuelto y existen numerosos tratamientos numéricos que han aplicado las teorías clásicas existentes. Sin embargo, en la práctica los tratamientos más sencillos, como los de Boussinesq y Burmister, son los que han mostrado mejor correlación con las investigaciones experimentales.

b) La caracterización de materiales y los demás parámetros que deben emplearse,

La mayoría de los modelos matemáticos multicapa, no están definidos, y en muchos casos es necesario realizar investigación de carácter fundamental para desarrollar técnicas para valuarlos.

c) Los criterios de fatiga (deformación unitaria límite, esfuerzo límite de fatiga y el criterio de Miner de esfuerzos acumulados) que han sido utilizados con éxito en ingeniería estructural empiezan a emplearse satisfactoriamente para el caso de estructuras multicapa representativas de pavimentos rígidos o flexibles.

d) Hay uniformidad de criterio en cuanto a la conveniencia de aplicar técnicas de Ingeniería de sistemas al diseño estructural de pavimentos. Por este procedimiento, las diferentes alternativas de diseño estructural se comparan con las reglas y restricciones del criterio de decisión (fig 2). El proceso es iterativo hasta obtener una o varias soluciones aceptables.

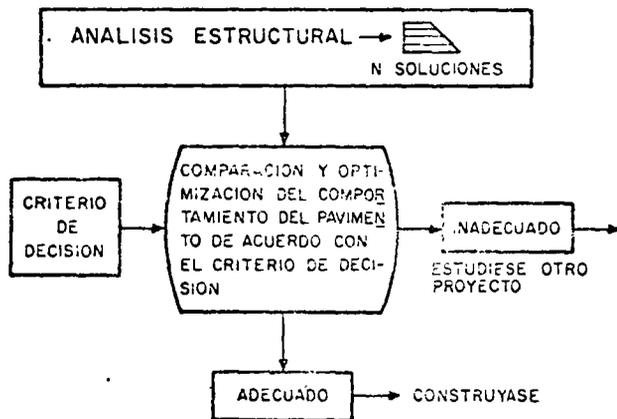


Fig 2. Análisis de sistemas aplicado al diseño estructural

Dentro de este tratamiento general hay divergencias fundamentales en la aplicación del subsistema estructural; en algunos casos el diseño se obtiene a través de modelos estadísticos de deterioro; mientras que en otros, según los métodos clásicos de la mecánica, la falla se define en términos de esfuerzos y deformaciones, con lo que se obtiene un diseño estructural más racional (fig 3)

e) La experimentación mundial es muy extensa y en general tiende a realizar pruebas de carga repetidas, o dinámicas, para simular los efectos del tránsito. Para los estudios se emplean desde pequeños especímenes de laboratorio (vigas, cilindros a compresión diametral, pruebas triaxiales, etc) hasta modelos construidos a escala natural, pistas de ensayo en laboratorio o tramos experimentales construidos especialmente. Además, la observación de prototipos en condiciones normales de servicio es parte importante de las investigaciones en desarrollo.

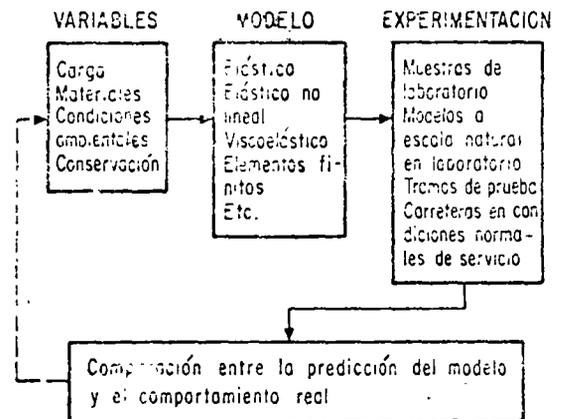


Fig 3. Subsistema estructural

3. RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Tomando en cuenta lo anterior, se puede deducir que las tendencias de la investigación sobre diseño estructural de pavimentos deben canalizarse a los siguientes campos principales:

a) Desarrollo de modelos que tomen en cuenta en forma adecuada el comportamiento reológico de los materiales durante la vida de la carretera, la interacción entre las variables, así como las características dinámicas y aleatorias del problema.

b) Definición más adecuada de los diferentes tipos de falla, ya que en la práctica no es posible pensar en un método de diseño general.

c) Realización de investigaciones de carácter fundamental, para caracterizar más adecuadamente a los materiales y tomar en cuenta el comportamiento a fatiga de los mismos.

d) Desarrollo de métodos no tradicionales en cuanto al empleo de materiales y nuevas formas de estructuración de los mismos en las carreteras o aeropistas.

4. REFERENCIAS

1. S. Corro C. y G. Prado O., "Diseño estructural de carreteras con pavimento flexible", Instituto de Ingeniería, UNAM, Informe No 325, México, D.F. (ene 1974)
2. Highway Research Board, "Symposium on Structural Design of Asphalt Concrete Pavements to Prevent Fatigue Failures", HRB Annual Meeting, Washington (1973)
3. "Structural Design of Asphalt Pavement" Conference Proc., Universidad de Nottingham, Nottingham, Mich y Road Research and Transportation Laboratory, Londres (1972)

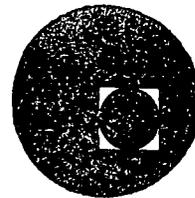
4. S. Corro C., "Main Findings from the Experimental Research in Mexico", III International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Londres, (sep 1972)
5. S. Corro C., A. Camacho S. y M. Aguirre, G., "Pista circular para estudiar el comportamiento estructural de pavimentos", Premio Nacional de Ciencia y Tecnología, SANAMEX 1971, México, D F (sep 1972)
6. S. Corro C., "Pista circular para estudiar el comportamiento estructural de pavimentos", Revista Ingeniería, Vol XLII, No 2, México, D F (abr-jun 1972)
7. E. Padilla C. y S. Corro C., "Continuación del estudio de los tramos experimentales", Informe preliminar a SOP, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D F (1972)
8. E. Padilla C., "Estudio del comportamiento de pavimentos flexibles en tramos representativos de la red nacional" Informe preliminar a SOP, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D F (dic 1972)
9. Memorias del XIV Congreso Mundial, Association Internationale Permanente des Congrès de la Route, Praga (1971)
10. De Neufville & Stafford, "Systems Analysis for Engineers and Managers", Mc Graw Hill Book Co., Nueva York (1971)
11. Highway Research Board, "Structural Design of Asphalt Pavement Systems", HRB, Informe especial No 126, National Academy of Sciences, Washington (1971)
12. S. Corro C., "Diseño de pavimentos flexibles. Comportamiento de los tramos experimentales," Instituto de Ingeniería UNAM, Informe No 240, México, D F (ene 1970)
13. A. S. Vesic y S. K. Saxena, "Analysis of Structural Behaviour of AASHTO Road Test Rigid Pavements", National Cooperative Highway Research Program. Informe No 97, Highway Research Board, Washington (1970)
14. Highway Research Board, "State of the Art: Rigid Pavement Design", HRB, Informe especial No 95, Washington (1966)
15. S. Corro C. y L. M. Aguirre M., "Structural Design of Flexible Pavements: Experimental Research Program in Mexico", XIII Congrés Mondial-Tokyo, 1967, Association Internationale Permanente des Congrès de la Route, París (1967)
16. S. Corro C., E. Duhno Reinert y J. Gutiérrez de Velasco, "La calificación de carreteras y su aplicación en la planeación y programación de obras de reconstrucción", X Congreso Panamericano de Carreteras, Montevideo (1967)
17. "Structural Design of Asphalt Pavements", Conference Procs., Universidad de Michigan, Ann Arbor, Mich (1967)
18. S. Corro C., "Estimation of Flexible Pavement Performance Through Rigid Plate Repetitive Static Load Tests", International Symposium on the Effects of Aereated Loading on Materials and Structural Elements, RILEM, México, D F (1966)
19. S. Corro C., "Investigaciones en desarrollo sobre el diseño de pavimentos flexibles", Instituto de Ingeniería, UNAM, Informe No 136, México, D F (jun 1967)
20. S. Corro C., "Diseño de pavimentos flexibles para carreteras", Instituto de Ingeniería, UNAM, Informe No 115, México, D F (abr 1965)
21. A. S. Vesic y L. Domaschuck, "Theoretical Analysis of Structural Behaviour of Road Test Flexible Pavements", HRB, National Cooperative Research Program, Informe No 10, National Academy of Sciences, Washington (1964)
22. S. Corro C., "Estudios de comportamiento para el diseño de pavimentos flexibles", Instituto de Ingeniería, UNAM, Informe No 90, México D F (ene 1964)
23. J. S. Tanner, "A review of the Methods of Pavement Design Used in Overseas Territories and the Performance of Roads Constructed by the Various Design Methods", Procs., III Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering (1963)
24. A. S. Reddy, G. A. Leonards y M. E. Harr, "Warping Stresses and Deflections in Concrete Pavements: Part III", HRB, Highway Research Record No 44, National Academy of Sciences, Washington (1963)
25. "Structural Design of Asphalt Pavements" Conference Procs., Universidad de Michigan, Ann Arbor, Mich (1962)
26. "Stress Distribution in Earth Masses", HRB, Bol 342, National Academy of Sciences, Washington (1962)
27. "The AASHTO Road Test. Pavement Research" HRB, Informe especial No 85, National Academy of Sciences, Washington (1962)
28. "The AASHTO Road Test. History and Description of Project", HRB, Informe especial No 61 A, National Academy of Sciences, Washington (1961)
29. C. Pickette y G. K. Ray, "Influence Coefficients for Concrete Pavements", Transactions, Vol 116 (1951)

11





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

V A R I O S

JUNIO, 1978.

Palacio de Minería

Calle de Tacuba 5,

primer piso.

México 1, D. F.

TIPOS DE CARPETAS ASFALTICAS

- 1) DE RIEGOS (UNO O VARIOS)
- 2) MEZCLAS ELABORADAS EN FRIO
 - a) EN EL LUGAR, CON MOTOCONFORMADORA
 - b) EN PLANTA MOVIL
 - c) EN PLANTA ESTACIONARIA
- 3) MEZCLAS EN CALIENTE, ELABORADAS EN PLANTA FIJA (CONCRETOS ASFALTICOS)

FORMULAS PARA VALUAR EL CONTENIDO PROBABLE DE CEMENTO ASFALTICO, EN FUNCION DE LA SUPERFICIE ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS.

SOP.

$$A = 0.060 a + 0.045 b + cd.$$

A = contenido de asfalto.

a = porcentaje de material retenido en la malla 10.

b = " " " " que pasa la malla 10 y se retiene en la 200.

c = " " " " que pasa la malla 200.

d = factor que depende de las características de los agregados (0.15 a 0.35).

DUQUEZ.

$$100 S = 0.17 a + 0.33 b + 2.30 c + 12 d + 135 f.$$

a = porcentaje de material mayor de 10 mm.

b = " " " " entre 5 y 10 mm.

c = " " " " " 0.3 y 5 mm

d = " " " " " 0.08 y 0.3 mm.

f = porcentaje de filler.

$$p = 3.75 \sqrt{S}$$

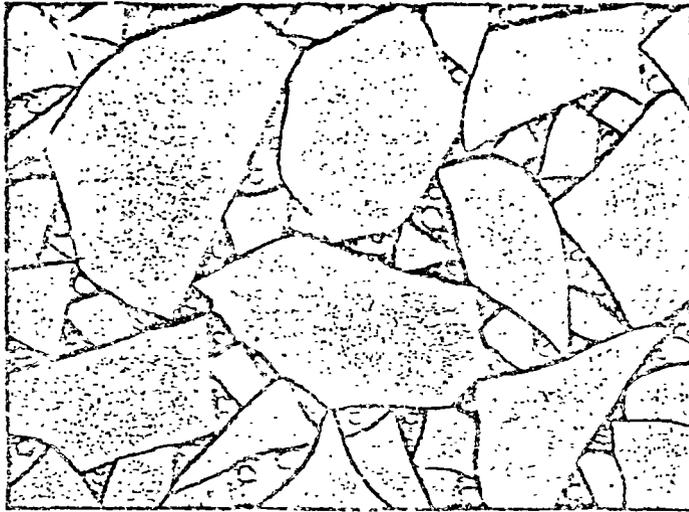


FIG. 4-3. Diagram of aggregate framework with asphalt binder.

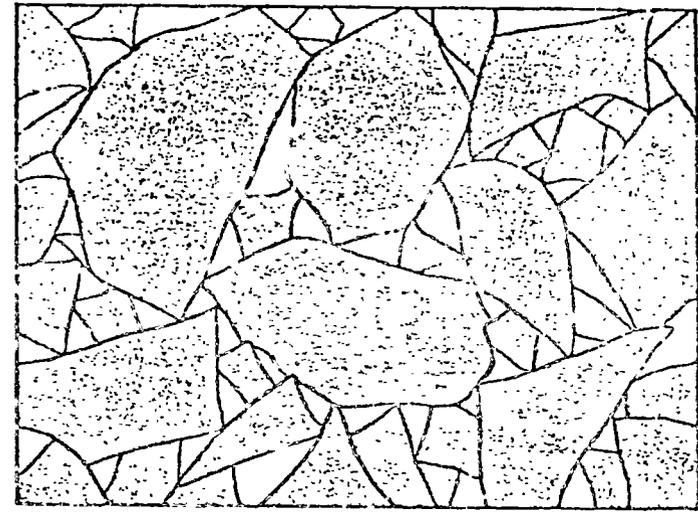


FIG. 4-1. Diagram of aggregate framework.

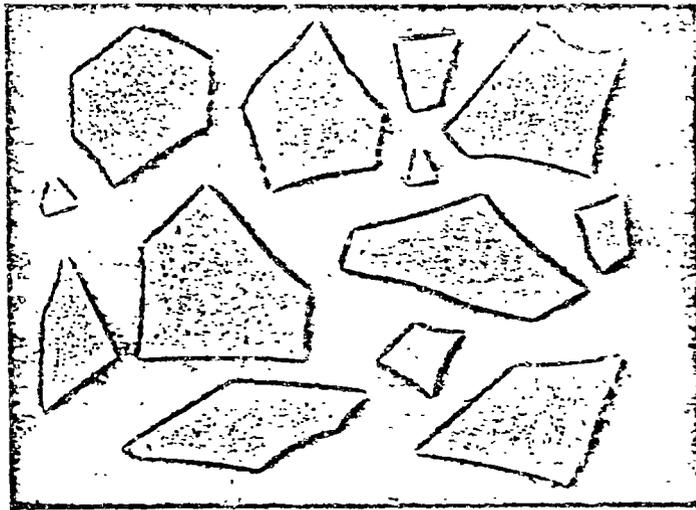


FIG. 4-4. Diagram of mix with excess asphalt binder.

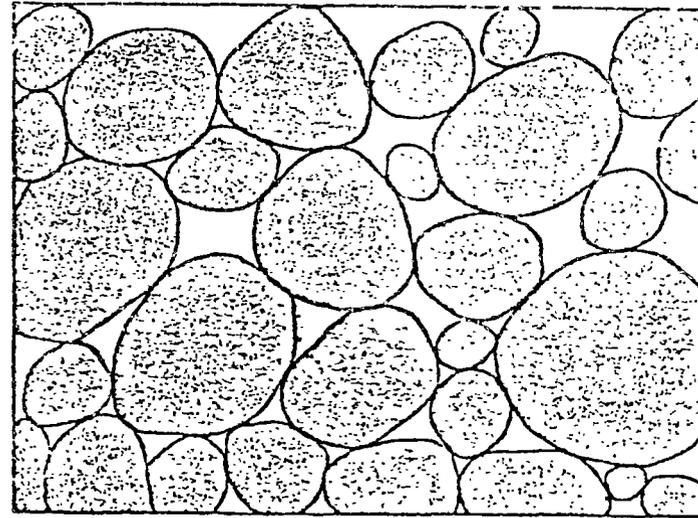


FIG. 4-2. Diagram of aggregate framework with rounded aggregate.

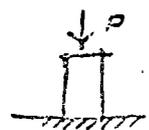
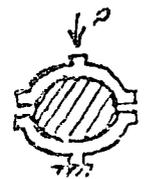
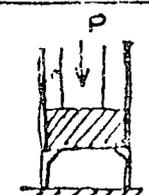
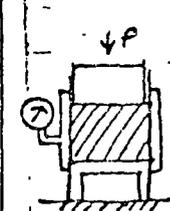
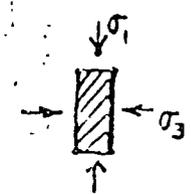
The framework of stone has been destroyed and the pavement will not carry any appreciable load. This condition results in bleeding, shoving, or rutting of the pavement and must be avoided. At least 2 per cent air voids must be present in the pavement to ensure against this condition.

Another extreme is the addition of asphalt only in sufficient quantity to serve its function as a binder, which leaves a high volume of air voids. In this case, the pavement may still have good resistance to movement, but other factors must be considered. A high volume of voids is con-

by the framework of stone, with the framework held in place by the binding action of the asphalt cement. The voids, or spaces, between the aggregate particles are only *partially filled* with asphalt, leaving air spaces, as indicated by the white circles. The air space in the pavement is vital and, for reasons which follow, should constitute from 2 to 6 per cent of the total volume of the pavement.

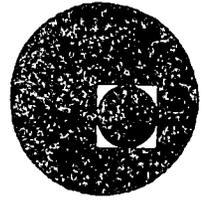
Figure 4-4 shows a mixture of asphalt and stone in which the asphalt is present in such a large volume that the individual stones are "floating."

METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS.

METODO	CAMPO APLICACION ORIGINAL	TIPO DE COMPRESION	DIMENSION ESPECIMEN		VEL. DE ESFUERZO PARA PRUEBA	TEMPERATURA DE LA PRUEBA	FORMA EN QUE SE APLICAN LOS ESFUERZOS	FACTORES QUE INTERVIENEN PARA LA DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO
			d	h				
COMPRESION SIMPLE	MEZCLAS ASFALTICAS	ESTATICA Y/O DINAMICA	4"	1.25"	LENTA	AMBIENTE		P_0 vs cont. asf.
MARSHALL	CONCRETOS ASFALTICOS EN LEOPISTAS	DINAMICA	4"	2.5"	2"/min.	60°C		Estabilidad. Fluencia. Vol. vacios mezcla. Vol. vacios rellenos con asfalto.
HUBBARD FIELD	SHEET ASPHALT CONCRETO ASFALTICO	ESTATICA	2"	1"	2.4"/min	60°C		Estabilidad Volumen de vacios en la mezcla
HVEEM	MEZCLAS Y CONCRETOS ASFALTICOS.	AMASADO	4"	2.5"	0.05"/min	60°C		Estabilidad Cohesion Expansion
SMITH	CONCRETO ASFALTICO. INVESTIGACION.	ESTATICA	4"	8"	incrementos. $\delta < 0.001$ / min	AMBIENTE		cohesion angulo friccion.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

TEMA : PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE LOSAS.

ING. LUDWIG LINDER STRAUSS.

JUNIO, 1978.

Palacio de Minería

Calle de Tacuba 5,

primer piso.

México 1, D. F.

PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE LOSAS DE CONCRETO

HIDRAULICO

C O N T E N I D O .

- 1.- COMENTARIOS GENERALES
- 2.- TRABAJOS PREVIOS
- 3.- DESCRIPCION Y SELECCION DE EQUIPO
- 4.- CCIADO, COMPACTACION Y CURADO DEL CONCRETO HIDRAULICO
- 5.- DISCUSION DE LAS CAUSAS QUE ORIGINAN DEFECTOS DE CONSTRUCCION Y METODOS PARA EVITARLOS.
- 6.- CONSTRUCCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE JUNTAS
- 7.- PRODUCTOS EMPLEADOS PARA EL SELLADO Y SU APLICACION.

CAPITULO I

1.- COMENTARIOS

El uso de concreto hidráulico en pavimentos está muy extendido entre todas las ramas de la construcción, dado que su manejo, y adaptabilidad es sencillo, se abusa en los procedimientos de colocación y muchas veces no se cumple con los requisitos que señalan las especificaciones en demérito de la calidad y duración del pavimento.

Si observamos las normas que establecen las especificaciones y aplicamos métodos adecuados a los volúmenes de obra por ejecutar, seguramente se obtendrán resultados en economía y calidad satisfactorios a corto y largo plazo.

Un pavimento de concreto hidráulico construido, cumpliendo con especificaciones practicamente no tiene costos adicionales de conservación durante su vida de proyecto.

Vamos a tratar de establecer métodos adecuados de trabajo para pavimentación de losa de concreto hidráulica para obtener resultados óptimos de calidad, costo y una duración máxima.

2.1 PREPARACION DE SUB-BASE

2.1 Deberá ajustarse a los reglamentos y especificaciones de sub-base para pavimentos.

Antes de iniciar el trabajo de colocación de losas de concreto deberán hacerse los ajustes en niveles de la sub-base ya sea recorte o adicionar material, reconstruir zonas defectuosas para quedar dentro de especificaciones.

Para el caso de equipos de tendido con forma deslizante - deberán dejarse el ancho de la sub-base 50 cm. más ancho a cada lado al proyecto del pavimento.

2.1.2 Cuando se use formas de cimbra fija en la operación de pavimentación, el ajuste de los niveles de la sub-base puede hacerse montando el equipo de recorte sobre las formas -- que han sido alineadas y niveladas previamente o hacerlo - manualmente.

En caso de usar equipo de nivel automático guiado sobre - un cable previamente nivelado puede caminarsse sobre la sub-base.

Para ajustar niveles finales en sub-base de suelo cemento - tendrá que hacerse la operación de afinado antes que se produzca el endurecimiento inicial o sea de 3 a 4 horas de colado.

2.1.3 Como operación final deberán volverse a checar los niveles - de proyecto así como las compactaciones en zonas que se vieron afectadas por recortes o rellenos.

En caso de estar especificando un material impermeable sobre la sub-base, deberá colocarse éste o humedecer la superficie adecuadamente para asegurar que el concreto no pierda agua al colocarse.

2.2 FORMAS ESTACIONARIAS (CIMBRA)

Las formas deberán construirse fuertes y lo suficiente rígidas para poder soportar la carga de los equipos de tendido vibrado y acabado.

Se recomiendan las siguientes especificaciones:

Normalmente las formas son de 3 mts. de largo, la base debe ser 0.75 de la altura, pero nunca menor de 20 cm., la lámina que se usará variará de 1/4" a 5/16" dependiendo de la carga que van a soportar. Para decidir el espesor de la lámina se apoya la forma en sus extremos con viga libre y se aplica una carga equivalente al peso del equipo que va a soportar, la deformación máxima -- que puede admitirse es de 0.64 cm. (1/4).

La forma deberá estar prevista de aditamentos que permitan su -- rápida alineación y colocación para quedar perfectamente unidas -- entre sí y un sistema de fijación a la sub-base, de no menos de 3 pijas por forma.

La forma colocada deberá resistir sin vibración, no tocarse, no tener efectos de resorte o asentarse al paso del equipo de colocación de concreto.

Las formas de 3 mts. deberán cumplir con los siguientes requisitos de alineamiento. Por alineamiento vertical deberán estar dentro de 0.32 cm. (1/8") y para el horizontal de 0.64 cm. (1/4").

2.2.1 Fijación de formas

Es importante que la sub-base sobre la que se colocarán las formas de cimbra esté perfectamente compactada y nivelada a

manera que la forma apoye en toda su base y longitud uniformemente. El nivel y el alineamiento deberán ser checados por la cuadrilla de topografía y cualquier falla deberá ser corregida de inmediato; una vez rectificadas su buena colocación se procederá a fijar la forma mediante pijas lo suficientemente largas y fuertes que aseguren que queden sólidamente fijadas a la sub-base y alineadas libre de todo movimiento en cualquier dirección.

Las formas no deberán estar desviadas más de 0.64 mts. (1/4") de su línea de proyecto en cualquier punto.

Las formas deberán estar perfectamente limpias antes de proceder -- a iniciar el colado.

2.3 NIVEL DE SUB BASE

Una vez logrado los niveles y compactación de la sub-base puede procederse a construir el pavimento.

Si la operación de nivelar y alinear las formas afectó a la sub-base aflojándose deberá procederse a recompactar ésta.

La preparación de la sub-base deberá estar lo suficientemente adelantada para que no interfieran las operaciones de ésta con el colado de losas.

En caso de permitir el tráfico sobre la sub-base recibida habrá que tener mucho cuidado que no sufra daño. en caso de que se altere deberá recompactarse de inmediato.

2.4 MATERIALES

- 2.4.1 Es necesario hacer una revisión cuidadosa de la existencia y calidad de los materiales, deberán tenerse en suficiente cantidad para no sufrir interrupciones en el proceso del colado.

2.4.2

LABORATORIO

Es indispensable contar con un laboratorio con instalaciones suficientes para controlar la calidad de los materiales y concretos colados. Esto, permite hacer los ajustes a los concretos en caso de requerirlo y tener certeza de cumplir con las especificaciones.

2.5

EQUIPO

Deberá verificarse que el equipo de colado tendido, compactado, acabado, aserrado, curado y alumbrado, esté en perfectas condiciones de trabajo para garantizar jornadas completas sin interrupciones.

2.6

PERSONAL

Se establecerán los turnos de trabajo y se integran las cuadrillas necesarias para cada turno, checar que estén equipadas con las herramientas de trabajo para que puedan desempeñar eficientemente su trabajo. Para dar los niveles y el alineamiento de las formas deberá contarse con un topógrafo y su equipo.

CAPITULO 3

3.- DESCRIPCION Y SELECCION DE EQUIPO

El equipo necesario para la colocación de losas de concreto - puede dividirse en:

- 3.1 EQUIPO PARA TRANSPORTE DE CONCRETO FRESCO
- 3.2 EQUIPOS DE COLOCACION, COMPACTACION Y TERMINACION
 - A.- Con cimbra deslizante
 - B.- Con cimbra de formas estacionarias
- 3.3 EQUIPO DE TERMINACION FINAL
- 3.4 EQUIPO PARA ASERRADOS DE JUNTAS DE CONSTRUCCION
- 3.5 EQUIPO PARA SELIADO DE JUNTAS DE CONSTRUCCION
- 3.6 EQUIPO PARA APLICACION MEMBRANA DE CURADO
- 3.7 EQUIPO AUXILIAR
 - A.- Alumbrado
 - B.- Humedecido
 - C.- Protección contra lluvias y viento
- 3.8 SELECCION DEL EQUIPO.

3.1 EQUIPO DE TRANSPORTE.

Generalmente en los trabajos de pavimentos con losas de concreto hidráulico se usan plantas estacionarias para la producción del concreto.

Para llevar el concreto al sitio de colado se necesitan equipos de transporte que garanticen se entregue el concreto de buena ca lidad, sin segregación y sin pérdida de humedad.

Podemos distinguir dos equipos de transporte según la distancia de acarreo.

3.1.1 Para distancia hasta de tres kilómetros y en caminos pare jos podremos usar camiones de volteo de 5 a 6 M3. que tengan ca ja en buen estado y selle perfectamente la puerta de descarga; es conveniente cubrir la caja con una lona para evitar la evaporación del agua del concreto. Normalmente no hay problema de segregación para esta distancia debido al bajo revenimiento del concreto que se utiliza en los pavimentos.

3.1.2 Para distancias mayores conviene usar equipos especializados en el acarreo de concretos, básicamente en un camión con ca ja en forma de media pera que pueda o no estar equipado con un -- agitador dentro de la caja y vacía la caja mediante volteo (Dump crete).

3.1.3 Después de cada viaje de concreto es necesario lavar las - cajas de los camiones de acarreo para retirar cualquier material- adherido o seco. Esto sirve de limpieza y lubricación de la caja- y ayuda la descarga del siguiente viaje de concreto con más faci- lidad.

3.1.4 Con frecuencia se usan las ollas revolvedoras montadas en camión (motorevolvedora) para el transporte de concreto. Sin em- bargo este procedimiento no es muy recomendable ya que este equi- po maneja concretos con revenimientos mayores al recomendado en- pavimentos de concreto hidráulico. .

3.2 EQUIPOS DE COLOCACION, COMPACTACION Y TERMINACION.

Estos pueden dividirse en dos grandes grupos:

A.- EQUIPOS CON CIMBRA DESLIZANTE

B.- EQUIPOS CON CIMBRA ESTACIONARIA

3.2.A EQUIPOS CON CIMBRA DESLIZANTE.

El uso de pavimentadoras con cimbra deslizante requieren tener - especial cuidado en varios aspectos del trabajo, para obtener re - sultados buenos. Su principal uso se recomienda en la construc - ción de pavimentos en carreteras.

La sub-base tendrá que estar en tolerancia de nivel y compacta - ción que fijan las especificaciones además se tendrá que dejar - 80 cm. más ancha en cada lado del pavimento para apoyar los ca - rriles del equipo de tendido.

El concreto que se suministre deberá tener una calidad uniforme - con el más bajo revenimiento que permita trabajarlo.

La operación del equipo con cimbras deslizantes es más económico que aquel de cimbra fija removible, se ahorra obra de mano y en - equipos adicionales, se trabaja en zonas más compactas facilitan - do la supervisión y calidad del trabajo.

La capacidad de ajustarse a todas las dimensiones es otra gran - ventaja. Se han realizado construcciones de losas de concreto en pavimentos de espesores variables desde 15 cm. hasta 30 cm. y - ancho desde 3 mts. 15 mts., losas con refuerzo o sin él.

Otra ventaja para el uso de pavimentadoras de cimbra deslizante - es el factor inversión.

En producciones masivas es más económico este equipo, en compara - ción al de cimbra fija incluyendo en cada caso todo lo necesario. Al utilizar menos personal para operar esta máquina se obtienen - ventajas en costos y se reducen problemas de personal para su - control y atención.

A.1 PROBLEMAS PRINCIPALES

Es necesario tener personal y técnicos de operación altamente -
entrenado.

Deberá usarse métodos de tendido automáticos apoyados en alam -
bre de acero previamente alineados y nivelados.

Para lograr obtener buenos resultados tienen que hacerse experien
cias con el equipo y personal, o bien buscarlo entrenado con -
suficiente experiencia en este tipo de trabajo, lo cual no es -
fácil. La atención y mantenimiento del equipo de pavimentación -
requiere de mecánicos y personal altamente especializado, inclusive
asistencia del fabricante, ante todo los equipos eléctricos
y componentes electrónicos requieren de técnicos calificados. Es
te personal es difícil de conseguir y en muchos casos habrá que -
formarlo.

A.2 PREPARACION DE SUB-BASE

Uno de los problemas más importantes para el uso de pavimentado -
ras con cimbra deslizante es lograr los niveles que fijan las es
pecificaciones para la sub-base y que para ese sistema es indis -
pensable alcanzar. Cualquier defecto en la sub-base puede produ -
cir variantes en los espesores de las losas y rugosidades en la -
superficie de las mismas. Este efecto puede reducirse mediante el
uso de equipos con controles automáticos.

A.3 CONCRETO DE CALIDAD UNIFORME

Deberán dosificarse concretos con una calidad uniforme con mate -
riales bien graduados y revenimientos, lo más bajo posible, se -
recomienda usar plantas de concreto automatizadas.

A.4 APLASTAMIENTO DE LOS EXTREMOS DE LA LOSA

Esto sucede cuando se usa concreto de calidad no uniforme, mal vi -
brado o de revenimiento alto, en los concretos de 7 cm. en adelan -
te también pueden presentarse cuando las condiciones climatológicas
son desfavorables, tales como humedad excesiva o bajas temperaturas,
así como mal control de la máquina, etc.

A.5 PAVIMENTO RUGOSO O MAL ACABADO.

Puede deberse al tipo de materiales usados, a la sub-base que - esté en malas condiciones, problemas climatológicos, al ajuste de una máquina por ser nueva, o al excesivo desgaste de una máquina usada.

En cada caso deberá resolverse de acuerdo con las condiciones - del trabajo y equipo.

3.2.B EQUIPO DE COLOCACION, COMPACTACION Y TERMINACION CON CIMBRA ESTACIONARIA.

Existe una gran cantidad de equipos para pavimentación que utilizan cimbras de formas estacionarias.

Tiene una gran ventaja sobre el sistema con cimbra deslizante, - de poder garantizar mejor los niveles de la rasante y no tiene-- desplomes en los hombros. La cimbra se coloca previamente alinián dola y nivelándola y luego sirve de apoyo al equipo de colación vibrado y terminación final.

También es posible adaptar los equipos con cimbra deslizante al sistema de cimbra fija, con pequeñas adaptaciones.

Para aeropuertos es preferible usar equipo de pavimentadoras apoyadas en cimbra estacionaria dado que este sistema garantiza mejor la obtención de los niveles que exijan las especificaciones.

En México para la pavimentación de Aeropuertos con concreto hidráulico, se han requerido equipos de 20 a 50 M3/hora.

Vamos a describir algunos de los equipos que pueden utilizarse para estos volúmenes de colado con cimbra fija.

B.1 EQUIPOS DE COLOCACION Y COMPACTACION.

El primer equipo sería un conjunto de tendido y compactado con la siguiente característica: Tener amplitud suficiente para trabajar en anchos de 5 a 6 mts., al frente un extendedor o repartidor de concreto que acomoda este a un nivel adecuado para su compactación por vibrado, como segundo elemento básico deberá setar previsto de una batería de vibrado de alta frecuencia de 10 000 * V.P.M. para el vibrado profundo, al igual que en el caso de equipo con cimbra deslizante.

Este equipo deberá ser autopropulsado, el manejo de sumergir y emerger los vibradores se hará por medio de controles hidráulicos. El equipo irá equipado con unidades de alumbrado para trabajos nocturnos.

* V.P.M. Vibraciones por minuto

B.2 EQUIPO DE VIBRADO SUPERFICIAL

El segundo equipo deberá ser un equipo de vibrado superficial y de acabado, del cual existen varios tipos en el mercado.

El llamado rodillo vibratorio Clary es un equipo que puede utilizarse para estas producciones con mucho éxito, consta de tres rodillos -- de 6 m. de ancho. dos colocados al frente separados 5 cm. y uno separado 1 m. en la parte posterior. Los rodillos motrices son las dos posteriores. El rodillo de enfrente hace el trabajo de acabado y vibrado superficial por su forma de colocación y giro.

El rodillo acabador tiene una escentricidad ajustable a 1/8" 1/4" y -- gira a alta velocidad haciendo efecto de vibrado y acabado, los rodillos de traslación mueven el conjunto hacia adelante y atrás permitiendo las pasadas que sean necesarias sobre la superficie de concreto para dejarlo terminado dentro de tolerancia.

Otro equipo de vibrado y acabado superficial puede ser un equipo montado sobre chasis de estructura de 6 mts. de ancho con ruedas que -- pueden caminar sobre la cimbra o piso de concreto según las necesidades este equipo es autopropulsado y consta de los siguientes elementos acabadores.

Tiene una regla de madera de 6 mts. de largo y sección de 3" x 12" -- reforzada en su base con ángulo de fierro, ejecuta con movimiento vibratorio vertical acomodando el concreto previamente vibrado por el -- peine de vibraciones de alta frecuencia del equipo de adelante arreglando pequeñas oquedades.

En la parte posterior se encuentra una regla vibratoria fija de aluminio de 6 mts. de ancho y sección de apoyo 20 cm. ésta hace el trabajo de terminación. Todos los controles de esta máquina son eléctricos y requieren de una planta de luz para su funcionamiento.

Esta máquina está equipada con un eje y llantas para su fácil transportación.

Para volúmenes mayores de 50 M3/hora conviene utilizar máquinas integradas con todos los elementos al estilo de las pavimentadoras de cimbra dislizante.

Existen además de las máquinas descritas un gran número de equipos -- que pueden realizar los trabajos de pavimentación de concreto hidráulico muy eficientemente.

3.3 EQUIPO DE TERMINADO FINAL

Como un equipo de terminado final es conveniente utilizar alguna que permita dar un acabado de la superficie sin alterar ésta.

Puede ser una máquina que conste de una estructura que se apoye a los lados de la losa de la línea de pavimento y sirva de sostén a un tubo dispuesto diagonalmente con respecto al eje de la línea de pavimento y permita su ajuste a manera que se apoye sobre el concreto terminado y al hacer un movimiento de traslación sobre la superficie fresca corrija las pequeñas imperfecciones que puede dejar la máquina tendedora acabadora y a la vez sirva para cerrar las pequeñas fisuras de fraguado superficial que pudieran presentarse en la superficie del concreto.

Hay otros equipos que hacen este mismo trabajo a base de una regla suspendida y trasladada también en el sentido del eje de la línea del colado.

3.4 EQUIPO DE ASERRADO DE JUNTAS DE CONSTRUCCION.

Deberán tenerse cuando menos dos máquinas para corte de juntas, - se usan discos de diamante para concreto fresco de 1/8" y 1/4".

El objeto de tener dos máquinas es que en caso de falla de una de ellas se tenga una de repuesto para evitar roturas en las losas.

En caso de tener producciones grandes habrá que calcular el número de cortadoras necesarias y agregar una más para posibles fallas.

3.5 EQUIPO PARA APLICACION DE SELLOS DE JUNTAS.

El equipo para aplicación de sello se describe ampliamente más adelante en el capítulo 7.

3.6 EQUIPO PARA APLICAR PELICULA DE CURADO.

Para aplicación de película de curado pueden usarse equipos aspersión manual o mecánico semilar al que se usa para aplicar insecticidas.

Para producciones masivas existen equipos de aplicación automático.

3.7 EQUIPO AUXILIAR

A.- Alumbrado

Deberá tenerse en obra un equipo de alumbrado que garantice el trabajo nocturno con suficientes lámparas para cubrir todo el tramo desde la colocación del concreto hasta la etapa del aserrado.

B.- Humedecido

A todo lo largo del tramo por color deberán quedar repartidos tanques de agua que se utiliza para humedecer las sub-bases previo al colado y posteriormente se utiliza para proporcionar agua a las máquinas cortadoras.

C.- Protección contra lluvia y viento.

Para poder proteger el concreto fresco colocado contra los efectos de lluvias inesperadas que pueda dañarlo, tendrán que tenerse en obra techos con estructuras ligeras en cantidad suficiente que permita proteger el concreto fresco, y por lo que respecta a la protección contra los efectos del viento deberá de disponerse de mampara lastrables en cantidad suficiente para servir de pantallas protectoras.

Además tendrá que suspenderse la obra, y hacer una junta de construcción.

3.5

SELECCION DEL EQUIPO

Para la selección del equipo deberán utilizarse los diferentes factores que intervienen en la realización de la obra.

Podremos anunciarles de la siguiente forma:

- a.- Volumen de obra a ejecutarse
- b.- Programa de obra
- c.- Disponibilidad de todos los materiales necesarios; materiales inertes, cemento, varillas pasajuntas etc.
- d.- Factores climatológicos
- f.- Trabajar en uno o varios turnos

Procederemos a la siguiente manera:

Conocido el volumen de obra a ejecutarse y el tiempo de entrega de obra, se revisarán las disponibilidades de materiales, si alguno de estos no está disponible en la medida que se requiera habrá que modificar el plazo de entrega de la obra.

Supongamos que se tiene los materiales para cumplir con el programa de obra, enseguida analizamos las condiciones climatológicas para evaluar el tiempo posible de trabajo que pueda tenerse dentro del programa de obra.

Como último se determinará los turnos de trabajo. En general es conveniente trabajar dos turnos. Como en el colado de las losas no conviene suspender los trabajos ya que el parar las actividades tiene que hacerse una junta de construcción con varillas pasajuntas. Estas juntas de construcción son muy lentas y caras.

Decidido el número de turnos, conocemos el volumen de obra que tenemos que manejar por hora, lo cual nos permite decidir el equipo que se ajuste a las necesidades del trabajo.

Se seleccionarán los equipos de tendido vibrado y acabado que más se

3.2.A. EQUIPO PARA COLOCACION, COMPACTACION Y TERMINACION
CON CIMBRA DESLIZANTE.

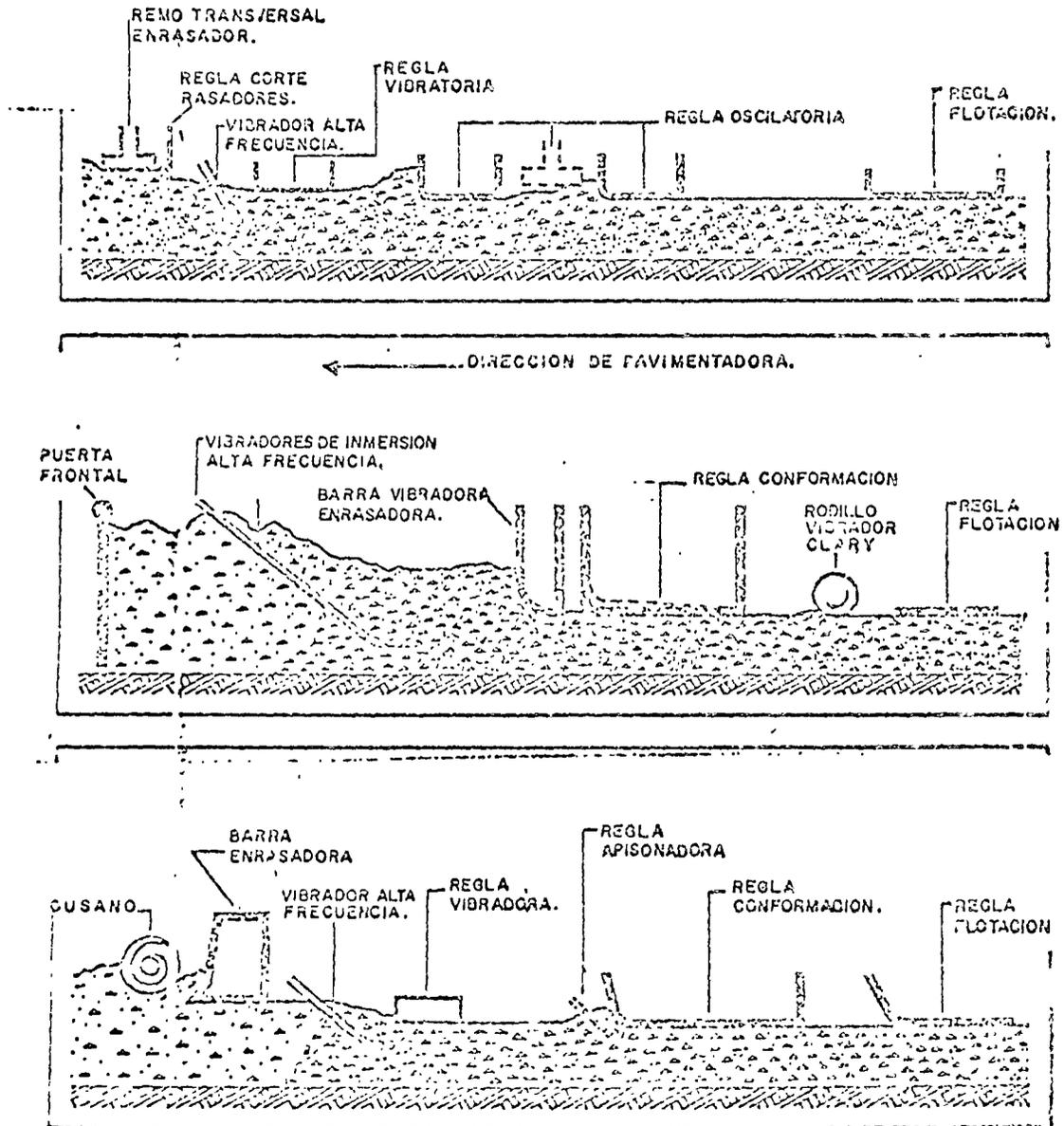


Figure No. 4—Schematic diagrams of paver functions ...
for Lewis, Ratco and Rox Slip-Form Pavers

3.2.A. EQUIPO PARA COLOCACION, COMPACTACION Y TERMINACION
CON CIMBRA DESLIZANTE.

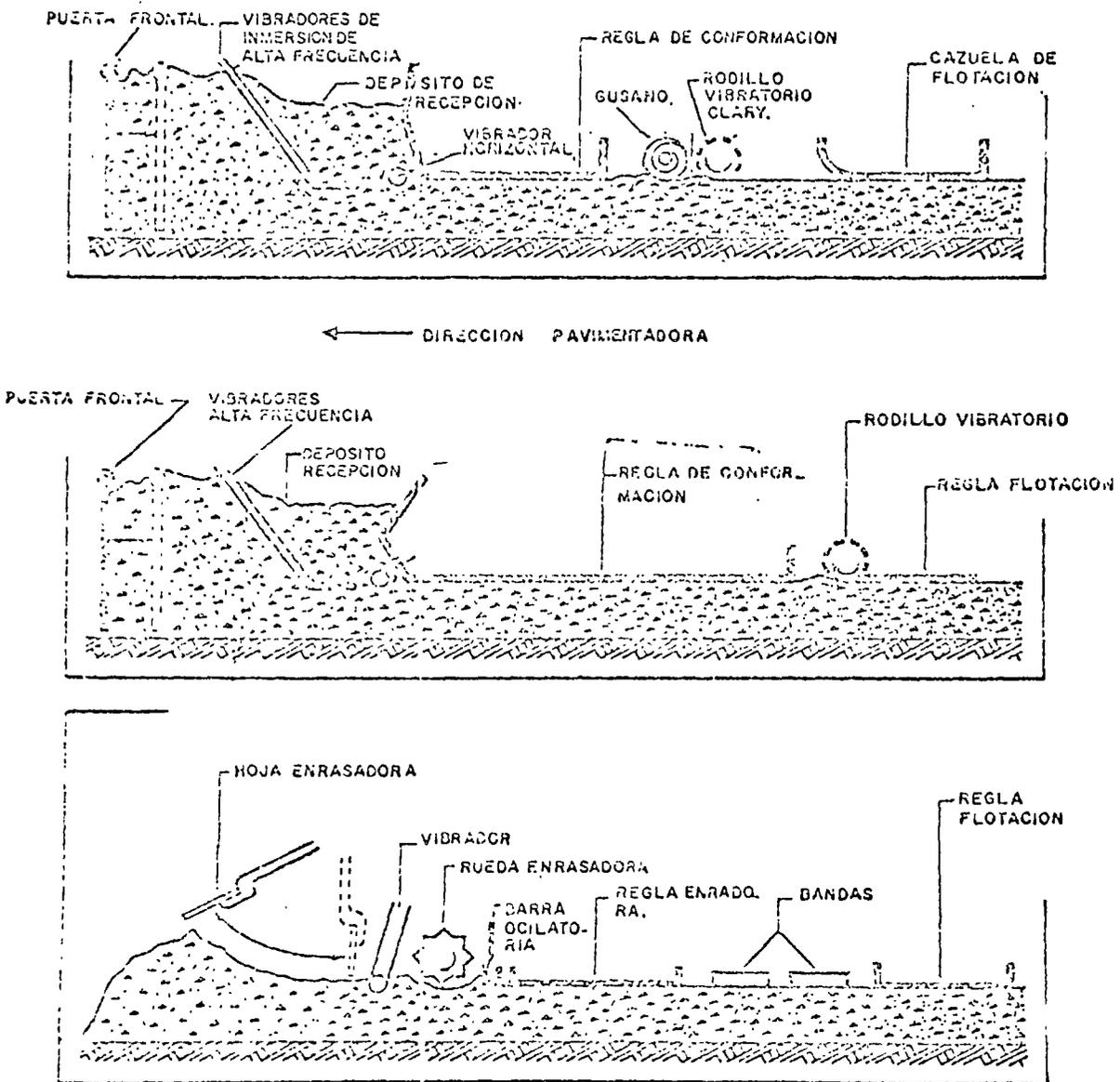
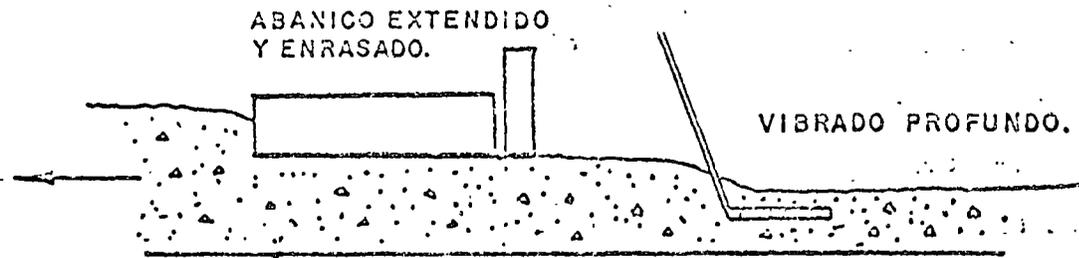


Figure No. 3—Schematic diagrams of paver functions . . . for Blaw-Knox, Custer & Zimmerman and Kochring-Johnson Slip-Form Pavers

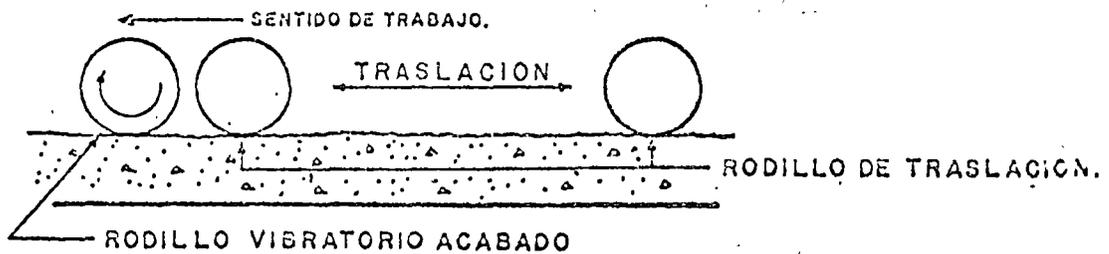
3.2.B. EQUIPO, COLOCACION, COMPACTACION.
TERMINACION CON CIMBRA DE FORMA ESTACIONARIA.

3.2.B.1 EQUIPO EXTENDIDO Y VIBRADO PROFUNDO.
(EQUIPO B.1)



3.2.B.2 EQUIPO DE VIBRADO Y TERMINADO SUPERFICIAL.
(EQUIPO B.2)

A.- EQUIPO CLARY.



B.- EQUIPO MAGGINES.



ajusten al programa estudiado y estén balanceados entre sus diferentes elementos.

CAPITULO 4

COLADO, COMPACTACION Y CURADO DEL CONCRETO

HIDRAULICO

4.1 COLADO DEL CONCRETO

El equipo de colocación tiene que ser apto para depositar el concreto a su posición final con un mínimo de segregación y sin dañar la sub-base. En trabajos de grandes volúmenes se cuenta con máquinas equipadas con bandas o cajones de recapación, estas operan a un lado de la línea de colado y transportan al concreto a todo el ancho del colado sin dañar la sub-base.

En trabajos menores se usan camiones de volteo para transportar el concreto sobre la sub-base y lo depositan enfrente a la extendedora.

Para el extendido del concreto en trabajos de volúmenes grandes se usan los tipos de gusano, remo o de cajones de extendido.

Todos están diseñados para operar con un mínimo de segregación de materiales.

En trabajos menores puede llevarse a cabo de muchas maneras, con equipo de abanico de corte o extendido con herramienta de mano, -- con puentes de madera etc. En todos los casos el concreto deberá extenderse al espesor correcto para su compactación por vibrado y terminación. El equipo con cimbra deslizante incluye el aditamento de extendido. En el capítulo tres se han detallado en la lámina 1 algunos tipos de extendido.

4.2 COMPACTACION

Se logra mediante el uso de vibradores de alta frecuencia 10 000 - V.P.M. se colocan sobre una barra con separación de 75 cm. centro a centro a todo el ancho de la losa de concreto, solamente deben trabajar cuando están sumergidos en la masa del concreto, nunca fuera de él.

En algunas máquinas se cuenta con vibradores de tubo colocados en la esquina de avance de la plancha de conformación.

4.3 COMPROBACION SUPERFICIE TERMINADA (DEPRESIONES)

Antes de dar el acabado superficial se procede a comprobar si la superficie está dentro de tolerancia en niveles. Esto, se hace colocando una regla metálica de 5 m en el sentido longitudinal de la losa - observando las depresiones. Estas deberán ser menores de 0.5 cm., este procedimiento no ofrece la seguridad de obtener resultados satisfactorios en el perfil de la losa.

Es preferible usar el perfilógrafo que puede darnos resultados de perfil más exactos y con esto corregir sobre la marcha el tendido y acabado del concreto ajustando la máquina pavimentadora para lograr resultados dentro de especificaciones.

4.4. ACABADO SUPERFICIAL

En muchas ocasiones, ante todo cuando los volúmenes de colado no son muy grandes, se acostumbra dar un acabado superficial con llana de madera. Este procedimiento no debe usarse ya que cualquier trabajo hecho a mano deforma la superficie dejando mayores depresiones.

Es preferible en todo caso no usar ningún acabado adicional superficial y dejarlo tan como lo deja la máquina acabadora.

Cuando se trabaja en volúmenes grandes de colado, los equipos que se utilizan tienen interconstruidos elementos suficientes para dar un acabado superficial adecuado. Sin embargo en todos los casos es preferible utilizar algunos de los equipos descritos en el punto 3.3

4.5 ESCOBILLADO O BANDEADO

La textura final se logra por cualquiera de los dos procedimientos - indicados. El escobillado se hace pasando sobre la superficie terminada una escoba de raiz dejando marcados pequeños zurcos de 3 mm. de profundidad.

El bandeado también logra formar pequeñas protuberancias al pasar sobre la superficie del concreto una banda de 20 cm. de ancho en movimiento transversal.

En ambos casos se trata de lograr una superficie anti-derrapante.

4.6 CURADO DEL CONCRETO CON MEMBRANA

Una vez que desapareció la película de humedad sobre el pavimento fresco, la superficie deberá ser cubierta con una membrana de curado, esta puede aplicarse con aspersores de tipo manual o mecánicos del tipo que se usan para aplicar insecticidas, también hay máquinas especializadas cuando se trata de grandes volúmenes. En casos especiales cuando hay mucho viento deberá aplicarse con un bote.

Su aplicación deberá ser con un espesor y textura uniforme.

Un buen producto rinde 3 M2 por litro. En los cachotes de las losas deberán aplicarse la película de curado antes que transcurra una -- hora de haber retirado la cimbra.

4.7 REMOCION DE LAS FORMAS DE CIMBRA

Las formas deberán estar en su lugar 6-8 horas después del colado.- Este tiempo puede tener variaciones de acuerdo con las condiciones de temperatura, humedad y viento en cada lugar.

Al remover las formas hay que tener muy en cuenta no dañar las esquinas de las losas.

DATOS DE COLADO DE LOSAS DE CONCRETO HIDRAULICO EN EL AEROPUERTO
FT WORTH - DALLAS TEXAS

Para Aeropuerto de Ft Worth-Dallas Texas se obtuvieron los siguientes rendimientos para colado de losas de pavimento hidráulico, utilizando 2 equipos pavimentadoras de 15 m. de ancho.

Producción media horaria	253 M3/H/Maq.
Producción máxima horaria	386 M3/H/Maq.
Producción máxima en un día	12292 M3
Producción media semanal	37678 M3
Area Pavimentada	2 484 000 M2.
Espesor de :	44 a 55 cm.

CAPITULO 5

DISCUSION DE LAS CAUSAS QUE ORIGINAN DEFECTOS DE CONSTRUCCION Y METODOS PARA EVITARLOS.

5.1 SUMINISTRO DEL CONCRETO MAL REVENIMIENTO

A.- Revenimiento bajo 0-2 cm.

B.- Revenimiento alto 6 cm. adelante

A.- En caso de revenimientos muy bajos (de 0 a 2 cm.) es muy difícil colocar el concreto, retrasando esto el avance. No se logran tener suficientes finos en la superficie por lo que el acabado queda defectuoso y generalmente fuera de especificaciones en niveles terminados. Para evitar esto habrá que tener especial cuidado de suministrar concreto con los revenimientos y calidades especificadas.

B.- Suministro del concreto con revenimiento demasiado alto 6 cm. adelante.

El colocar este concreto puede causar agrietamientos indeseables, se corre el peligro de tener bajas resistencias. En general se prefiere deshechar estos concretos por estar fuera de especificaciones. El remedio es controlar la cantidad uniforme del concreto en el suministro.

5.2 COLOCACION DEFICIENTE DEL CONCRETO.

A.- Colocación con volumen escaso

B.- Colocación con volumen sobrado

A.- Cuando se coloca el concreto en volumen escaso habrá que rellenar este después del vibrado profundo, manualmente y distribuirlo con el equipo de acabado y vibrado superficial retrasado al avance de obra.

B.- Cuando se coloca concreto en exceso se tiene que retirar el volumen sobrante con el personal manualmente ayudado con el equipo de vibrado superficial, esta operación se dificulta mucho debido a que el concreto sobrante ha sido vibrado intensamente encontrándose en forma densa y compacto.

Esta operación es difícil, lenta y retrasa los avances de obra. En los dos casos habrá que tener especial cuidado de colocar el concreto en cantidad exacta para evitar estos problemas.

5.3 PISAR EL CONCRETO FRESCO

Debe evitarse a toda costa pisar el concreto fresco cuando está terminado de colocar, para lo cual deben tenerse en el sitio de obra puentes de trabajo. El arreglar estos desperfectos se hace recortando las protuberancias que quedan y rellenando las oquedades con productos especializados que en todo caso son muy caros.

5.4 MAL ALINEAMIENTO DE LA CIMBRA

El problema que presenta es de aspecto. Para corregirlo se recorta con disco de diamante alineando las juntas del concreto, esa operación es muy costosa.

5.5. MALOS NIVELES EN LA SUB-BASE

Este es el problema más común y más serio que se presenta en el trabajo de construcción de losas de concreto hidráulico. Se debe principalmente al equipo convencional que se usa para su tendido. A pesar de tener especial cuidado en colocar suficientes trampas para el afinado, no se logran las tolerancias de especificaciones.

Como no se pueden dejar losas con espesor menores al especificado hay que hacer los recortes, como normalmente se hacen manuales, siempre quedan excedidos y el volumen adicional resultante habrá que reponerlo con concreto hidráulico. El costo del concreto hidráulico es de 5 a 7 veces más caro que el de la sub-base.

El remedio sería usar equipos especializados para el afinado de sub-base controladas por sistemas electrohidráulicos mediante guías de alambre previamente nivelados y alineados.

5.6 LLUVIAS INESPERADAS CUANDO SE ESTA COLANDO LOSA DE CONCRETO.

Esto puede suceder con cierta frecuencia en algunas zonas.

La lluvia puede deslavar la capa terminada o dejar huellas de gotas, dando mal aspecto, aunque no afecte la resistencia del concreto.

Se deberá prevenirse con cubiertas de estructuras ligeras que permitan proteger el concreto fresco sin llegar a estar en contacto. El tramo que deberá cubrirse es el que tenga hasta 2 horas de colocado.

Otra preocupación adicional es suspender de inmediato el colado y colocar una junta de construcción con barras pasajuntas.

5.7 AGUA ATRAPADA EN ZONA DE COLADO

Puede darse el caso que quede encajonada el agua sobre la sub-base por no tener salida natural o haber sido tapada esta por necesidad de trabajo. Esto puede, deteriorar la sub-base por filtración de agua, perdiéndose la compactación y formar baches. Para proteger al máximo la sub-base deberá cubrirse con un producto asfáltico que impida el paso del agua y evitar en lo posible dejar areas que no tengan salidas naturales de agua.

Todo defecto de la sub-base deberá repararse de inmediato.

5.8 EXCESIVA TEMPERATURA AMBIENTE Y FUERTES VIENTOS.

Excesiva temperatura ambiente y fuertes vientos, causan agrietamientos prematuros por la rápida pérdida de humedad en la superficie del concreto .

Puede intentarse tratar de incorporar superficialmente el agua perdida por medio de rociadores, con resultados regulares.

Lo más recomendable sería cambiar los turnos de trabajo suspendiéndolo a las normas más críticas de temperatura o de viento.

5.9 JUNTAS

Si se hace fuera del tiempo adecuado se presentan problemas.

5.9.1 En caso de ranurado prematuro se despostilla el bordo de la junta dejando muy mal aspecto.

5.9.2 En caso de aserrar demasiado tarde se puede presentar la ruptura de la losa fuera del sitio del proyecto con aspecto desagradable y problemas de sellado.

En los casos de junta despostillada si los despostillamientos son más anchos de dos cm. habrá que corregirlos con productos especiales.

En el caso de fractura de losa fuera del sitio de proyecto, se hace una ranura a cincel para luego sellarla.

Ambos casos son lentos y costosos.

Para lograr un aserrado a tiempo oportuno con resultados correctos es conveniente hacer una plataforma de prueba colando un piso de concreto similar al usado en el pavimento y efectuando cortes con ella a diferentes tiempos, recomendando iniciar el primer corte cuando el concreto soporta el equipo de corte sin dejar huella en la superficie y continuando un corte cada 1/2 hora. Por simple inspección ocular de resultados puede encontrarse el tiempo óptimo para iniciar los cortes con los mejores resultados.

Estos tiempos de entrada para corte pueden modificarse al cambiar las condiciones de temperatura humedad y viento y deberán ajustarse continuamente.

5.9.3 Juntas mal limpiadas.

A.- Cuando la junta no queda completamente libre de polvo, no hay buena adherencia entre el concreto y el sellante quedando igual que si no se hubiera sido aplicado el sello, con el problema de filtraciones de agua en esa junta.

Esto se evita sopletenado bien la junta antes del sellado a fin de eliminar el polvo.

B.- Si no se eliminan los fragmentos de grava que queden en la junta, estos pueden producir concentraciones de cargas cuando la losa sufre expansiones, cerrándose la junta, originando despostillamientos en las avistas de la misma.

Esto se evita eliminando dichos fragmentos con un cepillo, alambre o un objeto con punta.

5.10 FALLAS POR GRIETAS LONGITUDINALES

Esto puede presentarse cuando el aserrado longitudinal no se hace oportunamente en caso de colar con equipos de colocación muy anchos.

Otro caso de grieta longitudinal puede producirse en aeropistas en la segunda línea de losas (de afuera hacia dentro) estas se unen mediante barras de sujeción quedando unidas la primera, segunda y tercera línea de afuera hacia dentro; por efecto de expansión falla de losa de la segunda línea provocando una grieta longitudinal en su centro.

Esto se corrige ajustando el proyecto de junta de sujeción alineno las que unen las losas de la 2a. y 3a. línea.

5.11 FALLAS POR CURADO DEFECTUOSO

Cuando la membrana de curado se aplique fuera de tiempo o en cantidad deficiente se producen grietas pequeñas, que si bien no tienen gran profundidad, si indican que el concreto superficial no logró la resistencia requerida.

Esto se corrige aplicando a tiempo la membrana de curado en cantidad suficiente y que cumpla las especificaciones de calidad.

CAPITULO 6

DESCRIPCION Y CONSTRUCCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE JUNTAS

Las juntas son esenciales en los pavimentos de concreto hidráulicos a fin de reducir los esfuerzos de tensión, compresión y flexión en las losas.- Podemos distinguir las siguientes juntas:

6.1 JUNTAS DE EXPANSION

Su función principal es proporcionar el espacio para que tenga lugar la expansión del concreto y por consiguiente evitar que se originen esfuerzos de compresión que pudieran causar daño en el mismo. Esta junta funciona también como junta de contracción.

6.2 JUNTAS DE CONTRACCION.

Tienen por objeto limitar los esfuerzos de tensión a valores permisibles. esta junta debe estar en libertad de abrirse, básicamente existen tres tipos de juntas de contracción.

6.2.1 Juntas de ranura

Se construye formando una ranura en la superficie del pavimento utilizando alguno de los siguientes procedimientos.

- a) Introducir temporalmente en el concreto una tira metálica
- b) Instalar una tira de material premoldeado de relleno para juntas a la profundidad requerida.
- c) Aserrar el pavimento después que el concreto haya endurecido.

6.2.2 Juntas de tiras metálicas

Se construye colocando una tira separadora o de partición sobre la sub-base. Este separador consiste en una placa metálica o alguna hoja delgada de algún material rígido e incomprensible, sirve para interrumpir la continuidad del pavimento. Se forma una ranura en el concreto inmediatamente encima del separador.

6.3 JUNTAS DE ALABEO O DE ARTICULACION

Se refiere a cualquier tipo de junta que permita un cierto giro sin una separación considerable entre las losas adjuntas. Su función principal es absorber los esfuerzos por alabeos. A diferencia de la junta de expansión o contracción se colocan barras de sujeción a través de la junta para prevenir separaciones considerables en la junta. En efecto, una junta de este tipo actúa simplemente como una articulacion, esto permite que las losas en unión puedan sufrir un cierto desplazamiento singular.

6.4 JUNTAS DE CONSTRUCCION TRANSVERSAL

Al terminar el colado cada día deberá construirse una junta de construcción. Estas, también tendrán que colocarse por alguna interrupción por falta de equipo o razones climatológicas. Una áspera de 30 min. en climas secos calientes y con viento, o una áspera de una hora en condiciones no tan severas puede ser el índice para terminar un colado y hacer la junta de construcción.

6.5 JUNTAS LONGITUDINALES

Esta junta puede ser una junta a tope como resultado de la construcción de una banda o bien si la construcción del pavimento se hace a todo lo ancho, se forma utilizando alguno de los métodos descritos en la junta de contracción.

La separación y fallas entre las bandas adyacentes, se evita mediante el uso de barras de sujeción espaciadas convencionalmente.

6.6 DISPOSITIVOS PARA TRASMISION DE CARGA.

Debe proporcionarse algún dispositivo para transmisión de cargas aunque los bordes y esquinas se diseñan para resistir la carga sin sobre esforzar el concreto.

Los dispositivos mecánicos para transmisión de cargas pueden dividirse en dos tipos principales.

6.6.1 Los que tienen resistencia al cortante pero poca o ninguna resistencia a la flexión, pueden ser las de placas corrugadas o el machimbre.

6.6.2 Aquellas que tienen resistencias al cortante y a la flexión el más común es en el pasajunta. La mayoría de los dispositivos para transmisión de carga emplean este principio en su diseño. El pasajunta de varillas de acero convencional redondo es el tipo más empleado de dispositivos para transmisión de cargas.

6.7 TRABAZON DE AGREGADOS.

El empleo de trabazón de agregados para transmisión de cargas a través de las juntas y mantener mutuo alineamiento de las losas

colindantes está asociado generalmente con la construcción de pavimentos no reforzados y con el uso de contracción de ranura falsa o aserrada. Para que la trabazón de agregados sea efectiva, la abertura de las juntas no deberá exceder de 0.5 mm.

Referencia (especificación A.C. 1. 325 -58)

6.8 CONSTRUCCION DE LAS DIFERENTES JUNTAS

Describiremos los procedimientos más utilizados en la construcción de juntas en aeropuertos.

6.8.1 Juntas longitudinales

Estas generalmente se construyen junto a una línea de concreto colado varios días antes y se construyen mediante un volteador a mano con una profundidad de 2 cm. y ancho máximo de 1 cm. Debe cuidarse que no se use agua al forjar la junta para no debilitar el borde de esa. Estas juntas longitudinales también pueden aserrarse con disco de 1/4".

6.8.2 Juntas transversales de contracción.

Introducir temporalmente en el concreto una tira metálica.

Se coloca el inserto dentro del concreto en estado plástico y se retira posteriormente formando la junta.

Las ventajas que puede ofrecer este sistema son:

Se crea un plano de inconsistencia o debilidad antes de que el concreto empiece su fraguado inicial.

Dado que la junta se instala al mismo tiempo que se efectúa la pavimentación, esto evita alteraciones en el fraguado.

Los costos de los insertos son relativamente bajos con otros sistemas.

Entre las desventajas podemos mencionar las siguientes:

El concreto debe vibrarse o separarse manualmente a fin de introducir el inserto de las juntas. Este hace que se separe el agregado fino del grueso haciendo que el area al rededor de la junta tome características distintas al de concreto del resto de la losa, consecutivamente puede presentarse el despostillamiento al rededor de la zona de la junta.

El introducir un inserto obliga a un afinamiento adicional originando una diferencia en la elevación en las losas de concreto, creando un punto de impacto. Al mismo tiempo se reduce la resistencia en el area de la junta porque generalmente para arreglar este se aplica algo de agua.

6.8.3 Juntas de Aserrado

Estas se ejecutan con una cortadora de 40 HP y discos de diamante. En su costo original son las más caras, pero a largo plazo es la más económica por no requerir de conservación alguna. Además el aserrado permite controlar el volumen de sello que se aplica y deja un acabado superior y una superficie de rodamiento perfecta.

6.8.4 Juntas de construcción con barras para transmisión de carga.

Cuando el proyecto lo exija habrá que dejar barras para la transmisión de cargas en losas coladas en un tramo continuo y en la junta de construcción que se deja al suspender el colado.

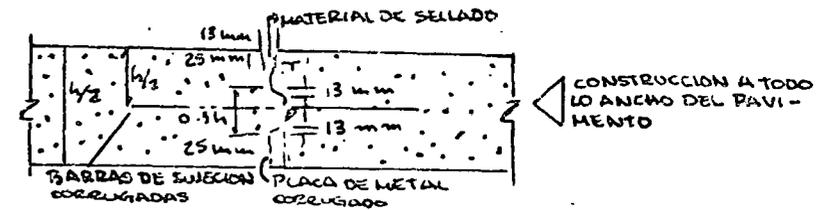
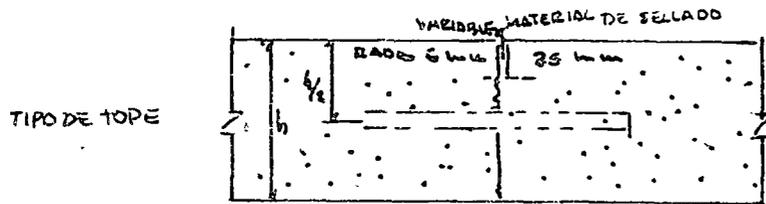
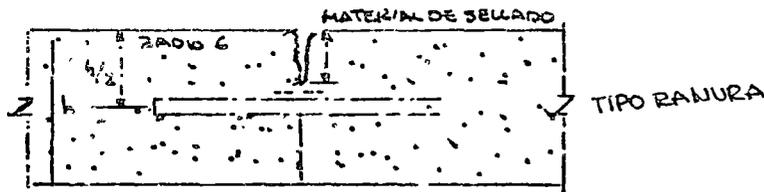
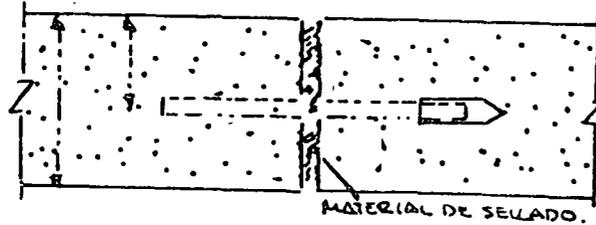
En el caso del colado continuo es importante que las varillas pasajuntas lisas que se dejan en la zona de la junta deberán estar colocadas a la mitad del peralte de la loza y repartidas en un marque el proyecto, alineadas paralelamente al eje longitudinal y engrasadas para que tengan libertad de movimiento horizontal. Para lograr mantener las barras pasajuntas en su posición correcta se construye una estructura de alambroñ que se clava en la sub-base y sobre estas se distribuyen las barras pasajuntas amarrandolas ligeramente para permitir el movimiento horizontal sin perder su alineamiento longitudinal.

En el caso de junta de construcción para final de colado de una jornada se prepara una cimbra especialmente con apoyos y horadaciones exactas para introducir las barras pasajuntas. Se coloca esta cimbra que sirve de tapón se alinea y nivela, y se colocan las barras pasajuntas debidamente engrasadas en su sitio.

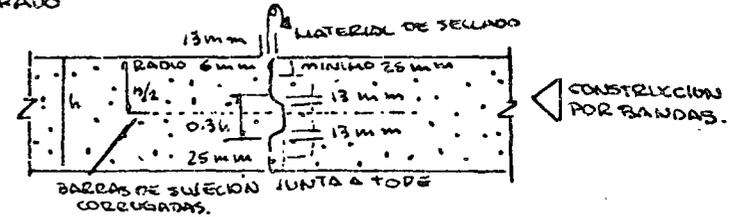
JUNTAS CONSTRUCCION CARRETERAS

JUNTA CONSTRUCCION CARRETERA.

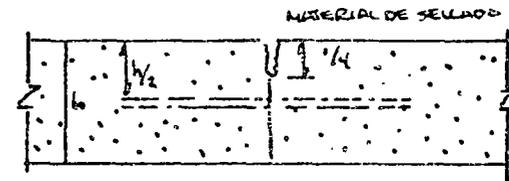
FIG. 502 (a) - DETALLES RECOMENDADOS DE DISEÑO PARA JUNTA TRANSVERSAL DE EXPANSION EN CARRETERAS.



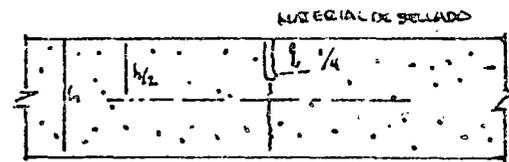
JUNTA TIPO MACHIMBRADO



BANURA FORMADA



BANURA CORTADA



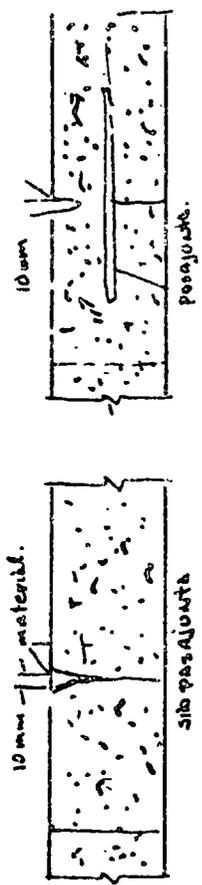
JUNTA TIPO RANURA

FIG. 502 (b) DETALLES RECOMENDADOS DE DISEÑO DE JUNTA DE CONSTRUCCION TRANSVERSAL PARA CARRETERAS.

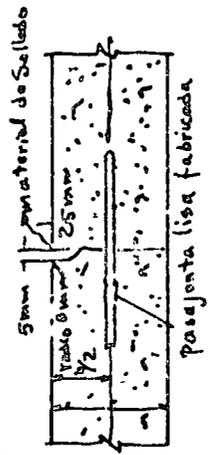
FIG. 502 (c) DETALLES RECOMENDADOS DE DISEÑO DE JUNTAS ARTICULADAS LONGITUDINALES PARA CARRETERAS.

JUNTAS DE INSTRUCCION PARA AEROPUERTOS

JUNTAS DE CONTRACCIÓN TIPO BARRAS



JUNTA DE CONTRACCIÓN A TOPE CON PASAJUNTAS



JUNTA DE EXPANSIÓN CON PASAJUNTAS

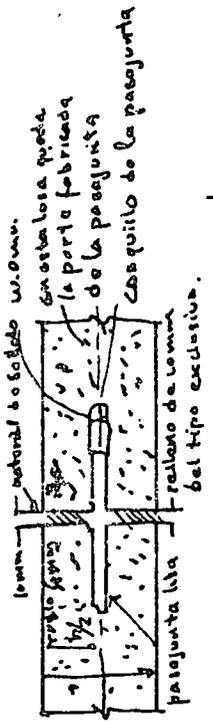


Fig (503) b2 DETALLES RECOMENDADOS DE DISEÑO PARA JUNTAS TRANSVERSALES EN AEROPISTAS.

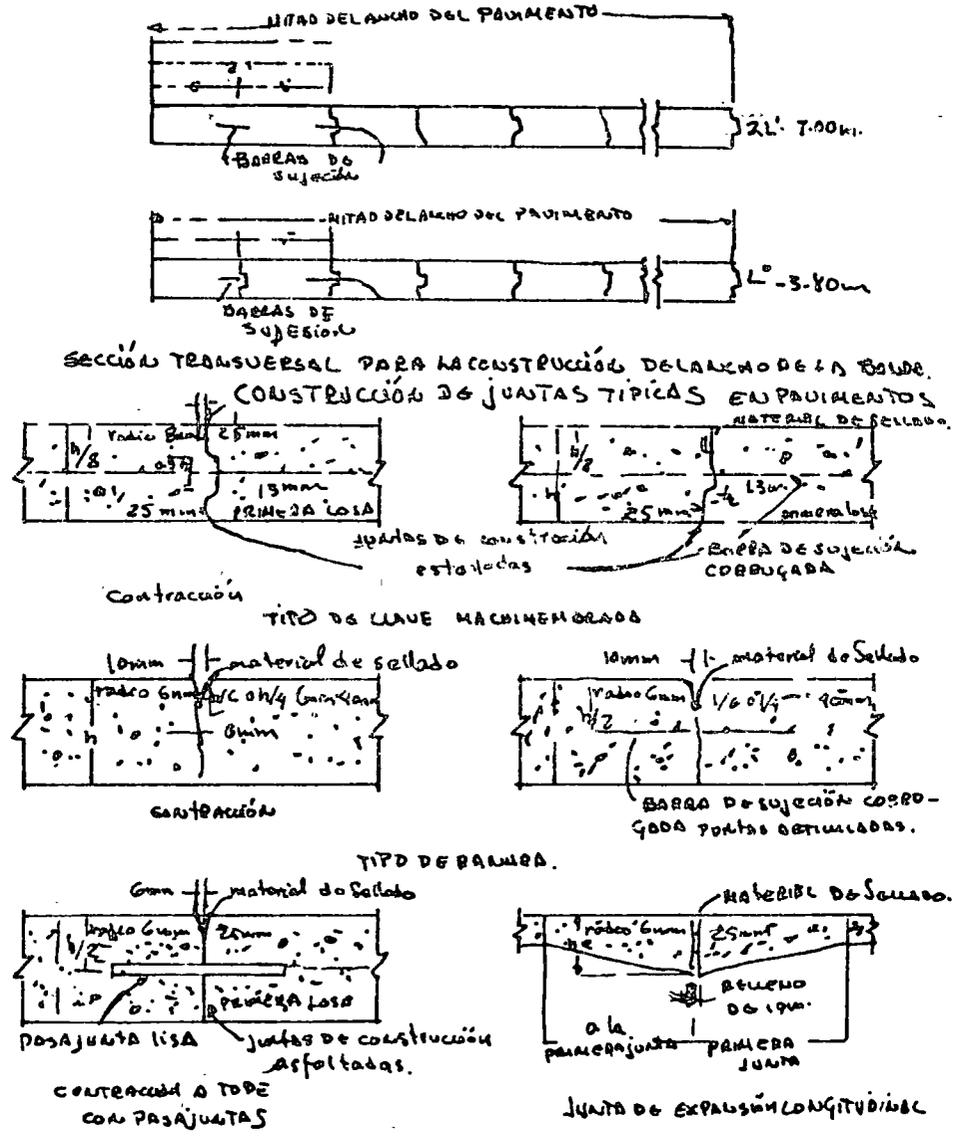
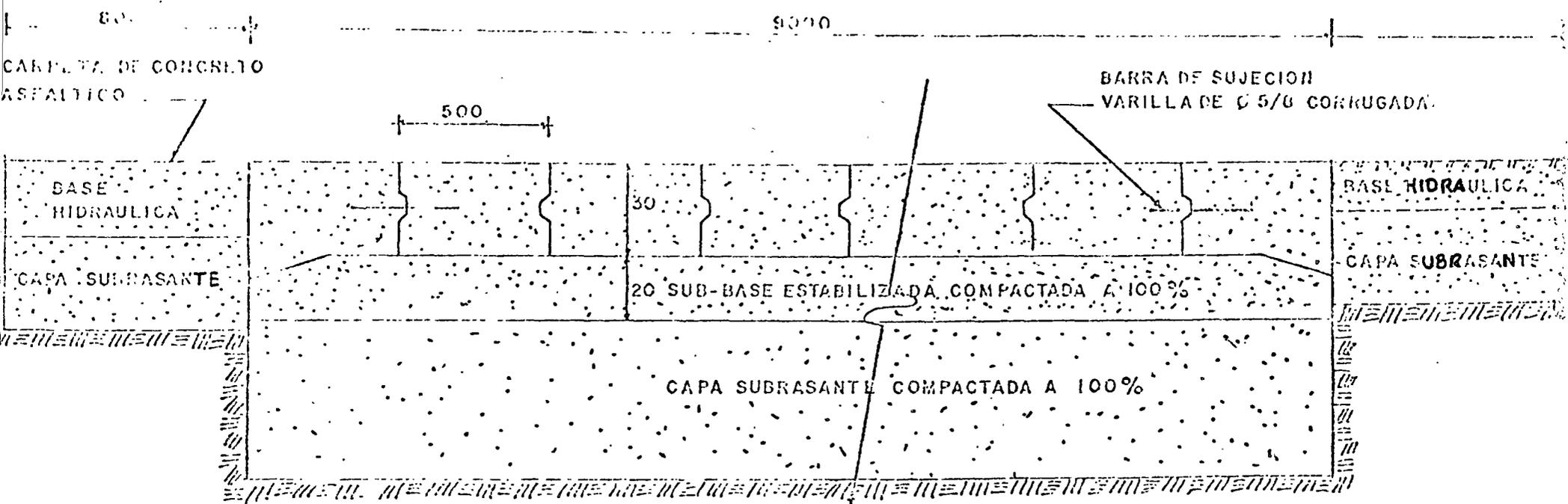


Fig 503 (b) DETALLES RECOMENDADOS DE DISEÑO DE JUNTAS LONGITUDINALES PARA AEROPISTAS.



SECCION PLATAFORMA DE OPERACIONES.

ACOTACIONES EN CM.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

CONTROL DE PRODUCCION
EJEMPLO

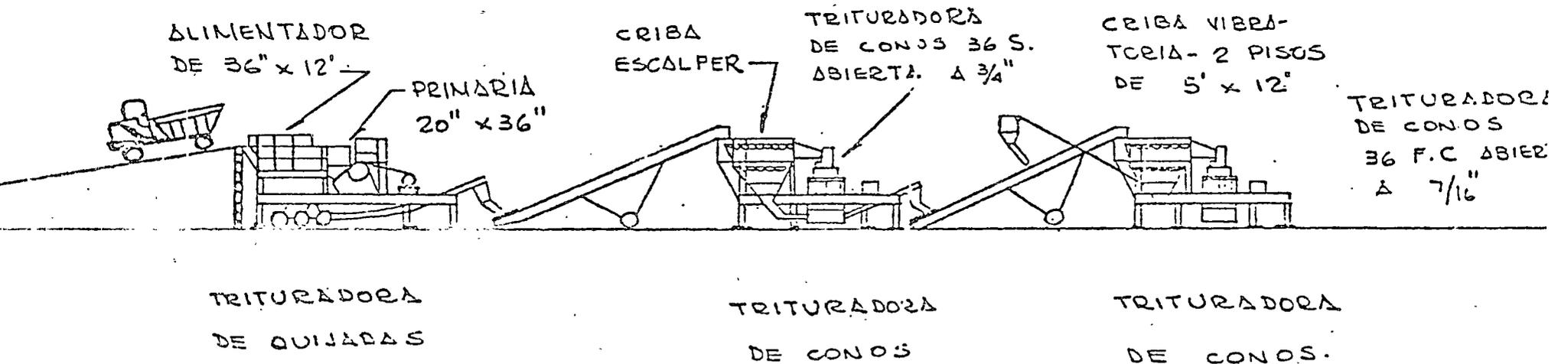
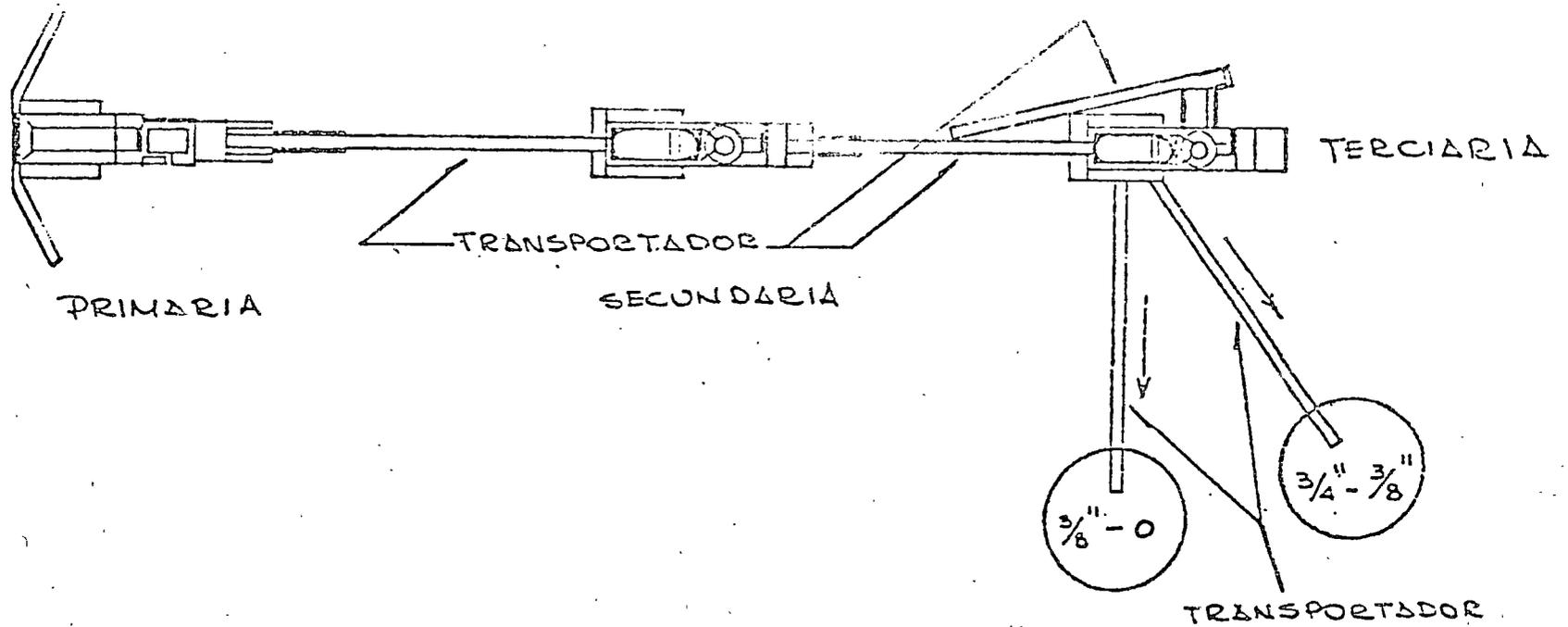
ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA

JUNIO, 1978.

ESTUDIAR LOS SISTEMAS DE CONTROL PARA

UNA PLANTA DE TRITURACION

INSTALACION PORTATIL.



PRODUCCION REAL ESPERADA

LA INSTALACION TIENE UNA CAPACIDAD DE 90 TON -
CORTAS POR HORA EFECTIVA.

$$\begin{aligned}
 90 \text{ Ton C.} &= 0.454 \times 2000 \times 90 \\
 &= 81720 \text{ kg} \\
 &= 81.72 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

a) HORARIA :

$$P_h = \frac{81.72 \text{ ton/hr}}{1.5 \text{ ton/m}^3} \times 0.70 = 38 \text{ m}^3/\text{hr}$$

b) MENSUAL :

$$\begin{aligned}
 P_m &= 38 \frac{\text{M}^3}{\text{Hr}} \times 15.5 \frac{\text{Hr}}{\text{Día}} \times 25 \frac{\text{Día}}{\text{Mes}} = \\
 &= 14725 \text{ M}^3/\text{mes}
 \end{aligned}$$

c) DIARIA :

$$P_d = \frac{14725 \text{ M}^3/\text{mes}}{25 \text{ Día/mes}} = 589 \text{ M}^3/\text{día}$$

CONSTRUCTORA <hr/> <hr/> OBRA: <hr/>	Trituradora Máquina: <u>Primaria</u> Modelo: <u>de Quijadas</u> Datos Adic: <hr/>	Hoja No: <hr/> Calculó: <hr/> Revisó: <hr/> Fecha: <u>MARZO-78</u>
---	--	--

DATOS GENERALES

Precio adquisición:	\$ <u>4'278,000.00</u>	Fecha cotización: <u>MARZO - 78</u>
Equipo adicional -		Vida económica (Ve): <u>5</u> años
	<u>4'278,000.00</u>	Horas por año (Ha): <u>1600</u> hr/año
Valor inicial (Va):		Motores eléc de <u>150</u> HP.
Valor rescate (Vr): <u>10%</u> = \$ <u>427,800.00</u>		Factor operación: <u>0.90</u>
Tasa interés (i): <u>18%</u>		Potencia operación: <u>135</u> HP. op.
Prima seguros (s): <u>3%</u>		Coefficiente almacenaje (K): <hr/>
		Factor mantenimiento (Q): <u>0.80</u>

I. CARGOS FIJOS.

a) Depreciación: $D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{4\,278\,000 - 427\,800}{8000} = \$ 481.27$

b) Inversión: $I = \frac{Va + Vr}{2 Ha} i = \frac{4\,278\,000 + 427\,800}{2(1600)} 0.18 = 264.70$

c) Seguros: $S = \frac{Va + Vr}{2 Ha} s = \frac{4\,278\,000 + 427\,800}{2(1600)} .03 = 44.11$

d) Almacenaje: $A = KD = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$

e) Mantenimiento: $M = QD = \underline{0.80 (481.27)} = \underline{\underline{385.01}}$

Suma Cargos Fijos por Hora \$ 1,175.09

CONSTRUCTORA	Trituradora	Hoja No: _____
	Máquina: <u>Conos Secund.</u>	Calculó: _____
_____	Modelo: <u>36 S</u>	Revisó: _____
OBRA: _____	Datos Adic: _____	Fecha: _____

DATOS GENERALES

Precio adquisición: \$ 4'006,830.00 Fecha cotización: MARZO/78
 Equipo adicional - _____ Vida económica (Ve): 5 años
 _____ Horas por año (Ha): 1600 hr/año
 _____ Motores eléct. de 110 HP.
 Valor inicial (Va): 4'006,830.00 Factor operación: 0.9
 Valor rescate (Vr): 10 % = \$400,683.00 Potencia operación: 99 HP. op.
 Tasa interés (i): 18 % Coeficiente almacenaje (K): _____
 Prima seguros (s): 3 % Factor mantenimiento (Q): 0.8

I. CARGOS FIJOS.

a) Depreciación: $D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{4006830 - 400683}{8000} = \450.76

b) Inversión: $I = \frac{Va + Vr}{2 Ha} i = \frac{4006830 + 400683}{2 \times 1600} 0.18 = 247.92$

c) Seguros: $S = \frac{Va + Vr}{2 Ha} s = \frac{4006830 + 400683}{2 \times 1600} 0.03 = 41.32$

d) Almacenaje: $A = KD = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$

e) Mantenimiento: $M = QD = \frac{0.80 \times 450.76}{1} = \underline{\underline{360.60}}$

Suma Cargos Fijos por Hora \$ 1,100.60

CONSTRUCTORA	Trituradora - Máquina: <u>Conos Terc.</u>	Hoja No: _____
_____	Modelo: <u>36FC</u>	Calculó: _____
OBRA: _____	Datos Adic: _____	Revisó: _____
_____	_____	Fecha: _____

DATOS GENERALES

Precio adquisición:	\$ <u>4'132,985.00</u>	Fecha cotización: <u>MARZO/ 78</u>
Equipo adicional -	_____	Vida económica (Ve): <u>5</u> años
_____	_____	Horas por año (Ha): <u>1600</u> hr/año
_____	_____	Motores <u>eléct.</u> de <u>150</u> HP.
Valor inicial (Va):	<u>4'132,985.00</u>	Factor operación: <u>0.9</u>
Valor rescate (Vr):	<u>10 % = \$413,298.50</u>	Potencia operación: <u>135</u> HP. op.
Tasa interés (i):	<u>18 %</u>	Coefficiente almacenaje (K): _____
Prima seguros (s):	<u>3 %</u>	Factor mantenimiento (Q): <u>0.8</u>

I. CARGOS FIJOS.

$$a) \text{ Depreciación: } D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{4132895 - 41329850}{8000} = \$464.96$$

$$b) \text{ Inversión: } I = \frac{Va + Vr}{2Ha} i = \frac{4132985 + 41329850}{2 \times 1600} 0.18 = 255.72$$

$$c) \text{ Seguros: } S = \frac{Va + Vr}{2Ha} s = \frac{4132985 + 41329850}{2 \times 1600} 0.03 = 42.62$$

$$d) \text{ Almacenaje: } A = KD = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$e) \text{ Mantenimiento: } M = QD = \frac{0.8 \times 464.96}{1} = \underline{371.97}$$

Suma Cargos Fijos por Hora \$ 1,135.27

CONSTRUCTORA _____ _____	BANDAS Máquina: <u>TRANSP.</u>	Hoja No: _____
	Modelo: <u>PORTADORAS</u>	Calculó: _____
OBRA: _____	Datos Adic: _____	Revisó: _____
		Fecha: _____

DATOS GENERALES

Precio adquisición:	\$ <u>2'530,920.00</u>	Fecha cotización: <u>MARZO/78</u>
Equipo adicional - - BANDAS	- <u>315,000.00</u>	Vida económica (Ve): <u>5</u> años
Valor inicial (Va):	<u>2'215,920.00</u>	Horas por año (Ha): <u>2000</u> hr/año
Valor rescate (Vr): <u>10%</u>	=\$ <u>253,092.00</u>	Motores _____ de _____ HP.
Tasa interés (i): <u>18%</u>		Factor operación: _____
Prima seguros (s): <u>3%</u>		Potencia operación: _____ HP. op.
		Coefficiente almacenaje (K): _____
		Factor mantenimiento (Q): <u>0.80</u>

I. CARGOS FIJOS.

a) Depreciación:	$D = \frac{Va - Vr}{Ve}$	$= \frac{2215920 - 253092}{10,000}$	$= \$ 196.28$
b) Inversión:	$I = \frac{Va + Vr}{2 Ha}$	$= \frac{2215920 + 253092}{2 \times 2000}$	$\cdot 18 = 111.10$
c) Seguros:	$S = \frac{Va + Vr}{2 Ha}$	$= \frac{2215920 + 253092}{2 \times 2000}$	$\cdot 03 = 18.52$
d) Almacenaje:	$A = KD$	$=$	$=$
e) Mantenimiento:	$M = QD$	$= 0.80 (196.28)$	$= \underline{\underline{157.024}}$

Suma Cargos Fijos por Hora \$ 482.92

II. CONSUMOS.

a) Combustible : $E = e P_c$

Diesel : $E = 0.20 \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ HP. op. } \times \$ \underline{\hspace{2cm}} / \text{lt.} = \$$

Gasolina: $E = 0.24 \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ HP. op. } \times \$ \underline{\hspace{2cm}} / \text{lt.} =$

b) Otras fuentes de energía : $\underline{\hspace{4cm}} =$

c) Lubricantes: $L = a P_e$

Capacidad carter: $C = \underline{\hspace{2cm}} \text{ litros}$

Cambios aceite : $t = \underline{\hspace{2cm}} \text{ horas}$

$a = C/t + \begin{cases} 0.0035 \\ 0.0030 \end{cases} \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ HP. op. } = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lt/hr.}$

$L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lt/hr } \times \$ \underline{\hspace{2cm}} / \text{lt.} =$

d) Llantas: $LI = \frac{VII \text{ (valor llantas)}}{H_v \text{ (vida económica)}} B = \frac{V_b}{H_v} = \frac{315,000}{3500} = 90.00$

Vida económica: $H_v = \underline{\hspace{2cm}} \text{ horas}$

$LI = \underline{\hspace{4cm}} \text{ horas} = \underline{\hspace{2cm}}$

Suma Consumos por Hora \$ 90.00

II. OPERACION .

Salario base : \$

Salario real -
operador :

 :

 :

Sal/turno-prom:\$

Horas/turno-prom.: (H)

$H = 8 \text{ horas } \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ (factor rendimiento) } = \underline{\hspace{2cm}} \text{ horas}$

Operación = $O = \frac{S}{H} = \frac{\$ \underline{\hspace{2cm}}}{\underline{\hspace{2cm}} \text{ horas}} = \$ \underline{\hspace{2cm}}$

Suma Operación por Hora \$

COSTO DIRECTO HORA - MAQUINA (HMD) \$ 572.92

CONSTRUCTORA _____ OBRA: _____	Máquina: <u>P. Eléctrica</u> Modelo: <u>600 K.V.A</u> Datos Adic: _____	Hoja No: _____ Calculó: _____ Revisó: _____ Fecha: _____
--------------------------------------	---	---

DATOS GENERALES

Precio adquisición:	\$ <u>1'874,500.00</u>	Fecha cotización: <u>MARZO/78</u>
Equipo adicional -	_____	Vida económica (Ve): <u>7</u> años
_____	_____	Horas por año (Ha): <u>1600</u> hr/año
_____	_____	Motores diesel de <u>805 H.P.</u> HP.
Valor inicial (Va):	<u>1'874,500.00</u>	Factor operación: <u>0.85</u>
Valor rescate (Vr):	<u>% = \$187,450.00</u>	Potencia operación: <u>684.25</u> HP. op.
Tasa interés (i):	<u>18%</u>	Coefficiente almacenaje (K): <u>0.2</u>
Prima seguros (s):	<u>3%</u>	Factor mantenimiento (Q): <u>0.80</u>

I. CARGOS FIJOS.

a) Depreciación: $D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{1874500 - 187450}{11200} = \150.63

b) Inversión: $I = \frac{Va + Vr}{2 Ha} i = \frac{1874500 + 187450}{2 \times 1600} 0.18 = 115.98$

c) Seguros: $S = \frac{Va + Vr}{2 Ha} s = \frac{1874500 + 187450}{2 \times 1600} 0.03 = 19.33$

d) Almacenaje: $A = KD = \frac{150.63 (0.02)}{1} = 3.01$

e) Mantenimiento: $M = QD = \frac{150.63 (0.80)}{1} = \underline{\underline{120.50}}$

Suma Cargos Fijos por Hora \$ 409.45

II. CONSUMOS.

a) Combustible : $E = e P_c$

Diesel : $E = 0.20 \times 684.25 \text{HP. op.} \times \$ 0.70 / \text{lt.} = \$ 95.79$

Gasolina: $E = 0.24 \times \underline{\hspace{2cm}} \text{HP. op.} \times \$ \underline{\hspace{2cm}} / \text{lt.} =$

b) Otras fuentes de energía : $\underline{\hspace{10cm}} =$

c) Lubricantes: $L = a P_e$

Capacidad carter: $C = \underline{50}$ litros

Cambios aceite : $t = \underline{100}$ horas

$a = C/t + \begin{cases} 0.0035 \\ 0.0030 \end{cases} \times 684.25 \text{HP. op.} = \underline{2.89} \text{lt/hr.}$

$L = \underline{2.89} \text{lt/hr} \times \$ \underline{14} / \text{lt.} = 40.46$

d) Llantas: $LI = \frac{VII}{H_v}$ (valor llantas)
 (vida económica)

Vida económica: $H_v = \underline{\hspace{2cm}}$ horas

$LI = \underline{\hspace{10cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$
 horas

Suma Consumos por Hora \$ 136.25

III. OPERACION

Salario base : \$

Salario real -
 operador :

 :

 :

Sal/turno-prom:\$

Horas/turno-prom.: (H)

$H = 8 \text{ horas} \times \underline{\hspace{2cm}} \text{(factor rendimiento)} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ horas}$

Operación = $O = \frac{S}{H} = \frac{\$ \underline{\hspace{2cm}}}{\underline{\hspace{2cm}} \text{ horas}} = \$ \underline{\hspace{2cm}}$

Suma Operación por Hora \$

COSTO DIRECTO HORA - MAQUINA (HMD) \$ 545.70

CALCULO DEL SALARIO REAL DE UN OPERADOR DE
TRITURADORA CON SALARIO BASE DE \$ 160.00 DIARIOS

CUOTAS DEL SEGURO SOCIAL

PATRON TRABAJADOR

SEGURO DE ENFERMEDADES - NO PROFESIONALES Y MATER NIDAD.....	59.06	23.63
SEGURO DE INVALIDEZ, VE -- JEZ, CESANTIA Y MUERTE....	39.38	15.75
1. SALARIO BASE :	\$ 160.00	
2. PRESTACIONES L.F.T. :		
30.7% (0.307 x 160)	<u>49.12</u>	
	209.12	
3. IMPUESTO COMPLEMENTA- RIO : 1% DE LA SUMA ANTE RIOR		
(0.01 x 209.12)		2.09

4. INFONAVIT: 5% DEL SALARIO
 BASE INCREMENTADO EN --
 1.25 PARA TOMAR EN CUEN-
 TA ÚNICAMENTE LOS DIAS --
 LABORADOS

$(0.05 \times 1.25 \times 160.00)$ 10.00

5. GUARDERIAS: 1% DEL SALA-
 RIO BASE (0.01×160)

1.60

6. SEGURO SOCIAL: SE INTE --
 GRA DE LA SIGUIENTE FOR -
 MA

59.06	23.63	
	+	
<u>39.38</u>	<u>15.72</u>	= 55.10
98.44	39.35	

125% SOBRE CUOTA OBRERO-
 PATRONAL POR SEGURO DE-
 INVALIDEZ, VEJEZ, CESAN -
 TIA Y MUERTE

$55.10 \times 1.25 = 68.87$

$98.44 + 68.87 = 167.31$

$167.31/5.77 = 28.99$

28.99

S U M A \$ 251.80

SALARIO REAL PARA UN OPERADOR CON SALARIO BASE DE

$$\text{\$ } 160.00 = 251.80$$

DE LA MISMA FORMA SE CALCULAN LOS SALARIOS REALES PARA PEONES Y SOBRESTANTES, CON LO QUE INTEGRAMOS EL SIGUIENTE CUADRO .

EMPLEADO	SALARIO BASE	SALARIO REAL
PEONES	120.00	189.35
OPERADORES	160.00	251.80
SOBRESTANTES	263.00	417.60

MANO DE OBRA OPERACION

1. OPERADOR :

$$\frac{\$ 251.80/\text{DIA} \times 2}{15.5 \text{ HR}/\text{DIA}} = \$ 32.49/\text{HR}$$

$$4 \text{ OPERADORES} \times 32.49/\text{HR} = \$ 129.96 \quad \underline{129.96}$$

2. SOBRESTANTES :

$$\frac{\$ 417.06/\text{DIA} \times 2}{15.5 \text{ HR}/\text{DIA}} = \$ 53.81/\text{HR}$$

$$1 \text{ SOBRESTANTE} \times 53.81/\text{HR} = \$ 53.81/\text{HR} \quad \underline{53.81}$$

3. PEONES :

$$\frac{\$ 189.35/\text{DIA} \times 2}{15.5 \text{ HR}/\text{DIA}} = \$ 24.43/\text{HR}$$

$$3 \text{ PEONES} \times 24.43/\text{HR} = \$ 73.29/\text{HR} \quad \underline{73.29}$$

MANO DE OBRA

\$ 257.06/HR

COSTOS DIRECTOS

I. MAQUINARIA (CARGOS FIJOS)

1. TRITURADORA PRIMARIA DE QUIJADAS	1,175.09
2. TRITURADORA SECUNDARIA DE CONOS MOD. 365	1,100.60
3. TRITURADORA TERCIARIA DE CONOS - MOD. 36 F.C.	1,135.27
4. BANDAS TRANSPORTADORAS	482.92
5. PLANTA DE LUZ CAT. 0-348 DE 600 K.V.A.	545.94

C.D. TOTAL MAQUINARIA \$ 4,439.82/HR

II. MATERIALES (CONSUMOS)

1. BANDAS	90.00
2. PLANTA DE LUZ	
a) COMBUSTIBLES	95.79
b) LUBRICANTES	40.46

C.D. TOTAL MATERIALES \$ 226.25/HR

III. MANO DE OBRA (OPERACION)

1. OPERADORES (4)	129.96
2. SOBRESTANTES (1)	53.81
3. PEONES (3)	73.29

C.D. TOTAL MANO DE OBRA	\$ <u><u>257.06/HR</u></u>
-------------------------	----------------------------

RESUMEN COSTOS DIRECTOS

I. MAQUINARIA	4,439.82
II. MATERIALES	226.25
III. MANO DE OBRA	257.06

TOTAL COSTOS DIRECTOS	\$ <u><u>4,923.13/HR</u></u>
-----------------------	------------------------------

COSTO DIRECTO POR M³

$$C.D./M^3 = \frac{4,923.13}{38 M^3} = \underline{\underline{\$ 129.55/M^3}}$$

ESTE SISTEMA DE CALCULO DE COSTO ES USUAL EN
LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

EL COSTO DEPENDE COMO SE DEDUCE CLARAMENTE
DE LA PRODUCCION OBTENIDA.

UN SISTEMA USUAL PARA CONTROLAR LA PRODUCCION SE MUESTRA A CONTINUACION.

LA LINEA LLENA CORRESPONDE A LA PRODUCCION
ESPERADA MENSUAL.

CON LINEA PUNTEADA SE MUESTRA LA PRODUCCION-
REAL.

SI LA PRODUCCION REAL NO ES IGUAL A LA PRODUCCION ESPERADA ES NECESARIO ANALIZAR LAS CAUSAS. SE PUEDE UTILIZAR EN ESTE CASO UN REPORTE COMO EL QUE SE MUESTRA A CONTINUACION.

EN ESTE REPORTE SE ANALIZA LA PRODUCCION POR HORA EFECTIVA, LAS HORAS EFECTIVAS TRABAJADAS Y LAS CAUSAS DE DEMORAS.

INFORME DIARIO DE PRODUCCION DE AGREGADOS

OBRA : 24

FECHA Viernes 14-IV/78

TIEMPO TEORICO OPERACION 15:30 HORAS

TIEMPO REAL OPERACION 7:20 HORAS

NUMERO DE DEMORAS 7

EFICIENCIA: 47.5% EFICIENCIA ESPERADA = 70%

PRODUCCION REAL 400 M³

PRODUCCION POR HORA EFECTIVA 400/7.33 = 54.57

PRODUCCION ESPERADA = 54.5

CAUSA DE DEMORAS	HORAS PERDIDAS	% EFICIENCIA PERDIDA
FALTA DE MATERIAL	1:05	6.9%
REPARACION PLANTA DE LUZ	1:10	7.5%
REPARACION TRIT. SECUNDARIA	1:30	9.7%
SOLDANDO MALLA	1:10	7.5%
FALTA ENERGIA ELECTRICA	0:35	3.7%
REPARACION CRIBA	0:40	4.3%
PIEDRAS ATORADAS	2:00	12.9%
TOTAL	8:10	52.5%

INFORME DE PRODUCCION SEMANAL

OBRA: 24 PERIODO DEL 17-IV/78 AL 22-IV/78

PRODUCCION REAL: 2600 M³ PRODUCCION ESPERADA: 3534

EFICIENCIA REAL: 48.8 % EFICIENCIA ESPERADA: 70 %

HORAS TRABAJADAS: 45.4 HORAS DEMORA : 47.6

PRODUCCION REAL - POR HORA EFECTIVA: 57.3 PRODUCCION ESPERADA - POR HORA EFECTIVA : 54.5

CAUSA DE DEMORAS	HORAS PERDIDAS	% EFICIENCIA PERDIDA
FALTA DE MATERIAL	1:30	1.6
REPARACION PLANTA LUZ	1:10	1.2
REPARACION TRIT. SECUNDARIA	6:30	7.0
SOLDANDO MALLAS	5:0	5.4
FALTA ENERGIA ELECTRICA	1:0	1.1
REPARACION CRIBA	16:00	17.2
MANT. CAMINO A PLANTA	1:00	1.1
PIEDRAS ATORADAS	11:00	11.8
DESCOM. BANDAS	1:30	1.6
POR ALMACENAMIENTO	3:0	3.2
T O T A L :	47:40	51.2

NO ES SUFICIENTE EL CONTROL DE PRODUCCION, --
PUESTO QUE EL COSTO UNITARIO DEPENDE DE PRO-
DUCCION Y GASTOS EROGADOS REALMENTE.

SE PUEDE LLEVAR UN CONTROL DE COSTOS ELABO-
RADO EN BASE AL PRESUPUESTO.

LOS GASTOS ESPERADOS POR MES SON LOS SIGUIENU
TES, DESGLOSADOS EN CONCEPTOS DE COSTO.

PODRIAMOS SELECCIONAR LOS SIGUIENTES CONCEP-
TOS:

MAQUINARIA

OBRA DE MANO

MATERIALES

COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES

EL COSTO RESULTARIA EN LA SIGUIENTE FORMA :

COSTO ESPERADO POR MES

HORAS ESPERADAS = 15.5 x 25 = 387.5

CONCEPTO	MAQUINARIA	OBRA DE MANO	MATERIALES	COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES
TRITURADORA PRIMARIA	455,347.37			
TRITURADORA SECUNDARIA	426,482.50			
TRITURADORA TERCIARIA	439,917.12			
BANDAS TRANSPORTADORAS	187,131.50		34,875.00	
PLANTA DE LUZ	211,458.75			52,796.87
OBRA DE MANO		99,610.75		
S U M A	1'720,337.20	99,610.75	34,875.00	52,796.87

TOTAL COSTO ESPERADO = \$ 1'907,619.80

TOTAL PRODUCCION ESPERADA = 14725 M³/MES

COSTO/M³ = $\frac{1'907,619.80}{14725}$ = \$ 129.55

EL INFORME MENSUAL DE CONTROL DE COSTOS PRESUPUESTAL QUEDARIA EN LA SIGUIENTE FORMA

CATALOGO	CONCEPTO	MOVIMIENTO DEL MES			ACUMULADO HASTA EL MES		
		REAL	PRESU - PUESTO	DIFEREN - CIA	REAL	PRESU - PUESTO	DIFEREN - CIA
1	TRITURACION						
	a) Maquinaria	1'373,135.40	1'720,337.20	347,201.80 R			
	b) Obra de Mano	101,901.80	99,610.75	2,291.05			
	c) Materiales	18,316.70	34,875.00	16,558.30 R			
	d) Combust. y Lubri - cantes	69,691.87	52,796.87	16,895.0			
	S U M A	1'563,045.77	1'907,619.8	344,574.05 R			

$$\text{COSTO REAL} / \text{M}^3 = \frac{1'563,045.77}{11,817} = \$ 132.27$$

SIN EMBARGO EL CONTROL PRESUPUESTAL DE COSTOS NO ME DICE NADA SI NO TOMO EN CUENTA LA PRODUCCION REAL, PARA TOMAR ESTO EN CONSIDERACION PUEDO -- LLEVAR EL CONTROL PRESUPUESTAL POR UNIDAD DE PRODUCCION.

VOLUMEN DE PRODUCCION ESTIMADO = 14725

VOLUMEN DE PRODUCCION REAL = 11817

INFORME MENSUAL DE CONTROL DE COSTOS
COSTO UNITARIO

CATALOGO	CONCEPTO	MOVIMIENTO DEL MES				ACUMULADO HASTA EL MES			
		REAL	PRESU - PUESTO	DIFEREN- CIA	%	REAL	PRESU - PUESTO	DIFEREN- CIA	%
1	TRITURACION								
	a) Maquinaria	116.20	116.83	0.63 R	0.5%(R)				
	b) Obra de Mano	8.62	6.76	1.86	27.5%				
	c) Materiales	1.55	2.36	0.81 R	34% (R)				
	d) Combust. y Lubri- cantes	5.89	3.58	2.31	65%				
	S U M A	132.26	129.53	2.73	2.10%				



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

A N E X O

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO.

JUNIO, 1978.

Palacio de Minería

Calle de Tacuba 5,

primer piso.

México 1, D. F.

las exigencias del tránsito a que hemos hecho men-
ción, y por lo mismo, la necesidad de construir so-
bre ellas (las terracerías), una o varias capas con
materiales cuidadosamente seleccionados, a cuyo con-
junto se le designa como pavimento, resulta igual-
mente obvia.

No hay duda entonces, de que el pavimento con-
stituye tan solo una parte de la obra vial, a la -
cual por su ubicación, le corresponde estar en con-
tacto directo con el tránsito y por lo mismo, ser -
vir de elemento de transmisión de los esfuerzos pro-
ducidos por éste, hacia la capa superior de las te-
rracerías. Por su parte, éstas últimas proporci-
onan, a su vez, el apoyo o cimentación del mismo, -
con análogos requerimientos en cuanto a la estabili-
dad o deformabilidad, que son comunes en la cimenta-
ción de cualquier otro tipo de estructura.

Podemos decir, en consecuencia, que los proble-
mas que se plantean al diseñar un pavimento, no que-
dan circunscritos a la capa o conjunto de capas que
integran su estructura, sino que abarcan, con igual
importancia, a las capas inferiores que constituyen
propriadamente su cimentación, siendo en este particu-
lar aspecto en donde, por principio de cuentas, la
Mecánica de Suelos proporciona una importantísima -
aportación.

I.1 Papel de la Mecánica de Suelos en la tecnolo- gía de pavimentos:

Por lo que se refiere a las aportaciones de la
Mecánica de Suelos a las prácticas de diseño y cons-
trucción de los pavimentos, es indiscutible que éstas
han sido y vienen siendo muy amplias y de gran
 trascendencia.

Como todos sabemos, el pavimento constituye la
superestructura de una obra vial que, en última -
instancia, hace posible el rodamiento de los vehí-
culos de una manera confortable y segura. Se tra-
ta, en consecuencia, de un elemento estructural -
que recubre o reviste a la terracería, con el fin
de lograr que la superficie final o de acabado, -
reuna una serie de cualidades necesarias al apro-
piado rodamiento de los vehículos, durante un lap-
so o vida útil razonable, en el cual se ve expues-
to no solo a la acción destructiva del tránsito, -
sino también a la de los diversos fenómenos de in-
temperie.

Puesto que los materiales que utiliza el inge-
niero para la construcción de las terracerías u -
"obras de tierra" suelen ser, como norma general, -
los que proporciona en forma más inmediata la su-
perficie de la corteza terrestre, es obvio que su
calidad no pueda ser la requerida para satisfacer-

Ciertamente, es la regla y no la excepción que
en la práctica los materiales que forman las terrac-
erías y mantos subyacentes, dispongan de las caracte-
rísticas o propiedades mecánicas apropiadas para
satisfacer adecuadamente los requisitos de esfuerzo
y deformación que les son necesarios para atender -
a las sollicitaciones impuestas, tanto por la acción
del tránsito, como por el peso propio y los agentes
de intemperie; sin embargo, las excepciones a la re-
gla, no por ser relativamente de poca frecuencia, -
disminuyen su importancia; es decir cuando ello ocu-
rre, adquiere una gran relevancia su estudio. Cita-
mos como casos típicos, todas aquellas regiones en
donde la obra vial cruza zonas caracterizadas por -
sedimentos fluviales o lacustres, preponderantemen-
te arcillosos, de consistencia blanda o muy blanda,
tal como ocurre en una amplia región del sureste de
nuestro país, en diversas zonas sujetas a frecuen-
tes inundaciones por el desbordamiento de ríos y -
arroyos, e inclusive al propio Valle de México, por
mencionar los casos más familiares. Por cierto, a
propósito de este último y para señalar un ejemplo
concreto, es pertinente comentar que mientras no se
tuvo conocimiento del comportamiento mecánico de las
arcillas del Valle y de sus características geotéc-
nicas, desconocidas por la Mecánica de Suelos, y no
fueron aplicados estos conocimientos al proyecto de

los pavimentos en los aeropuertos de la zona (Internacional y Militar de Sta. Lucía), su comportamiento fue por demás deficiente y su conservación extraordinariamente costosa. En la actualidad, creemos que gracias a la contribución proporcionada por la Mecánica de Suelos se han llegado a soluciones altamente satisfactorias.

Otro ejemplo interesante al respecto, podemos encontrarlo en el campo de los pavimentos rígidos. El propio Terzaghi, en uno de sus artículos escrito al principio de los años cuarenta, refiere el hecho de que en los EUA una buena parte de la red carretera cotada con pavimento de concreto hidráulico, se encontraba en estado ruinoso o bien estaba siendo reconstruida para su aprovechamiento temporal, mediante la aplicación de capas renovadoras; la razón fundamental de ello la atribuía al desconocimiento, por parte de los diseñadores, de los fenómenos de interacción entre la losa y el suelo de apoyo, bajo la acción no sólo de las cargas, sino también de los diversos efectos de intemperie, que se traducen por ejemplo, en expansiones y contracciones diferenciales por variación en el contenido de agua del suelo, efectos producidos por la acción de las heladas, etc.

Como ustedes saben, hacia finales de los años 20 y principios de los 30, Westergaard dio a conocer una serie de trabajos sobre los esfuerzos producidos en una losa de concreto, bajo la acción tanto del tránsito como de los cambios de temperatura. Una conclusión muy importante que se derivó de su teoría, la cual por cierto, dentro de ciertos límites sigue siendo válida, fue que los esfuerzos de tensión producidos en la losa de un pavimento, eran prácticamente independientes de las características del suelo que sirve de apoyo a la losa. Esta conclusión, aunque desde el punto de vista de las hipótesis de Westergaard es correcta, su influencia por aquella época resultó nefasta al descuidarse los factores antes mencionados, siendo inclusive usual, apoyar el concreto directamente sobre la subrasante, cuyo material, a su vez, podía corresponder a cualquier tipo de suelo por inconveniente que pudiera aparecer. Es indudable que en el esclarecimiento de esta anómala actitud mucho contribuyó la Mecánica de Suelos.

Pasando más concretamente a la estructura ensai de un pavimento, podemos decir que las técnicas utilizadas para su diseño se derivan en buena parte, de los conceptos y desarrollos establecidos dentro de la Mecánica de Suelos, lo que equivale a hablar de una Mecánica de Suelos aplicada al diseño de pavimentos, tal como puede decirse de la Mecánica de Suelos aplicada a otros campos de la Ingeniería Civil, como el de las cimentaciones, las presas, los muros de retención, etc.

No es el momento, ni habría tiempo para ello, de hacer una descripción exhaustiva de todos y cada uno de los conceptos desarrollados por la Mecánica de Suelos, y que la tecnología de los pavimentos ha asimilado y utilizado en su beneficio, sin embargo, el enunciado de algunos de ellos con un breve comentario, podría ser elocuente y sobre todo, a propósito del tema que se me ha encomendado para comentar ante ustedes.

1. Procedimientos para la determinación de las propiedades ingenieriles de los suelos y sus técnicas de ensaye.

De hecho, la generalidad de los materiales que se emplean en la construcción de un pavimento, salvo obviamente, los aglutinantes o cementantes, se alinean dentro de la definición ingenieril de suelo, y por lo mismo, es lógico que su estudio quede comprendido dentro de la Mecánica de Suelos no sólo por lo que se refiere a la determinación de sus propiedades índice; granulometría, plasticidad, etc., sino al estudio concreto de su comportamiento: resistencia al esfuerzo cortante, compresibilidad, y cambios volumétricos en general.

2. Teorías de capacidad de carga en cimientos superficiales.

Ciertamente el considerar a un pavimento como una especie de cimiento superficial, no deja de ser una analogía un tanto simplista del problema. Sin embargo, la aceptación de este concepto, analizado a la luz de las teorías de capacidad de carga, ha permitido reconocer la influencia de una serie de factores que afectan el comportamiento de un pavimento, cuando menos desde un punto de vista cualitativo pero de gran utilidad. Por ejemplo, la importancia de emplear materiales predominantemente friccionantes en las capas inferiores de un pavimento flexible, y la necesidad de hacer intervenir una componente de resistencia cohesiva en las superiores; la influencia de la magnitud del área de contacto de las llantas en la capacidad de carga del pavimento, así como la importancia de las presiones de confinamiento en las inmediaciones a las orillas del mismo.

Por otra parte, el conocimiento acumulado por la Mecánica de Suelos en cuanto a los factores que afectan la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, particularmente en lo que se refiere a la forma de las partículas, la granulometría, la compacidad, etc., ha sido grandemente utilizada de una manera normativa en los criterios de selección y utilización de los materiales de pavimentación.

3. Otro aspecto importante, en donde los conocimientos adquiridos por la Mecánica de Suelos encuentran una amplia aplicación en el diseño de los pavimentos, lo encontramos a propósito de la compactación de los suelos, en el estudio de los diferentes factores que la afectan y su influencia en el comportamiento de los mismos.

4. Finalmente, podríamos decir que, independientemente de las aportaciones más o menos concretas a que se ha hecho referencia con anterioridad, la Mecánica de Suelos, como una disciplina científica, sustentada en una labor que se ha distinguido por su fecunda fuente de investigación creadora, es innegable que ha ejercido y ejerce, una influencia definitiva en la evolución y logros alcanzados por la tecnología de los pavimentos, la cual se percibe incluso, en la actitud y mentalidad de los técnicos e investigadores que encarar el importante y complejo problema de los pavimentos.

CLASIFICACION DE LAS FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

