



Universidad Nacional Autónoma  
de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

ACATLAN



PROCEDIMIENTOS PRACTICOS PARA EL DISEÑO Y  
CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS

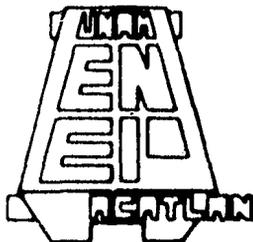
TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

DARIO MARTINEZ GONZALEZ





## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

- CAPITULO I.- PRINCIPIOS FUNDAMENTALES
  - I.1. ESFUERZOS EN PAVIMENTOS RIGIDOS
  - I.2. COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO BAJO CARGAS EN MOVIMIENTO
  - I.3. INFLUENCIA DEL CLIMA EN EL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS RIGIDOS.
  - I.4. EL FENOMENO DE BOMBEO EN LOS PAVIMENTOS RIGIDOS
  - I.5. FUNCIONES DE LA SUB-BASE EN LOS PAVIMENTOS RIGIDOS.
  
- CAPITULO II.- DISEÑO ESTRUCTURAL
  - II.1. PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS.
  - II.2. CRITERIOS DE DISEÑO DE ESPESORES
  - II.3. USO DE FORMULAS, GRAFICAS Y TABLAS PARA EL DISEÑO DE ESPESORES.
  - II.4. TIPOS DE JUNTAS Y PASAJUNTAS
  - II.5. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE JUNTAS Y PASAJUNTAS.
  - II.6. PRUEBAS DE LABORATORIO NECESARIAS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS.
  
- CAPITULO III.- PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS
  - III.1. PREPARACION Y COLOCACION DE LA SUB\_BASE
  - III.2. TIPO Y COLOCACION DE CIMBRAS
  - III.3. ELABORACION Y COLOCACION DEL CONCRETO HIDRAULICO
  - III.4. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE JUNTAS Y SU IMPORTANCIA.
  - III.5. CURADO Y PROTECCION DEL CONCRETO HIDRAULICO
  - III.6. EQUIPO PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFIA**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN  
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

CI/060/1985

SR. DARIO MARTINEZ GONZALEZ  
Alumno de la carrera de Ingeniería  
Civil.  
P r e s e n t e.

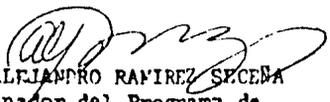
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha, 17 de mayo de 1983, me complace notificarla que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Procedimientos Prácticos para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Principios Fundamentales.
- II.- Diseño Estructural.
- III.- Procedimientos de Construcción de Pavimentos Rígidos.
- Conclusiones y Recomendaciones.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Fernando Rivas Olivera, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e,  
"POP MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Acatlán, Edo. de Méx., a 29 de abril de 1985.

  
ING. ALEJANDRO RAMIREZ SECENA  
Coordinador del Programa de  
Ingeniería.

ARS/rom.

## INTRODUCCION.-

En el transcurso del tiempo, desde la época en que se inicia la historia de los más antiguos pueblos, se ha hecho patente la evolución que ha tenido la civilización. La economía se presenta en ésta transformación como un factor indispensable para el desenvolvimiento cultural del género humano.

Por su aportación en las diversas actividades sociales, la Ingeniería ocupa un lugar muy importante en el desarrollo económico de los pueblos, debido a lo cual ésta se ha superado con el fin de aplicar la mejor técnica en las diferentes ramas que la forman, manifestándose por la evolución que ha tenido la civilización, merced a sus obras, lo que ha permitido el desarrollo económico, político y social de las comunidades.

Uno de los medios que utiliza el hombre para su desarrollo es el transporte, el cual se realiza por medio de vías de comunicación para poder transportar sus ideas, objetos, o al mismo hombre; es por eso que conforme pasa el tiempo, se ha visto la creciente necesidad de unir de forma cada vez más segura y eficiente los núcleos de población, los centros de producción con centros de consumo, así como el rápido avance de los vehículos automotores que reclaman superficies de rodamiento cada día más apropiadas, ha hecho que el propio hombre, adapte zonas de la superficie terrestre de tal manera que sea factible la circulación de dichos vehículos.

A medida que el desarrollo de nuestros pueblos se va incrementando, surge la necesidad de dotarlos de obras viales, cuyas superficies de rodamiento estén constituidas por pavimentos de alta calidad, y en cantidad tal que puedan satisfacer la demanda impuesta por el aumento del tránsito.

Actualmente existe la ineludible necesidad de resolver tanto los problemas de reconstrucción de pavimentos antiguos como los de construcción de los que forman parte de las nuevas vías de comunicación.

En cualquiera de los dos casos es indispensable apoyarse en las técnicas modernas, para poder realizar las nuevas obras dentro de las necesidades exigidas por el adelanto de nuestro país.

En virtud de las circunstancias expuestas y tratando de contribuir a la solución de la problemática, he decidido poner mi mejor esfuerzo, con la finalidad de resumir todos los antecedentes necesarios para poder llevar a cabo el diseño y construcción de pavimentos rígidos, presentando una secuencia lógica en su proceso constructivo, así como las características de los materiales para este caso, recomendando el equipo necesario; y de ésta manera proporcionar a los que de una u otra forma se dedican, o tienen relación con este tipo de actividades, los lineamientos adecuados y mediante el empleo de los métodos apropiados, lograr pavimentos rígidos de alta calidad.

## CAPITULO I.- Principios Fundamentales.

Un pavimento rígido se define como la superestructura de una obra vial, constituida generalmente, por una losa de concreto hidráulico, una sub-base y una sub-rasante, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y de la superficie de rodamiento, cuyo fin principal es que ésta sea uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, y que tiene la propiedad de transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas del tráfico, de tal manera que haga posible el tránsito de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía previstos por el proyecto.

Los pavimentos rígidos tienen como elemento estructural fundamental una losa de concreto; ésta se apoya sobre una capa de material seleccionado a la que se le dá el nombre de sub-base; cuando la sub-rasante del pavimento tenga una calidad suficientemente buena, la losa de concreto podrá colocarse directamente sobre ella, prescindiéndose así de una sub-base especial; se trata de que la losa de concreto tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable, como para garantizar que no quede localmente con falta de soporte, y para lograr todo ésto es, fundamentalmente necesario determinar la calidad de los materiales, con objeto de establecer las capas que se deberán de formar con éstos, así como los grados de compactación que tendrán que alcanzar como mínimo, y tomando en cuenta para las recomendaciones las condiciones locales de clima y drenaje; además se debe evitar el empleo de materiales de alta plasticidad para que no se produzcan variaciones volumétricas en el suelo soporte.

Los concretos que se utilizan en las losas, suelen ser de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 300 y 400 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tipos de pavimentos de concreto hidráulico.

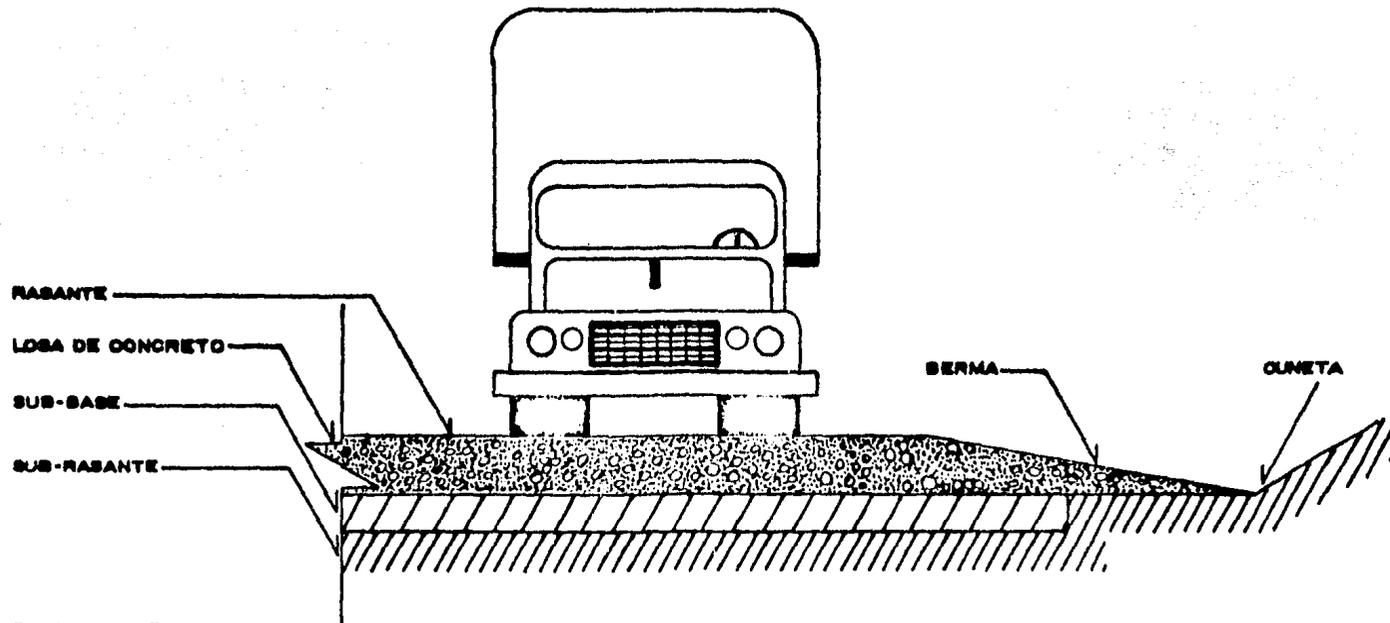
a).- Pavimentos de concreto simple.- Son aquellos cuya resistencia estructural depende exclusivamente de la resistencia del concreto simple y de sus capas de apoyo. En éstos casos los tamaños de las losas varían de 3 a 5 m. por lado, de forma cuadrada, de preferencia.

b).- Pavimentos de concreto simple con refuerzo en las juntas. A diferencia del primero, las juntas de estos pavimentos se entrelazan con varillas para transmitir las cargas unas losas a otras, sin reducir el espesor de las losas.

c).- Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.- - Aquí el refuerzo no está limitado exclusivamente en la zona de juntas. Esto se arma a todo lo ancho y todo lo largo formando una malla continua, para así aumentar la capacidad de carga y, controlar el desarrollo de las grietas en el concreto, no debiéndose reducir el espesor de las losas ya determinado.

d).- Pavimentos de concreto preesforzado.- Este pavimento se usa en casos muy especiales y consiste en el aumento de la capacidad estructural de la losa por medio de un preesfuerzo, reduciendo considerablemente los espesores de la losa y aumentando la separación de las juntas.

e).- Pavimentos de concreto reforzado con fibras cortas de acero.- Estos pavimentos al igual que los dos anteriores son muy caros y de tecnología muy avanzada, por lo que son de muy poco uso en México y en el mundo.



**FIGURA I-1**

**ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO DE CONCRETO**

En consecuencia, de los 5 tipos de pavimentos presentados, los primeros son los más económicos y de mayor uso.

Los pavimentos de concreto hidráulico, además de ofrecer una gran capacidad para distribuir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante y a las terracerías, ofrecen también una gran durabilidad y un bajo costo de conservación.

Los factores que afectan al espesor de las losas de concreto, son principalmente la frecuencia e intensidad de las cargas que ha de soportar, las presiones de inflado de las llantas de los vehículos, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en las losas se utilice.

Un pavimento rígido para cumplir sus funciones como tal, debe satisfacer las siguientes condiciones básicas que son:

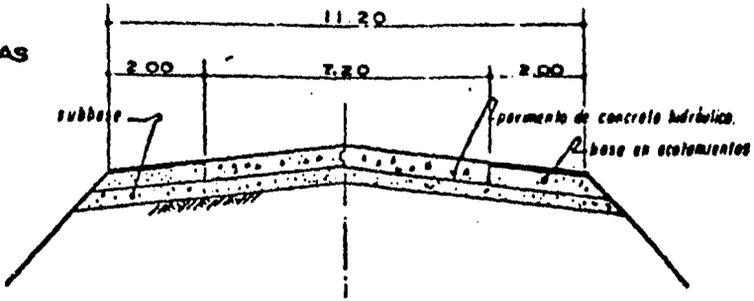
1).- Ofrecer una buena y resistente superficie de rodaje, con la rugosidad necesaria para garantizar la suficiente fricción con las llantas de los vehículos y con el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos.

2).- En segundo lugar, debe poseer la estructuración y resistencia requerida por el proyecto, convenientes para soportar las cargas impuestas por el tránsito sin falla, y si a caso hay deformaciones deberán estar dentro de lo tolerable, de tal manera que se garantice un tráfico en buenas condiciones; obviamente, un pavimento debe ser capaz de soportar los ataques del intemperismo.

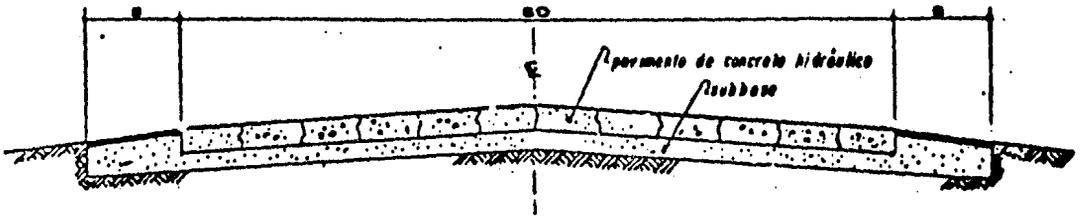
#### I.1.- ESFUERZOS EN PAVIMENTOS RIGIDOS.

Los esfuerzos se analizan en las losas de concreto y -

1. CARRETERAS



2. AEROPUERTOS



3. CALLES

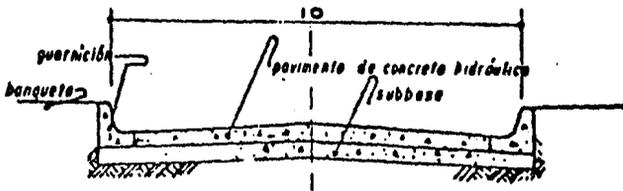


FIGURA I.2

TIPOS DE SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS RIGIDOS

proviene de diversos efectos como son:

a).- Por efecto de las cargas.- Estos esfuerzos son, en general, de los más importantes que pueden producirse.

Aunque la resistencia del concreto a la compresión sea aceptable, los esfuerzos de tensión producidos en la flexión de la losa pueden ser críticos. Para su cálculo se utilizan las fórmulas originalmente obtenidas por Westergaard. Estas fórmulas están sujetas a las hipótesis de que la losa está formada por un material elástico, homogéneo e isótropo, que los esfuerzos de interacción entre la losa y el suelo soporte son verticales a las deflexiones de la propia losa, y que ésta es horizontal y de espesor constante, (consideraciones teóricas).

La segunda hipótesis, se basa en la continuidad que debe existir entre la losa y el material de apoyo; para tal efecto Westergaard, estudió tres condiciones de carga: en esquina, en el borde y en el centro de la losa.

En base a las hipótesis y condiciones mencionadas, el Dr. M.M. Westergaard procedió a la deducción de fórmulas semi empíricas, con la finalidad de poder determinar los esfuerzos provocados por las cargas, y además, otra fórmula para conocer los esfuerzos ocasionados por la diferencia de temperaturas.

Así, para el caso crítico de esquina tenemos la siguiente:

Fórmula:  $S = \frac{3P}{H^2} \left[ 1 - \left( \frac{a\sqrt{2}}{L} \right)^{0.6} \right]$  - - - 1 en la que:  
 H= espesor de la losa.  
 s= Esfuerzo provocado en la losa por la carga P en Kg/cm<sup>2</sup>.

P= Carga en Kg que se aplica a la esquina de la losa.

a= Radio del círculo de área equivalente al área cargada, en centímetros.

L= Radio de rigidez relativa entre la losa y sub-rasante, en centímetros que vale:

$$L = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-u^2)K}} \quad \text{--- 2 donde:}$$

E= Módulo de elasticidad del concreto en Kg/cm<sup>2</sup>.

u= Módulo de Poisson para el concreto con un valor medio de - 0.15

K= Módulo de reacción de la subrasante en Kg/cm<sup>3</sup>; representa la presión necesaria en Kg/cm<sup>2</sup> que debe aplicarse sobre un área circular (cuyo diámetro será de 76.2 y 30.5 cm. en - aeropistas y carreteras respectivamente) para producir un hundimiento de 1.27 centímetros.

A continuación se expone una tabla de valores de L, en cms. para E= 280,000 Kg/cm<sup>2</sup> y u= 0.15

Módulo de reacción K de la sub-rasan- te en Kg/cm <sup>3</sup>	Espesores n de las losas en cms.					
	15	17.5	20	22.5	25	30
1.4	88.4	96.8	109.7	119.9	128.0	148.8
2.8	74.4	81.0	92.2	100.8	107.7	125.0
5.6	62.5	67.6	77.7	84.8	90.2	105.2
8.4	56.6	63.5	70.4	76.7	81.5	95.0
11.2	52.6	58.9	65.3	71.4	77.2	88.4
14.0	49.7	55.9	61.7	67.6	72.9	83.3

Tabla I.1

El Dr. Gerald Pickett, físico investigador de la Asociación de Cementos Portland de los E.U.A. propuso la siguiente fórmula, también para el caso crítico en esquina:

$$S = \frac{4.2P}{h^2} \left[ 1 - \frac{\sqrt{\frac{a}{L}}}{0.925 + 0.22 \frac{a}{L}} \right] \quad \text{--- 3}$$

En esta fórmula las literales indican lo mismo que en la fórmula de Westergaard.

La fórmula de Pickett es aplicable cuando  $\frac{a}{L}$  varíe entre 0.1 y 1.0, valores que encierran probablemente todos los casos que se pueden presentar, y para cuando no hay transferencia de carga de una losa a otra. La carga P usada debe ser igual a la carga estática por eje sencillo dividida entre dos.

Cuando haya transferencia de carga de una losa a otra, la fórmula debe multiplicarse por 0.8 para tomar en cuenta un 20% de transferencia, ya que según comprobaciones prácticas se ha determinado que es de ese orden; y en este caso la fórmula de Pickett queda así:

$$S = \frac{3.36P}{h^2} \left[ 1 - \frac{\sqrt{\frac{a}{L}}}{0.925 + 0.22 \frac{a}{L}} \right] \quad \text{--- 4}$$

Además de la fórmula de Pickett, la cual se ha considerado hasta ahora como la mejor, Bradbury propuso la siguiente, también para caso crítico en esquina:

$$S = \frac{3P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{a}{L} \right)^{0.6} \right] \quad \text{--- 5}$$

b).- Esfuerzos por temperatura.- Estos esfuerzos pueden llegar a significar en la losa, incluso más que los debidos a las cargas, y son principalmente de dos tipos: los llamados de alabeo, que se producen cuando un lecho de la losa, y el otro lecho están a diferente temperatura, ocasionándose un flujo de calor transversalmente a la losa provocado por la restricción impuesta por el suelo de apoyo cuando la losa calentada o enfriada uniformemente, trata de expandirse (calen-

tándose) ó contraerse (enfriándose). Los esfuerzos de alabeo se producen cuando la temperatura ambiente sufre una alteración más o menos brusca, por ejemplo cuando una noche fría sigue un día cálido.

El Dr. Westergaard analizó también el problema de los esfuerzos de combado ó alabeo producidos por diferentes gradientes de temperatura a través de las losas, y propuso la siguiente fórmula:  $Sc = \frac{E \cdot e \cdot t}{2(1-u)}$  - - - 6

En donde:

Sc= Esfuerzo debido al gradiente de temperatura en Kg/cm<sup>2</sup>.

E= Módulo de elasticidad del concreto en Kg/cm<sup>2</sup>

e= Coeficiente de dilatación térmica lineal del concreto (cm/cm/°C) tomando usualmente como  $1 \times 10^{-5}$  cm/cm/°C.

t= Diferencia de temperaturas entre la parte superior y la inferior de la losa en °C.

u= Módulo de Poisson, usualmente 0.15

Los esfuerzos de combado se calculan en los centros de losa, en las esquinas y extremos son despreciables.

Estas fórmulas (Nos. 3 y 4) son aplicables únicamente para el diseño de pavimentos rígidos para carreteras y calles; en pavimentos rígidos para aeropuertos se usan procedimientos especiales que, sin embargo, parte de los mismos principios de Westergaard.

Módulo de elasticidad del concreto (E).- Un resumen de muchas pruebas indica que los módulos de elasticidad del concreto en los pavimentos rígidos, son aproximadamente de 1000 veces su resistencia a la compresión y varía de 280,900 a 421,800 Kg/cm<sup>2</sup>. Los valores usualmente para efectos de diseño andan entre 316,500 y 351,500 Kg/cm<sup>2</sup>.

Módulo de Poisson para el concreto ( $\mu$ ).- Con base en los resultados de muchas pruebas, se ha determinado que la variación que debe esperarse queda entre 0.10 y 0.20. La cifra promedio de 0.15 es generalmente adoptada para fines de diseño.

c).- Existen otros esfuerzos posibles en la losa de concreto tales como los de fraguado inicial, los causados por cambios de humedad en el concreto, o los de infiltración debidos al acuñamiento de agregados y materias extrañas en las grietas que pueden formarse en la losa, pero en general estos esfuerzos son de pequeña magnitud y no suelen tomarse en cuenta en los análisis respectivos.

#### 1.2.- COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO BAJO CARGAS EN MOVIMIENTO.

Con la finalidad de conocer el comportamiento de los pavimentos rígidos, bajo cargas en movimiento, se llevaron a cabo en Maryland E.U.A., prácticas experimentales de campo en un tramo de carretera de 1.8 Km. de longitud, ancho de 7.32 m y con espesores de 22.9 cm. en los extremos y 17.8 cm. en el centro, esta serie de experimentos fueron realizados por once departamentos de carreteras estatales de los E.U.A.

La sección de pruebas se dividió longitudinalmente y transversalmente para formar cuatro unidades diferentes. Una de éstas se sometió a cargas aceleradas por medio de camiones con cargas de ejes traseros de 8165 Kg. La sección a lo largo de un lado fue cargada con 10160 Kg. sobre ejes sencillos traseros. Las secciones en el otro extremo llevaron 14,514 Kg. y 20,321 Kg. respectivamente, sobre ejes tándem. Los camiones operaron 24 hrs. diarias durante 7 días. Se midieron esfuerzos en el pavimento a varias velocidades entre la correspondiente a la iniciación del pavimento y 40 metros por hora (mph), para cargas en las orillas exteriores del pavimento y

en las orillas de las juntas transversales. En la orilla exterior, los esfuerzos disminuyeron 30% cuando las velocidades del camión aumentaron de cero a 40 mph. En la orilla de la junta transversal, los esfuerzos fueron 15% menores, a 40 mph. Posteriormente se colocaron bordos de 3/4", transversalmente al pavimento, para simular dislocaciones en las juntas, y los esfuerzos disminuyeron todavía más, en vez de aumentar como era de esperarse.

Resultados similares fueron reportados de la prueba de la AASHO (AASHO Road Test). Estas reducciones de esfuerzos, para cargas en movimiento, se comprenden cuando se recuerda que las cargas estáticas deben aplicarse durante un cierto período de tiempo, para que se produzca el esfuerzo máximo. En las pruebas efectuadas en Arlington, E.U.A., este período fué de 5 minutos aproximadamente.

### 1.3.- INFLUENCIA DEL CLIMA EN EL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

El principal factor climático que afecta a los pavimentos suele ser la precipitación pluvial, ya sea por su acción directa o bien por la elevación de las aguas freáticas. Frecuentemente el proyectista se ve obligado al diseño y construcción de estructuras adicionales de drenaje, aparte del drenaje normal que nunca deberá faltar en la obra vial o al empleo de diseños especiales para el pavimento.

Las heladas, en los climas rigurosos y en suelos susceptibles pueden ser fuente de un gran número de problemas en pavimentos; sin embargo en México, ésta condición no es crítica. Las variaciones en la temperatura afectan los diseños, sobre todo en las losas de concreto, ya que inducen esfuerzos de bastante consideración en tales estructuras.

Cuando se elabora concreto en épocas de invierno, se presentan numerosos problemas que hacen necesaria una planeación anticipada. Antes de iniciar los trabajos deben tenerse a la mano los materiales para la protección de la subrasante y las capas de base y para el curado del concreto.

En el caso de climas cálidos también es necesario que durante la fabricación del concreto, se tomen las precauciones debidas para colocarlo a la mínima temperatura que sea práctica. Las temperaturas del concreto deben ser controladas para asegurar su adecuada colocación, compactación, acabado y curado, y para evitar el agrietamiento debido a contracciones plásticas del propio concreto.

Cuando el clima es frío, es conveniente pedir el concreto calentado, de tal manera que al mezclarlo su temperatura no descienda a menos de 10 °C durante el colado, acabado y curado. Existe peligro de congelación cuando la temperatura ambiente es inferior a 4.5°C, el concreto debe mantenerse caliente durante el curado, para lograrlo pueden usarse cubiertas aisladoras de 30 ó 60 cms. de paja seca. La paja se deberá cubrir con lona, papel impermeable o plástico para mantener la seca y en su sitio, la eficacia de la protección puede comprobarse poniendo un termómetro bajo la cubierta; los bordes y las esquinas de las losas son las más propicias a la congelación, y deben protegerse cuidadosamente.

Durante el tiempo frío puede usarse concreto de rápido endurecimiento (R.R.) empleado para su elaboración cemento tipo III o bien añadiendo 59.3 Kgs. de cemento normal tipo I por cada m<sup>3</sup> de concreto, obteniendo con todo esto, la aceleración en el tiempo de fraguado, la adquisición de resistencia prevista, el período de curado de 7 a 3 días; procurando cuidadosamente que el concreto se mantenga a una temperatura mínima de 10°C durante los 3 días de curado.

En tiempo caliente por lo general es necesario tomar precauciones especiales para evitar la rápida pérdida de humedad superficial del concreto (evaporación rápida del agua) ya que esto puede causar dificultades en el acabado y grietas de contracción plástica en el concreto fresco poco después de colado.

Para evitar estos problemas es recomendable tomar las siguientes medidas:

- a).- Mejorar la sub-rasante y los moldes.
- b).- Reducir al mínimo el tiempo de acabado empleando suficiente mano de obra.
- c).- Instalar toldos y rompevientos.
- d).- Usar cubiertas temporales como arpillería mojada u hojas de plástico durante el acabado, descubriendo cada vez solo una pequeña área, precisamente adelante de los operarios que estén haciendo el acabado.
- e).- Usar pequeños rociadores de niebla para evitar la evaporación en el concreto, y por último.
- f).- Dar principio al curado tan pronto como sea posible, usando métodos de humedecimiento continuo o compuestos blancos para el curado. Cuando el clima es muy caliente y seco, deberá pensarse en la conveniencia de hacer los colados y acabados durante las primeras horas de la mañana o en las últimas horas de la tarde.

#### I.4.- EL FENOMENO DE BOMBEO EN LOS PAVIMENTOS RIGIDOS.

El fenómeno de bombeo es un efecto con mucha frecuencia e indeseabilidad en los pavimentos rígidos, y se puede definir como la expulsión de agua y suelo de la subrasante a través de las juntas y grietas y a lo largo de los bordes de-

las losas de concreto, causada por las de flexiones de dichas placas al paso de los vehículos pesados en presencia de agua libre en la subrasante, y a la vez, es ésta la forma en que se manifiesta físicamente:

La forma como se origina éste fenómeno es la siguiente: Cuando la carga del tránsito pasa sobre una grieta o junta de la losa, ésta desciende y transmite presión al material bajo ella; si el suelo está muy húmedo o saturado la mayor parte de dicha presión la toma el agua que tenderá a escapar por la grieta o junta; inmediatamente después de pasar la carga, la losa se recupera, levanta, y este movimiento produce una succión que ayuda al movimiento del agua bajo la losa. Si el agua tiene capacidad de arrastrar partículas del suelo, saldrá sucia, creando progresivamente un vacío bajo la losa (caverna) que tiende a hacer que el fenómeno se acentúe; todo esto le produce un remoldeo al suelo, formándose a la vez un lod o suspensión con el agua, agudizando toda vía más dicho fenómeno; ocasionando todo el proceso anterior la ruptura de la losa bajo carga, por falta de sustentación.

Este fenómeno se presenta generalmente cuando existe material de soporte muy fino, principalmente del tipo CH que son arcillas inorgánicas de alta plasticidad, CL que son arcillas de baja o mediana plasticidad con algo de grava, MH que son limos inorgánicos, elásticos, micaceos, ML que son limos arenosos o arcillosos y los suelos PT que son turbas con alto contenido de materia orgánica.

Ahora si los suelos en que se apoya la losa son granulares (gravas cementadas) y no han sido lo suficientemente compactados, puede producirse en ellos un fenómeno muy similar al bombeo, combinado con densificación (separación de partículas por falta de compactación y efectos del agua) de análogos efectos destructivos.

Para evitar el fenómeno de bombeo en los pavimentos rígidos, se recomienda que la capa de la sub-base esté constituido por materiales básicamente no susceptibles al bombeo, - los cuales deben satisfacer las siguientes características.

El tamaño máximo de los materiales constitutivos no debe ser mayor que  $1/3$  del espesor de la sub-base.

La sub-base no debe contener más del 15% de material - que pase por la malla No. 200.

El índice de plasticidad del material constitutivo debe ser menor de 6.

El límite líquido del material constitutivo debe ser - menor que 25%.

Para evitar los efectos de densificación, la sub-base se deberá compactar al 100% de su peso volumétrico seco máximo (PVSM), obtenido de la prueba de laboratorio AASHTO estándar.

#### I.5.- FUNCIONES DE LA SUB-BASE EN LOS PAVIMENTOS RIGIDOS.

Originalmente los pavimentos rígidos eran construidos directamente sobre la sub-rasante, pues se consideraba que, - independientemente del suelo que la conformara, ella era adecuada para soportar las cargas impuestas por el tráfico. Sin embargo, el rápido incremento en la magnitud y frecuencia de vehículos pesados puso en evidencia que la vida útil del pavimento estaba estrechamente condicionada a la estabilidad de - la sub-rasante, uno de cuyos principales problemas es el fenómeno del bombeo, que consiste en la expulsión de agua y suelo de la sub-rasante a través de las juntas y grietas y a lo-

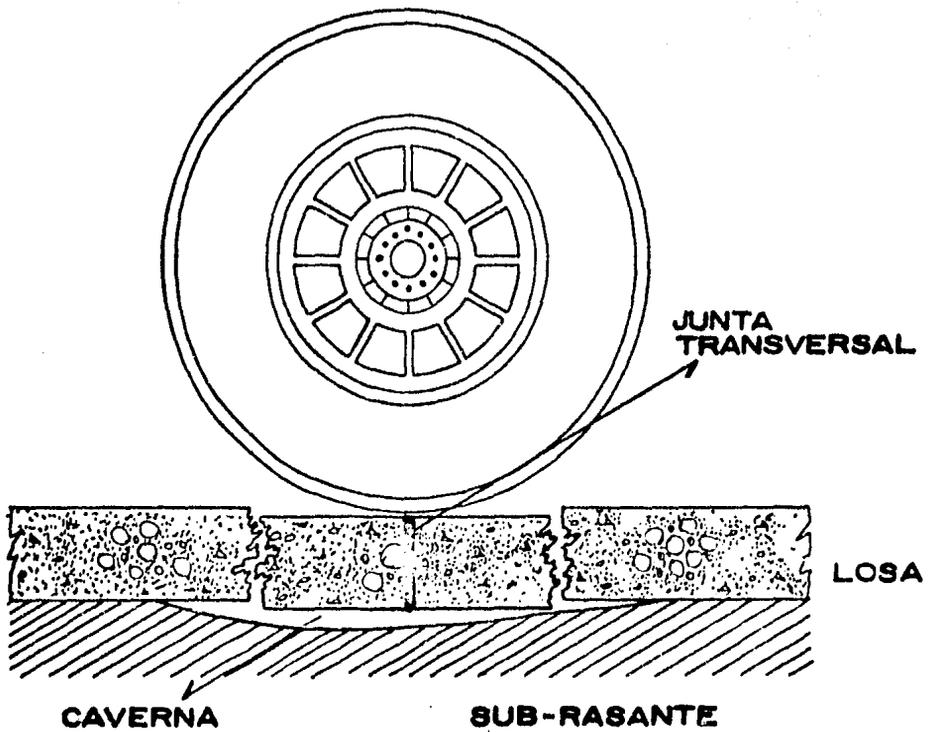


FIGURA I-3

VACIO BAJO EL PAVIMENTO DEBIDO A LA ACCION DEL FENOMENO DE BOMBEO.

largo de los bordes de las placas de concreto, causada por de flexiones de dichas placas de concreto al paso de los vehículos pesados en presencia de agua libre en la sub-rasante.

El fenómeno de bombeo ha sido ratificado en los ensayos viales ejecutados por la AASHO. Estas investigaciones, - así como la observación de pavimentos en servicio, han permitido llegar a la conclusión de que el único control efectivo del bombeo es la colocación de una capa de material granular o estabilizado entre el pavimento y la sub-rasante y que se - denomina sub-base, cuyas principales funciones en los pavimen- tos rígidos son:

- a).- Proporcionar un apoyo uniforme a la losa de con- creto.
- b).- Incrementar la capacidad portante de los suelos - de apoyo respecto a la que es común en las terracerías y capa sub-rasante.
- c).- Reducir a un mínimo las consecuencias de los cam- bios de volumen que puedan tener lugar en el sue- lo que formen las terracerías ó sub-rasante.
- d).- Reducir al mínimo las consecuencias de la congela- ción en los suelos de las terracerías o de la ca- pa sub-rasante.
- e).- Y como ya se mencionó anteriormente, evitar el fe- nómeno de bombeo.

Para poder desempeñar adecuadamente todas éstas funcio- nes, el material de la sub-base tendrá que ser de tipo granu- lar, relativamente grueso, de granulometría apropiada y per- fectamente bien compactado, es decir que cumpla con las espe- cificaciones generales de construcción. Cuando se dispone de- materiales que no satisfagan dichas normas, se procede a esta- bilizarlos, generalmente con cemento ó cal, para mejorar su - comportamiento especialmente en la referente al bombeo y sus-

ceptibilidad a cambios volumétricos, además de permitir la conformación de una superficie de apoyo sin accidentes y garantizar una apropiada resistencia.

Los esfuerzos que le son transmitidos a la sub-base son mínimos, debido a la rigidez de las losas de concreto sin embargo, sí necesitan éstas apoyarse uniformemente sobre aquélla durante toda la vida del pavimento, para que el comportamiento de dicho pavimento sea eficiente.

Se deberá evitar el uso de materiales susceptibles a expansiones considerables, ya que al perder humedad, se producen fuertes contracciones, restándole apoyo a la losa de concreto.

Con respecto a la humedad idónea de compactación, ésta deberá fijarse en cada caso, atendiendo a las condiciones climáticas y construcciones prevalecientes, por lo que el mejor criterio será siempre referir el contenido de agua de compactación al óptimo de campo y no al de ninguna prueba de laboratorio.

Para intensidades de tránsito superiores a 1000 vehículos pesados por día, se recomienda que la sub-base, cumpla los siguientes requisitos, adicionalmente al hecho de estar constituida por materiales básicamente no susceptibles al bombeo, y compactados al 100% de su P.V.S.M., según prueba por ter estándar. El tamaño máximo de los materiales constitutivos no deberá ser mayor que 1/3 del espesor de la sub-base. La sub-base no debe contener más del 15% de material que pase por la malla No. 200.

El índice de plasticidad del material constitutivo debe ser menor que 6.

El límite líquido del material constitutivo debe ser menor de 25%.

## CAPITULO II.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

El propósito del diseño de pavimentos rígidos, es el mismo que se persigue en otras estructuras ingenieriles: encontrar los espesores apropiados de las capas que constituyen la estructura, (principalmente de la losa de concreto) de tal manera que implique costos de mantenimiento mínimos o de ser posible nulos, ofreciendo un funcionamiento óptimo, durante su vida de proyecto.

La resistencia del concreto para pavimentos rígidos se mide por su resistencia a la flexión en base a una propiedad llamada módulo de ruptura MR., que se determina mediante ensayes de resistencia a la flexión del concreto, empleado vigas de concreto simple con carga en el centro y a los tercios del claro, (como se detallará perfectamente en la parte correspondiente a pruebas de laboratorio).

Para diseñar adecuadamente las losas de concreto simple el ACI, recomienda que: el módulo de ruptura no sea menor a los 45 Kg/cm<sup>2</sup>, la resistencia a la compresión debe ser igual o mayor a 300 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad, y que el revenimiento del concreto sea de 6 cms. con una tolerancia de más o menos 2.5 cms. y que después de la descarga, el concreto deberá mantener dicho revenimiento durante 15 minutos, mínimo ; - para tal efecto normalmente se utilizan aditivos retardantes.

### Materiales.-

- a) Cemento.- Este deberá cumplir con las especificaciones de la ASTM, de acuerdo al tipo de cemento que se trate.
- b) Agregados inertes.- Representan aproximadamente el 80% del peso del concreto. Su calidad se determina-

mediante pruebas de laboratorio para cotejar si cum  
plen con las especificaciones generales de construcci  
ón.

Los agregados gruesos se componen de piedra o grava --  
triturada cuyas partículas deben estar limpias, predominando  
la forma angulosa, ya que así se va a emplear una cantidad me  
nor de cemento durante la elaboración del colado.

Los agregados finos deben estar exentos de elementos -  
perjudiciales que demeriten la buena funcionalidad del concreto. La arena de alta calidad juega un papel importante en los  
pavimentos rígidos, pues proporciona a éstos una aceptable re  
sistencia a la tensión.

Dosificación de los agregados.- La dosificación de es-  
tos materiales se hace en la obra. Generalmente por volúmen,-  
empleando como unidad de medida para el cemento el saco (50 -  
Kg).

- c) Agua.- El agua que se utilice para el mezclado del-  
concreto debe estar libre de sal, ácidos y material  
vegetal. El agua potable se considera óptima para -  
la fabricación del concreto.
- d) Aditivos.- La función de los aditivos es modificar -  
las propiedades del concreto a fin de obtener un --  
concreto hidráulico más durable, resistente y trabaja  
ble. Los aditivos pueden ser: reductores de agua,  
fluidizantes, retardantes, acelerantes, etc. Los -  
más empleados son los inclusores de aire, ya que --  
tienen la propiedad de reducir el agua y en general  
aumentan notablemente la durabilidad del concreto.-  
( El contenido de aire no debe ser mayor a 3%).

### Compactación del concreto.

Al colocar el concreto sobre la sub-base ó sub-rasante, éste atraparé una cantidad de aire perjudicial para su resistencia. Para expulsar este aire, concreto se vibra mecánicamente para compactarlo, procurando no mantener el vibrador en el mismo lugar por más de 15 segundos.

Curado del concreto.- El curado correcto es una medida de asegurar su resistencia, ya que un descuido puede ocasionar que el concreto pierda hasta un 50% de su resistencia.

El curado debe iniciarse al momento de terminar el acabado de la superficie del concreto; las diferentes maneras de curar el concreto son:

- a) Con lámina de agua
- b) Con arena o paja humedecida
- c) Con papel impermeable para curado
- d) Con mantas de algodón humedecidas
- e) Con membranas (pintura).

### II.1.- PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS.

La información de partida o parámetros de diseño presentan las condiciones bajo las cuales el pavimento debe funcionar adecuadamente durante vida de proyecto; estos parámetros son los siguientes:

#### II.1.1.- CARACTERISTICAS DEL TRANSITO.

El tránsito es uno de los parámetros más importantes en el diseño de una vía. En efecto, el volumen y dimensiones de los vehículos que la utilizarán condicionan su diseño geo-

métrico (número y ancho de carriles, pendientes, radios de -- curvatura, ancho de bermas, etc.), en tanto que el número y - el peso de los ejes de esos mismos vehículos son factores de -- terminantes de la estructura del pavimento (espesores de ba-- ses y subbases, calidad de materiales, etc.).

En virtud de la grán diversidad de vehfculos terres- - tres que transitan actualmente por las obras viales, se ha -- visto la conveniencia de dividirlos y clasificarlos según su -- tipo y de acuerdo a la siguiente forma:

1.- Vehfculos ligeros.- Dentro de esta división están -- los automóviles y camionetas y para su distinción se simboliz -- an con la letra A, son vehículos de carga y/o pasajeros, que -- tienen dos ejes y ruedas sencillas.

2.- Vehfculos pesados.- Esta división pertenece a los -- autobuses y se simbolizan con la letra B; dentro de esta divi -- sión también están los camiones de dos o tres ejes con arre -- glos duales en el eje trasero y se simbolizan con la letra C; -- en esta división además están los trailers, con tractor, semi -- remolque y remolque cuya simbolización es con las letras T, S, -- y R. según su caso respectivamente; estos vehículos poseen -- dispositivos en tándem, excepto el T2-S1 que es de tractor y -- remolque con sistema dual en el eje más trasero.

3.- Vehfculos especiales.- Son aquellos que transporta -- rán y/o cruzarán la vía a pavimentar, tales como: camiones y -- remolques especiales para el transporte de troncos, minerales, -- maquinaria pesada, etc.

En la tabla II.1 se muestra la clasificación de vehfclu -- los terrestres, la cual ha sido propuesta por la S.C.T, y es -- la que se utiliza actualmente para el diseño de pavimentos.

### Características de aeronaves.

Las características necesarias para diseñar pavimentos en aeropistas son las siguientes:

- 1.- Peso máximo de despegue.- Es el peso total de la aeronave tomando en cuenta el peso propio, peso de los pasajeros, la tripulación, carga y equipajes.
- 2.- La distribución de la carga.- Esta distribución se reparte entre la nariz y el tren principal de la aeronave.
- 3.- Presión de las llantas
- 4.- Area de contacto por rueda
- 5.- Geometría del tren de aterrizaje.

Estas características nos permitirán hacer el estudio de la distribución de esfuerzos en el pavimento de las aeropistas. En la tabla II.2 se muestran las características de algunos modelos de aeronaves de mayor uso actualmente.

#### II.1.1.2- DETERMINACION DEL TRANSITO ACTUAL.

El objetivo de determinar el tránsito actual de una obra vial, es conocer los tipos de vehículos, la cantidad y peso de los mismos.

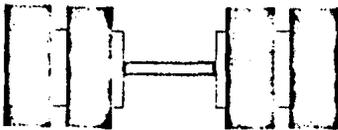
Para obtener el tipo de vehículos que transitan actualmente por la vía, se recurre al uso de aforadores manuales, los cuales nos dan el número y tipo de vehículos circulantes con los cuales podemos proyectar los pavimentos. El tráfico se mide por medio del número de vehículos que pasan por una estación y se denomina volumen de tráfico.

FIGURA II-1

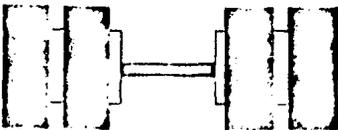
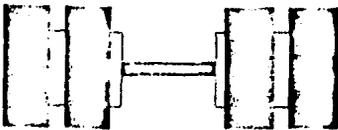
TIPOS DE EJES DE VEHICULOS



EJE SENCILLO CON RUEDA SENCILLA.



EJE SENCILLO CON RUEDA DOBLE.



EJE TANDEM.

VEHICULOS LIGEROS

Son aquellos de menos de 5 ton. de capacidad tales como automóviles, camionetas, camperos, etc.

VEHICULOS PESADOS

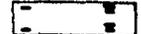
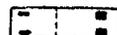
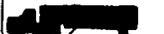
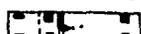
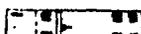
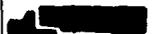
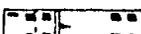
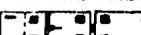
Son aquellos de más de 5 ton. de capacidad tales como camiones, autobuses, remolques, etc.

EJE SENCILLO

Es un eje en cada uno de cuyos extremos lleva una o dos ruedas sencillas.

EJE TANDEM

Es aquel constituido por dos ejes sencillos con rueda doble en los extremos.

TIPO DE VEHICULO	NUMEROS	ESQUEMAS		SIMBOLS		
		PERFIL	PLANTA			
VEHICULOS LEVES	AUTOMOVILES			Ap		
	CAMIONETAS			Ac		
VEHICULOS PESADOS	AUTOBUSES			B		
	CAMIONES	2			C2	
		3			C3	
		3			T2-S1	
		4			T2-S2	
		5			T3-S2	
		5			T2-S1-R2	
		OTRAS COMBINACIONES				
		VEHICULOS ESPECIALES	CAMIONES Y/O REMOLQUES ESPECIALES	VARIABLE		E <sub>c</sub> variable
	MAQUINARIA AGRICOLA					
BICICLETAS Y MOTOCICLETAS						
OTROS						

**TABLA II.1.-Propuesta por la S.C.T. para el diseño de pavimentos**

CARACTERÍSTICAS DE CARGA DE LAS AERONAVES USUALES										
TIPO DE AERONAVE	BOEING 747	DC - 8	BOEING 707	COMET	BOEING 727	DC - 9	DC - 6	DC - 4	DC - 3	
PESO MÁXIMO AL DESPEGUE (TON.)	332.9	162.4	152.5	73.5	78.5	52.2	48	33	12.2	
DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA (TON.)	NARIZ	22.9	8.0	10.7	3.2	6.3	2.9	2.1	0.6	
	TREN PRINCIPAL	3300	154.4	141.8	70.3	72.2	45.9	31.4	11.6	
PRESIÓN DE LAS LLANTAS Kg/cm <sup>2</sup>	1301	13.7	12.7	11.8	11.8	9.1	7.45	5.8	3.6	
ÁREA DE CONTACTO POR RUEDA (cm <sup>2</sup> )	1588	1009	1396	748	1830	1354	1540	1427	1687	
GEOMETRÍA DEL TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL (cm)	S	112	55	88	49	86	66	76	76	-----
	3c	147	140	142	114	-----	-----	-----	-----	-----
	L	89	52	52	38	54	51	54	52	56
	W	33	31	31	22.5	32.5	30	33	31	34
DISPOSICIÓN DE LAS LLANTAS										

TABLA II.2 ; Características de algunos modelos de aeronaves.

Un computo de 24 horas tomado de lunes a viernes, permite el cálculo de tráfico diario promedio anual (TDPA). Para el proyecto de pavimentos, todas las variables de tránsito deben de reducirse a un concepto constante o que por lo menos puede ser manejado en fórmulas matemáticas ó en criterios de diseño de un modo cómodo e integral.

#### II.1.1.3 .- METODOS DE AFORO.

Actualmente existen varios métodos para aforar el tráfico, pero los más usuales son los que a continuación se describen:

3.1.- Método Manual.- Consiste en determinar los datos de tránsito mediante personal de campo conocido como aforadores manuales; se utiliza este método cuando la información de seada no puede obtenerse por medio de dispositivos mecánicos, y esto ocurre cuando las malas condiciones del tiempo interfiere con el uso de contadores mecánicos de tránsito y es en tonces cuando se hace más neceraria la aplicación de este método, el cual se lleva a cabo en tiempos de 24 horas en 3 turnos de 8 horas de lunes a viernes, obteniendo de todo este estudio: la clasificación de vehículos por tamaño, tipo, número de ocupantes y algunas otras características.

Las ventajas de este método son: gran exactitud, mayor información y simplificación del cálculo de gabinete y dentro de sus desventajas se pueden citar: mayor costo y los recuentos se limitan a períodos cortos o en lugares donde es la única forma de realizarlos.

3.2.- Registrador de plumas múltiples.- Se trata de un diagrama de movimiento, que se mueve a una velocidad fija, la que proporciona el dato del tiempo base para medir los volumenes del tránsito y registrarlos. Las plumas son accionadas por

los vehfculos; los impulsos son registrados sobre un papel ra yado en forma de un diagrama de tiempo continuo, lo que constituye un archivo permanente de datos.

Este método arroja una información muy detallada, pero su transcripción y análisis son muy caros y consumen mucho tiempo, es utilizado sólo en casos especiales.

3.3.- DISPOSITIVOS MECANICOS.- Son los más usados, existiendo un dispositivo apropiado para cada clase de obra vial, situación del tránsito y condiciones del medio ambiente.

Las funciones de un dispositivo mecánico son: detectar o percibir el tránsito y realizar un acopio de datos del tránsito. La potencia útil enviada a través del detector, es usualmente un impulso eléctrico Este impulso es a su vez amplificado o enviado directamente a un registrador acumulativo ó a un diagrama, para su registro; el detector puede estar separado del acopio de datos.

Existen diferentes principios para detectar los vehículos actualmente, entre ellos están: detectores neumáticos que se trata de un tubo flexible atravesado en el camino, fijo al pavimento y formando un ángulo recto con relación a la trayectoria de los vehículos; otro principio para detectar al tránsito es por medio de un detector eléctrico de contacto, que consiste en una placa de acero cubierta por una capa de hulevulcanizado y moldeado que contiene una tira de acero flexible.

Las características de tránsito necesarias para el proyecto del pavimento son:

a) Periodo de proyecto.- Es el tiempo en años que se considera adecuada para que el proyecto garantice la amortiza

ción del pavimento. Tanto en México como en E.U.A. se toman - períodos de 20 a 40 años.

b) Volúmen actual del tránsito.- Este dato se determina mediante el uso de cualquier método de los ya explicados.

$TMD. = r\bar{T}\bar{D}$  en donde:

$TMD.$  = Tránsito diario medio actual que representa el volúmen actual del tránsito es igual al número de vehículos en ambos sentidos por día.

$\bar{T}\bar{D}$  = Número promedio de vehículos que pasan diariamente, en ambos sentidos por el proyecto.

$r$  = Factor de reducción o ajuste estadístico del promedio de observaciones diarias ( $\bar{T}\bar{D}$ ), cuyo valor varía entre 0.78 y 0.96. El valor que se escoja dependerá de la con fiabilidad de los resultados del aforo.

#### II.1.1.4.- Factor de proyección.-

El volúmen actual del tránsito, obviamente se verá incrementado en el futuro por una serie de circunstancias, en consecuencia el volúmen de proyecto deberá ser mayor que el actual.

El factor de proyección se determina mediante la siguiente fórmula:  $F_p = (1+t)^n$  de donde:  $t$  = incremento anual, en fracción, y  $n$  = número de años de proyecto.

El factor de proyección del tránsito, es aquel valor que toma en cuenta todos estos aspectos, y el incremento anual del tránsito, en % se expone en la tabla II.3

Incremento anual del tránsito en %	Factor de Proyección para 20 años	Factor de proyección promedio pasado para 40 años.
1.0	1.2	1.2
1.5	1.3	1.3
2.0	1.5	1.5
2.5	1.6	1.7
3.0	1.8	1.9
3.5	2.0	2.2
4.0	2.2	2.5
4.5	2.4	2.8
5.0	2.7	3.2
5.5	2.9	3.6
6.0	3.3	4.1

Tabla II.3

## II.1.1.5.- Volúmen de tránsito de diseño.

Este es igual al número total de camiones pesados que pasan en un solo sentido por el carril más crítico durante el periodo de proyecto.

$$V_t = \frac{TMD \times F_p}{2} \times \frac{TCP}{100} \times \frac{CCD}{100} \times 365 \times n \quad \text{en donde:}$$

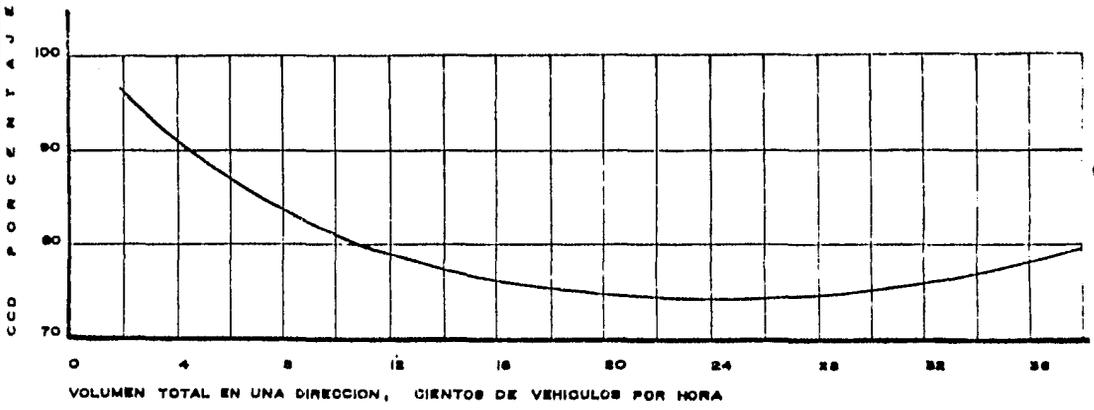
$V_t$  = Número total de camiones pesados en un solo sentido;  $n$  = Período de proyecto en años.

TMD=Tránsito medio diario actual.

$F_p$  = Factor de proyección

TCP=Tránsito de camiones pesados y se expresa (TMD%)

CCD=Corrección carril derecho %, este valor se obtiene por medio de la gráfica 11.2 con cientos de vehículos por hora (VPH) en una sola dirección, que es igual a:  $VPH = \frac{TMD \times F_p}{2 \times 24 \times 100}$



**GRAFICA 11-2** Porcentajes de camiones en el carril derecho para carreteras de cuatro carriles.

#### II.1.1.6.- DISTRIBUCION DE CARGA-EJE.

Hasta el número anterior, solo se conoce el número total de camiones pesados, pero no su forma de distribuir sus cargas, ni los diferentes tipos de ejes que componen esta distribución.

Es muy importante conocer las cargas de cada eje (sencillo y/o tándem) para poder estimar durante el período de diseño, el número de ejes esperados para cada intensidad de carga, y así conocer la fatiga con que cada eje participará en la falla planeada.

La tabla II.4 que a continuación se expone está integrada por un reporte típico de tránsito que a su vez está constituido por el número de unidades, tipo de unidades y número de ejes. Verticalmente se clasifica en ejes sencillos y en ejes tándem con toda la variedad de intervalos de carga observados.

Los resultados importantes de estos reportes son el conteo de vehículos y el de ejes con un aforador de manguera; la determinación del peso es por medio de una báscula especial de los ejes de un número de vehículos (cargados y vacíos) que se muestréa estadísticamente para no detener el tránsito.

Posteriormente, mediante los resultados obtenidos durante la observación de las estaciones de aforo se estima el número de ejes probables que cada grupo, según su composición de unidades y el intervalo de carga, presentó. A la última columna de la tabla se le denomina la distribución carga-eje del tránsito.

Clasificación de ejes, 11- bras.      Camiones de una unidad.      Unidades de un tractor semi-remolque trailer.      Unidades de camión y trailer por cada 1000 vehículos      Número de ejes

(1) (2) (3) (4) (a)      (1") (a")

## Ejes sencillos

Abajo 3,000	200	39	17	-	1967	-	-	-	-	11	104	1,014.2
3,000- 6,999	48	29	130	6	1088	-	4	3	42	12	110	607.1
7,000- 7,999	-	-	21	5	123	-	-	-	-	-	-	60.3
8,000-11,999	1	1	40	12	256	1	2	7	66	-	-	157.8
12,000-15,999	-	-	13	5	109	2	1	-	41	-	-	73.5
16,000-17,999	-	-	5	-	22	-	-	-	-	-	-	10.8
18,000-18,500	1	-	2	-	18	-	-	-	-	-	-	8.8
18,501-19,999	-	-	2	-	9	-	-	-	-	-	-	4.4
20,000-21,999	-	-	3	-	13	-	1	-	7	-	-	9.8

## Total de ejes sencillos

pesados...	250	70	238	28	-	3	8	10	-	23	-	-
------------	-----	----	-----	----	---	---	---	----	---	----	---	---

## Total de ejes sencillos

contados...	2314	70	1064	157	3605	51	54	51	156	214	214	-
-------------	------	----	------	-----	------	----	----	----	-----	-----	-----	---

## Ejes en Tándem

Abajo- 6,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,000-11,999	2	11	-	-	-	-	4	21	-	-	-	15.7
12,000-17,999	8	45	-	-	-	2	6	44	-	-	-	43.6
18,000-23,999	5	28	-	-	-	1	3	22	-	-	-	24.5
24,000-29,999	3	17	-	-	-	-	2	10	-	-	-	13.2
30,000-31,999	1	5	-	-	-	-	1	5	-	-	-	4.9
32,000-32,500	-	-	-	-	-	-	1	5	-	-	-	2.4
32,501-33,999	3	17	-	-	-	-	1	5	-	-	-	10.7
32,000-35,999	2	11	-	-	-	-	1	5	-	-	-	7.8
36,000-37,999	3	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.3
38,000-39,999	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9
40,000 41,999	-	-	-	-	-	1	1	12	-	-	-	5.9

Total de ejes en tándem pesados...	28	-	4	20	-	-
Total de ejes en tándem contados	157	157	27	102	129	-
Total de vehí- culos contados	1157	35	532	157	1881	17 27 51 95 66 66

TABLA II.4.- Datos de distribución carga-eje de un resumen de 18 estaciones de aforo para un proyecto típico.

La explicación de los números y letras entre paréntesis es la siguiente:

- 1.- Camionetas Pickup y panels con peso menor a una tonelada.
- 2.- Otras unidades de 2 ejes y 4 llantas
- 3.- Otras unidades de 2 ejes y 6 llantas
- 4.- Unidades de 3 ejes o más
- a.- Número probable de camiones de 1 unidad
  - 1'- De 3 ejes
  - 2'- De 4 ejes
  - 3'- De 5 ejes o más
- a'- Número probable de unidades de un tractor semitrailer
  - 1"- De 4 ejes
- a"- Número probable de unidades de camión y trailer

II.1.2.- Módulo de reacción de la Sub-rasante (K).- Es la propiedad de apoyo que ofrece la sub-rasante al tránsito y se define como la pendiente de la gráfica carga-deformación, obtenida en el campo por medio de la prueba de placa (cuyo -- diámetro es de 76.2 y 30.5 cm. para aeropistas y carreteras -

respectivamente). Las unidades de este módulo son Kg/cm<sup>3</sup>.

Este dato generalmente no se obtiene en el campo debido a que las terracerías no tienen las condiciones de humedad crítica necesaria para efectuar la prueba, y además porque la sub-rasante no se ha construido todavía.

La forma de obtener dicho valor es correlacionado los índices de resistencia, VRS estándar, valor R de estabilidad y la clasificación del mencionado suelo y a través de la figura II.3, la cual se presenta exclusivamente con fines de establecer criterios comparativos.

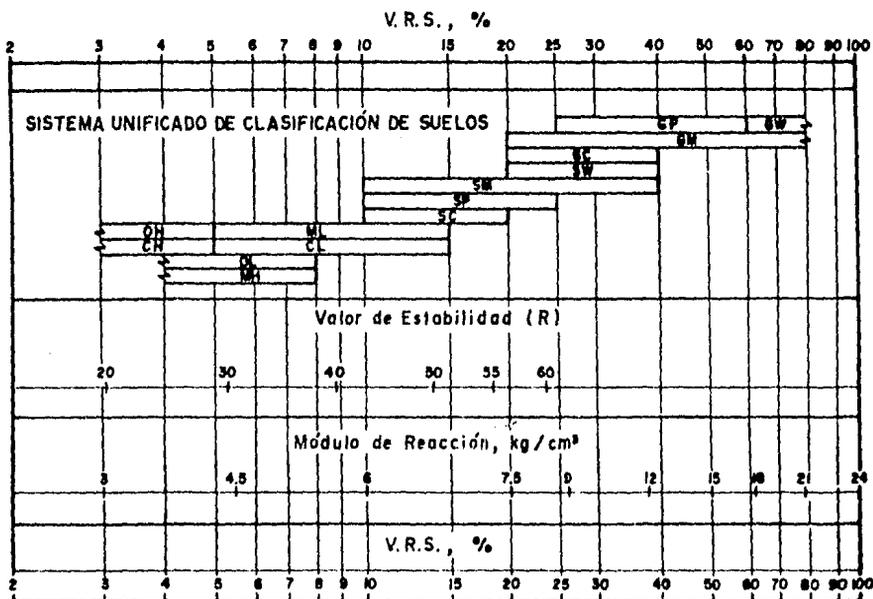


FIGURA II.3.- Gráfica para determinar el módulo de reacción K de un suelo, tomando como base los índices de resistencia, VRS estándar, valor R de estabilidad y la clasificación del mencionado suelo, basándonos en este caso en el SUCS.

El valor estimativo se corrige por el efecto que la sub-base proporciona al apoyo de la losa de concreto; la tabla II.5 proporciona el valor combinado  $K_c$ , dado el espesor de la Sub-base granular y el valor  $K$  de la Sub-rasante; o también se puede obtener este valor por medio de la gráfica II.4

K Sub-rasante Kg/cm <sup>3</sup>	Espesor de la Sub-base en cms.			
	10.0	15.0	22.5	30.0
1.4	1.8	2.1	2.3	3.0
2.7	3.6	3.8	4.4	5.2
5.5	6.0	6.3	7.4	8.8
8.2	8.8	9.1	10.1	11.8

TABLA II.5.- Para determinar el valor combinado  $K_c$ , en función del espesor de una Sub-base granular y el valor  $K$  de la Sub-rasante.

Para el caso en que la Sub-base sea tratada con cemento portland el valor combinado  $K_c$ , se determina a través de la tabla II.6 ó también mediante la gráfica número II.6

Espesor Sub-base en cms.	$K_c$ en Kg/cm <sup>3</sup>
10.0	8.2
12.5	12.3
15.0	15.1
17.5	16.4

TABLA II.6.- Para obtener el valor combinado  $K_c$  en sub-bases tratadas con cementos portland.

### II.1.3.- Factores de seguridad por carga. (FSC).-

Antiguamente se les denominaba factores de carga por impacto, cuyos valores andaban entre el 10 y 20%. Las investigaciones actuales muestran que los vehículos en movimiento causan esfuerzos menores en el pavimento que cuando éstos están parados; por lo tanto es más conveniente clasificar a los factores de impacto como factores de carga y éstos en función a las características del proyecto. En la tabla II.7, se exponen los diferentes factores de seguridad por carga recomendables:

Tipo de proyecto	Factores de seguridad por carga.
Carreteras de primer orden y otros proyectos de varios carriles, con flujo ininterrumpido de tránsito y volúmenes altos de camiones.	1.2
Para carreteras y avenidas donde existe un volumen moderado de camiones.	1.1
Para carreteras, calles residenciales y otros que soportan pequeños volúmenes de camiones.	1.0

TABLA II.7.- Factores de seguridad por carga, recomendables.

### II.1.4.- Esfuerzos causados por las cargas del tránsito.

Los esfuerzos que provocan las cargas del tránsito sobre las losas del pavimento son, básicamente, de flexión. Su-

magnitud depende del espesor de la losa, características del concreto (módulos de poisson y de elasticidad), capacidad de soporte del apoyo de la losa (sub-base y sub-rasante) y, - - finalmente, magnitud, distribución y localización de la carga de rueda.

En los carriles de un ancho de 3.65 m., son tres las posiciones de los ejes (sencillos y tándem), denominadas caso I, caso II y caso III, que permiten fijar un criterio para escoger la posición de la carga para el diseño. Las posiciones de cargas y distribución del tránsito, se pueden apreciar gráficamente en la figura II.6

Caso I.- Las cargas (eje sencillo o tándem) se centran en el carril, donde existe una mayor frecuencia de repeticiones y están próximas a una junta transversal.

Caso II.- Las cargas se acercan a la orilla del pavimento, en donde no existe transmisión de carga u otra losa, - pero la frecuencia de repeticiones de carga es casi nula.

Caso III.- Es una combinación de los dos casos anteriores. La carga está próxima a la orilla a una distancia tal -- que puede someter a esfuerzos críticos al pavimento, con una cierta frecuencia de repeticiones como conclusiones al respecto, el estudio teórico basado en las cartas de influencia de Picket y Ray, y en los resultados de investigación de la fatiga, dieron como posición crítica el caso I donde al número de repeticiones de carga y el nivel de esfuerzos del pavimento - llevan a la losa a una falla por fatiga más rápida que en los casos restantes.

Los esfuerzos  $f_t$  obtenidos en el caso I para diferentes intensidades de carga, para diferentes módulos de reacción y espesores del pavimento se muestran en las siguientes figu-

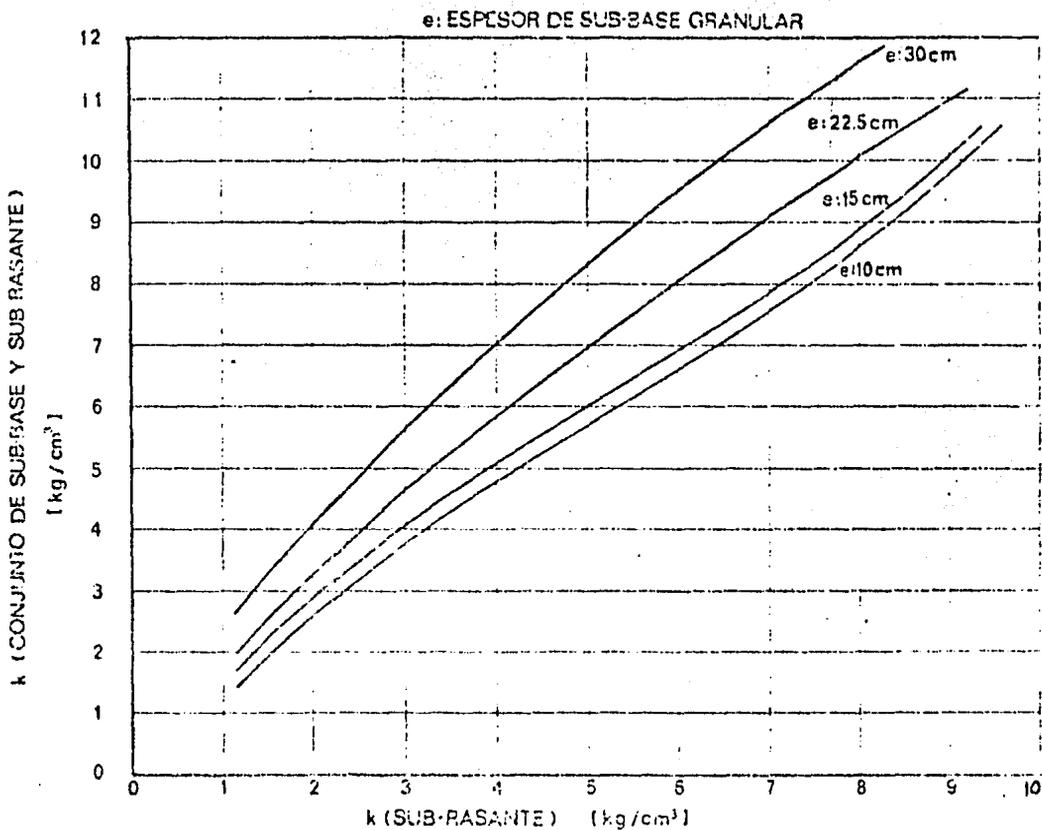


FIGURA II.4.- Para determinar el valor combinado  $K_c$ , en función del espesor de una sub-base granular y el valor  $K$  de la sub-rasante.

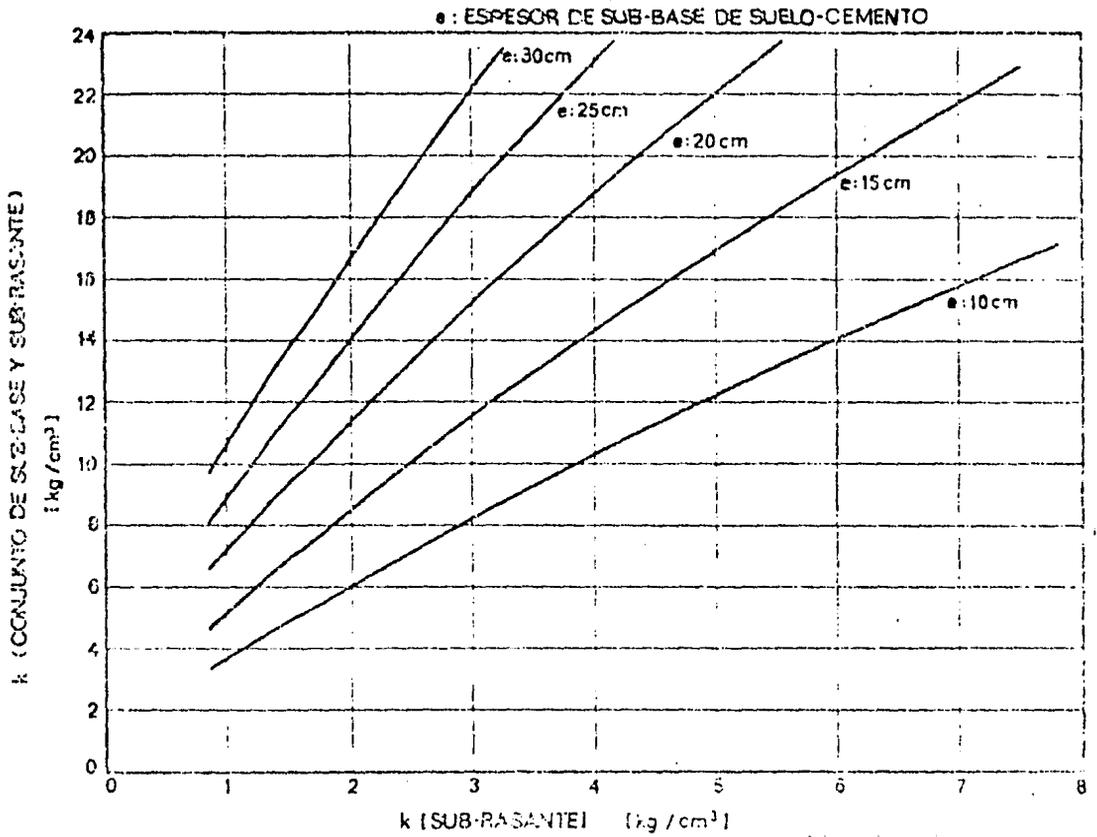


FIGURA II.5.- Para determinar el valor combinado  $K_c$  de la sub base y sub-rasante, en función del espesor de la sub-base tratada con cemento portland y el valor  $K$  de sub-rasante.

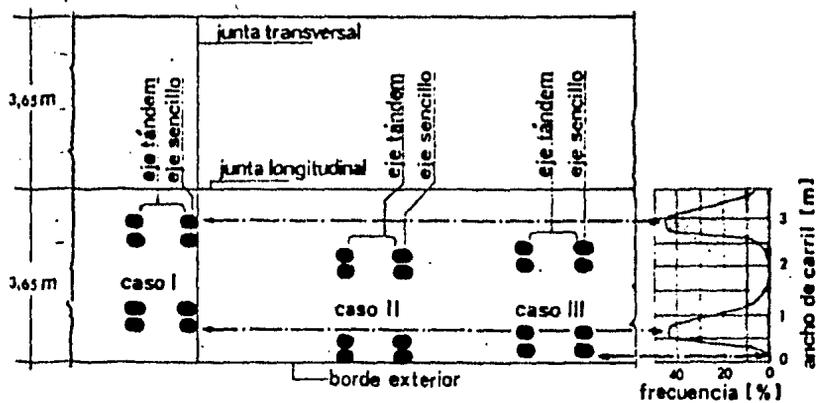


FIGURA II.6.- Posiciones de carga y distribución del tránsito para carriles de 3.65 m. de ancho.

ras, aplicadas para ejes sencillos y ejes tándem, respectivamente, figuras II.7 y II.8

#### II.1.5.- Relación de esfuerzos.

En la investigación de fatiga que realizó la PCA, el comportamiento del pavimento se obtuvo relacionando el número de repeticiones de una carga determinada para hacer fallar la losa, con el nivel de esfuerzos a la que dicha carga sometía a la losa. Este nivel se obtuvo por medio de la relación de esfuerzos.

$$\frac{f_t}{MR}$$

donde:  $f_t$ = Esfuerzo máximo en la losa debido a una carga determinada, en Kg/cm<sup>2</sup>  
 $MR$ = Módulo de ruptura de proyecto del concreto, en Kg/cm<sup>2</sup>

Cuando esta relación se aproxima a 1, se requieren menores repeticiones de carga correspondiente y cuando es menor o igual a 0.5, se acepta un número infinito de repeticiones,

La tabla II.8.- Que se expone a continuación, presenta el número de repeticiones admisibles para diferentes relaciones de esfuerzos.

#### II.1.6.- Pavimentos rígidos para aeropuertos.

Con respecto a los pavimentos de concreto para aeropuertos, el método de diseño que generalmente se utiliza es el que se basa en las gráficas para diferentes tipos de aviones, que han sido desarrolladas por el cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos y por la Asociación de cementos portland PCA, también de los EUA.

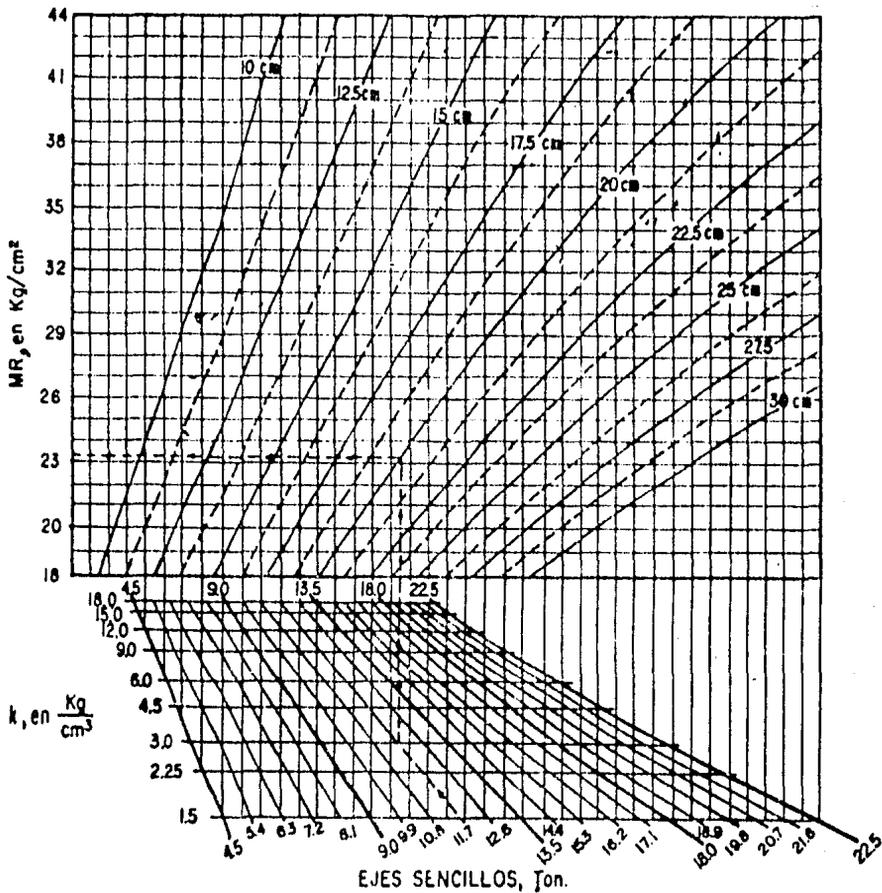


FIGURA II.7 :

Nomograma para determinar los esfuerzos de borde para eje sencillo, (Caso I).

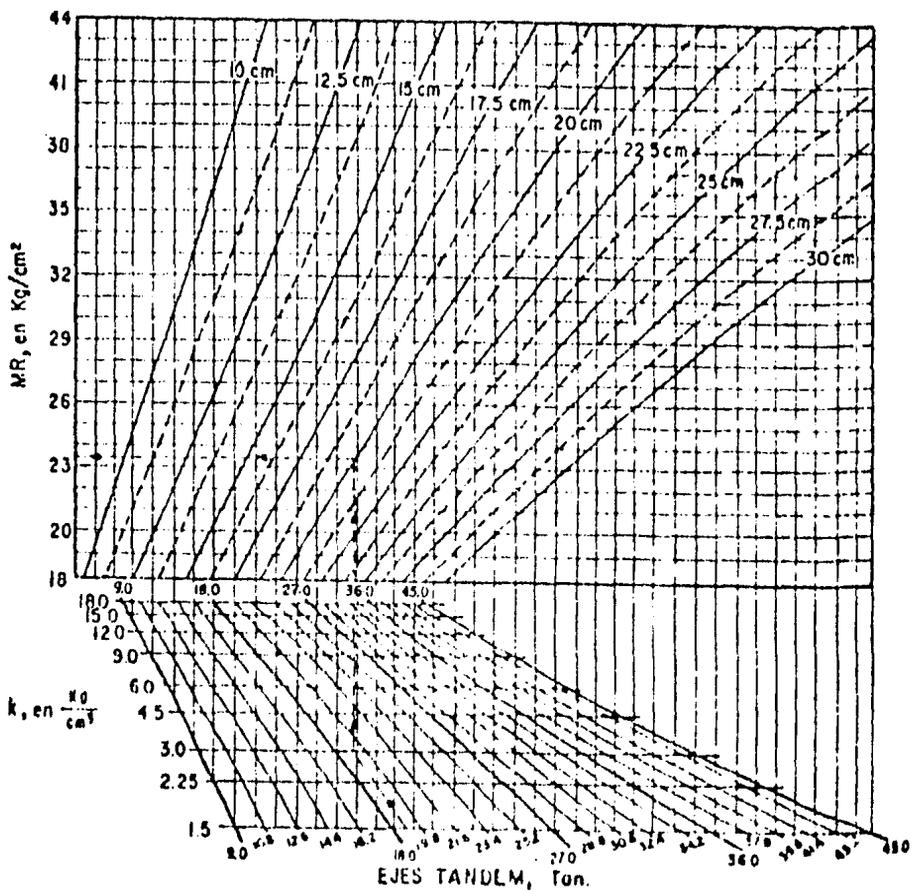


FIGURA II.8 :  
 Nomograma para determinar los esfuerzos de  
 borde para eje tándem, (Caso I).

Relación de Esfuerzos	Repeticiones admisibles	Relación de Esfuerzos	Repeticiones Admisibles
0.50	Infinito	0.68	3,500
0.51	400,000	0.69	2,500
0.52	300,000	0.70	2,000
0.53	240,000	0.71	1,500
0.54	180,000	0.72	1,100
0.55	130,000	0.73	850
0.56	100,000	0.74	650
0.57	75,000	0.75	490
0.58	57,000	0.76	360
0.59	42,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	90
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,000	0.83	50
0.66	6,000	0.84	40
0.67	4,500	0.85	30

TABLA II.8.- Para determinar el número de repeticiones admisibles para diferentes relaciones de esfuerzos.

Este tipo de pavimentos se construyen reforzándolos con juntas estructurales, sin acero distribuido, cuando éstas forman paneles (losas) en donde controlan debidamente las grietas intermedias, y se adiciona acero distribuido cuando las juntas se colocan de tal manera que se forman paneles más largos, y en los cuales pueden presentarse lagunas grietas intermedias. En este caso se usan además pasadores en todas las juntas transversales, para asegurar la adecuada transferencia de cargas ya que se producirán mayores esfuerzos en las juntas.

La función del acero distribuido en los pavimentos con juntas es mantener unidas las caras de las losas fracturadas si se forman grietas, cuya cantidad puede variar de 0.05 a - 0.30% de la superficie de la sección transversal, dependiendo de la separación entre las juntas, del espesor de la losa, el peso de ésta, el coeficiente de resistencia de la sub-rasante, y la resistencia a la tensión del acero que se va a usar. El acero distribuido no aumenta mucho la resistencia a la flexión, cuando se usa en las cantidades indicadas, por lo que los es pesores de los pavimentos reforzados son los mismos que para los pavimentos sin refuerzo.

II.1.6.1.- Los parámetros necesarios para el Diseño Es tructural de este tipo de pavimentos son los siguientes:

- a) Módulo de Ruptura del concreto
- b) Módulo de reacción de la sub-rasante o de la combinación de la sub-rasante y la sub-base.
- c) Tipos de aviones y cargas que puedan preverse para el pavimento y frecuencia aproximada de operación.
- d) Tipo de pavimento que se proyecta, como pis tas de rodaje, plataformas, pisos para hangares.

II.1.6.2.- Para determinar el espesor del pavimento se procede en este caso también mediante el uso del módulo de -- ruptura, pero utilizando el dato de la resistencia a los 90 - días, ó bien del 110 al 114% de la resistencia a los 28 días de edad del concreto. Cuando se diseñan pavimentos con acero distribuido el espesor de éstos no varía con respecto a los - de concreto simple ya que el acero distribuido no aumenta mucho la resistencia a la flexión cuando se usa en cantidades - comprendidas en la economía práctica.

Para hacer una estimación confiable del tráfico futuro, es necesario que los datos sobre las futuras operaciones y -

cargas para fines de diseño, se obtengan de las siguientes - fuentes de información:

- a) Líneas de aviación comerciales
- b) Funcionarios que administran los aeropuertos
- c) Proyectos de los fabricantes de aviones

Al disponer de esta información, se puede determinar - un coeficiente de seguridad adecuado, y con éste obtener de - las gráficas de diseño los esfuerzos de trabajo admisibles -- del concreto; en estas gráficas también intervienen el módulo de reacción de la sub-rasante ó el combinado de ésta con el - de la sub-base, y el peso de operación de las aeronaves.

La Portland cement Association (PCA) y el cuerpo de In- genieros del Ejército de los E.U.A. recomiendan las siguien- tes amplitudes de variación de los factores de seguridad.

I N S T A L A C I O N	FACTOR DE SEGURIDAD OPERACIONES	
	OCASIONALES	FRECUENTES
ZONAS CRITICAS: Plataformas, pistas de rodaje, estacionamientos y extremos de las aeropistas en una distancia de 100 pies (305 mts.), y pisos de hangares.-	1.7	2.0
ZONAS QUE NO SON CRITICAS: Aeropistas- (porción central) y algunas pistas de rodaje, de salida, de alta velocidad.-	1.4	1.7

II.1.6.3.- Pavimentos de sección en quilla para aero- pistas.

La sección angular (en quilla) es un pavimento que se diseña para aeropuertos con mucho tráfico; estos pavimentos - se engruesan en su porción central y se adelgazan progresiva-

mente hacia los bordes de la pista, las cuales normalmente -- tienen anchos de 200 pies (60-mts.), y su diseño y construcción se justifican por las siguientes dos razones:

- a) Se reduce el espesor hacia los bordes extremos porque muy pocos aviones, si es que algunos circulan - cerca de la orilla del pavimento.
- b) Se logran ahorros sustanciales tanto en construcción - como en costo.

En la figura II.9.- Se puede apreciar una sección de - este tipo de pavimentos.

II.1.6.4.- Para determinar sus espesores, la PCA, y el cuerpo de Ingenieros del ejército de los E.U.A. recomiendan los siguientes factores de seguridad por carga:

I N S T A L A C I O N	FACTOR DE SEGURIDAD
Porción central de la pista	2.0
Zona fuera del tramo en quilla	1.7
Bordes de la pista	1.4

ESPEORES:	E S P E S O R
Porción central de la pista	Uniforme en esta zona-
zona fuera del tramo en quilla	De 20 a 25% menor que-
	el del tramo en quilla
Bordes de la pista	El mínimo: 13" (33 cm.)

Los espesores en las losas de transición se eligen para tratar de evitar cualquier cambio brusco en la rasante y - en el espesor de la losa, debiendo satisfacer al mismo tiempo los requisitos impuestos por la subra-sante.

Como los espesores de la sección en quilla serán mayores que los necesarios en el procedimiento normal de diseño,-

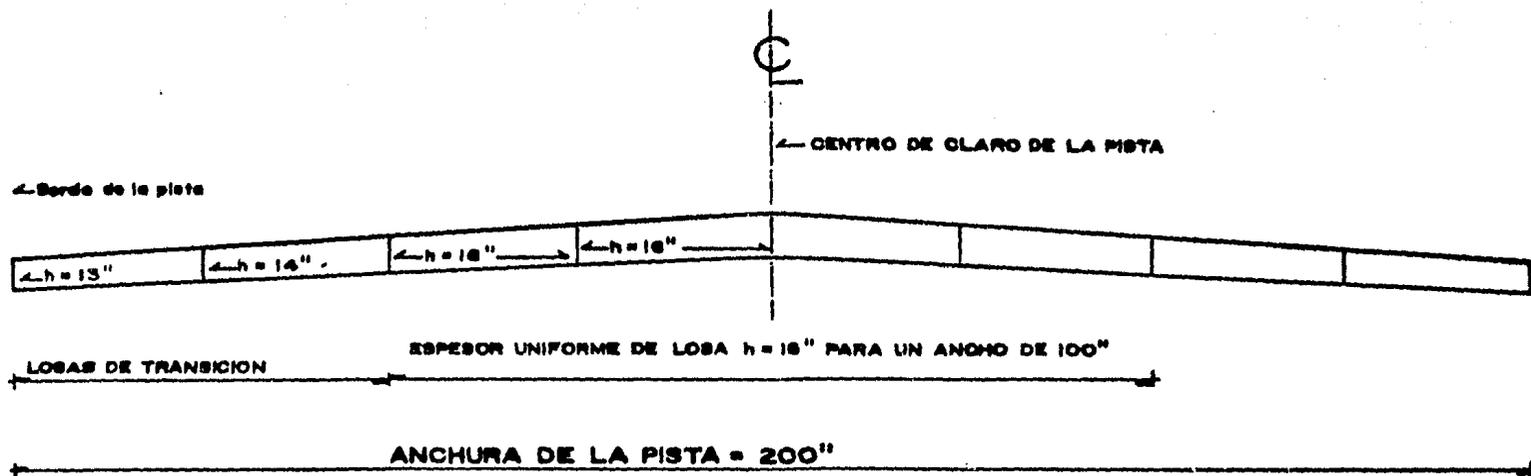


FIG. 11-9 DISEÑO DE LA SECCIÓN EN QUILLA PARA PISTAS.

usualmente no se requiere refuerzo adicional en las juntas - longitudinales, porque se ha comprobado que el aumento de espesor sustituye adecuadamente al refuerzo longitudinal en las juntas.

#### II.1.6.5.- Procedimiento para diseñar.

La determinación de los espesores de las losas consta de los siguientes pasos:

1) Se determina el valor de  $K$  mediante pruebas con placas de carga ó correlacionando los datos de las pruebas efectuadas en el suelo de la subrasante ó sub-base.

2) Se hace una estimación cuidadosa de las condiciones de operación y de carga presentes y futuras y se elige un coeficiente de seguridad conservador.

3) Los esfuerzos de trabajo para un avión específico - se determinan dividiendo el módulo de ruptura de concreto por el coeficiente de seguridad elegido.

4) Con la gráfica correspondiente al avión de diseño, - se determina el espesor del pavimento para el esfuerzo de trabajo determinado en el paso 3: se procede horizontalmente del esfuerzo a la carga en el tren de aterrizaje, verticalmente - al valor de  $K$ , luego horizontalmente al espesor.

5) Se repite el proceso para otras cargas críticas, -- eligiendo de nuevo, factores de seguridad adecuados a la categoría de operaciones previstas para estos aviones, y se elige un espesor de diseño para la condición más crítica.

Las gráficas que la Asociación de cementos portland - recomienda para el diseño de espesores de pavimentos rígidos- para aeropuertos son las indicadas con los número II.32 a II.40

## II.2.- CRITERIOS DE DISEÑO DE ESPESORES

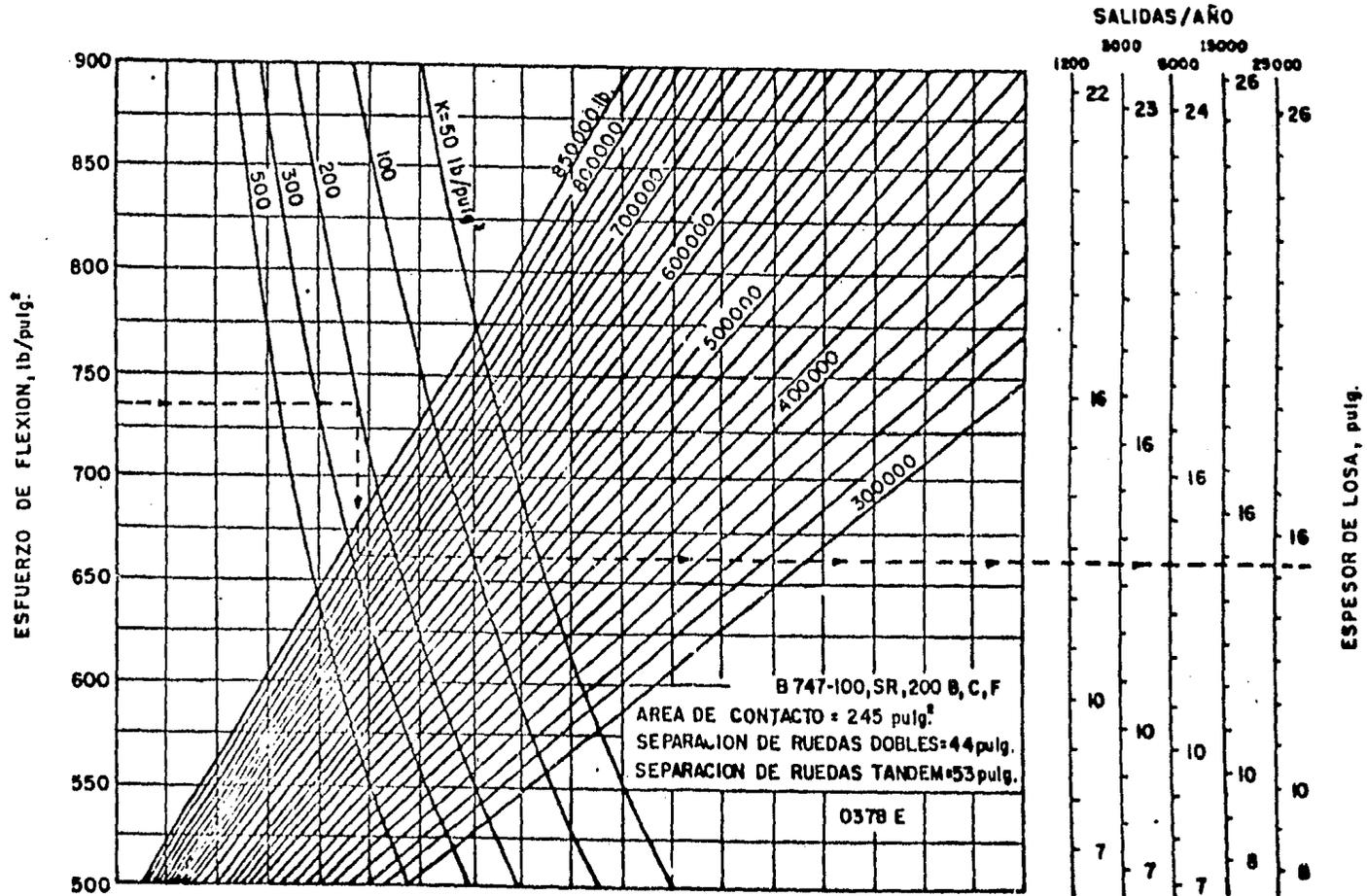
Para determinar los espesores de las capas que forma-- rán la estructura de la obra vial, generalmente se empieza - por el espesor de la losa de concreto, el cual se obtiene en- función de los esfuerzos que producirá el tráfico del diseño- correspondiente.

Con respecto al espesor de la sub-base, éste puede ob- tenerse graficamente en función de su V.R.S. estándar, ó bién se puede elegir por receta establecida por la práctica, la - cual nos indica que los valores de dicha capa oscilan entre - 10 y 15 cm. para carreteras y calles, y entre 15 y 20 cm. para- aeropistas. En el caso de espesores para la sub-rasante se to ma muy en cuenta su V.R.S. estándar, y el nivel freático del- lugar, el cual se debe mantener como mínimo 60 cm bajo la su- perficie de la mencionada capa, además se debe prever muy bien la precipitación pluvial de la región a fin de evitar proble- mas estructurales de humedad e inundaciones de la obra vial.

### II.2.2.- Método de fatiga de la PCA.

La falla por fatiga debido a la flexión ocurre cuando- el material se rompe bajo el efecto de las repeticiones conti- nuas de las cargas que produzcan relaciones entre los esfuer- zos de flexión menores que la unidad.

El procedimiento que aquí se describe es aplicable a - carreteras, calles y áreas de estacionamiento, con un ancho - de carril igual a 3.65 m., de pavimentos de concreto hidráulico simple con refuerzo en las juntas.



NOTA:  
 1 pulg = 2.54 cm    1 lb/pulg.<sup>2</sup> = 0.0098 MN/m<sup>2</sup>  
 1 lb = 0.454 kg    1 lb/pulg.<sup>2</sup> = 0.274 MN/m<sup>2</sup>

FIGURA II.10

FORMA DE OBTENER GRAFICAMENTE EL ESPESOR DE LA LOSA.

CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO, B-747-100, SR, 200 B, C, F

Cuando se quieran proyectar carriles más angostos, se deben hacer las correcciones correspondientes por medio de las cartas de influencia de Pickett y Ray.

El método de la PCA, se fundamenta en el concepto de que las fallas de las losas del pavimento ocurre por fatiga, en el supuesto de que los esfuerzos originados por las cargas no excedan la resistencia a flexión del concreto. Esquemáticamente, el sistema opera así.

1) Primeramente se agrupan las cargas por eje sencillo y eje tándem que circularán por la vía de proyecto y se calculan las repeticiones de cada una de esas cargas que soportará el pavimento durante el período de diseño (generalmente de 40 años), tomando en cuenta el tránsito actual en el carril de diseño y la tasa anual de crecimiento del mismo. La magnitud de estas cargas se incrementa, por seguridad, por un factor de seguridad por carga FSC, que varía de 1.0 a 1.2 y que depende de la menor o mayor intensidad de tránsito.

2) Conociendo el módulo de reacción  $K$  (en  $\text{Kg}/\text{cm}^3$ ) de la capa sub-rasante en que se apoyará el pavimento, y el módulo de resistencia a la flexión del concreto hidráulico fijado en el proyecto, se supone, por tanteo, un espesor de losa, y mediante los nomogramas figuras II.7 y II.8 se determinan los esfuerzos de trabajo del concreto para cada tipo de carga. A continuación se procede a determinar la relación del esfuerzo de trabajo producido por cada carga dividiendo éste entre el módulo de resistencia a la flexión del concreto, y con este valor y el uso de la tabla II.8 se determina el número de repeticiones de la carga considerada, que puede soportar el concreto sin que se presente ninguna falla.

A continuación se procede al cálculo del porcentaje que con respecto al número anterior, representa el número de-

repeticiones de esta carga que soportará el pavimento durante su período de diseño, de acuerdo con el análisis del tránsito que se presenta en la tabla II.9

Y así se procede para cada una de las cargas en eje - sencillo y en eje tándem, agrupadas de mayor a menor magnitud, hasta que la relación de esfuerzos que se obtenga sea menor ó igual a 0.50, para el cual el número de repeticiones de carga que puede soportar el concreto es infinito y por tanto, el -- porcentaje consumido de resistencia a la fatiga es igual a ce ro. Se suman los porcentajes de resistencia a la fatiga del - concreto, consumidos por todas y cada una de las cargas, y si esta suma es menor de 125%, el espesor supuesto se considera - correcto, si este valor es muy bajo, se debe hacer un nuevo - tanteo, con otro espesor menor, y si nos resulta un valor ma - yor a 125%, deberá hacerse otro análisis aumentando el espe - sor de la losa.

Es conveniente estudiar varias alternativas de diseño, para obtener la mayor economía considerando por ejemplo una - sub-base de buena calidad ó tratada con cemento portland, de - tal manera que se logre aumentar el módulo de reacción del -- conjunto (valor combinado  $K_c$ ) y se disminuya el espesor de la losa. También pueden suponerse diversas resistencias de dise - ño a la flexión del concreto (no menor a  $45 \text{ Kg/cm}^2 = 700 \text{ ib/} -- \text{ pulg}^2$ ), para estudiar otras posibles soluciones, eligiendo la que presente las mayores ventajas.

#### II.2.2.- Modificación del método cuando se carece de - estadísticas de tráfico.

Es una simplificación del método anterior, y se utili - za cuando no existen datos del número de ejes que transitarán la vida del pavimento; básicamente, consiste en dimensionar - el espesor de la losa de tal manera que resista un número fi

mitado de repeticiones de la carga máxima (8.2 ton. para ejes sencillos y 14.5 ton. para ejes tándem), lo cual es equivalente a buscar el espesor que produzca, bajo tal carga, un esfuerzo de flexión no mayor de la mitad del módulo de ruptura-MR del concreto. Con el espesor así obtenido se calcula entonces el número de repeticiones admisibles para otros ejes mayores que puedan circular por lavía de proyecto; y a continuación se consideran el mismo procedimiento y datos del método anteriormente descrito.

### II.2.3.- Diseño para carriles estrechos.

Cuando el ancho de carril es menor a los 3.65 m., como sucede en los pavimentos para vías secundarias, aumenta el porcentaje de vehículos que circulan cerca al borde exterior del pavimento y por lo tanto, existe la posibilidad de que la fatiga ocasionada por esos vehículos exceda a la fatiga calculada sobre las juntas transversales, y entonces el caso II de carga podría ser más crítico que el caso I.

La cuantificación del tráfico cercano al borde en pavimentos de 3.05 y 3.35 m. de ancho, y la determinación de los esfuerzos correspondientes al caso II de carga por medio de la carta de influencia de Pickett y Ray, han permitido a la Portland Cement Association construir curvas que suministran el factor por el cual debe multiplicarse el esfuerzo ocasionado por una carga de eje sobre una losa de características dadas, en el caso I, para obtener el llamado esfuerzo de bordeponderado, que tiene en cuenta la acción del tráfico sobre el borde (caso II). Estas gráficas se presentan en las figuras II.11 y II.12.

Se observa que la utilización de esos gráficos requiere el conocimiento de un parámetro denominado radio de rigidez relativa de Westergaard y representada por la letra L.

Este valor es una medida de la relación entre la rigidez de la losa de concreto y la del conjunto sub-base - sub-rasante, y puede calcularse por la expresión:

$$L = \sqrt[4]{\frac{Ed^3}{12(1-u^2)K}} \quad \text{en donde:}$$

E= Módulo de elasticidad del concreto (Kg/cm<sup>2</sup>)

d= Espesor de la losa (cm.)

u= módulo de poisson del concreto

k= módulo de reacción de la sub-rasante (Kg/cm<sup>3</sup>).

L= tiene unidades de longitud; su cálculo es algo laborioso, y se puede obtener utilizando la tabla II.10

El sistema de operación obedece básicamente al siguiente orden:

- 1) Se calcula el consumo de fatiga para el caso I de acuerdo con el procedimiento descrito para losas de 3.65 m. de ancho.
- 2) Se obtiene el valor de L para el pavimento utilizando la tabla No. II. 10, o bien se calcula directamente, si está fuera del rango de dicha tabla.
- 3) Con el valor de L, se obtiene para cada carga de eje el factor de ponderación de esfuerzos (f), por medio de las gráficas II.11 y II.12
- 4) Se multiplica la relación de esfuerzos del caso I por el valor de (f) correspondiente a cada eje.
- 5) De la tabla II.8, se obtiene el número de repeticiones admisibles para cada una de las nuevas relaciones de esfuerzos.

- 6) Finalmente, se calcula el consumo de fatiga y se totaliza para todos los ejes. Debe verificarse que el consumo total sea menor que el admisible, pues en caso contrario el caso II llega a ser más crítico - que el caso I, lo cual exige un nuevo diseño (aumentando el espesor supuesto o mejorando la calidad - del concreto).

CARGA POR EJE EN TONS.	REPETICIONES DURANTE EL PERIODO DE DISEÑO	
	EJES SENCILLOS	EJES TANDEM
4	6,887,475	
4 a 5	830,870	
5 a 6	384,824	
6 a 7	459,165	
7 a 8	874,600	43,730
8 a 9	1,360,003	39,357
9 a 10	870,227	65,595
10 a 11	406,689	61,222
11 a 12	118,071	100,579
12 a 13	61,222	170,547
13 a 14	13,119	231,764
14 a 15	13,119	402,316
15 a 16	4,373	406,689
16 a 17	4,373	376,078
17 a 18	4,373	323,602
18 a 19		78,714
19 a 20		43,730
20 a 21		18,119
21 a 22		17,492
22 a 25		4,373
25 a 26		4,373

TABLA No. II.9 Datos de tráfico para diseño de espesores.

NOTAS:

- 1.-El número de repeticiones previstas está calculado para el carril de diseño.
- 2.-Obsérvese que las cargas están clasificadas por intervalos; para el cálculo de esfuerzos se utiliza el mayor valor de cada intervalo, multiplicado por el factor de seguridad correspondiente.

3.-Los datos de la tabla se tomaron de un estudio de tráfico real.

#### I.2.4.- Espesores para pavimentos urbanos.-

El diseño estructural de los pavimentos urbanos obedece a los mismos principios y métodos descritos anteriormente pero afectados desde el punto de vista práctico, por la dificultad para obtener datos reales acerca de la frecuencia y -- distribución de las cargas de tráfico. En este caso se puede utilizar el método de la PCA modificado, con base en los siguientes criterios:

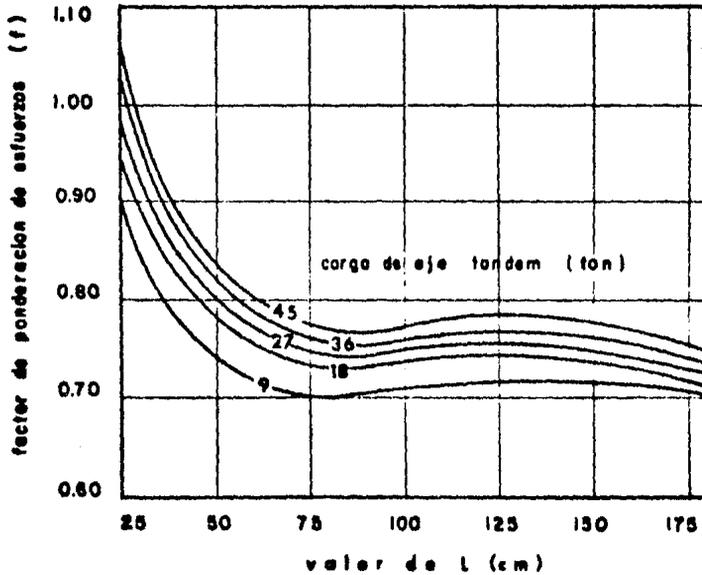
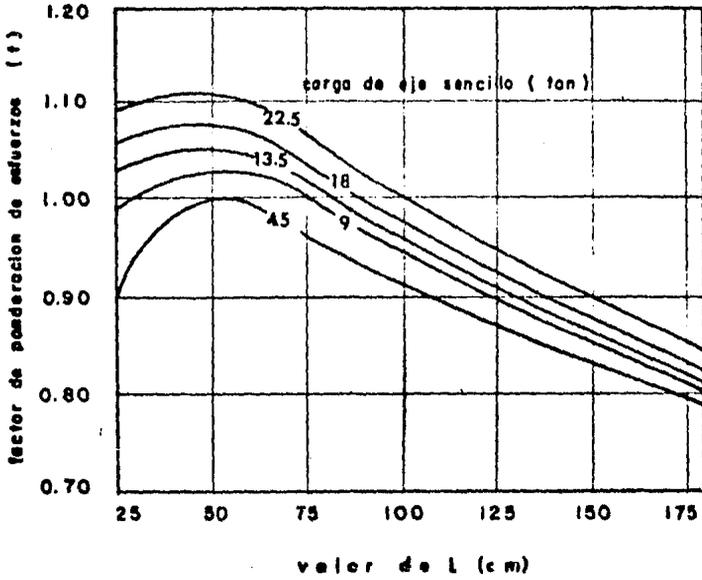
- a) Para calles residenciales no debe utilizarse como carga de diseño la máxima, sino la carga del vehículo más frecuente de la zona. El factor de seguridad de carga debe ser 1.0.
- b) Si la calzada es menor de 3.65 m. de ancho (lo cual, por otra parte, no es recomendable) deben verificarse los esfuerzos de borde.
- c) Si la construcción del pavimento se ejecuta antes que el de las viviendas, es muy probable que el tráfico durante la construcción de éstas exceda el tráfico normal durante el resto de la vida útil, en lo referente a ejes pesados. En tal caso el diseño debe hacerse con el tráfico de construcción.

#### II.2.4.- Espesores para pavimentos urbanos

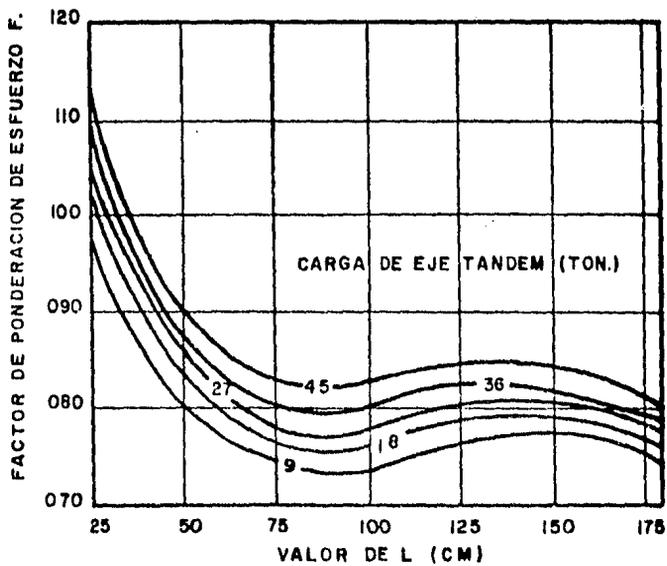
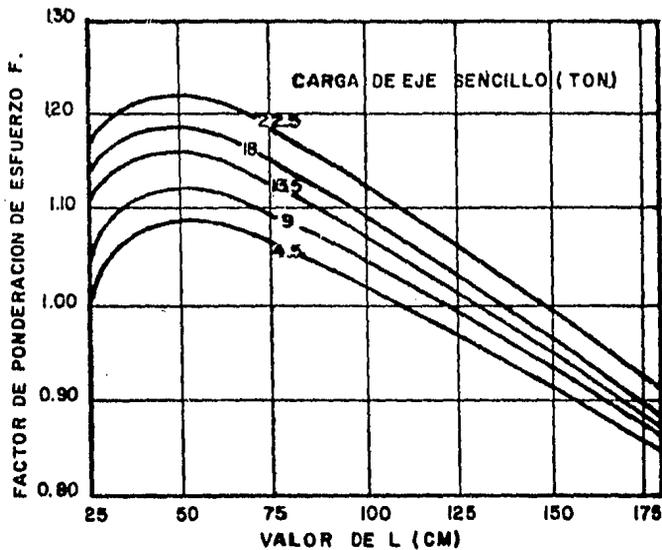
Este método presenta valores típicos de espesor de subbase y losa para diversos tipos de sub-rasante y tráfico, obtenidos con base en la evaluación de las experiencias de los Estados Unidos e Inglaterra sobre el comportamiento de pavimentos de concreto simple.

FIGURAS II.11

FACTORES DE PONDERACION DE ESFUERZOS PARA VIA DE DOS CARRILES DE 3.35 M DE ANCHO CADA UNO



**FIGURA II.12**  
**FACTORES DE PONDERACION DE ESFUERZOS PARA VIA DE**  
**DOS CARRILES DE 3,05M DE ANCHO CADA UNO**



d (cm.)	VALORES DE k (kg/cm <sup>3</sup> )												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15
10	69.90	58.78	53.11	49.43	46.74	44.66	42.97	41.56	40.36	39.31	37.56	36.14	34.95
11	75.08	63.13	57.05	53.09	50.21	47.97	46.16	44.64	43.35	42.22	40.34	38.81	37.54
12	80.14	67.39	60.89	56.67	53.59	51.20	49.27	47.65	46.27	45.07	43.06	41.43	40.07
13	85.10	71.56	64.66	60.17	56.91	54.37	52.32	50.60	49.13	47.85	45.72	43.99	42.55
14	89.96	75.65	68.36	63.61	60.16	57.48	55.31	53.49	51.94	50.59	48.34	46.51	44.98
15	99.74	79.67	71.99	66.99	63.36	60.53	58.24	56.33	54.70	53.28	50.90	48.98	47.37
16	99.44	83.62	75.56	70.31	66.50	63.54	61.13	59.13	57.41	55.92	53.43	51.41	49.72
17	104.06	87.51	79.07	73.58	69.59	66.49	63.98	61.88	60.08	58.52	55.91	53.80	52.03
18	108.62	91.34	82.54	76.81	72.64	69.40	66.78	64.59	62.71	61.08	58.36	56.15	54.31
19	113.12	95.12	85.97	79.99	75.65	72.28	69.54	67.26	65.31	63.61	60.78	58.48	56.56
20	117.55	98.85	89.32	83.12	78.61	75.11	72.27	69.90	67.87	66.11	63.16	60.77	58.73
21	121.94	102.53	92.65	86.22	81.54	77.91	74.96	72.50	70.40	68.57	65.51	63.04	60.97
22	126.26	106.18	95.94	89.28	84.44	80.68	77.63	75.08	72.90	71.00	67.84	65.28	63.13
23	130.54	109.77	99.19	92.31	87.30	83.41	80.26	77.62	75.37	73.41	70.14	67.49	65.27
24	134.78	113.34	102.41	95.30	90.13	86.12	82.86	80.14	77.81	75.79	72.41	69.68	67.39
25	138.97	116.86	105.59	98.27	92.93	88.79	85.44	82.63	80.23	78.15	74.67	71.84	69.48

Valores calculados para  $E = 280,000 \text{ kg/cm}^2$  y  $U = 0.15$

d = espesor de la losa (cm.)

E = módulo de elasticidad del concreto.

U = módulo de Poisson del concreto.

$k_1$  = módulo de reacción de la sub-rasante (kg/cm<sup>3</sup>)

TABLA II.10

VALORES DE "L" EN FUNCION DEL ESPESOR DE LOSA Y DEL MODULO "K"

II.2.5.1.- Sub-rasante.- El terreno de sub-rasante se clasifica en tres categorías, como se muestra en la tabla II. 11.

T I P O	D E S C R I P C I O N
Susceptible	Suelos orgánicos y arcillas - (hasta 4.50 m. de profundidad).
Normal	Suelos diferentes a los de los otros tipos.
Estable	Suelos de gravas arenosas bien compactas y bien gradadas; base de carreteras antiguas.

TABLA II.11

Este método recomienda mantener el nivel freático por lo menos 60 cm. bajo la superficie de la sub-rasante.

#### II.2.52.- Tráfico.-

Se utiliza el tráfico, (vehículos de más de 3,000 lb= 1.4 ton. de peso sin carga) estimado durante un período de 20 años de vida útil. El tránsito se contabiliza en número de vehículos por día en dos direcciones, o en ambos carriles si la vía es de dos carriles por dirección.

Para estimar el tráfico se proponen dos sistemas, tal como aparece a continuación:

a) tráfico calculado con base en un conteo: se adelanta un censo de vehículos comerciales, con conteos durante 24 horas a través de siete días (0 conteos durante 16 horas más-

un 6%, donde no es posible el conteo nocturno). Se asume una tasa anual de crecimiento con base en censos anteriores y se calcula el número de vehículos comerciales para diseño, por medio de la siguiente fórmula  $A = p(1+r)^{x+20}$  en donde:

A= número de vehículos por día para diseño.

P= número de vehículos por día obtenido del conteo.

r= Porcentaje de crecimiento anual del tránsito.

x= años transcurridos entre el censo y la construcción del pavimento.

El diseño suministra un adecuado margen de seguridad para las cargas eventuales de ejes pesados que normalmente utilizarán la vía.

Se observa que el conteo necesario para este método es simple y no discrimina los vehículos por su peso ni por las características de sus ejes, a diferencia de otros métodos, más precisos pero también más complicados.

b) Tráfico estimado según el tipo de vía.- Cuando se carece de información necesaria para utilizar el sistema anterior puede emplearse la tabla II.12

#### II.2.5.3.- Sub-base.-

Cuando se necesite sub-base, debe construirse con suelos granulares, no plásticos, o con suelos estabilizados con cemento portland.

#### II.2.5.4.- Calidad del concreto.

El concreto utilizado para la construcción de las losas del pavimento tendrá una resistencia a compresión no menor que 280 Kg/cm<sup>2</sup> a 28 días.

### II.2.5.5.- Espesores.

El espesor de las capas de sub-base y losa de concreto se determina de acuerdo con la tabla II.13 en función de la Sub rasante disponible y del tráfico previsto.

TABLA II.13

Tipo de Sub-rasante	Tráfico (vehículos comerciales por día, 20 años después de la construcción del pavimento)				
	3,000 o más	1500-3000	150-1500	45-150	45 o ó menos
<u>Susceptible</u>					
Espesor losa (cm)	28	25.5	23	20	18
Espesor Sub-base (cm)	15	15	15	7.5	7.5
<u>Normal</u>					
Espesor losa (cm)	25.6	23	20	18	15
Espesor sub-base (cm)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
<u>Estable</u>					
Espesor losa (cm)	23.0	20.0	18	15	13
Espesor su-base (cm)	0	0	0	0	0

TIPO DE VIA	TRAFICO (VEHICULOS COMERCIALES POR DIA, 20 AÑOS DESPUES-DE CONSTRUIDO EL PAVIMENTO)
Calles en áreas comerciales, con más de 100 vehículos públicos por día .....	450 - 1,500
Arterias que soportan rutas regulares de autobuses con 50 - 100 vehículos públicos por día.....	150 - 450
Calles con menos de 50 vehículos de servicio público - por día .....	45 150
Calles residenciales secundarias, sin tráfico de vehículos de servicio público	hasta 45

TABLA II.12.- Util para estimar el tráfico, según el tipo de vía, cuando se carece de información de tráfico.

1) Si el número de vehículos comerciales por día excede de 6,000 debe incrementarse en 2.5 cm. el espesor de la losa.

2) Cuando el tráfico durante la construcción es más pesado que el de diseño, debe incrementarse en 2.5 cm. el espesor de la losa.

3) O sub-rasante normal con nivel frético a menos de - 60 cm. de la superficie.

4) No se requiere Sub-base cuando la capa de sub-rasante calificad como "estable" tiene al menos 60 cm. de espesor.

#### II.2.6.- Método de la Administración Federal de Aviación.

Este método se idealizó exclusivamente para diseñar pavimentos de aeropuertos y considera en sus diseños como carga más crítica la que se aplica en la esquinas de las losas, basándose para ello también en los principios de Westergaard. - Esta Administración en sus estudios prácticos más recientes - comprobó, que todas las grietas inducidas por cargas se inician en las juntas y progresan hacia el interior de la superficie de las losas.

II.2.6.1.- Para realizar diseños mediante este método, también se procede por medio de gráficas, para lo cual es necesario tener conocimiento de los siguientes parámetros de diseño:

- a) Módulo de Ruptura del concreto de diseño
- b) Módulo de reacción de la sub-rasante y/o sub-base
- c) Peso total del avión de diseño
- d) Número de salidas anuales equivalentes del avión de diseño.

II.2.6.2.- La forma de determinar estos parámetros es - la siguiente: el módulo de ruptura del concreto se obtiene en la forma ya indicada en el sub-inciso II.1.9.2, mientras que para el módulo de reacción de la sub-rasante y/o sub-base se procede efectuando la prueba de placa estática sobre la capa de prueba, o la tabla No. II.14 recomendada por la FAA, y que contiene los valores aproximados del parámetro K de la sub-rasante.

Cuando haya la necesidad de emplear alguna sub-base de

tipo granular, al valor de K se obtiene de las gráficas Nos.- II.13 y II.14, cuyos valores según la FAA, se deberán considerar solo como una guía y pueden ser ajustados por la experiencia local; la FAA, estipula también que se deben emplear sub-bases estabilizadas para pavimentos rígidos, cuando éstos vayan a soportar aviones con peso superior a 46,000 Kg.

Las gráficas para diseñar al espesor de losas en áreas críticas son las indicadas con los números: II.15 a II.30 y los espesores en las áreas no críticas y en las orillas se terminan de acuerdo a lo indicado en la figura No. II.31.

Los pesos de los aviones generalmente son proporcionados por los fabricantes, mientras que el avión de diseño y el número de salidas equivalentes por año se determinan por medio de un análisis de tránsito.

Clasificaciónes principales	Letra	Nombre	valor como cimentación cuando no esta sujeta a la acción de las heladas.	valor como base dragante -- abajo de la carpeta	acción potencial de las heladas	compresibilidad y expansión	características de drenaje.	Equipo de compactación	Peso unitario seco (lb/pt)	CMR en Campo	Módulo de subrasante (lb/pt) <sup>2</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Grava/suelos con grava.	GM	Grava o grava arenosa bien graduada.	Excelente	buena.	ninguna a muy ligera	casi ninguna.	excelente	Tractor de orugas Equipo de compactación con neumático, rodillo metálico.	125-140	60-60	300 ó más
	GP	Grava o grava arenosa pobremente graduada.	Buena a excelente	pobre a regular	ninguna a muy ligera	casi ninguna.	excelente	Tractor de oruga Equipo de compactación con neumáticos, rodillo metálico.	130-130	35-60	300 ó más
	GU	Grava o grava arenosa uniformemente graduada.	Buena	pobre	ninguna a muy ligera	casi ninguna.	excelente	Tractor de orugas, Equipo de compactación con neumático.	115-135	25-50	300 ó más
	GM	Grava limosa ó grava limo-arenosa.	Buena a excelente	Regular a buena	Ligera a mediana	Muy ligera	regular a pobre.	Equipo de compactación con neumático, rodillo pate de cabra, control de humedad.	130-145	40-60	300 ó más
	GC	Grava arcillosa ó grava arcillo-arenosa.	Buena	pobre	ligera a mediana	ligera	Pobre a practicamente impermeable.	Equipo de compactación con neumático, rodillo pate de cabra.	130-140	20-40	200-300
Suelos granulares gruesos.	SM	Arena ó arena con grava bien graduada.	Buena	pobre	ninguna a muy ligera	casi ninguna.	excelente.	Tractor de orugas Equipo de compactación con neumático.	110-130	20-40	200-300
Arena y suelos con arena	SP	Arena ó arena con grava pobremente graduada.	Regular a buena.	pobre a no adecuada	ninguna a muy ligera	casi ninguna	excelente.	Tractor de orugas Equipo de compactación con neumático.	105-120	15-35	200-300
	SU	Arena ó arena con grava uniformemente graduada.	Regular a buena.	no adecuada	ninguna a muy ligera	casi ninguna	excelente.	Tractor de orugas Equipo de compactación con neumáticos.	100-115	10-20	200-300
	SN	Arena arcillosa ó arena gravilimosa.	Buena	pobre	ligera a alta	muy ligera	regular a pobre.	Equipo de compactación con neumático, rodillo pate de cabra, control de humedad.	130-135	20-40	200-300
SC	Arena arcillosa ó arena grav-arcillosa.	Regular a buena	no adecuada	ligera a alta	ligera a mediana.	pobre a practicamente impermeable.	Equipo de compactación con neumático, rodillo pate de cabra.	105-130	10-20	200-300	
Baja compresibilidad LL < 50	ML	limo, limo arcillosos, limos con grava, suelos de distonema	Regular a pobre	no adecuada	mediana a muy ligera	ligera a mediana	regular a pobre.	Equipo de compactación con neumático, rodillo pate de cabra, control de humedad.	100-125	5-15	100-200
	CL	Arcillas pobres, arcillas arenosas ó arcillas con grava.	Regular a pobre	no adecuada	mediana a alta	mediana	practicamente impermeable.	Equipo de compactación con neumático, rodillo pate de cabra.	100-125	5-15	100-200
Suelos granulares finos.	OL	limo orgánicos, arcillas orgánicas pobres.	Pobre	no adecuada	mediana a alta	mediana a alta	pobre	Equipo de compactación con neumático, rodillo pate de cabra.	90-105	4-8	100-200
	Alta compresibilidad LL > 50	ML	Arcillas con mica ó suelos de distonema.	Pobre	no adecuada	mediana a muy alta	alta	regular a pobre.	Equipo de compactación con neumático, rodillo pate de cabra.	80-100	4-8
OH		Arcillas gruesas	Pobre a muy pobre	no adecuada	mediana	alta	practicamente impermeable	Equipo de compactación con neumático, rodillo pate de cabra.	50-110	3-5	50-100
Arcillas orgánicas gruesas.	OH	Arcillas orgánicas gruesas.	Pobre a muy pobre.	no adecuada	mediana	alta	practicamente impermeable.	Equipo de compactación con neumático, rodillo pate de cabra.	80-105	3-5	50-100
	PT	Turba húmeda y otros.	No adecuada	no adecuada	ligera	muy alta	regular a pobre.	Compactación no práctica.			

Tabla No. II. 14  
CARACTERÍSTICAS REFERENTES A CIMENTACIONES PARA PAVIMENTOS

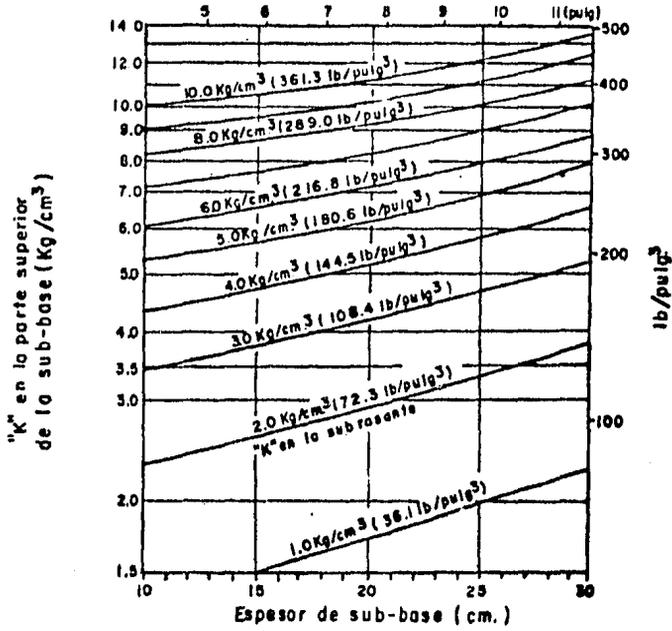


FIG. II.13: EFECTO DE LA SUB-BASE HIDRAULICA EN LOS VALORES DE "K"

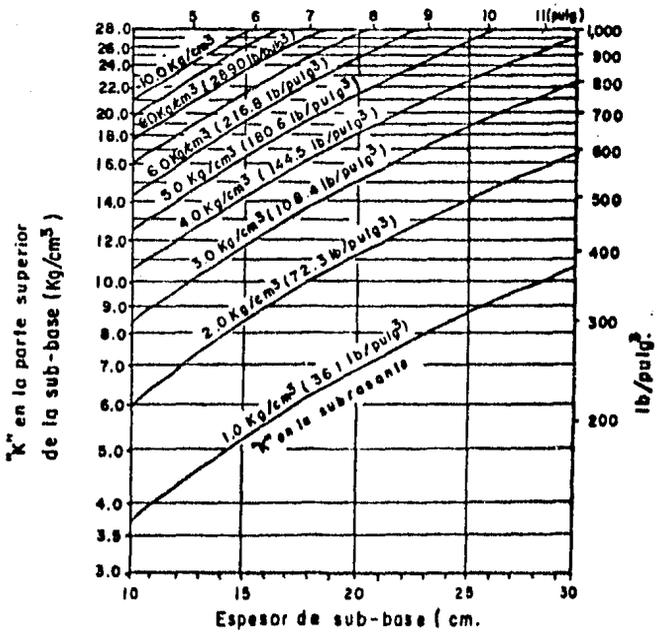
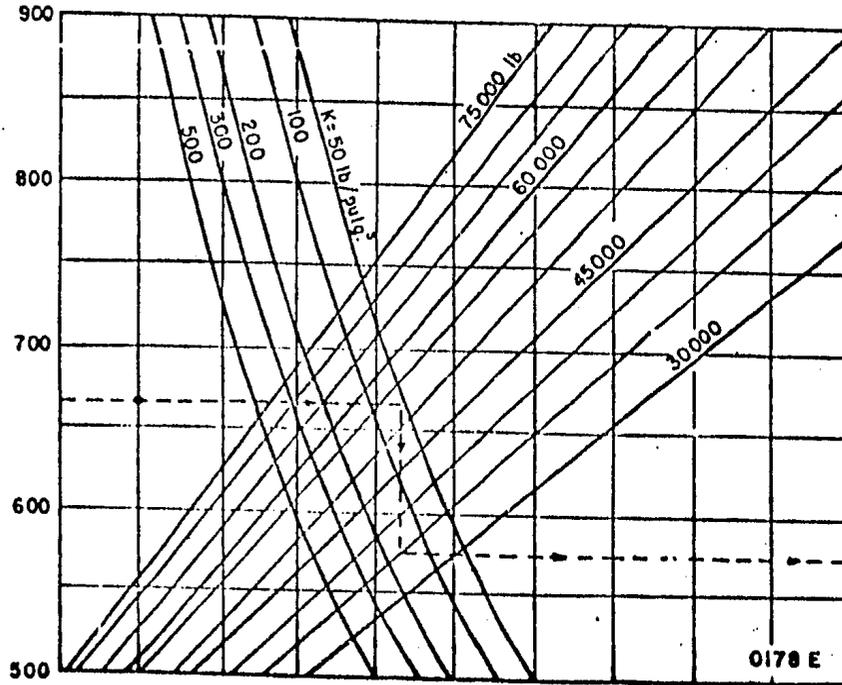


FIG. II.14: EFECTO DE LA SUB-BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO EN LOS VALORES DE "K"

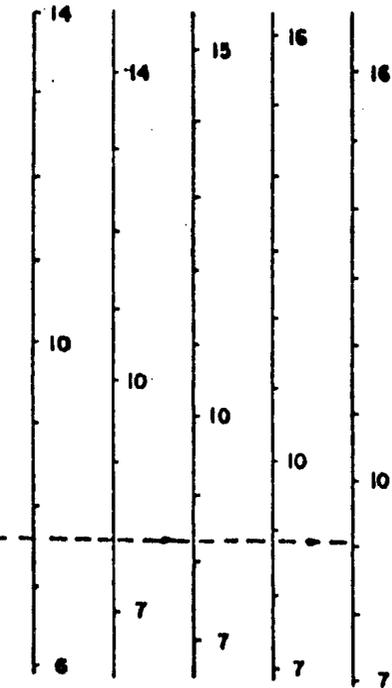
(FAA-1978)

ESFUERZO A LA FLEXION DEL CONCRETO, lb/pulg<sup>2</sup>



SALIDAS/AÑO

1200 3000 6000 15000 25000



ESPESOR DE LOSA, pulg.

FIGURA II.15.:

CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO-TREN DE RUEDA SIMPLE.

NOTA:

1 pulg. = 2.54 cm

1 lb = 0.454 kg.

1 lb/pulg<sup>2</sup> = 0.0669 MN/m<sup>2</sup>

1 lb/pulg<sup>3</sup> = 0.272 MN/m<sup>3</sup>

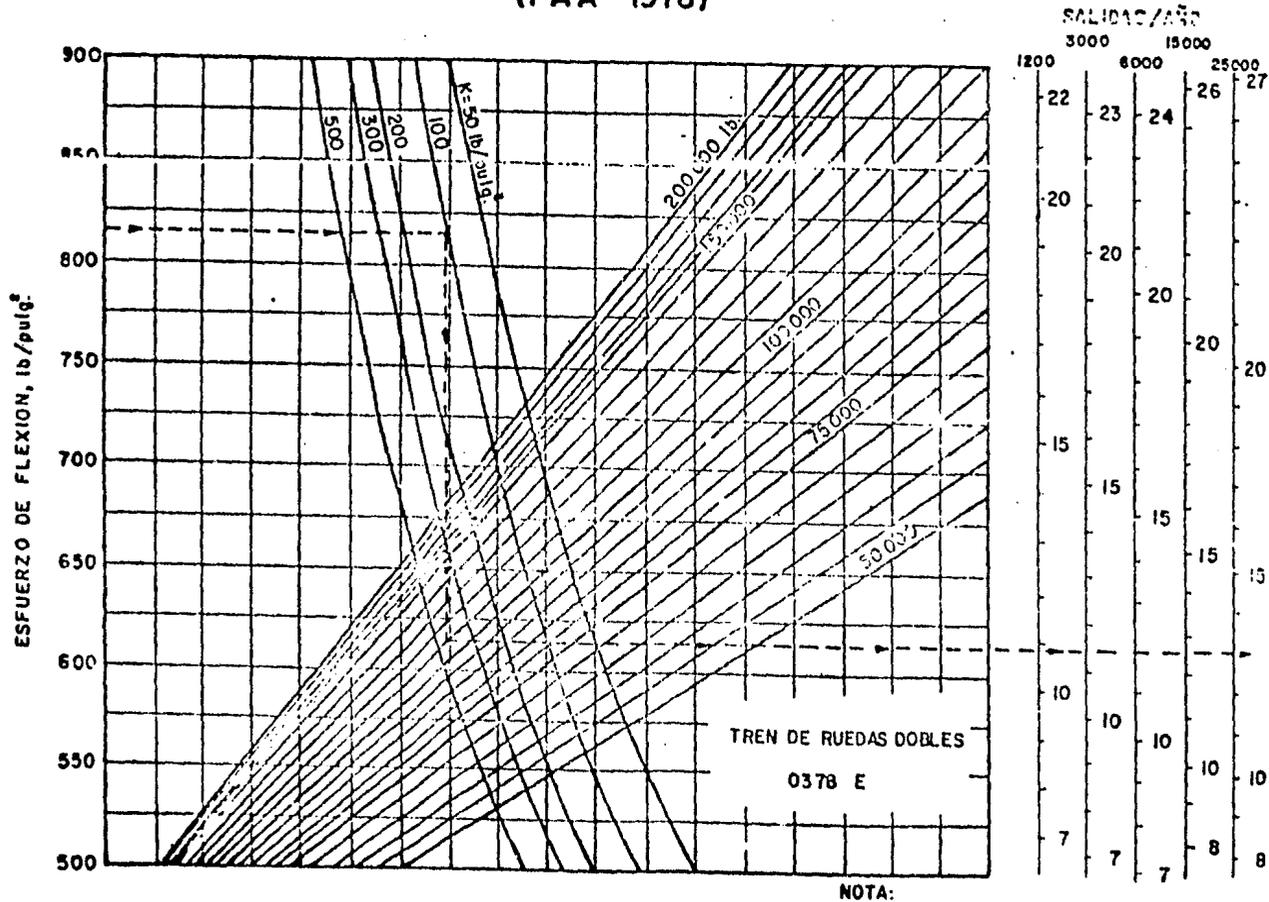
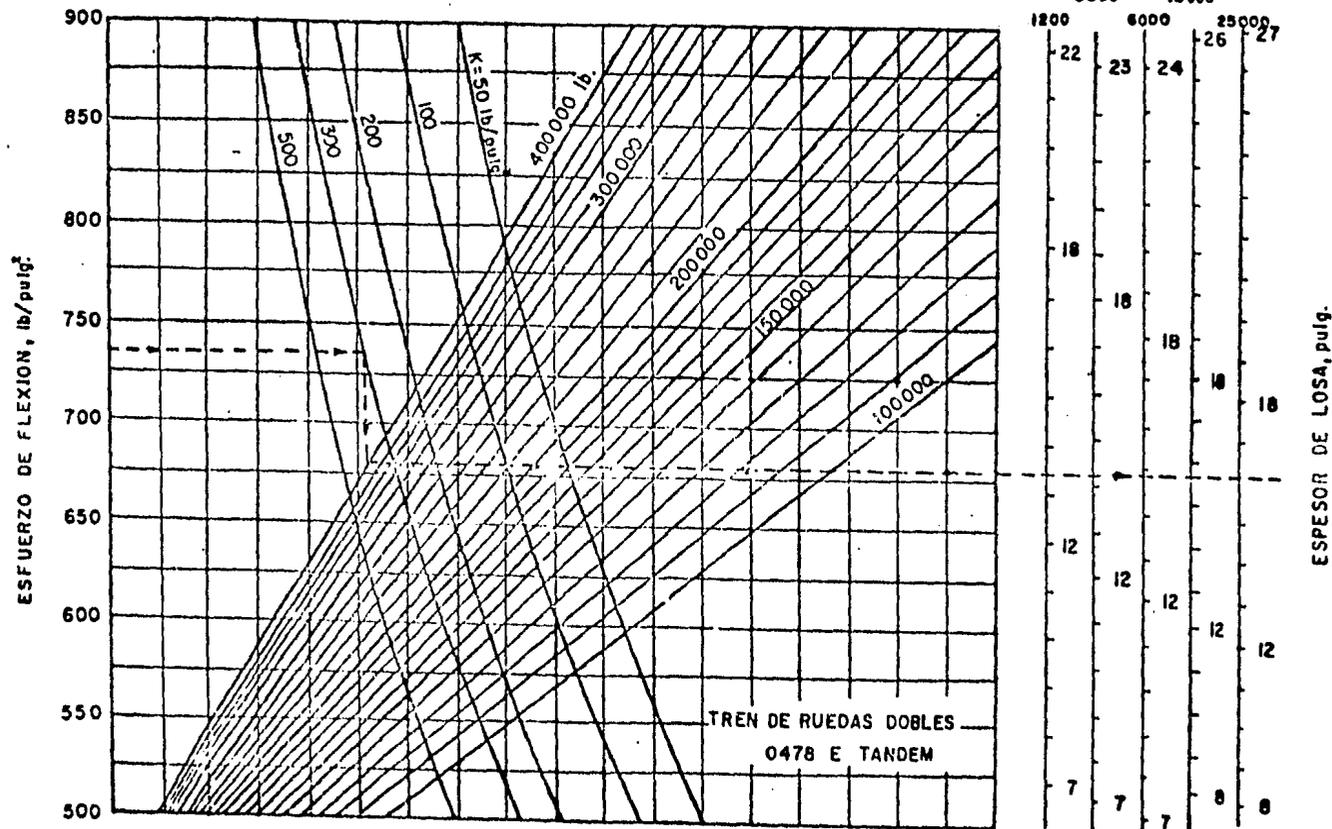


FIGURA II.16 :

CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO-TREN RUEDAS DOBLES.

(FAA-1978)



NOTA:  
 1 pulg = 2.54 cm    1 lb/pulg<sup>2</sup> = 0.0069 MN/m<sup>2</sup>  
 1 lb = 0.454 kg    1 lb/pulg<sup>3</sup> = 0.272 MN/m<sup>3</sup>

FIGURA II.17 :

CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO - TREN DE RUEDAS DOBLE TANDEM.

(FAA -1978)

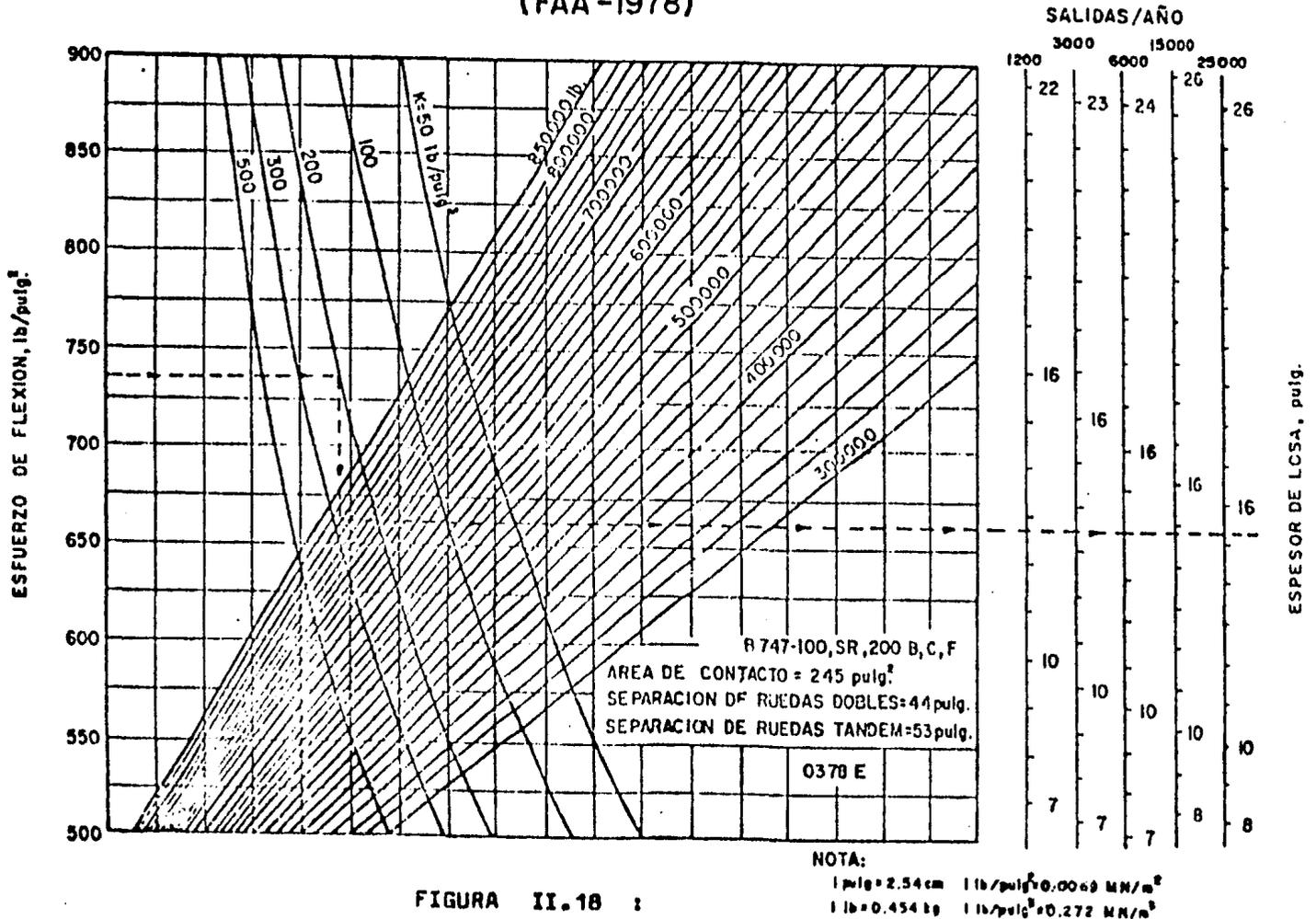
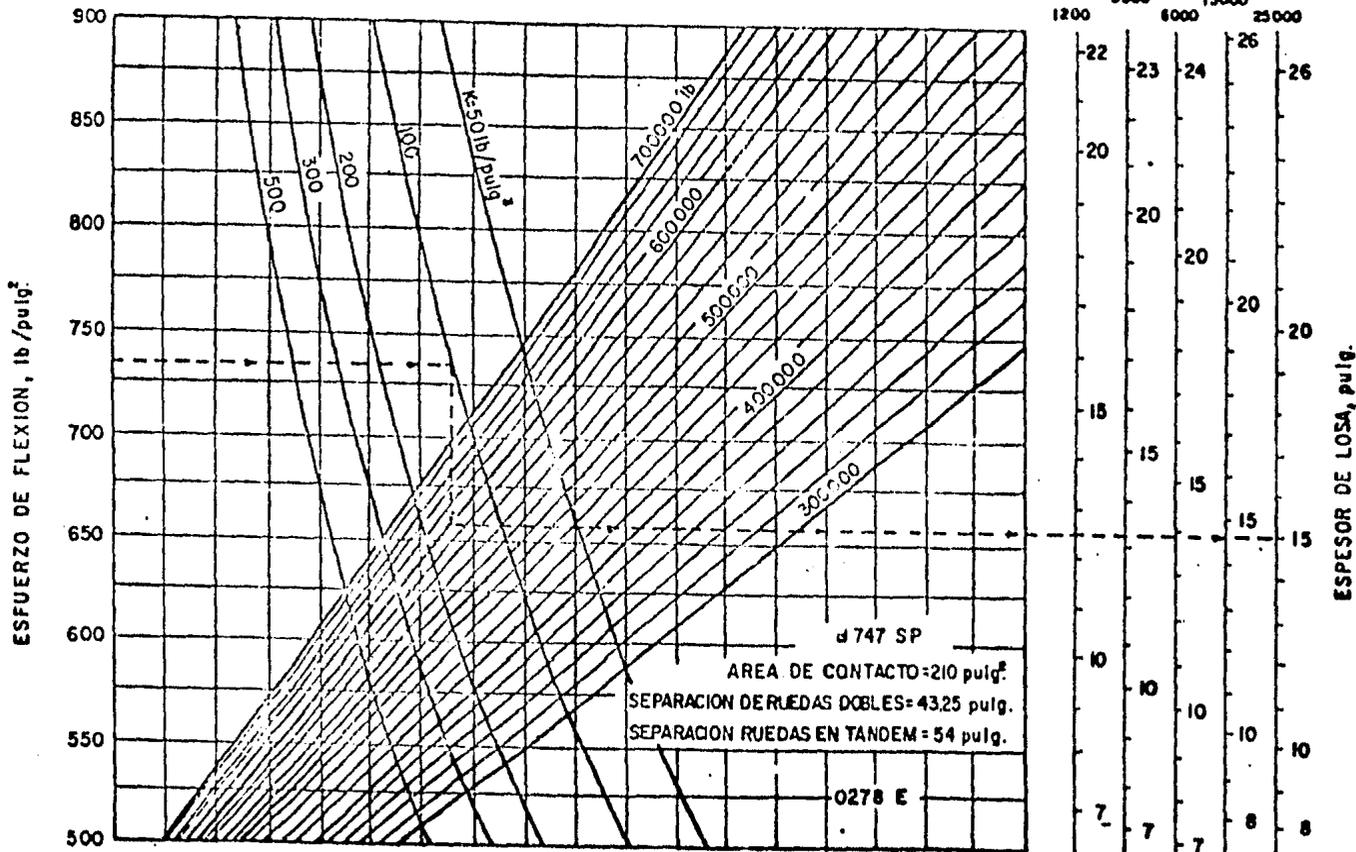


FIGURA II.18 :

CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO, B-747-100, SR, 200 B, C, F

(FAA-1978)

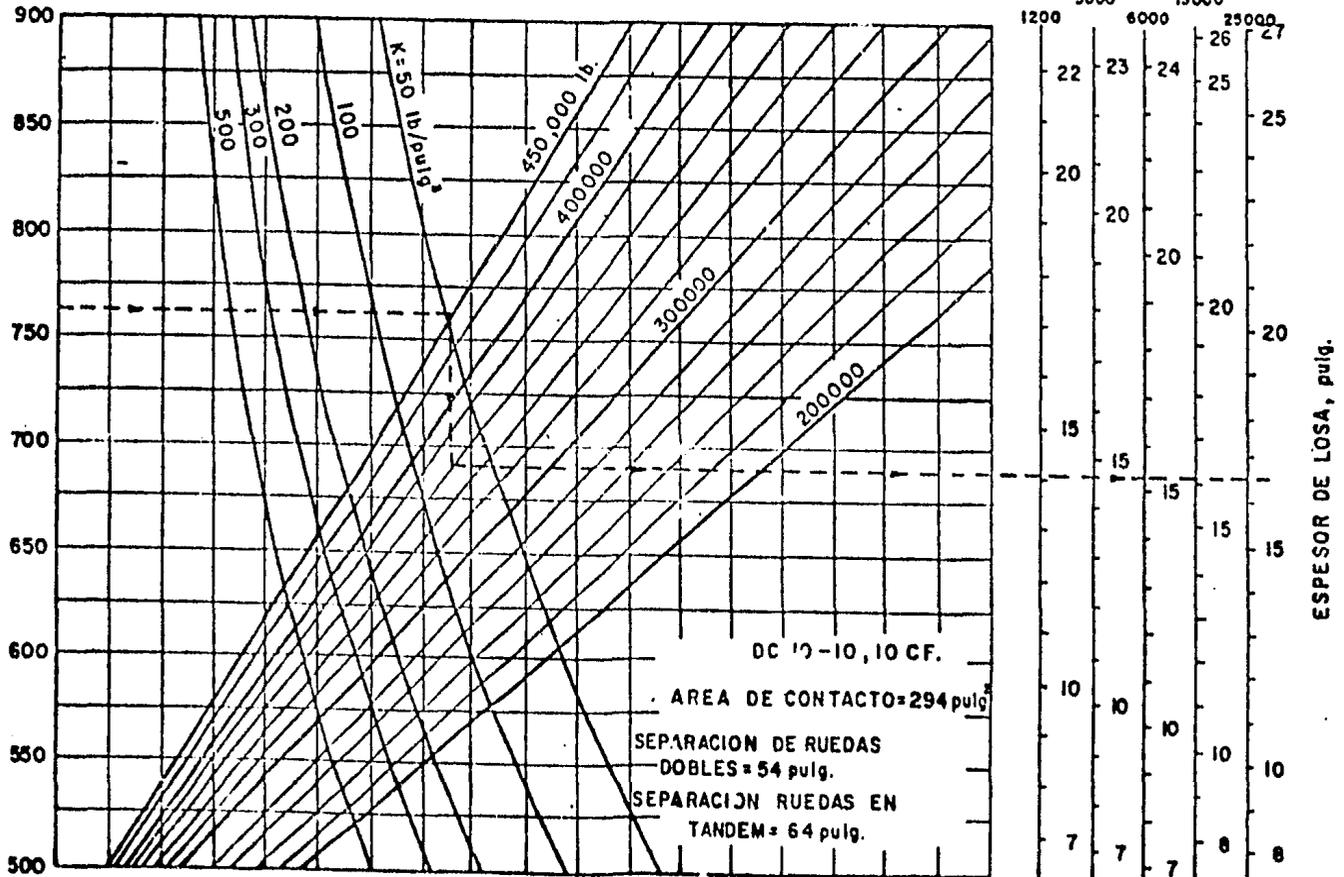


NOTA:

1 pulg = 2.54 cm    1 lb/pulg² = 0.0069 MN/m²  
1 lb = 0.454 kg    1 lb/pulg² = 0.278 MN/m²

FIGURA II.19 :

CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO - AVION B-747 - SP



NOTA:

1 pulg. = 2.54 cm    1 lb/pulg<sup>2</sup> = 0.0068 MN/m<sup>2</sup>  
 1 lb = 0.454 Kg.    1 lb/pulg<sup>2</sup> = 0.272 MN/m<sup>2</sup>

FIGURA II.20 :

CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO. AVIONES DC 10-10, 10CF.

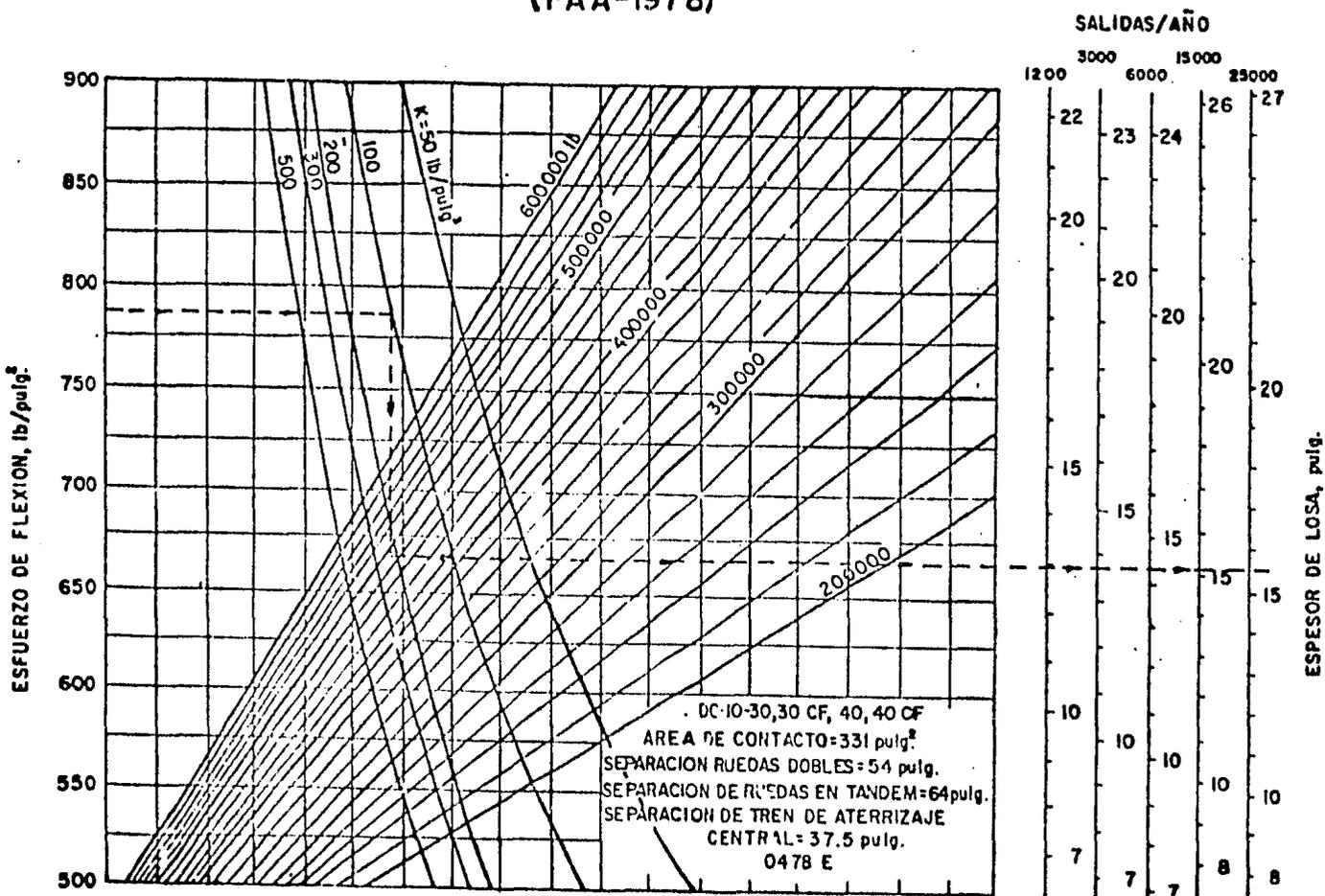


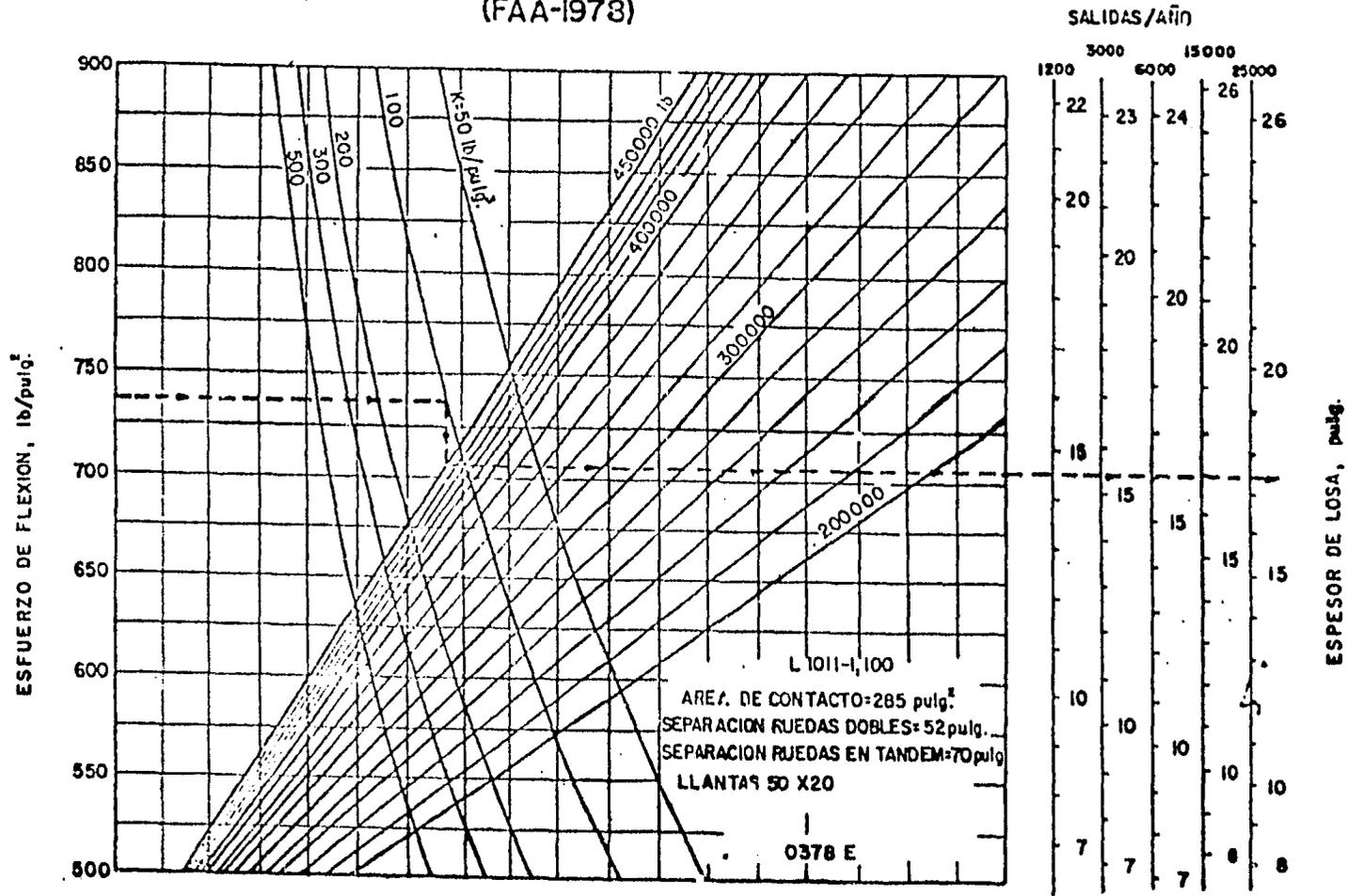
FIGURA II.21

NOTA:

1 pulg = 2.54 cm    1 lb/pulg.<sup>2</sup> = 0.0069 MN/m<sup>2</sup>  
1 lb = 0.454 kg    1 lb/pulg.<sup>2</sup> = 0.272 MN/m<sup>2</sup>

CURVAS DE DISCO DE PAVIMENTO RIGIDO - DC-10-30, 30CF, 40, 40CF.

(FAA-1978)



NOTA:

1 pulg.=2.54 cm 1 lb/pulg.<sup>2</sup>=0.0000478 MN/m<sup>2</sup>  
1 lb=0.454 kg 1 lb/pulg.<sup>2</sup>=0.072 MN/m<sup>2</sup>

FIGURA II.22 :

CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO. AVION L 1011-1,100

(FAA-1978)

SALIDAS/AÑO

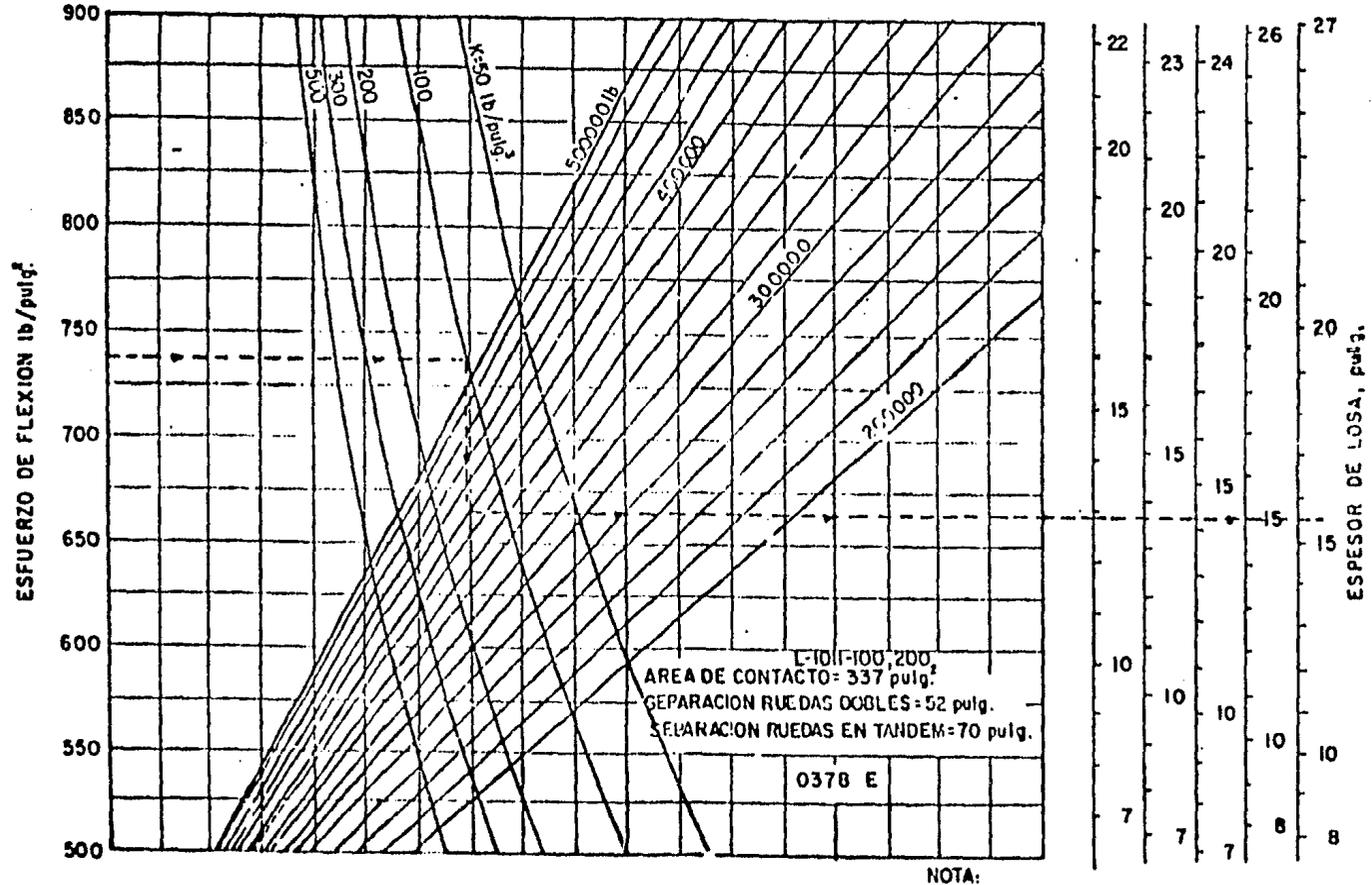


FIGURA II.23 :

CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO. AVION L-1011-100,200

(FAA-1978)

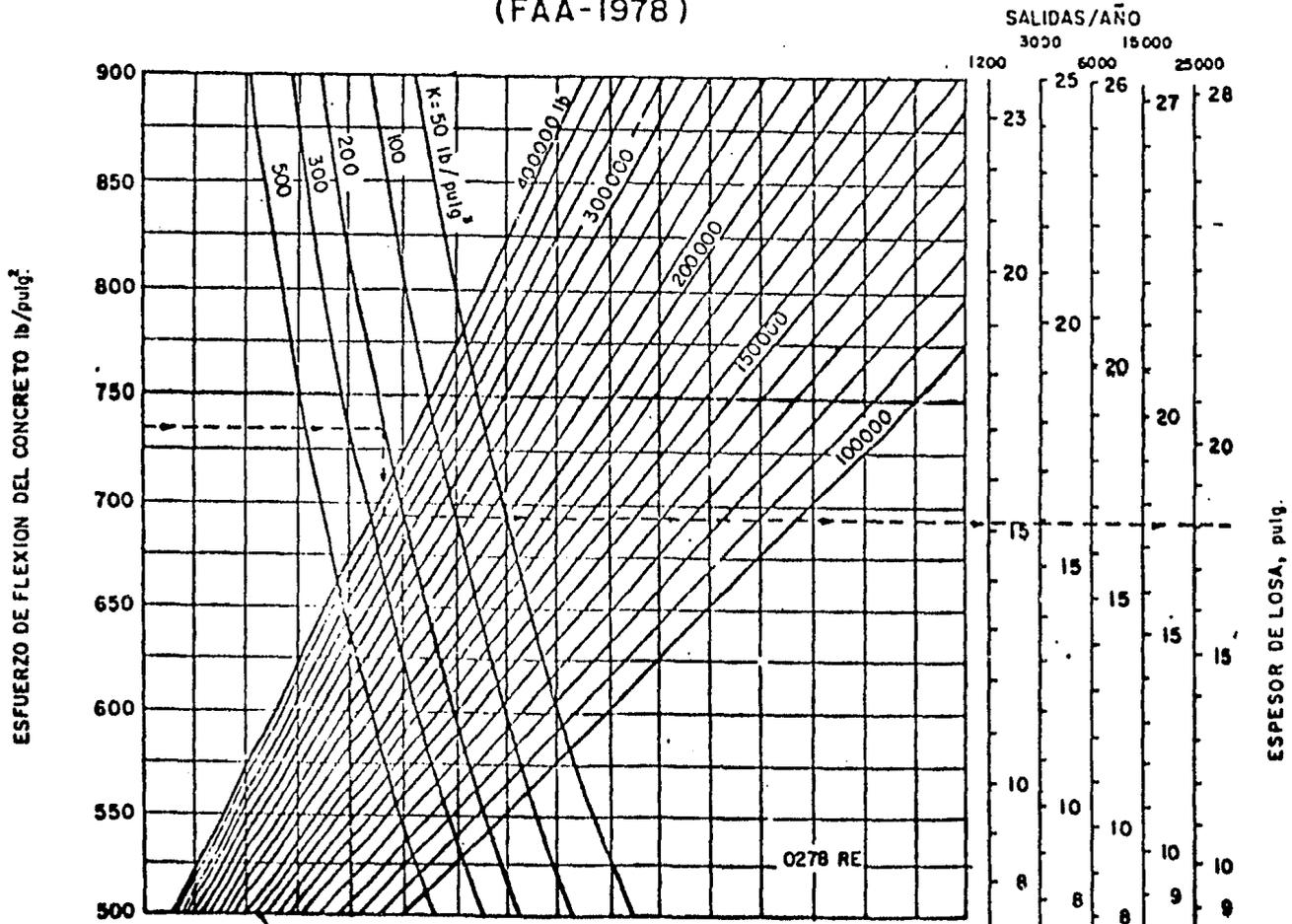
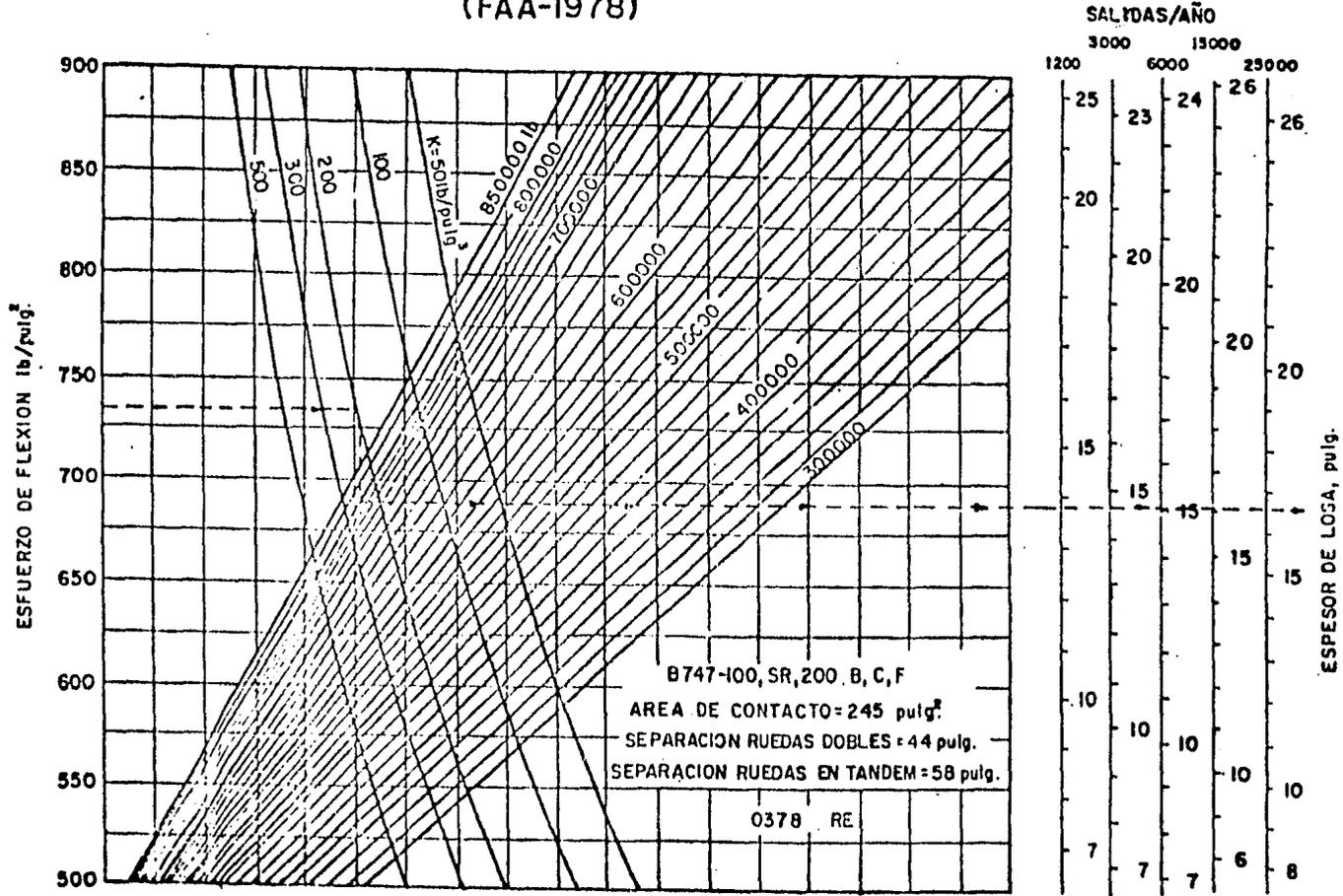


FIGURA II.24 :

NOTA:  
1 pulg = 2.54 cm    1 lb/pulg.<sup>2</sup> = 0.0069 MN/m<sup>2</sup>  
1 lb = 0.454 kg    1 lb/pulg. = 0.272 MN/m<sup>3</sup>

CURVAS DE DISEÑO OPCIONALES PARA PAVIMENTO RIGIDO-TREN DE ATERRIZAJE DE RUEDAS EN DOBLE TANDEM

(FAA-1978)



NOTA:

1 pulg = 2.54 cm    1 lb/pulg.<sup>2</sup> = 0.0069 MN/m<sup>2</sup>  
1 lb = 0.454 kg    1 lb/pulg.<sup>3</sup> = 0.272 MN/m<sup>3</sup>

FIGURA II.25 :

CURVAS DE DISEÑO OPCIONALES PARA PAVIMENTO RIGIDO. AVIONES B-747-100, SR,200 B,C,F

(FAA -1978)

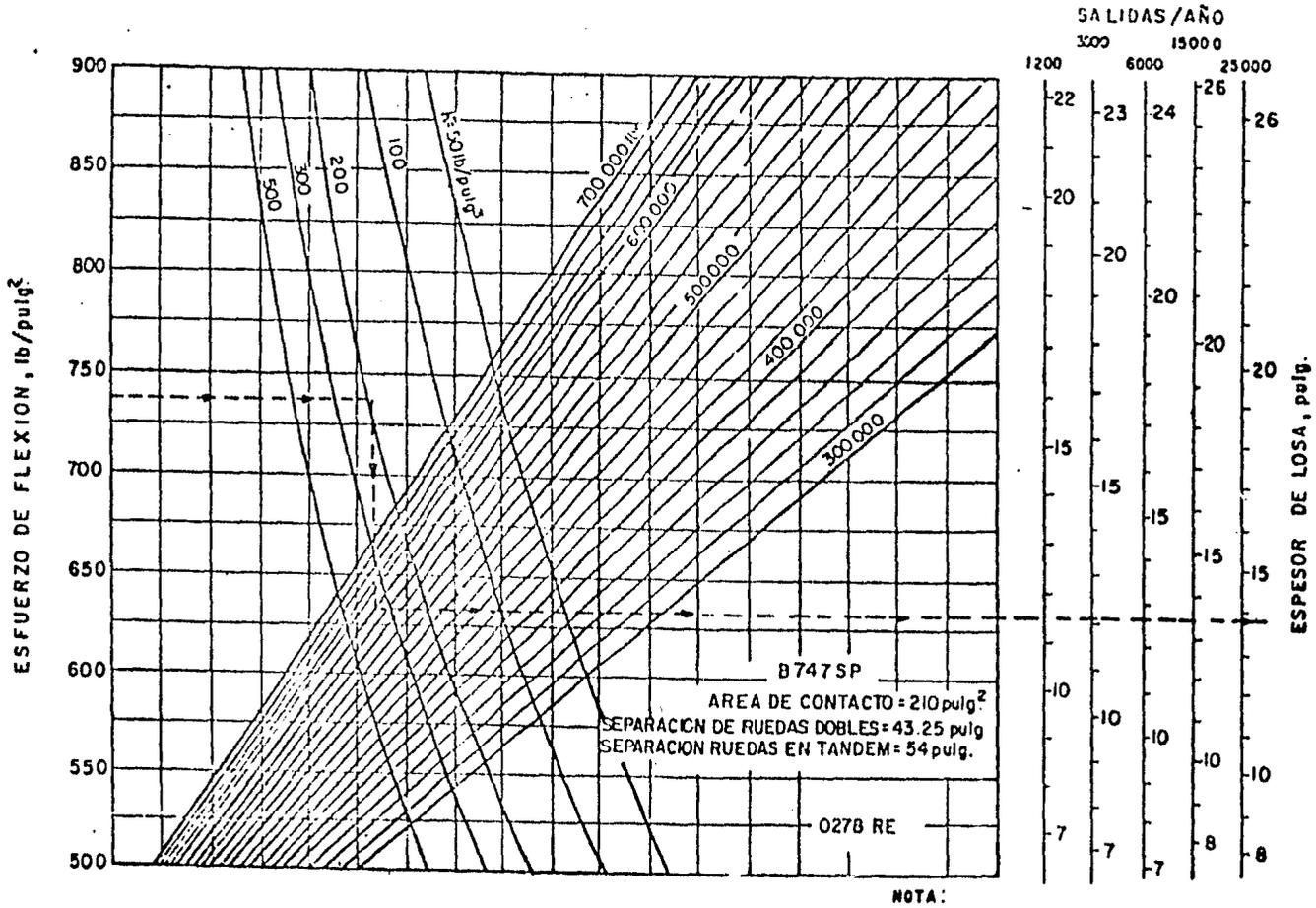
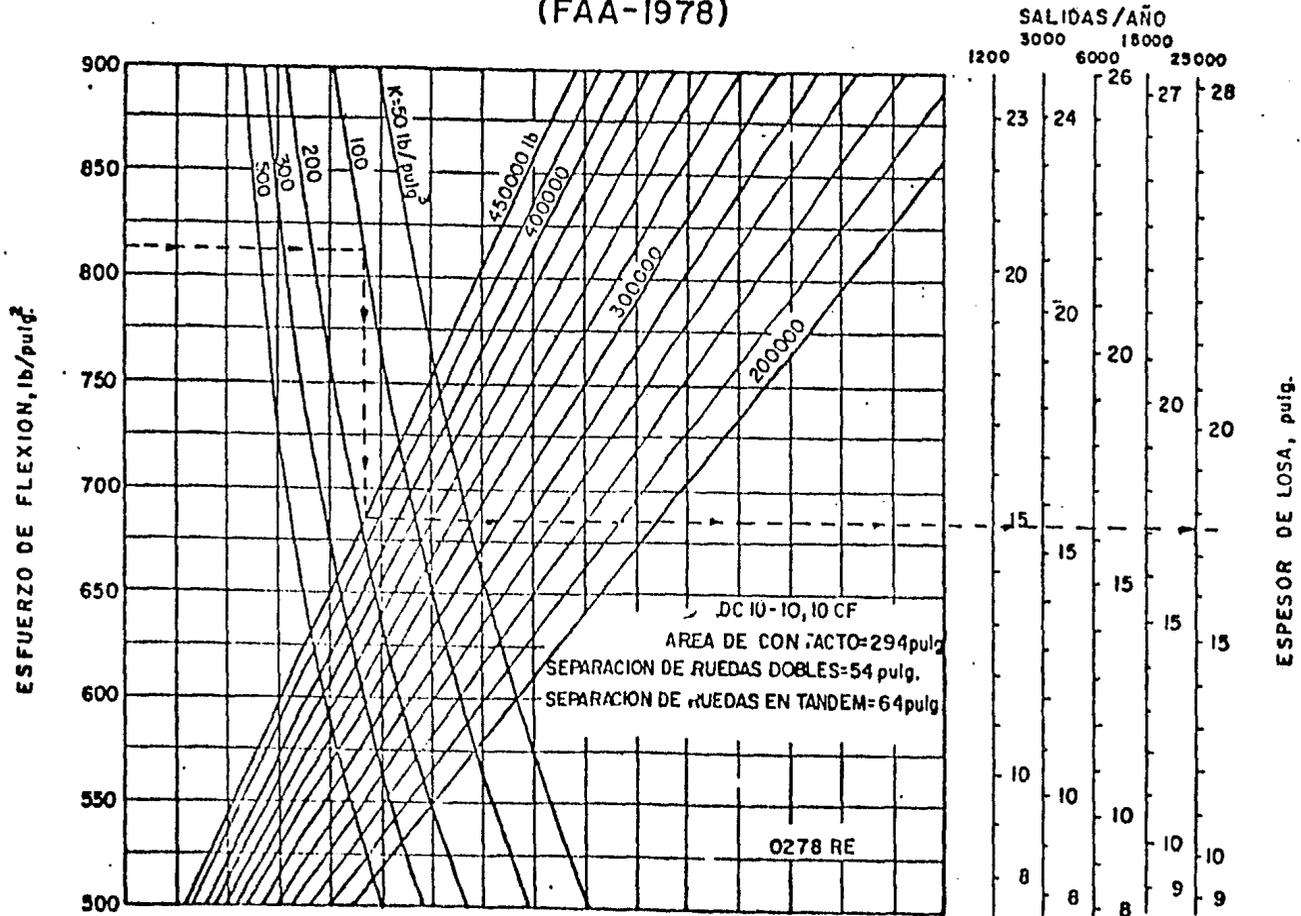


FIGURA II.26 :

1 pulg = 2.54 cm    1 lb/pulg<sup>2</sup> = 0.0069 MN/m<sup>2</sup>  
1 lb = 0.454 Kg    1 lb/pulg<sup>3</sup> = 0.272 MN/m<sup>3</sup>

CURVAS DE DISEÑO OPCIONALES DE PAVIMENTO RIGIDO. AVION b-747 SP

(FAA-1978)



NOTA:

1 pulg=2.54 cm     $1 \text{ lb/pulg}^2 = 0.069 \text{ MN/m}^2$   
 1 lb=0.454 kg     $1 \text{ lb/pulg}^3 = 0.272 \text{ MN/m}^3$

FIGURA II.27 ;

CURVAS DE DISEÑO OPCIONALES DE PAVIMENTO RIGIDO. AVION DC-10-10, 10 CF

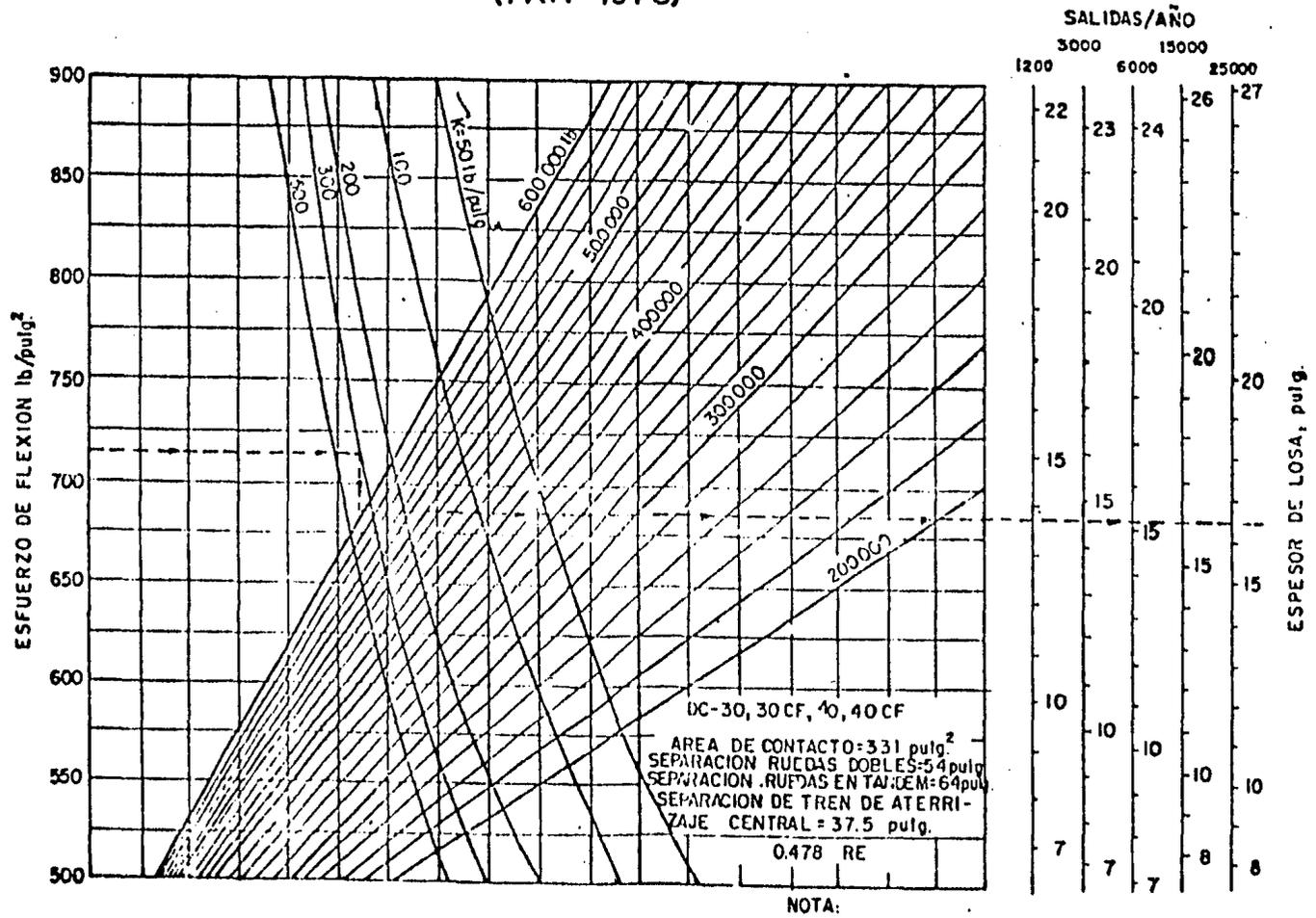


FIGURA II.28 :  
 CURVAS DE DISEÑO OPCIONALES DE PAVIMENTO RIGIDO.  
 AVIONES DC 10-30, 30 CF, 40, 40 CF

(FAA-1978)

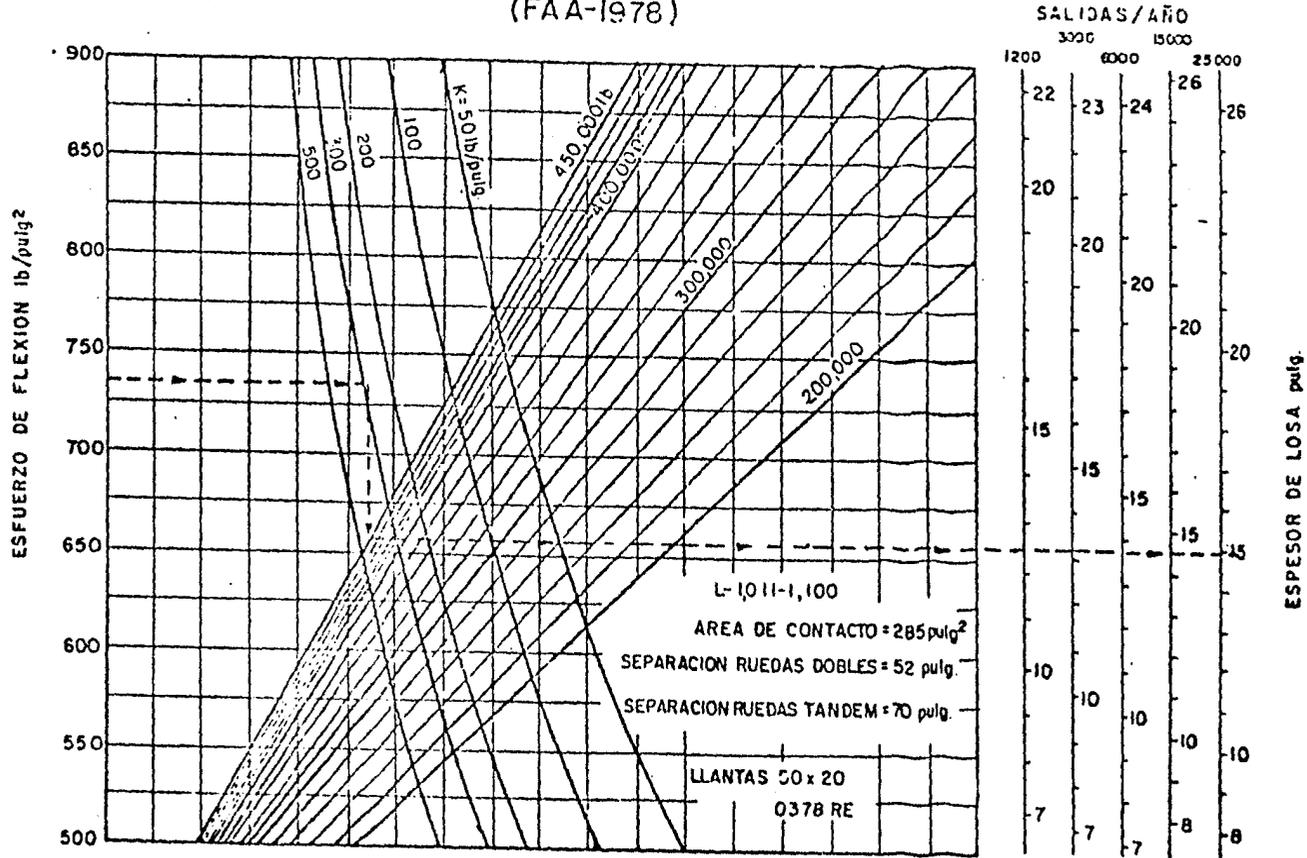


FIGURA II.29 :

NOTA:  
1 pulg = 2.54 cm. 1 lb/pulg<sup>2</sup> = 0.0069 MN/m<sup>2</sup>  
1 lb = 0.454 kg. 1 lb/pulg<sup>3</sup> = 0.272 MN/m<sup>3</sup>

CURVAS DE DISEÑO OPCIONALES DE PAVIMENTO RIGIDO. L-1011-1,100

(FAA-1978)

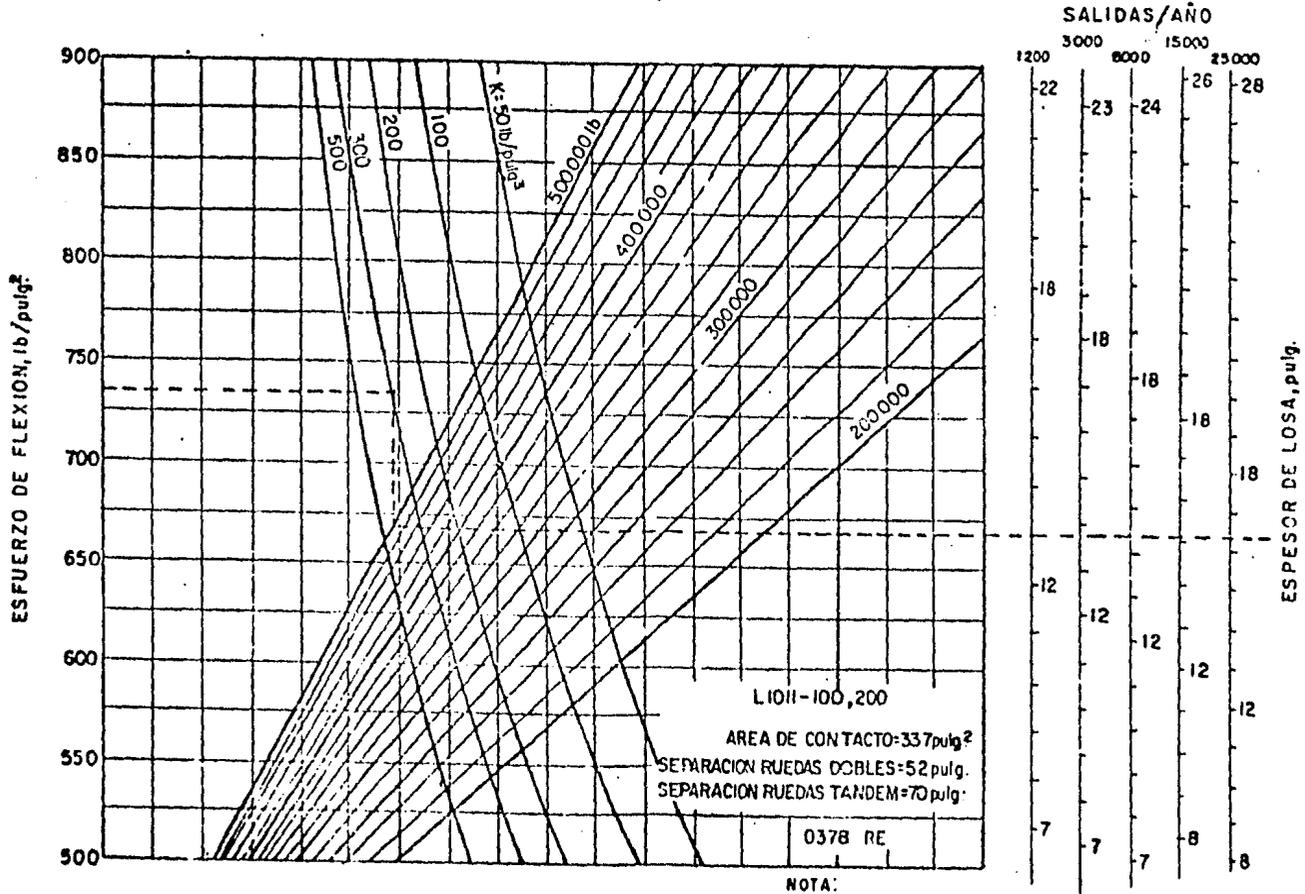
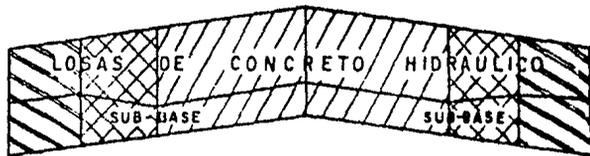
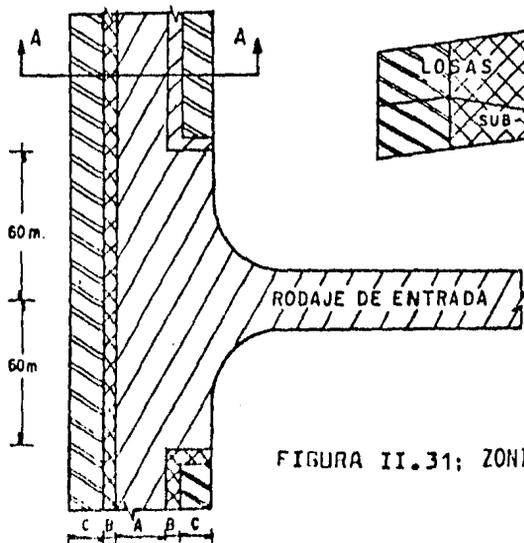
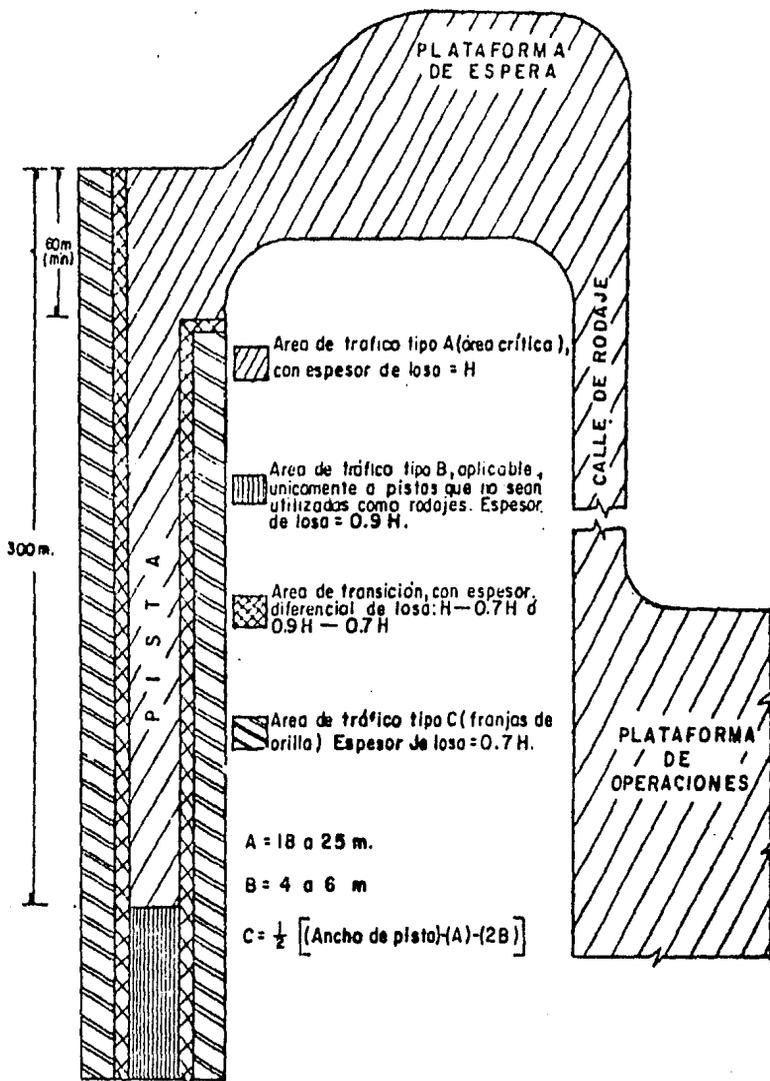


FIGURA II.30 :

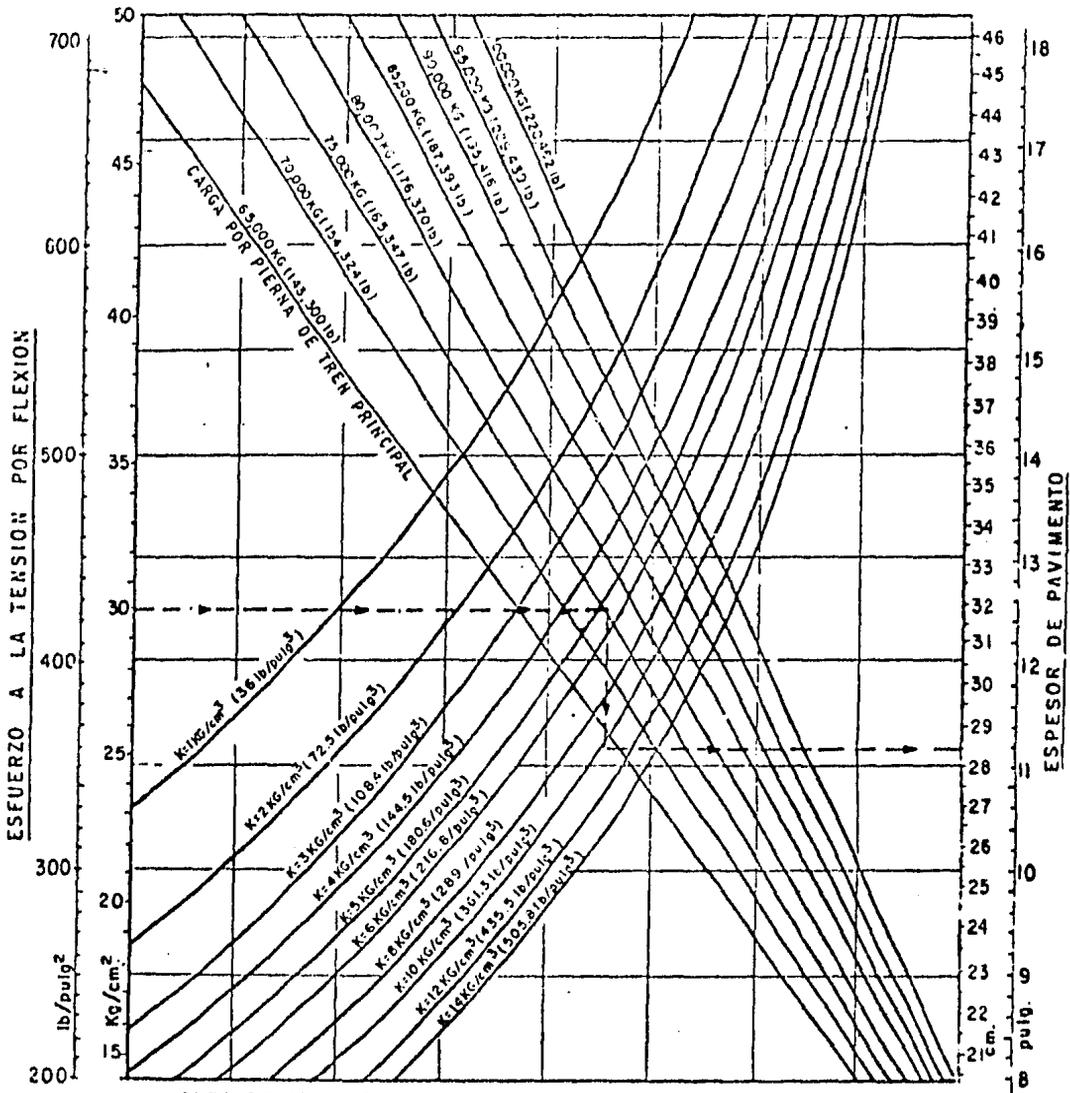
NOTA:  
 1 pulg = 2.54 cm. 1 lb/pulg<sup>2</sup> = 0.0069 MN/m<sup>2</sup>  
 1 lb = 0.454 kg. 1 lb/pulg<sup>3</sup> = 0.272 KN/m<sup>3</sup>

CURVAS DE DISEÑO OPCIONALES DE PAVIMENTO RIGIDO - L-1011-100,200

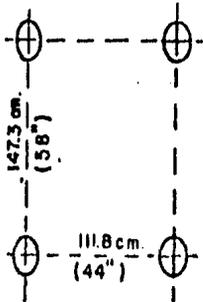


CORTE A-A

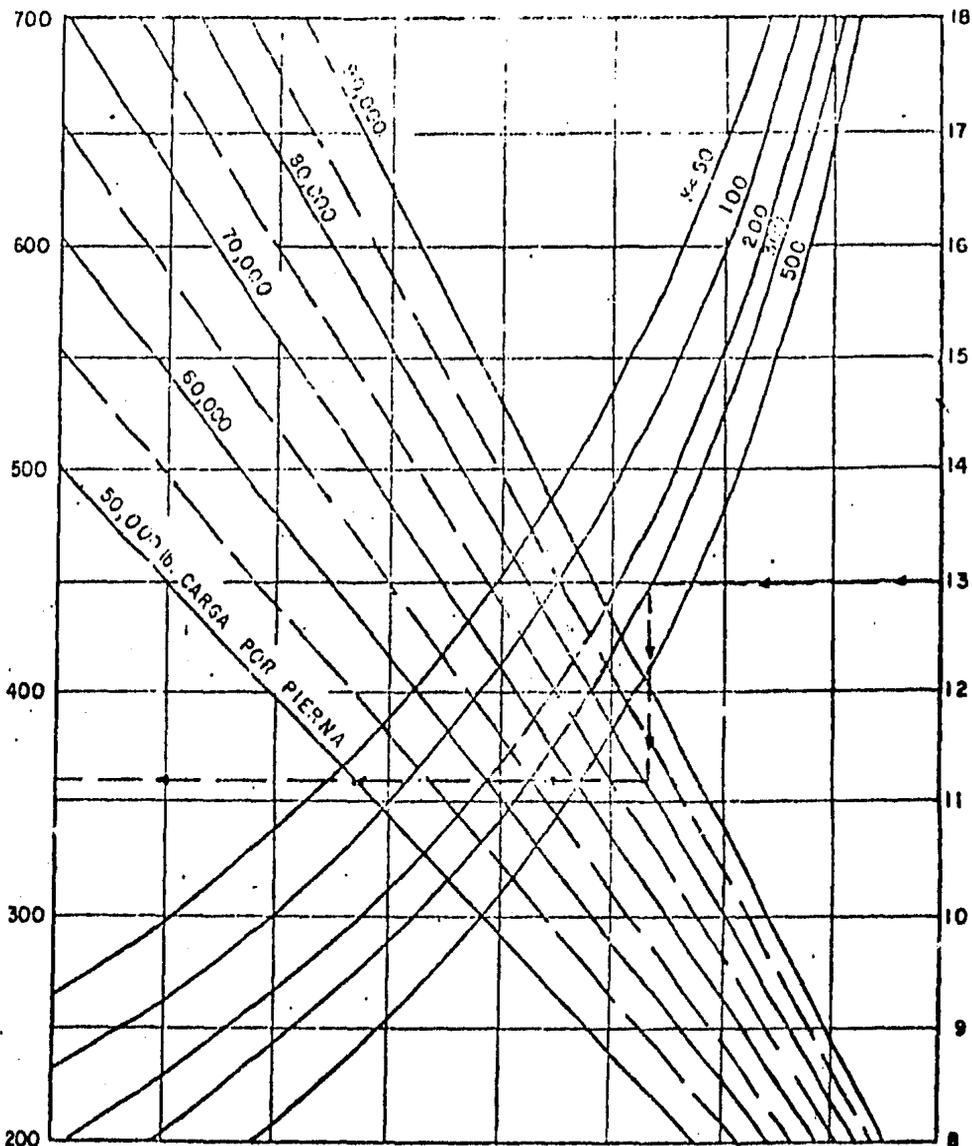
FIGURA II.31; ZONIFICACION TIPICA DE PAVIMENTOS.



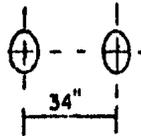
AREA DE CONTACTO  
 POR LLANTA: 1,316.1cm<sup>2</sup>  
 (204 pulg.<sup>2</sup>)



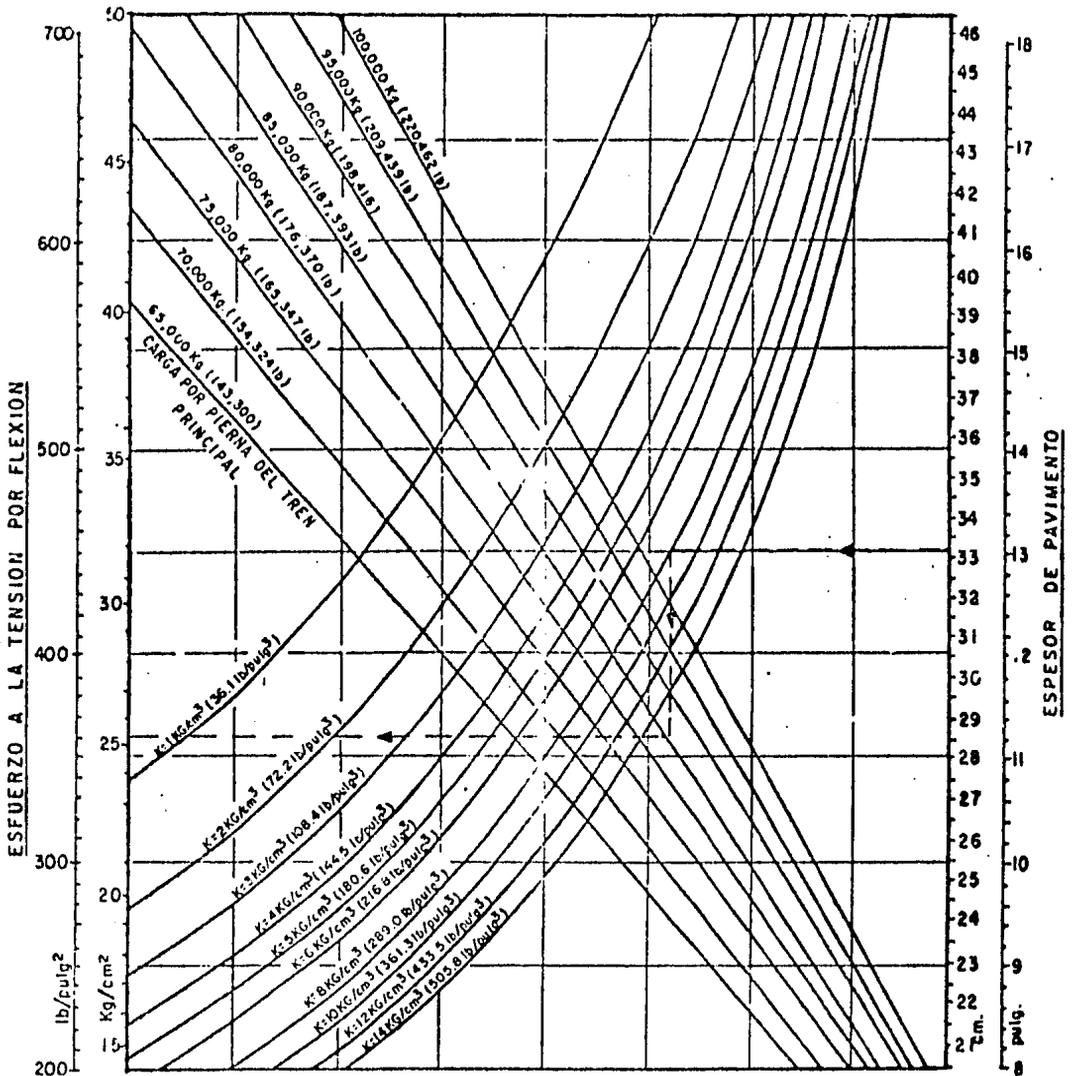
AVION: BOEING B-747
GRAFICA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO DE AEROPUERTOS
Pierna fren principal: Doble tándem
FUENTE: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION
<u>FIGURA II.32</u>



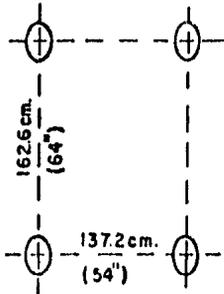
AREA DE CONTACTO  
POR LLANTA=237 pulg<sup>2</sup>



**BOEING 727**  
**CARTA DE DISEÑO ESPECIAL**  
**PARA**  
**PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO DE**  
**AEROPUERTOS**  
**(BASADO EN EL PROGRAMA DE COMPUTADORA**  
**PDILB)**  
**TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL RUEDAS DOBLES**  
**FIGURA II.33**  
**ASOCIACION DEL CEMENTO PORTLAND**



AREA DE CONTACTO  
POR LLANTA: 1,638.7 cm<sup>2</sup>  
(254 pulg<sup>2</sup>)



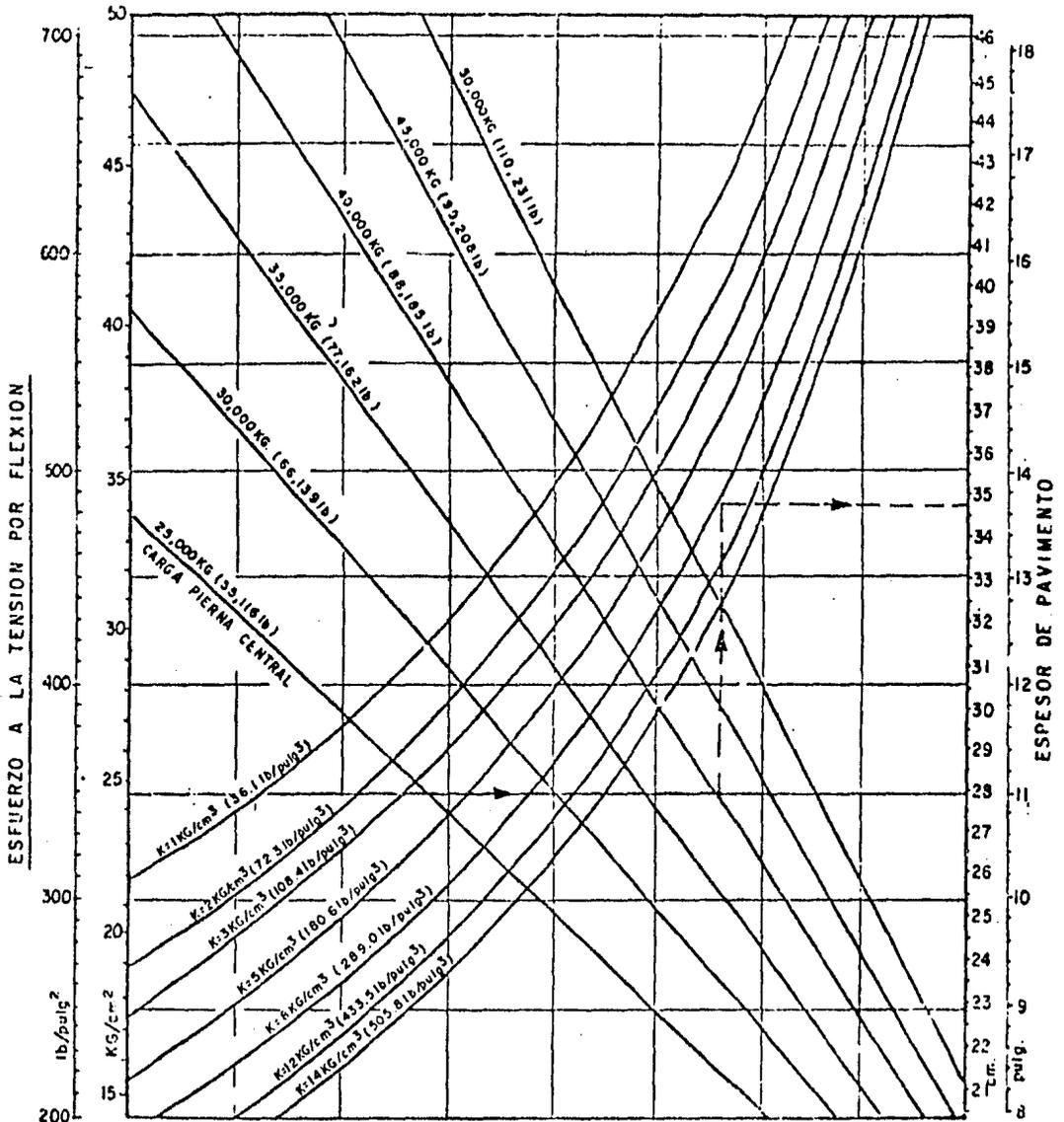
AVION: Mc. DONNELL-DOUGLAS DC-10

GRAFICA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS  
DE CONCRETO HIDRAULICO DE  
AEROPUERTOS.

Pierna tren principal: Doble Idndem.

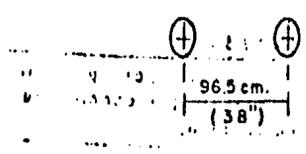
FUENTE: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION

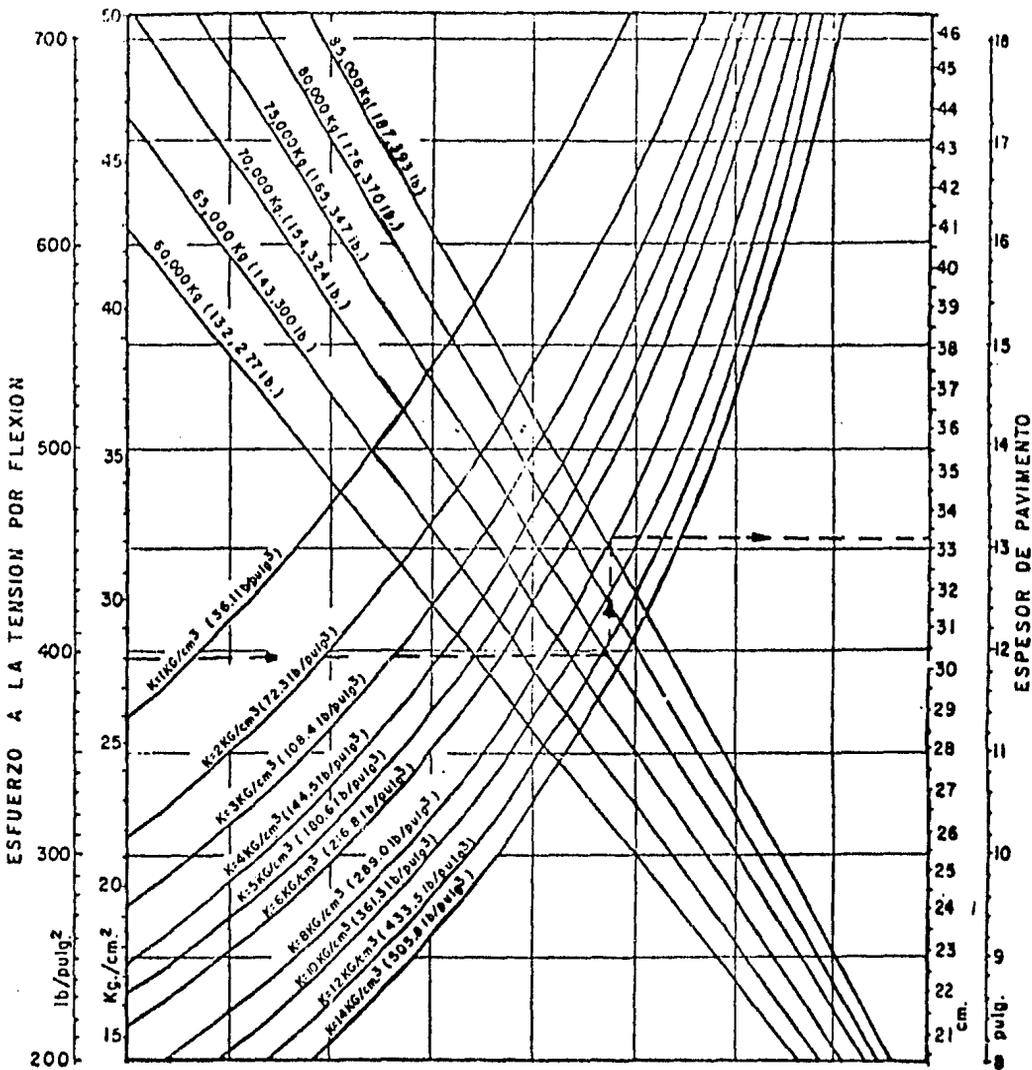
FIGURA II.34



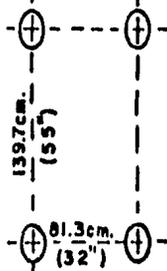
AREA DE CONTACTO  
 POR LLANTA: 1,780.6 cm<sup>2</sup>  
 (276 pulg<sup>2</sup>)

AVION: Mc-DONNELL-DOUGLAS DC-10 (Series 20 y 30, solo para la pierna central)
GRAFICA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO DE AEROPUERTOS
Pierna central. Ruedas dobles
FUENTE: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION
<b>FIGURA II.35</b>

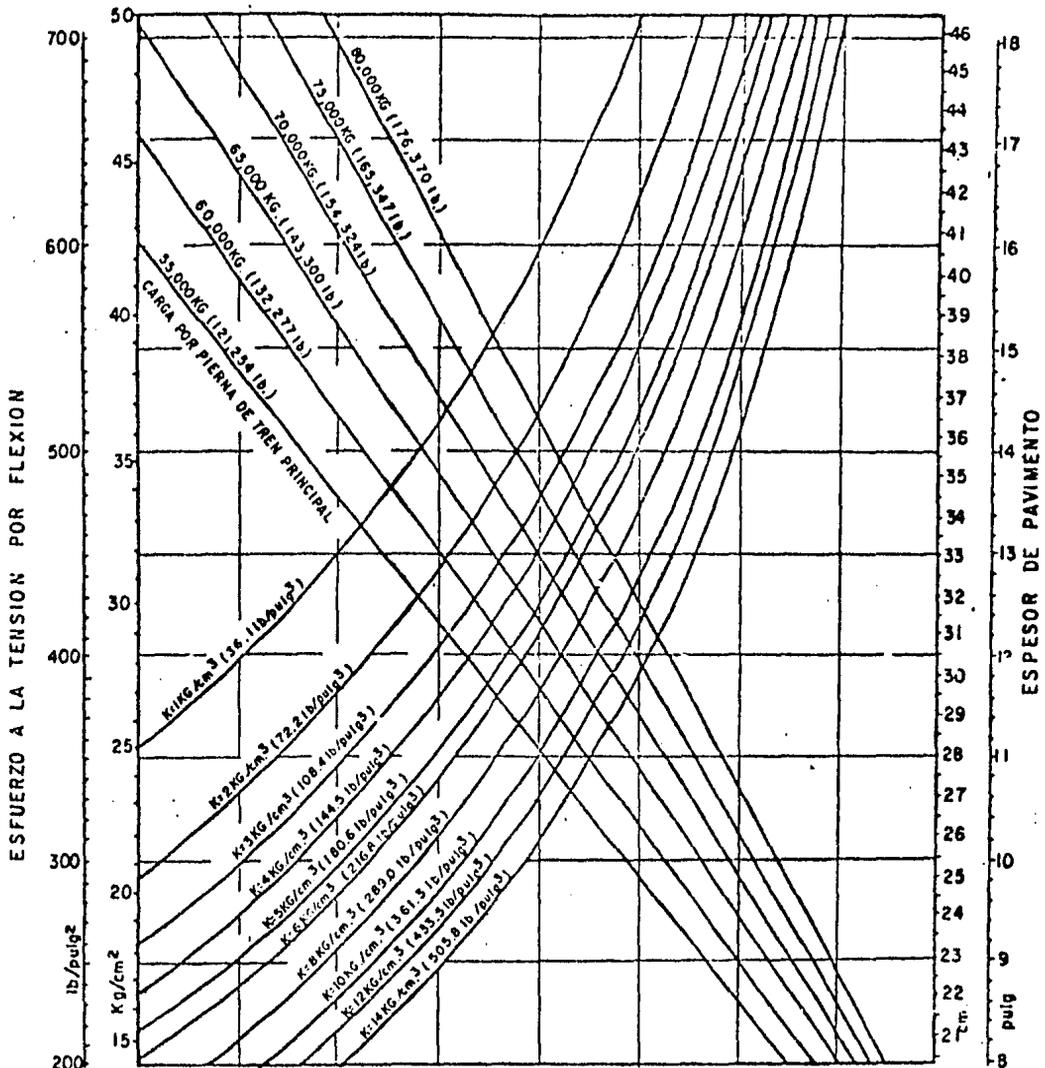




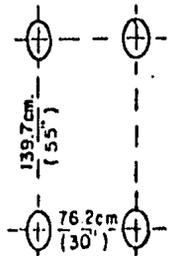
AREA DE CONTACTO  
POR LLANTA 1,419.4cm<sup>2</sup>  
(220 pulg<sup>2</sup>)



AVION: Mc.DONNELL-DOUGLAS DC-8 (Modelos 62,63)
GRAFICA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO DE AEROPUERTOS
Pierna tren principal: Doble lándem
FUENTE: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION
<b>FIGURA 11.36</b>

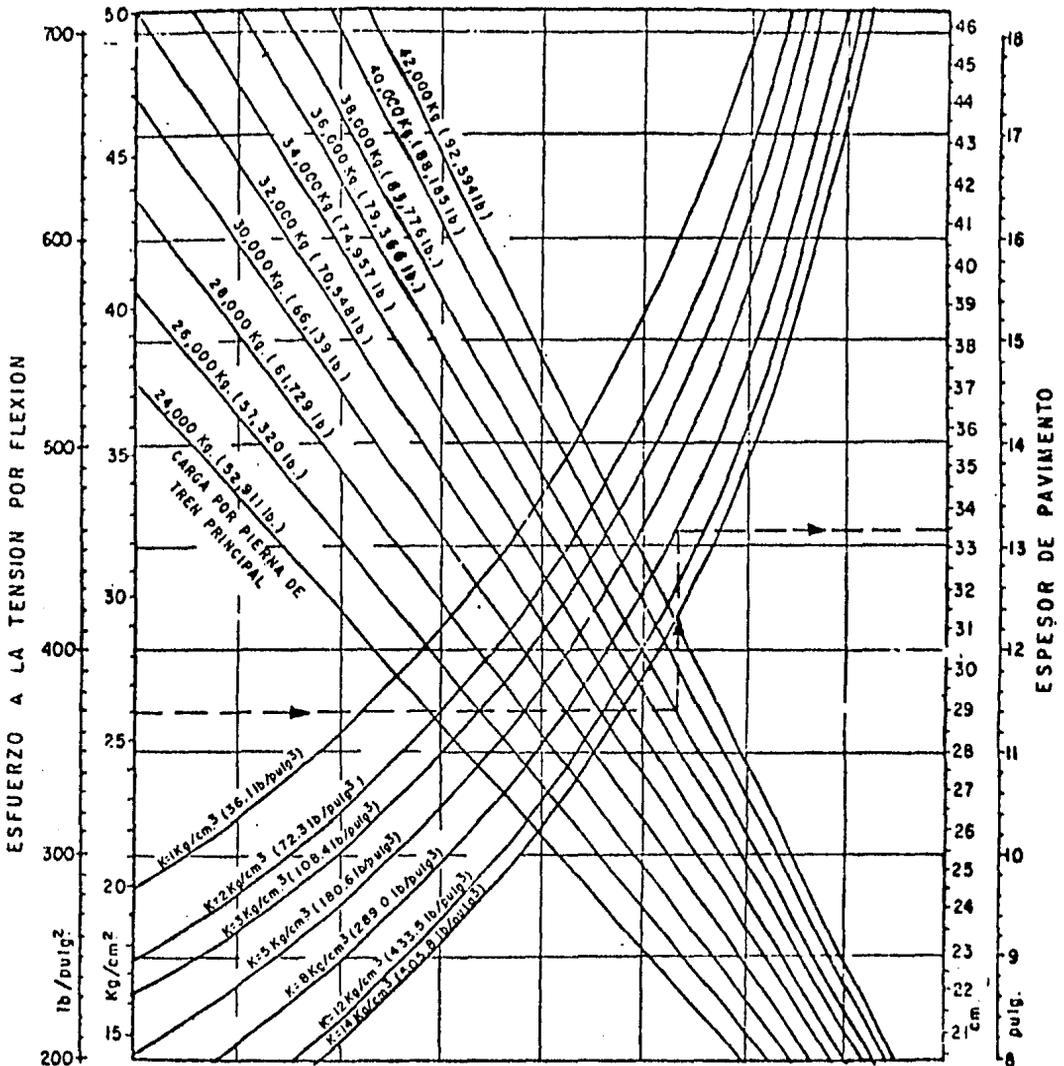


AREA DE CONTACTO POR LLANTA 1,348 cm.<sup>2</sup> (209 pulg.<sup>2</sup>)

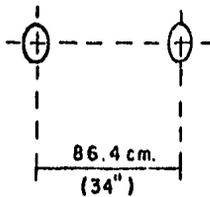


AVION: Mc DONNELL - DOUGLAS DC-8 (MODELOS 55, 61, 62)
GRAFICA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO DE AEROPUERTOS.
Pierna tren principal: Doble Idndem
FUENTE: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION
<b>FIGURA II.37</b>





AREA DE CONTACTO  
POR LLANTA: 1,529.0 cm<sup>2</sup>  
(237 pulg<sup>2</sup>)



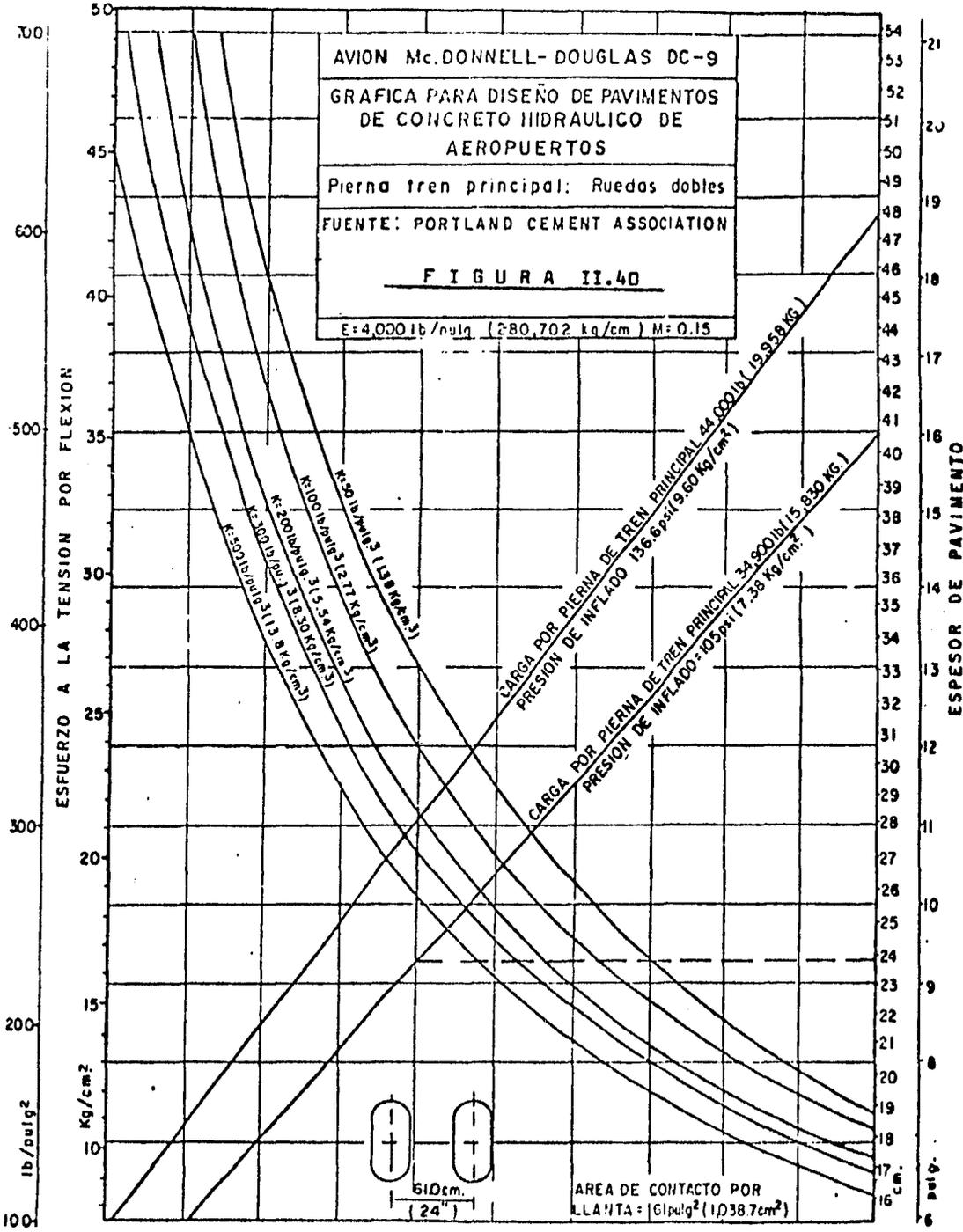
AVION: BOEING B-727

GRAFICA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS  
DE CONCRETO HIDRAULICO DE  
AEROPUERTOS.

Pierna tren principal: Ruedas dobles

FUENTE: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION

FIGURA II,39



### II.3.- USO DE FORMULAS, GRAFICAS Y TABLAS PARA EL DISEÑO DE ESPESORES.

Con la finalidad de ilustrar mejor el uso de fórmulas, gráficas y tablas para el diseño de espesores, se exponen a continuación algunos ejemplos, explicando debidamente la obtención de cada uno de los conceptos requeridos, que integran el cuadro de cálculo:

#### II.3.1.- Método de la Fatiga.

Datos:

Proyecto Carretera XX	Factor de seguridad FS=1.2
Tráfico pesado	Sub-base: suelo-cemento e=10 cm.
Subrasante K=3.0 Kg/cm <sup>3</sup>	MR conc. 28=40 Kg/cm <sup>2</sup>
K del sistema = 7.9 Kg/cm <sup>3</sup>	espesor supuesto losa=23cm
Ancho de carril = 3.65 m.	

carga por eje ton.	carga x F.S ton.	Esfzo. en losa Kg/cm2	Relac. de Es- fzos.	Num. de Repetic. Admis.	No. de repet. esperad.	Consumo de fati %
1	2	3	4	5	6	7
Ejes sencillos						
18	21.6	24.3	0.61	24.000	4,373	18.2
17	20.4	23.6	0.59	42.000	4,373	10.4
16	19.2	22.7	0.57	75.000	4,373	5.8
15	18.0	21.8	0.54	180,000	13,119	7.3
14	16.8	20.5	0.51	400,000	13,119	3.3
13	15.6	19.8	0.50	ilimitado	61,222	0
12	14.4			118,071		
11	13.2			406,689		
10	12.0			870,227		
Ejes tándem						
26	31.2	23.0	0.58	57,000	4,373	7.7
25	30.0	22.6	0.56	100,000	4,373	4.4
22	26.4	20.2	0.51	400,000	17,492	4.4
21	25.2	19.6	0.49	ilimitado	13,119	0
20	24.0				43,730	
19	28.8				78,714	
18	21.6				323,602	
17	20.4				376,078	
16	19.2				406,689	
SUMA =						61.5
Consumo de fatiga admisible=						125.0

### II.3-A.- Obtención de los conceptos:

Columna 1.- Cargas de eje tomadas de los datos de tráfico, correspondiente al mayor valor de cada intervalo tabla II.9

Columna 2.- Es la columna 1 multiplicada por el F.S. elegido= 1.2

Columna 3.- Esfuerzos ocasionados por las cargas de la columna 2, obtenidos por medio de los nomogramas para ejes sencillos y tándem, Figuras números II.7 y - II.8 respectivamente.

Columna 4.- Es la columna 3 dividida por el valor MR de diseño del concreto.

Columna 5.- Se obtiene de la tabla número II.8 para cada uno de los valores de la columna 4

Columna 6.- Se obtiene de los datos de tráfico tabla No. II.9 correspondiente a cada carga eje.

Columna 7.- Es columna 6 ÷ columna 5 y tomada en porcentaje.

### II.3-B.- Comentarios del cálculo:

Se tomó esta fatiga de 125% pro haber utilizado el dato de MR a 28 días.

El valor del MR a los 90 días se incrementa entre 1.1- y 1.4 veces del de 28 días.

Como el consumo de fatiga es menor que el admisible, - puede hacerse un nuevo tanteo con espesor de losa menor, ya - que si se disminuye el espesor a 22.5 cm., el consumo de fatiga llega a ser aproximadamente de 97% valor razonablemente - cercano a 125% También es posible optar por conservar la losa de 23 cm., y reservar la capacidad de fatiga no utilizada - ( $125-61.5=63.5\%$ ) para cargas eventuales de tránsito imprevistas.

Si por el contrario, el consumo de la fatiga hubiese - excedido el valor de 125%, sería necesario repetir el cálculo, mejorando bien sea el espesor supuesto de losa o la calidad - del concreto empleado.

#### II.3.2.- Método modificado de la PCA.\_

Con la finalidad de hacer una comparación de resultados entre el ejemplo anterior y éste, es conveniente proceder con los mismos datos de diseño:

Datos:

- a) Carga máxima permisible en la República Mexicana para ejes sencillos = 8.2 ton., y para ejes tándem - = 14.5 ton.

## II.3.2.A.- Procedimiento de cálculo:

Carga de diseño = 8.2 ton. x FS = 8.2 (1.2) = 9.8 ton.

Esfuerzo máximo en el concreto =  $0.5 (wR) = 0.5 (40) = 20$  Kg/cm<sup>2</sup>; los demás valores se obtienen como en el ejemplo II.3.1.

Entrando a la figura II.7 con  $K=7.9$  Kg/cm<sup>3</sup> y carga de 9.8 ton., se encuentra que el espesor mínimo necesario para -- que los esfuerzos de flexión no excedan de 20 Kg/cm<sup>2</sup> es 17cm. El análisis para cargas de eje mayores aparece en la tabla siguiente, calculada en base a la figura II.7 para 17 cm. de espesor de losa.

carga ton.	Carga x FS. ton.	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>	Relación de Esfuerzos	Núm. de rept. admisibles	Rep. por día y por <u>ca</u> rril
1	2	3	4	5	6
9	10.8	21.8	0.54	180,000	24.6
10	12.0	34.2	0.60	32,000	4.4
10.5	12.6	25.5	0.63	14,000	1.9
11	13.2	26.4	0.66	6,000	0.8
12	14.4	28.3	0.70	2,000	
13	15.6	30.3	0.75	490	
14	16.8	31.7	0.79	160	

Para 20 años de vida útil.- Este dato se obtiene dividiendo la columna anterior por el número de días de 20 años =  $20 \times 365 = 7,300$  días:  $\frac{180,000}{7,300} = 24.6$  repeticiones por día y por carril.

II.3.2-B. Este pavimento de 17 cm. de espesor de losa, resiste:

- un número ilimitado de ejes sencillos de 8.2 ton.;
- hasta 25 repeticiones diarias de ejes sencillos de 9 ton. -

- (durante 20 años);
- un eje diario de 10 a 11 ton. (durante 20 años);
  - sollicitaciones esporádicas de ejes de 12 a 14 ton.

Obsérvese que este pavimento resultó de menor espesor (17cm) que el del ejemplo II.3.1 (22.5 cm. para 97% de consumo de fatiga), lo cual demuestra la decisiva importancia de los datos de tránsito dentro del diseño; el pavimento de 17 cm. sólo resiste cargas esporádicas de ejes de 12 a 14 ton., - en tanto que el de 22.5 cm. soporta un número ilimitado de re peticiones de cargas de ejes hasta de 12 ton.

### II.3.3.- Método de la fatiga para carriles estrechos.

- 1) De 3.05 m. de ancho
- 2) De 3.35 m. de ancho

#### II.3.3-A.- Procedimiento de cálculo para carriles de 3.05 m. de ancho.

- a) Se calcula el consumo de fatiga para el caso I de acuerdo con el procedimiento descrito para losas de 3.65 m. de ancho.
- b) Se obtiene el valor de L para el pavimento utilizado la tabla II.10 calculando directamente, si está fuera del rango de ella.
- c) Con el valor de L se obtiene para cada carga de eje el factor de ponderación de esfuerzos por medio de las figuras II.11 ó II.12.
- d) Se multiplica la relación de esfuerzos del caso I por el valor del factor de ponderación de esfuerzos correspondiente a cada eje.

- e) De la tabla II.8 se obtiene el número de repeticiones admisibles para cada una de las nuevas relaciones de esfuerzos
- f) Finalmente se calcula el consumo de fatiga y se totaliza para todos los ejes. Debe verificarse que el consumo sea menor que el admisible; en caso contrario el caso II llega a ser más crítico que el caso I, lo cual exige un rediseño; aumentando el espesor supuesto o se mejora la calidad del concreto.

El ejemplo siguiente ilustra el método.

Se desea diseñar un pavimento con las mismas características del ejemplo II.3-1, con la diferencia que el ancho de losa será de 3.05 m., la tabla II.3.2-1, presenta el proceso de cálculo; las columnas de 1 a 7 son iguales al del ejemplo II.3.1. Espesor supuesto del pavimento = 23 cm.

La columna 8 se obtiene de la figura II.12; el valor de  $L$  para entrar a esos gráficos de toma de la tabla II.10 para  $d=23$  cm. (espesor de la losa) y  $K=8.0$  (módulo de reacción combinado  $K_c$ ); el  $L$  obtenido es entonces de 77.62 cm. Las cargas de eje usadas son las de la columna 2. La columna 9 es el producto de la columna 4 por la columna 8.

Las columnas 10 y 11 se obtienen por el procedimiento ya conocido, tal como en el caso I.

#### II.3.3-B.- Comentarios del cálculo.

Se observa que el consumo total de fatiga sobre el borde del pavimento (caso II) excede notablemente el valor admisible ( $518 \gg 125$ ), aunque el consumo en la junta transversal (caso I) solo alcanza a sumar 61.5%. Esto indica que el

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CARGA Ton.	CARGA x F.S. Ton.	ESFUERZOS kg/cm <sup>2</sup> .	RELACION DE ES- FUERZOS.	REPETI- CIONES ADMISI- BLES.	REPETI- CIONES ESPERA- DAS.	CONSUMO DE FATIGA (CASO I)	ESFUERZO DE PONDERA- CION.	RELACION DE ES- FUERZOS.	REPETICIO- NES ADMI- SIBLES.	CONSUMO DE FATIGA (CASO II)
EJES SENCILLOS										
18	21.6	24.3	0.61	24,000	4,373	18.2	1.16	0.70	2,000	218.7
17	20.4	23.6	0.59	42,000	4,373	10.4	1.15	0.67	4,500	91.2
16	19.2	22.7	0.57	75,000	4,373	5.8	1.14	0.64	11,000	39.8
15	18.0	21.8	0.54	180,000	13,119	7.3	1.13	0.61	24,000	54.7
14	16.8	20.5	0.51	400,000	13,119	3.3	1.13	0.57	75,000	17.5
13	15.6	19.8	0.50	ilimitadas	61,222	0	1.13	0.56	100,000	61.2
12	14.1	18.7	0.46		118,071		1.13	0.51	400,000	29.5
11	13.2									
10	12.0									
EJES TANDEM										
26	31.2	23.3	0.58	57,000	4,373	7.7	0.79	0.43	ilimitadas	0
25	30.0	22.6	0.56	100,000	4,373	4.4	0.78	0.43	ilimitadas	0
22	26.4	20.2	0.51	400,000	17,492	4.4	0.78	0.39	ilimitadas	0
21	25.2	19.6	0.49	ilimitadas	13,119	0	0.77	0.37	ilimitadas	0
20	24.0									
Suma						61.5	Suma			518.6

TABLA II.3.2-1.- EJEMPLO DE DISEÑO DE ESPESORES.

PARA CARRILES DE 3,05 NTS. DE ANCHO.

pavimento estrecho fallaría por su borde (zona crítica), siendo necesario un rediseño con mayor espesor o con mejor calidad de concreto. Nótese que, en cambio, el pavimento diseñado para 3.65 m. de ancho satisface ampliamente los requisitos exigidos a pesar de tener el mismo espesor, subrasante, subbase, tráfico y calidad del concreto.

#### II.4.- TIPOS DE JUNTAS Y PASAJUNTAS.

Las juntas son dispositivos estructurales en los pavimentos rígidos, cuyo objetivo es:

- a) Controlar el agrietamiento producido por contracciones y los efectos combinados de alabeo con las cargas.
- b) El proporcionamiento adecuado para transmitir las cargas.
- c) El movimiento de las losas en los cruzamientos con otros pavimentos, o estructuras.

Por lo que se consideran absolutamente necesarias en el funcionamiento de los pavimentos de concreto simple, aunque es posible construir pavimentos rígidos con muy pocas juntas, utilizando concreto reforzado o concreto pretensado; sin embargo, su costo es tan alto en nuestro país, que ellos no presentan una solución económica al problema vial de México, y por eso no se tratan en el desarrollo de este trabajo.

##### II.4.1.- Tipos de juntas.

###### II.4.1.1.- Juntas Longitudinales.-

Este tipo de juntas se emplean generalmente para controlar las grietas longitudinales de contracción, además se apro

-echan para adaptar constructivamente el ancho de carril y pueden quedar formadas al colar en franjas longitudinales el pavimento; generalmente llevan barras de sujeción, coladas a la mitad del espesor para prevenir deslizamientos laterales de las losas. Figura II.41.

En los pavimentos rígidos para Aeropuertos se usan las juntas longitudinales de construcción instaladas paralelamente a lo largo de los bordes de los carriles de construcción, y pueden ser del tipo de caja y espiga cuya función es producir la transferencia de carga en ese lugar Figura II.41-A.

También se utilizan las juntas aserradas ó rellenas, llamadas juntas intermedias porque se usan entre las juntas de construcción. Figura II.41-B

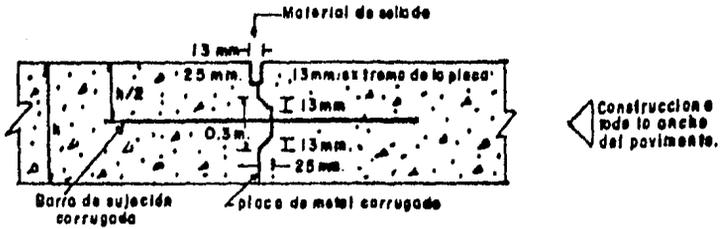
#### II.4.1.2.- Juntas Transversales.

Estas juntas se utilizan para evitar las grietas transversalmente, y caen dentro de dos clases:

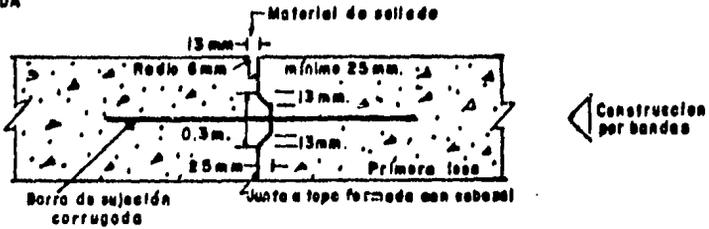
a) Juntas de dilatación, cuya función es aliviar los esfuerzos de compresión que se desarrollan cuando en los pavimentos se producen dilataciones, dejando un espacio entre las losas en donde ocurren los movimientos, figura II.42-A

b) Juntas de contracción, éstas tienen como función -- aliviar los esfuerzos de tensión, debidos a la disminución de volúmen de concreto. Figura II.42

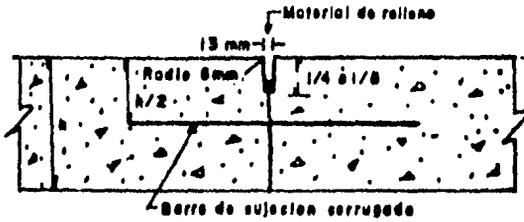
La separación de las juntas longitudinales y también de las transversales dependen de la contracción del concreto, de las condiciones del suelo de la sub-rasante, de las condiciones climáticas y del espesor de la losa.



JUNTA TIPO MACHIHEBRADA



Ranura formada ▶



JUNTA TIPO RANURA

Ranura cortada ▶

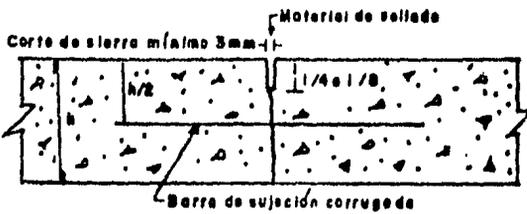
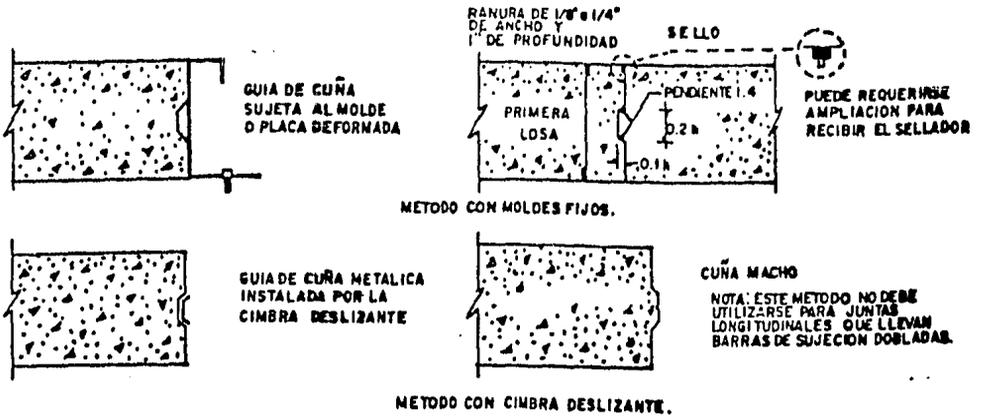


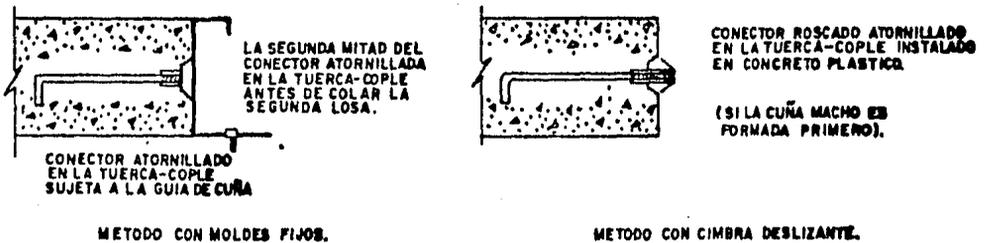
FIGURA II.41- JUNTAS LONGITUDINALES PARA CONCRETOS RIGIDOS EN CARRETERAS



### JUNTAS MACHIHEBRADAS SIN BARRAS DE SUJECION.



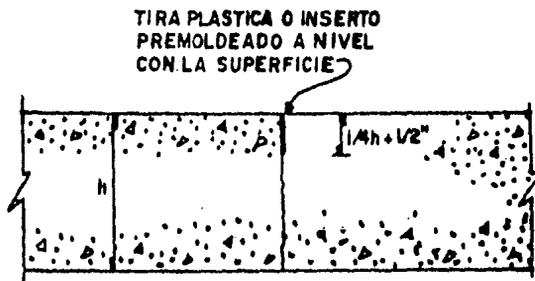
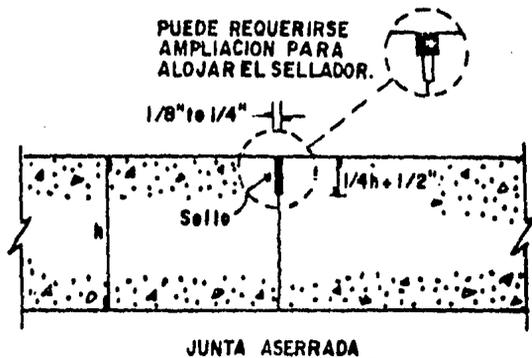
### JUNTAS MACHIHEBRADAS CON BARRAS DE SUJECION.



### JUNTAS MACHIHEBRADAS CON CONECTORES DE SUJECION

- NOTAS: LAS BARRAS Y CONECTORES DE SUJECION SE EMPLEAN SOLO EN CIERTOS LUGARES.  
 - LAS CUÑAS Y LAS BARRAS VAN A UNA PROFUNDIDAD DE 4/8".  
 - TODAS LAS DIMENSIONES Y DETALLES SE INDICAN EN LA FIG. SUPERIOR DERECHA

FIGURA II.41-b- JUNTAS LONGITUDINALES DE CONSTRUCCION, PARA PA-  
 VIMENTOS RIGIDOS EN AEROPISTAS.-



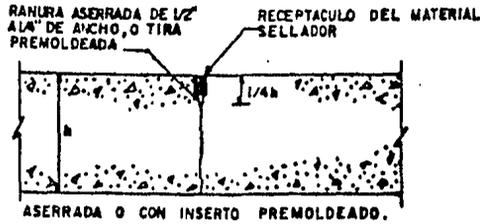
USESE UNICAMENTE PARA JUNTAS ESPACIADAS 15' O MENOS.

JUNTA CON INSERTO PREMOLDEADO O TIRA PLASTICA.

NOTA: PUEDEN REQUERIRSE BARRAS DE AMARRE  
 CORRUGADAS A UNA PROFUNDIDAD  $h/2$

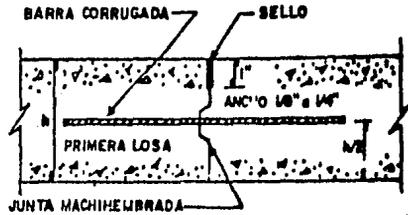
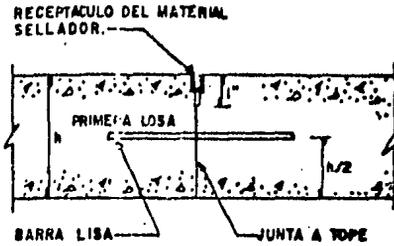
FIGURAS II.41-b.- JUNTAS LONGITUDINALES INTERMEDIAS  
 EN AEROPISTAS

# JUNTAS TRANSVERSALES PARA PAVIMENTOS RIGIDOS EN AEROPISTAS



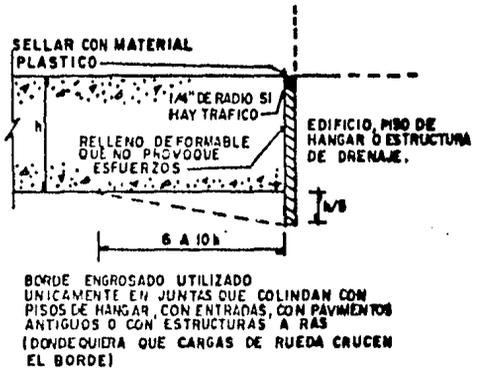
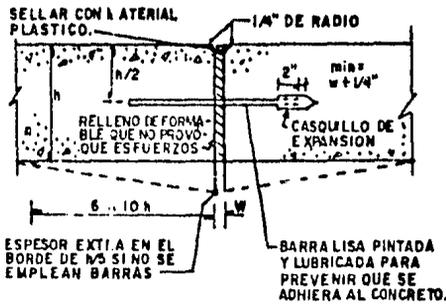
PARA PAVIMENTOS REFORZADOS, SE INSTALAN VARILLAS LISAS A UNA PROFUNDIDAD DE 1/2.

**FIGURA II.42 - JUNTA DE CONTRACCION**



(ESTA JUNTA SOLO SE EMPLEA EN EL TERCIO MEDIO DEL INTERVALO NORMAL DE JUNTAS)

## JUNTAS DE CONSTRUCCION



BORDE ENGROSADO UTILIZADO UNICAMENTE EN JUNTAS QUE COLINDAN CON PISOS DE HANGAR, CON ENTRADAS, CON PAVIMENTOS ANTIGUOS O CON ESTRUCTURAS A RAS (DONDE CUERA QUE CARGAS DE RUEDA CRUCEN EL BORDE)

**FIGURA II.42-a- JUNTAS DE EXPANSION**

#### II.4.2.- Varillas de liga.-

Son varillas corrugadas de acero, y se usan a través de las juntas de los pavimentos rígidos donde sea necesario o deseable asegurar un firme contacto entre las caras de las losas adyacentes.

Las varillas de liga no se proyectan para actuar como elementos de transmisiones de carga, sino que se proyectan para resistir esfuerzos de tensión.

#### II.4.3.- Pasajuntas.- (Varillas lisas y redondas de acero)

Las pasajuntas, son dispositivos mecánicos para la transmisión de carga, se construyen como parte integral de ciertas juntas transversales. Estas son necesarias y se usan únicamente en los pavimentos proyectados con esquinas con dispositivos para la transmisión de carga, y se usan generalmente en los siguientes tipos de juntas transversales: juntas de dilatación y juntas de contracción.

#### II.5.- CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE JUNTAS Y PASAJUNTAS.

Quando se van a diseñar juntas y pasajuntas estructurales es necesario tomar muy en cuenta las principales condiciones que deberá cumplir cada una de éstas, para su adecuado funcionamiento estructural. Estas condiciones son las siguientes:

- a).- Localización adecuada, de tal manera que controle eficazmente el agrietamiento potencial causado por la retracción y dilatación térmica del concreto mismo, así como por los esfuerzos de alabeo.

- b).- Transmisión adecuada de las cargas a la losa adyacente, con el fin de evitar fallas por deformaciones excesivas o pérdida en la calidad del radamiento.
- c).- Protección adecuada de la sub rasante contra el agua. La junta debe ser impermeable, de tal manera que el agua no pueda infiltrarse a través de ella.

II.5.1.- Junta Longitudinal.- El papel principal de la junta longitudinal es controlar el agrietamiento producido por el alabeo.

- a).- Si el pavimento se construye con todo su ancho completo en una sola operación, la junta, debe ser marcada con una ranura que separe los carriles y proporcione alojamiento adecuado al sello de la junta; la transmisión de cargas se hace por trabazón de agregados, y es usual colocar barras de anclaje que mantengan unidas las caras de las juntas y garanticen su eficiencia: figura II.43

Estas barras de anclaje son usualmente de diámetros pequeños (varillas de 12.7 mm ( $\frac{1}{2}$ " ) ó 15.9 mm ( $\frac{5}{8}$ " ) como se puede ver en la tabla II.15

Puede usarse acero liso, aunque es más recomendable el corrugado, por su mejor adherencia con el concreto.

- b).- Si el pavimento se construye carril por carril (que es lo más usual en nuestro país), la junta longitudinal es también junta de construcción, del tipo "machi-hembrado", con barras de anclaje - -

cuando no existe confinamiento lateral, como se puede apreciar en la figura II.44.

Las barras de anclaje para cualquier tipo de juntas -- longitudinal que las requiera, se diseñan para resistir la -- fuerza de tracción generada por la fricción entre la losa del pavimento y la sub-rasante. La sección transversal de acero -- por unidad de longitud de junta se puede calcular con base en la siguiente ecuación.

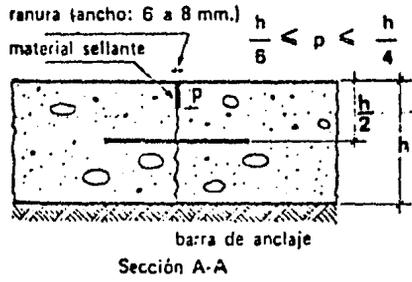
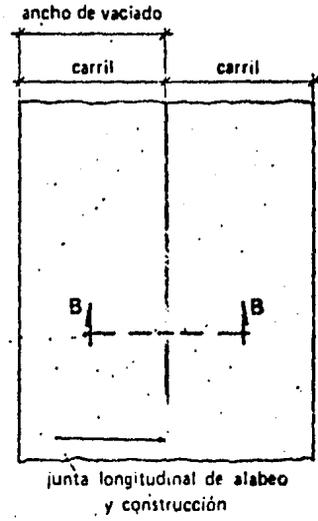
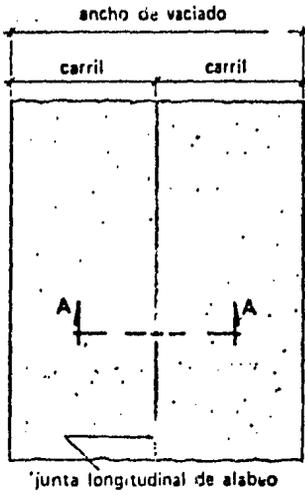
$$A_s = \frac{b f_w}{f_s} \quad \text{II.5.1C En donde:}$$

- $A_s$  = área de acero por unidad de longitud de junta (cm<sup>2</sup>/m).  
 $b$  = distancia entre la junta en consideración y el borde -- bre del pavimento (m) corresponde normalmente al ancho de un carril.  
 $f$  = coeficiente de fricción entre losa y suelo (se toma gene-- ralmente 1.5)  
 $w$  = peso de la losa por unidad de área (Kg/m<sup>2</sup>)  
 $f_s$  = esfuerzo de trabajo del acero (Kg/cm<sup>2</sup>); normalmente se to-- ma igual a 0.67  $f_y$ , siendo  $f_y$  el límite de fluencia del -- acero.

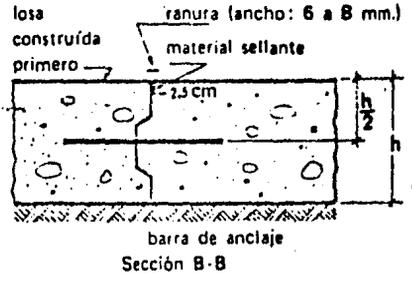
Con respecto a la longitud de las barras de anclaje de -- be ser tal que el esfuerzo de adherencia a cada lado de la -- junta iguale al esfuerzo de trabajo del acero. Agregando 7.5- cm. para compensar defectos de colocación de la varilla, la -- longitud total de ésta puede calcularse por medio de la si-- guiente fórmula:

$$L = \frac{2 \cdot A \cdot f_s}{a \cdot p} + 7.5 \quad \text{II.5.1.D En donde:}$$

- $L$  = Longitud total de la barra de anclaje (cm)  
 $A$  = aréa transversal de una barra de anclaje (cm<sup>2</sup>)  
 $f_s$  = igual que en la ecuación II.5.1.C



JUNTA LONGITUDINAL PARA PAVIMENTO VACIADO EN TODO SU ANCHO



JUNTA LONGITUDINAL PARA PAVIMENTO VACIADO CARRIL POR CARRIL

FIGURAS II.43 Y

II.44

JUNTAS LONGITUDINALES

a= esfuerzo de trabajo por adherencia. Para acero corrugado, se permite usar el 10% del valor de la resistencia a compresión del concreto, sin embargo "a" no debe exceder de 24.5 Kg/cm<sup>2</sup>

p= perímetro de una varilla (cm).

La tabla II.15 calculada con base en las dos ecuaciones anteriores, presenta las características de las barras de anclaje más usuales.

#### II.5.2.- Juntas transversales de contracción

La separación entre este tipo de juntas varía entre 4.50 y 7.00 m.; en la selección final del espaciamiento entran en juego tal cantidad de variables, que es muy recomendable utilizar la experiencia local con pavimentos sometidos a condiciones de tránsito, clima y sub-rasante similares a las del proyecto. Si no se dispone de esa experiencia, la separación entre las juntas y el tipo de transmisión de cargas deben proyectarse de acuerdo con las recomendaciones de la PCA, que se muestran en la tabla II.16.

Cuando el pavimento necesita pasadores en las juntas de contracción, éstos se elegirán de acuerdo con la tabla II.17, calculada por la P.C.A. con base en consideraciones teóricas y ensayos de campo y laboratorio. Las barras empujadas deben ser lisas, y al menos una de sus mitades debe engrasarse para impedir su adherencia al concreto y permitir así el libre movimiento horizontal de la losa en la junta. La figura II.46 presenta los detalles de diseño.

#### II.5.3.- Juntas transversales de expansión.

Este tipo de juntas se diseñan cuando el pavimento por construir empalma con otras estructuras viales existentes, -

ESPESOR DE LOSA (cm.)	BARRAS DE $\phi$ 9.5 mm (3/8")				BARRAS DE $\phi$ 12.7 mm (1/2")				BARRAS DE $\phi$ 15.9 mm (5/8")			
	Longitud (cm.)	SEPARACION ENTRE BARRAS (cm)			Longitud (cm.)	SEPARACION ENTRE BARRAS (cm)			Longitud (cm.)	SEPARACION ENTRE BARRAS (cm)		
		carril de 3.05 m	carril de 3.35 m	carril de 3.65 m		carril de 3.05 m	carril de 3.35 m	carril de 3.65 m		carril de 3.05 m	carril de 3.35 m	carril de 3.65 m
Acero de $f_y = 1,875 \text{ kg/cm}^2$ (40000 psi)												
15	45	80	75	65	60	120	120	120	70	120	120	120
17.5		70	80	55		120	110	100		120	120	120
20		60	55	50		105	100	90		120	120	120
22.5		55	50	45		95	85	80		120	120	120
25		45	45	40		85	80	70		120	120	110
Acero de $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$ (50000 psi)												
15	65	120	110	100	85	120	120	120	100	120	120	120
17.5		105	95	85		120	120	120		120	120	120
20		90	80	75		120	120	120		120	120	120
22.5		80	75	65		120	120	120		120	120	120
25		70	65	60		120	115	110		120	120	120

- NOTAS 1.- cuando se emplean barras de acero liso, las longitudes dadas en la tabla se multiplicarán por 1.5  
2.- los valores de la tabla se han calculado con base en un valor de "a" de 24.5 kg/cm<sup>2</sup>.

TABLA NO. II.15.- Contiene las características de las -  
barras de anclaje más usuales.

tales como cruces con otros pavimentos, ferrocarriles, puentes, etc., y se proyectan en base a la figura II.47 requieren siempre el uso de pasadores, los cuales se eligen de acuerdo con la tabla II.17

En climas sujetos a grandes variaciones de temperatura, es usual colocar dos o más juntas de expansión. El ancho máximo de la junta es de 2.5 cm. y el que más se recomienda y utiliza es de 2.0 cm.

Cuando se presentan condiciones en las que no es posible construir mecanismos adecuados para la transferencia de cargas, se construye una junta como la que se muestra en la figura II.48-D en la cual se aumenta el espesor de la losa para absorber los esfuerzos de borde ocasionados por el tráfico.

Contra estructuras que confinen el pavimento, se coloca una junta de expansión sin pasadores, con un ancho de 1.5- a 2.0 cm. como la que se muestra en la figura II.48-B.

Finalmente, alrededor de los registros de drenaje y de coladeras laterales del mismo, se coloca una junta sin pasadores, - de 0.5 a 0.6 cm. de ancho, como se puede apreciar en la figura II.48-C

La figura II.49, nos ilustra un ejemplo de la disposición típica de juntas para una vía pavimentada en concreto y la figura II.50 nos describe los tipos de juntas.

TIPO DE AGREGADO GRUESO	SEPARACION MAXIMA ENTRE JUNTAS (M)
GRANITO TRITURADO	7.50
CALIZA TRITURADA	6.00
GRAVA CALCAREA	6.00
GRAVA SILICEA	4.50
GRAVA MENOR DE 19 MM (3/4")	4.50
ESCORIAS	4.50

TABLA II.16 Para determinar el espaciamiento de juntas transversales, según la expansibilidad del agregado empleado en el concreto.

#### Mecanismos de transmisión de cargas.-

La transmisión de las cargas del tráfico de una losa a otra adyacente a través de las juntas, puede llevarse a cabo por uno o varios de los siguientes medios.

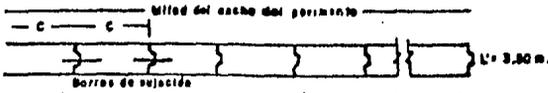
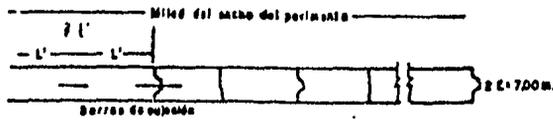
##### 1).- Trabazón de agregados.-

Se trata de un sistema que consiste en marcar una ranura en la superficie del concreto, de tal manera que la sección quede disminuida y permita el agrietamiento espontáneo del concreto como se muestra en la figura II.51

ESPEJOR DEL PAVIMENTO (cm)	DIAMETRO DEL PASADOR		LONGITUD SEPARACION	
	(cm)	(plg)	TOTAL (cm)	ENTRE CENTROS (cm)
10	1.27	1/2	25	30
11 - 13	1.59	5/8	30	30
14 - 15	1.91	3/4	35	30
16 - 18	2.22	7/8	35	30
19 - 20	5.54	1	35	30
21 - 23	2.86	11/8	40	30
24 - 25	3.18	11/4	45	30
26 - 28	3.49	13/8	45	30
29 - 30	3.81	11/2	50	30

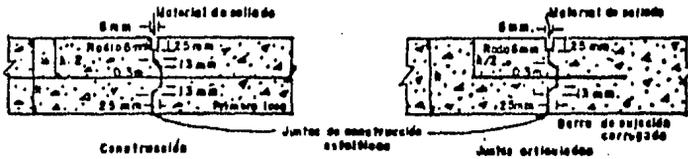
TABLA II.17 Requisitos mínimos para pasadores de acero en -  
juntas de pavimentos.

## JUNTAS DE CONSTRUCCION EN AEROPISTAS.

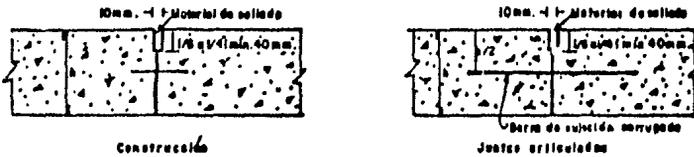


Sección transversal para la construcción del ancho de la banda

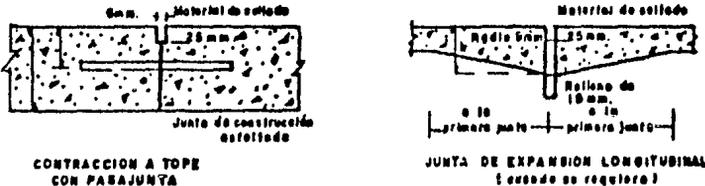
### CONSTRUCCION DE JUNTAS TÍPICAS EN PAVIMENTOS



### TIPO DE LLAVE MACHINERADA



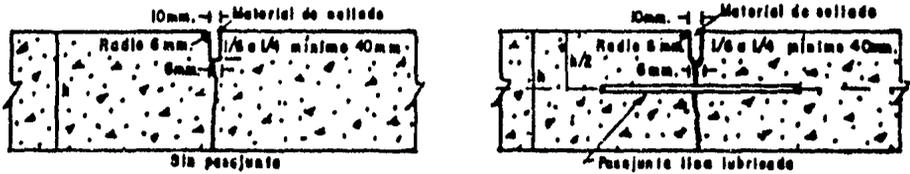
### TIPO DE BARRERA



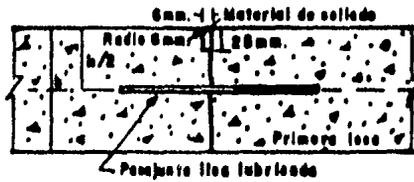
FIGS. II.45; Detalles recomendados de diseño para juntas - transversales en aeropistas.

1. Deberán usarse pasajuntas en juntas ranuradas en los accesos, - pista de rodaje y secciones peraltadas en aeropistas. Deberán - omitirse en otras partes de la aeropista.
2. El tamaño y espaciamiento de las pasajuntas será el que se re - quiera; en la tabla II.18, se presentan datos de espacia - miento como guía.
3. Todas las juntas deberán sellarse con un material aprobado.

**JUNTAS DE CONTRACCION TIPO RANURA**

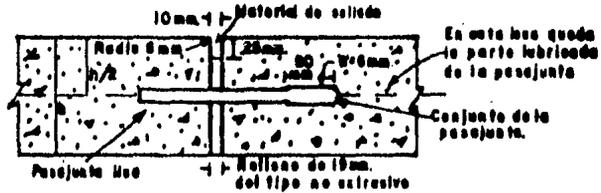


**JUNTA DE CONTRACCION A TOPE CON PASAJUNTAS**

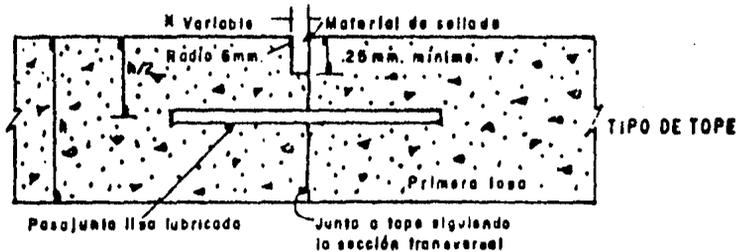
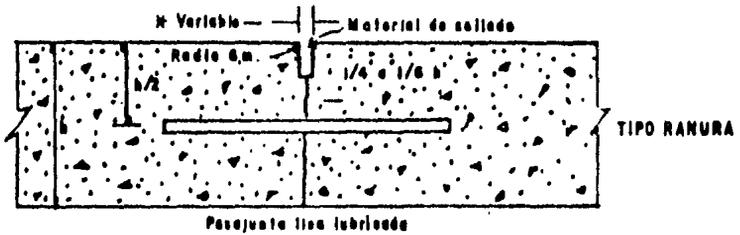
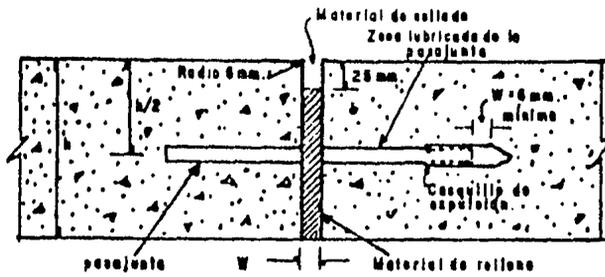


**JUNTAS DE EXPANSION**

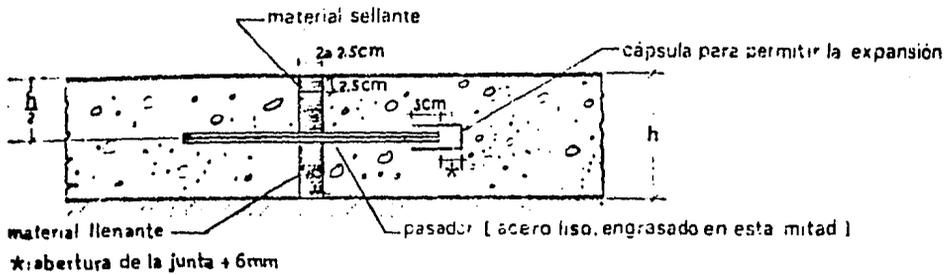
**JUNTA DE EXPANSION CON PASAJUNTAS**



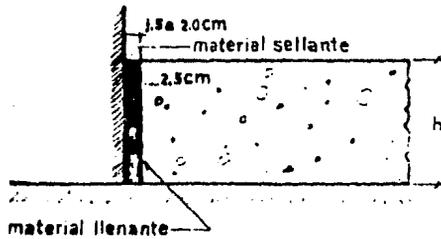
**FIGURAS II.46: Detalles recomendados de diseño de junta de contracción transversal para carreteras.**



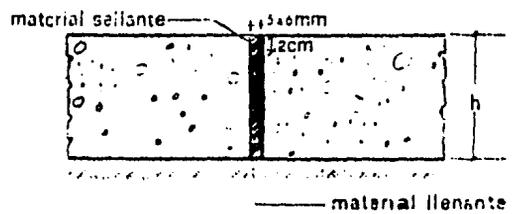
**FIGURAS II.47:** Detalles recomendados de diseño para junta transversal de expansión en carreteras



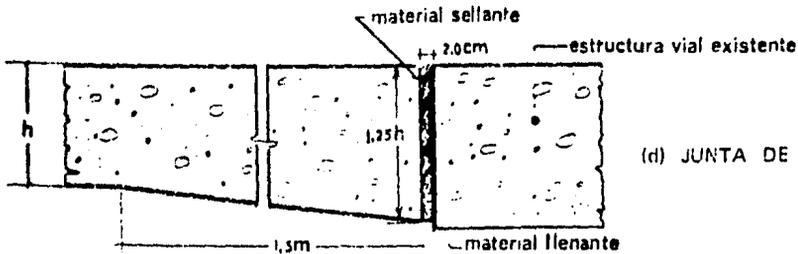
(a) JUNTA DE EXPANSION TIPO 1



(b) JUNTA DE EXPANSION TIPO 2



(c) JUNTA DE EXPANSION TIPO 3



(d) JUNTA DE EXPANSION TIPO 4

FIGURAS II.48.- Para proyectar juntas de expansión.

Juntas	Esposor de losa pulg (cm)	Tráfico	Espaciamiento de juntas
Longitudinales	<12 pulg (30 cm)	-----	<12.5 pies (3.80 m)
	12 a 15 pulg (30 a 38 cm)	canalizado	
	12 a 15 pulg (30 a 38 cm)	no canalizado	Puede ser mayor de 12.5 pies (3.80m) pero no debe exceder la dada para juntas de contracción.
	>15 pulg (38 cm)	-----	
de contracción	-----	-----	$\left( \text{Separación de juntas, en pies} \right) \leq 2 \left( \text{esposor de losa, en pulg} \right)$
de construcción			Cada vez que se interrumpa el colado por más de 30 minutos.

- Se recomienda que las losas sean cuadradas, pues se ha observado que cuando son rectangulares, estas se agrietan para formar losas más pequeñas de dimensiones -- iguales.

Tabla II.18

Recomendaciones de la PCA para espaciamiento de juntas, en aeropistas.

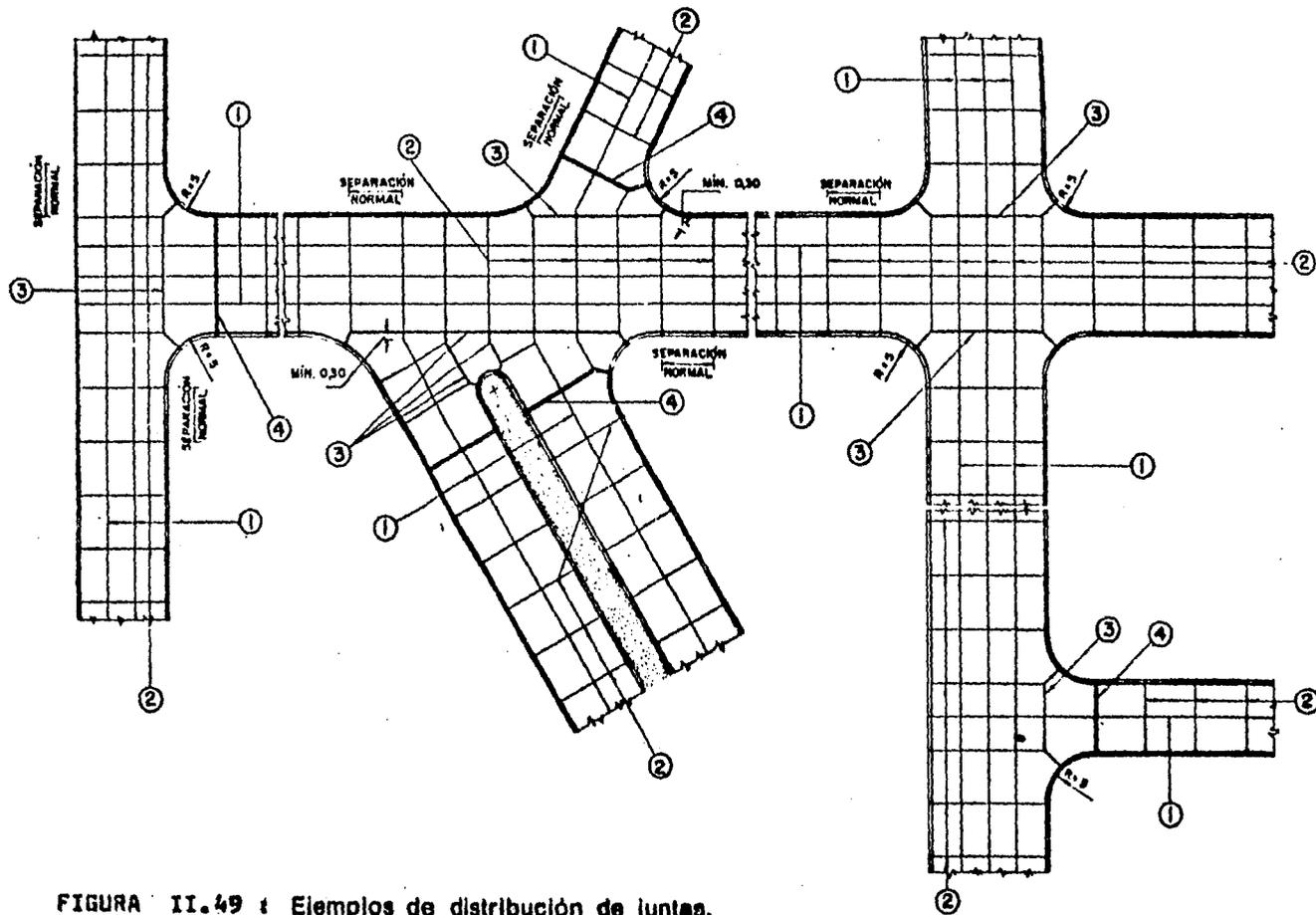
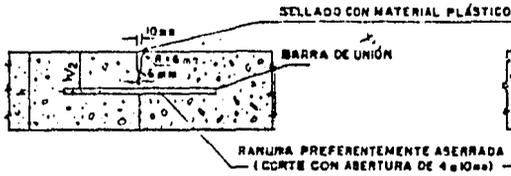


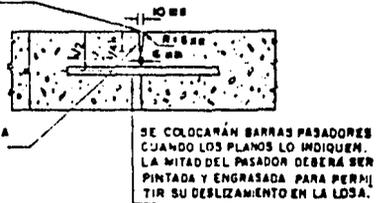
FIGURA II.49 : Ejemplos de distribución de juntas.

Ver TIPOS DE JUNTA EN FIGS. II.50  
 Las medidas están expresadas en metros

① JUNTA LONGITUDINAL de ARTICULACIÓN



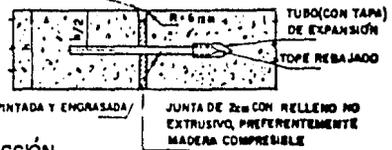
② JUNTA TRANSVERSAL de CONTRACCIÓN



③ JUNTA LONGITUDINAL ENSAMBLADA (BORDES LIBRES)

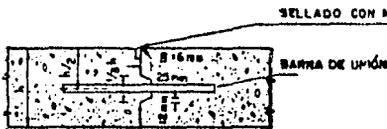


④ JUNTA TRANSVERSAL de EXPANSIÓN



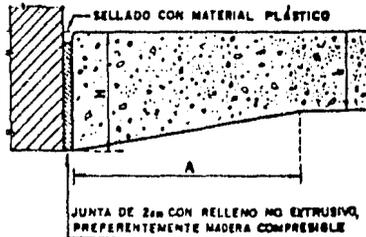
⑤ JUNTAS de CONSTRUCCIÓN

a) Tipo ensamblaje (Longitudinal); b) Tipo a tope (Transversal)



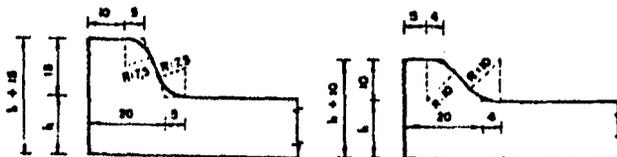
JUNTA FORMADA CON UN MOLDÉ CUYA FORMA COINCIDA CON LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO

⑥ JUNTA de EXPANSIÓN CONTRA OTRAS ESTRUCTURAS



A	0,20	0,30	0,50
H	1,50	0,34h	1,27h

FIGURAS II.50: TIPOS DE JUNTA



C y Jones integrales

Normalmente, la fisura se extiende a través de la parte cementante, y deja intactos los agregados; es la trabazón de los agregados de dos caras vecinas la que proporciona la resistencia a la cizalladura necesaria para la transmisión de cargas.

Este mecanismo solo funciona efectivamente cuando la abertura de la junta no pasa de 0.9 mm de ancho, aunque el valor recomendable es de 0.5 mm. máximo, lo cual implica la necesidad de juntas muy próximas entre sí para minimizar los efectos tanto de la retracción del concreto, como de los cambios de temperatura.

## 2).- Pasadores

En condiciones de tráfico pesado y/o climas extremosos, es necesario complementar la eficiencia de la trabazón de agregados mediante el empleo de barras de acero liso, denominados pasadores, que conectan entre sí las losas separadas por juntas, permitiendo el libre movimiento horizontal de aquellas (losas), para facilitar ésto, se deberá engrasar la mitad del pasador, a fin de evitar su adherencia con el concreto, como se puede apreciar en la figura II.52.

## 3).- Juntas Machi-hembradas.-

La junta machi-hembrada es un mecanismo que transmite satisfactoriamente fuerzas de cizalladura, se utiliza en las juntas longitudinales de construcción y alabeo, y muy raramente en las juntas transversales, debido a su alto costo y sus dificultades constructivas; la figura II.53 muestra una junta machi-hembrada.

## A).- Sellado de las juntas.-

La ranura entre juntas debe sellarse, tanto para impedir la entrada de agua a la sub-rasante como para evitar la penetración de cuerpos extraños dentro de la junta (piedras pequeñas, por ejemplo) que pueden obstaculizar su normal funcionamiento. Adicionalmente, el sello mejora la calidad del rodamiento.

El sello puede ser vaciado "in situ" o premoldeado. El primero consiste en un producto, generalmente asfáltico que se vierte en estado líquido, mientras que el segundo es un dispositivo elástico prefabricado, que se coloca a presión dentro de la junta; en cualquiera de los dos casos, es necesario que ésta tenga una cavidad apropiada para recibir el sellante, como se muestra en la figura II.54.

#### B) Tipos de sellantes más utilizados.-

B.1) Sellantes termoplásticos.- Son materiales que se consiguen tanto en estado líquido como en sólido que se licúan al ser calentados. Los primeros se aplican en frío, y endurecen por evaporación de algún tipo de solvente; los segundos se aplican en caliente, y endurecen al enfriar.

Estos sellantes deberán cumplir con las especificaciones de la ASTM.

B.2) Sellantes de curado químico.- Son productos en los cuales se produce una verdadera reacción química de curado, bien sea por la mezcla "in situ" de dos componentes o por la evaporación de un solvente, lo cual permite la reacción de endurecimiento. Entre los primeros se cuentan los constituidos a base de polisulfuros, siliconas y resinas epóxicas, como el SIKAFLEX-T68 y el COLMA JOINT SEALER, ambos de Sika.

Los segundos incluyen el neopreno, el estireno y el polietileno.

#### c) Sellantes premoldeados.-

Los sellantes premoldeados son elementos de caucho o neopreno, que introducidos a presión dentro de la junta, tienen un excelente funcionamiento, pues además de resistir muy bien las deformaciones y recuperar su forma, no se degradan con el uso y resisten la acción de prácticamente todos los elementos químicos. Aunque son de empleo normal en países desarrollados, su alto costo inicial ha sido un obstáculo para su implantación en México. Sus características están reguladas por las especificaciones ASTM y AASHO, (ahora AASHTO):

### II.6.- PRUEBAS DE LABORATORIO NECESARIAS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

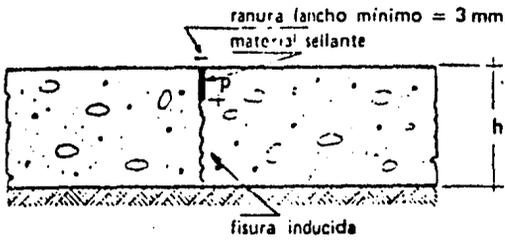
Dentro de la tecnología de diseño y construcción de pavimentos, es básico y muy elemental el conocimiento de las características y comportamiento de los materiales que formarán la estructuración del mencionado pavimento, por lo que a continuación se describen las pruebas consideradas como básicas para el diseño y construcción de pavimentos rígidos.

#### II.6.1.- Prueba Estándar de valor relativo de Soporte.

##### II.6.1.1.- Objetivo de la prueba.-

Determinar la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere, midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un determinado período de saturación.

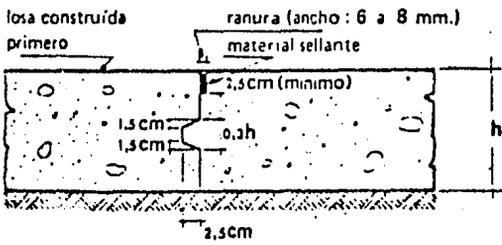
#### 1.2.- Preparación de la muestra



$$\frac{h}{6} < p < \frac{h}{4}$$

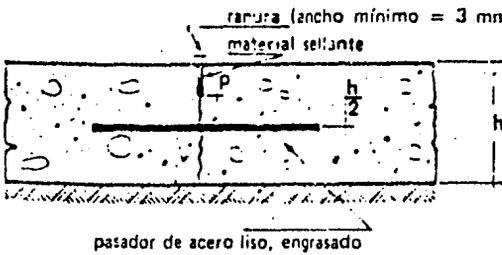
(a) TRABAZON DE AGREGADOS

FIGURA II.51



(b) JUNTA MACHI-HEMBRADA

FIGURA II.52



$$\frac{h}{6} < p < \frac{h}{4}$$

(c) JUNTA CON PASADORES

FIGURA II.53

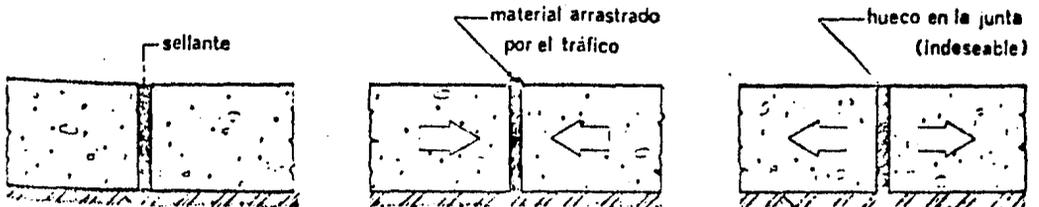


FIGURA II.54

La muestra para efectuar esta prueba deberá haber sido secada, disgregada y cuarteada adecuadamente cuando se ha logrado ya la disgregación de los grumos, se tamiza la muestra por la malla de 1". Si la muestra original contiene menos -- del 15% en peso de material que se retiene en la malla de 1", debe utilizarse para la prueba el material que pasó la malla. Cuando el retenido en la malla de 1" exceda del 15%, será necesario sustituir este retenido por una cantidad igual en peso de material pétreo que pase la malla de 1" y se retenga en la No. 4, el cual deberá tomarse de otra muestra.

La cantidad necesaria de muestra para la prueba no deberá ser menor de 16 Kgs., de los cuales se tomarán por cuarteo porciones de 4 Kgs. para cada determinación.

### 1.3.- Procedimiento de prueba.-

La prueba consiste en medir la resistencia a la penetración de un espécimen compactado a la humedad óptima de Porter, con una carga unitaria de 140.6 Kg/cm<sup>2</sup> aplicada con una máquina de compresión, después de haber sido saturado en agua hasta lograr su máxima expansión.

Los pasos necesarios para verificar la prueba se detallan a continuación en su orden respectivo:

1.3.A.- Obtención de la humedad óptima de Porter por compactación de varios especímenes con la carga unitaria de - 140.6 Kg/cm<sup>2</sup> a diversas humedades.

1.3.B.- Saturación del espécimen compactado a humedad- óptima hasta que alcance su máxima expansión.

1.3.C.- Determinación de la expansión sufrida durante- la saturación .

### 1.3-D.- Determinación de las resistencias a la penetración.

Después de determinar la humedad óptima y peso volumétrico seco máximo del material, se procede al siguiente paso que es:

#### 1.3.B.- La saturación del espécimen.-

Al espécimen seleccionado se le colocan una o dos hojas de papel filtro en la cara superior, una placa perforada con vástago al centro, dos placas de carga y se introduce en el tanque de saturación. Sobre los bordes del molde se coloca un tripié con un extensómetro, anotándose la lectura inicial de éste. Se mantiene el espécimen dentro del agua y se hacen lecturas diarias del extensómetro. Cuando se observe que cesa la expansión deberá anotarse la lectura final del extensómetro y sacar del tanque el molde con el espécimen para sujetar éste a la prueba de penetración.

El período de saturación varía por lo general entre 3- y 5 días.

#### 1.3.o.- Determinación de la expansión.

La diferencia de lecturas final e inicial del extensómetro, expresado en mm., se divide entre la lectura en mm. -- del espécimen antes de sujetarlo a la saturación y este cociente multiplicado por 100 expresa el valor de la expansión.

### 1.3.D.- Determinación de las resistencias a la penetración.

Al molde con el espécimen que fue retirado del tanque de saturación, se le quita el tripié y el extensómetro y con-

todo cuidado se acuesta sin quitar las placas, dejándolo en esta posición durante tres minutos para que escurra el agua.- Se lleva a la prensa, se retiran las placas y el papel filtro y se colocan nuevamente las dos placas de carga.

El pistón para la prueba de penetración debe pasar a través de los orificios de las placas hasta tocar la superficie de la muestra; se aplica una carga inicial que no sea mayor de 10 Kgs., e inmediatamente después, sin retirar la carga, se ajusta a cero el extensómetro, y se procede a la aplicación lenta de cargas continuas con pequeños incrementos y se anotan las cargas correspondientes a cada una de las siete penetraciones indicadas en la tabla No. II.19

LECTURA	PENETRACIONES		CARGAS REGISTRADAS EN KGS.
	EN MM.	EN PULG.	
1a.	1.27	0.05	
2a.	2.54	0.10	
3a.	3.81	0.15	
4a.	5.08	0.20	
5a.	7.62	0.30	
6a.	10.16	0.40	
7a.	12.70	0.50	

TABLA No. II.19

#### 1.4.- Cálculo del valor relativo de soporte.-

La carga registrada para la carga de 2.54 mm. (0.1"),- se debe expresar como un porcentaje de la carga estándar de - 1360 Kgs., y si la prueba estuvo bien ejecutada, el porcentaje así obtenido es el valor relativo de soporte correspondiente a la muestra ensayada.

Con el fin de saber si la prueba estuvo bien ejecutada, se dibuja la curva carga-penetración, anotando en las abscisas las penetraciones y en las ordenadas las cargas registradas para cada una de dichas penetraciones, si esta curva es defectuosa, como la mostrada en la figura II.55 es debido probablemente a que la carga inicial para empezar la prueba fue mayor a los 10 Kgs. especificados al comienzo de este sub-iniciiso. En este caso deberá repetirse la prueba.

Si la curva de resistencias presenta en su iniciación una concavidad hacia arriba, como se indica en la figura No.- II.56 deberá hacerse la siguiente corrección:

Dibújese una tangente a la curva en el punto de máxima pendiente (punto A), hasta cortar el eje de las abscisas en el punto B, que tomará como nuevo origen. Márquense los puntos C, D y E, que se tomarán como las penetraciones de 2.54, 5.08 y 7.62 mm., respectivamente; por lo tanto, las ordenadas C'C, D'D y E'E representarán las cargas corregidas para dichas penetraciones. El valor relativo de soporte de la muestra, será el calculado con el valor de la ordenada C'C, expresado como porcentaje de la carga estándar de 1360 Kgs.

#### II.6.2.- VALOR RELATIVO DE SOPORTE MODIFICADO

2.1.- Esta prueba se efectúa con el objeto de conocer el comportamiento de un suelo, en cuanto a valor relativo de soporte se refiere, variando tanto su peso volumétrico como su humedad de prueba.

2.2.- La Porter modificada se puede realizar en dos variantes, dependiendo de la precipitación pluvial y del drenaje de la zona donde se construirá la obra.

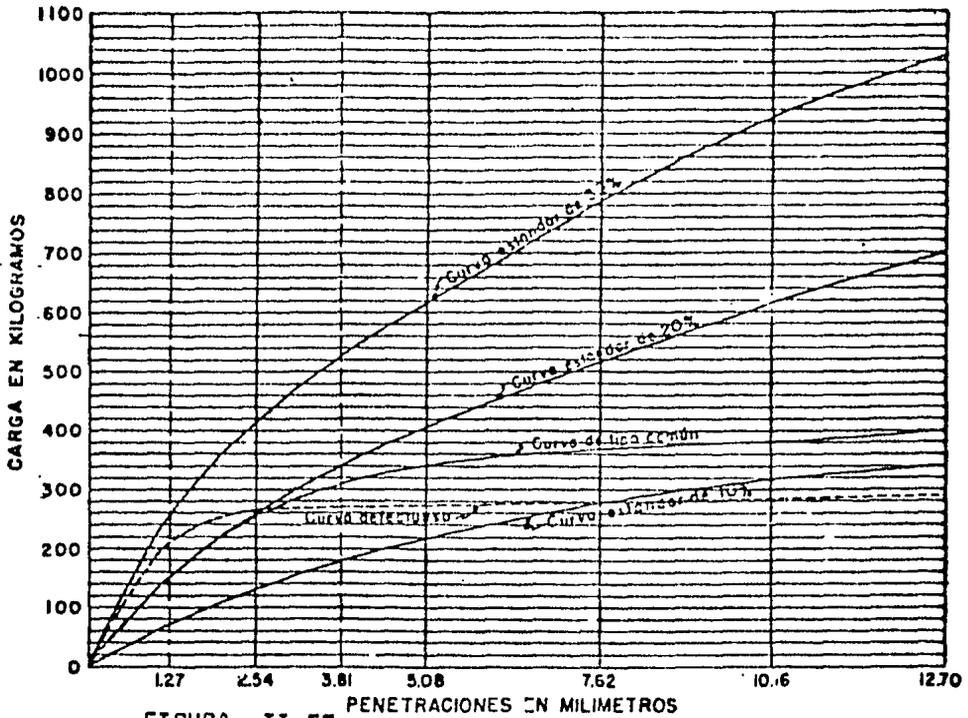


FIGURA II.55

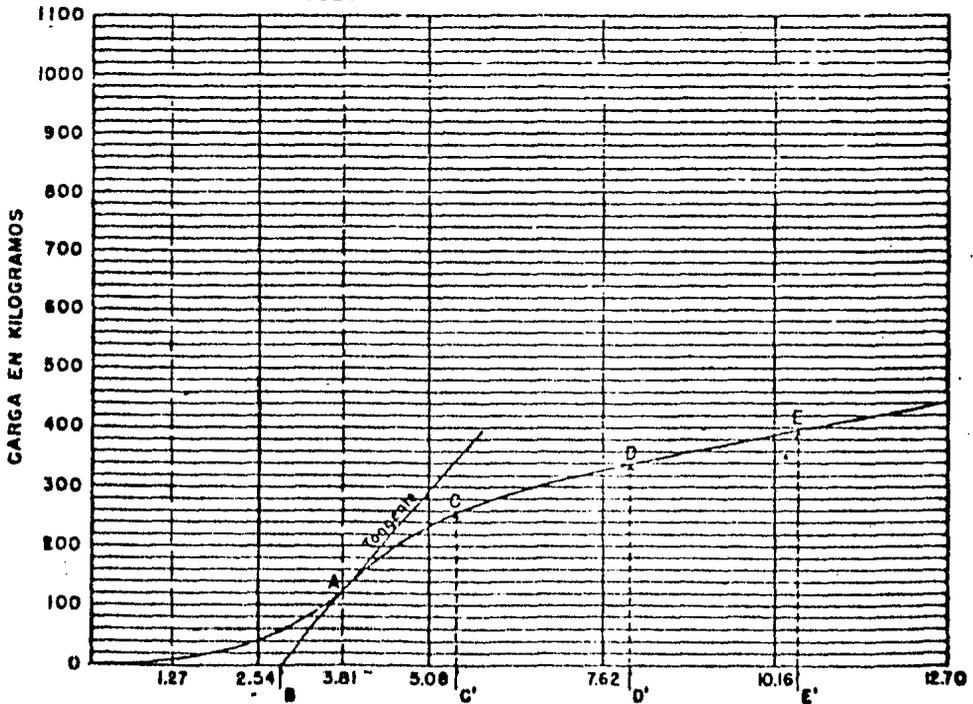


FIGURA II.56 :

PENETRACIONES EN MILIMETROS

$$\text{Valor Soportante Relativo} = \frac{\text{Ordenada } C C' \text{ en kgs.}}{1360 \text{ kgs.}} \times 100$$

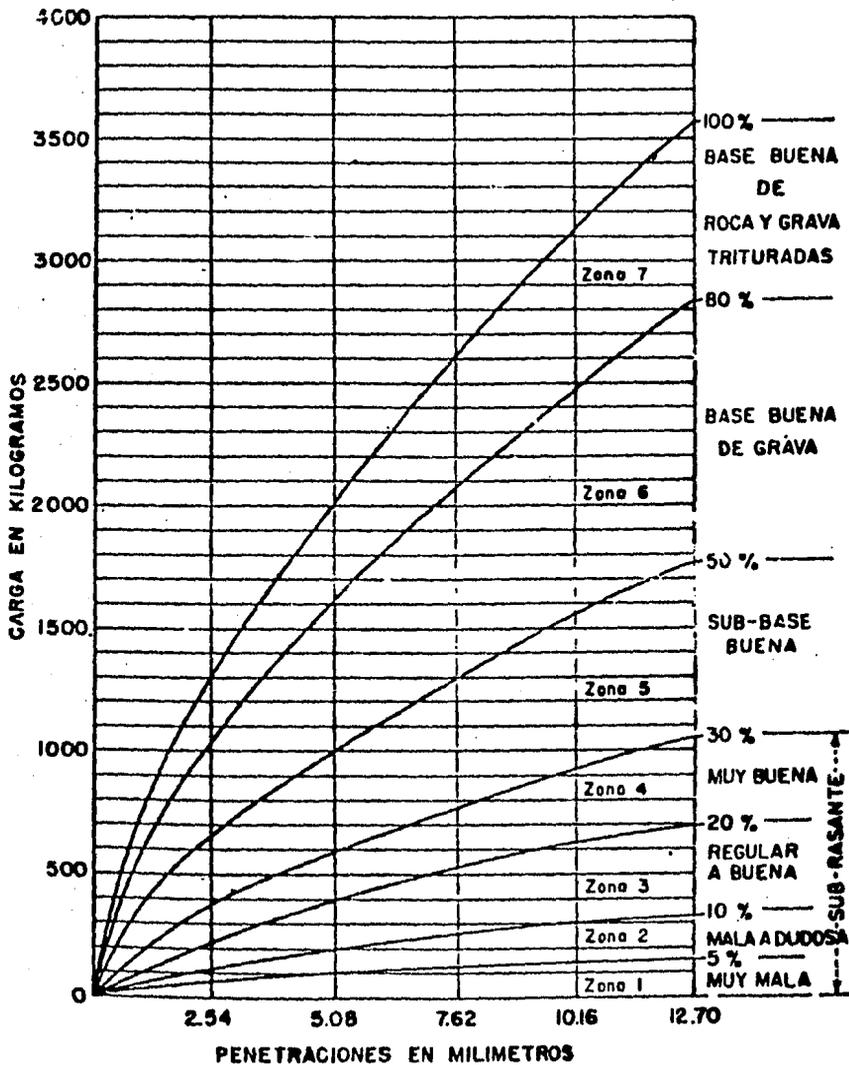


FIGURA II.57:

### La Variante I.

Se realizan a materiales que formarán parte de otra estructura en zonas de muy baja precipitación o muy bien drenadas, mientras que la variante II es para condiciones inversas a éstas; así en la variante II, se indica que los especímenes se elaboren de la siguiente forma:

- a) Con el 100% del PVSM y humedad óptima
- b) Con 95% del PVSM. y humedad óptima + 1.5%
- c) Con 90% del PVSM. y humedad óptima + 3.0%

En general, si el drenaje es aceptable y la precipitación baja, se utilizarán los datos del inciso a); para drenajes y precipitaciones regulares, el proyecto se basará en los VRS obtenidos del inciso b); para aquellas zonas de drenaje malo o dudoso y precipitación alta se utilizarán los datos -- del inciso c); en ocasiones, cuando se tienen materiales de - baja calidad o si la precipitación es muy alta, los datos del inciso c) se comparan con los resultados de la prueba porter-estándar, el menor VRS de estas dos pruebas se elige para proyecto.

2.3.- El VRS de proyecto para un tramo de camino de características más o menos uniformes, será igual o menor que - en 80% de las pruebas y mayor que en el 20% restante; esto -- quiere decir, que con el VRS de proyecto se tendrá un pavimento sobrediseñado a cuando menos al límite en el 80% del tramo estudiado y en el 20% restante quedará subdiseñado.

2.4.- Clasificación del material por lo que respecta a su valor relativo de soporte.

Con el resultado obtenido en esta prueba se clasifica el suelo usando la tabla No. II.20 que indica el empleo que -

puede dársele el material por lo que a valor relativo de soporte se refiere.

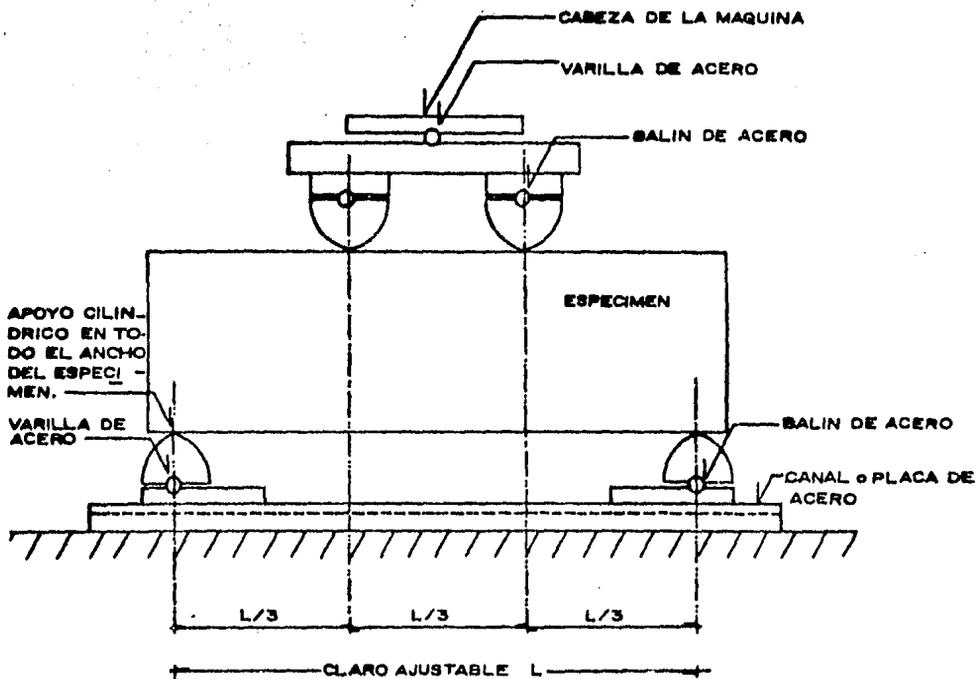
ZONA	VALOR RELATIVO DE SOPORTE.	CLASIFICACION
1	0-5	Sub-rasante muy mala
2	5-10	Sub-rasante mala
3	10-20	Sub-rasante regular a buena
4	20-30	Sub-rasante muy buena
5	30-50	Sub-base buena
6	50-80	Base buena
7	80-100	Base muy buena.

TABLA No. II.20.- Esta tabla se forma en base a la figura No. II.57

II.6.3.- Prueba de resistencia a la flexión del concreto, mediante el uso de una viga libremente apoyada con carga en los tercios.

3.1.- Esta prueba se realiza para determinar el módulo de ruptura del concreto, utilizando para ello, bloques que aseguren que únicamente se apliquen a la viga fuerzas verticales y sin excentricidad. Estos se deberán poner en contacto con la superficie superior en los tercios del claro como se puede apreciar en la figura II.58

3.2.- La carga se podrá aplicar rápidamente hasta aproximadamente el 50% de la carga de ruptura, después de la cual se deberá aplicar con una rapidez tal que el aumento del esfuerzo de la fibra extrema no exceda de 10 Kg/cm., por minuto, la sección transversal de los especímenes para la prueba de -



**FIGURA 11-58 DIAGRAMA DEL APARATO PARA LA PRUEBA DE FLEXION DEL CONCRETO POR EL METODO DE CARGA DE LOS TERCIOS.**

flexión en el campo no deberá ser menos de 15 x 15 cm. para - agregado grueso de 5.08 cm. o menos de tamaño nominal, Para -- agregado grueso mayor, la dimensión mínima de la sección transversal no deberá ser menor que tres veces el tamaño nominal - del agregado grueso.

Cuando se hace esta prueba de flexión en el laborato--rio, los especímenes deberán ser vigas rectangulares con una longitud mínima de 5 cm., mayor que el triple del peralte de prueba.

La relación ancho promedio peralte promedio (b/d) no - deberá exceder de 1.5

3.3.- Durante el proceso de fabricación, el concreto - se deberá colocar en dos capas aproximadamente iguales conso--lidando cada una de ellas por medio de un proceso de compacta--ción de varillado.

La capa superior deberá derramar ligeramente sobre el--molde.

Después de compactar cada capa, se deberán picar los - lados y los extremos del concreto con una cuhara de albañil,- cuando se terminen las operaciones de apisonado y picado debe--rá enrasarse la parte superior con una regla.

El espécimen se deberá fabricar con prontitud y sin in--terrupciones.

El número de golpes de varilla y el diámetro de ésta - deberán ser los que se especifican en la tabla II.21.

AREA DE LA PARTE SUPERIOR DEL ESPECIMEN CM2.	DIAMETRO DE LA VARILLA.	NUMERO DE GOLPES POR CAPA
150 o menos	0.95 cm. (3/8")	25
151 a 299	0.95 cm. (3/8")	Uno por cada 5 cm <sup>2</sup> de superficie.
300 o más	1.58 cm. (5/8")	Uno por cada 10 cm <sup>2</sup> de superficie.

TABLA No. II.21

Los especímenes se deberán curar y probar con la condición húmeda producida por el tratamiento de curado especificado.

3.4.- Al efectuar la prueba hay que verificar en que zona ocurre la fractura, ya que si ésta se localiza dentro -- del tercio central, el módulo de ruptura se deberá calcular -- utilizando la siguiente fórmula:

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad \text{Donde:}$$

R= Módulo de ruptura, en Kg/cm<sup>2</sup>

P= Carga máxima aplicada, indicada en el manómetro en Kg., de la máquina de prueba

P/2= Carga aplicada en cada tercio de la viga.

b= Ancho medio del espécimen

L= Distancia entre centro de apoyos en cm.

d= Peralte medio del espécimen, en cm.

El peso de la viga no se incluye en los cálculos anteriores.

Cuando la fractura ocurre fuera del tercio medio, desfasada respecto de éste una distancia no mayor de un 5% de la distancia entre apoyos, el módulo de ruptura deberá calcularse-

haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad \text{Donde :}$$

a= Distancia entre la línea de fractura y el apoyo más próximo.

En caso de que la fractura ocurra fuera del tercio medio del claro de la viga, desfasada en más de 5% respecto a la distancia entre apoyos, la prueba deberá desecharse.

3.5.- En este tipo de pruebas, se hace un informe el cual debe incluir los siguientes datos:

- a) Identificación
- b) Ancho promedio con aproximación de un décimo (0.1)- de centímetro.
- c) Peralte promedio con una aproximación de un décimo (0.1) de cm.
- d) Distancia entre apoyos, en cms.
- e) Carga máxima aplicada, en Kg.
- f) Módulo de ruptura calculado con una aproximación de un décimo (0.1) de Kg/cm<sup>2</sup>
- g) Defectos del espécimen
- h) Croquis de falla del espécimen
- i) Edad del espécimen.

II.6.4.- Prueba de la resistencia a la flexión del concreto, mediante el uso de una viga libremente apoyada con carga al centro.

4.1.- Este método se utiliza en especímenes pequeños - de concreto por lo que de ninguna manera se pretende que sea un sustituto del método anterior donde se ensayan especímenes con sección transversal mayor de 15 x 15 cms.

4.2.- Se sigue el mismo procedimiento que en el método anterior, con la diferencia de que en éste, la carga se debe aplicar en el centro del claro, como se puede apreciar en la figura II.59 y el espécimen deberá tener un claro de por lo menos tres veces su peralte al ser ensayado.

El módulo de ruptura se deberá calcular de la manera siguiente:  $R = \frac{3pl}{2bd^2}$

#### II.6.5.- Prueba de placa

5.1.- Este tipos de pruebas se efectúan con la finalidad de determinar la capacidad portante de las capas de subrasantes, sub-bases y bases de pavimentos y de esta forma obtener el módulo de reacción K de cada una de las mencionadas capas.

5.2.- La prueba se efectúa de la siguiente manera:

Utilizando una placa circular en contacto directo con el suelo (debidamente compactado), y con ayuda de un gato hidráulico y la reacción de camiones o trailers cargados ó marco anclado a no menos de 2.40 m. del sitio de prueba, se le aplica carga a la capa de suelo con la mencionada placa de 76.2 y 30.5 cm. de diámetro en aeropistas y carreteras respectivamente, auxiliadas de otras dos placas de 24", todas ellas debidamente niveladas; las deformaciones finales que sufra el suelo se miden en cuatro puntos de la placa dos a dos opuestos y dispuestos en cruz, por medio de micrómetros con aproximación de 0.0001" y extensómetros ligados a un puente con apoyo fijo.

La carga unitaria de la placa depende de la reacción que existe en su perímetro y su área, así como de la resistencia del suelo.

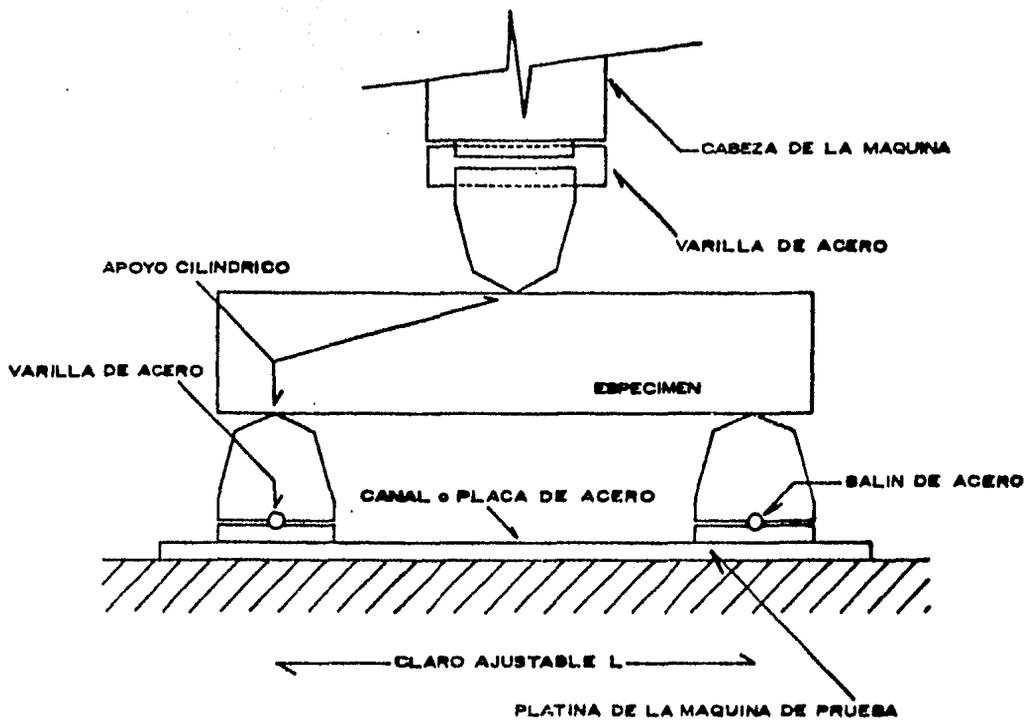


FIGURA 11-59

5.3.- Para calcular el módulo de reacción K de cualesquiera de estos suelos en estudio, el cual se define como la presión que ha de transmitirse a la placa para producir al suelo una deformación prefijada, se utiliza la ecuación  $K = \frac{P}{A}$ .

En donde:

K= módulo de reacción K en Kg/cm<sup>3</sup>

P= carga que se le aplica al suelo en Kgs.

A= Deformación que sufre el suelo en cm<sup>3</sup>

Finalmente, este valor de K debe manejarse con criterio ingenieril, de tal manera que se tomen en cuenta las características de los suelos, las climáticas, el control que se tendrá durante la construcción etc.

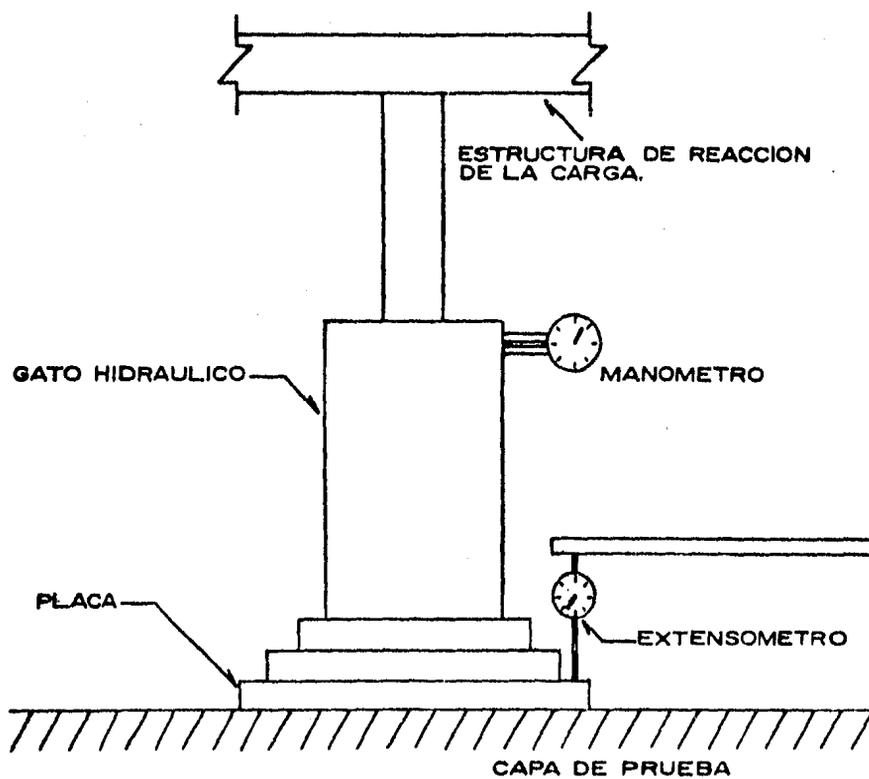


FIG. II-60 ESQUEMA DEL DISPOSITIVO PARA LA PLACA DE PRUEBA.

### CAPITULO III.- PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS - RIGIDOS.

Generalmente cuando se trata de diseñar y construir pavimentos rígidos, unicamente se toman en cuenta las capas estructurales, partiendo desde la subrasante hasta la superficie de rodamiento, lo cual se considera muy lógico desde el punto de vista pavimentos, sin embargo, es obvio que toda obra debe cimentarse de lo más seguro y apropiado posible, en el área de pavimentos rígidos no debe ser la excepción, por lo que al diseñar y construir un pavimento de este tipo, debemos verificar mediante estudios de control de calidad que los materiales que se van a emplear cumplan con las normas que a continuación se detallan:

a) para la capa sub-rasante:

Límite líquido (L.L.)	<40%
Índice plástico(I.P.)	<10%
C.B.R. (Valor Relativo de Soporte V.R.S.)	>5% (Compactación dinámica al 100% AASHTO estándar con contenido óptimo de prueba)

Expansión (medida en CBR) <1%

Porcentaje que pasa la malla 200 <25%

Espesor: se deberá definir en un análisis de diseño.

Grado de Compactación: deberá ser 95% AASHTO estándar.

Para definir la calidad de un material, se procede como ya se mencionó: mediante pruebas de laboratorio; y en este caso para la sub-rasante podemos clasificarla por categorías de acuerdo a su constitución físico-química, de la siguiente forma:

C A T E G O R I A	M A T E R I A L	V.R.S.	$\frac{K}{\text{lb/pulg}^3}$
Muy buena	GW, GP, GM, GC. SW, SP, SM, SC	>10	>200
Buena	ML, CL, OL,	5 a 10	150 a 200
Mala	MH, CH, OH	3 a 5	100 a 150

Significado de los símbolos del grupo:

GW.- Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos

GP.- Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos

GM.- Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.

GC.- Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla

SW.- Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos.

SP.- Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos,

SM.- Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

SC.- Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.

ML.- Limos inorgánicos, polvo de roca, limos ligeramente plásticos.

CL.- Arcillas inorgánicas de baja o mediana plasticidad.

OL.- Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.

MH.- Limos inorgánicos, micaceos, elásticos.

CH.- Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas

OH.- Arcillas orgánicas de mediana a alta plasticidad, limos orgánicos de mediana plasticidad.

PT.- Son materiales denominados turbas de origen vegetal

b) Para las terracerías:

Límite líquido	<100%
Valor Relativo de Soporte V.R.S.	>3% (Compactación-dinámica 95% - AASHTO estándar con el contenido de agua natural que el suelo tenga a 1.50 mts. de profundidad en el momento de hacer el estudio)
Espansión máxima medida en C.B.R.	<3%
Grado de compactación	90% AASHTO estándar.

Tipos de materiales para terracerías y su forma de acomodo:

TIPO	ACOMODO	CUERPO DE TERRAPLEN	CAPA SUBRASANTE
GRANDES	Con tractor	Pueden usarse acomodados por capas,	no deben
MEDIANOS	y/o equipo	del espesor mínimo compatible con el	usarse;
CHICOS	Construcción	Tamaño máximo	
GRAVAS		Grado de compactación 90%	Grado de Comp. 95%

ARENAS:

ML	Compactados con	No deben de
CL	el equipo	Usarse cuando
OL	específico	CBR sea 5% y expansión 5%

MH1		No deben de
CH1		usarse en -
FINOS		aeropistas.
OH1		
MH2		
CH2		
OH2		
Pt	No deben usarse	No deben Usarse

Con respecto a la sub-base, ésta se construye con materiales granulares ó estabilizados con calhidra o cemento portland, y para poderlos utilizar deberán cumplir con las normas de construcción ya mencionadas en el sub-inciso 1.5 de este trabajo. Por lo que respecta a su espesor, éste generalmente oscila entre 10 y 15 cm para carreteras, calles y áreas de estacionamiento, mientras que para aeropistas se construyen espesores de 15 y 20 cm.

### III.1.- PREPARACION Y COLOCACION DE LA SUB-BASE

Antes de iniciar el trabajo de colocación de losas de concreto deben hacerse los ajustes en niveles de la sub-base ya sea recorte o adicionar material, reconstruir zonas defectuosas para cumplir con especificaciones.

Quando se utilicen equipos de tendido con formas deslizantes deberán dejarse el ancho de la sub-base 80 cm. mayor a cada lado al ancho de proyecto del pavimento.

Quando se usen 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, ó hacerlo manualmente.

Cuando se use equipo de nivel automático guiado sobre un cable previamente nivelado puede caminarsse sobre la sub-base.

Como operación final, se deben checar los niveles de proyecto, así como las compactaciones (Grados de compactación en %) en zonas que se hayan afectado por recortes o rellenos.

En caso de estar especificado un material impermeable sobre la sub-base, deberá colocarse este material para su protección.

Cuando se permite el tráfico sobre la sub-base ya terminada, habrá que hacerlo con mucha precaución para no dañarla, si se altera la superficie de la sub-base habrá que compactarla antes de proceder a colocar el concreto del pavimento. La preparación de la sub-base deberá estar lo suficientemente adelantada para que no interfieran las operaciones de ésta en el colado de las losas.

### III.2.- TIPO Y COLOCACION DE CIMBRAS.

Actualmente el tipo de cimbras que se conocen y se usan más son:

- a).- Formas o Cimbras Estacionarias
- b).- Formas o Cimbras Deslizantes:

a).- Existe una gran cantidad de equipos para pavimentación que utilizan cimbra estacionaria.

Este tipo de cimbras tienen una gran ventaja sobre el sistema con cimbra deslizante que consiste en poder garantizar mejor los niveles de la rasante y no tiene desplomes en los hombros.



Vista de una pipa aplicando agua al material para conformar y compactar capa de sub-base.



Vista de rodillos compactando capa de sub-base



Un aspecto de moldes, pasajuntas y sub-base, preparados para iniciar el colado de losas.

La cimbra se coloca previamente alineándola y nivelándola, y luego sirve de apoyo al equipo de colocación, vibrando y terminación final.

En la construcción de pavimentos rígidos para Aeropuertos es muy conveniente usar equipo de pavimentadoras apoyadas en cimbra estacionaria, ya que este sistema garantiza mejor la obtención de los niveles que exijan las especificaciones y se obtienen avances de 20 a 50 m<sup>3</sup>/hora.

Las cimbras estacionarias deben construirse fuertes y lo suficientemente rígidas para poder soportar la carga de los equipos de tendido, vibrado y acabado.

Las especificaciones recomendables cuando se utilicen cimbras estacionarias, son las siguientes:

Normalmente las formas son de 3 mts. de largo, la base debe ser de 75 cms. de altura, pero nunca menor de 20 cms., - 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-cms. (1/4").

La forma deberá estar provista 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 cimbra colocada deberá ser resistente sin vibraciones, no inclinarse, no tener efectos de resorte o asentarse al paso del equipo de colocación de concreto.

Las formas de 3 mts. de longitud, deberán cumplir con los siguientes requisitos de alineamiento vertical deberán estar dentro de 0.32 cms. (1/8") y horizontalmente en 0.64 cms. (1/4").

Es muy importante que la sub-base sobre la que se colocarán las formas de cimbra esté perfectamente compactada y nivelada, de tal manera que la forma apoye en toda su base y longitud uniformemente. El nivel y el alineamiento deberán ser chequeados por la cuadrilla de topografía y cualquier falla deberá ser corregida de inmediato, una vez verificada su buena colocación se procederá a fijar la forma mediante pijas lo suficientemente largas y fuertes que garanticen que queden sólidamente fijadas a la sub-base y alineadas, libres de todo movimiento en cualquier dirección.

Las cimbras no deberán estar desviadas más de 0.64 cms. (1/4") de su línea de proyecto en cualquier punto.

Las cimbras deberán estar perfectamente limpias antes de proceder a iniciar el colado.

En caso de que al nivelar y alinear las cimbras, se haya aflojado la sub-base, deberá procederse a recompactar ésta.

b).- Cimbras Deslizantes.- Este tipo de cimbras se utilizan principalmente en la construcción de pavimentos rígidos de carreteras, en donde la sub-base deberá construirse 80 cms. más ancha en cada lado del pavimento para apoyar los carriles del equipo de tendido.

El concreto que se suministre deberá tener una calidad uniforme con el más bajo revenimiento que permita trabajarlo; las ventajas que se obtienen al usar cimbras deslizantes son: economía en comparación con el uso de cimbras fijas removibles

ya que se ahorra obra de mano y en equipos adicionales, se -- trabaja en zonas más compactadas facilitando la supervisión y calidad del trabajo; la capacidad de poderse ajustar a una -- gran gran gama de dimensiones es otra gran ventaja.

Para el uso de cimbras deslizantes, es necesario contar con personal bien capacitado para su manejo.

### II.3.- ELABORACION Y COLOCACION DEL CONCRETO HIDRAULICO.

Toda persona que se ocupa en trabajos de concreto, debe tomar en cuenta la importancia de mantener el contenido -- unitario de agua (revenimiento) tan bajo como le permitan los -- requisitos de colocación. Aunque la relación agua/cemento se -- mantenga constante, un aumento del agua por unidad también au -- menta potencialmente el agrietamiento por efectos de contrac -- ción en el secado, y con este agrietamiento el concreto pier -- de parte de su durabilidad y otras características deseables -- como son, su acción monolítica (su resistencia no es la misma -- en toda su masa) y baja permeabilidad. Cuando se aumenta agua -- arbitrariamente, se incrementa la relación agua/cemento, y -- tanto la resistencia como la durabilidad se afectan enormemen -- te. A medida que la cimbra se llena con la correcta combina -- ción de sólidos y la menor cantidad posible de agua, mejor se -- rá el concreto elaborado que se logre. No es más caro hacer -- un concreto bueno que uno malo, sino que al contrario, a la -- larga es mucho más económico, debido a su mayor durabilidad. -- Las reglas para hacer un buen concreto son sencillas:

- 1).- Usar los ingredientes adecuados.
- 2).- Dosificar los ingredientes correctamente.
- 3).- Medir los ingredientes con precisión
- 4).- Mezclar bien los ingredientes.

El concreto es una mezcla de dos componentes: pasta y-

agregados. La pasta se compone de cemento Portland agua y aire. Los agregados son arena y grava. Estos agregados fino, grueso, deberán ser de buena calidad, es decir, aceptables en granulometría y contenido de humedad. La producción de un concreto adecuado será difícil si no se cumple con las especificaciones relativas a la selección, preparación y manejo adecuado de agregados.

Agregado grueso (grava.- La segregación (separación -- del agregado grueso de la arena y cemento) del agregado grueso se reduce prácticamente al mínimo mediante la separación - del material en fracciones de varios tamaños y la dosificación de éstas fracciones por separado

El control eficaz de segregación y de materiales de menor tamaño que lo normal se logra adecuadamente cuando la proporción de medidas máximas a mínimas en cada fracción se mantiene a no más de cuatro para agregados menores de 25.4 mm. - (1") de diámetro, y de dos, para los tamaños mayores.

Agregado fino (arena).-

El agregado fino debe controlarse para reducir al mínimo las variaciones en la granulometría, manteniendo uniformes las fracciones más finas y teniendo cuidado de evitar la excesiva eliminación de los finos durante el proceso.

Almacenamiento del cemento.- Todo el cemento debe almacenarse en estructuras protegidas contra la intemperie, debidamente ventiladas, para evitar la absorción de humedad.

Las facilidades de almacenamiento para cemento a granel debe incluir compartimientos separados para cada tipo de cemento que se utiliza.

**Aditivos.-** Los aditivos fabricados en estado líquido - deben almacenarse en tambores o tanques herméticos, protegidos de la congelación. La agitación de estos materiales durante su uso debe hacerse de acuerdo con las indicaciones dadas por el fabricante.

Cuando los aditivos son fabricados en forma de polvo, es necesario licuarse con agua (H<sub>2</sub>O) en la proporción que el fabricante recomiende para disolverse apropiadamente, en tambores o tanques de almacenaje, los cuales deberán estar provistos de equipo de agitación o mezclado para mantener los sólidos en suspensión.

**Medición de los ingredientes.-** Los ingredientes deben medirse con precisión para asegurar la uniformidad de las revolturas que den un buen concreto; la medición puede ser por peso o por volumen. Durante las operaciones de medición, los agregados deben manejarse de tal manera que mantengan la granulometría deseada, pesándose todos los materiales a la tolerancia requerida para mantener homogéneas las reproducciones de la mezcla de concreto escogida. Además del peso exacto, otro objetivo importante para el éxito del mezclado es la --- apropiada secuencia y combinación de los agregados durante la carga de las mezcladoras. El objetivo final es obtener uniformidad y homogeneidad en el concreto producido, como lo indican propiedades físicas tales como: peso unitario, revenimiento, contenido de aire, resistencia, y el contenido del mortero libre de aire en las sucesivas cargas de las mismas porciones de mezcla.

**Silos de almacenamiento y tolvas pesadoras.-** Los silos de la planta dosificadora tendrán el tamaño adecuado para alimentar eficazmente la capacidad productora de la planta. Los compartimientos de los silos deben separar adecuadamente los diversos materiales del concreto, y la forma y disposición de



Vistas de pipas para transportar cemento a granel.

Los silos para agregados se harán de tal manera que prevengan la segregación y rotura del agregado. Las tolvas pesadoras deben ser cargadas mediante cajones de concha de almeja o del tipo de socavación radial de fácil operación. Las compuertas-empleadas para cargar dosificadores semi ó totalmente automáticos deberán estar equipadas con motor y con un apropiado -- control de "goteo" que logren la exactitud deseada de peso. - Las tolvas pesadoras dispondrán del debido acceso para tener muestras representativas, o para lograr la apropiada secuen-- cia y combinación de agregados durante la carga de la mezcladora; deduciendo de todo esto que la uniformidad del concreto es afectada por la disposición de las tolvas de abastecimiento y de las básculas dosificadoras.

#### Tipo de planta.-

Los factores que afectan la selección del sistema apropiado de dosificación son:

a).- Tamaño de la obra; b).- Volumen/hora requerido y c).- normas de rendimiento que se requieren en la dosificación.

Para determinar la capacidad productiva de una planta, se toman en cuenta la combinación de los siguientes detalles: 1) sistemas de manejos de materiales; 2) tamaño del silo 3) - tamaño de la tolva dosificadora y 4) el tamaño y número de la mezcladora de la planta.

El equipo disponible se clasifica en tres categorías - generales:

a) Dosificación Manual.- Este tipo de plantas solamente se aceptan para trabajos pequeños que no requieren grandes volúmenes de dosificación, generalmente para trabajos hasta - de  $400 \text{ m}^3$  y a razón de  $15 \text{ m}^3/\text{hora}$ .

b) Dosificación semiautomática.- En este sistema, las compuertas de las tolvas de los agregados para cargar las tolvas medidoras se operan manualmente mediante botones o interruptores de presión, de tal manera que cuando la tolva pesadora está siendo cargada no puede ser descargada, y viceversa.

c) Dosificación automática.- En este sistema la dosificación automática de todos los materiales se maneja eléctricamente por medio de un solo control de mando. Los pesos determinados, el comienzo del ciclo de la mezcla y su descarga se controlan manualmente. Este tipo de sistemas de dosificación proporciona mayor exactitud en la producción a alta velocidad que en el caso de los sistemas manuales y semi-automáticos.

d) Dosificación individual automática.- Este sistema provee básculas y tolvas medidoras separadas para cada tamaño de agregado y para cada uno de los otros materiales que entran en la composición de la mezcla.

#### Dosificación de materiales cementantes.

Para una alta producción que requiera una dosificación rápida y exacta, se recomienda que los cementos y puzolanas a granel se pesen con equipo automático, y no semiautomático o manual. Todas las tolvas medidoras deben estar provistas de un acceso para su inspección y además equipadas para permitir que se tomen muestras en cualquier momento. Las tolvas medidoras deben ser equipadas con dispositivos para ventilación y vibradores para ayudar a lograr una suave y completa descarga del material.

#### Medición del agua.

En obras grandes y en plantas centrales de dosificación y mezclado, donde se requiera una producción alta, solo-

puede conseguirse una medición exacta de agua, mediante las tolvas pesadoras automáticas o medidores.

#### Medición de materiales para trabajos pequeños.

En ocasiones el volumen de concreto en un trabajo es tan pequeño ( $75 \text{ m}^3$ ,  $100 \text{ y d}^3$  o menos) que no es práctico establecer y mantener una planta de dosificación y mezclado en el lugar de la construcción. En este caso es preferible emplear concreto premezclado o materiales dosificados en seco en la planta, con mezclado en camión en el lugar de trabajo mezclado de los ingredientes.-

El mezclado correcto es un factor esencial en la fabricación del concreto. No basta con mezclar los ingredientes. Deben mezclarse perfectamente, de manera que la pasta de cemento cubra todas las partículas de agregado fino y grueso de la mezcla. El concreto debe mezclarse en máquina.

Mezclado a máquina.- La mejor manera de mezclar concreto es en una revolvedora. Con ella se asegura una buena mezcla de los ingredientes y es la única manera de obtener concreto con aire.

La elección del tamaño de una mezcladora dependerá de la magnitud de la obra y de la cantidad de concreto que se debe hacer en una operación, hay que tener presente que para mezclar un  $\text{m}^3$  de concreto habrá que manejar de 2240 a 2400 Kg. de materiales, dependiendo de la f'c. de proyecto.

Para obtener mejores resultados en la elaboración de un buen concreto, se deben cargar los ingredientes en la revolvedora en el siguiente orden:

- 1) Con la mezcladora parada, se añade todo el agregado grueso (grava) y la mitad del agua de mezcla. Si se usa agente inductor de aire, se mezcla con esa parte de agua.

- 2) Se pone en marcha la mezcladora, luego se añade la arena, el cemento y el resto del agua ya con la revoladora funcionando.

Después de que todos los ingredientes están en la mezcladora, se continúa el mezclado durante 3 minutos más o menos, hasta que todos los materiales estén completamente mezclados y el concreto tenga color uniforme.

Para determinar el tiempo de mezclado, se basa prácticamente en la capacidad de la mezcladora para producir un concreto uniforme en cada mezcla y mantener la misma calidad en las mezclas siguientes; con respecto a la temperatura de las mezclas aunada al revenimiento, requisitos de agua y contenido de aire, influye enormemente en la uniformidad entre mezclas de concreto de una mezcladora, por lo que es muy importante - que las temperaturas máximas y mínimas del concreto sean controladas durante todas las estaciones del año.

Con respecto al remezclado, con tal de no excederse en la relación agua/cemento de la dosificación pueden agregarse a la mezcla pequeñas cantidades de agua de remezclado para lograr el revenimiento deseado.

Sin embargo, debe prohibirse la producción de concreto de revenimiento excesivo o agregar agua (que exceda a la relación agua/cemento de diseño) para compensar la pérdida de revenimiento como resultado de demoras en la entrega o en la colocación del concreto.

Concreto Premezclado.-

El concreto premezclado se fabrica empleando tres métodos de mezclado:

- 1) Concreto mezclado en planta central que se mezcla completamente en una mezcladora estacionaria y que se entrega en un camión agitador funcionado a la velocidad de agitación, o en un camión especial que no tiene agitación.
- 2) Concreto semi-mezclado, parcialmente mezclado en una mezcladora estacionaria y que se acaba de mezclar en un camión mezclador.
- 3) Concreto mezclado en camión, es el que se mezcla completamente en un camión mezclador.

Las especificaciones ASTM C94 y CSA A23.1, cláusula 13, hacen notar que, cuando se usa un camión mezclador para completar el mezclado, se necesitan de 70 a 100 revoluciones del tambor o de las espas, a la velocidad designada por el fabricante como velocidad de mezcla para producir la uniformidad especificada en el concreto.

No deben usarse más de 100 revoluciones a la velocidad de mezclado. Todas las revoluciones después de 100 deberán hacerse a una velocidad de rotación, designada por el fabricante como velocidad de agitación, que usualmente es de 2 a 6 revoluciones por minuto (rpm). La velocidad de mezcla es aproximadamente de 3 a 12 rpm, aunque algunas especificaciones permiten un mínimo de 4 rpm. y una velocidad máxima periférica del tambor de 68.6 metros/minuto.

Las especificaciones ASTM C94 y CSA A23.1, cláusula 13, estipulan también que el concreto se entregue y se descargue dentro de 1½ horas o antes que el tambor haya dado 300 vueltas después de la introducción del agua al cemento y agregado o el cemento a los agregados. Las mezcladoras y agitadoras deberán hacerse funcionar dentro de los límites de volumen y ve

locidad de rotación designado por el fabricante del equipo.

Repetición del mezclado del concreto.- El concreto --- fresco que se haya dejado en reposo tiende a endurecerse antes de que el cemento se haya hidratado a su fraguado inicial. Este concreto puede usarse sí, al volverlo a mezclar, adquiere suficiente plasticidad que pueda compactarse en los moldes (cimbras). Bajo cuidadosa supervisión puede añadirse un pequeño incremento de agua a las revolturas retrasadas, siempre y cuando se satisfagan las condiciones siguientes:

- 1) Que no exceda la máxima relación agua/cemento
- 2) Que no exceda el máximo revenimiento admisible
- 3) Que no exceda el tiempo máximo admisible de mezclado y de agitación
- 4) Que el concreto se vuelva a mezclar cuando menos la mitad del tiempo mínimo de mezclado o número de revoluciones.

La adición de agua sin justificación para hacer el concreto más fluido no debe permitirse porque disminuye la calidad del concreto. Puede esperarse que el concreto vuelto a -- mezclar endurezca rápidamente, subsecuentemente el concreto - colado junto o sobre el concreto vuelto a mezclar puede producir una junta de separación.

Manejo y transporte del concreto.-

El concreto puede ser transportado por métodos y equipos diversos tales como camión-revolvedor, camión de caja fija, con o sin agitadores, cucharones transportados por camión o carro de ferrocarril, por conductos o mangueras, o por bandas transportadoras.

Cada tipo de transportación tiene sus ventajas y des--

ventajas específicas que dependen de las condiciones del uso, los ingredientes de la mezcla, la accesibilidad y ubicación - del sitio de colocación, la capacidad y tiempo de entrega requeridos, y las condiciones ambientales.

El método más común de transportar concreto es el de usar camiones mezcladores o agitadores. Cuando se usa un camión mezclador como agitador, puede cargarse a la capacidad de agitador indicada por el fabricante. Esta es de 30 a 35% mayor que cuando se hace funcionar como camión mezclador.

Algunas veces se usan camiones que no son agitadores para transportar concreto. La carrocería ordinaria de fondo plano de compuerta posterior ancha no es adecuada para este objeto, excepto posiblemente para distancias muy cortas en las condiciones más favorables, como cuando se dispone de calzadas parejas y una mezcla que pueda soportar considerables sacudidas sin segregarse. Las carrocerías de camión de forma especial con grandes nervaduras entre los costados el fondo, -- frente redondeado e inclinado, y el extremo trasero de forma piramidal hasta una compuerta de descarga son mucho mejores. -- Estos camiones pueden usarse para acarrear concreto con aire incluido a distancias relativamente largas. La distancia dependerá de la condición que tenga el concreto fresco y de lo parejo de los pavimentos sobre los que tendrán que transportarse. Su uso debe limitarse a aquellos casos en los que puedan entregarse revolturas de concreto uniformes satisfactoriamente sin segregación.

Transporte del concreto por medio de cucharones, transportados a su vez por camiones o carros de ferrocarril

Los cucharones son de diferentes formas y tamaños que varían hasta de 6 m<sup>3</sup> para diferentes aplicaciones.

Algunos cucharones que se emplean principalmente en obras de gran masa, son de secciones rectangulares, pero la mayor parte de los cucharones son de forma circular. En obras pequeñas se prefieren los cucharones con compuertas que pueden regularse para controlar la salida del concreto, y cerrarse después de haber vaciado parte del concreto. Las compuertas pueden funcionar manualmente o por medios mecánicos o neumáticos

Los cucharones se manejan y transportan por medio de grúas, montacargas, cable-vías, carros de ferrocarril, camiones o por una combinación de estos medios. Cualquiera que sea el método usado, debe tenerse cuidado en evitar tirones y sacudidas, ya que éstos pueden producir segregación, especialmente si el concreto está relativamente fluido.

Para el transporte del concreto también se pueden usar canaletas, las cuales deberán ser de metal o forradas de metal, de fondo redondeado, de preferencia y lo suficientemente grandes para evitar derrames.

Las canaletas deben de proyectarse de tal manera que permitan que el concreto corra lo suficientemente rápido y -- mantener la canaleta limpia, sin que la mezcla sufra segregación, las pendientes de dichas canaletas no deberán ser menores de 1 a 3 ni mayores de 1 a 2, sin embargo no existe objeción para que se usen inclinaciones mayores para las mezclas duras (con revenimientos bajos). La pendiente máxima o mínima debe de determinarse por la condición que tenga el concreto cuando se descarga de la canaleta.

Para obtener mejores resultados, deberá colocarse un tubo vertical en el extremo de la canaleta, de manera que el concreto caiga verticalmente, evitando con ello la segregación, además.

Acarreo del concreto por medio de los transportadores de bandas.- Estos transportadores se pueden emplear para acarrear el concreto si se toman ciertas precauciones para evitar la segregación, pérdida perjudicial en el revenimiento y pérdida de mortero en la banda de retorno.

La pérdida de revenimiento la causa generalmente la evaporación o la elevación de temperatura y puede disminuirse al mínimo protegiendo el transportador del sol y del viento.- El mortero que adhiere a la banda debe rasparse en el punto de descarga.

#### Colocación y acabado del concreto.-

Equipo.- El equipo de colocación debe ser capaz de transportar el concreto desde la mezcladora o desde el equipo de acarreo hasta una zona cercana a su posición final y de descargarlo sobre la sub-rasante o sub-base con un mínimo de segregación sin causarle daños. Para obras grandes se debe contar con esparcidores del tipo de tornillo, bandas o tolvas, cuyo uso debe exigirse en estos casos. Operan generalmente desde las orillas y acarrean el concreto a todo lo ancho de la sub-rasante o sub-base. Cuando se usan mezcladoras pavimentadoras, puede recurrirse al uso de grúa y cubeta para realizar un buen trabajo. Cuando se utilizan mezcladoras ambulantes, provistas únicamente de canalones para depositar el concreto, es aconsejable la pavimentación por carriles. Cuando se construye pavimento simple mediante una pavimentadora concimbra deslizante es recomendable vaciar el concreto de los camiones directamente sobre la superficie, enfrente de la citada máquina.

Situaciones especiales.- Cuando el ancho de calzada es variable, como en el caso de entronques e intersecciones, no siempre es posible el uso de métodos ideales.

Sin embargo, es igualmente importante que el concreto no se vacfe irregularmente y que se palee o vibre hasta llevarlo a su posición final; puede hacerse necesario palear el concreto para evitar la segregación.

Tendido.- El tendido correcto se logra principalmente en obras grandes, utilizando esparcidores del tipo de paleta o tornillo y de bandas así como del tipo de tolva y tornillo, y debe exigirse en estos casos su uso a menos que se empleen pavimentadoras con cimbra deslizante.

Las pavimentadoras con cimbra deslizante incluyen espaciadores interconstruidos, para un tendido adecuado. Todos ésos equipos deben operarse con cuidado y de manera uniforme - para reducir al mínimo la segregación del concreto.

En obras pequeñas, el concreto puede extenderse de muchas maneras correctamente; con enrasador mecánico, con herramientas de mano o por medio de un tablón, pero siempre debe colocarse en el espesor adecuado para su correcta compactación y acabado.

Construcción en dos capas.- Cuando se utiliza malla de refuerzo colocada a mano, se enrasa el concreto que va a quedar abajo de la malla, se deposita ésta sobre él y se coloca la capa superior restante del propio concreto. En obras grandes se emplean en ocasiones dos esparcidores. Un procedimiento que se usa más comúnmente, consiste en colocar primero todo el espesor del concreto, asentar sobre él la malla y luego vibrar o apisonar ésta hasta que baje a su posición final.

Compactación.- El acomodo mediante el picado en juntas y bordes, la aplicación de una regla, el apisonado mecánico y el uso de vibradores son procedimientos efectivos hasta cierto grado, pero automáticamente no pueden asegurar la obtención

de un concreto denso. Los vibradores, ya sean de inmersión o de superficie, pueden producir buenos resultados.

Procedimiento.- Toda el área del pavimento debe ser -- compactada en la forma más efectiva que sea posible. Debe ponerse especial atención en los bordes, la línea central y las otras juntas. La colocación mecánica de las mallas del acero de refuerzo puede proporcionar cierta compactación. Los vibradores de inmersión son accionados dentro de la masa del concreto para eliminar vacíos grandes mientras la pavimentadora se mueve hacia adelante y deben pararse cuando ésta se detiene.

Situaciones especiales.- Debe ponerse especial cuidado para asegurar una compactación adecuada del concreto alrededor de los pasajuntas y las silletas de apoyo, en bordes y esquinas, alrededor de los drenes y en zonas de forma irregular relacionadas con entronques e intersecciones.

#### III.4.- PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE JUNTAS Y SU IMPORTANCIA.

Las juntas son esenciales en los pavimentos de concreto hidráulico a fin de reducir los esfuerzos de tensión, compresión y flexión en las losas; existen diferentes tipos de juntas como son:

1) Juntas de expansión, 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, ésta junta funciona también como junta de contracción.- Este tipo de juntas deben colocarse entre todas las estructuras y elementos, tales como depósitos, registros, etc., que se proyectan a través, dentro ó contra el pavimento de concreto. A menos que se

indique otra cosa en los planos de proyecto, éstas juntas no deben tener una abertura menor de 6 mm. y será de tipo remoldado.

Juntas transversales de expansión.- Las juntas transversales de expansión deben construirse perpendicularmente a la línea central del pavimento, a menos que se indique otra cosa, y deben extenderse a todo el ancho del pavimento.

Juntas de expansión con pasajuntas.- Estas juntas deben de formarse manteniendo firmemente en su lugar un sistema adecuado de transmisión de cargas, consistente en un arreglo soldado de pasajuntas, dispositivos de soporte y espaciamiento y un relleno que puede ser de tipo premoldado, tiras de madera adecuada u otro material aprobado. El relleno debe quedar comprendido desde la base de la losa hasta 1.30 m. abajo de la superficie terminada del pavimento. La parte superior del relleno debe protegerse con un canal metálico mientras se coloca el concreto.

Relleno para juntas.- El relleno diseñado para la junta debe perforarse o taladrarse con el diámetro exacto en los lugares donde irán las pasajuntas. Debe surtirse en tramos de longitudes iguales al ancho de un carril.

Cuando se utiliza más de un tramo en una junta, los extremos a tope deben ser alineados.

2) Juntas de contracción.- Tiene por objeto limitar los esfuerzos de tensión a valores permisibles. Esta junta debe estar en libertad de abrirse, básicamente existen varios tipos de juntas de contracción. Este tipo de juntas se construyen en la misma forma que las longitudinales del mismo tipo, excepto que puede necesitarse algún sistema de transmisión de carga en lugares en donde el volumen de tránsito y la

magnitud de las cargas esperadas sean importantes. En estos casos se recomienda el uso de pasajuntas deslizantes u otro sistema de transmisión de carga.

3) Juntas Longitudinales.- Este tipo de juntas 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, la separación y fallas entre las bandas adyacentes, se evita mediante el uso de barras de sujeción espaciadas convenientemente. Al construir este tipo de juntas debe tenerse precaución de asegurarse que la profundidad de la separación sea la adecuada para evitar la formación de un agrietamiento irregular, recomendándose para dicho fin una profundidad igual a la cuarta parte del espesor de la losa más 6 mm. En todos los casos el sellado debe hacerse antes de permitir el tránsito.

Aserrado.- La operación de aserrado debe efectuarse en el momento dentro del cual el concreto fresco no se desmorona y aún no se presenta el agrietamiento. Cuando ya ha ocurrido éste debe omitirse el aserrado.

Tiras delgadas de separación.- Una tira de polietileno u otro material adecuado, con espesor no menor a 0.33 mm, puede ser insertada con máquina en el concreto fresco, procurando que la tira quede vertical, sin sumergirla totalmente para evitar desmoronamiento.

Tiras de separación de otro tipo.- Pueden utilizarse otros tipos de tiras de separación que sean total o parcialmente extraídas antes del sellado. Algunas veces se utilizan placas metálicas dobladas, pero no siempre se adaptan a las altas velocidades de operación de las máquinas.



Un aspecto de conformación de acabado  
con regla vibratoria manual.

Juntas de construcción.- Las juntas longitudinales de construcción machihembradas, es decir, juntas entre carriles-construidos separadamente, pueden ser formadas, bien sea con métodos de cimbra deslizante o con cimbras estándar de acero-provistas de machihembrado. Cuando se utilizan sub-bases estabilizadas debe considerarse la eliminación del machihembrado en éstas juntas longitudinales.

Deben tomarse las providencias necesarias para la instalación de barras de sujeción o pernos con gancho.

4) Juntas de alabeo de plano debilitado, generalmente se construyen en aeropuertos para aeropistas o carreteras, entre las dos losas extremas de un pavimento, a lo largo de éste. Al ir colando la penúltima línea del pavimento se colocan varillas corrugadas de diámetro y separación, según marca el diseño al centro del paralte de la losa. Para ese fin se dejan perforadas las formas de cimbra. Una vez colado el concreto se introduce por la perforación la varilla la mitad de su longitud. Cuando se cuele la última línea del pavimento quedará la otra mitad de la varilla en la losa. Así obtendremos una sujeción perfecta entre las dos losas extremas el pavimento.

Este procedimiento se aplica tanto en aeropuerto para pista, rodajes y plataforma de operaciones como en carreteras u otros pavimentos. Siempre las dos últimas losas deberán estar sujetas por este sistema a lo largo del pavimento.

5) Juntas de Construcción transversal.- Este tipo de juntas se construye para fin de jornada o alguna interrupción imprevista, y se procede como se indica:

Se prepara una forma cimbra para fin de jornada o de tapón. Se dejan perforaciones y apoyos para colocar las varillas de transmisión de carga. La separación será de acuerdo -

con el proyecto y se ubicará al centro del peralte de la losa.

Al terminar una jornada de colado se coloca el tapón - descrito anteriormente, de preferencia coincidiendo con alguna junta de construcción transversal, se nivela y fija igual que cualquier otra forma de cimbra y se colocan las barras de acero liso según proyecto, bien engrasados y se termina el colado.

Las barras de acero deberán estar coladas al centro de la losa, separadas a la distancia que marque el proyecto y habrá que tener especial cuidado en su alineación y paralelismo con la banda de colado.

### III.5. CURADO Y PROTECCION DEL CONCRETO HIDRAULICO.

Inmediatamente después de que se hayan concluido las operaciones de acabado y se haya evaporado la película de agua de la superficie, o tan pronto como la consistencia de la mezcla lo permita, debe cubrirse y curarse toda la superficie del concreto recientemente colado, aplicando alguno de los métodos que a continuación se describen. En todos los casos en los cuales el curado requiera del uso del agua esta operación tendrá prioridad sobre cualquier otro suministro de este líquido.

a) Curado con membrana.- Inmediatamente después de que ha desaparecido la película de agua de la superficie del concreto, ésta debe ser cubierta uniformemente con el material de curado en forma de membrana líquida por medio de una máquina de aspersión aprobada, en cantidades no menores de 0.27 Lts. por m<sup>2</sup>. Con el fin de garantizar una consistencia y una dispersión uniforme del pigmento en el material curado, éste debe ser agitado en el envase original antes de pasarlo al equipo rociador y debe de mantenerse agitado durante toda -

la aplicación. Las caras laterales de la losa deben curirse - con el material curado dentro de los primeros 60 minutos posteriores a la remoción de la cimbra.

b) Mantas de algodón de yute.- La superficie y los bordes del pavimento deben cubrirse totalmente con mantas de yute, las cuales deben mojarse antes perfectamente con agua, y deben de quedar en íntimo contacto con la superficie, pero deben colocarse hasta que el concreto haya endurecido lo suficiente, para evitar que se adhieran o se incorporen al mismo. Deben mantenerse completamente húmedas y en su posición corrrecta durante todo el período de curado especificado.

c) Papel impermeable; cuando el concreto haya endurecido lo suficiente como para que el papel no se adhiera a él, - se cubre con dicho papel toda la superficie del concreto, - - traslapándose 30 cm hoja con hoja, y deberá tener el ancho suficiente de tal manera que cubra totalmente los lados de la - losa una vez que se haya removido la cimbra y deberá estar en íntimo contacto con la superficie durante todo el período de curado, la superficie deberá mojarse perfectamente para que - el papel se empape durante el curado.

d) Cubierta de polietileno blanco.- Esta tela se coloca cuando la superficie del concreto está todavía húmeda, y - si está seca deberá mojársele mediante una fina aspersión de agua antes de colocar la cubierta. Las hojas de polietileno - deberán traslaparse 45 cm cuando menos y deben tener contrapesos encima para mantenerlas en contacto con la superficie - del concreto.

La cubierta de polietileno debe de permanecer en su lugar durante todo el período de curado y deberá tener un espesor mínimo de 0.10 mm., para su manejo adecuado.

e) Curado en los cortes efectuados con sierra.- Los -- cortes que se hagan con sierra en un pavimento que aún se encuentre en proceso de curado deben protegerse contra el secado rápido, ésto puede lograrse por medio del papel trenzado, - cuerdas de fibra o similares, o bien, por medio de tiras de - polietileno u otro material aprobado.

#### Curado en clima frío.

El curado en clima frío debe proporcionar protección - contra el congelamiento, sin descuidar el objetivo principal - de mantener la humedad durante el período necesario para que - la hidratación del cemento llegue a un punto aceptable. Las - hojas de polietileno cubiertas con heno ó paja sirven para am - bos propósitos.

#### Protección del pavimento terminado.-

El pavimento y sus elementos conexos, deberá protegerse de la acción del tránsito, tanto del público como el de - sus propios representantes o empleados, utilizado para ello - personal de vigilancia para encausar el tránsito, colocación - y mantenimiento de señales, luces barricadas, y puentes o pa - sos sobre el pavimento. Cualquier daño que ocurra antes de su apertura al tránsito, deberá repararse o bien reemplazarse la zona dañada.

Protección contra la lluvia.- El pavimento deberá de - protegerse de la lluvia colocando oportunamente sobre su su - perficie (ya endurecida) mantas de yute, de algodón, papel de curado y hojas de plástico, los cuales son los más adecuados - para este fin. Además cuando se utilice el procedimiento de - pavimentación a base de cimbra deslizante, el constructor de - berá disponer de un plan aceptable de emergencia. Cuando la - lluvia sea inminente, todas las operaciones de pavimentación -

deben suspenderse y el personal tomará las medidas necesarias para la adecuada protección del concreto sin endurecer.

### III.6.- EQUIPO PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

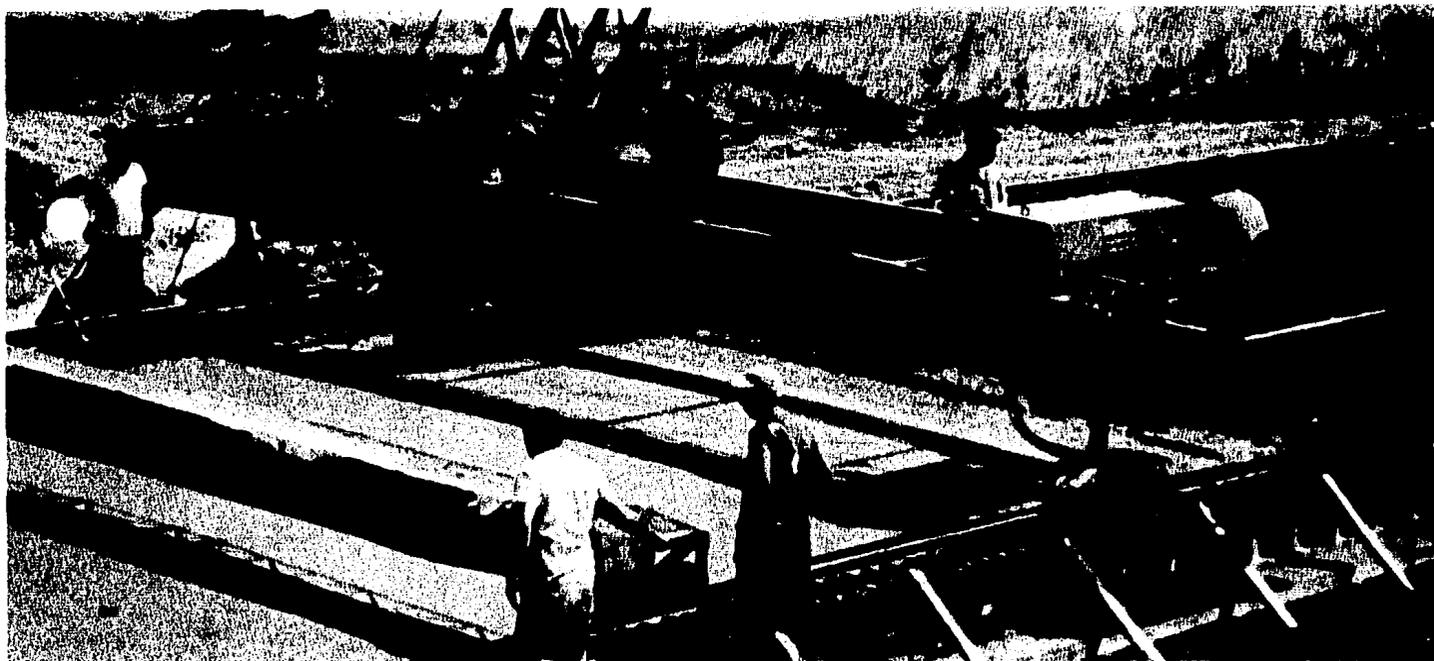
Equipo de colocación y compactación.- El primer equipo es un conjunto de tendido y compactado con las siguientes características; tener amplitud suficiente para trabajar en anchos de 5 a 6 m., al frente un extendedor o repartidor de concreto que acomoda a éste a un nivel adecuado para su compactación por vibrado, como segundo elemento básico deberá estar - provisto de una batería de vibrado de alta frecuencia es decir de 10,000 vibraciones por minuto (Vpm), para el vibrado - profundo al igual que en el caso de equipo con cimbra deslizando. Este equipo deberá ser autopropulsado, (empujado) la - operación de sumergir y emerger los vibradores se hará por - medio de controles hidráulicos.

El equipo irá equipado con unidades de alumbrado para trabajos nocturnos.

Equipo de vibrado superficial.- El segundo equipo deberá ser un equipo de vibrado superficial y de acabado, del - - cual existen varios tipos.

El llamado rodillo vibratorio clary es un equipo que - puede utilizarse para estos trabajos con bastante éxito, este equipo consta de tres rodillos de 6 m. de ancho, dos colocados al frente separados 5 cm. y el otro tiene una separación de 1 m. en la parte posterior. Los rodillos motrices son los posteriores. El rodillo de frente hace el trabajo de acabado y vibrado superficial por su forma de colocación y giro.

El rodillo acabador tiene una excentricidad ajustable-



BID-DWELL.-Equipo de acabado automático con rodillo,  
con el que se logra una alta producción y mejor aca-  
bado de apisonamiento, posee una gran versatilidad en  
la construcción de pavimentos.

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 hacia atrás permitiendo las pasadas que sean necesarias sobre la superficie de concreto para dejarlo terminado dentro de la tolerancia.

Otro equipo de vibrado y acabado superficial puede ser un equipo que va montado sobre chasis de estructura de 6,00 mts. de ancho con ruedas que pueden transitar sobre la cimbra o piso de concreto según las necesidades, este equipo es auto propulsado y consta de los siguientes elementos de acabado: - tiene una regla de madera de 5 mts. de largo y sección de 3"x12", reforzada en su base con ángulo de giro, 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.

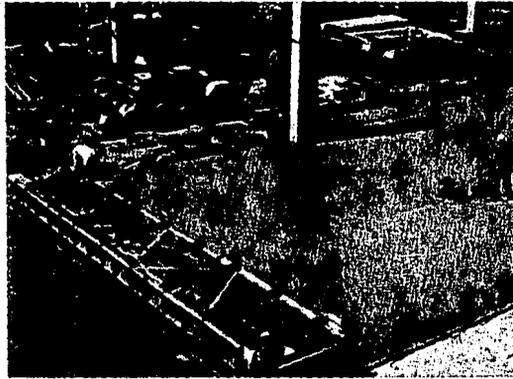
En la parte posterior se encuentra una regla vibratoria fija de aluminio de 6 mts. de ancho y sección de apoyo de 20 cms., ésta hace el trabajo de terminación.

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.

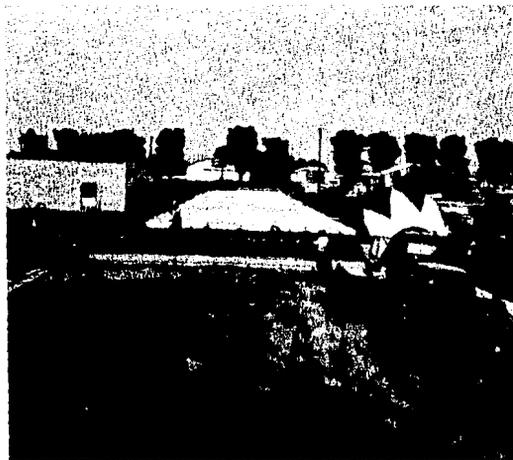
Para volúmenes mayores de 50 m<sup>3</sup>/hora se recomienda utilizar máquinas integradas con todos los elementos al estilo de las pavimentadoras de cimbra deslizante.

Existen además de las máquinas descritas un gran número de equipos que pueden realizar los trabajos de pavimentación de concreto hidráulico muy eficientemente.

Equipo de terminado final.-



Un aspecto del acabado de losas de concreto hidráulico, con el equipo C-450, el cual reduce el tiempo de extensión considerablemente.



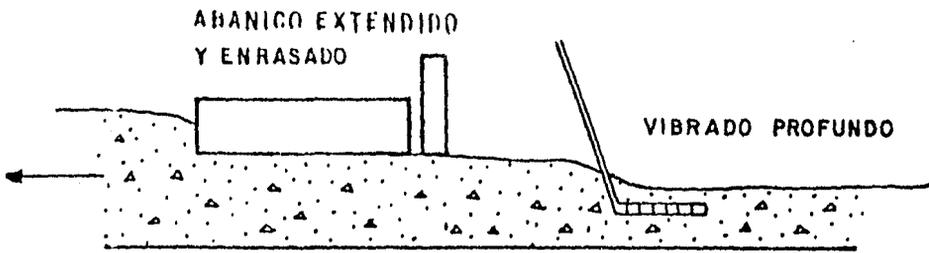
Aspecto de la pavimentación de una calle urbana de 14.50 m. de ancho - con el equipo C-450-X.



Aspecto de un tren de vibradores, debidamente distribuidos para lograr un vibrado perfecto

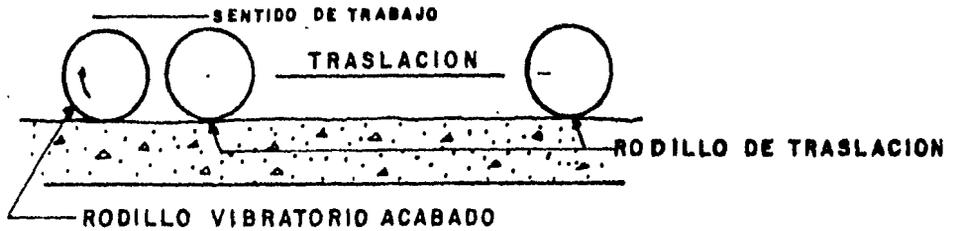


Aspecto del acabado con rodillos vibratorios.



## EQUIPO DE VIBRADO Y TERMINADO SUPERFICIAL

### A.- EQUIPO CLARY.



### B.- EQUIPO MAGGINES.



EQUIPO PARA COLOCACION, COMPACTACION Y TERMINACION  
CON CIMBRA ESTACIONARIA FIJA.

Como equipo de terminado final es conveniente utilizar alguno que permita dar un acabado de la superficie sin alterar éste. Puede ser una máquina que conste de una estructura que 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 de tal manera que se apoye sobre el concreto terminado, y al hacer un movimiento de traslación sobre la superficie fresca corrija las pequeñas imperfecciones que pueden dejar las máquinas acabadoras, y a la vez sirva para cerrar las pequeñas fisuras de fraguado superficial que pudieran presentarse en la superficie del concreto.

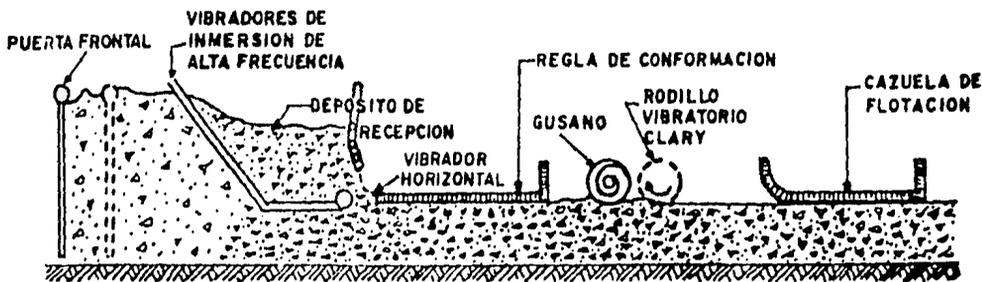
Bandeo, cepillo de cerda.- Para volúmenes menores se puede recurrir al sistema de bandeo, que se logra mediante una banda de 20 a 25 cm. de ancho y un longitud igual al ancho de la losa más 1.50 m. y mediante un movimiento de vaivén, se logra dar una superficie antiderrapante bastante buena con pequeños zurcos de 1 a 3 mm. de profundidad.

Otro procedimiento puede ser el terminado mediante el cepillo de raíz, que al pasar sobre la superficie terminada pero fresca, deja zurcos similares al del bandeo.

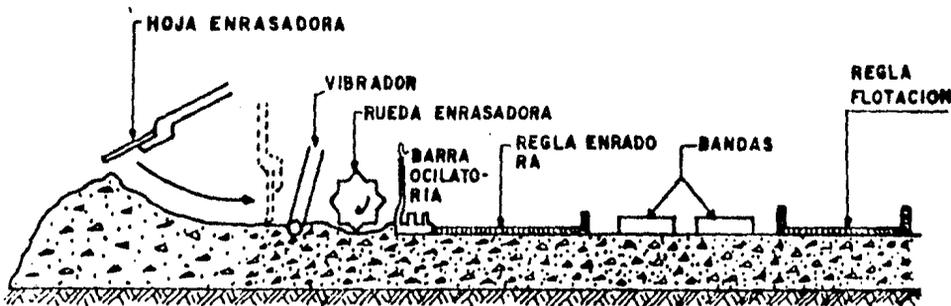
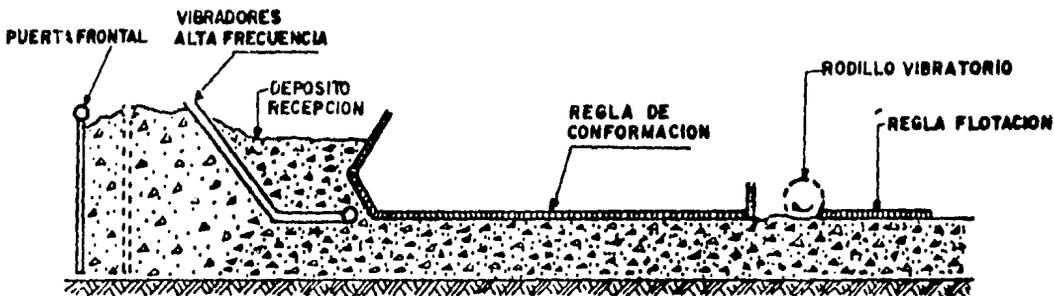
Equipo de aserrado de juntas de construcción. -

Para este tipo de operaciones se deberá de disponer cuando menos de 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 un repuesto para evitar roturas en las losas.

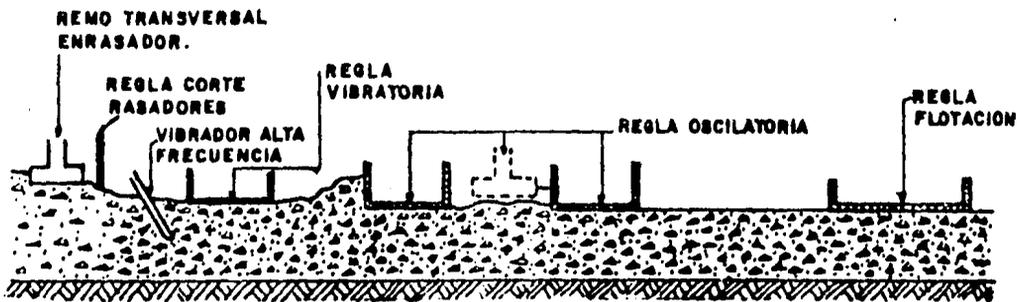
En caso de tener producciones grandes, será necesario calcular el número de cortadoras necesarias y agregar una más para posibles fallas.



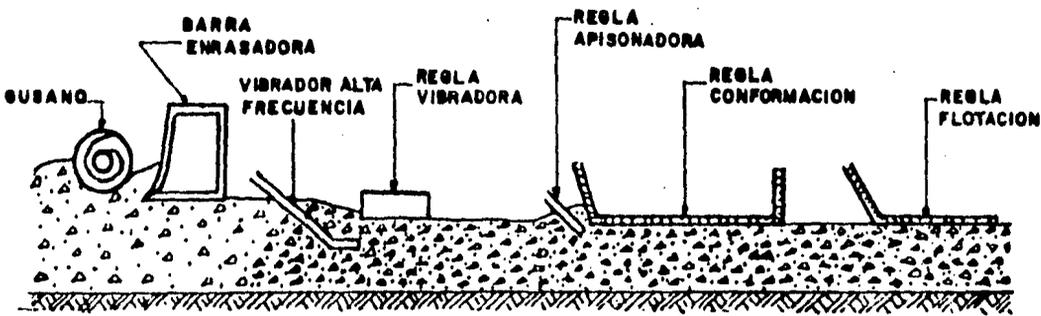
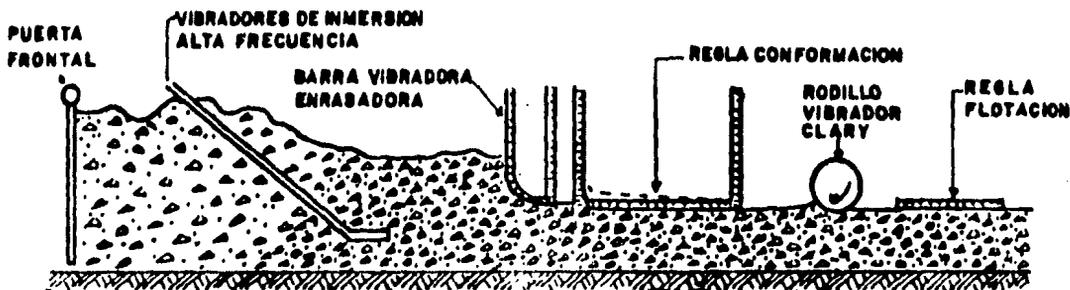
← DIRECCION PAVIMENTADORA



EQUIPO PARA COLOCACION, COMPACTACION Y TERMINACION  
CON CIMBRA DESLIZANTE.



————— DIRECCION DE PAVIMENTADORA



EQUIPO PARA COLOCACION, COMPACTACION Y TERMINACION CON CIMBRA DESLIZANTE.



Pruebas con cortadora, provista de discos diamantados.



Aspecto de construcción de una plataforma de lanzamientos.



Aspecto de rebaje por mal acabado en locales.

### Equipo para aplicar la película de curado.

Para este tipo de operación se pueden usar equipos de aspersión manual o mecánico similar al que se usa para aplicar insecticidas. Para producciones masivas existen equipos de aplicación automáticos.

### Equipo auxiliar.-

Alumbrado.- Deberá disponerse en la obra de 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.

Humedecido.- a todo lo largo del tramo por colar deberán quedar repartidos tanques de agua, que se utilizan para humedecer las sub-bases previo al colado y posteriormente se utiliza para proporcionar agua a las máquinas cortadoras.

Para proteger al concreto fresco colocado, contra los efectos de lluvias inesperadas que puedan dañarlo, tendrán que tenerse en obra techos con estructuras ligeras en suficiente cantidad que permita proteger al concreto fresco; y por lo que respecta a la protección contra los efectos del viento deberá disponerse de mamparas lastrales suficientes para servir de pantallas protectoras.

En caso de presentarse condiciones de viento severas, temperaturas menores de 5°C. y lluvias inesperadas, deberá suspenderse el tendido del concreto y colocar una junta de construcción.

### Selección del equipo. -

Para seleccionar el equipo deberán valorarse, los dife-

rentes factores que intervienen en la realización de la obra, los cuales podemos enunciar de la siguiente manera:

- a) Volúmen de la obra por ejecutarse.
- b) Conocer el programa de obra.
- c) Disponibilidad de todos los materiales necesarios, - materiales inertes, cemento, varilla, pasajuntas, - etc.
- d) Conocer los factores climatológicos
- e) Trabajar en uno o varios turnos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

En el diseño y construcción de pavimentos rígidos se debe de poner bastante atención y cuidado a todas y cada una de sus fases, pero dentro de éstas existen conceptos que realmente necesitan de un especial y minucioso estudio y determinación, para de esta manera obtener datos realistas y veraces, ya que de ello dependerá enormemente el éxito que logremos en la realización de nuestro pavimentos, los conceptos a que me refiero son:

a) El parámetro tránsito de diseño, es de suma importancia conocer los tipos e intensidad de vehículos que circularán sobre el pavimento a diseñar y posteriormente a construir, debido a que de hecho es el tránsito el que condiciona el diseño geométrica y estructuralmente del mencionado pavimento.

b) La calidad de los materiales para la elaboración del concreto hidráulico es indispensable, es decir, éstos deberán cumplir con las especificaciones de rigor para que puedan ser utilizados apropiadamente.

c) Otro concepto básico para el diseño de pavimentos rígidos es el parámetro módulo de ruptura del concreto, el cual nos sirve para determinar las proporciones de materiales a utilizar en la fabricación del concreto hidráulico, tomando como base la fatiga de diseño.

d) La elaboración y manejo del concreto hidráulico es otro concepto bien importante en la construcción de pavimentos rígidos, ya que cuando al ejecutar estas actividades no se procede en la forma apropiada la vida útil de los pavimentos se reduce enormemente.

e) Un concepto más es el diseño y construcción adecuados de juntas, debido a que de un diseño y construcción apropiados de éstas, dependerá en gran parte el costo de conservación y vida útil del pavimento.

f) y por último otro de los conceptos básicos para la durabilidad y eficiencia de un pavimento, es el curado oportuno y apropiado del concreto hidráulico, ya que en la práctica se ha comprobado que cuando éste no es oportuno y apropiado, el concreto sufre pérdida de su resistencia hasta de un 50%.

**RECOMENDACIONES:**

Para cuantificar y evaluar el tránsito de diseño, se recomienda clasificar éste mediante aforos que incluyan diferentes tipos de vehículos, el número de ejes sencillos y el de ejes tándem, las intensidades de carga de los ejes y el volumen total del tránsito pesado.

Con respecto a la elaboración y manejo del concreto, es muy recomendable que estas actividades se ejecuten con el mayor cuidado posible, empleando la maquinaria y equipo apropiados, de acuerdo a las circunstancias prevaletientes, con respecto a clima, distancias de acarreo del concreto, etc.

Con respecto a los materiales que se vayan a emplear, éstos deberán someterse a todas las pruebas de laboratorio correspondientes y, cumplir satisfactoriamente con las especificaciones de la ASTM.

Para determinar el módulo de ruptura MR del concreto, se recomienda utilizar para fines de diseño, el valor obtenido de los especímenes probados a flexión por el método de carga en los tercios, a los 28 días de edad.

Para el diseño y construcción de juntas en el concreto se recomienda seguir el criterio utilizado en la parte correspondiente, de este trabajo.

Y con respecto al curado del concreto hidráulico se recomienda que éste se inicie en el momento de terminar el acabado de la superficie del concreto curándolo de alguna de las siguientes formas:

- a) Con lámina de agua
- b) Con arena o paja humedecida
- c) Con papel impermeable para curado
- d) Con mantas de algodón humedecidas
- e) Con membranas (pintura).

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Juárez Badillo Eulalio y Rico Rodríguez Alfonso  
Mecánica de suelos.- Fundamentos de la Mecánica de Suelos  
Tomo I, Tercera Edición  
México, D.F., Editorial LIMUSA, 1978
- 2.- Juárez Badillo Eulalio y Rico Rodríguez Alfonso  
Mecánica de Suelos.- Teoría y Aplicación de la Mecánica  
de Suelos  
Tomo II, Segunda Edición.  
México, D.F., Editorial LIMUSA, 1979
- 3.- Moncayo V.J.Jesús  
Manual de pavimentos: Asfalto, Adoquín, Empedrado, Concre  
to.  
Primera Edición  
México, D.F., Editorial CONTINENTAL, S.A., 1980
- 4.- Rico Rodríguez Alfonso y Del Castillo Hermilo  
La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras,  
Ferrocarriles y Aeropistas.  
Volúmen I  
México, D.F., Editorial LIMUSA, 1982.
- 5.- Rico Rodríguez Alfonso y Del Castillo Hermilo  
La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras,  
Ferrocarriles y Aeropistas  
Volúmen II.  
México, D.F., Editorial LIMUSA, 1982
- 6.- Secretaría de Obras Públicas  
Manual para proyecto y construcción de pavimentos Rígidos  
para calles.  
México, D.F. Departamento Técnico, 1967.

- 7.- STAFF-Portland Cement Association  
Fabricación de Concreto y Acabados  
Lepe Saucedo José Luis  
México, D.F., Edit. LIMUSA, 1982.
- 8.- STAFF-Portland Cement Association  
Proyecto y Control de Mezclas de Concreto.  
Lepe Saucedo José Luis  
México, D.F., Edit. LIMUSA, 1981
- 9.- Portland Cement Association  
Diseño de Pavimentos de Concreto para Aeropuertos.  
Lepe Saucedo José Luis  
México, D.F., Edit. LIMUSA, 1982
- 10.- Instituto Americano del Concreto  
Construcción de Losas y Pisos de Concreto, ACI 302 IR-80  
Beltrán Héctor/IMCYC/7  
México, D.F., Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto AC/7  
1982.
- 11.- Instituto Americano del Concreto.  
Guía para el empleo de Aditivos en el concreto, ACI-212.  
Pardo Bolland J. Antonio/IMCYC/7  
México, D.F., Instituto Mexicano del Cemento y del concre  
to, A.C./7, 1981.
- 12.- Instituto Americano del Concreto  
Práctica recomendable para la Construcción de Pavimentos y  
Bases de Concreto.  
Querol C. José  
México, D.F., Instituto Mexicano del Cemento y del concre  
to, A.C/12, 1981.

- 13.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
Normas para Construcción e Instalaciones para Pavimentos.  
en Carreteras y Aeropistas/3.01  
México, D.F., Talleres Imprecolor, S.A., 1983:
- 14 - Instituto Americano del Concreto  
Práctica recomendable para la Medición Mezclado, Transporte,  
y colocación del concreto (revisión del documento ACI-614-59  
por el comité ACI-304)  
Instituto Mexicano del cemento y del concreto/3  
México, D.F., Talleres de la Impresora Azteca, S. de R.L.  
1982.
- 15.- Popou P. Egor  
Introducción a la Mecánica de Sólidos  
Paniagua B. Francisco  
México, D.F., Edit. LIMUSA, 1978
- 16.- División de Educación Continúa, Fac. de Ingeniería UNAM.  
Notas de Diseño y Construcción de Pavimentos I  
Exponentes varios  
México, D.F., 1985.