

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO**

**E s c u e l a   d e   I n g e n i e r í a   C i v i l**

**Diseño de Pavimentos de Concreto para  
Áreas Urbanas**

*Biblioteca Central*

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO**

**T E S I S**

Que para obtener el título de :

**I N G E N I E R O   C I V I L**

p r e s e n t a :

**DOMINGO RIVERA URIBE**

*Dedico esta Tesis con todo cariño para las personas que con su desinteresada ayuda hicieron posible que alcanzara una de las más valiosas e importantes metas en mi vida , ya que a través de los conocimientos adquiridos podré integrarme a la Sociedad para aportar lo mejor de mí, en beneficio de los demás.*

*Con cariño a mis Padres:*

*FRANCISCO RIVERA DIAZ*

*SOCORRO URIBE DE RIVERA.*

*A mis Hermanos:*

*FRANCISCO*

*DOLORES*

*ANTONIO*

*CONSUELO*

*ALFREDO*

*JUAN*

*GLORIA*

*RAUL*

*LUIS*

UNIVERSIDAD AUTONOMA  
DE QUERETARO



EDUCO EN LA VERDAD Y EN EL HONOR

OFICIO NUM: 316

ABRIL 12 DE 1978.-

ASUNTO: SE APRUEBA TEMA  
DE TESIS.

SR. PASANTE: DOMINGO RIVERA URIBE.  
P R E S E N T E .-

En respuesta a su atenta solicitud, relativa al Tema de Tesis Profesional, me permito comunicarle a Ud., el que para tal efecto fué -- propuesto por el SR. ING. ANGEL TREJO MOEDANO. El Título de Tesis será:

DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA AREAS URBANAS.-

- CAPITULO I. GENERALIDADES.-
1. PAVIMENTOS.-
  2. TIPOS DE PAVIMENTOS.-
  3. CARACTERISTICAS QUE DEBEN REUNIR LOS PAVIMENTOS
  4. CLASIFICACION DE LOS PAVIMENTOS.-
- CAPITULO II. PAVIMENTOS RIGIDOS CON MOLDEADO DE CONCRETO.-
1. MOLDEADO DE CEMENTO.-
  2. LOSETA HIDRAULICAS.-
  3. ADOQUINES DE CONCRETO.-
  4. BORDILLO DE CONCRETO.-
  5. MOSAICO HIDRAULICO.-
- CAPITULO III. BASES PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO.-
1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.-
  2. MATERIALES PARA LA SUB-RASANTE.-
  3. MATERIALES PARA LA SUB-BASE.-
  4. COMPACTACION.-
  5. PREPARACION DE LA CAPA SUB-RASANTE O DE LAS SUB BASE.-

\*\*



- CAPITULO IV. DISEÑO PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO.-
1. PROPIEDADES DEL CEMENTO Y ESFUERZOS PERMISIBLES.-
  2. DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS.-
- CAPITULO V. CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO.-
1. MATERIALES PARA EL CONCRETO.-
  2. DISEÑO DE LAS MEZCLAS Y CONTROL DE CALIDAD.-
  3. DISEÑO DE ESPESORES PARA CAMINOS SECUNDARIOS Y CALLES RESIDENCIALES.-
  4. DISEÑO Y TIPOS DE JUNTAS.-
  5. DISTANCIA ENTRE JUNTAS.-
  6. SELLADO DE JUNTAS.-
  7. CIMBRAS.-
  8. LOSA DE CONCRETO.-
  9. CURADO DEL CONCRETO.-
  10. ACABADO DE LA SUPERFICIE DE LA LOSA.-
- CAPITULO VI. COMPACTACION DEL CONCRETO EN LOS PAVIMENTOS.-
1. REQUISITOS PARA LA REVOLTURA.-
  2. EQUIPO.-
  3. PROCEDIMIENTO DEL VIBRADO.-
  4. PRECAUCIONES ESPECIALES.-
- CAPITULO VII. COSTOS.-
1. TEORIA GENERAL DE LOS COSTOS.-
  2. FACTORES DE CONSISTENCIAS.-
  3. COSTOS DIRECTOS.-
  4. COSTOS INDIRECTOS.-
  5. IMPREVISTOS.-
  6. PRECIO UNITARIO.-
  7. UTILIDAD.-
  8. COSTOS DE MANO DE OBRA.-
  9. COSTO DE UN PAVIMENTO.-

\*\*\*



CAPITULO VIII. FALLAS TIPICAS Y SUS CAUSAS GENERALES.-

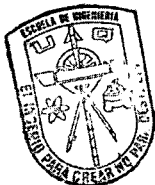
1. AGRIETAMIENTO DE LA LOSA.-
2. ROMPIMIENTO DE LA LOSA.-
3. ALABEO DE LA LOSA.-
4. MOVIMIENTO DE LA LOSA.-
5. DESPOSTILLAMIENTO DE LA LOSA.-
6. BUFAMIENTOS EN PAVIMENTOS.-
7. OTRAS FALLAS.

CONCLUSIONES

EJEMPLO PRACTICO PARA LA CIUDAD DE QUERETARO.-

BIBLIOGRAFIA.

También hago de su conocimiento las disposiciones de nuestra Escuela, en el sentido de que antes de su Examen Profesional, deberá -- cumplir el requisito del Servicio Social y de que el presente oficio se imprima en todos los ejemplares de sus tesis.-



ATENTAMENTE  
"EDUCO EN LA VERDAD Y EN EL HONOR " .

ING. JUAN JOSE VAZQUEZ PEÑA.  
DIRECTOR.

C.c.p.- Archivo Escuela de Ingeniería.- Centro Universitario.-  
C.c.p.- Mesa de Profesiones de la U.A.Q.- Centro Universitario.-  
C.c.p.- Sr. Ing. Angel Trejo Moedano.- Presente.-

## I N D I C E

	Pág.
CAPITULO I. Generalidades.	1
1. Pavimentos	2
2. Tipos de pavimentos	2
3. Características que deben reunir los pavimentos.	4
4. Clasificación de los pavimentos.	5
CAPITULO II. Pavimentos Rígidos Con moldeado de Concreto.	6
1. Moldeado de cemento.	7
2. Loseta Hidráulicas	7
3. Adoquines de concreto.	10
4. Bordillo de concreto.	12
5. Mosaico Hidráulico.	13
CAPITULO III. Bases para pavimentos de concreto.	15
1. Propiedades de los materiales .	16
2. Materiales para la sub-rasante.	27
3. Materiales para la sub-base.	28
4. Compactación.	32
5. Preparación de la capa sub-rasante o de las sub-base.	34
CAPITULO IV. Diseño para pavimentos de concreto.	36
1. Propiedades del cemento y esfuerzos permisibles.	37
2. Diseño de los pavimentos rígidos.	45
CAPITULO V. Construcción de Pavimentos de Concreto.	65
1. Materiales para el concreto.	66
2. Diseño de las mezclas y control de calidad.	69
3. Diseño de espesores para caminos secundarios y calles residenciales.	73
4. Diseño y tipos de Juntas.	83
5. Distancia entre Juntas.	94
6. Sellado de juntas.	95
7. Cimbras.	96
8. Losa de concreto.	97
9. Curado del Concreto.	98
10. Acabado de la superficie de la losa.	99



	<i>Pág.</i>
<i>CAPITULO VI. Compactación del Concreto en los Pavimentos.</i>	101
1. <i>Requisitos para la revoltura.</i>	102
2. <i>Equipo.</i>	102
3. <i>Procedimiento del vibrado.</i>	103
4. <i>Precauciones especiales.</i>	104
<i>CAPITULO VII. Costos.</i>	106
1. <i>Teoría General de los Costos.</i>	107
2. <i>Factores de consistencias.</i>	108
3. <i>Costos Directos.</i>	109
4. <i>Costos Indirectos.</i>	109
5. <i>Imprevistos.</i>	109
6. <i>Precio unitario.</i>	110
7. <i>Utilidad.</i>	110
8. <i>Costos de mano de obra</i>	110
9. <i>Costo de un pavimento.</i>	111
<i>CAPITULO VIII. Fallas típicas y sus causas generales.</i>	115
1. <i>Agrietamiento de la losa.</i>	116
2. <i>Rompimiento de la losa</i>	117
3. <i>Alabeo de la losa</i>	118
4. <i>Movimiento de la losa.</i>	118
5. <i>Despostillamiento de la losa</i>	119
6. <i>Buflamientos en pavimentos.</i>	119
7. <i>Otras fallas.</i>	119
<i>CONCLUSIONES.</i>	123
<i>Ejemplo práctico para la ciudad de Querétaro.</i>	124
<i>BIBLIOGRAFIA.</i>	129

*CAPITULO I*

*GENERALIDADES.*

## *I.1.- PAVIMENTOS*

*Tratando de encontrar una definición de lo que puede ser un pavimento y su importancia en todo tipo de construcción, podemos definirlo de la siguiente manera:*

*"En construcción recibe el nombre de pavimento la capa superior de material que recubre la superficie del suelo, cuya ulterior finalidad es rematar un piso por medio de una superficie plana, dura y decorativa, de manera que no sólo pueda circularse por encima de la misma con absoluta comodidad, sino que sea reacia al desgaste por el roce y presente al mismo tiempo un aspecto de agradable acabado".*

*Con esta definición se da un avance de las condiciones mínimas que deben exigirse a los materiales que intervienen en la construcción de un pavimento.*

*El diseño de un pavimento consiste en elegir el espesor de cada una de las capas de material que entran en su composición desde su suelo natural hasta la carpeta pavimentadora- los cuales sirven como un elemento transmisor de las cargas que sobre éste actúan.*

## *I.2.- TIPOS DE PAVIMENTO*

*Hay en la actualidad dos tipos de carpetas pavimentadoras:*

*a1.- Pavimentos flexibles; mezclas de material pétreo y productos asfálticos, elaborados en el lugar o en planta fija.*

*b1.- Pavimento rígido: producto obtenido de una mezcla adecuada de cemento Portland, agregados pétreos y agua.*

### *PAVIMENTOS FLEXIBLES*

*Sobre los pavimentos flexibles diremos que son combinaciones de agregados minerales con aglutinantes bituminosos, se incluye una multitud de tipos de pavimentos flexibles que varían desde los tratamientos superficiales baratos, de poco espesor, hasta los concretos asfálticos que a veces son comparables en su costo y dimensiones con los pavimentos de concreto.*

*En el diseño de este tipo de pavimentos, se basa en el conocimiento de los distintos tipos de suelo y de las observaciones de su comportamiento bajo el efecto de cargas que se le imputan.*

*CAPITULO II*

*PAVIMENTOS RIGIDOS*

*CON MOLDEADO*

*DE CONCRETO.*

## II.1.- MOLDEADO DE CEMENTO :

*Concreto.- Con este nombre se le conoce al producto artificial compuesto por arena y grava unidas íntimamente por una mezcla de agua-cemento.*

*Este producto artificial tiene una gran aplicación en pavimentación, — constituyendo uno de los grupos más extensos y conocidos.*

*El concreto recién preparado debe reunir tres cualidades: consistencia, fluidez y manejabilidad.*

*Consistencia.- Propiedad que posee el concreto para permanecer reunido en forma homogénea.*

*Fluidez.- Cualidad del concreto, con una menor o mayor facilidad de deslizamiento, que sobre una superficie horizontal, originada por movimientos, se le obliga a extenderse.*

*Manejabilidad.- Es la resistencia que un concreto opone a su manejo.*

*Debido a estas propiedades el concreto es una mezcla artificial resistente y moldeable.*

*Los elementos de pavimentación toman su forma de presentación por medio de moldes y prensas.*

## II.2.- LOSETAS HIDRAULICAS :

*Las losetas hidráulicas de cemento " Parots ", se fabrican con mortero de cemento portland vertido sobre moldes adecuados y comprimidos a la presión permitente para lograr un mejor resultado.*

*Las dimensiones normales de estas losetas suelen ser de 20 x 20 cms. y 25 x 25 cms., con un espesor que varía de 2.5 cms. a 1 cms., según sean sus modelos. Presentan una superficie pisable de gran adherencia, por medio de dibujos geométricos, los cuales tienen por objeto convertir el pavimento en una superficie antideslizante que no admita la lluvia, evite la formación de charcos, así como la acumulación de polvo en período de sequía.*

*Cada País tiene un reglamento adoptado para la pavimentación, dónde especifica los espesores de estas losetas, dependiendo de la función que se les quiera dar.*

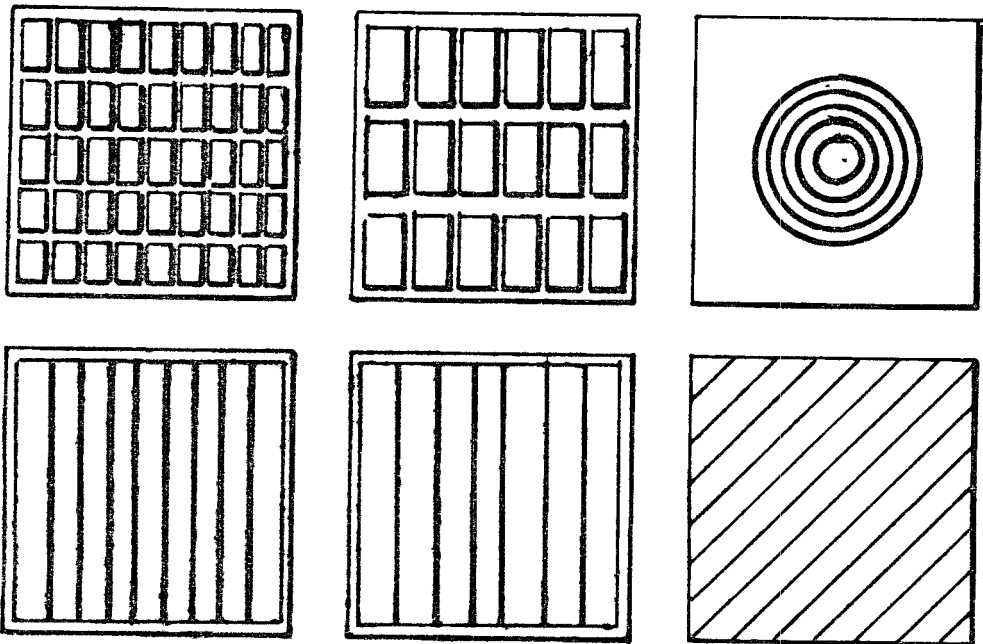
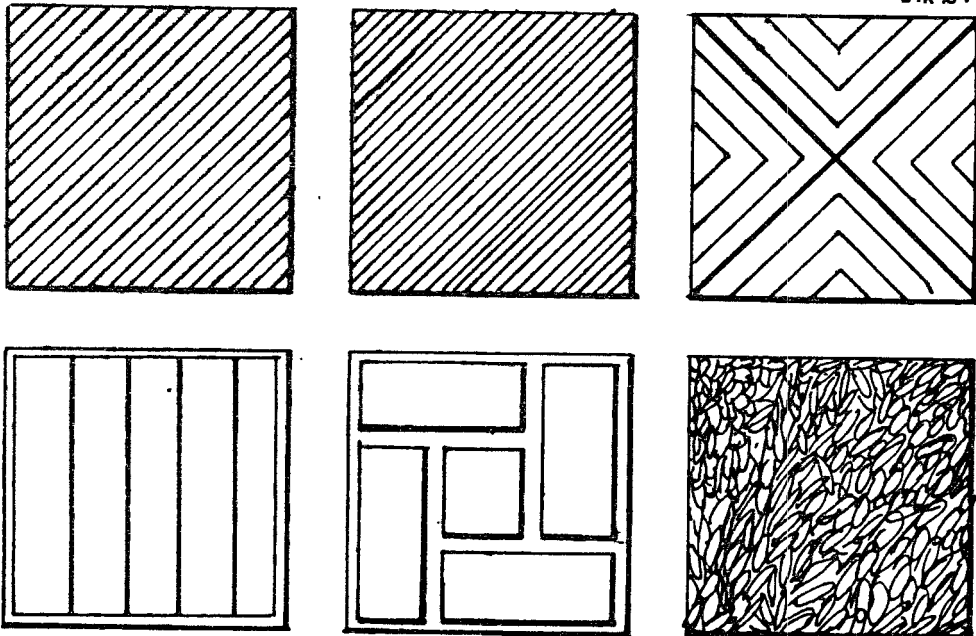


FIG. 2.1 MODELOS DE LOSETAS HIDRAULICAS.

TESIS PROFESIONAL

D.R.U.



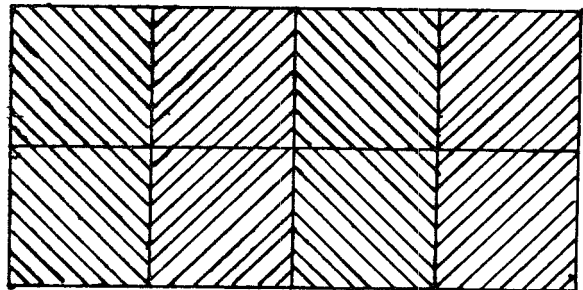
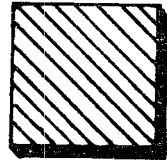
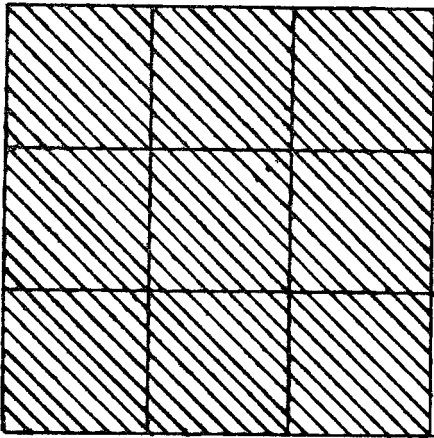
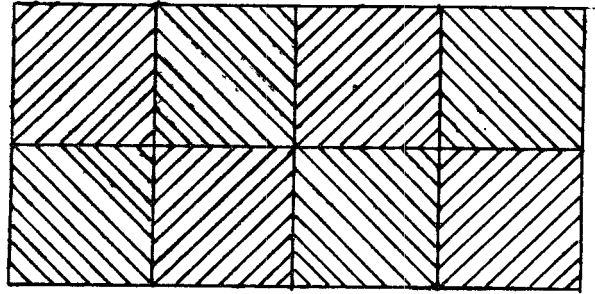


FIG.22 DIVERSAS COMBINACIONES DE LOSETAS HIDRAULICAS  
TESIS PROFESIONAL

D.R.U.

En la figura # 2.1 presentamos algunas formas de estriados de las losetas hidráulicas.

*Colocación de las losetas hidráulicas:*

Su colocación se efectúa a golpe de maceta o al tendido, sobre un elemento de agarre, un mortero de cemento portland y arena, asentado sobre una base firme y lisa, sin falsos rellenos.

Las losetas hidráulicas en su colocación tiene diversas combinaciones realizables con un solo tipo de estriado.

En la figura # 2.2 presentamos algunas combinaciones de las losetas.

*Aplicaciones:*

Las losetas hidráulicas tienen su mayor aplicación en la pavimentación de aceras públicas, siendo de orden inferior las restantes manifestaciones de tal material: patios, almacenes, pasajes, etc...

### II.3.- ADOQUINES DE CONCRETO :

Adoquines de concreto: La fabricación de estos elementos se realiza con concreto clasificado especialmente, empleando al efecto áridas lavadas y clasificados, procedentes de cantos de río machacados y cemento portland. El modelo tiene lugar en maquinaria vibro-compactadora, que realiza el prensado y vibrado del concreto, obteniendo piezas de muy alta resistencia a la compresión, flexión por tracción y desgaste.

Los adoquines de concreto suelen fabricarse adoptando ensambles entre sí, para facilitar su colocación así como su desmontabilidad y recuperación. Las figuras # 2 . 3 reproducen los modelos Pflast y Trief, de similares características aunque diferentes dibujos y distintos tamaños. El espesor o altura es común, con ocho centímetros.

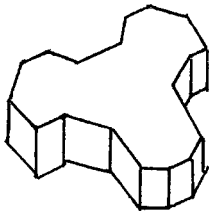
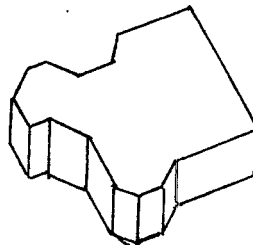


Fig. 2.3 Adoquín normal.



Adoquín terminal.



Estos adoquines han sido especialmente diseñados y concebidos para la pavimentación de carreteras y autopistas, pero las innumerables ventajas que han adoptado a la técnica de la pavimentación, las hacen considerar como un elemento aplicable y, en cierta medida, imprescindible en cualquier piso que deba soportar un tránsito muy denso y pesado. Tal ocurrirá en parques y jardines, caminos vecinales y particulares, aceras, aeródromos, puentes, zonas portuarias, calles urbanas, estaciones de gasolina, pisos especiales para exposiciones y ferias, entre vías, fábricas, almacenes industriales, etc...

El concreto vibropresado transmite sus cualidades a este material, que resulta indisponible, absorbente de calor, anticongelante y antiderrapante, además de facilitar la luminosidad del piso. Los adoquines tienen normalmente, el color característico del concreto, pero se pueden fabricar en piezas coloreadas para señalizaciones, zonas de parques y jardines, indicaciones, etc...

Colocaciones de los adoquines de concreto: La base destinada a ser adoquinada tendrá previamente que ser aplanada, dejando su superficie absolutamente lisa, si fuese necesario nivelar cuidadosamente y perfilar, siguiendo la pendiente que se desee dar al pavimento.

Una vez nivelado y compactado se dispondrá de un lecho de arena de espesor suficiente, en relación con la resistencia del terreno. No es necesario, como ocurre en los adoquines de piedra natural, que la capa de arena descansa a su vez sobre un cimiento supletorio de concreto u otra base dura.

Una vez colocados los adoquines, las juntas deben llenarse con arena fina y agua. El revestimiento del suelo es, por ello, fácilmente desmontable y sin firme rígido. Las ensambladuras de las piezas hacen que toda la superficie quede perfectamente trabada y debidamente apoyada en su firme. Debido a que no existe material de relleno que deba fraguar, el pavimento queda listo para ser utilizado tan pronto como se termine su colocación.

La forma de las piezas cumple una función estética además de las ya mencionadas de asegurar la unión de las mismas entre sí. El ondulado que imprimen las juntas al dibujo formado, ayuda a romper la monotonía de los firmes de tipo continuo, tan ingrata y pesada para el conductor. Por otro lado, la superficie de un pavimento de este tipo ofrece una débil resistencia al rodaje, pero con un coeficiente de frotamiento muy elevado, lo que asegura las condiciones de

seguridad.

El hecho de que las juntas de separación o unión queden rellenas de arena, aseguran una insonoridad de rodaje muy superior a la de las calles y carreteras revestidas de concreto monolítico o de otro material semejante.

Insensible a las heladas, los adoquines de concreto tampoco se deterioran por efecto de la acción del calor ni por las contracciones y dilataciones que resultan de los cambios bruscos de temperatura. El agua disminuye su coeficiente de frotamiento, pero en todo caso en menor proporción que otros tipos de pavimentos de vías de circulación, como los de concreto continuo y de asfalto.

#### II.4.- BORDILLOS DE CONCRETO :

Los elementos de pavimentación que acabamos de describir, se complementan con piezas especiales para rematar los límites laterales de la superficie pavimentada y con los llamados bordillos, que constituyen los elementos de enlace entre la calzada y la acera, y tienen la misión de salvar el desnivel existente entre ambos planos por medio de un talud o un ángulo recto.

Las piezas de remate de un pavimento de adoquines se denominan "Adoquines Terminales". En la figura 2.4 damos un ejemplo de estos adoquines terminales. Se fabrican muchos tipos de estos bordillos, de acuerdo con las normas municipales que existen en cada localidad.

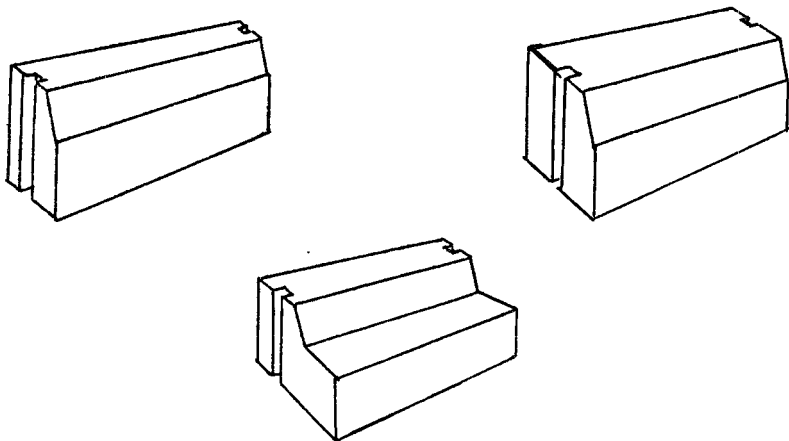


Fig. 2.4 Diversos modelos de bordillos de concreto.

## II.5.- MOSAICO HIDRAULICO.

El mosaico hidráulico constituye uno de los grupos de los que podemos considerar como de pavimentación básica de tipo medio, ya que su costo de fabricación es muy económico, así como por su sencillez de colocación.

Los pavimentos de mosaicos son limpios, brillantes y decorativos. Su mantenimiento resulta fácil y económico. Y su precio de instalación, por metro cuadrado, es bastante razonable. Factores que le benefician para ser el preferido en infinidad de casos.

El mosaico hidráulico se fabrica en baldosas de diversas formas y tamaños, aunque las más conocidas y vulgarizadas sean las cuadradas, con dimensiones de serie: 15 x 15, 20 x 20, 24 x 28, 30 x 30, 40 x 40, 50 x 50 cms.

Mayores tamaños, aunque resultan indudablemente más decorativos, no suelen fabricarse en tipo standard, debido a la dificultad que entraña su elaboración, lo que encarece de un modo notable la mercancía. Hoy es posible disponer de medidas superiores (60 x 60 cms.), ateniéndose a lo anteriormente dicho. Son piezas especiales que fabrican solamente algunas casas y su precio resulta bastante más elevado. Figura 2.5

El mosaico cuadrado suele ser la forma más utilizada, pero se fabrican muchos otros tipos, con lo que es posible obtener multitud de combinaciones.

El espesor del mosaico hidráulico oscila entre los 22 y los 25 mm., en las medidas corrientes, aumentando hasta 35 mm. y aún más en los tamaños superiores.

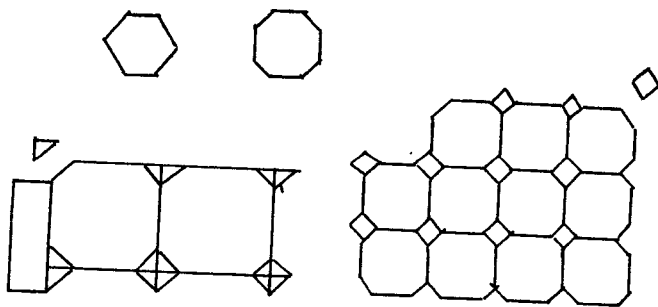


Fig. 2.5 Formas especiales de mosaico hidráulico.

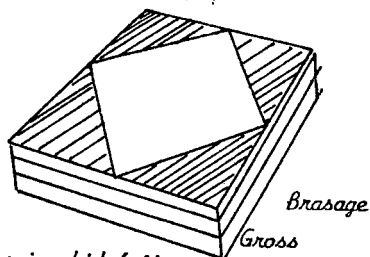
Una baldosa de este tipo se halla esencialmente compuesta por tres capas paralelas (figura 2.6), de las cuales la superior - que es la que compone la superficie que ha de formar el piso propiamente dicho - está formada por una mezcla de portland blanco, al que se le agrega una pequeña cantidad de arena fina de mármol y coloreante que le dá el tono deseado. Todo el acierto del material a fabricar se halla en esta mezcla, que constituye el punto más delicado de la operación, por cuanto un exceso de mármol significaría una reducción en la resistencia al desgaste interior y, por el contrario, si es el cemento el que se halla en demasiada abundancia, podrían producirse grietas al secarse.

El cemento gris también puede utilizarse puesto que también admiten el colorante, aunque es mucho mejor emplear el cemento blanco. Los coloreantes más apropiados suelen ser óxidos artificiales.

La segunda capa intermedia recibe el nombre de Brasague y se halla integrada por una mezcla de arena y cemento puestos en seco, ya que empleándose para obtener la capa superior a que hemos aludido anteriormente, una pasta muy fluida, a fin de facilitar el relleno de los diversos dibujos que ha de formar el mosaico, el exceso de agua que lleva esta capa pasa a la cara inferior y efectúa por sí sola el fraguado del Brasague.

La tercera capa - denominada "Gros" - compuesta por cemento y arena igualmente, pero de inferior calidad, lo que es causa de reducción en el coste al mismo tiempo que se facilita la adherencia del mosaico al mortero, por presentar una superficie mucho más rugosa. Algunos fabricantes, para obtener todavía una mayor economía de precio, suprimen la cara intermedia.

Este tipo de pavimentación resulta indicado para interiores de viviendas, eligiendo tonos y motivos discretos para aplicarse a una habitación de grandes dimensiones y los dibujos muy acusados dotados de una evidente personalidad para pavimentar estancias y locales pequeños.



Portland blanco  
Colorante y arena  
fina de mármol.

Fig. 2.6 Mosaico hidráulico.

*CAPITULO III*

*BASES PARA PAVIMENTOS*

*DE CONCRETÒ.*

Para producir un pavimento rígido de muy buena calidad, los materiales que entran en la composición de la subrasante, sub-base y base (si la necesita) donde quedará apoyada la losa de concreto, deberán cumplir con ciertos requisitos.

Estos requisitos se basan en las propiedades de los materiales, los cuales han sido determinados por medio de ensayos debidamente normalizados por la AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS " (ASTM) " y por la AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS (AASHTO).

En función de los ensayos realizados con materiales la AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ( ACI ), ha formulado las especificaciones que deberán cumplir un pavimento de buena calidad. En México la SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS ( SOP ), se ha encargado de dictar especificaciones, de adaptar y modificar los ensayos para los materiales que constituyen un pavimento.

En el desarrollo de esta tesis no es propósito de describir todos los ensayos, solo se tratarán brevemente aquellos que son fundamentales para el diseño y construcción de los pavimentos rígidos.

### III.4 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

Antes de adentrarnos a un diseño de un pavimento se necesitan realizar estudios climatológicos, de tránsito y de sondeo para prevenir problemas futuros que puedan perjudicar el pavimento.

Con los estudios climatológicos de cada región donde se construirá un pavimento rígido, nos previene de los cambios de temperatura y la humedad, ya que éstos crean alabeo y esfuerzos de flexión en el pavimento, ocasionando un alargamiento y acotamiento global de las losas pavimentadoras. En lugares donde el clima es muy variado, cuando la temperatura es baja la losa tiende a acortarse y cuando la temperatura sube tiende a alargarse, creando con esto movimientos, esfuerzos de tensión y compresión respectivamente y como la losa no se encuentra libremente apoyada a su base, opone una considerable resistencia a su movimiento horizontal.

En una losa de pavimentación cuando la parte superior está más fría que la parte inferior, ésta tiende a concavarse hacia arriba creando esfuerzos de tensión

en la parte superior y esfuerzos de compresión en la parte inferior, éste movimiento ocurre generalmente durante la noche. Cuando la parte superior se encuentra caliente y la parte inferior se encuentra fría, la condición es a la inversa y este movimiento ocurre en el día.

Existen pavimentos de difícil transitar en temporada de lluvia debido a que su superficie de juntas se encuentran elevadas, son losas colocadas sobre una base arcillosa y seca de regiones semi-áridas.

El estudio de tránsito es para determinar el volumen de tráfico y peso de las unidades más pesadas que transitan, para determinar los espesores más adecuados y los materiales más seleccionados para la pavimentación.

Los estudios de sondeo son para determinar y clasificar por medio de sus ensayos, las propiedades de los materiales que entran en la construcción de un pavimento. Determina estabilidad e inestabilidad del suelo.

Las cargas que transitan sobre una losa de concreto, son transmitidas a una superficie mayor de la subrasante, llegando a ésta en presiones más pequeñas, debido a esta propiedad de transmitir las cargas, el pavimento no necesita apoyarse en cimientos muy resistentes. Sin embargo, es importante que el apoyo sea uniforme, sin cambios abruptos en su resistencia.

Para que la subrasante y la sub-base esté bien proyectada y sea lo más uniforme, se tienen que controlar tres factores importantes para no perjudicar el pavimento.

Los tres factores a controlar son:

- 1.- Expansividad.- Elevado cambio de volumen de los materiales. Para su control se tienen que emplear técnicas adecuadas en la preparación de la subrasante.
- 2.- Efecto de la helada.- Congelación de agua dentro de la subrasante, aumentando su volumen.
- 3.- Expulsión de lodo (Bombeo).- Fenómeno donde el volumen de tráfico es intenso y muy pesado.

Para controlar la expansividad y efecto de la helada, el uso de capas de subrasante gruesas no es tan eficaz como la preparación adecuada de ésta.

En la composición de un pavimento rígido entran las siguientes capas de material: Subrasante, sub-base, base (si la necesita) y losas de pavimentación.

En la fig. 3.1 mostramos las diferentes capas de material que componen un pavimento.

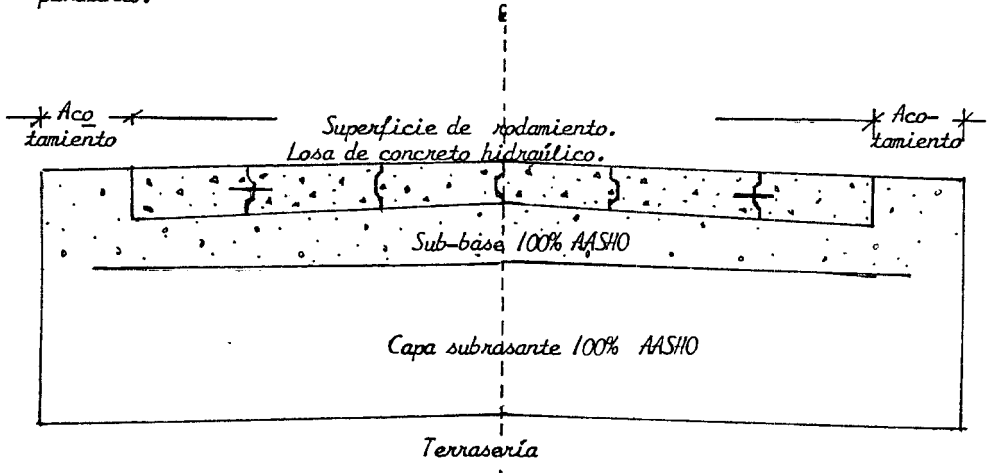


Fig. 3.1 Capas de material que compone un pavimento.

Nos ocuparemos en este capítulo de las propiedades de la subrasante y de la sub-base.

### Suelos expansivos.

Para determinar la expansividad de un suelo, se realiza la prueba del material determinando su límite de plasticidad, límite de contracción volumétrica y el límite de contracción de barra. La tabla siguiente nos muestra una relación aproximada entre expansión y la plasticidad.



INDICE DE PLASTICIDAD	GRADO DE EXPANSION.	% APROXIMADO DE AUMENTO DE VOLUMEN ( D 1883 A S T M )
DE 0 a 10	NO SON EXPANSIVOS	DE 2.0 MENOS.
DE 10 a 20	MODERADAMENTE EXPANSIVOS.	DE 2 a 4
MAS DE 20	MUY EXPANSIVOS	MAYOR DE 4

Skempton propuso un criterio de clasificación con base en la actividad de la arcilla (actividad de una arcilla).

$$A = \frac{I_p}{\% \text{ de peso de suelo más fino que } 0.002 \text{ mm.}}$$

La actividad puede valer 0.38 en arcillas caoliniticas, 0.90 en arcillas ilíticas y alcanzar valores superiores a 7 en arcillas montmoriloníticas lo cual da idea de las características de plasticidad de las arcillas, según su composición mineralógica.

Según Skempton, los suelos se clasifican como se indica en la siguiente tabla:

Clasificación de los suelos finos según su tendencia a la expansión (Skempton).

Actividad	Categoría del Suelo
Menor que 0.75	Suelo inactivo.
0.75 - 1.25	Suelo normal.
Mayor que 1.25	Suelo activo.

De acuerdo con la clasificación anterior, las montmoriloníticas y bentonitas resultan ser inactivas, las lilitas normales y las Caolinitas inactivas.

La Bureau of Reclamation de los E. U. A., realizó un intento para clasificar

a las arcillas desde un punto de vista de la intensidad de su potencial de la expansión. Se toma en cuenta para definir este último el llamado grado de expansión, que es el porcentaje de expansión de una muestra de suelo secada al aire y colocada después en un consolidómetro, anegada en agua y bajo una presión vertical de 0.07 Kg/Cm.2 ( 1 lb /Pulg.2). En realidad el potencial de expansión se define en términos de varias otras características de la arcilla, además el grado de expansión, de las más importantes son: el límite de contracción, el índice de plasticidad, el porcentaje de partículas menores que una micra y la expansión libre.

La expansión libre se define por medio de la ecuación:

$$E. L. = \frac{V - V_0}{V_0} \quad 100$$

Donde:

E. L. = Expansión libre del suelo, en %.

V = Volumen de la muestra después de la expansión, Cm<sup>3</sup>.

V<sub>0</sub> = Volumen de la muestra antes de la expansión igual a 10 Cm<sup>3</sup>.

Un suelo con potencial de expansión alto puede tener una expansión libre mayor que 100%. Conjuntando todos los factores que se han mencionado el Bureau Of Reclamation de los E.U.A., clasifica los suelos de la siguiente manera:

Clasificación de los suelos expansivos según Holtz y Gibbs.

( Bureau Of Reclamation de los E.U.A. )

Potencial de expansión.	Expansión en consoli- dómetro. Ba- jo presión vertical de 0.07 Kg/Cm <sup>2</sup> .	Límite de Contrac- ción.	Índice de Plastici- dad.	Porcentaje de partícu- las menores que una mi- cra.	E. L.
	%	%	%	%	%
<i>muy alto</i>	> 30	< 10	> 32	> 37	> 100
<i>Alto</i>	20-30	6-12	23-45	18-37	> 100
<i>Medio</i>	10-20	8-18	12-34	12-27	50-100
<i>Bajo</i>	< 10	> 3	< 20	< 17	< 50

Otra clasificación del suelo con respecto a su expansión, es la propuesta por W. T. ALTWEYER.

Criterio de W. T. ALTWEYER.

T a b l a

Límite de Contracción.	Cambio volumétrico
< 10	Crítico
10 a 12	Marginal
> 12	No crítico.

El principal problema al proyectar o construir pavimentos sobre suelos expansivos es el evitar cambios de contenido de agua, para reducir al mínimo las distorsiones y los agrietamientos. Puede afirmarse que ningún método debe considerarse plenamente exitoso en esta misión, si bien el empleo del apropiado en el caso particular de que se trate puede reducir significativamente los daños.

Todos los métodos prácticos para evitar los daños que produce la expan-

sión de un suelo susceptible puede agruparse en tres grandes categorías:

- a).- Reemplazo o mejoría por mezcla de un suelo inerte de todo o parte del espesor activo o de la capa del pavimento que muestre o sea susceptible a la actividad.
- b).- Neutralización de la presión de expansión previamente valuada, por la colocación de la sobrecarga suficiente sobre el terreno o la capa del pavimento de que se trate: la sobrecarga impuesta es generalmente peso de tierra.
- c).- Reducción o control de los cambios de contenido de agua en los suelos susceptibles por drenaje subdrenaje, utilización de cubiertas impermeables u otros métodos.

Una subrasante cuyo material sufre contracciones y expansiones, crea un apoyo que no es uniforme para la losa de concreto y dando por consecuencia deformaciones y ondulaciones. Produce falso apoyo cuando:

- 1.- Los suelos expansivos se compactan estando muy secos o se dejan secar antes de pavimentarlos.
- 2.- Los suelos expansivos están muy húmedos antes de pavimentarlos, la contracción irregular subsecuente puede dejar los bordes de la losa sin apoyo o producir en el pavimento un aumento perjudicial de bombeo.
- 3.- Cuando el pavimento está construido sobre suelos expansivos con humedades muy variables las contracciones y aumentos de volumen subsecuente pueden producir protuberancias, depresiones y ondulaciones en la superficie del pavimento. (Fig. 3.2).

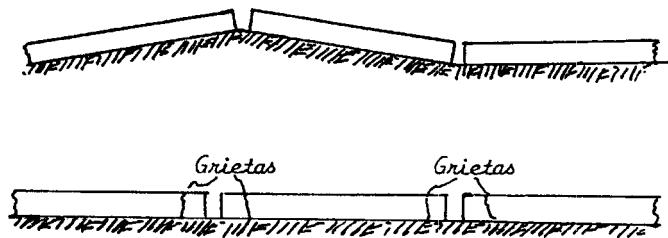


Fig. 3.2 Suelo expansible

### Suelos afectados por las heladas.

La experiencia ha demostrado con la construcción de subrasantes que el daño producido por las heladas a un pavimento, no es producida por el deshielo si no se ha demostrado que el daño es producido por la expansión diferencial brusca producida por el agua al congelarse.

La AASHO en sus pruebas realizadas encontró que los pavimentos de concreto diseñados para un apoyo uniforme, no son afectados por la fusión del hielo.

El comportamiento del pavimento y las ecuaciones planteadas para relacionar las variables de diseño, a las cargas producidas por el tráfico, demuestran que los pavimentos de concreto, con o sin sub-base no son afectados por el período de deshielo.

Por lo tanto, no es importante controlar el reblandecimiento de la subrasante en época de descongelación, sino lo importante a controlar es, el aumento brusco de volumen por congelación.

Este daño producido por la helada se puede controlar reduciendo la irregularidad de la subrasante y las condiciones de humedad que producen las diferencias de expansión por congelamiento, especialmente para los suelos que su diferencia de expansión es muy brusca, de ser susceptibles a la helada o ser muy susceptibles, como los limos.

El grado de susceptibilidad a la congelación es explicada por las propiedades hidráulicas de los suelos:

- a).- Por la capilaridad.- propiedad de atraer la humedad por las fuerzas capilares.
- b).- Por la permeabilidad.- Propiedad del suelo de dar paso al agua a través de sus huecos. En la fig. 3.3 damos una muestra de las propiedades hidráulicas con susceptibilidad de congelamiento.

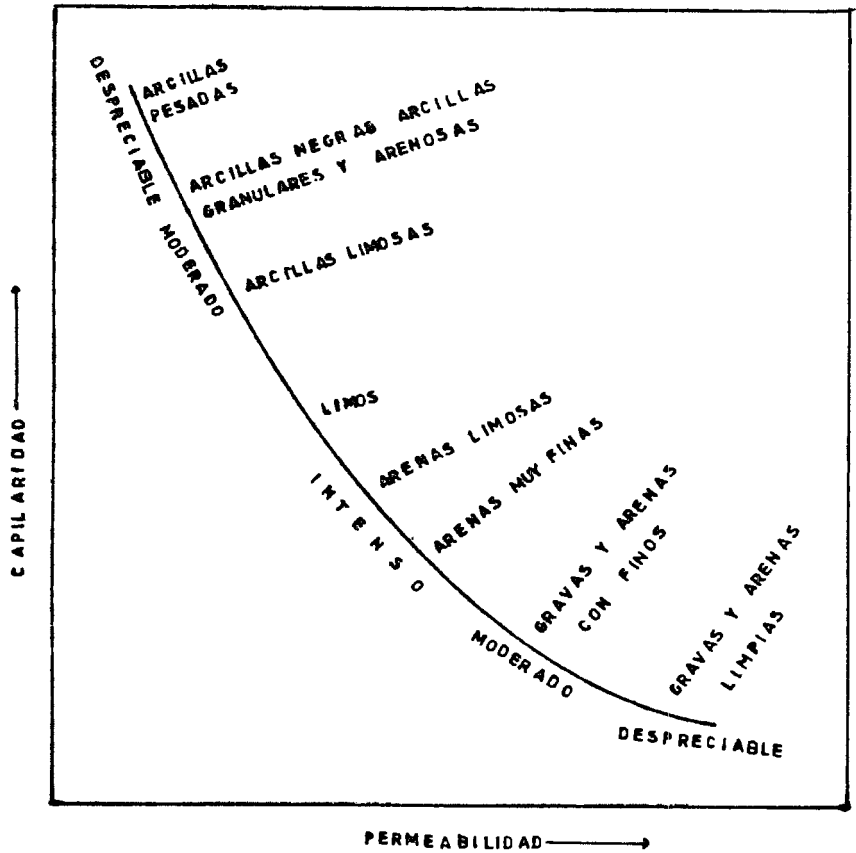


FIG. 3.3 RELACION ENTRE EL EFECTO DE LA HELADA Y LAS PROPIEDADES HIDRAULICAS DE LOS SUELOS.

En los suelos de grano fijo sujetos a efectos de la capilaridad ocurren los mayores aumentos de volumen, los suelos de plasticidad baja con porcentaje elevado de partículas del tamaño de los del limo, son particularmente susceptibles a aumentar de volumen al congelarse. El tamaño de los poros de estos suelos son lo suficientemente pequeños para desarrollar un potencial capilar, y grandes para permitir el paso del agua a la zona congelada.

En los suelos mas gruesos el agua que pasa es mayor, pero no tiene potencia de succión necesaria para elevar agua suficiente para expanderse.

Los suelos mas cohesivos, aunque presentan elevada capilaridad, tienen una impermeabilidad menor y el agua, se mueve lentamente para desarrollar los lentes de hielo grueso que producen el daño.

#### Bombeo o expulsión de lodo.

Entendemos por bombeo una expulsión de la mezcla de suelo y agua a través de las juntas de la losa, en las grietas y en los bordes de los pavimentos. Este fenómeno lo produce la deflexión frecuente de las juntas de la losa por las cargas pesadas que aplican las ruedas cuando la sub-base está saturada. Cuando no se controla esta expulsión de lodo y a la vez es continua; puede desalojar un volumen muy alto que destruiría el apoyo de la losa.

Tres son los factores para que exista expulsión de lodo:

- 1.- Cuando la subrasante está formada por suelos en estado de suspensión.
- 2.- Cuando existe agua libre entre el pavimento y la subrasante o la saturación de esta última.
- 3.- Cuando actúan frecuentemente cargas pesadas.

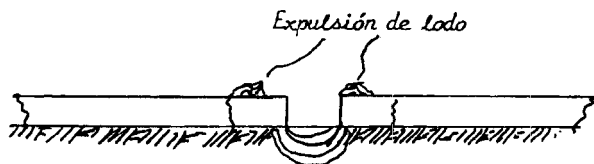


Fig. 3.4 Fenómeno de bombeo

Como en los aeropuertos, las cargas son ligeras y la frecuencia de aplicación es moderada, en su pavimentación no es problema el fenómeno de expulsión de lodo. También para carreteras donde la circulación es de 100 y 200 camiones pesados diarios, no requiere la construcción de sub-bases para evitar el daño producido por la expulsión del lodo.

El control efectivo para los tres factores que alteran un material de construcción para nuestras subrasantes y sub-bases serían:

Para los suelos expansivos:

- 1.- Una graduación correcta de material mezclado.
- 2.- Con una compactación y control de humedad mayor que la que especifica la AASHTO 99 (Control de humedad de 1 a 3% mayor que la óptima).
- 3.- Revistiendo de material no expansivo la subrasante.
- 4.- Usando subrasantes modificadas con cemento.

Para los suelos afectados por la congelación:

- 1.- Seleccionando materiales que sean menos susceptibles al congelamiento.
- 2.- Eliminando las bolsadas de los limos cuando se acumulen en los suelos muy susceptibles al congelamiento.
- 3.- Compactando correctamente con humedades controladas.
- 4.- Drenando el agua de la superficie para que introduzca menos al seno de la subrasante.
- 5.- Revistiendo con material no susceptible a la congelación con capas de arena y grava reduciendo el aumento de volumen por congelación.

Para el bombeo, siguiendo las especificaciones de la AASHTO en su especificación M 155 y T 99.



### III.2 MATERIALES PARA LA SUBRASANTE.

Los materiales que serán usados en una pavimentación, deberán provenir de fuentes de abastecimientos aprobados antes de que se inicie su explotación. El laboratorio se encargará de analizar los bancos de que se disponga, con el método apropiado, de acuerdo con la forma y el equipo con que dicho banco vaya a ser atacado, para determinar las zonas adecuadas y el despalme necesario, si lo hubiese. Además de la base de la aprobación de un banco de material, dependerá de la capacidad de producir materiales de la calidad y en la cantidad requerida.

Durante la explotación de los bancos, se controlarán las características físicas de los materiales, efectuando análisis frecuentes de las fuentes de ataque. Cuando se tengan agregados mayores de los permitidos por las especificaciones " (3)", se eliminarán o triturarán.

La subrasante es un suelo preparado y compactado debajo del sistema de pavimento y con espesor de no menos de 30 cms., para carreteras y no menor de 50 cms., para aeropistas, deberán cumplir con las especificaciones siguientes:

El tamaño máximo de la partícula será de 7.5 cms., su límite líquido será mayor de 50% para carreteras (siempre y cuando estos materiales presenten una plasticidad de media baja) y no menor de 50% para aeropistas. El valor relativo de soporte de 5% mínimo, su capacidad de expansión 5% máximo y la compactación tendrá 95% mínimo del peso volumétrico. El material usado estará libre de toda materia orgánica, piedras grandes que perjudique a la subrasante como basura, ladrillo, raíces de árboles, césped o cenizas.

Los suelos que no cumplan con estos requisitos se pueden estabilizar con cemento Portland, materiales bituminosos, cal, etc... logrando con ésto subrasantes adecuadas.

La Secretaría de Obras Públicas le da más importancia a la compactación de la subrasante (siendo de 95% mínimo), en cambio la Portland Cement Association (PCA), da mayor importancia a la uniformidad de apoyo, considerando que la losa de concreto tiene gran capacidad de distribución de las cargas impuestas por el tránsito.

Con frecuencia los materiales que forman parte de la subrasante presentan características favorables que pueden sustituir las funciones de la sub-base y por lo tanto ésta se hace innecesaria.

### 111.3 MATERIALES PARA LA SUB-BASE.

El material usado en la construcción de la sub-base cumplirá los requisitos que se especifican en las "Especificaciones para materiales de superficie de rodamiento, bases, sub-bases de suelo, agregado (AASHTO M 147)".

La (AASHTO) en su especificación M 147, ha dividido en 6 grupos los diferentes intervalos granulométricos dentro de los cuales deben encontrarse los materiales. Las especificaciones de la SOP para estos intervalos son aproximadamente los mismos. (Fig. 3.5), salvo que divide éstos en tres zonas. En la tabla 3.1 se aprecia la granulométrica especificada para los materiales de la sub-base (AASHTO M 147). La primera zona se puede absorber con el grupo A y B, la zona 2 con el grupo C y D, la zona tres con el grupo E y F.

Otra especificación de la SOP es que la relación entre el porcentaje que pasa la malla 200 y el porcentaje que pasa la malla 40 no sea mayor de 0.65, que el tamaño máximo del agregado sea de 5.0 cms., cuando el material no requiera disgregarse y de 3.8 cms., cuando requiera disgregación.

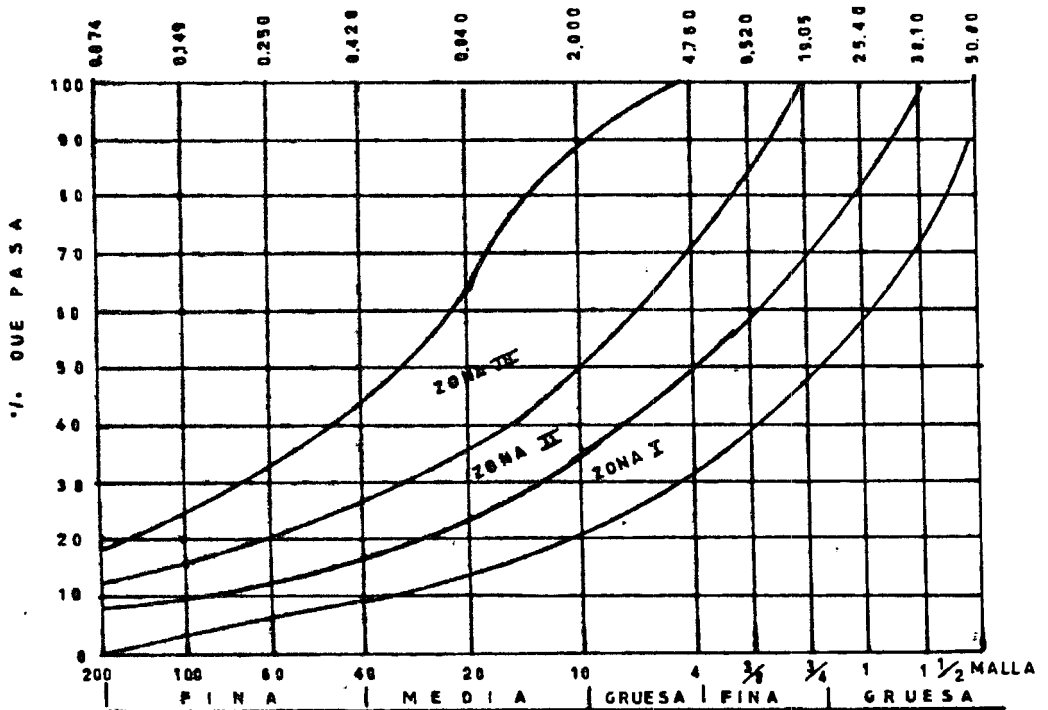
En los pavimentos en que el tránsito es pesado y con un equivalente de 700 ejes de 8,164 Ton (18,000 lbs.) al día o de 1,000 ó 2,000 trailers por día, existe el peligro del fenómeno de bombeo.

Para evitar el fenómeno de bombeo en este tipo de sub-bases la norma --- AASHTO M 155 estipula que el material a usar cumpla lo siguiente:

- a).- El tamaño máximo del agregado no deberá ser mayor de  $1/3$  del espesor de la sub-base.
- b).- El material que pasa la malla no. 200 no deberá ser mayor del 15%.
- c).- El índice de plasticidad no deberá ser mayor de 6.
- d).- El límite líquido no deberá ser mayor de 25.

M A L L A		Por ciento de material más fino, por peso.					
Nombre	Apertura ( mm )	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Grupo E	Grupo F
2"	50.8	100	100				
1"	25.4		75-95	100	100	100	100
3/8"	9.51	30-65	40-75	50-85	60-100		
N°4	4.76	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
N°10	2.00	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
N°40	0.420	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
N°200	0.074	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

Tabla 3.1 Granulometrías especificadas para los materiales de la sub-base ( AASHO M 147 ).



LA CURVA GRANULOMETRICA DEL MATERIAL DEBE QUEDAR DENTRO DE CUALQUIERA LAS ZONAS MARCADAS EN ESTA GRAFICA NO DEBE PRESENTAR CAMBIOS BRUSCOS DE PENDIENTE Y POR LO MENOS EL 90% DE LA LONGITUD DE LA CURVA DEBE TENER SU CONCAVIDAD HACIA ARRIBA.

FIG. 3.3 CURVAS GRANULOMETRICAS

*Los materiales que rebasen estas especificaciones, pueden ser empleados si se demuestra que es práctico emplear algún método de estabilización de suelos.*

*Los materiales que presentan un contenido menor de 45% que pasa la malla no. 200 y con un índice de plasticidad no mayor de 6, son adecuados para proyectos en los que los volúmenes de tránsito pesados son moderados.*

*No requiere sub-base para prevenir el fenómeno de bombeo los pavimentos donde transitar menos de 100 a 200 camiones pesados por día.*

#### *Sub-bases tratadas con cemento.*

*Las sub-bases tratadas con cemento son formidables para soportar grandes cargas aplicadas por los trenes de aterrizaje de aviones y grandes volúmenes de tráfico rodante. Los beneficios obtenidos con una sub-base estabilizada con cemento serían:*

- 1.- Evitaría la expulsión de lodo.*
- 2.- Es un apoyo fuerte, uniforme y resistente.*
- 3.- Elimina la consolidación de la sub-base.*
- 4.- Facilita la construcción, porque se trabaja en una superficie más estable.*
- 5.- Facilita la construcción de pavimentos más parejos.*
- 6.- Mejoran la transferencia de cargas en las juntas.*

*Es importante el uso del cemento en las sub-bases para los casos que el material no cumpla con sus especificaciones dadas, los lugares donde el material es escaso y para darle mayor resistencia a la sub-base.*

*La proporción del cemento está determinada con las pruebas de standard del laboratorio para congelación y fusión (ASTM D 559 y D 560) y los criterios de pérdida de peso de la P.C.A.*

*Algunas propiedades determinadas con las pruebas en sub-bases tratadas con cemento son:*

<i>Propiedad</i>	<i>Valores de 28 días.</i>
<i>Resistencia a la compresión en probeta saturada.</i>	<i>de 28.124 a 63.279 Kg/Cm<sup>2</sup>.</i>
<i>Módulo de Ruptura</i>	<i>5.625 a 12.66 Kg/Cm<sup>2</sup>.</i>
<i>Módulo de elasticidad (a la flexión)</i>	<i>42,186 a 140,620 Kg/Cm<sup>2</sup>.</i>

### *III.4 COMPACTACION.*

*El equipo de que se dispone para lograr una buena compactación son:*

*Rodillos lisos, rodillos neumáticos, pisones, o rodillos pata de cabra, seleccionados el que cumpla con los requisitos de densidad requerida.*

*Cuando se requiere el equipo de compactación en lugares inaccesibles, se contará con pisones mecánicos adecuados para obtener la densidad requerida.*

*Para lograr un control efectivo sobre la expansibilidad y el congelamiento del suelo, primeramente se graduará el material que va a formar la subrasante, haciendo movimientos transversales del material y mezclando los suelos, logrando transiciones graduales entre suelos de expansión diferente.*

*La experiencia obtenida durante varios años en las investigaciones de la compactación, se comprobó que para que una subrasante sea poco expansiva y absorva menos agua, se compactará con una humedad de 1 a 3 % mayor que la óptima de la AASHO T 99.*

*En la fig. 3.6 se dan los resultados de la prueba de compactación de una arcilla típica compactada a diferentes humedades, la óptima y mayor que la óptima.*

*Una vez construido el pavimento, la subrasante aumenta su humedad hasta aproximarse al límite de plasticidad (D424 ASTM). Si se obtiene esta aproximación durante su construcción, los cambios posteriores de humedad serán menores y la subrasante conservará su estabilidad uniforme.*

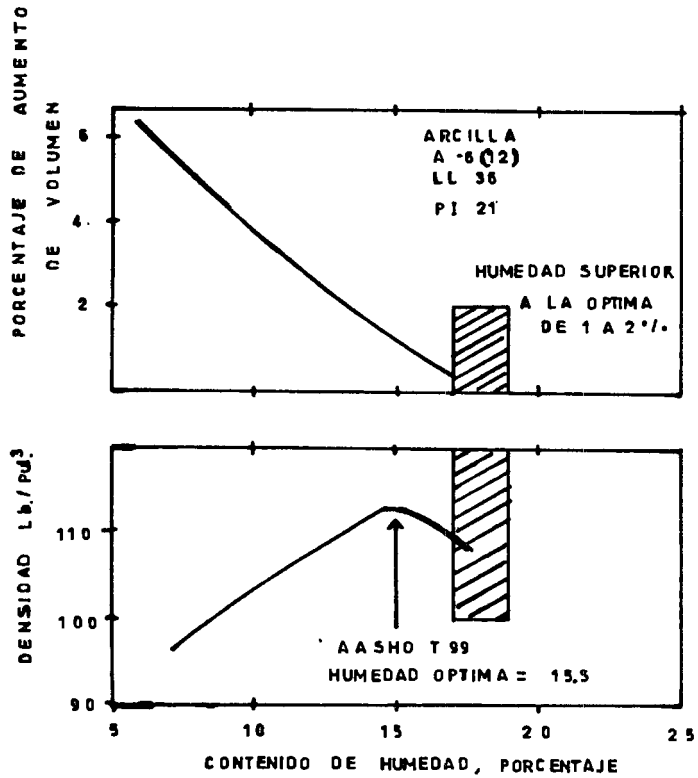


FIG. 3.8 ARCILLA TIPICA COMPACTADA CON HUMEDAD OPTIMA Y MAYOR DE LA OPTIMA

El Corps. Of Engineers usan pruebas modificadas para obtener la densidad al variar la humedad (T 180 de la AASHO ), con la prueba se emplea un mayor esfuerzo de compactación, dando densidades mayores y humedades óptimas, inferiores, ésta prueba representa la compactación mayor de bases granulares y la de bases. Es útil para subrasante de poca plasticidad. Los suelos compactados que presentan cambios elevados de volumen, con estas bajas humedades óptimas se expanden mucho.

Los materiales granulares de textura gruesa se compactan mejor por procedimientos de vibración.

La densidad de compactación no será menor de 95% de la densidad máxima determinada por la AASHO T 99 para cada capa. Se compactarán todos los rellenos, bases y sub-bases con profundidades no mayores de 25 cms.

Las contracciones lineales del material de la sub-base, una vez compactada, no deberán ser mayores de 4.5, 3.5 y 2 % para los grupos 1, 2 y 3 respectivamente especificados por la SOP para la granulometría.

### III.5 PREPARACION DE LA CAPA SUBRASANTE O DE LA SUB-BASE.

Antes de que llegue a colarse las losas de concreto sobre la superficie de apoyo, se tiene que hacer un trabajo preparatorio sobre esta superficie como un afinamiento y ajustes pequeños, cuando lo requiera, la superficie de la subrasante. La sub-base también requiere de especificación de materiales de adición de agua y recompactación de material suelto, también preparar la superficie para que se ajuste a la rasante y a la sección transversal que fija el proyecto.

La afinación es importante para determinar la cantidad necesaria de concreto para la terminación del pavimento y además beneficiar su tersura. Para los casos en que se vaya a utilizar cimbra deslizante para el tendido de concreto, al ancho de la sub-base se le aumentará un acotamiento de 60 cms. a cada lado de los carriles de circulación para acomodar guías de la cimbra. No todos los pavimentos de concreto requieren sub-bases especiales.



*En pavimentos de calles y caminos rurales, se colocan directamente sobre la subrasante preparada debido a su tránsito ligero. Para las carreteras con tránsito pesado o donde hay problemas de congelamiento, se utilizan sub-bases especiales de materiales granulares con o sin agentes cementantes.*

*El acabado de la superficie para nivelación, se realiza con equipo que se desliza sobre la cimbra, una vez que éstas han sido alineadas y niveladas correctamente. Las zonas salientes deben ser rebajadas a su nivel requerido y las zonas bajas se rellenan y se compactan. Hay equipo automático operado desde una cuerda tensa, y el equipo se mueve directamente sobre la superficie sin terminar. Un acabado para las sub-bases tratadas con cemento, debe realizarse antes de su endurecimiento ocurrido de 4 a 6 horas.*

*Se debe verificar su compactación y su sección transversal para ver si satisface sus especificaciones antes de colocar el concreto ( por medio de una cuerda o una plantilla ).*

*Cuando no se especifique algún tipo de recubrimiento para la superficie, se humedecerá lo suficientemente antes de la colocación del concreto para asegurar que esté húmedo al momento de recibir el concreto. El material subyacente debe estar libre de materias extrañas, sobrantes de mezcla y desperdicios de toda clase.*

*Si se especifica papel para subrasante o recubrimiento de polietileno, éstos se colocarán sobre la subrasante terminada. Las tiras adyacentes quedarán traslapadas no menos de 10 cms., y las extremas no menos de 30 cms.*

*Para evitar que se perforen o se rompan, serán colocados cuidadosamente y tomar precauciones para que no sufran daño por la acción del viento.*

*CAPITULO IV*

*DISEÑO PARA PAVIMENTOS*

*DE CONCRETO.*

#### IV.-I..PROPIEDADES DEL CONCRETO Y ESFUERZOS PERMISIBLES.

Para el diseño de un pavimento de concreto intervienen varios factores importantes como son: las propiedades del concreto, la capacidad de carga de la subrasante o de la combinación de la subrasante y la sub-base, el tipo de carga que pueda preverse para el pavimento y frecuencia aproximada de operación y tipo de pavimento que se va a proyectar (como son: calles, carreteras, pistas, plaformas, hangares, etc...)

En el diseño del pavimento rígido deben tomarse en cuenta las siguientes propiedades: la durabilidad adecuada, la resistencia adecuada, a la flexión y una superficie durable y resistente a las cargas y al desgaste. Por fortuna todas estas propiedades están directamente relacionadas.

##### Resistencia a la flexión.

La flexión en los pavimentos de concreto bajo las cargas aplicadas por las ruedas producen esfuerzos tanto de compresión, como de flexión. Los esfuerzos de compresión son demasiado pequeños comparados con la resistencia a la misma, para que puedan influir en el espesor de la losa. Las relaciones de los esfuerzos de flexión a la resistencia a la misma son mucho mayores excediendo a veces su valor a 0.5. Con ésto da por resultado que tenemos que considerar esfuerzos y resistencia a la flexión en el diseño del espesor del pavimento rígido.

La resistencia del concreto para el pavimento se mide por su resistencia a la flexión en base a una propiedad llamada "Módulo de Ruptura" (MR), que se obtiene mediante pruebas de resistencia a la flexión del concreto.

Las pruebas para determinar el módulo de ruptura consiste en moldear y curar de acuerdo con el método (ASTM 78)' standard de prueba para resistencia a la flexión del concreto unas vigas simples. Estas vigas son simplemente apoyadas y se le imponen cargas al centro (ASTM (293) ó resistencia a la flexión del concreto empleando la viga simple con cargas a los tercios del claro (ASTM 78).

Estas pruebas se realizan a los 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados obtenidos de las pruebas a los 7 y a los 14 días se comparan con las requeridas en

las especificaciones para el control de la obra y para determinar cuando pueden ponerse en servicio los pavimentos.

Deben tomarse dos grupos de muestra y curarse. En el grupo 1 se verifica la eficacia del diseño efectuado en el laboratorio. En el grupo 2 verifica la eficacia del curado y otras condiciones de trabajo. Se fabrican un mínimo de dos vigas por cada grupo. Las vigas del grupo uno, se deben fabricar al inicio de la obra o cuando se efectúen cambios importantes en los materiales o en el proporcionamiento. Las vigas del grupo dos se fabrican en un mínimo suficiente para llevar a cabo el control de calidad de la obra, por ejemplo, dos series cada día para obras que se construyen con rapidez y una serie para obras que se realizan a un ritmo bajo o moderado.

En la figura 4.1 comparamos los resultados de las pruebas realizadas y además el ensaye de una viga en cantiliver, no muy común. La viga que se toma como base para el diseño estructural del pavimento es la ensayada con carga a los tercios del claro, ya que es la que da valores inferiores. Se ha tratado de relacionar la resistencia a la compresión con el módulo de ruptura, como se puede ver en la Figura 4.2. La relación no es lineal y para resistencia a compresión muy baja el cociente del módulo de ruptura entre la resistencia a la compresión es del orden de 0.20 en cambio, para los concretos de alta resistencia este cociente es del orden de 0.10. Además no existe una correlación adecuada entre ambas propiedades. Por lo tanto, es difícil poder predecir el módulo de ruptura a partir de la resistencia a la compresión del concreto, a menos que en cada caso y en base a un gran número de datos, se encuentre una curva de correlación entre ambas propiedades.

Debido al continuo aumento de resistencia que se produce durante la vida del pavimento, el módulo de ruptura pronto excede del valor a los 28 días. En la fig. 4.3 mostramos una relación conservadora entre la edad del pavimento y la resistencia a la flexión del mismo, obtenida de varias series de pruebas de laboratorio y las hechas en probetas curadas en el campo o extraídas del pavimento en servicio.

Los esfuerzos del concreto durante los primeros meses y bajo su carga de proyecto serán muy pequeños. Por esta razón se recomienda que el módulo de ruptura para determinar el espesor del pavimento será el de la resistencia a los

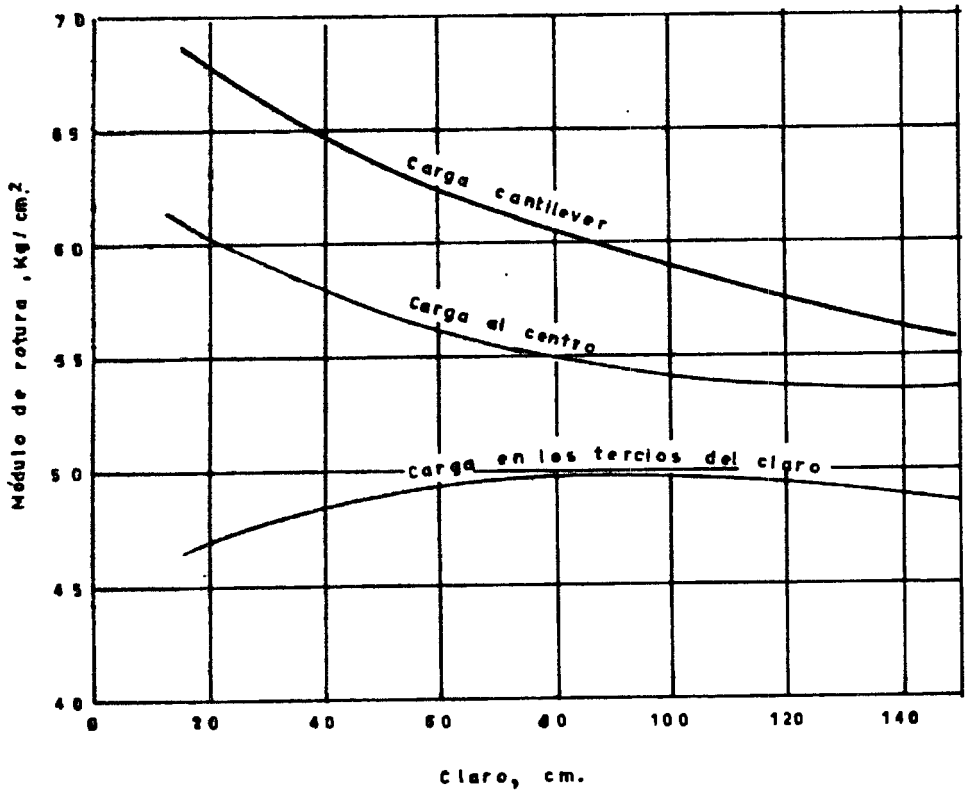


FIG.4.1 Comparación de las resistencias a la flexión de vigas ensayadas por los tres métodos

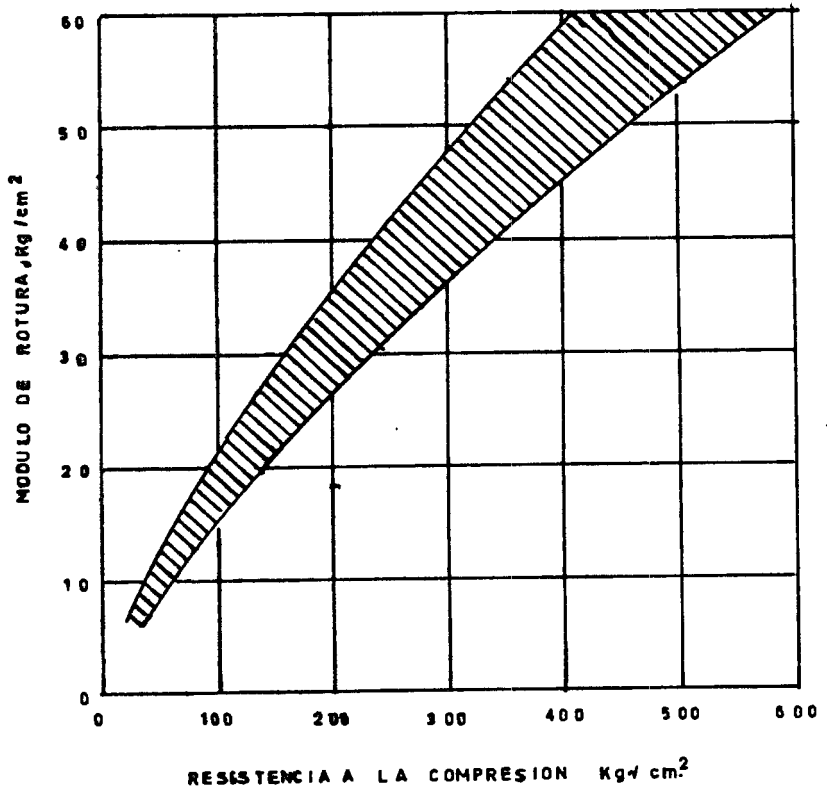


FIG.4.2 Relación promedio entre la resistencia a la compresión de cilindros estándar de concreto y el módulo de rotura de vigas ensayadas con cargas en los tercios del claro.

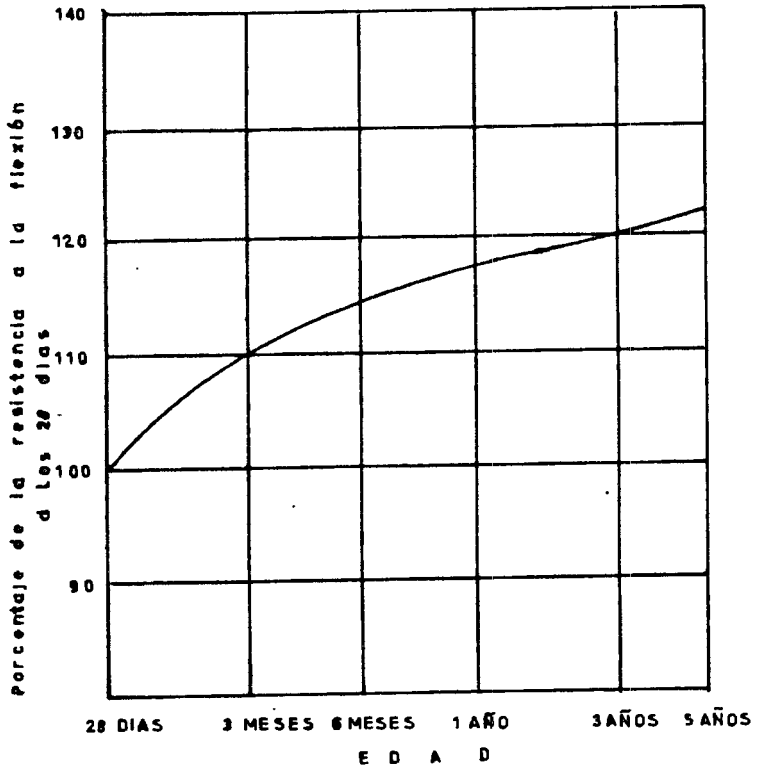


FIG.4.3 Relación entre la edad y la resistencia a la flexión

TESIS PROFESIONAL

D.R.U.

90 días o del 110 al 114% de la resistencia a los 28 días para el pavimento de una pista de aterrizaje.

El módulo de ruptura para la ACI lo especifica de 45 Kgs/ cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad y sólo en aquellos casos en que se demuestre que no se puede obtener este valor en forma económica, se puede especificar una resistencia promedio a la flexión de 42 Kgs. / Cm<sup>2</sup>.

Para el diseño adecuado de las pasajuntas y los tensores, el comité ACI -325 recomienda que la resistencia a la compresión no sea menor de 280 Kgs /Cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días.

El comité ACI-617 "Especificaciones para bases y pavimentos de concreto", recomienda que se emplee concreto con aire incluido en lugares donde los climas son muy severos (congelaciones y heladas) para tener mayor durabilidad y el agua de su mezclado será tal que la relación agua-cemento no exceda a 0.53. En ningún caso el agua de mezclado excederá a la relación agua-cemento de 0.58 y el contenido de cemento no será menor de 280 Kgs. / M<sup>3</sup> de concreto.

Para cumplir económicamente con los requisitos de resistencia a la flexión y de durabilidad, es necesario fabricar mezclas muy secas. Los revenirimientos recomendados son:

a).- Para concretos que no se vayan a vibrar; de 4.0 a 7.5 cms.

b).- Para concretos que sí se van a vibrar; de 4.5 a 4.0 cms.

Los esfuerzos unitarios permisibles de un concreto para pavimento será:

$$F_t = 0.50 M R$$

$u = 0.10 F' C$  pero no mayor de 25 Kgs / Cm<sup>2</sup> para varillas corrugadas o mallas de alambre de acero soldado.

$u = 0.045 F' c$ , pero no mayor de 11 Kgs. / Cm<sup>2</sup>, para varillas lisas.

D o n d e :

$F_t$ - Esfuerzo de trabajo del concreto a la tensión. Kg / Cm<sup>2</sup> ó lbs. / Pulg.<sup>2</sup>

$M.R.$ - "Módulo de Ruptura".- Kg / Cm<sup>2</sup> ó lbs. / Pulg.<sup>2</sup>.

$u$  .- Esfuerzo de adherencia permisible entre concreto y acero Kg / Cm<sup>2</sup> ó lbs/ pulg<sup>2</sup>.



$f'_c$  = Resistencia máxima del concreto a la máxima compresión Kg / Cm<sup>2</sup> ó lb / pulg<sup>2</sup>.

La siguiente relación entre la resistencia a la flexión y el esfuerzo de compresión, algunas veces es útil en las etapas preliminares del proyecto; sin embargo, el proyecto final debe basarse en los datos de las pruebas para determinar el módulo de ruptura.

$$MR = K \sqrt{f'_c}$$

Dónde:

MR - resistencia a la flexión (Módulo de Ruptura). Kg / Cm<sup>2</sup> ó lb / Pulg<sup>2</sup>.

K - constante cuyo valor está comprendido entre 8 y 10.

$f'_c$  - resistencia a la compresión Kg / Cm<sup>2</sup> ó Lb / Pulg<sup>2</sup>.

#### Fatiga del Concreto.

Cuando el concreto se rompe bajo el efecto de las repeticiones continuas de las cargas, se produce la falla por fatiga. Se produce esta falla cuando la relación entre los esfuerzos de flexión ~~son~~ menores que la unidad.

Los efectos de la fatiga influyen en el procedimiento del diseño de dos maneras:

- 1.- En la selección de un factor de seguridad conservador, basado en el conocimiento general del número de aplicaciones de carga que se espera que ocurran durante la vida útil que se haya considerado en el diseño del pavimento. La experiencia ha demostrado que éste es un procedimiento racional para el diseño de la mayoría de los pavimentos, cuando se elijen los factores adecuados en los que se toman en cuenta los aumentos de volumen de tráfico, en los pesos de los aviones y la canalización del tráfico que deberá soportarse.
- 2.- En que se haya hecho las predicciones específicas de las cargas y volúmenes de tráfico, con lo que puede hacerse un análisis más detallado de los efectos de la fatiga.

Acero de refuerzo para las juntas.

### Refuerzo para sujeción.

Las juntas proyectadas correctamente controlan el agrietamiento provocado por las contracciones reprimidas y por los efectos combinados de alabeo restringido y las cargas que actúan en la losa, proporciona la adecuada transferencia de cargas a través de las juntas e impiden la filtración de materias extrañas en las juntas.

Este refuerzo funciona a la adherencia por medio de "barras de sujeción", que son varillas corrugadas de acero que deberán cumplir con las especificaciones ASTM a 15, 16, 160 y 305. Estas barras estarán libres de oxidación excesiva, escamas o sustancias que eviten la buena adherencia con el concreto.

Para hacer trabajar en conjunto todas las losas de concreto de un pavimento, lo realizamos por medio de varillas lisas de acero, total o parcialmente engrasadas para evitar la adherencia. Cuando una losa es sometida a una carga, la transmisión de ésta carga a la losa contigua se realiza por medio de la varilla. Estas varillas denominadas "pasajuntas", deberán cumplir las especificaciones — ASTM a 15, 16 y 106.

Estas varillas deben estar libres de materias que impidan su deslizamiento en el concreto. Cuando se emplean casquillos metálicos en los extremos de las pasajuntas éstos deberán cubrirlos en una longitud de 5.0 a 7.5 cms. Deberá estar cerrado en un extremo con un tope adecuado para que la punta de la pasajunta esté cuando menos a 2.5 cms. del extremo cerrado y tendrá una rigidez suficiente para que no se doble durante la construcción de la losa y obstruya el movimiento de la barra.

Los esfuerzos unitarios permisibles para el acero que llevará un pavimento de concreto, no excederán de los siguientes valores de la tabla 4-1

Tipo y grado de acero	Límite mínimo de fluencia Kg/Cm <sup>2</sup> .	Fs. Kg / Cm. <sup>2</sup>
Acero de eje y de lingote, grado estructural - - - - -	2 3 0 0	1 5 0 0
Acero de eje y de lingote, grado intermedio - - - - -	2 8 0 0	1 9 0 0
Acero de riel o de eje y lingote, grado duro - - - - -	3 5 0 0	2 3 0 0

Tipo y grado de acero	Límite mínimo de fluencia Kg/Cm.2.	Fs. Kg / Cm.2.
Alambre estirado en frío.	3900	2600

#### IV.2.- DISEÑO DEL PAVIMENTO RIGIDO.

El diseño de un pavimento rígido consiste en valorar todas las cargas y esfuerzos que actúan en éste para determinar un espesor adecuado que controlarán todos los esfuerzos y nuestro pavimento no falle al presentarse estos esfuerzos.

##### Las cargas y esfuerzos a determinar son:

Carga (P) producida por el tránsito vehicular, que circulará sobre la superficie del pavimento, sus unidades serán en toneladas o libras determinado por un estudio de éste.

Esfuerzo resistente a la flexión (Módulo de Ruptura MR) de unidades Kg/Cm<sup>2</sup> ó Lb/Pulg.<sup>2</sup>, determinando su valor por medio de ensayos de vigas simplemente apoyadas y con carga a los tercios del claro (ASTM C78).

Módulo de reacción del terreno (K) ésta reacción varía según las condiciones del terreno, varía de un punto a otro en el mismo terreno, sus unidades son: Kg/Cm.<sup>3</sup> ó Lb/pulg.<sup>3</sup>. La resistencia del conjunto de la subrasante y sub-base se determina por medio de la prueba de la placa de 30 pulgadas de diámetro (75 cms) cargada con un peso (P).

Módulo de Elasticidad determinado de acuerdo con la norma ASTM C469 "Módulo de Elasticidad de Young y relación de Poisson en compresión para Especímenes cilíndricos de concreto", sus unidades son Kg/Cm<sup>2</sup> ó Lb/pulg.<sup>2</sup>.

##### Diseño de espesores

El diseño consiste en la determinación del espesor de la losa de concreto con los métodos más conocidos. Cada uno de los métodos tiene un campo de aplicación de acuerdo al tipo e importancia del proyecto.

En el camino de pruebas de la AASHO ensayando con la sub-base granular y la tratada con cemento, se determinó que la segunda proporciona un comportamiento

superior con la ventaja de poder reducir notablemente el espesor de la losa de concreto, debido a los valores relativos de soporte tan grandes que se obtienen con la estabilización del cemento.

Como todo lo anterior se refiere a criterios de vanguardia que requieren un cuidado especial de interpretación y al no existir un criterio racional de diseño de espesores de la sub-base, las dimensiones de la misma queda en el terreno con la recomendación tal como lo presentamos en la tabla 4.2:

Sub-Bases	Proyecto	Espesor Cms.
Granular	Carreteras	10 - 15
	Aeropistas	15 - 30
Tratadas con Cemento	Carreteras	10 - 15
	Aeropistas	15 - 20

Tabla 4.2 Espesores recomendados para sub-bases.

Para casos extraordinarios se han empleado sub-bases granulares hasta de 5 cms., para carreteras donde la subrasante es de primera calidad. En las aeropistas se han empleado sub-bases mixtas, es decir, una parte inferior del espesor - con material granular y el resto tratadas con cemento.

Para el ancho de la sub-base se recomienda el ancho de la corona más 30 cms. a cada lado del pavimento, con el fin de alejar de la orilla de la losa los problemas que puedan presentarse abajo del pavimento y también, para ofrecer un apoyo firme y regular al paso del equipo de construcción de la losa.

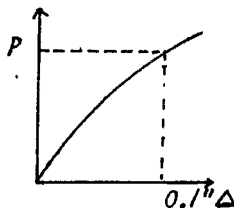
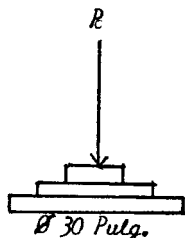
Antes de que se encontrara un método adecuado para el diseño de la losa de concreto, el diseño de ésta se basaba en la resistencia de trabajo, determinado por un factor de seguridad que garantizaba un comportamiento libre de fatiga. Dicho factor era no menos de 2 llevando obviamente a un sobrediseño de espesores del pavimento.

Recientemente uno de los métodos más modernos desarrollados por la P C A es el método de fatiga, aplicado directamente a proyectos de carreteras, calles, y áreas de estacionamiento, para carriles de un ancho de 3.7 mts. (12 Pies) y para pavimentos de concreto simple con refuerzo en las juntas.

Para diseñar con el método de fatiga de la P C A requeriremos de los datos siguientes:

a).- Módulo de reacción de la subrasante (K).

El apoyo que ofrece la subrasante al tránsito, lo llamamos módulo de reacción (K) y se define como la pendiente de la gráfica carga de formación obtenida del ensayo de la placa de diámetro de 30 pulg. (75 cms).



$$K = \frac{P}{\Delta}$$

$$K = \frac{\text{Carga}}{\text{Deformación.}}$$

Obtener el valor del módulo de reacción en el campo es difícil o imposible, primero porque no se cuenta con equipo necesario para realizar la prueba directamente en el campo y segundo porque la subrasante no se ha construido todavía, por esta razón, es práctico estimar un valor del módulo en función al tipo de suelo según el SUCS (Fig. 4.4) ó al VRS del suelo si es posible obtenerlo en el laboratorio (Fig. 4.5). De ambos métodos se obtienen valores muy estimativos siendo más aproximado el VRS. Una de las ventajas al emplear el módulo de reacción (K), es la rapidez de diseño con la que se puede estimar una idea aproximada de su costo, después en el campo con datos reales se obtendrán los valores de (K) que regirá el proyecto.

El Módulo de reacción (K) obtenido sufre una corrección debido al efecto que la sub-base proporciona al apoyo de la losa de concreto. En la tabla 4.3 damos el valor combinado (KC) con el espesor de la sub-base granular y el valor de la subrasante. Para la tabla 4.4 damos el valor (KC) para sub-bases tratadas con cemento cuando el valor de la subrasante es  $K = 2.7 \text{ Kg / Cm.}^3$ .

El valor del módulo de reacción corregido (KC) es el que interviene en el diseño del espesor de la losa de concreto.

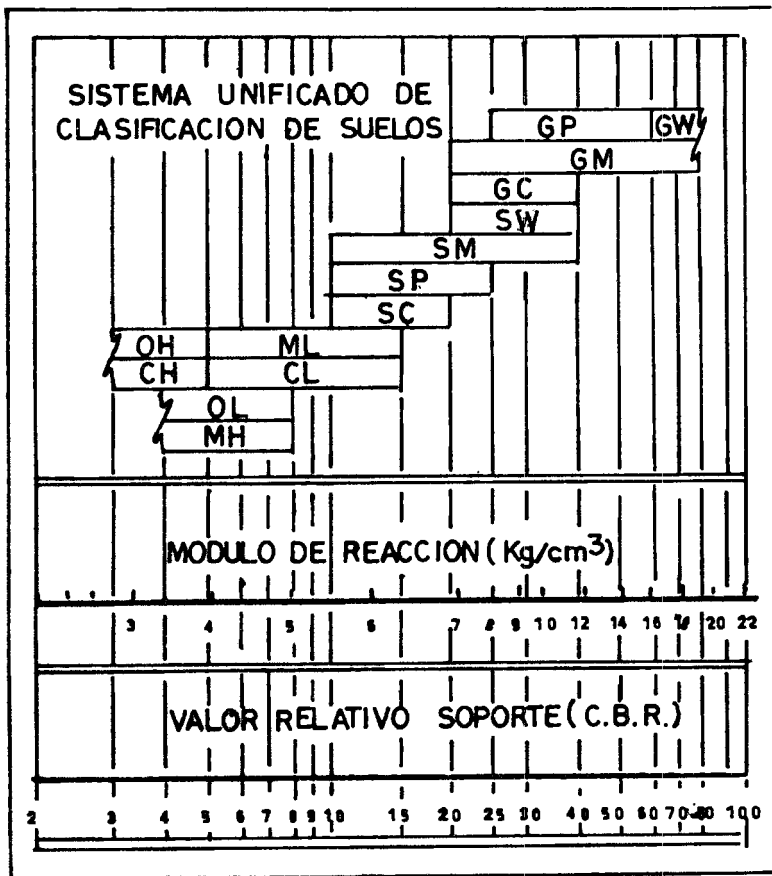


FIG. 4.4

RELACIONES APROXIMADAS ENTRE EL TIPO DE SUELO (CLASIFICADO DE ACUERDO CON EL SISTEMA UNIFICADO) EL VALOR RELATIVO DE SOPORTE Y EL MODULO DE REACCION

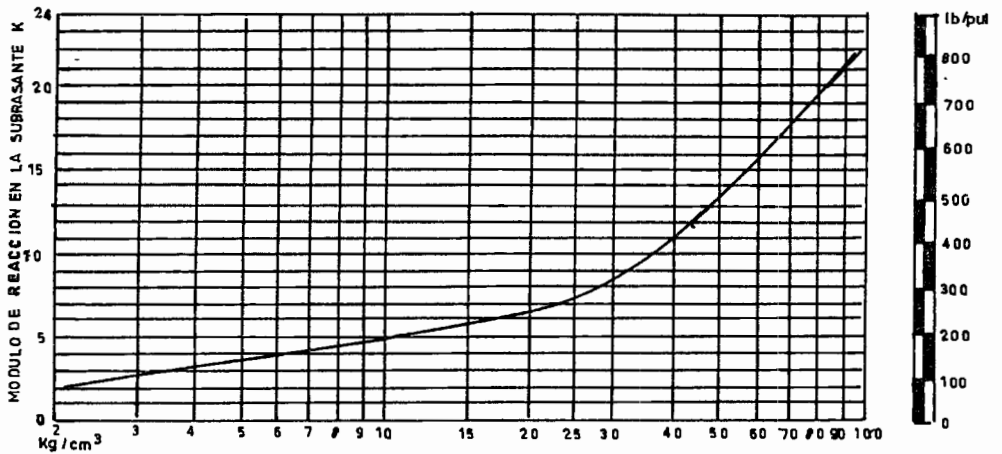


FIG.4.5 RELACION APROXIMADA ENTRE EL CBR DE UN SUELO Y SU MODULO DE REACCION.

"K" Subrasante Kg / Cm.3	Espesor sub-base Cm.			
	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 4.3 Valores combinados KC para una sub-base granular Kg / Cm.3.

Espesor Cm.	Kc. Kg / Cm.3
10.0	8.2
12.5	12.3
15.0	15.1
17.5	16.4

Tabla 4.4 - Valor combinado Kc para una sub-base tratada con cemento Kg / Cm.3.



b).- Factor de seguridad por carga:

Los vehículos en movimiento causan menos esfuerzos en el pavimento que cuando éstos están parados, para esto se clasificaron los factores de impacto como factores de carga. Hay un factor de seguridad según las características del proyecto. En la tabla 4.5 se presentan los factores de seguridad según su proyecto

Tipo de proyecto	F. S. C.
Carreteras de primer orden y otros proyectos de varios carriles, con flujo ininterrumpido de tránsito y volumen alto de camiones.	1.2
Para carreteras y avenidas donde existe un volumen moderado de camiones.	1.1
Para carreteras, <u>calle</u> s residenciales y otros que soportan pequeños volúmenes de camiones.	1.0

Tabla 4.5 - Factores de seguridad para cargas recomendadas.

c).- Esfuerzos causados por las cargas del tránsito.

En una losa de concreto con un ancho de 3.7 mts., los esfuerzos críticos - producidos por las cargas se presentan en tres posiciones (Fig. 4.6)

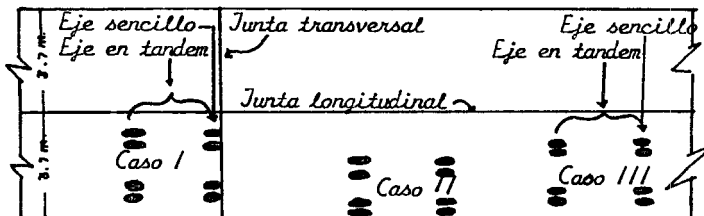


Fig. 4.6 Posiciones de carga y distribución del tránsito.

Caso I.- Carga al centro de la losa y próximo a una junta transversal (posición más frecuente).

Caso II.- Carga a la orilla de la losa sin transmisión de carga a una losa adyacente (Su frecuencia de repetición es casi nula).

Caso III.- Carga próxima a la orilla y al centro de la losa, carga que somete a la losa a esfuerzos críticos con una cierta frecuencia de repeticiones.

Pickett y Ray en sus cartas de influencia dieron al caso I como la posición más crítica para la losa, las repeticiones de carga son más frecuentes llevando a la losa a que falle por fatiga.

Se desarrollaron gráficas para la obtención del valor del esfuerzo " $F_t$ " del caso I, con diferentes intensidades de carga para diferentes módulos de reacción y espesores del pavimento. Las gráficas de la fig. 4.7 es para cargas de ejes sencillos y la gráfica de la fig. 4.8 es para cargas de ejes en tandem.

d).- Relación de esfuerzos:

La PCA en las investigaciones de fatiga del pavimento, 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.

$$\frac{\text{Esfuerzo máximo en la losa Kg / Cm.}^2}{\text{Módulo de ruptura de diseño Kg / Cm.}^2} = \frac{F_t}{MR}$$

Cuando esta relación se aproxima a uno, requiere menos repeticiones de la carga correspondiente y cuando dé menor o igual a 0.5, se acepta un número infinito de repeticiones, es decir, la fatiga no influye en el diseño. La tabla 4.6 presenta el número de repeticiones admisibles para diferentes relaciones de esfuerzos.

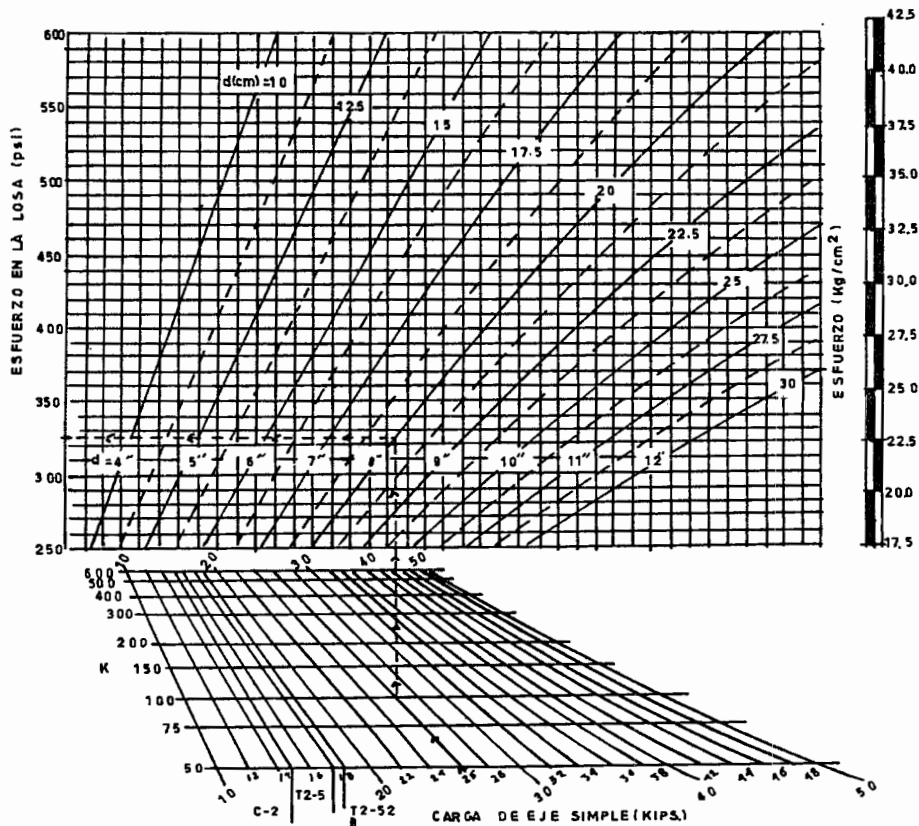


FIG.47 NOMDGRAMA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN CARRETERAS. CAMIONES DE EJE SIMPLE

TESIS PROFESIONAL

D.R.U

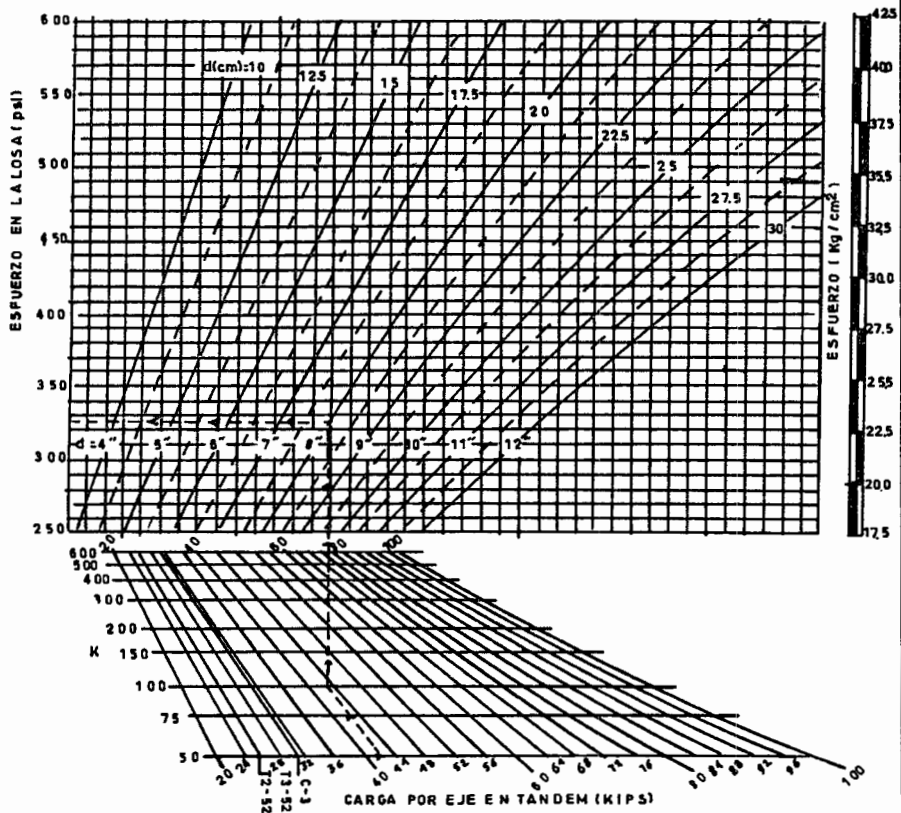


FIG 4B NOMOGRAMA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN CARRETERAS. CAMIONES CON EJES EN TANDEM

<i>Relación de Esfuerzos</i>	<i>Repeticiones admisibles.</i>	<i>Relación de Esfuerzos</i>	<i>Repeticiones admisibles</i>
0.50	$\infty$	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	750,000	0.75	490
0.58	570,000	0.76	360
0.59	420,000	0.77	270
0.60	320,000	0.78	210
0.61	240,000	0.79	160
0.62	180,000	0.80	120
0.63	140,000	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 4.6- Número de repeticiones admisibles para diferentes relaciones de esfuerzos.*

e).- Características del tránsito:

Se necesita conocer adecuadamente el tránsito que pasará por el proyecto correspondiente para aplicar el criterio de fatiga. El tránsito se clasificará mediante aforos, tipo de vehículo, número de ejes sencillos y ejes tandem, cargas que trasmite el eje y volumen total del tránsito. Con este estudio se obtiene los esfuerzos a los que cada carga de ejes somete a la losa, la relación de esfuerzos y por consiguiente el número de repeticiones admisibles por cada uno de los ejes. El número probable de ejes que se presentan según una proyección estadística, se compara con el número admisible, para obtener la contribución de fatiga de cada eje.

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

- 1.- Período de diseño.- Es el tiempo tomado en años, se toma un período de 20 a 40 años, se tomará este período porque los pavimentos rígidos construidos actualmente sobrepasan este tiempo.
- 2.- Volumen actual del tránsito.- Se realiza haciendo un conteo del tránsito durante las 24 horas de lunes a viernes en ambos sentidos, se saca un porcentaje de camiones pesados (Todos aquellos diferentes de las camionetas panels, Pick-Up o vehículos similares) y determinamos el volumen actual del tránsito.

$$TMD = \frac{\overline{T D}}{n}$$

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

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

$n$  = Factor de reducción o ajuste estadístico del promedio de observaciones diarias ( $\overline{T D}$ ), cuyo valor varía entre 0.78 y 0.96. El valor escogido dependerá de la confiabilidad de los resultados del aforo.

- 3.- Factor de proyección (FP). El volumen actual del tránsito es incrementado para el futuro. Por esta razón el volumen de diseño será de un tránsito mayor que el actual.

La tabla 4.7 se dan factores de proyección que incrementa el volumen actual del tránsito para un período futuro.

Incremento anual del tránsito en %	Factor de proyección para 20 años *	Factor de proyección promedio 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	3.2	4.1

Tabla 4.7 - Factor de Proyección ( FP ) .

\* Basado en el interés compuesto  $FP = ( 1 + T )^n$  donde  $T =$  Incremento anual ;  $n =$  número de años.

4.- Volumen de diseño del tránsito.- El volumen del tránsito es igual al número total de camiones pesados que pasan en un solo sentido por el carril más crítico durante el período de diseño.

$$V_d = \frac{TMD \times FP}{2} \times \frac{TCP}{100} \times \frac{CCI}{100} \times 365 \times n$$

Dónde:

TMD = Tránsito medio diario actual en ambos sentidos.

FP = Factor de proyección.

TCP = Tránsito de camiones pesados, se expresa como un porcentaje de TMD, %

CCD = Corrección carril derecho, %. Este valor lo obtenemos de la gráfica de la fig. 4.9, con ciento de vehículos por hora (VPH) en una sola dirección.

$$VPH = \frac{TMD \times FP}{2 \times 24 \times 100}$$

$n$  = Período de diseño, años.

$VT$  = Número total de camiones pesados en un solo sentido (aproximadamente al dividir entre 2). Cuando el carril a proyectar es de un solo sentido el término  $\frac{CCD}{100}$  de la ecuación es igual a 1.

5.- Distribución carga-eje.- Es importante conocer las cargas de cada eje (sencillo y/o tandem) 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.

Para determinar la carga-eje se realiza un estudio del tránsito donde por medio de una báscula especial se determina el peso y número de ejes de los vehículos (cargados y vacíos). Se llevan los datos a un reporte donde se anota clasificación de los ejes y su peso, tipo de camiones y número de ejes por cada mil vehículos.

Posteriormente, mediante operaciones matemáticas, se estima el número de ejes probables que cada grupo, según su composición de unidades y el intervalo de carga, presentó durante la observación de las estaciones de aforo.

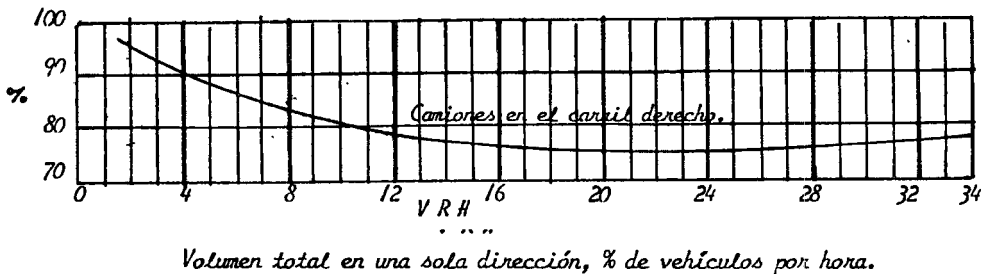


Fig. 4.9 Porcentaje de camiones en el carril derecho para carreteras de 4 carriles.



### Diseño de espesores de aeropistas.-

Para el diseño de un pavimento de una pista de aterrizaje todavía no se cuenta con el criterio de fatiga. Para el diseño se cuenta con las cartas de influencia de Pickett y Ray, que considera un punto interno de la losa del pavimento como el crítico, debido a la complejidad de distribución de cargas de los diferentes trenes de aterrizaje de los aviones.

En la Portland Cement Association se pueden obtener gráficas de diseño dependientes de las cartas de influencia y del tipo de aviones.

Como la pista de aterrizaje no entra en servicio sino hasta después de tres meses de su construcción, el módulo de ruptura que se emplea para el diseño es el incrementado en un 110 % a 114 % de la resistencia de los 28 días sino se dispone de resultados de la prueba de los 90 días.

Las cartas de influencia anterior, se puede aplicar la pavimentación de áreas industriales, en donde van a circular maquinaria con una distribución de carga compleja. En tales casos, es conveniente estudiar la posibilidad de aplicación de este criterio y no emplearlo indiscretamente.

Los factores de seguridad utilizados en la pavimentación de una aeropista es el utilizado respecto al módulo de resistencia a la tensión por flexión a la ruptura. Se selecciona un factor de seguridad de acuerdo a la zona de rodamiento que se desea proyectar.

Los factores de seguridad de acuerdo a la zona de rodamiento son:

Plataformas, calles de rodaje, pisos de hangar,  
zonas de parada y cabeceras se utiliza un factor  
de seguridad de : 1.7 - 2.0

Pistas (zonas de alta velocidad) factor de seguridad de: 1.25 - 1.5

Tercios laterales de la pista, el factor de seguridad es de: 1.25

Para agregados basálticos del centro del País se pueden emplear:

$$E = 79,000 + 4,900 \sqrt{F'C} \quad (\text{IMCYC}).$$

$$E = 10,000 \sqrt{F'C} \quad (\text{Reglamento del D. F.}).$$

Para agregados calizos y zona del norte se pueden emplear:

$$E = 20,000 + 13,210 \sqrt{F'C} \quad (\text{Universidad de Chihuahua}).$$

$$E = 4,270 W^{1.5} \sqrt{F'C} \quad (\text{ACI - 318 - 63}).$$

$$E = 15,900 \sqrt{F'C} \quad (\text{G.Otto Fritze}).$$

$$E = 126,000 + 500 F'C \quad (\text{ACI 323}).$$

3.- Esfuerzo permisible de tensión  $F_t$ , Es el factor más importante para el diseño del pavimento debido a que es la resistencia del concreto a la tensión por flexión.

$$F_t = \frac{MR}{FS}$$

4.- La carga que se haya determinado para el proyecto de un pavimento, ésta será incrementada un 20%, debido a la seguridad en la determinación de dicha carga.

#### Ecuaciones de diseño.

Pickett desarrolló las siguientes ecuaciones de diseño:

Cuando la carga no es transferida o si es transferida un 20% menor a la losa adyacente se dice que la esquina no está protegida ( sin dispositivos para transmisión de carga)  $f_t = \frac{4.20 P}{h^2} \left[ 1 - \frac{\sqrt{a/l}}{0.925 + 0.22 a/l} \right] \quad (1)$

Cuando el 20% o más de la carga es transferida a la losa adyacente por medio del material agregado entre las losas, o por algún sistema mecánico adecuado se dice que la esquina está protegida ( Con dispositivos para transmisión de carga)

$$F_t = \frac{3.36 P}{h^2} \left[ 1 - \frac{\sqrt{a/l}}{0.925 + 0.22 a/l} \right] \quad (2)$$

Diseño de un pavimento por medio de las tablas para el diseño de pavimentos rígidos.

El Ing. Juan J. Salinas desarrolló unas tablas de diseño de pavimentos, para proyectos donde no existen datos de tránsito y no es costoso realizar este estudio. Las tablas las publicó el IMCYC y están basadas en las ecuaciones simplificadas de Pickett que aparecieron en el informe del comité ACI - 325 - 58 "Prácticas recomendables para el diseño de pavimentos de concreto". El un número total de tablas con que se cuenta son 16 (De la 1-A, 1-B hasta 8-A, 8-B).

Los datos para entrar al diseño por medio de estas tablas son fáciles de obtener. Las tablas están hechas para varias intensidades de carga (llantas dobles) con o sin refuerzo en las juntas, diferentes módulos de reacción de la subrasante (combinado con la sub-base) y características del concreto, como módulo de ruptura y módulo de elasticidad.

1.- Para un diseño preliminar donde unicamente se encuentra como dato el esfuerzo a la compresión  $F'C$  del concreto, SHEDELER Y CHLDS analizando un número limitado de ensayos del laboratorio encontró que el módulo de ruptura es igual a:  
 $MR = 2.19 \sqrt{F'C}$ .

Con ensayos de prueba brasileña (diametral):

$$MR = 1.39 F_{sp}$$

$$MR = 1.52 F_{sp}$$

Donde:

$F_{sp}$  = Esfuerzo de tensión del concreto, valor obtenido de la prueba.

2.- El módulo de elasticidad se determina de acuerdo con la norma ASTM C469 "Módulo de elasticidad de Young y relación de Poisson en compresión para especímenes cilíndricos (15 x 30 cms.) de concreto".

Cuando no se cuente con medios apropiados para la obtención del módulo de elasticidad, se determina en función del  $F'C$  ( $Kg / Cm.^2$ ) del concreto y en el caso del criterio ACI 318 - 63 y W (peso volumétrico del concreto, ton. /  $m^3$ ).

Como guía se mencionan los siguientes:

Donde:

$F_{\pm}$  = Esfuerzo máximo de tensión (lbs / Pulg.<sup>2</sup>; Kg / Cm.<sup>2</sup>). En la parte superior de la losa en una dirección paralela a la bisectriz del ángulo que forman las esquinas.

$P$  = Carga de la rueda concentrada en la esquina de la losa (carga incrementada un 20%) (Kg ó Lbs).

$h$  = Espesor uniforme de la losa de concreto (Cms ó Pulgs).

$a$  = Radio de contacto entre llanta y pavimento.

El radio de contacto entre llanta se obtiene de la siguiente manera: (Fig.4.10)

$$A = \frac{P}{p}$$

Donde:

$p$  = Presión del inflado Kg / Cm.<sup>2</sup>

$P$  = Carga sobre la llanta, Kgs.

$A$  = Area de contacto en Cm.<sup>2</sup>

De aquí :

$$a = \sqrt{\frac{P}{p \pi}}$$

Fig. 4.10

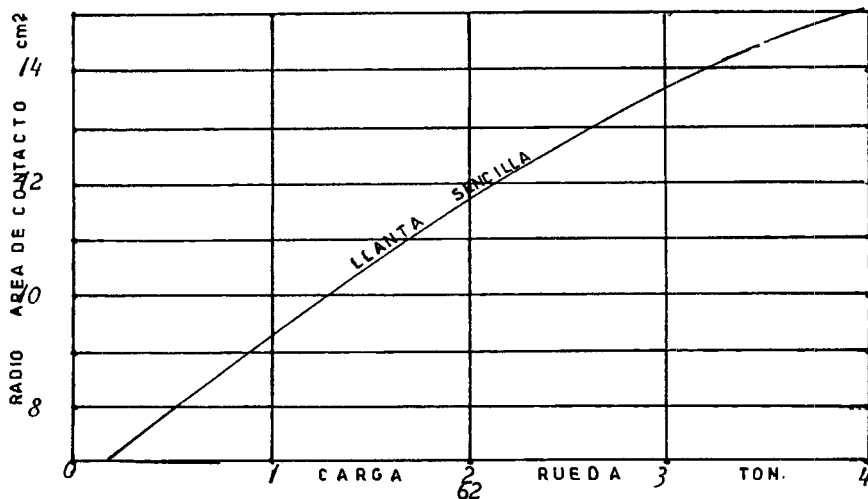


Fig. 4.10 - Radio del área de contacto para varias cargas de rueda.

$$a = 2.52 p + 6.55 \text{ para } 0.5 \leq p \leq 2$$

$$a = 1.153 p + 8.6 \text{ para } 2.0 \leq p \leq 3.5$$

Donde:

$p$  = toneladas.

Para llantas dobles (Fig. 4.11)

$$a = 13.18 p^{0.3}$$

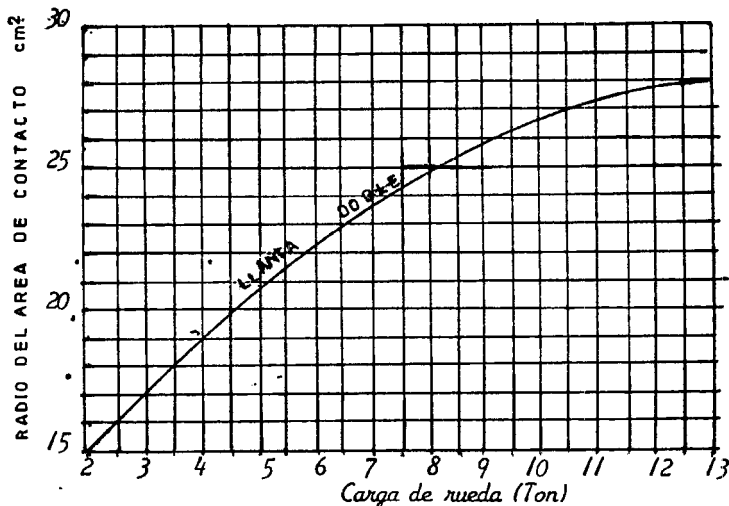


Fig. 4.11 Radio del área de contacto para varias cargas de ruedas.

El radio de una área calculada separadamente para cada carga proporcionada por los principales fabricantes de llantas, para llantas simples o sencillas "a" se toma como el radio del círculo, que tiene una área igual al área media de contacto para cada llanta separada. Las llantas dobles "a" se toma como el radio de un círculo de contacto de las dos llantas más el área comprendida entre las dos llantas dada por las tangentes comunes a las áreas de contacto.

$l$  = radio de rigidez relativa de la losa.

$$l = \sqrt[4]{\frac{E h^3}{12 (1-u^2) K}}$$

Donde:

$E$  = Módulo de elasticidad del concreto.

"  $E$  " en las tablas varía  $E_1 = 150,000 \text{ Kg} / \text{Cm}^2$

$E_2 = 250,000 \text{ Kg} / \text{Cm}^2$

$E_3 = 350,000 \text{ Kg} / \text{Cm}^2$

$u$  = Coeficiente de Poisson, supuesto 0.15

$K$  = Módulo de reacción de la sub-base (valor obtenido a partir del valor relativo de soporte, VRS (Fig. 4.5)

De las ecuaciones 1 y 2 llamando al término  $1 - \frac{\sqrt{a/l}}{0.925 + 0.22 a/l} = B$  (3)

$$Fz = \frac{3.36 P B}{h^2}$$

Despejando  $B$

$$B = \frac{Fz h^2}{3.36 P B} \quad (4)$$

Como  $Fz = \frac{MR}{F_s = 2}$  substituyendo en (4)

$$B = \frac{MR h^2}{2 (3.36 P)} \quad (5)$$

El proyecto tendrá solución cuando un valor de "  $h$  " se satisfacen simultáneamente las ecuaciones (3) y (5).

NOTA: Las gráficas de diseño para una aeropista y las tablas para diseño de pavimentos rígidos del Ing. Juan J. Salinas publicadas por el IMCYC no se incluyen en esta tesis.

*CAPITULO V*

*CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS  
DE CONCRETO.*

## CAPITULO V

### CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO.

#### V.- Materiales para el concreto.

El Ingeniero antes de comenzar la construcción de un pavimento (en este caso) deberá indicar cual será la fuente de abastecimiento que sea capaz de producir materiales en la calidad y cantidad que se requieran. El cemento, los agregados, los aditivos y el agua se obtendrán solamente de la o las fuentes aprobadas:

##### A).- Cemento.

El cemento que se use en un pavimento deberá cumplir con las especificaciones que dicte el ASTM según sea el tipo de cemento.

El cemento puede ser de los tipos siguientes o puede consistir de una combinación de ellos:

- a).- Cemento Portland (ASTM C150).
- b).- Cemento Portland con inclusion de aire (ASTM C175).
- c).- Cemento Portland de escoria de altos hornos (ASTM C250).

El cemento puede consistir en una mezcla de cemento tipo portland con los mencionados anteriormente y uno de los siguientes cementos:

- a).- Cemento Natural (ASTM C10).
- b).- Cemento de Escoria (ASTM C358).
- c).- Cemento Portland Puzolánico (ASTM C340).

Si se va a emplear un cemento especial (diferente a los mencionados) se deberá consultar el libro de Normas ASTM parte nueve, los informes del Comité ACI-617 ó bien, las especificaciones de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Industria y Comercio.



## B).- Agregados.

Por lo general todos los agregados que se usen en la fabricación de un pavimento de concreto deberán cumplir con las normas ASTM C33 (Especificaciones para agregados para concreto). El agregado grueso será resistente al desgaste. El máximo desgaste que deben presentar en base a la prueba de abrasión con la máquina de "Los Angeles" es de 40%.

La forma redonda del agregado es más conveniente que la forma angulosa porque requiere un contenido menor de cemento, obteniendo la misma trabajabilidad.

Hay pavimentos de concreto de excelente calidad con agregado grueso triturado, pero las partículas deberán de presentar una forma más o menos cúbica. Las formas lajeadas se limitarán a un contenido máximo de 15% por peso porque las partículas muy planas que se alojan cerca de la superficie de la losa, se rompen al paso de las cargas pesadas dejando cavidades indeseables en el concreto.

Para obtener un pavimento de concreto más denso, más fuerte y más impermeable y con un contenido menor de cemento, es necesario que su agregado grueso (gravas) sea bien graduado. El tamaño máximo será de 3" usado con bastante éxito en un pavimento) y es muy común la granulometría que va desde 2.5" hasta 1/4". Independiente de lo anterior, el tamaño máximo de las partículas de 1.5" es enteramente satisfactorio.

El agregado fino (arenas) tendrá que estar limpio, sano, adecuadamente graduado y libre de materiales orgánicos que pueden reducir seriamente la resistencia del concreto, o aún más, evitar su endurecimiento. Una arena que no tenga lo suficientemente finos se le puede agregar arena más fina teniendo una granulometría apropiada para que no produzca un concreto áspero. Las arenas más adecuadas son las naturales (arenas de río) que contenga de un 10 a un 30% de material que pasa la malla núm. 50.

Las arenas que contienen cuando menos 12 a 15% de material que pasa la malla núm. 50, se prefieren porque producen los concretos más trabajables. Se pueden emplear arenas producto de trituración, pero se prefiere la forma cúbica a la más angulosa o plana por las razones que se mencionaron para los agregados

gruesos.

Los agregados serán almacenados en sitios exentos de contaminación de material extraño, no se almacenarán sobre subrasantes terminadas, los agregados de diferentes clases estarán separados, el apilado se hará en capas sucesivas horizontales de una altura no mayor de 1 mt.

Los agregados congelados o los que contengan terrones congelados, se descongelarán antes de su uso. Los agregados lavados y los producidos o manipulados por medios hidráulicos, se dejarán drenar por lo menos durante 12 horas antes de usarlos.

#### C).- Agua.

El agua se obtendrá de fuentes aprobadas previamente por las normas de calidad AASHO T26. El agua que sea empleada en el mezclado como en el curado del concreto, estará libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, sales, ácidos u otras sustancias dañinas al concreto. Los mantos de los cuales se extraiga el agua estará a una profundidad suficiente para que se extraiga el agua (mediante una bomba, etc.) sin la presencia de limo, fango, yerba u otro material extraño.

#### D).- Aditivos.

Los aditivos son empleados para modificar una o varias de las características del concreto hidráulico. Estos aditivos pueden servir como reductores de agua, fluidisantes, retardantes, acelerantes, etc... El aditivo más usado en un pavimento de concreto es el de inclusion de aire ( forma un concreto con aire en forma de burbujas muy pequeñas), con este aditivo tiene la propiedad de reducir el agua aumentando las resistencias mecánicas para una misma consistencia, aumenta su trabajabilidad para una resistencia dada y en general aumenta notablemente la durabilidad del concreto. Este contenido de aire en el concreto no debe ser mayor del 3% en volumen sino se emplea el aditivo inclusion de aire y no mayor del 7% si se emplea el inclusion.

El aditivo inclusion de aire, se deberá estudiar en el concreto para ver si

da las propiedades antes mencionadas. De esta manera se podrá comprobar lo esperado, y además, que el concreto por sí solo, mediante unas modificaciones en sus proporciones, no puede producir los efectos de este aditivo.

Los aditivos deberán cumplir con las especificaciones siguientes:

- 1.- Especificaciones para Aditivos /Inclusores de Aire para Concreto (ASTM C260)
- 2.- Especificaciones para Ceniza Volante usada como aditivo en concreto de Cemento Portland (ASTM C350).
- 3.- Especificaciones para Fluoruro de Calcio (ASTM D98).

Hay dos métodos generales para dosificar e incorporar aditivos a los materiales:

- a).- En la fabricación del concreto. El aditivo se incorpora simultáneamente con los ingredientes básicos del concreto. Esta forma de incorporación tiene la ventaja de aplicarse a la masa de concreto con cualquier aditivo, y la desventaja de que su distribución no sea uniforme, dado a su pequeña cantidad de intervención. Se puede resolver esto empleando agentes dispersantes y/o vehículos de incorporación.
- b).- En la fabricación del concreto. Se emplea con aquellos aditivos que no presenten ninguna reacción con el cemento, previa a la hidratación de este último. Consiste en la dosificación e incorporación del aditivo en la fabricación misma del concreto, durante la operación de molienda del Clinker en donde también se incorpora el yeso. Este método tiene la ventaja de que su incorporación y distribución es general, resulta más económico que el primero, con garantía de control estricto de calidad. Como ejemplos tenemos al Cemento Portland con inclusor de aire, Cemento Portland Puzolana (muy común en nuestro medio), etc...

## V.2.- Diseño de mezclas y control de calidad.

Un diseño de mezcla, consiste en el proporcionamiento de los materiales que van a formar la masa homogénea llamada concreto.

### Proporcionamiento de las mezclas de concreto.

En el capítulo IV dimos unas características que debe de reunir el concreto que forma un pavimento, basados en los ensayos de especímenes del mismo material para determinar su esfuerzo a la flexión. Si en una construcción de un pavimento se emplean cementos de diferente tipo (mencionados anteriormente), el laboratorio estudiará el diseño de las mezclas para cada uno de los Cementos Portland que se van a usar.

Una de las instituciones que estudian el comportamiento del cemento (Portland Cement Association) recomienda que se fabriquen tres mezclas de concreto, cada una con diferente relación agua-cemento dentro del intervalo que muestra la gráfica de la fig. 5.1, para un módulo de ruptura determinado. Con cada resistencia promedio obtenida del ensayo de cada mezcla fabricada, se forman en las gráficas curvas de ajuste de los módulos de ruptura contra la relación agua-cemento. Con estas curvas, nos permite escoger la relación agua-cemento más adecuada.

Con este procedimiento de diseño de mezclas, obtenemos muestras tentativas (con la relación agua-cemento) para determinar mediante ajustes las cantidades mencionadas de agregados y pastas para dar trabajabilidad especificada con el menor consumo de cemento posible. Se recomienda para los ensayos de las mezclas se usen agregados saturados y superficialmente secos para evitar cambios en la relación agua-cemento.

En el Comité ACI 211 que apareció en el JOURNAL ACI de agosto de 1969 (Prácticas recomendadas para el proporcionamiento de concreto de peso normal) y en el boletín de Ingeniería de la PCA (Diseño y Control de mezclas de concreto julio de 1968), se dan criterios básicos para éstos proporcionamientos de mezclas.

Para la obtención de un concreto de alta resistencia inicial, se pueden emplear los tres métodos siguientes:

- a).- Empleando Cemento Portland de Alta Resistencia inicial TIPO 3 ó TIPO 3-A en lugar de Cemento Portland normal.
- b).- Empleando una cantidad adicional de Cemento Portland TIPO 1 ó TIPO 1-A ó TIPO 2 ó TIPO 2-A, en cuyo caso la cantidad total de cemento no excederá

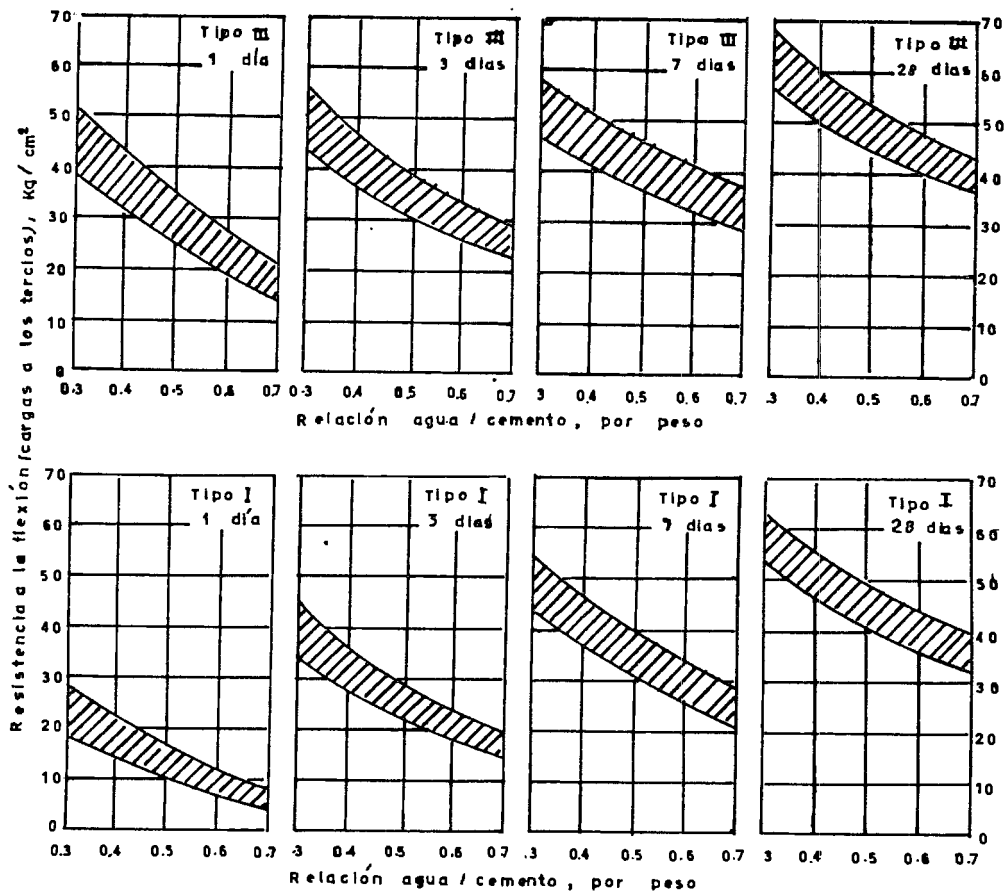


Fig 5-1 Correspondencia entre la resistencia a la flexión y la relación agua / cemento, para diferentes edades empleando los cementos portland, TIPO I Y III

de 450 kgs / M<sup>3</sup>. de concreto.

c).- Usando cloruro de calcio como aditivo acelerante del concreto, en una cantidad promedio entre 1.06 y 2.12% respecto al peso del cemento. El cloruro se añadirá en solución, es conveniente que el proporcionamiento a la solución sea tal que en un litro de solución contenga 500 grs. de cloruro de calcio.

Todas estas mezclas de concreto deberán cumplir con las especificaciones mencionadas en el capítulo IV.

#### Control de calidad.

Las características de los materiales, sufrirán pequeños o grandes variaciones de datos obtenidos de los ensayos del laboratorio, por la sencilla razón de que en la obra se usarán grandes volúmenes de material ensayado.

Se recomienda para los grandes volúmenes de concreto a usar en una obra de pavimentación, vigilar con frecuencia regular la calidad del material.

Para tener un buen control de calidad en el concreto de un pavimento, se determinarán las siguientes características del mismo:

Primero.- La trabajabilidad del concreto fresco, por medio de los ensayos.

- a).- Revenimiento del concreto hecho con Cemento Portland. (ASTM C143).
- b).- Método de ensayo para determinar la penetración de una bola (Esfera de Kelly), en concreto fresco de Cemento Portland (ASTM C360).

Segundo.- Contenido de aire de la mezcla de concreto:

- a).- Método gravimétrico (ASTM C138).
- b).- Método volumétrico (ASTM C183).
- c).- Método de presión (ASTM C231).

La característica más importante para un buen control de calidad de un concreto es la resistencia a la flexión (Fabricando especímenes de concreto para ensayos de flexión y compresión "ASTM C31").

En el capítulo IV.1 "Propiedades del concreto y esfuerzos permisibles", se

menciona el procedimiento de fabricación de especímenes y período de ensayos para la determinación de su resistencia a la compresión y flexión del concreto.

Como estos especímenes de ensaye son una muestra representativa de todo el volumen de concreto a usarse en el pavimento, es necesario que su muestreo se realice adecuadamente. La norma ASTM C172 con el método standard para muestreo de concreto fresco, presenta una guía para realizar en forma apropiada esta operación.

Un concreto aceptable para una obra de pavimentación es cuando el 80% de todos los ensayos de los especímenes fabricados dan una resistencia a la flexión igual o mayor a 42 kgs. / cm<sup>2</sup>. (Valor ideal 45 Kgs. / cm<sup>2</sup>) y el promedio de cualquier grupo de 4 ensayos consecutivos es igual o mayor que 42 Kgs. / cm<sup>2</sup>. Si se especifica una resistencia ideal de 42 Kgs. / cm<sup>2</sup>., el concreto será aceptable si el 80% de todos los ensayos de resistencia a la flexión realizados en especímenes fabricados, dan resultados iguales o mayores de 38 Kgs. / cm<sup>2</sup>. y el promedio de cualquier grupo de 4 ensayos consecutivos es igual o mayor que 38 Kgs/ cm<sup>2</sup>.

### V.3- Diseño de espesores para caminos secundarios y calles residenciales.

Un ejemplo práctico para diseño del espesor de un pavimento de concreto, aclarará cualquier duda sobre el procedimiento del método de fatiga.

En este primer ejemplo se diseñará un camino interestatal rural a base de un pavimento rígido. Generalmente en México no es empleado este tipo de pavimentos, debido a la gran producción de petróleo y producción de pavimentos de asfalto, siendo su proceso de construcción más económico.

Ejemplo:

a).- Como datos de partida para nuestro proyecto, es el estudio del tránsito que pasa en el camino a proyectar.

Camino rural de primer orden con cuatro carriles de 3.7 mts. de ancho, su diseño se hará para un período de 40 años. En el estudio del tránsito se determinó que el tránsito medio diario (TMD) es de 12,000 vehículos en ambos sentidos por día, con un tránsito de carga pesada (TCP) de 13% para proyectarse con un factor de proyección (FP) de 2.2. La distribución carga-eje obtenida se mues

tra en la siguiente tabla (Tabla 5.1).

Intervalos de carga Miles de libras (KIPS)	No. de Ejes probables por cada 1,000 vehi- culos.
<i>Ejes sencillos</i>	
28 - 30	0.19
26 - 28	0.19
24 - 26	0.38
22 - 24	10.00
<i>Ejes en tandem</i>	
52 - 54	0.19
50 - 52	0.19
48 - 50	1.86
46 - 48	1.86
44 - 46	2.95
42 - 44	9.22
40 - 42	10.50

Tabla 5.1 - Distribución carga-eje para diseño.

b.- Datos del apoyo y del concreto.

La subrasante tiene una  $K = 199 \text{ lbs / Pulg.}^3 = 5.5 \text{ Kg / Cm}^3$ . La losa se apoyará sobre una sub-base granular de 10 cms. de espesor. El concreto deberá presentar un  $\text{MR} = 45.5 \text{ Kg / Cm}^2 = 647 \text{ lbs / Pulg.}^2$  a los 28 días de edad.

c).- Cálculo del tránsito.

$$\text{VPH} = \frac{\text{TND} \times F_p}{2 \times 24 \times 100} = \frac{12000 \times 2.2}{2 \times 24 \times 100} = 5.5$$



VPH = Vehículos por hora en una sola dirección.

Con este valor obtenido pasamos a la figura 4.9 para obtener el valor de corrección carril derecho (CCD).

$$CCD = 89\%$$

La obtención del volumen de diseño del tránsito se realiza por la fórmula siguiente: (para un período de 40 años).

$$V_t = \frac{TMD \times FP}{2} \times \frac{TCP}{100} \times \frac{CCD}{100} \times 365 \times n$$

$$V_t = \frac{12,000 \times 2.2}{2} \times \frac{13}{100} \times \frac{89}{100} \times 365 \times 40$$

$$V_t = 22\,297\,704 \text{ (camiones pesados).}$$

Con los datos de la tabla 5.1 y el  $V_t$ , se forma la tabla 5.2 siguiente de la distribución carga-eje durante el período de diseño.

( 1 )	( 2 )	( 3 )
Intervalos de carga KIPS	Núm. de ejes probables por cada 1000 vehículos.	Núm. de ejes probables para el diseño.
<i>Ejes sencillos</i>		
28 - 30	0.19	4,237
26 - 28	0.19	4,237
24 - 26	0.38	8,473
22 - 24	10.00	222,977
<i>Ejes en tandem</i>		
52 - 54	0.19	4,237
50 - 52	0.19	4,237
48 - 50	1.86	41,473
46 - 48	1.86	41,473
44 - 46	2.95	65,778
42 - 44	9.22	205,585
40 - 42	10.50	234,126

### Tabla 5.2

La columna ( 3 ) se obtiene dividiendo el  $V_t$  de diseño entre 1000 y multiplicando por la columna ( 2 ).

#### d).- Cálculo de $K_c$

El valor combinado del módulo de reacción de la subrasante se basa en la tabla 4.3. Para una  $K = 5.5 \text{ Kg} / \text{cm}^3$  y una sub-base granular de 10 cms. se obtiene un módulo de reacción de diseño "  $K$  combinado " de  $K_c = 6 \text{ Kgs} / \text{cm}^3 = 217 \text{ lbs} / \text{Pulg}^3$ .

#### e).- Cálculo del espesor de la losa por tanteos.

Con este método se procede al diseño por tanteo partiendo la primera tentativa con un espesor de 8". Se forma una tabla (tabla 5.3) con siete columnas. En la parte superior de la tabla se anotan los datos generales del proyecto como son:

Proyecto, camino tipo, número de carriles,  $K$  en la subrasante, espesor de la sub-base y tipo de material,  $K_c$  combinado y factor de seguridad (1.2 en este caso).

Columna ( 1 ). Se colocan los valores máximos de los intervalos de carga de la tabla 5.1 (primera columna) .

Columna ( 2 ). Se incrementan los valores anteriores por el  $F_s = 1.2$ .

Columna ( 3 ). Según los valores de la carga de la columna 2 y los datos de  $K_c = 137 \text{ lbs.} / \text{Pulg.}^3$  y el espesor  $H = 8"$ , se entra a las gráficas de diseño de la fatiga de la fig. 4.7 y 4.8 (ejes sencillos y ejes en tandem) según sea el caso y se obtiene la  $F_t$  correspondiente en  $\text{lbs} / \text{Pulg.}^2$ .

Columna ( 4 ). Es la reacción de esfuerzo correspondiente,  $F_t / \text{MR}$ .

Columna ( 5 ). De acuerdo a los valores anteriores y entrando a la tabla 4.6 se obtiene el número de repeticiones admisibles.

Columna ( 6 ). Se colocan los valores correspondientes de la última colum-

DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS RIGIDOS PARA CARRETERAS.

PROYECTO Diseño 1  
 CAMINO T/PI) Interestatal, Rural No. DE CARRILES 4  
 K en subrasante 5.5 Kp/cm<sup>2</sup> (199 psi) Sub-base 10.0 cm. espesor  
 K combinado 6.4 Kp/cm<sup>2</sup> (217 psi) Factor de Seguridad por carga 1.2 F.S.C.

PROCEDIMIENTO

- 1.- Lléñense las columnas 1, 2 y 6, enlistando las cargas por eje en orden descendente.
- 2.- Supóngase un espesor tentativo. Usense incrementos de 1 cm.
- 3.- Analícese un espesor tentativo. Completando las columnas 3, 4, 5 y 7.
- 4.- Analícese otros espesores tentativo, variando el MR, espesor " tipo de sub-base.

Cargas por EJE Miles (lbs)	Cargas por EJE por -- F. S. C.	ESFUERZO $F_{\pm}$	RELACION ESFUERZOS $F_{\pm} / MR$	REPETICIONES ADMISIBLES. No.-	Número de Repeticiones esperadas No.-	RESISTENCIA A LA FATIGA USADA %
----------------------------	--------------------------------	--------------------	-----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------

ESPEJOR TENTATIVO 8" MR 647 lb/ pul<sup>2</sup> Kc 217 psi

EJES SE'CILLOS

30	36.00	365	0.56	100 000	4237	4.2
28	33.60	350	0.54	180 000	4237	2.4
26	31.20	320	0.51	400 000	3473	2.1
24	28.80	310	< 0.50	<	222 977	0

EJES EN TANDEM

54	64.80	395	0.61	24 000	4237	18.0
52	62.40	380	0.59	42 000	4237	10.0
50	60.00	370	0.57	75 000	41473	55.0
48	57.60	360	0.56	100 000	41473	41.0
46	55.20	340	0.52	300 000	65778	23.0
44	52.80	330	0.51	400 000	205585	51.0
42	50.40	320	< 0.50	<	234126	0

Tabla 5.3

Total = 205.7 %

DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS RIGIDOS PARA CARRETERAS.

PROYECTO Diseño 2  
 CAMINO TIPO Interestatal, Rural No. DE CARRILES 4  
 K en subrasante 5.5 kg/cm<sup>2</sup> (199 psi) Sub-base 10.0 cm espesor  
 K combinado 6 kg/cm<sup>2</sup> (217 psi) Factor de Seguridad por carga 1.2 F.S.C.

PROCEDIMIENTO

- 1.- Lléñense las columnas 1, 2 y 6, enlistando las cargas por eje en orden descendente.
- 2.- Supóngase un espesor tentativo. Usense incrementos de 1 cm.
- 3.- Analícese el espesor tentativo. Completando las columnas 3, 4, 5 y 7.
- 4.- Analícese otros espesores tentativo, variando el MR, espesor y tipo de sub-base.

Cargas por EJE Miles (lbs)	Cargas por EJE por -- F. S. C.	ESFUERZO $F_{\pm}$	RELACION ESFUERZOS $F_{\pm} / MR$	REPETICIONES ADAM/SIBLES. No.-	Número de Repeticiones esperadas. No.-	RESISTENCIA A LA FATIGA USADA %
----------------------------	--------------------------------	--------------------	-----------------------------------	--------------------------------	--	---------------------------------

ESPESOR TENTATIVO 9" MR 647  $\frac{lb}{in^2}$  Kc 217 psi

EJES SENCILLOS

30	36.00	310	<0.50	$\alpha$	4237	0
28	33.60	295	<0.50	$\alpha$	4237	0
26	31.20	225	r	r	8473	0

EJES EN TANDEM

54	64.80	340	0.53	240000	4237	2.0
52	62.40	330	0.51	400000	4237	1.0
50	60.00	315	<0.50	$\alpha$	41473	0

Tabla 5.4

Total = 3%

DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS RIGIDOS PARA CARRETERAS.

PROYECTO Diseño 3

CARRETERO TIPO Interes Total Rural No. DE CARRILES 4

K en subrasante 5.5 kg/cm<sup>2</sup> (199 psi) Sub-base 10.0 cm espesor

K combinado 6 kg/cm<sup>2</sup> (217 psi) Factor de Seguridad por carga 1.2 F.S.C.

PROCEDIMIENTO

- 1.- Lléñense las columnas 1, 2 y 6, enlistando las cargas por eje en orden descendente.
- 2.- Supóngase un espesor tentativo. Usense incrementos de 1 cm.
- 3.- Analícese el espesor tentativo. Completando las columnas 3, 4, 5 y 7.
- 4.- Analícese otros espesores tentativo, variando el MR, espesor y tipo de sub-base.

Cargas por EJE Miles (lbs)	Cargas por EJE por -- F. S. C.	ESFUERZO $f_x$	RELACION ESFUERZOS $f_x / MR$	REPETICIONES ADMISIBLES. No.-	Número de Repeticiones esperadas. No.-	RESISTENCIA A LA FATIGA USADA %
----------------------------	--------------------------------	----------------	-------------------------------	-------------------------------	--	---------------------------------

ESPEJOR TENTATIVO 8.5" MR 647  $\frac{lb}{in^2}$  Kc 217 psi

EJES SENCILLOS

30	36.00	333	0.51	400000	4237	1.0
28	33.60	310	< 0.50	2	4237	0
EJES EN TANDEM						
54	64.80	350	0.54	180000	4237	2.4
52	62.40	345	0.53	240000	4237	2.0
50	60.00	340	0.53	240000	41437	17.3
48	57.60	330	0.51	400000	41437	10.4
46	55.20	310	< 0.50	2	65778	0

Total = 33.1 %

Tabla 5.5

na de la tabla 5.2.

Columna 7 .- El resultado de la operación  $\frac{\text{Columna 6}}{\text{Columna 5}} \times 100$ , que representa la fatiga individual ( $F_i$ ) con que constituye cada nivel de carga ( en % ).

La suma de todos los valores ( $F_i$ ) de la columna 7 deberán cumplir con:

$$F_t = \sum F_i \leq 125\%$$

Si esta suma de los  $F_i$  es mayor que lo especificado, se realiza un nuevo tanteo con un incremento de 1 ". Si la suma de los  $F_i$  es menor que 125% se disminuye el espesor para realizar otro nuevo tanteo. Es recomendable que los espesores tentativos sean de números cerrados para facilitar el proceso de construcción.

Para el desarrollo de las tablas, es recomendable realizarlas por renglón. En el momento en que la relación de esfuerzos ( $F_t = \text{columna 4}$ ) sea inferior o igual a 0.50 el valor de la columna 5 será  $\infty$  y por consiguiente  $F_i = 0$ . A partir de este renglón todos los  $F_i$  serán igual a 0. Cuando el espesor es muy deficiente, se pueden ir acumulando los valores de  $F_i$  y si en algún renglón antes de terminar con los datos de tránsito, este valor es mayor que 125%, no tiene objeto continuar con las operaciones.

## EJEMPLO POR EL METODO ACI MXCYC

Para el diseño de un pavimento rígido para una calle residencial, el estudio del tránsito es de poca importancia y no es costeable realizar un estudio sobre éste.

Los datos para el diseño del pavimento son:

Calle residencial que se pavimentará con concreto (con grava caliza) para una carga de 4,500 kgs., a los 28 días presenta un módulo de ruptura de 45 Kg/Cm<sup>2</sup> y una resistencia a la compresión de 350 Kgs / Cm<sup>2</sup>.

La losa de concreto se apoyará en una subrasante de VRS = 25% y en una sub-base granular de 10 cms. de espesor. Para un mejor comportamiento del pavimento se van a colocar dispositivos de transmisión de carga en las juntas.

a).- Arreglo de datos:

$$P = 4500 \times 1.2 = 5400 \text{ Kgs.}$$

$$K = 7.5 \text{ Kg / Cm}^3 \text{ (valor sacado de la fig. 4.5 )}$$

$$K_c = 8.1 \text{ Kg / Cm}^3 \text{ (valor sacado de la tabla 4.3 )}$$

utilizando el módulo Elasticidad del ACI para grava caliza.

$$E = 126000 + 500 F'_c = 126000 + 500 (350) = 301000 \text{ Kgs / Cm}^2.$$

B).- Aplicación de las tablas del ACI (tabla 3a )

$$MR = 45 \text{ Kgs / Cm}^2 \quad E = 301000 \text{ Kg / cm}^2 \quad K_c = 8.1 \text{ Kg / Cm}^3$$

$$P = 5400 \text{ Kgs.}$$

$$\begin{array}{l}
 P=5000 \left[ \begin{array}{l} K_1 = 8.0 \left[ \begin{array}{l} E_2 = h_2 = 17.5 \\ E_3 = h_3 = 18.1 \end{array} \right] = 17.8 \\ K_2 = 9.0 \left[ \begin{array}{l} E_2 = h_2 = 17.1 \\ E_3 = h_3 = 17.8 \end{array} \right] = 18.5 \end{array} \right] = 18.15 \\
 \\
 P=5500 \left[ \begin{array}{l} K_1 = 8.0 \left[ \begin{array}{l} E_2 = h_2 = 18.5 \\ E_3 = h_3 = 18.8 \end{array} \right] = 18.7 \\ K_2 = 9.0 \left[ \begin{array}{l} E_2 = h_2 = 18.1 \\ E_3 = h_3 = 18.8 \end{array} \right] = 18.5 \end{array} \right] = 18.6
 \end{array}
 \right.
 \end{array}
 \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} P=5000 \\ P=5500 \end{array}} \right] h = 18.4 \text{ cms.}$$

Los valores  $E$ ,  $K_c$  y  $P$  como son intermedios, se realiza la interpolación.

El espesor se redonda a  $h = 19$  cms.

c).- Revisión.

Como el diseño fue con dispositivos para transmisión de carga, la fórmula de revisión es:

$$F_t = \frac{3.36 P}{h^2} \left[ 1 - \frac{\sqrt{a/l}}{0.925 + 0.22 a/l} \right]$$

$$a = 13.18 P^{0.3} = 13.18 (5.4)^{0.3} = 21.86 \text{ cms.}$$

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)K}} = \sqrt[4]{\frac{301000 (19)^3}{12(1-0.15^2) 7.5}} = 69.60 \text{ cms.}$$

$$a/l = \frac{21.86}{69.60} = 0.31$$

$$\sqrt{a/l} = \sqrt{0.31} = 0.56$$

Substituyendo en la ecuación general

$$F_t = \frac{3.36 (5400)}{19^2} \left[ 1 - \frac{0.56}{0.925 + 0.22 (0.31)} \right]$$

$$F_t = 50.26 \times (0.44)$$

$$F_t = 22.1144 \text{ Kgs / Cm}^2.$$

$$MR = 45 \text{ Kgs. / Cm}^2.$$

$$F_s = \frac{MR}{F_t} = \frac{45}{22.1144} = 2.$$

Cálculo de la varilla de liga.

Para el cálculo del diámetro, longitud y espaciado de las varillas de liga se calcula de la siguiente manera:

a).- El área de acero requerida por metro de longitud de la junta lo calculamos mediante la fórmula siguiente:

$$A_s = \frac{l F W h}{F_y}$$



Donde:

$A_s$  = área de acero requerida por metro de longitud de la junta ( $\text{Cm}^2$ ).

$L$  = Distancia entre la junta de que se trate y la junta libre u orilla más próxima (m).

$F$  = Coeficiente de fricción entre el pavimento de la subrasante, generalmente se usa  $F = 1.5$ .

$W$  = Peso por metro cúbico de concreto (2,400 Kgs. /  $\text{M}^3$ ).

$h$  = Espesor promedio de la losa (cms).

$F_y$  = Esfuerzo permisible de trabajo del acero ( $\text{Kg} / \text{Cm}^2$ ).

Substituyendo los valores:

$$A_s = \frac{3.70 \times 1.5 \times 2,400 \times 0.19}{1758} = 1.44 \text{ Cm}^2 \text{ por metro de longitud.}$$

$$\text{Espaciamiento} = \frac{a_s \times 100}{A_s}$$

Utilizando varilla de  $3/8''$  donde  $a_s = 0.71$

$$\text{Espaciamiento} = \frac{0.71 \times 100}{1.44} = 49.30 \text{ cms.}$$

Se especifica un espaciamento máximo de 75 cms., por lo tanto:

$$49.30 \text{ cms} < 75 \text{ cms.} \quad \text{nuestro acero pasa}$$

Para determinar la longitud de la varilla se utiliza la fórmula:

$$L = \frac{2 F_y a_s}{25 P}$$

Donde:

$L$  = Longitud de la varilla en cms.

$F_y$  = Esfuerzo permisible del acero ( $\text{Kg}/\text{Cm}^2$ )

$a_s$  = Área transversal de una varilla ( $\text{cms}^2$ .)

$P$  = Perímetro de la varilla (cms).

Substituyendo los valores:

$$L = \frac{2 \times 1758 \times 0.71}{25 \times 2.98} = 33.5 \text{ cms} + 5 = 38 \text{ (que es la mínima longitud de las varillas.)}$$

#### V.4- Diseño y tipo de juntas

Los factores que producen las contracciones que sufre el concreto son de-

bidos al calor que genera éste al hidratarse el cemento llevando generalmente de más a menos la temperatura del concreto.

Como la losa de concreto se encuentra apoyada sobre un material de superficie irregular, ésta ofrece una trabazón para los cambios volumétricos de contracción. Los extremos de la losa tratan de moverse hacia el centro de la misma, pero el apoyo restringe este movimiento por medio de una fuerza externa de fricción, generando una fuerza interna de tensión en la losa que dividida entre el área transversal de ésta, se obtiene un esfuerzo de tensión. Como los acontecimientos de la losa son graduales, el valor de este esfuerzo aumenta de modo similar en el momento que éste rebasa a la resistencia a la tensión del concreto en un punto dado, se rompe la losa en ese punto apareciendo grietas más o menos perpendiculares y paralelas al eje largo de la losa (fig. 5.2).

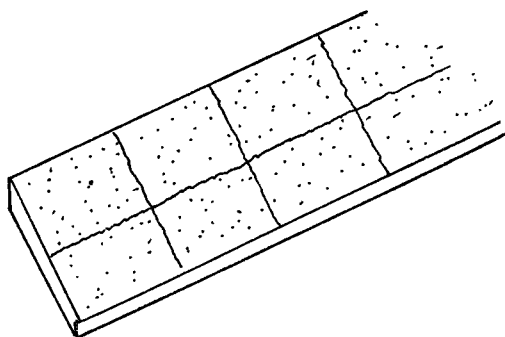


Fig. 5.2 Patrón de agrietamiento de un pavimento sin juntas, como resultado de los esfuerzos causados por el ambiente y las cargas.

El agrietamiento por sí solo crea discontinuidad en el pavimento, debilitándolo en la zona de grietas. Por estas grietas pasará agua que irá erosionando el material de apoyo y en caso de que el apoyo sea de suelo expansivo, lo va a activar restándole uniformidad de apoyo y provocando en un futuro cercano las fallas estructurales. También por las grietas formadas podrían pasar material incompresible bloqueando los movimientos de expansión de la losa, despostillándola y restándole capacidad de carga y durabilidad.

Unas soluciones a esto sería:

a).- Para la discontinuidad.

Frente a las cargas, hacer trabajar en conjunto las losas adyacentes por algún medio (pasajuntas, llaves, etc.) que permitan el movimiento libre de las grietas que separan a dichas losas.

b).- Para la penetración.

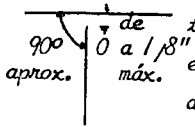
Para evitar el paso del agua y el material incompresible, se sella la junta, grieta. Pero el material de sellado debe de ser compresible y lo suficientemente impermeable para facilitar los movimientos de la losa.

El concepto de junta se origina en la necesidad de predeterminar de manera conveniente, los puntos donde deberán aparecer las grietas y que éstas tengan en la superficie una geometría regular, para que presenten un canal apropiado para alojar el material de sello con una apariencia agradable.

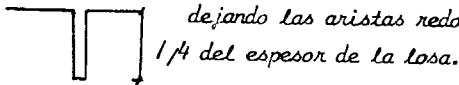
El área transversal de la losa, se debilita con ranuras a distancias debidamente calculadas, las grietas aparecerán eventualmente debajo de la ranura.

Son tres tipos de ranuras, según el método de construcción:

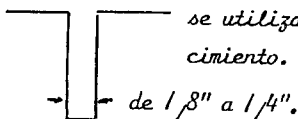
a).- Insertada: - Se deja ahogada una placa de acero, madera, plástico, etc., dentro del concreto fresco, extrayéndose después a una determinada edad del concreto. Las placas de hule o plásticas pueden quedar ahogadas permanentemente.



b).- Ranuradas: - En el concreto fresco se hace una ranura con un equipo rayador, dejando las aristas redondas.



c).- Cortadas o aserradas: - Se hacen por medio de sierras con disco de diamante, se utiliza cuando el concreto tiene un cierto grado de endurecimiento.



Las profundidades de estas ranuras son:

Para la ranurada y la insertada debe ser no menor de  $1/5$  de espesor de la losa y para la aserrada de una profundidad de  $1/4$  del espesor de la losa. El ancho de la ranura va de  $1/8''$  a  $1/4''$ . Para la insertada el ancho puede ir hasta  $3/8''$ .

### Diseño del Refuerzo de las juntas.

Para determinar el acero de refuerzo de las juntas para carreteras, se cuenta actualmente con gráficas de diseño para las pasajuntas y para las barras de sujeción.

a).- Ejemplo para pasajuntas.- Se requiere conocer el espesor de la losa, la geometría de la varilla lisa y el valor del módulo de reacción combinado ( $K_c$ ) para determinar por medio de la gráfica (Fig. 5.3) el espaciamiento, centro a centro de las pasajuntas. Considérese una losa de 21 cms., con módulo de  $7.3 \text{ Kg./cm}^3$ , ¿Qué características geométricas son convenientes para la pasa-junta? y ¿Cuál es su espaciamiento?

Solución:

En la escala vertical izquierda localizamos el valor del espesor de la losa (21 cms.), horizontalmente se busca el módulo de reacción ( $K_c=7.3 \text{ Kg./cm}^3$ ), del punto localizado se escoge verticalmente las características mas convenientes (en este caso  $3/4'' \times 37.5 \text{ cms}$  a cada 28 cms.), de la intersección correspondiente a su curva se localiza horizontalmente el espaciamiento.

Resultado.- Pasajunta de  $3/4'' \times 37.5 \text{ cms.}$ , a cada 28 cms.

b).- Ejemplo para barra de sujeción.- Para su determinación es necesario conocer el espesor y ancho de la losa. Con estos datos pasamos a la gráfica (Fig. 5.4), se escoge las características de la barra mas conveniente para determinar su espaciamiento, que no debe ser mayor de 75 cms.

Datos de diseño:

Espesor de la losa = 19 cms.

Ancho de la losa = 3.7 mts.

Resultado de la gráfica =  $3/8'' \times 38 \text{ cms}$  a cada 48 cms.

FIG.3 DISEÑO DE PASAJUNTAS LISAS EN CARRETERAS  
 E ESPESOR DEL PAVIMENTO EN CM.

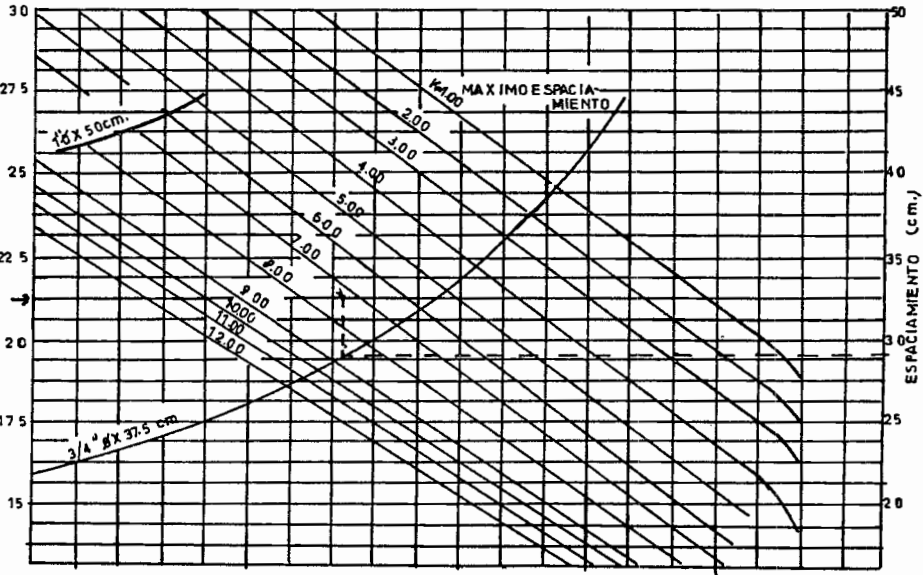
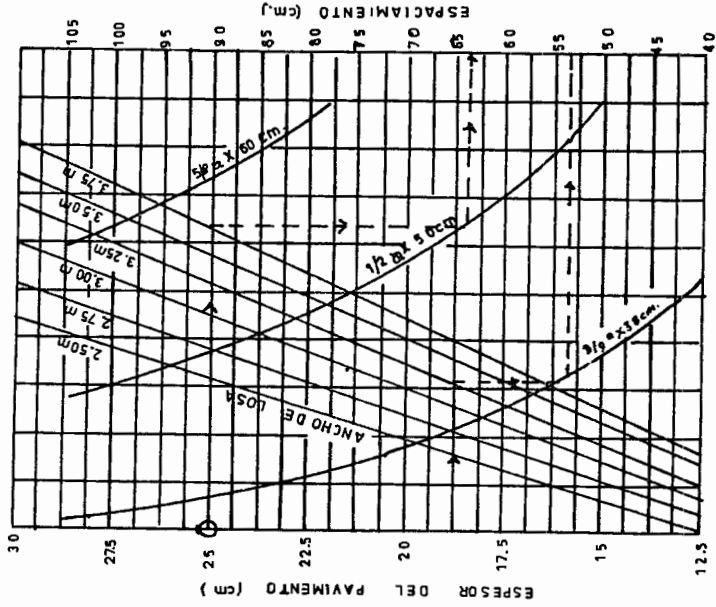


FIG.5.4 DISEÑO DE PASAJUNTAS CORRUGADAS  
 EN CARRETERAS  
 (BARRAS DE SUJECCION)



### Tipos de juntas.

Hay otro tipo de juntas que cumplen diferentes funciones a las ya antes mencionadas. Este tipo de juntas son las siguientes:

1.- Juntas Longitudinales.- Este tipo de juntas (Fig. 5.5) son empleadas para controlar las grietas longitudinales de contracción. También es aprovechada para definir el ancho de un carril. Estas juntas longitudinales generalmente llevan barras de sujeción, colocadas a la mitad del espesor de la losa para prevenir deslizamientos laterales de la losa. Si el diseño de la losa son con dispositivos para transmisión de carga, estas juntas se diseñan para esta función de la siguiente manera:

- a).- Aprovechando la trabazón de la grieta longitudinal, cuando la junta se construyó con ranura y barra de sujeción.
- b).- Por medio de una llave de concreto en la losa preparada en los colados por franja con cimbras especiales, acompañadas de barra de sujeción para mayor eficiencia en la transmisión de cargas (Fig. 5.11 Tipo B).
- c.- Utilizando cualquiera de los dos métodos pero sin barras de sujeción para las juntas internas. Con la salvedad de que en el método (a), se evitará una abertura mayor de 1 mm. en las grietas.

2.- Juntas transversales de contracción.- Con el correr de los años y la experiencia acumulada en la construcción de pavimentos rígidos, se ha demostrado que este tipo de juntas es de mucha importancia. El refuerzo además de reducir los espesores de un 20 a 25 %, aumenta la vida útil del pavimento y el espaciamiento entre estas juntas. La función de estas juntas es limitar los esfuerzos de tensión a valores permisibles (Fig. 5.6 y 5.7).

Existen tres tipos de juntas de contracción, a saber: Juntas de Ranura, Juntas de tiras metálicas y Juntas a tope.

El refuerzo de estas juntas transversales de contracción se hace por medio de las pasajuntas o varillas de acero, lisas y engrasadas para evitar la adherencia con el concreto, protegerla contra la corrosión y transmitir por contacto las

cargas de una losa a la adyacente. Este refuerzo se coloca a la mitad del espesor (fig. 5.11 tipo D).

3.- Juntas Transversales de construcción.- Su función es de definir los colados de la franja del concreto transversalmente. Estas juntas se dividen en dos tipos:

a).- Planeadas.- Cuando es interrumpido el colado por necesidad en un punto donde coincide una junta transversal de contracción y a todo lo ancho del pavimento (fig. 5.9). La junta es a tope, formando la cara vertical con una cimbra plana y dejando ahogada la mitad de la longitud de la pasajunta. Cuando se requiere este refuerzo a la mitad del espesor de la losa (fig. 5.11 Tipo F). Con un ranurador se prepara la mitad del canal superior para alojar el sello.

b).- Emergente.- Cuando es necesario interrumpir en un punto no planeado el colado de la losa, es decir, donde no coincide una junta de contracción (fig. 5.9) Para evitar su agrietamiento por acompañamiento, se sujeta el movimiento extremo de la losa con barras de sujeción combinadas con llaves que forman las cimbras en la losa para transmitir correctamente las cargas.

4.- Juntas transversales de expansión.- Se supone que en este tipo de juntas es para controlar las dilataciones de la losa de concreto, pero tanto en el concreto simple como en el reforzado, los cambios volumétricos dominantes son por contracción. Según la PCA, estas juntas se deben colocar para unir al pavimento con una estructura (Puente, alcantarilla, etc..) (Fig. 5.10), para hacer compatibles los movimientos tanto en el plano horizontal como en el vertical, sin producir esfuerzos extraños en el pavimento y con el fin de dar una superficie continua al paso de los vehículos. Las juntas de construcción coinciden con la de expansión, con la diferencia de que se les da una mayor separación entre las caras de la losa, colocando entre ellas un material de relleno compresible (fibras) de esta forma se permite aserrar abrir y girar a la junta.

Cuando la junta de expansión por alguna causa no lleva pasajuntas y el diseño lo requiere, se puede compensar la falta del refuerzo aumentando el espesor de la losa (fig. 5.11 Tipo E).

### JUNTAS LONGITUDINALES

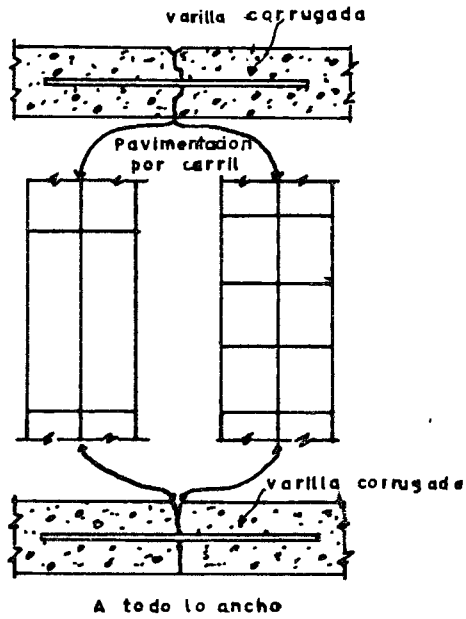


Fig.5.5 - Juntas longitudinales

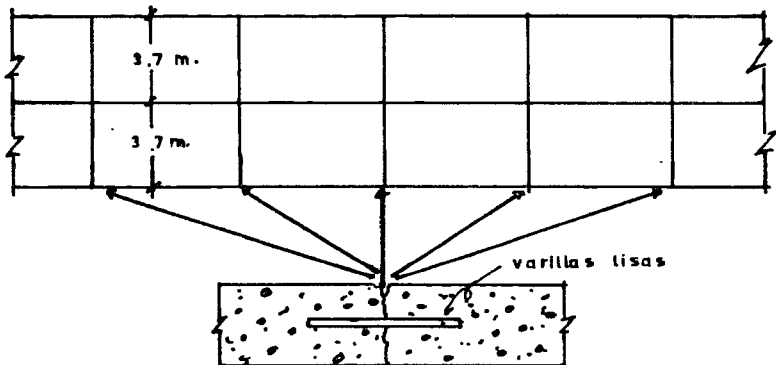


Fig. 5.8 Pavimento de concreto simple con refuerzo en las juntas



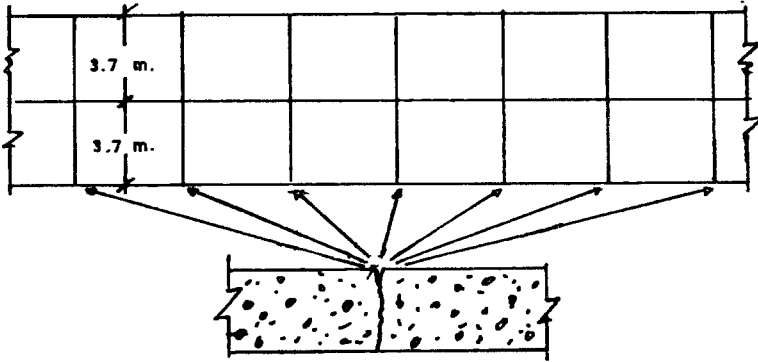


Fig.5-7 - Pavimento de concreto simple juntas de contracción sin refuerzo

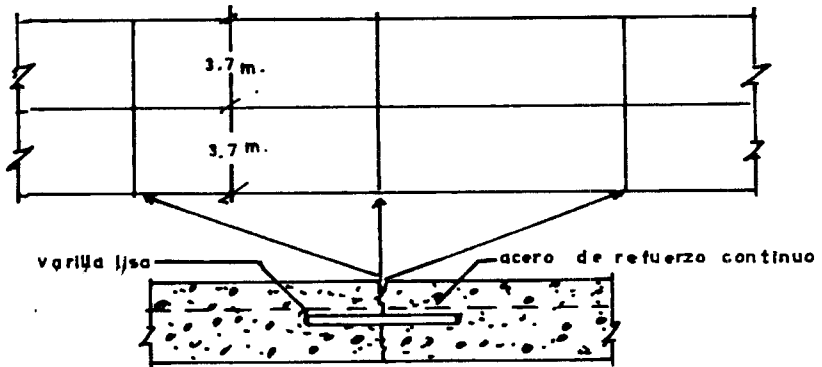


Fig 5 8 Juntas transversales pavimentos con refuerzo continuo

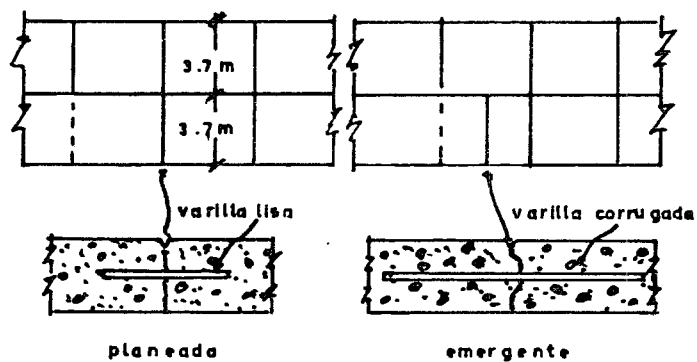


Fig. 5.9 Juntas de construcción con pavimentación por carril

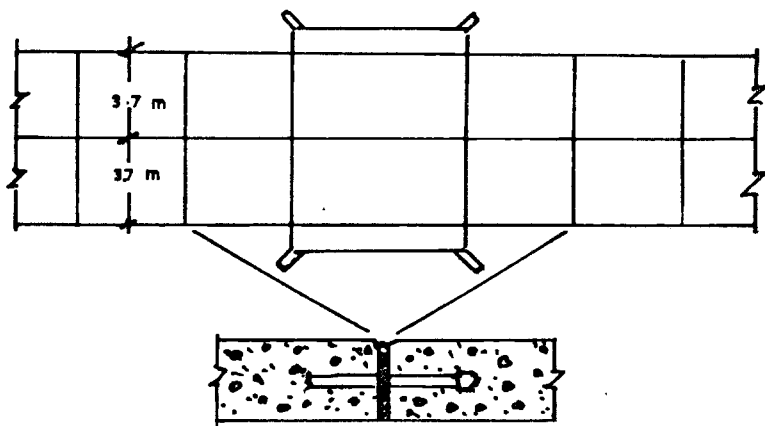
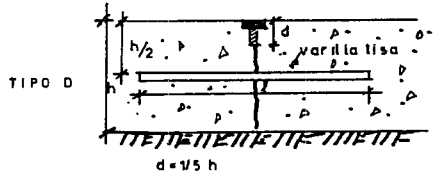
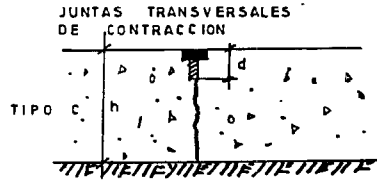
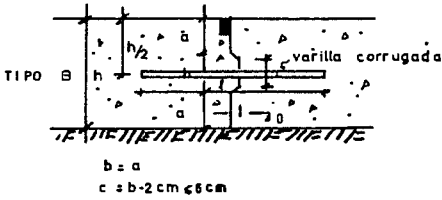
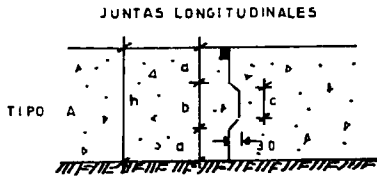


Fig. 5.10 Juntas de expansión

TESIS PROFESIONAL

D.R.U.

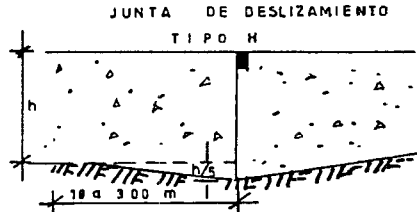
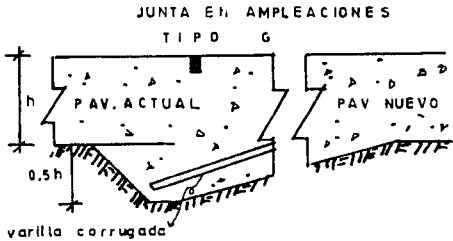
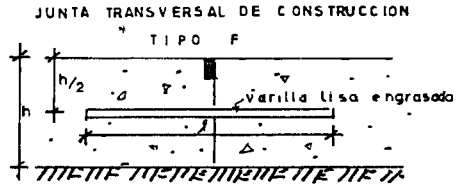
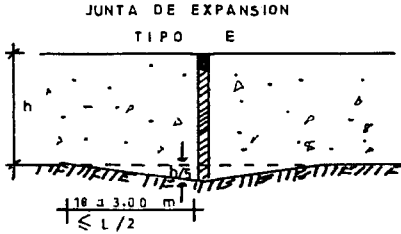
FIG 5-11 JUNTAS TÍPICAS EN PAVIMENTO RÍGIDO



■ Sello de material elástico

▨ Sello de material elástico

▧ Fibra impregnada de asfalto



$L =$  LONGITUD MINIMA DE LA LOSA

5.- Juntas transversales en ampliaciones.- En la pavimentación de fraccionamientos residenciales, es muy común que sufran ampliaciones interrumpiendo el colado, quedando el extremo del pavimento desprotegido y sujeto a disturbios por la humedad, por la erosión al paso de los vehículos y con una fatiga mayor en esta zona de la losa, que en el resto del pavimento. Para evitar ésto se recomienda construir una junta como se muestra en la Fig. 5.11 Tipo G. El colado debajo del pavimento actual es, para aumentar la capacidad de carga del apoyo debilitado y la capacidad de la losa por no contar con pasajuntas y para evitar una grieta abajo de la junta a tope, se coloca una barra de sujeción que hará que la nueva losa trabaje íntegramente en la junta y garantice un buen funcionamiento.

6.- Juntas de deslizamiento.- Juntas colocadas en la unión de dos pavimentos para permitir movimientos laterales (Fig. 5.11 Tipo H). Como no es posible poner refuerzo alguno, se engrosa el espesor.

7.- Juntas articuladas.- Este tipo de juntas pueden ser transversales o longitudinales donde se desea o se requiere tomar libremente los giros por alabeo de las losas. Se forman con barras de sujeción, con llaves o con ranura y transmisión de carga por trabazón en las cargas irregulares de las grietas. Por esta descripción la mayoría de las juntas longitudinales son juntas articuladas.

#### V.5- Distancia entre juntas.

Hemos hablado de que el agrietamiento de la losa de concreto es debido a las contracciones de esta y a la fricción del apoyo, también entran otros factores como el clima, las temperaturas del colado, condiciones de curado, gradientes de humedad y temperaturas que provocan el alabeo de la losa. Debido a esta complejidad de fenómenos, no se ha podido determinar una ecuación matemática que nos permita predeterminar el lugar exacto donde aparecerán las grietas, y por lo tanto, dónde deberá haber juntas. Sólo la experiencia de muchos años en la construcción de pavimentos rígidos y las recomendaciones dadas, se aprovechan para la localización de las juntas.

Las distancias recomendadas para las juntas de los pavimentos rígidos son:

1.- Distancia entre las juntas transversales.- Para pavimentos de concreto sim-

ple con refuerzo en las juntas, las distancias van desde 4.5 hasta 7.5 mts., siendo la más común de 6.0 mts. Para pavimentos de concreto con refuerzo continuo las distancias están entre 12 y 30 mts.

2.- Distancia entre las juntas longitudinales.- Lo más práctico es, que esta distancia lo determine el ancho del carril. En carreteras es muy común 3.7 mts. y en las aeropistas no mayor de 7.5 mts.

3.- Relación óptima de largo / ancho.- Relación aplicada a aeropistas, estacionamientos o proyectos similares. La geometría de la losa mas eficiente es la cuadrada, pero se puede aceptar una relación de lados hasta de 1.25 para espesores grandes y hasta 1.15 para las losas delgadas.

#### V.6- Sellado de Juntas.

El sellado de las juntas se realiza lo más pronto posible. Antes de poner el material sellador, la junta debe estar perfectamente limpia, libre de materiales incompresibles y sin polvo para que el sello tenga mejor adherencia.

Se emplean dos tipos de material sellador:

a).- Moldeado en el campo.- Los materiales de sello se colocan en un recipiente en estado líquido o semilíquido y toman la forma de la ranura, después por algún medio se solidifican adheriéndose a las paredes del recipiente. Los sellos termoplásticos como el asfalto, endurecen al perder calor inicial que los mantuvo en estado líquido o semi-líquido. Los sellos de fraguado térmico y curado químico, como el alquitrán de hulla con polisulfuros o poliuretanos, que con ciertos catalizadores y el calor inicial dentro del material, lo endurecen auxiliados posteriormente por la humedad ambiental.

b).- Preformado.- El sello se moldea previamente para que su instalación sea en un mínimo de tiempo. Estos selladores se pueden colocar a presión y adherirse con alguna resina o pueden insertarse a quedar ahogadas en el concreto fresco para formar las juntas. Son placas o tubos laminados de hule o neopreno y bandas o placas de plástico, fibras, etc...

Recomendaciones para el buen funcionamiento del sello.

El sello superior quedará colocado a  $1/4''$  por abajo del nivel de la superficie (evita el contacto del sello con las llantas de los vehículos). Para los sellos premoldeados o preformados y para los termoplásticos o de fraguado térmico, se colocará un eliminador de adherencia, colocado en el fondo de éstos, para evitar deformación y aumentar su durabilidad. Para los sellos líquidos o semi-líquidos se colocarán en un espesor no menor de  $1/2''$ .

El eliminador de adherencia, es de material compresible (fibras) evita la adherencia del sello en el fondo y se puede extender adherido al sello, cuando se deforme a la tensión.

#### V.7- Cimbras.

En la actualidad se cuenta con dos tipos de cimbras:

a).- Cimbras fijas.- La cimbra a utilizar deberá soportar las cargas impuestas por el equipo de construcción (no deberá deformarse más de 6 mm., cuando se prueben como vigas con claro de 3 mts., con carga igual al peso de la máquina de acabado), sus dimensiones a considerar son: de 6.4 mm. y 8.0 mm. de espesor, su peralte mínimo es igual al espesor de la losa de concreto y un ancho igual a 0.75 cms. del peralte pero no menor de 20 cms. Contará con un sistema adecuado de sujeción que les permita permanecer en su sitio una vez colocados y soportar todos los esfuerzos que actuarán sobre ésta. Los puntales de los patines deberán sobresalir un mínimo de  $2/3$  de la altura de la cimbra. No se recomienda cimbrar con piezas más pequeñas para obras de pavimentación con un área mayor de 1,700 M<sup>2</sup>. Si se emplean cimbras reconstruidas, el incremento en el peralte no debe ser mayor de 25% del peralte de la cimbra original. Cuando se revise el alineamiento de la cimbra, no deberá variar más de 3 mm., en 3 mts del plano real de la parte superior, ni más de 6 mm en 3 mts. a lo largo de su plano lateral. Se recomienda cimbra flexible y curvadas cuando se cuente con curvas de un radio del 30 mts. o menor.

Antes de colocar la cimbra el terreno de apoyo se compactará y nivelará adecuadamente, para tener una elevación de la cimbra uniformemente. Es preferible que la nivelación se dé cortando. El terreno de apoyo que esté bajo el nivel establecido deberá rellenarse en capas de 13 mm. ó menos hasta 45 cms., de cada lado de la cimbra y compactarse de acuerdo a las especificaciones de la obra. Cuando se

encuentre colocada y verificada la cimbra, la capa subrasante o sub-base se compactará a mano o mecánicamente en ambos lados de las bases de la cimbra. La cimbra se rá fijada con tres estacas por cada tramo de 3 mts. Deberán de estar limpias y engrasadas antes de colar el concreto.

Una vez colocado el concreto, la cimbra permanecerá por lo menos 8 horas. Si hay una temperatura ambiental de 10°C. dentro del límite de tiempo dado, la cimbra permanecerá en su sitio el tiempo necesario para garantizar que los bordes del pavimento no sean dañados.

b).- Cimbras deslizantes.- En tiempos modernos como el actual y la rapidez de producción, se cuenta actualmente con una máquina de tendido, colocación, compactación, enrase y flotación, a todo lo ancho del pavimento con cimbra deslizante e insertadora de barras de sujeción y bandas plásticas para formar las ranuras de las juntas longitudinales y además equipo de nivelación electrónico, todo ésto dentro de una sola unidad.

Estas máquinas de cimbras deslizantes pavimentan más de 3 Kms., diarios con ancho de 7.35 mts. y un volumen de concreto de 6,000 M<sup>3</sup> aproximadamente.

#### V.8- Losa de Concreto.

Existen diversos sistemas de construcción de losas de concreto con equipo de los más modestos hasta los altamente especializados. Por esta razón es de mucha importancia el control del concreto y de todas las operaciones de construcción, para obtener pavimentos de buena calidad tanto en su producto como en su comportamiento futuro.

La idea de este sub-capítulo es de informar los procedimientos generales de fabricación de concreto para pavimentos de la calidad potencial de ésto depende la calidad final de la obra. El concreto ideal de fabricación es el que soporta el clima, ataque de sulfatos, etc... y que además, sea lo más económico posible.

Establecidas las características del concreto, se selecciona el sistema de fabricación. Tres son los sistemas de fabricación: Planta Fija, Planta Central Portátil y Equipo Móvil.

Para los dos primeros sistemas de fabricación requiere de transportación de la planta a la obra, esto depende de la distancia:

- a).- Para acarreo corto y acceso libre se transporta en camión de volteo.
- b).- Para acarreo mediano y acceso libre se transporta en camión de volteo con protección para la pérdida de humedad.
- c).- Para acarreo largo se transporta en camiones especiales (ollas) que mantienen al concreto en movimiento.

Antes de colocar el concreto se deberá supervisar la preparación de la sección correspondiente de acuerdo al contrato (ACI 617). La colocación puede ser de varias formas:

- a).- Vaciando el concreto en montones y distribuyéndolo con un traspaleo.
- b).- Con distribuidoras especiales.
- c).- Con montones y distribuidores con un tornillo sinfín.
- d).- Con bandas o palas mecánicas.

Se deberá tener cuidado que el concreto no se segregue durante su colocación.

#### V.9- Curado del concreto.

Como las losas de concreto en una pavimentación poseen una elevada relación del área superficial expuesta al volumen del concreto y sin un curado inicial apropiado, la pérdida de humedad debida a la evaporación puede ser tan rápida y excesiva que puede originar agrietamientos por contracción plástica y, además, tener un efecto negativo sobre la resistencia, la resistencia a la abrasión y la durabilidad del concreto. También existirá pérdida de humedad en el concreto fresco si se humedece inadecuadamente el suelo de apoyo de la losa. Por lo tanto, para que no haya pérdida de la humedad, deberá humedecerse el terreno de antemano o sellarse por medio de una barrera contra vapores.

#### Duración del curado.

El ACI 308 "Curado del Concreto" recomienda un período de curado de siete días a temperaturas superiores a 40° C., pero establece periodos más cortos si antes se obtiene en el concreto el 70% ó más de la resistencia a la flexión especificada.



La temperatura ideal para que el concreto desarrolle satisfactoriamente todas las características de diseño son de 20° C. a 30° C., durante los primeros días (difícil de obtener este curado óptimo ).

#### Procedimiento de curado.

Una vez terminadas todas las operaciones finales y tan pronto como el concreto no se dañe, toda la superficie del concreto recién colado deberá tratarse de acuerdo a un método, o a una combinación de los métodos de curado siguientes:

- a).- Por aspersión.- Este método consiste en proteger la superficie del concreto con telas de mantas de estopa, algodón o yute, con arena, con arena y aserrín o con paja o heno, acompañada de una aspersión de agua a intervalos regulares para mantener una humedad constante en la superficie del concreto cuando menos durante los primeros siete días. Este método es recomendable para obras pequeñas donde el concreto está sujeto a temperaturas bajas durante los primeros siete días.
- b).- Con membranas.- Inmediatamente después de los acabados superficiales, se aplica una membrana en cantidades no menores de 0.27 lts. x M<sup>2</sup> para impermeabilizarla. El agua dentro de la mezcla, es suficiente para hidratar al cemento de manera adecuada. Se evita pérdida de vapor o de secamiento. Se recomiendan membranas de color claro con el fin de reflejar los rayos del sol y así evitar ampollamientos, además es fácil de controlar la uniformidad de su aplicación. Este método se usa por la rapidez de aplicación y por los pocos cuidados posteriores a su colocación.

#### V.10- Acabados de la superficie de la losa.-

Una vez compactado el concreto se enrasa, tomando como guía la nivelación de la cimbra. Al enrasar, se provoca intencionalmente la "flotación" de una cierta cantidad de mortero de la propia mezcla, para contar con suficiente material para el acabado superficial e integral de la losa.

Las prácticas de aplicación de materiales extraños al concreto compactado (más agua y más cemento) producen una superficie de mala calidad, susceptible a un desgaste prematuro. Los acabados se pueden realizar con:

- a).- Rodillos o reglas vibratorias.-

b).- Bandas o Llanas.

Para que la superficie del concreto sea resistente al deslizamiento de los vehículos, se le dará un acabado rugoso una vez endurecido éste, con:

- a).- Escobilladas.
- b).- Arrastrando costales o materiales similares.
- c).- Con algún equipo especial.

Es recomendable que el acabado rugoso se le proporcione a la superficie cuando ésta ha perdido el brillo normal que le dejan las operaciones de flotación y enrase.

*CAPITULO VII*

*COMPACTACION DEL CONCRETO  
EN LOS PAVIMENTOS.*

## CAPITULO VI

### COMPACTACION DEL CONCRETO EN LOS PAVI- MENTOS.

Se entiende por compactación al acomodo del concreto por medio de cierta energía, de tal manera que se obtenga el máximo peso volumétrico, extrayendo la mayor cantidad de aire de la masa. La compactación está íntimamente relacionada con la trabajabilidad de la mezcla y de esta propiedad depende el tipo de equipo y energía que se emplee.

Para un colado y terminado de un pavimento en una carretera donde se emplea concreto a razón de 400 m<sup>3</sup> por hora o más, se usa equipo completamente automecánico capaz de operar con concreto de revenimiento relativamente bajo (2,5 a 5 cm).

Donde se use concreto a razón de 70 m<sup>3</sup> al día, como en pequeñas unidades residenciales, en esto puede utilizarse una considerable mano de obra y revenimientos dentro del límite de 5 a 10 cms.

#### VI.1- Requisitos para la revoltura.

El éxito obtenido en la construcción de pavimentos, por el equipo mecánico para el vibrado y el acabado, requiere que la revoltura del concreto tenga la adecuada manejabilidad para el colado y el acabado. Sin embargo, el revenimiento no deberá exceder de 5 cms. para reducir a un mínimo la segregación y pérdida del aire atrapado cerca de la superficie del concreto (y mantener la más alta calidad del concreto).

Es importante que el concreto recibido sea uniforme. Variaciones en la revoltura pueden dar como resultado una segregación o consolidación inadecuadas, lo que origina que el pavimento tenga mala calidad para el tránsito y corta durabilidad.

#### VI.2- Equipo.

Para obtener la consolidación del concreto requiere de un vibrado. El tipo de vibrado lo determina el espesor de la losa, la rapidez de ejecución, la con-

sistencia y otras características de la revoltura del concreto.

Los vibradores internos se usan cuando se cuenta con un espesor de losa de más de 20 cms. (8") y para obtener una mayor rapidez debido al rápido movimiento del colado se usará este tipo de vibradores para losas con espesor de 15 cms. - (6").

Los vibradores superficiales se utilizan para pavimentos con espesor menor de 20 cms. (8"), sin embargo la rapidez de ejecución es menor que cuando se usan vibradores internos. También el vibrado superficial en combinación con la nivelación a regla y el aptanado; tiende a llevar un exceso de material fino a la superficie.

El equipo de compactación que mayor uso tiene en las losas de concreto, es el de las baterías de vibradores de inmersión que por razones hidrodinámicas, se inclinan hacia el lado contrario del avance. El tiempo óptimo de vibración, es aquel en el que el concreto se compacta al máximo sin segregarse y sin producir sangrado. Una sobrevibración producirá una superficie de baja resistencia a la abrasión y en todo el espesor una resistencia baja a la flexión. No existe una forma para determinar indirectamente este tiempo óptimo, se recomienda que los vibradores avancen de tal forma que produzcan una película lechosa incipiente en la superficie y que entre los vibradores exista un cierto traslape de esta película.

### VI.3- Procedimientos del vibrado.

Vibrador interno con empleo de vibradores internos montados en cuadrilla.

La fuerza centrífuga y el espaciamiento de los vibradores deberá determinarse tomando en cuenta el agregado que se va a utilizar, las características de la revoltura, la velocidad de entrega del concreto y el método para armar el refuerzo. Las revolturas que usan pequeños agregados gruesos y altos contenidos de arena deberán utilizar vibradores con fuerza centrífuga cercana al límite inferior. Su espaciamiento deberá ser entre 50 y 70 cms.

Para pavimentos con espesor menor de 25 cms., los vibradores deberán operar paralelamente o en ligero ángulo en relación con la sub-base. En pavimen-

tos de gran espesor los vibradores deberán aproximarse a la vertical, con la punta del vibrador a 5 cms. de la sub-base y de la parte superior del vibrado o algunos centímetros a'ajo de la superficie del pavimento.

#### Vibrado superficial.

La estructura de las placas vibratorias deberán colocarse tras el equipo que nivela la superficie, su frecuencia se ajusta de acuerdo a la velocidad de avance. No deberá permitirse una sobrecarga al frente de las placas puesto que ello puede entorpecer las vibraciones.

Con equipo de reglas y rodillos es recomendable dar dos pasadas. La primera para nivelar y consolidar el concreto y la segunda para dar un acabado a la superficie.

Para un vibrado en la proximidad de muros de contención y juntas de ensamble, se utilizan vibradores de inmersión operados manualmente, también se usarán en áreas donde no resulte práctico el empleo de vibradores montados en cuadrillas.

#### VI.4- Precauciones especiales.

Al vaciar concreto con aire incluido se recomienda comprobar su contenido, en la cara superficial después de vibrado, mediante un medidor de aire. El resultado deberá compararse con el aire del concreto al momento de colocarse. Si se pierde más de una cuarta parte del aire incluido deberán cambiarse los procedimientos de vibrado o la cantidad y el tipo de agente inclusor.

La profundidad y localización de cualquier acero de refuerzo deberá comprobarse, detrás del paso de los vibradores para asegurar que no se han movido de su sitio.

Cuando se utilizan cimbras fijas deberá hacerse una inspección del borde del pavimento, después de haberlas retirado para cerciorarse de la efectividad del vibrado. Si se observa cualquier "panal de abeja" uno o más de los cambios indicados a continuación deberán efectuarse para evitar su formación en el trabajo posterior. :

1).- acercar más los vibradores a la cimbra.

2).- *Aumentar la frecuencia o la amplitud de los vibrados.*

3).- *Disminuir la velocidad de avance del equipo pavimentador.*

*Deberán extraerse periódicamente corazones (probeta cilíndrica extraída de concreto endurecido) para comprobar la efectividad del vibrado. Los que se toman para comprobar el espesor del pavimento resultan adecuados para este fin. La parte superior de los núcleos deberá examinarse para determinar el espesor de la capa de mortero sobre el agregado grueso. Un espesor mayor de 0.6 cms. indicará exceso de vibrado o de acabado.*

*El Inspector llevará un registro de interrupciones, retrasos y otras circunstancias anormales que hayan ocurrido y solicitar que se extraigan corazones en las áreas correspondientes.*

*Vacios excesivos en los corazones indicarán la necesidad de un vibrado adicional o de un cambio en la localización o espaciamiento de los vibradores.*

*La penetración del material de la sub-base en el concreto es resultado de introducir demasiado los vibradores o de hacerlo en ángulo incorrecto.*

*El Inspector tomará en cuenta que al cambiar las condiciones de trabajo tales como clima, velocidad de avance, cambios en el equipo, revenimiento, etc... puede necesitarse un cambio en el tipo y posición de los vibradores. La uniformidad detrás de ellos debe vigilarse constantemente. Su ausencia indicará uso inadecuado del equipo de vibrado, que puede producir líneas de fallas que degeneran en grietas longitudinales.*

*Se podrá tener cuidado en estas precauciones especiales, pero sin descuidar en lo más mínimo el curado de la losa de concreto. Si no se tiene especial cuidado en el curado todas las especificaciones anteriores de nada servirán.*

*A nuestro juicio el curado del concreto es la especificación más especial y de más importancia a todas las anteriores, pues con un curado adecuado, siguiendo las especificaciones del curado mencionadas en el capítulo V.9 y propuestas en el diseño del proyecto obtendremos concreto de gran calidad.*

*Con un curado óptimo se produce concreto de calidad, desarrollando en éste una resistencia potencial y una gran durabilidad.*

C A P I T U L O   V I I

C O S T O S .



## CAPITULO VII C O S T O S .

Para determinar los costos de una construcción se verán dos criterios:

PRIMERO.- El costo se considera del siguiente modo:

$$\text{Costo Final} = \text{Costo Inicial} + \text{Conservación} + \text{Operación.}$$

Esto quiere decir que cuando se adopte una determinada solución constructiva, ésta debe ser económica tanto en su realización como en su conservación.

SEGUNDO.- Se juzgará los costos desde un punto de vista particular y general. El primero considera la solución más económica con resultados inmediatos, el segundo busca la solución también más económica pero con resultados mediatos.

### VII.1.- Teoría General de los Costos.

Para la evaluación de cualquier costo dentro de una construcción, se realiza a partir de dos grupos o factores: Factores de dependencia y Factores de consistencia.

Los Factores de dependencia planean a través de una serie de preposiciones el problema de los costos a saber: QUE, COMO, CUANDO, CUANTO, DONDE.

El QUE implica el tipo de obra específicamente de construcción, formas, moldes, etc... y obtener el costo parcial de dicho proceso.

El COMO se refiere a procedimientos constructivos, cercabilidad en las etapas de construcción, etc..

El CUANTO se refiere a volúmenes de obra, interviniendo su costo, debido a que a mayor volumen menor utilidad y viceversa.

El CUANDO se ocupa de la fecha de iniciación y terminación, duración de las etapas, secuencia y ejecución, etc... Esto se estudia a través de una serie de programas.

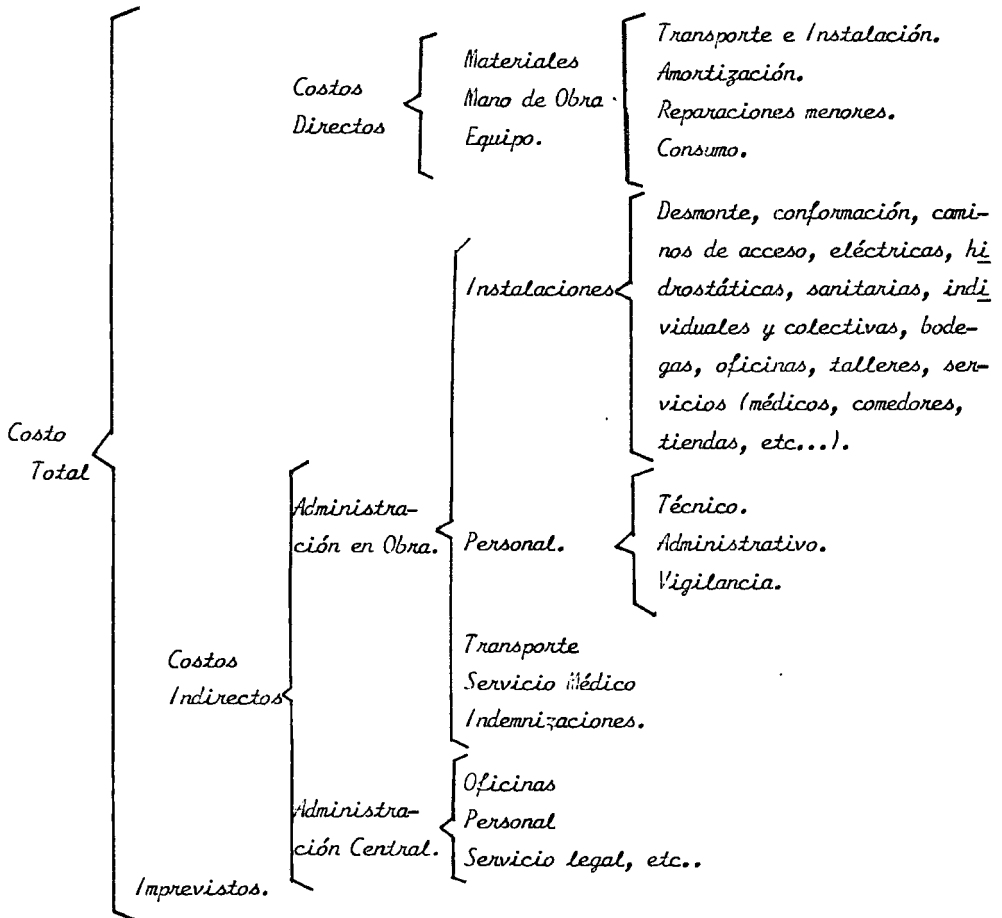
Esta serie de programas son: Programas de Avance de Materiales, de Mano de Obra, de Equipo y Herramienta, de erogaciones, de estimaciones de costos.

El DONDE se ocupa del lugar de la obra cuya influencia se vé del siguiente modo:

Topografía (campamentos, caminos de acceso, libertad de acción), Comunicación (medio de llegar a las obras, telégrafos, teléfonos, etc..), Distancia (flete a centros conductores y distribuidores), Poblaciones (disponibilidad de mano de obra en el lugar), Clima (mejor clima más rendimiento), Servicios (agua, luz, médico, etc..), Materiales en el lugar (explotación directa), Legislación Estatal (impuestos especiales).

### VII.2 - Factores de Consistencia.

Se le llama Factores de Consistencia a los elementos que componen los costos unitarios. En esta Tesis los presentamos en una forma más objetiva.



Tres grupos principales se consideran para la integración de precios unitarios los cuales son:

- a).- Costo Directo.
- b).- Costo Indirecto.
- c).- Utilidad.

#### VII.3 - Costos Directos.

Los costos directos son aquellos gastos que tienen una aplicación a un producto determinado. Comprende el importe de los materiales y la mano de obra. Incluye elementos auxiliares tales como: Niveles, Niveletas, Estacas, Maquinaria y Equipo; de éstos últimos se debe considerar almacenamiento, reparaciones, combustible, lubricante, llantas y refacciones, depreciación y seguros. Por lo que se refiere a la mano de obra se toma en cuenta además el salario mínimo, las prestaciones obreras según la Ley Federal de Trabajo, Seguro Social, Instituto del Fomento Nacional para la Vivienda, etc...

Este costo representa del 60 al 90% del costo total, por lo que es de mucha importancia su estudio pues se puede afirmar que a partir del costo directo depende el costo total.

#### VII.4 - Costo Indirecto.

Los Costos Indirectos son aquellos gastos que no tienen aplicación a un producto determinado. Se consideran dentro de este grupo los gastos que se efectúan por: organización, dirección técnica, administración, prestaciones sociales, regalías por el uso de patentes, vigilancia e imprevistos.

Este costo representa el 10 al 40% del costo total, no gravitando directamente sobre las partidas de la obra.

#### VII.5 - Imprevistos.

Los Imprevistos son aquellos gastos que no se habían considerado en los análisis del costo total, se supone de acuerdo a contingencias de última hora que pueden ser: suspensión o demora en el trabajo por mal tiempo, por escasez o atraso en la en-

traga de materiales, de equipo o de mano de obra, por omisiones o modificaciones en el proyecto, por conflicto obrero, o por accidentes.

Se debe tener mucho cuidado con los imprevistos pues si el costo de éste es muy alto se pueden perder concursos y si es muy bajo se pueden perder utilidades.

#### VII.6 - Precio Unitario (PU).

Es el resultado de incrementar al costo por unidad de medida, el porcentaje que corresponda por gastos generales (GG) que gravan la utilidad (U) más la utilidad misma.

$$PU = CU + \% GG + \% U$$

#### VII.7 - Utilidad.

Es el porcentaje justo, equitativo e indispensable para cumplir dentro del régimen de la empresa libre y de economía privada, aceptando los riesgos profesionales.

Dicho en otras palabras, es el beneficio o ganancia obtenida a cambio de algo que se dá o sea el trabajo que se realiza por el contrato tomando en cuenta el volumen de obra, así como la terminación de ella. Se hace por medio de los siguientes factores: Trabajo, Riesgo, Capital y Cantidad de obra.

#### VII.8 - Costo de la Mano de Obra.

El Costo de la mano de obra depende del salario nominal (salario base) y las prestaciones (días de descanso y aguinaldos) durante el año.

##### Datos básicos para la integración de precios unitarios.

###### A1).- Salarios reales:

Domingos	52
Descansos por ley	13 (10. de enero, 5 de febrero, 21 de marzo, 10. de mayo, 16 de septiembre, 27 de noviembre, 25 de diciembre, y 6 de vacaciones ).
Días de costumbre	<u>4</u>
	69

A2).- Días laborables por año:

$$365 - 69 = 296.$$

A3).- Días pagados por año:

Salario	365
Prima del 25% por vacaciones.	1.5
Aguinaldos.	$\frac{15.0}{381.5}$

A4).- Impuesto suplementario sobre percepción total (educación 1%).

A5).- Impuesto sobre productividad del trabajo:

4%.

A6).- Factor por aplicar al salario base:

$$\frac{\text{Días pagados}}{\text{Días trabajados}} \times 1.05 = \frac{381.5}{296} \times 1.05 = 1.354$$

A7).- Seguro Social:

A7a).- Para salario mínimo incluyendo el 1% de guarderías:

$$20.6879\%.$$

A7b).- Para salarios mayor al mínimo:

$$16.9375\%.$$

A8).- Factores para salarios reales:

A8a).- Para el salario mínimo:  $1.354 \times 1.206789 = 1.634.$

A8b).- Para mayor al mínimo:  $1.354 \times 1.169375 = 1.583.$

Sueldo de diferentes trabajadores en función del incremento existente o sea el Sindical aprobado por la Ley:

<u>O f i c i o :</u>	<u>Sueldo Nominal:</u>	<u>Salario Real (Obras Particulares):</u>
Peón.	93.00	$1.634 \times 93.00 = 151.96$
Ayudante albañil	105.00	$1.583 \times 105.00 = 166.22$
Oficial Albañil	136.00	$1.583 \times 136.00 = 215.20$
Cabo.	285.00	$1.583 \times 285.00 = 451.20$

VII.9 - Costo de un pavimento.

Determinaremos el costo de un pavimento rígido sin refuerzo (generalmente usado

en zonas residenciales):

Costo del mezclado en máquina de 1 saco.

	C. Unitario
1.- Reparaciones $\frac{200}{30.00 \times 18 \text{ M3}}$ = . . . . .	\$ 0.37 M3
2.- Depreciación: $\frac{\$25,000.00}{800 \times 18}$ = . . . . .	\$ 1.74 M3
3.- Intereses: $\frac{\$25,000.00 \times 0.20}{200 \times 18}$ = . . . . .	\$ 1.39 M3
4.- Consumo gasolina: $8 \times 0.28 \times 6.5 \times 2.83 \times 0.85 / 18 \text{ M3}$ =	\$ 1.95 M3
5.- Lubricante 1 lt. por día. : $\frac{1 \times 20.20}{18 \text{ M3}}$ = . . . . .	\$ 1.12 M3
<b>Total:</b>	<b>\$ 6.57 M3</b>

Costo Mano de Obra para una revolvedora:

1 operador	189.96
1 peón cemento	151.96
2 peones arena	303.92
2 peones grava	303.92
2 peones artesa	303.92
1 cabo	<u>451.20</u>
<b>Total:</b>	<b>\$ 1,704.88 / 18 M3 = \$ 94.72 M3.</b>

Resumen:

Costo mezclado máquina (18 M3 de volumen) . . . . .	\$ 6.57 M3
Costo mano de obra de la revolvedora . . . . .	" 94.72 M3
<b>Costo por M3 : . .</b>	<b>\$ 101.29</b>

Pavimento rígido de concreto ( por M3 ) sin refuerzo. Sin incluir excavación en caja ni acarreo:

	Unidad:	Cantidad:	C.B.	C.U.
Cemento (0.370 + 2% de desperdicio)	Ton.	0.377	1,100.00	414.70
arena (0.574 + 2% de desperdicio).	M3	0.585	96.50	56.45
Grava (0.285 + 2% de desperdicio).	M3	0.290	105.00	30.45
Triturada (0.535 + 2% " ).	M3	<u>0.545</u>	135.00	73.60
<b>Total Material Pétreo.: .</b>		<b>1.420</b>		

	Unidad:	Cantidad:	C.B.	C.U.
Transporte materiales pétreos a 3 Kms. (arena, grava, y triturada)	M3	1.420	18.00	25.56
Agua ( 370 / 50) 0.032	M3	0.237	2.70	0.64
Mezclado del concreto (equipo y mano de obra)	M3	1.000	101.30	101.30
Vibrado.- Se necesitan 2 vibradores de 4 H.P. de potencia ( $11.24 \times 2 = 22.48$ )				
	M3	1.000	26.62	26.62
Tendido (1 / 5.6 M3 / J )	J	0.179	151.96	27.20
Picado (1 / 9.33 M3 / J )	J	0.107	151.96	16.25
Regla.- 2 peones especializados (1 / 14 M3 / J ).				
	J	0.071	151.96	10.80
Rastrear con antidevrapante (1/28 M3/J)	J	0.036	215.30	7.75
Acabado con cuchara o llana (1/28 M3/J)	J	0.036	215.30	7.75
Colocación juntas sumergidas.- Un albañil y un peon para 28 M3. Albañil: 1/28 M3 / J				
	J	0.036	215.30	7.75
	J	0.036	151.96	5.45
Peón: 1/28 M3 / J	J	0.036	151.96	5.45
Dar boleto en juntas: (1/28 M3 / J )	J	0.036	215.30	7.75
Vigilancia: 1 sobrestante (1/28 M3 / J)	J	0.036	269.10	9.70
Juntas de asbesto cemento, considerando losa de 6 x 3 y colocando 3 ml de Junta - - -				
$(0.18 \times 6 \times 3) = 3.24$ M3 / losa				
3 ml de junta $4.80 = 14.40$				
clavo 4" $(12 \times 0.025) = .90$				
15.30				
28 M3 albañil y peón / J. :				
$215.30 + 151.96 = 367.30 / 28$ M3 = 13.10				
$(13.10 + 15.30) / 3.24 = 8.75$				
	M3	1.000	8.75	8.75
Curacreto:	M3	5.555	6.00	33.35
Asfalto en juntas de rallado y Juntas de Construcción: 1 lt para 9 mts.				
para 3.24 M3 : 1 / 3.24	Lt.	0.310	4.50	1.40
Formas de acero: 1 pza. de 0.18 x 3 ml. pesa 83 Kgs.: $83 \times 8.11 = 673.13 / 3 = 224.38$ ml. Se cuelan diariamente 28 M3				
Se requiere un día adicional del colado pa				

ra la decimbrada, por ésto se requiere otro tanto de formas :  $52 \times 2 = 104$  ml. de formas en equipo:  $104 \times 143.87 = - - = 14,962.48$  : Cargas por equipo  $\times 0.093 \times 14,962.48 / 30 \times 28 = 1.66$

Grasa para formas: 10 ml / Kg. de grasa  $52 \times 0.18 = 9.4$  ml;  $1/28 = 0.036$

Estacas de fierro: 4 x 1" de 75 cms.  $4 \times 35 = 140$  pzas;  $140 \times 0.75 \times 4$  Kg/ml = 420 Kg;  $420 \times 7.00 = 2,940.00 \times 0.093 / 28 \times 25 = 0.39$

Mano de obra en formas: decimbra, transporte, engrasado, aléneamiento, nivelación y fijación para 52 ml; 2 albañiles más cuatro peones;  $2 \times 215.30 + 4 \times 151.96 = 1,038.44 / 28$  M3 = 37.08

	Unidad:	Cantidad:	C.B.	C.U.
	M3	1.000	1.66	1.66
	Kg	0.036	18.00	0.65
	M3	1.000	0.39	0.39
	M3	1.000	37.08	<u>37.08</u>
	Costo de M3 . . . . . \$ .			912.99
	Costo Indirecto 10% . . . . . "			91.30
	Imprevistos 3% . . . . . "			30.15
	Utilidad 10% . . . . . "			<u>103.45</u>
	Precio Unitario . . . . . \$			1,137.89

Se calculó con precios bases vigentes hasta principios del año de 1978.



*CAPITULO VIII*

*FALLAS TIPICAS Y SUS*

*CAUSAS GENERALES.*

## CAPITULO VIII

### FALLAS TIPICAS Y SUS CAUSAS GENERALES.

*En la determinación de las causas que producen las fallas en los pavimentos rígidos, puede resultarnos tan simple que solo nos bastará un reconocimiento superficial de la falla, o nos puede resultar tan compleja, que será necesario un examen profundo de la falla auxiliado por ensayos de laboratorio. Una falla superficial es generalmente una característica indicadora de los factores que posiblemente la causaron. En base a lo antes dicho daremos como manera de guía, una lista de las fallas más típicas de los pavimentos de concreto, acompañadas de sus respectivas causas generales.*

#### VIII.1.- Agrietamiento de la losa.

*Una de las causas principales que producen los agrietamientos en la losa es la contracción natural del concreto, también la ocasiona una gran pérdida de agua y la mala calidad inicial del concreto y la mala calidad de los ingredientes (contaminados de polvo, materia orgánica, etc.), otra de las causas es la falta de acoplamiento entre el apoyo y la losa o la fragilidad del apoyo.*

##### *a).- Grietas transversales muy espaciadas.*

*Esta formación de grietas se puede deber a diferentes causas, a un diseño de distancias excesivas entre juntas, a curados deficientes, desacoplamiento de la losa con el apoyo, apoyo elástico y cargas pesadas, por acompañamiento con una junta de emergencia, mal construída y por último cuando se emplearon las juntas aserradas, se debió a que esta operación se realiza cuando las grietas se habían formado en algún punto fuera de la junta programada.*

##### *b).- Grietas transversales por anclaje.*

*Para pavimentos de una calle se requiere de un anclaje diferente al de las losas, para unir la losa con las obras de drenaje como son los pozos de visita y las alcantarillas. La unión se realiza aislando los por medio de juntas transversales, longitudinales y perimetrales. Si no se toma en cuenta esto, se producirían grietas transversales por anclaje y éstas a su vez producirían grietas*

por acompañamiento en las losas adyacentes.

c).- *Grietas longitudinales.*

Quando el apoyo contiene arcillas expansivas y el drenaje lateral es deficiente, la saturación activa a las arcillas desacomplando el apoyo de la losa y el peso de los vehículos pesados la losa se agrieta longitudinalmente. Otra causa puede ser el pandeo excesivo de la losa o un apoyo muy elástico.

d).- *Grietas cercanas a las juntas transversales.*

Quando el refuerzo y / o el sello no dejan contraerse libremente a las losas, se generan grietas cercanas a las juntas transversales. También puede deberse a que la profundidad de la ranura es insuficiente y en el caso de las costuras, se debe a que se aseveraron cuando estaban a punto de generarse las grietas transversales y en un punto dado, durante el aseverado si ha debilitado la losa lo suficiente para que aparezcan las grietas antes que se terminaran de aseverar.

e).- *Grietas cercanas a las juntas longitudinales.*

Se deben a un exceso de refuerzo con barras de sujeción cuando la ranura longitudinal es insertada o aseverada o se debe a que el equipo pesado de construcción, se apoyó en las losas contiguas con un cierto grado de endurecimiento, pero incapaz de soportar las cargas impuestas por este equipo.

### VIII.2- Rompimiento de la losa.

Las causas del rompimiento de la losa se deben a la incapacidad de ésta para soportar las cargas del tránsito, o a la fragilidad y elasticidad o desacomplamiento del apoyo. Este se genera cuando los esfuerzos impuestos por las cargas del tránsito son mayores que la resistencia a la flexión.

a).- *Incapacidad de la losa.*

Quando su diseño no dió el espesor suficiente para soportar las cargas en cualquier punto de la losa, la fractura se presentará cercana a la junta transversal o en la esquina de la losa.

b).- *Agrietamiento de la losa.*

*Si aparecen grietas en las juntas éstas no se podrán controlar y como consecuencia no habrá transmisión de cargas, quedando insuficiente el espesor de la losa en la zona de la grieta y al paso de las cargas se romperá.*

c).- *Incapacidad del apoyo.*

*Por no obtener el módulo de reacción especificado en el diseño debido a una compactación insuficiente o por perder sus características de apoyo por saturación de agua (apoyos plásticos frágiles), el espesor de diseño de la losa es insuficiente y se rompe con el paso de las cargas pesadas.*

d).- *Desacoplamiento del apoyo.*

*La erosión debida a un mal drenaje del pavimento, o por el fenómeno de bombeo, " la losa queda sin apoyo en sus zonas críticas (juntas) y posteriormente al paso de las cargas, se rompen las losas a una y otro lado, más o menos paralelas a las juntas transversales.*

VIII.3.- *Alabeo de la losa.*

*Cuando el fenómeno de alabeo es excesivo, la losa se deforma desacoplándose el apoyo. Si está acompañado de la expansión de los materiales colocados en el apoyo, existirá una cierta sustentación, pero la deformación superficial hará muy incómodo el paso de los vehículos. Si no existe tal sustentación, las cargas del tránsito y el peso de la losa producirán las fallas estructurales.*

VIII.4.- *Movimiento de las losas.*

*Las fuerzas horizontales y verticales producidas por tránsito, a una mala calidad de juntas y a un apoyo frágil, las losas de concreto están sujetas a movimientos horizontales como deslizamientos, sobre elevaciones en las juntas y giros, dando una superficie irregular e incómoda para el paso de los vehículos.*

*Cuando una junta no tiene refuerzo, con el tiempo tendrá desplazamientos verticales diferentes a las losas adyacentes, causando una sobre elevación y exponiendo a las juntas a impactos no previstos en el diseño, La zona cercana a*

estas juntas sufrirá perturbaciones que se transmitirán a la sub-base y con el tiempo harán que ésta se contamine con el material de la subrasante por consolidación y por penetración; El sello se desprenderá y permitirá el paso de la humedad y posiblemente se inicie el fenómeno de bombeo que erosionará al apoyo y posteriormente vendrá la falla estructural.

#### VIII.5.- Despostillamiento de la losa.

Una mala limpieza de las juntas antes de sellarse o resellarse, permite que guarden partículas incomprensibles atrapadas dentro de la ranura obstaculizando las expansiones relativamente pequeñas respecto a las contracciones, generándose esfuerzos concentrados en las caras de las juntas y muy cercanas a la superficie. Estos esfuerzos pueden ser tan grandes que hacen fallas en forma de cuñas superficiales a la losa de concreto. Una oxidación de pasajuntas produce también un despostillamiento, aunque éste no es muy frecuente.

#### VIII.6.- Bufamiento en pavimentos.

Se le llama bufamiento al proceso mediante el cual el suelo de la subrasante y el agua forman una suspensión la cuál es forzada hacia la superficie a través de los bordes, grietas y juntas de pavimento, bajo la acción de las cargas del tránsito. El bufamiento se manifiesta por manchas del suelo en el pavimento y la presencia de una lechada de agua y suelo en los bordes.

Para que se presente el bufamiento tres son los factores:

- a).- La presencia del agua libre bajo la losa.
- b).- Cargas de ejes pesados y frecuentes.
- c).- Capacidad del suelo de la subrasante para aligerarse en suspensión.

Si faltara alguno de estos factores, el bufamiento podría no ocurrir. La ruptura de los pavimentos proviene de un bufamiento continuo.

#### VIII.7.- Otras fallas.

Existen fallas primarias que no dependen de la calidad del pavimento directamente, pero afectan su comportamiento futuro, alguna de ellas son:

- a).- *Mantenimiento nulo o deficiente.*- Las juntas son las que requieren un cuidado especial debido a que su material sellador se rompe o se desprende con el tiempo. Un descuido en el mantenimiento de las juntas ocasionaría las fallas de la losa antes dichas. También una grieta sin reparación es como una junta sin sello y sin refuerzo.
- b).- *Drenaje deficiente.*- Aún cuando la sub-base funciona adecuadamente como filtro para evitar las saturaciones de agua del material del apoyo del pavimento, si no existe un buen sistema de drenaje lateral (cunetas, alcantarillas, etc.) no se podrá evitar dicha saturación, que puede producir desde fuertes cambios volumétricos en el apoyo, que se reflejarán en el pavimento, hasta fallas de salud y fragilidad excesiva que causen fallas totales en el pavimento.
- c).- *Fatiga.*- Una repetición de carga sometida a la losa de concreto a esfuerzos críticos inferiores a su resistencia a la flexión, la harán fallar de manera dúctil, presentando un agrietamiento gradual más o menos concéntrico al punto crítico (sobre una junta transversal) y si ésto sucede en el tiempo previsto, significará que el pavimento se diseñó, se construyó y se conservó adecuadamente. Puede decirse que la falla de fatiga a su debido tiempo es la falla natural en el buen comportamiento de un pavimento.

*Reparaciones de la losa de concreto.*

*Por muy bueno que sea el diseño y muy alta la calidad de construcción, no están libres de fallas porque aquel es solo una buena aproximación al comportamiento real del pavimento rígido y ésta se sujeta a las limitaciones de la condición humana para controlar todas las variables que intervienen en la ejecución.*

*Una vez presentadas las fallas en el concreto y para evitar la falla progresiva, procederemos de inmediato a la reparación de éstas.*

*Toda la importancia que tiene el mantenimiento en los pavimentos rígidos, las reparaciones es el medio esencial para alcanzar el objetivo.*

*Las reparaciones se han dividido en superficiales y profundas.*

*Reparaciones superficiales.- Aquellas que no ameritan romper la losa en todo su espesor, como :*

- a).- Resello de las juntas.- Cuando el sello de las juntas no es capaz de ser impermeable se quitará ésto y se pondrá uno nuevo.*
- b).- Resanes.- Cuando hay imperfección en las ranuras, se resana éstas para darle una forma regular.*
- c).- Calafateo de grietas.- Cuando en un pavimento diseñado sin dispositivos de transmisión de carga, aparecen grietas se abre un canal siguiendo la geometría superficial de la grieta para formar un recipiente para sellarlo con resanes.*
- d).- Parches superficiales.- Cuando hay desprendimiento superficial, como; despostillamientos o descascaramientos se reparan formando partes superficiales.*
- e).- Revestimientos.- Se realiza cuando hay desgaste o desprendimiento excesivo de la superficie de concreto, revistiendo con concreto de características recomendadas.*

#### *Reparaciones profundas,*

*Cuando los daños causados por las fallas requieren de una reparación en todo el espesor de la losa e inclusive del apoyo, se siguen diversos procedimientos de acuerdo a la índole de la falla. Una reparación profunda puede consistir en el levantamiento total de la losa de concreto o en la demolición parcial de la losa.*

- a).- Demolición total de una o varias losas.*

*Cuando su falla se debe a una mala calidad de apoyo.*

- b).- Demolición parcial de una losa.*

*Cuando su falla se localiza en alguna parte de la losa.*

*Este tipo de mantenimiento en el pavimento rígido, es muy inferior con respecto al de los pavimentos flexibles.*

## *CONCLUSIONES*



## CONCLUSIONES

### EJEMPLO PRACTICO PARA LA CIUDAD DE QUERÉTARO.

Una vez expuestos los principales métodos existentes para diseñar un pavimento rígido, llevaremos uno de éstos métodos al diseño de un pavimento para una calle tipo de la ciudad de Querétaro, usado generalmente en zonas urbanas (como fraccionamientos residenciales) no así en carreteras.

El diseño que determinaremos en estas conclusiones, será unicamente para áreas urbanas donde actualmente no está permitida la circulación de camiones pesados, pues este tipo de camiones podrían ocasionar dificultades en sus manobras y entorpecer el tránsito, así como por su gran peso ocasionar asentamientos en zonas no calculadas para resistir su peso.

Pero debemos tomar en cuenta que dentro de esta área urbana hay calles donde se localizan bodegas de almacenamiento y distribución donde tienden a circular gran número de camiones pesados para su carga y descarga. Aquí en Querétaro hay varias calles de este tipo por lo que el diseño lo enfocaré a este tipo de calle.

El tránsito medio diario que consideraré para el diseño será de 9,600 vehículos en ambos sentidos. En este volumen de tráfico se considera todo tipo de camión tanto ligero como pesado. El número de camiones pesados que se determine será bastante sobrado, debido a que actualmente en la mayoría de las ciudades un gran número de camiones pesados circula por los libramientos especiales para este tipo de camiones. Aquí en la ciudad de Querétaro contamos con el libramiento de Parques Industriales y el Trévol situado frente a la Plaza de Toros desalojando gran cantidad de camiones pesados que circulan de Celaya a México y viceversa así como San Luis Potosí-México, evitando con ésto la entrada a la ciudad donde podría ocasionar daños al pavimento.

En lo que se refiere al tipo de suelo de la ciudad de Querétaro, en su mayoría está compuesta de arcilla de alta compresibilidad variando sus valores relativos de soporte (VRS) de 4.7% a 1.8% valores menores a los especificados en esta tesis, la cuál es de 5% mínimo. La capacidad de expansión de este tipo de suelo varía de 4.8 a 5.7 suelo variable según las condiciones del terreno.

Los bancos de material con que se cuenta para el tendido de subrasantes y sub-bases, son de tepetate con valores relativos de soporte (VRS) obtenidos del laboratorio de 150 a 66% con expansiones de 0 a 0.3.

El material que usaremos para la subrasante y sub-base será de material granular donde el porcentaje que pasa la malla 200 y el porcentaje que pasa la malla 40, de su relación no nos dé mayor de 0.65. Su tamaño del agregado será de 5 cms. máximo cuando el material no requiera disgregación y de 3.8 cms. cuando requiera disgregación.

Si siguiendo las especificaciones mencionadas en esta tesis para los materiales que forman una subrasante y sub-base, podremos formar un apoyo bastante favorable para las losas de concreto.

El diseño del pavimento rígido presentado en esta tesis lo haré por el método de fatiga.

#### EJEMPLO DE DISEÑO.

Diseño de un pavimento rígido de primer orden con dos carriles de 3.7 mts. para un periodo de diseño de 40 años. El tránsito medio diario actual es de -- -- 9,600 vehículos, con un tránsito de carga pesada (TCP) de 10% para proyectarse con un factor (FP) de 2.2.

La subrasante tiene un valor relativo de soporte (VRS) de 22.1%. La losa se rá apoyada sobre una sub-base granular de 10 cms. de espesor. El concreto tiene un MR de 42 Kgs. / Cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad.

#### Solución al Ejemplo.-

a).- Cálculo del tránsito.

$$VPH = \frac{9600 \times 2.2}{2 \times 100 \times 24} = 4.4$$

Pasando a la figura 4.9 CCD = 89%.

$$Vt = \frac{9,600 \times 2.2}{2} \times \frac{10}{100} \times \frac{89}{100} \times 365 \times 40 = 13,721,664$$

La distribución carga - eje total durante el periodo de diseño es:

Intervalos de carga Kips.	Número de ejes probables por cada 1000 vehículos.	Número de ejes probables para el diseño *.
<i>Sencillos</i>		
28 - 30	0.19	2607
26 - 28	0.19	2607
24 - 26	0.38	5215
22 - 24	10.00	137217
<i>Tandem</i>		
52 - 54	0.19	2607
50 - 52	0.19	2607
48 - 50	1.86	25522
46 - 48	1.86	25522
44 - 46	2.95	40479
42 - 44	9.22	126514
40 - 42	10.50	144077

\* Es el producto de la segunda columna por 13'721,664 de camiones pesados y todo entre 1000.

b1.- Cálculo de  $K_c$

La subrasante tiene un VRS = 22.1% y una sub-base granular de tevetate de 10 cms. de espesor.

$K =$  obtenida de la figura 4.5 = 6.8 Kgs. / Cm<sup>3</sup>.

$K_c =$  obtenida de la tabla 4.3 = 7.0 Kgs. / Cm<sup>3</sup>.

c.- DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS RIGIDOS PARA CARRETERAS.

PROYECTO DISEÑO DE UN PAVIMENTO RIGIDO  
 CAMINO TIPO CALLE TIPO NO. DE CARRILES 2  
 K en subrasante 6.8 Mg/m<sup>3</sup>, 2.46 Pci Sub-base 1.0 Cm. granular  
 K combinado 7 Mg/m<sup>3</sup>, 2.53 Pci Factor de Seguridad por carga 1.2 FSC

PROCEDIMIENTO

1	2	3	4	5	6	7
Cargas por EJE	Cargas por EJE X F. S. C.	ESFUERZO Ft	RELACION ESFUERZOS Ft / MR	REPETICIONES ADMISIBLES. No.	Número de repeticiones esperadas. No.	RESISTENCIA A LA FATIGA UL-SADA %.

ESPESOR TENTATIVO 8" , 20 Cm. MR 42 Mg/m<sup>2</sup>, 600 Pci Kc 2.53 Pci

EJES SENCILLOS

30	36.0	345	0.57	75000	2607	3.4
28	33.6	332	0.55	130000	2607	2.0
26	31.2	310	0.52	300000	5215	1.7
24	28.8	300	0.50	∞	137217	0.0
22	26.4	270	0.45	∞		0.0

EJES EN TANDEM

54	64.8	365	0.61	24000	2607	10.8
52	62.4	360	0.60	32000	2607	8.1
50	60.0	345	0.58	57000	25522	44.7
48	57.6	330	0.55	130000	25522	19.6
46	55.2	325	0.54	180000	40479	22.5
44	51.8	300	0.50	∞	126514	0.0

SUMA TOTAL: 112.80 %

El espesor cumple con la especificación

$$F_t = \sum F_i \leq 125 \% \quad \text{por lo tanto:}$$

Su espesor es de:  $h = 8" = 20 \text{ cms.}$

d1.- Diseño del Refuerzo de las Juntas.

Con los datos obtenidos de:

Esesor de la losa: obtenido  $h = 20$  cms.

Módulo de Reacción  $K = 6.8$  Kgs. / Cm<sup>3</sup>.

Obtenemos de la figura 5.3 el diseño de las pasajuntas lisas.

RESULTADO : Pasajunta de  $3/4$  "  $\times$  37.5 cms. a cada 33 cms.

Para el diseño de la pasajunta corrugada (Barra de Sujeción)

Con los datos obtenidos de:

espesor de la losa  $h = 20$  cms.

ancho de losa : 3.7 mts.

Obtenemos de la figura 5.4 el diseño de la pasajunta corrugada:

RESULTADO: Pasajunta de  $3/8$ "  $\times$  38 cms. a cada 43 cms.

43 cms.  $\leq$  75 cms. máximo especificado.

Todo pavimento a diseñar deberá tener coordinación con otras calles, alcantarillas de desagüe, drenajes, así como una elevación apropiada. También se deberá preveer un drenaje suficiente para desalojar el agua pluvial de calles y aceras, manteniéndose siempre en buenas condiciones de tránsito. Para ésto se cuenta con planos de nivelaciones apropiadas.

Se contará con planos de servicios públicos como son: Luz, agua potable, drenajes, gas, etc..., para evitar daños a estas instalaciones y poder determinar el espesor de colchón mínimo que llevará arriba de las instalaciones para no causar daño con el equipo de construcción.

Teniendo un buen diseño de un pavimento de concreto de acuerdo a las necesidades de una población aurodo a la calidad constructiva así como a su conservación, mantenimiento y limpieza, contaremos con pavimentos de excelente calidad en servicio y duración.

La desventaja de este tipo de pavimentos comparado con un pavimento flexible, es que éste, es un pavimento costoso pero al realizar una pavimentación de estas características, a la larga, con el pasar de los años, su costo se encuentra justificado, pues requiere de poco mantenimiento y es de bastante durabilidad, caso contrario en el pavimento flexible.

*Las ventajas que nos ofrece el pavimento rígido es que su superficie es - uniforme y grata a la vista además de su durabilidad mencionada anteriormente.*

*Actualmente en Querétaro existe gran demanda de pavimentaciones a base de losas de concreto ya que contamos con varios fraccionamientos con este tipo de pavimentación, así como algunas calles de la ciudad, donde tendremos un tránsito en su mayoría ligero, con el cuál el pavimento rígido en su diseño, el espesor de la losa de concreto queda reducida, economizando más nuestro pavimento.*

*Concluyo esta tesis esperando que los datos obtenidos de varios volúmenes informativos y reunidos en ésta, sean de utilidad a cuanta persona lo consulte y se informe sobre el diseño de pavimentos rígidos en todas sus etapas de construcción así como en su funcionamiento.*

*Doy gracias al Instituto mexicano del Cemento y Concreto, a la Secretaría de Obras Públicas, a mi escuela de Ingeniería, a mis Maestros y Compañeros y a mi Director de Tesis Ing. Angel Trejo Muedano por la ayuda prestada a la realización de esta Tesis.*

## BIBLIOGRAFÍAS

- 1.- *PRACTICAS RECOMENDABLES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO (ACI-325-58) INCYC.*
- 2.- *ESPECIFICACIONES PARA BASES Y PAVIMENTOS DE CONCRETO. (ACI-617-58) INCYC.*
- 3.- *TABLAS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS. INCYC.*
- 4.- *PRACTICAS RECOMENDABLES PARA LA COMPACTACION DEL CONCRETO. (ACI-309) INCYC.*
- 5.- *PRACTICA RECOMENDABLE PARA EL CURADO DEL CONCRETO. (ACI-308) INCYC.*
- 6.- *PRACTICAS RECOMENDABLES PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS Y BASES DE CONCRETO.- (ACI-316-74) INCYC.*
- 7.- *PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCION .- por Juan de Cusa.*
- 8.- *DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA AEROPUERTOS. Portland Cement Associations.*
- 9.- *PAVIMENTOS DE CONCRETO.- Ing. Rodolfo C. Avitia González.*
- 10.- *NORMAS Y COSTOS DE CONSTRUCCION.- Plazola.*
- 11.- *TESIS PROFESIONALES.*