

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

‘‘ ARAGON ’’

38
24

**LOS PAVIMENTOS RIGIDOS Y SUS PERSPECTIVAS
DE CONSTRUCCION EN MEXICO**

T E S I S P R O F E S I O N A L

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

ARMANDO QUINTERO BARRAGAN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

San Juan de Aragón, Méx. 1992



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CAPITULADO

	Pag-	
CAPITULO I	INTRODUCCION	
I.1	Objetivos y alcances.....	1
CAPITULO II	CONSIDERACIONES GENERALES	
II.1	Reseña Historica.....	3
II.2	Definición.....	5
II.3	Tipos de pavimento rígido.....	5
II.4	Variables de diseño.....	7
CAPITULO III	VARIABLE DE DISEÑO	
III.1	Factor económico.....	9
III.2	Variable de clima.....	11
III.3	Variable del tránsito.....	15
III.4	La fundación del pavimento.....	24
III.4.1	Capa Sub-rasante	
III.4.2	Capa Sub-base	
III.4.3	Losa de concreto hidráulico	
CAPITULO IV	METODOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS	
IV.1	Introducción.....	52
IV.2	Generalidades.....	52
IV.3	Metodo de fatiga de la Asociación de Cemento Portland...	63
IV.4	Metodo de fatiga y erosión de la Asociación de Cementos Portland.....	70
IV.5	Guía provisional AASHO para el diseño de pavimentos rígidos.....	86
IV.6	Las juntas en los pavimentos rígidos.....	93

	Pag.
CAPITULO V LOS PAVIMENTOS RIGIDOS ANTE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES	
V.1 Introducción.....	108
V.2 Diferencia entre pavimentos rigidos y pavimentos flexi- bles.....	108
V.3 Analisis económico.....	111
CAPITULO VI PERSPECTIVAS PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN MEXICO.	
VI.1 Introducción.....	123
VI.2 Factores que determinan la elección del tipo de pavimen to.....	123
CAPITULO VII CONCLUSIONES.....	127

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

I.1. OBJETIVOS Y ALCANCES DEL TEMA

Los pavimentos rígidos además de ofrecer una gran capacidad para distribuir adecuadamente los esfuerzos a la sub-rasante, ofrecen también una gran variedad y un bajo costo de conservación. Por lo que su economía debe valorarse siempre a largo plazo. Esta consideración debe tomarse muy en cuenta sobre todo en los casos de tránsito muy intenso, donde no se permite la suspensión del mismo, o bien en los casos donde en el futuro no se puede contar con medios para realizar una conservación adecuada.

El objetivo de este trabajo es estudiar las características de los pavimentos rígidos, incluyendo la sub-rasante, la sub-base, la losa de concreto hidráulico, así como la disposición de las juntas, tanto transversales como longitudinales, en base principalmente a estudios experimentales y de pavimentos rígidos construidos en Estados Unidos, que es un país con una red de carreteras bastante considerable. Asimismo se presentan los métodos para su diseño más utilizados y difundidos en la literatura. Se consideró necesario realizar algunos ejemplos de diseño de pavimentos rígidos, de los 3 métodos estudiados en este trabajo, con el fin de poder señalar los criterios utilizados en cada caso y marcar las diferencias en los resultados obtenidos.

Asimismo se realiza un estudio para poder visualizar los motivos por el cual los pavimentos rígidos no se han construido en las carreteras de México, así como el porqué la casi nula construcción en las ciudades. Se señala en que condiciones un pavimento rígido puede ser más favorable que uno flexible y al mismo tiempo se dan algunos puntos de vista para poder alentar la construcción de pavimentos rígidos en nuestro país.

Con lo expuesto en este trabajo se pretende formar un criterio sobre las posibilidades de construcción de pavimentos rígidos en México, tanto a corto como a largo plazo. A continuación se presentan los capítulos que forman parte de éste tema de tesis con un breve resumen de cada uno de ellos.

En el capítulo II inicia con una breve reseña histórica sobre los pavimentos rígidos y se estudian las generalidades del tema. En el capítulo III se analizan las variables que influyen en el diseño de pavimentos rígidos.

dos así como sus características. En el capítulo IV se estudian los métodos para su diseño y se realiza una comparación de cada uno de ellos. En el capítulo V se realiza una comparación de los pavimentos rígidos con los flexibles, incluyendo un análisis económico. En base a lo estudiado en los capítulos anteriores en el capítulo VI se pretende visualizar las posibilidades que existen en nuestro país para la construcción de pavimentos rígidos. En el capítulo VII se presentan las conclusiones del tema.

C A P I T U L O I I

CONSIDERACIONES GENERALES

II.1 RESEÑA HISTORICA

Como suele suceder en todos los desarrollos tecnológicos, la construcción de todos los pavimentos de concreto, precedió con muchos años de ventaja a la investigación de los métodos de diseño para racionalizar el proceso.

La primera construcción vial con pavimento de este tipo se ejecutó en los Estados Unidos antes de 1890, la invención y fabricación de los vehículos con motor de gasolina, favoreció el desarrollo de los pavimentos y hacia 1893 se construyó en Ohio el primer pavimento de concreto con dos carriles, a partir de 1908 se incrementó el ritmo de construcción paralelamente al avance en la fabricación de vehículos automotores. Estos primeros pavimentos se realizaron sin diseño previo y ceñidas tan solo al juicio del Ingeniero, ya que no existía ningún método de análisis racional del comportamiento de la estructura vial.

Hacia 1920 se adelantó el primer estudio de un camino experimental -- (BATES, TEST ILLINOIS, E.U.), orientado hacia la determinación más económica aplicables regionalmente. A este primer ensayo siguieron otros, algunos de los cuales comenzaron a investigar la eficiencia del acero de refuerzo dentro del pavimento. La aparición del bombeo en la época inmediatamente anterior a la segunda Guerra Mundial (fenómeno causado por el tráfico -- que ya para entonces había alcanzado volúmenes considerables) originó en la época de la Post-guerra el desarrollo de grandes programas experimentales, -- (Por ejemplo los de Maryland en 1950 y AASHO en 1958 ambos en E.U.), que -- aportaron conocimientos fundamentales en la concepción y construcción de pavimentos rígidos.

Por otra parte el análisis a nivel teórico comenzó su desarrollo --- (fruto de la necesidad) a partir de 1920 con la fórmula de esquina de -

-Goldbeeck y older. La hipótesis en que se basaba tal fórmula fue pronto obsoleta, debido a que el incremento en el ancho del pavimento alejó las cargas vehiculares de las esquinas. En 1926 Westergaard, a partir de la Teoría General de la Elasticidad desarrolló tres ecuaciones para otros tantos casos de carga, los cuales han sido la base para los sistemas actuales de diseño. El efecto de la interposición de cargas entre el suelo y la losa de concreto ha sido analizado por medio de la teoría de los sistemas de capas múltiples publicada por "Burmister" en 1945.

La mutua complementación de las investigaciones a nivel teórico y de las pruebas del laboratorio, los ensayos viales y las observaciones de campo ha permitido la estructuración de métodos de diseño y construcción de pavimentos de concreto económicos y de larga vida, adaptados a las condiciones de clima y tránsito.

La tecnología ha evolucionado desde los primeros pavimentos de concreto simple hasta los pavimentos de concreto pretensado, pasando por los pavimentos de refuerzo continuo, en los cuales el acero se utiliza para absorber los esfuerzos de tracción causantes de las grietas, permitiendo aumentar la separación de las juntas. Sin embargo los pavimentos de concreto simple continúan siendo una solución simple y económica, especialmente en circunstancias como las de México.

Para terminar este recuento histórico se presenta una síntesis de la construcción de los pavimentos a nivel Mundial. Los E.U., país pionero en esta actividad, es la nación con mayor número de kilómetros construidos en pavimentos de concreto a nivel mundial, las tres cuartas partes de sus autopistas y más de las dos terceras partes de sus carreteras son de concreto.

Alemania que posee la mayor red mundial de Europa ha construido el 91% de ella, con pavimentos de concreto, este país ha desarrollado y fabricado equipo altamente sofisticado para la construcción de esta clase de vías.

Suiza ejecutó en 1909 su primera carretera pavimentada en concreto y

desde entonces ha desarrollado una avanzada tecnología en este campo. Francia, Bélgica, Italia, Inglaterra, España y Portugal poseen una extensa y moderna red de pavimentos de concreto y han desarrollado técnicas constructivas de alta eficacia y en algunos casos métodos propios de diseño.

En América Latina, México, Brasil y Argentina han construido muchos kilómetros de vías urbanas y autopistas con pavimentos de concreto.

II.2 DEFINICION

El pavimento es la estructura constituida por una capa o conjunto de - capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento de una obra vial, y cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme y textura apropiada resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales. Asimismo el pavimento debe --- transmitir adecuadamente los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito a las terracerías.

II.3 TIPOS DE PAVIMENTO

Los pavimentos se diferencian y definen en términos de los materiales de que están constituidos y de como se estructuran sus materiales, de acuerdo a esto, existen dos tipos de pavimento: Pavimentos Flexibles y Pavimentos Rígidos.

- A) Pavimentos Flexibles: En éstos la superficie de rodamiento es proporcionada por una carpeta asfáltica y la distribución de las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se hace por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de

los materiales, y la carpeta asfáltica se pega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que se rompa la estructura. Las capas que forman un pavimento flexibles son: Carpeta Asfáltica, -- base y Sub-base, las cuales se construyen sobre una capa subrasante. fig. II.1-A.

- B) Pavimentos Rígidos: La superficie de rodamiento es proporcionada -- por losas de concreto hidráulico que distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes que trabajan en forma conjunta - con la que recibe directamente las cargas, este tipo de pavimento no puede plegarse a las capas inferiores sin que se presente la -- falla estructural, hacia la superficie de rodamiento al paso de los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa, la sección transversal de un pavimento rígido está formada por la losa de concreto hidráulico y la sub-base. Figura II.1.B

FIG. II.1 TIPOS DE PAVIMENTOS

A.- FLEXIBLE

CARPETA ASFALTICA
B A S E
SUB-BASE
SUB-RASANTE

B.- RIGIDO

LOSA DE CONCRETO
SUB-BASE (puede o no puede ir)
SUB-RASANTE

C) TIPOS DE PAVIMENTO RIGIDO

- a.- PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLE: Es aquel cuya resistencia estructural depende exclusivamente de la resistencia del concreto.
- b.- PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLE CON REFUERZO EN LAS JUNTAS: A diferencia del primero las juntas de estos pavimentos se entrelazan con varillas para transmitir las cargas impuestas en una losa a las zonas circunvecinas, con esto se aumenta la capacidad de carga del pavimento.
- c.- PAVIMENTOS DE CONCRETO CON REFUERZO CONTINUO: El refuerzo a que se refiere en este tipo de pavimento, no está limitado exclusivamente en las zonas de juntas. En este caso el pavimento se arma en todo lo ancho y en todo lo largo con varillas que forman una malla continua en el pavimento, con esto se logra controlar el desarrollo de las grietas en el concreto, aunque también se quiere la formación de juntas.
- d.- PAVIMENTOS DE CONCRETO PREFORZADO: Este tipo de pavimento cuya técnica se ha desarrollado recientemente consiste en el aumento de la capacidad estructural de las losas de concreto por medio del preesfuerzo, con esto se ha logrado reducir notablemente los espesores de la losa y además el espaciamiento entre las juntas es más grande.

II.4 VARIABLES DE DISEÑO

Aunque el comportamiento de un pavimento depende de un elevado número de factores, algunos de ellos de gran complejidad, la racionalización de los métodos de diseño ha obligado a seleccionar los más importantes, relegando los demás a la categoría de factores secundarios, en base a lo anterior se pueden agrupar de la siguiente manera:

1.- FACTOR ECONOMICO

2.- VARIABLE DE CLIMA

3.- VARIABLE DE TRANSITO

4.- VARIABLES ESTRUCTURALES [La fundación del Pavimento]

C A P I T U L O I I I

VARIABLE DE DISEÑO

III.1 FACTOR ECONOMICO

El análisis económico proporciona una base sobre la cual se puede tomar una decisión final, aunque la justificación económica no es ciertamente el único factor a considerar. La planeación adecuada de una carretera debe incluir los costos de construcción, mantenimiento y operación. Al considerar estudios de costo del pavimento se pueden distinguir dos tipos de mantenimiento: el principal y el de rutina, como mantenimiento principal se puede considerar el dar una nueva superficie a la carpeta o reconstruir la superficie para que quede en su condición original, el mantenimiento de rutina incluye la corrección de fallas del pavimento a medida que van ocurriendo, más que durante períodos específicos. Los costos de operación se refieren a dos tipos de costo, uno al costo de tránsito del vehículo que es función de la carretera y tipo de vehículo. El otro el costo agregado de usuario que resulta del retraso del tránsito ocasionado por el cierre del camino.

Las tasas de interés juegan un papel muy importante en la elección de un tipo de pavimento. Las alternativas de pavimentos con un alto costo inicial y bajo costo de mantenimiento se ven favorecidas por tasas de interés bajas. Contrariamente, las tasas de interés elevadas resultarán en la selección de aquellas opciones que combinen los costos iniciales bajos con elevados costos de mantenimiento. (Ver capítulo V para mayor detalle).

Si una cantidad de dinero P se invierte, este dinero tendrá un valor adicional al final del periodo de inversión:

$$M = P (1 + i)^n \quad [\$]$$

Por lo que el valor actual de la inversión que será realizada en una fecha futura será:

$$P = \frac{M}{(1+i)^n} \quad [\$]$$

DONDE:

M = VALOR ADICIONAL DE LA INVERSION AL FINAL DEL PERIODO DE INVERSION

[\\$]

P = VALOR ACTUAL DE LA INVERSION QUE SERA REALIZADA EN UNA

FECHA FUTURA

{ $\$$ }

i = TASA DE INTERES

{ $\%$ }

n = NUMERO DE AÑOS EN EL PERIODO DE INVERSION

En general todos los diseños de pavimentos dependen en gran parte de la habilidad del Ingeniero para predecir condiciones a futuro. Tal vez el factor más tenue en ser considerado en el análisis económico sea el concierne a los métodos para estimar los costos de mantenimiento de rutina (conservación). Los métodos usados para estimar tales costos en cierta área pueden ser o no aplicables para otros sitios dependiendo de muchos factores. Se debe enfatizarse el análisis económico es bueno en la medida en que los datos de entrada sean adecuados. En el Capítulo V se presenta un análisis económico más detallado para los 2 tipos de pavimento, rígido y flexible.

III.2 CLIMA

Los pavimentos están expuestos a muchos factores ambientales y diversas condiciones regionales, como son la temperatura, precipitación pluvial, nivel de aguas freáticas, topografía y características del suelo. Es importante reconocer en condiciones desfavorables, tales factores pueden provocar la falla del pavimento aún en ausencia de tránsito. El pavimento, como sistema dinámico, debe ser capaz de sobrellevar las incansables fuerzas destructivas de la naturaleza. Los mecanismos generales por los que el medio ambiente influencia al comportamiento del pavimento son: El efecto en las propiedades de los materiales, el efecto sobre la integridad de los materiales, como su durabilidad y el efecto en el cambio volumétrico y en el equilibrio interno de los esfuerzos del sistema.

El efecto de las precipitaciones pluviales no ha recibido tanta atención como el fenómeno de congelamiento y deshielo, que es afortunadamente inexistente en la casi totalidad del país. A pesar de esto, como la capacidad de soportar cargas del pavimento es en gran parte determinada por la resistencia de la sub-rasante, un aumento en el contenido de humedad debido a condiciones adversas en cuanto a lluvia o drenaje puede dar como resultado la destrucción del pavimento. Se reconocerá a la lluvia como un problema al tratar con la contracción e hinchamiento de ciertas sub-rasantes.

TEMPERATURA: La temperatura ambiental tiene una influencia directa en el desempeño del pavimento y del medio de soporte. Las variaciones repentinas de temperatura acompañadas por fluctuaciones en el contenido de humedad del suelo causan deformaciones en el sistema del pavimento, lo que puede resultar en el agrietamiento de losas o en el resquebrajamiento de las juntas.

Como todos los materiales son sensibles al cambio volumétrico debido a los cambios térmicos, el efecto provocado por tales cambios se refleja por la expansión volumétrica o contracción del sistema del pavimento.

Si la variación de temperatura es uniforme en todo el espesor del pavimento y si la parte inferior del sistema de pavimentos queda libre sin restricción alguna, el sistema experimenta un movimiento lineal sin que su equilibrio interno se vea afectado. En realidad la conductividad térmica y la capacidad de calor del material del pavimento afectarán la tasa de flujo térmico en el pavimento resultando en un gradiente de temperatura a través del eje vertical del sistema.

La magnitud de la expansión térmica no es constante. El borde del pavimento tenderá a convarse hacia arriba durante una noche fresca y hacia abajo cuando la temperatura ambiente sea mayor que la del suelo. De ahí resulta un esfuerzo interno por temperatura en los materiales componentes del pavimento. Cuando el esfuerzo flexionante sobrepasa la resistencia del material, se desarrollan grietas, estando o no el sistema sometido a cargas. La experiencia indica que para un pavimento dado en un mismo medio, el esfuerzo por temperatura aumenta, al aumentar el espesor del pavimento.

El efecto de la temperatura en las propiedades físicas de la sub-rasante se complica por el contenido de humedad del suelo. Para un contenido de humedad dado, la resistencia de la sub-rasante tiende a decrecer a elevadas temperaturas. Otra importante propiedad física afectada por la variación de la temperatura es el cambio volumétrico del material del pavimento. También bajas temperaturas causan contracción del suelo, particularmente en un suelo cohesivo, esto puede ir acompañado de grietas que en el próximo periodo de lluvias se puede llenar de agua resultando en una disminución de la capacidad de soporte del suelo. Un potencial de temperatura aplicada al suelo causará el movimiento de la humedad en el suelo de regiones frescas a otras más frías, cambiando así la distribución de la humedad en el suelo y afectando la deflexión del pavimento y su capacidad de soporte.

AGUA EN EL PAVIMENTO: Las mayorías de las técnicas de diseño usan pruebas de resistencia en muestras de sobrantes que se encuentran en condiciones

de saturación total o parcial. Esta práctica ha sido un estandar durante muchos años pues se asume que la condición saturada es crítica. En ciertos casos esto puede guiar al sobre-diseño pues la sub-rasante no está -- siempre saturada pero, por otra parte se sabe que aún en condiciones desérticas se acumula agua bajo el pavimento y el contenido de humedad del suelo puede ser alto.

La lluvia es de gran influencia en la estabilidad y resistencia del medio de soporte porque afecta al contenido de humedad de la sub-rasante y base. También se reconoce a la lluvia como un factor que afecta la elevación del Nivel de Aguas freáticas (N.A.F.), la erosión, el bombeo y la infiltración. El contenido de humedad del pavimento variará con la lluvia - afectando la expansión y contracción del pavimento. Largos periodos de -- lluvia de baja intensidad, pueden ser más adversos que periodos concentrados de alta intensidad, porque la cantidad de humedad absorbida por el suelo es mayor bajo la primera condición.

El agua que existe bajo un pavimento puede provenir de una de varias fuentes: a) Grietas en la superficie del pavimento, movimiento lateral -- del acotamiento, alto N.A.F.

Algunas de las acciones que más daños causan al pavimento ocurren con mayor rapidéz al presentarse agua en exeso en la capa sub-base, por eso se debe suministrar un drenaje adecuado al pavimento.

De lo anteriormente expuesto, se desprende que el control de la humedad en el pavimento es un extremo difícil. Si no se la puede controlar, lo mejor es eliminar la humedad del pavimento. Las siguientes recomendaciones pueden servir para prevenir los daños causados por el agua.

- 1.- Mantener si es posible, la base del pavimento por encima del nivel del terreno.
- 2.- Desarrollar un sistema de drenaje adecuado que mejore la recolección de escurrimiento superficial y minimice la infiltración.

- 3.- Suministrar sub-drenes y un sistema interceptor que drene la humedad del suelo antes de que emigre el area del pavimento.
- 4.- Mantener la superficie del pavimento razonablemente impermeable y reducir la infiltración del agua de lluvia.

III.3 EL TRANSITO

El tránsito es la carga que ha de soportar el pavimento y sus efectos, junto con los climáticos, deben quedar en niveles no destructivos durante la vida para la que se diseña el pavimento. El tránsito varía en intensidad y número de vehículos, en calidad y peso de los mismos y es una carga móvil, repetida, causante de los esfuerzos transitorios.

El conocimiento de las características del tránsito que utiliza o utilizará el camino que se va a construir es útil para el proyecto de la sección transversal de una vía, convirtiéndose en el principal elemento que se debe tomar en cuenta, ya que el transporte terrestre es el motivo de la obra.

1. CARACTERISTICAS DEL TRANSITO

Las características del tránsito que es necesario conocer para el proyecto de los pavimentos son:

- A. Tránsito diario promedio anual
- B. Tránsito en el carril de diseño
- C. Composición del tránsito por tipo de vehículo
- D. Peso y número de ejes y llantas
- E. Incremento anual del tránsito
- F. Número de vehículos o de ejes que transitarán por el camino durante la vida útil.

A. TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL (T.D.P.A.)

Se llama tránsito promedio diario anual al número de vehículos que transitan por una carretera en ambos sentidos durante un año, dividido entre 365 días.

Para determinar el T.D.P.A. de un camino en operación se cuenta en forma directa el tránsito, operación que se llama aforo y puede realizarse por operarios o por contadores mecánicos; también el conteo puede llevarse

durante todo el año o solo en ciertas temporadas y luego proyectarlo a un año, para lo cual se emplean técnicas estadísticas. Conociendo el T.D.P.A. de varios años consecutivos se puede conocer la tendencia de incremento.

Para conocer el T.D.P.A. de un camino que se va construir la situación se complica, pues todavía no hay tránsito sobre el que se recurre a estimarlo en base a lo que se llama tránsito inducido y tránsito generado.

El tránsito inducido es aquel que en la actualidad esta utilizando otros caminos pero que al construirse el nuevo, hará uso de el para llegar al mismo sitio. Es decir es el tránsito que ahora hace un rodeo, pero que al abrise el nuevo camino, lo utilizará por ser más directo, o por darle mayores facilidades para llegar al sitio deseado.

El tránsito generado, es aquel debido al desarrollo propio de la zona de influencia del nuevo camino, para conocerlo, se hace una cuantificación de los productos que se generarán, y se calcula el número de vehículos que serán necesarios para su movimiento y además se estudia el número de vehículos que se necesitarán para actividades comerciales, turísticas etc.

B. TRANSITO EN EL CARRIL DE DISEÑO

De el T.D.P.A. se necesita conocer el porcentaje que hace uso del carril en donde se carga más el movimiento, el cual se toma como carril de diseño; para un camino de dos carriles (uno en cada sentido), se ha llegado a la conclusión que el carril de diseño lleva de 60 a 65% de T.D.P.A.; para un camino de 4 carriles, el carril de diseño lleva casi la misma cantidad de vehículos que uno de dos carriles. Pues en los carriles de la derecha transitan los vehículos de mayor peso que dañan el pavimento, por lo que en este caso de 4 carriles se toma el 50% del T.D.P.A. para el carril de diseño.

C. COMPOSICION DEL TRANSITO

Es necesario conocer la cantidad de vehículos de los diferentes tipos que circulan por las carreteras, los cuales se pueden dividir en grupos para hacer menos difíciles los cálculos. De cada uno de los vehículos es necesario conocer sus pesos, principalmente los vehículos de carga, pueden estar compuestos por una unidad de tracción, una caja y un remolque, cada uno conteniendo varios ejes en diferentes combinaciones.

Así se tienen los siguientes tipos de ejes: Eje sencillo rueda sencilla, eje sencillo rueda doble y eje doble rueda doble (eje Tandem).

En México las cargas máximas legales por eje son:

Eje sencillo rueda sencilla	5.5 ton.
Eje sencillo rueda doble	10.5 ton.
Eje Tandem	18.0 ton.

D.- CARGAS POR EJE QUE TRANSITARAN POR EL CAMINO DURANTE EL PERIODO DE DISEÑO

1.- Volúmen de tránsito durante el periodo de diseño.

$$V_c = \text{TDPo} \times \text{No. de días por año} \times \text{V.U.} \times \text{F.P.} \text{ [VEHICULOS]}$$

$$\text{F.P.} = \frac{365 (1 + r)^n - 1}{r} \text{ [s/u]}$$

2.- Tránsito diario promedio en el periodo de diseño

$$\text{TDP} = \text{F.P.} \times \text{TDPo} \text{ [VEHICULOS]}$$

3.- Número de ejes de cada peso por cada mil vehículos

$$N.E. = \frac{\text{Núm. de ejes de cada peso}}{\text{Núm. de vehículos pasados}} \times 1000 \text{ [EJES X MIL VEHICU]}$$

4.- Número de ejes de cada peso en el periodo de diseño

$$N.E.P.D. = \frac{N.E. \times V_t}{1000} \text{ [ejes]}$$

El N.E.P.D. es el dato de tránsito necesario para aplicar en el método de cálculo de espesores de los Pavimentos Rígidos por el criterio de fatiga.

DONDE:

V_t = VOLUMEN DE TRANSITO EN EL PERIODO [VEHICULOS]

F.P. = FACTOR DE PROYECCION DEL TRANSITO

TDP = TRANSITO DIARIO EN EL PERIODO DE DISEÑO [VEHICULOS]

TDP_o = TRANSITO DIARIO PROMEDIO INICIAL [VEHICULOS]

N.E. = NUMERO DE EJES POR CADA MIL VEHICULOS

N.E.P.D = NUMERO TOTAL DE EJES EN EL PERIODO DE DISEÑO [EJES]

n = VIDA UTIL DEL PAVIMENTO

r = FACTOR DE INCREMENTO ANUAL DEL TRANSITO (8% PROMEDIO) [%]

III. 3.1. CRITERIO DE TRANSITO MEZCLADO

Una de las formas de utilizar los datos del tránsito para su aplicación en proyecto de pavimentos es tomar las características de todos los vehículos y en tonces, para trabajar con unidades homogéneas (un mismo tipo de vehículo), se utiliza el criterio de vehículos o ejes equivalentes, para lo que se usa el factor de daño (criterio utilizado en la guía AASHO para el diseño de pavimentos rígidos).

Factor de daño: El factor de daño es la relación del daño que un vehículo dado causa a la estructura de la obra en relación al daño que le causa un vehículo estandar. En México como en otros países, incluyendo E.U.A., se utiliza como estandar un eje sencillo con ruedas sencillas, soportando una carga total de 8.2 ton. o sea 4.1. ton. por rueda. La teoría general de este criterio es como sigue:

Los vehículos de un cierto tipo, transitando sobre un carril de determinadas dimensiones, tienen alguna posibilidad de variar su posición en el carril, de tal manera, que hacia las orillas se tienen menos pasadas; en cambio hacia el centro se encuentra la mayoría de las operaciones, si lo anterior se expresa por medio de una curva de frecuencias tenemos la que se encuentra en la fi gura III.1.

FIG. III.1 CURVAS DE FRECUENCIA DE LA POSICION DE LOS VEHICULOS A LO ANCHO DE UN CARRIL DE TRASNITO (A) MAYOR VARIABILIDAD (B) MENOR VARIABILIDAD

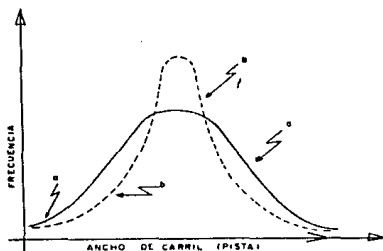
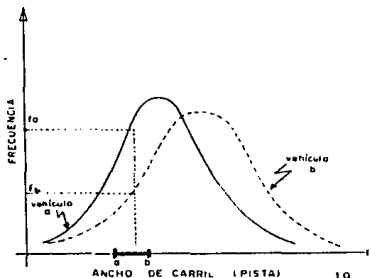


FIG. III.2 CURVAS DE FRECUENCIA PARA DOS TIPOS DIFERENTES DE VEHICULOS QUE OPERAN EN UN MISMO CARRIL.



Si los vehículos tienen bastante posibilidad para variar su posición en el carril, la curva es achatada (curva "a") y de poca altura; en cambio, - si hay poca opción de que se varíe la posición, la curva es más esbelta - -- (curva "b"). El primer tipo de posibilidad es la que corresponde a pistas de aterrizaje y el segundo a carreteras o calles de rodaje para aviones, ya que el ancho de aquellas es mucho mayor que el de estas últimas. Si en el - carril en estudio, se tienen diferentes tipos de vehículos, cada uno de es- - tos tendrá una curva de frecuencia como las "a" y "b" de la figura III.2.

Utilizando la curva "a" de la figura III.2 tenemos:

FACTOR DE DAÑO: Es la relación del daño que el vehículo en estudio provoca - en una pasada al pavimento (d_A), entre el daño que también en una pasada provoca un vehículo estandar (d_t).

$$F_a = \frac{d_A}{d_t} \quad (1)$$

Para conocer el número total de pasadas (NA), que el vehículo en estudio puede realizar, dividimos el daño total que puede resistir el pavimento entre el daño que en una pasada produce este vehículo (d_A).

$$(2) \quad NA = \frac{D}{d_A} \quad \Rightarrow \quad d_A = \frac{D}{NA} \quad (2')$$

Y el número de pasadas del vehículo estandar que resiste el pavimento es:

$$(3) \quad N_t = \frac{D}{d_t} \quad \Rightarrow \quad d_t = \frac{D}{N_t} \quad (3')$$

SUSTITUYENDO: (2') y (3') en (1) tenemos:

$$F_A = \frac{d_A}{d_t} = \frac{N_t}{NA} \quad (4)$$

O sea que el factor de daño se obtiene dividiendo el número de pasadas, - con que lleva a la falla el pavimento el vehículo estandar entre el número co- - rrespondiente al vehículo en estudio.

De la ecuación (4) podemos obtener :

$$dA = FA dt \quad (4')$$

Si durante la vida útil del pavimento, el vehículo pasa fA veces (frecuencia) por la franja $(a-b)$ del carril o pista el daño causado en ella por este vehículo será:

$$DA (a-b) = dA fA \quad (5)$$

El daño causado por los diferentes tipos de vehículos que pasan por esa misma franja será :

$$D(a-b) = \sum_{A=1}^n dA fA \quad (6)$$

SUSTITUYENDO: (4') en (6)

$$D(a-b) = \sum_{A=1}^n FAdt fA \quad (7)$$

La franja del carril que sufre el mayor daño es aquella en que se incluye la máxima frecuencia para todos los vehículos, por lo que el daño máximo - - (D máx) en el carril será

$$D \text{ máx} = \sum_{A=1}^n FAdt fA \text{ máx} \quad (8)$$

Sustituyendo el valor de $D_{\text{máx}}$ en la ecuación (3) tenemos:

$$Nt = \frac{\sum_{A=1}^n FAdt fA \text{ máx}}{dt} = \sum_{A=1}^n FAFa \text{ máx} \quad (9)$$

Por lo que el número de vehículos estandar que pueden pasar por un carril - de carretera ó pista de aeropuertos es igual a la suma de los productos de los factores de daño de los vehículos correspondientes por la frecuencia de cada uno de estos en la franja más crítica.

La $f_{\text{máx}}$ para los diferentes vehículos, depende del ancho del carril (pista) del ancho de los vehículos o separación de las piernas en el caso de los aviones y con menor influencia, del número de ruedas agrupadas. Como ya se menciona antes, en carreteras, los vehículos tienen muy poca posibilidad de variar su posición en el carril.

Por lo que la curva de frecuencia es bastante esbelta y es por ello que en este caso, se toma cada vehiculo que pasa como un cubrimiento; en cambio : pistas de aeropuertos, por cada 5 a 8 operaciones se toman como un cubrimiento ya que se tiene mayor variabilidad en la posición de estos aparatos durante las operaciones, sobre todo durante el aterrizaje.

De esta manera la formula (9) queda:

$$\text{Para carreteras } N_t = \sum_{a=1}^B N_a F_a$$

SIENDO N_a = Número de vehiculos de un tipo "a"

F_a = Factor de daño para cada tipo de vehiculos

El factor de daño varia de un país a otro y entre las diferentes oficinas de proyecto puede ser distinto, de acuerdo a los elementos con que se calcule. Algunos autores toman como base, para su calculo, la relación de esfuerzos a una determinada profundidad, otros lo hacen por medio de deformaciones.

Para pavimentos rígidos, Vesíc encontró que el factor de daño se calcula relacionando los esfuerzos de tensión con la formula:

$$F_j = \left(\frac{\sum_j}{\sum_s} \right)^4 \quad \text{en donde:}$$

\sum_j = Esfuerzo de tensión causado por un vehiculo

\sum_s = Esfuerzo de tensión causado por el vehiculo estandar

La AASHO, de acuerdo a los resultados de prueba en Ottawa III, E.U.A., de jo una fórmula para encontrar factores de daño o equivalentes, los cuales se muestran en la figura III.3, que son usados con amplitud, pues estan deducido de la práctica de campo.

FIGURA III.3 .- TABLA QUE MUESTRA LOS FACTORES DE DAÑO O EQUIVALENTES DE LA AASHO, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, EJES SENCILLOS Y TANDEM.

EJES SENCILLOS, IS_c=2.5

EJES TANDEM, IS_c=2.5

CARGA DE EJE	ESPESOR DE LA LOSA D, CM.						
	15	18	20	23	25	28	30
0.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
1.8	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
2.7	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
3.6	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
4.5	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
5.4	0.20	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17
6.4	0.38	0.36	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34
7.3	0.63	0.62	0.61	0.60	0.60	0.60	0.60
8.2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
9.1	1.51	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59
10.0	2.21	2.20	2.28	2.34	2.38	2.40	2.41
10.9	3.16	3.10	3.23	3.36	3.45	3.50	3.53
11.8	4.41	4.26	4.42	4.67	4.85	4.95	5.01
12.7	6.05	5.76	5.92	6.29	6.61	6.81	6.92
13.6	8.16	7.67	7.79	8.28	8.79	9.14	9.34
14.5	10.81	10.06	10.10	10.70	11.43	11.99	12.35
15.4	14.12	13.04	12.34	13.62	14.59	15.43	16.01
16.3	18.20	16.69	16.41	17.12	18.33	19.52	20.39
17.2	23.15	21.14	20.61	21.31	22.74	24.31	25.58
18.1	29.11	26.49	25.65	26.29	27.91	29.90	31.64

CARGA DE EJE	ESPESOR DE LA LOSA D, CM.						
	15	18	20	23	25	28	30
4.5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5.4	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
6.4	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
7.3	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
8.2	0.16	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13
9.1	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20
10.0	0.34	0.32	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30
10.9	0.48	0.46	0.45	0.44	0.44	0.44	0.44
11.8	0.64	0.64	0.63	0.62	0.62	0.62	0.62
12.7	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
13.6	1.11	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14
14.5	1.43	1.44	1.47	1.49	1.50	1.51	1.51
15.4	1.82	1.82	1.87	1.92	1.95	1.96	1.97
16.3	2.29	2.27	2.35	2.43	2.48	2.51	2.52
17.2	2.85	2.80	2.91	3.04	3.12	3.16	3.18
18.1	3.52	3.42	3.55	3.74	3.87	3.94	3.98
19.1	4.32	4.16	4.30	4.55	4.74	4.86	4.91
20.0	5.26	5.01	5.16	5.48	5.75	5.92	6.01
20.9	6.36	6.01	6.14	6.53	6.90	7.14	7.28
21.8	7.64	7.16	7.27	7.73	8.21	8.55	8.75

III.4 LA FUNDACION DEL PAVIMENTO

La sub-rasante es el terreno que constituye y conforma la superficie final de la explanación de una vía y como tal, quien soporta finalmente - las cargas producidas por el tráfico. Está además sometida a la acción -- del medio ambiente (clima, humedad, nivel freático, etc.), el cual puede modificar sustancialmente algunas de sus propiedades.

Antes de proyectar estructuralmente un pavimento, es pues absolutamente necesario un conocimiento de la sub-rasante a travéz de un apropiado estudio del suelo, ejecutado por medio de sondeos cuyo número varía normalmente entre 100 y 500 metros, dependiendo de la importancia del proyecto, uniformidad del terreno encontrado, etc., así como ensayos de campo y del laboratorio.

El resultado de este estudio es un perfil de sub-suelo a lo largo del eje proyectado que incluirá la siguiente información básica:

- a) Secuencia y espesor de las capas de suelo involucradas en el proyecto.
- b) Características de esas capas.
 - Clasificación unificada y/o AASHO
 - Plasticidad (Límite líquido e Índice Plástico)
 - Humedad Natural
 - Granulometría
 - Capacidad de soporte (VRS ó K)
- c) Características de los materiales del Terraplen
 - Clasificación
 - Plasticidad
 - Granulometría
 - Compactación
 - Valor relativo de soporte

La información anterior permitirá al proyectista conocer los parámetros básicos para el diseño estructural del pavimento, detectar tramos débiles y recomendar algún tipo de tratamiento en ellos, estudiar el drenaje del pavimento etc.

III.4.1 LA CAPA SUB-RASANTE

Las losas de concreto que forman un pavimento rígido distribuyen sobre áreas de la sub-rasante relativamente grandes las cargas concentradas de las ruedas de los vehículos. Por esta razón, las presiones sobre la sub-rasante se mantienen por lo general muy por debajo de su resistencia.

De acuerdo con ensayos ejecutados por la Portland Cement Association (PCA) una carga de 55 toneladas aplicada sobre una placa de 30.5 cm. de diámetro (que equivale a una presión de contacto de 7.5 kg/cm^2), apoyada sobre una losa de concreto de 3.65 m x 20 cm. de espesor, produce sobre la sub-rasante una presión que varía entre 0.2 kg/cm^2 y 0.5 kg/cm^2 , según la posición de la carga sobre la losa.
(Ver tabla III.1).

TABLA III.1
PRESION SOBRE LA SUB-RASANTE, BAJO UNA LOSA
RECTANGULAR DE CONCRETO

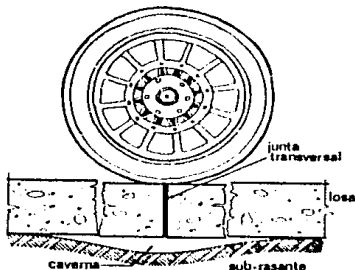
POSICION DE LA CARGA	MAXIMA PRESION SOBRE LA SUB-RASANTE (kg/cm ²)
Punto interior de la losa	0,21
Borde exterior de la losa	0,42
Esquina exterior de la losa	0,49
Borde interior* de la losa	0,28

* Es decir, borde adyacente con otra losa por medio de una junta provista de pasadores de acero.

Dimensiones de la losa: 3,68 m. x 4,27 m. x 0,20 m. de espesor
Carga sobre la losa: 5.455 kg. sobre placa circular de 30,5 cm. de diámetro
Presión sobre la superficie de la losa: $7,6 \text{ kg/cm}^2$

De lo anterior se deduce que la función primordial de la sub-rasante no es suministrar un soporte de alta resistencia, sino más bien un apoyo -- razonablemente uniforme. En efecto si la sub-rasante no ofrece soporte -- uniforme a toda la losa del pavimento, esta tiende a trabajar como un puente entre las zonas resistentes y a deformarse excesivamente en las áreas débiles, lo cual originaría esfuerzos de flexión en general altos e imprevisibles. Este principio ha sido ampliamente corroborado en la práctica. (Ver Figura 111.2)

FIGURA 111.2
VACIO BAJO EL PAVIMENTO
DEBIDO A LA ACCION DEL BOMBEO



La capacidad de soporte de la sub-rasante se cuantifica por medio de un parámetro llamado "Módulo de Reacción", conocido también como "Módulo de Westergaard" y representado convencionalmente con la letra "K", que es igual a la relación entre la presión aplicada sobre el terreno y el asentamiento correspondiente.

Los Factores que influyen en K son:

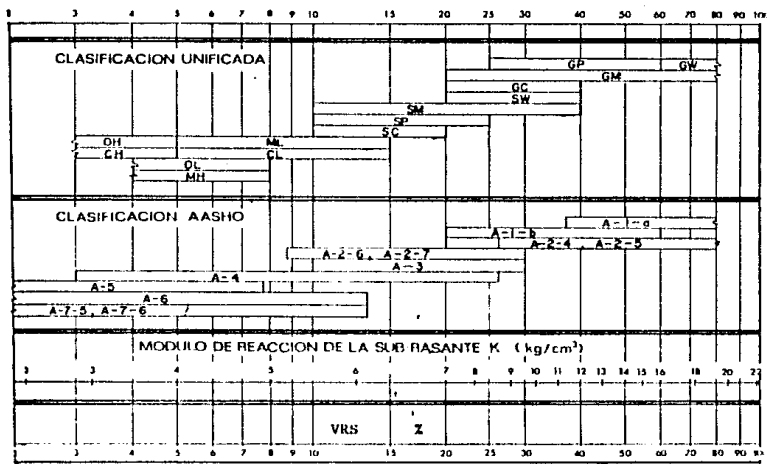
- 1.- TIPO DE SUELO: El valor mayor de "K" se presenta en el suelo de grava arenosa, bien gradada y no plástica, puede llegar a ser hasta 15 kg/cm^3 ; el menor valor de "K" ocurre en arcillas plásticas y puede ser del orden de 1.5 kg/cm^3 .
- 2.- CONTENIDO DE HUMEDAD: En materiales granulares este parámetro tiene poca influencia, en cambio, las arcillas plásticas, en estado seco tienen mucho más resistencia que en estado húmedo. Para materiales arcillosos plásticos se recomienda que el ensayo para determinar "K" se ejecute con una humedad, aproximadamente igual al valor del límite plástico del suelo, que es la humedad que normalmente conserva la subrasante después de la construcción del pavimento.
- 3.- Compactación del suelo: A igualdad de las demás variables el valor de "K" aumenta al aumentar el peso unitario del suelo.
En la figura III.3 se presenta la relación aproximada entre la clasificación del suelo y los valores de VRS y K.

Algunas otras funciones de la capa sub-rasante son:

- 1.- Evitar que cuando el cuerpo del terraplen esté formado de materiales finos plásticos, éstos contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas deberá estar entre los finos correspondientes al cuerpo del terraplen y los granulares del pavimento.
- 2.- Evitar que el pavimento sea absorbido por las terracerías, cuando éstas estén formadas principalmente por fragmentos de roca (pedraplenes). En este caso, la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplen, y los granulares del pavimento (sub-base).

3.- Uniformar los espesores del pavimento, principalmente cuando se tiene mucha variación de los materiales de terracería, a lo largo del camino.

FIG. III.3
RELACION APROXIMADA ENTRE LA CLASIFICACION DEL SUELO Y
LOS VALORES DE VRS Y K



VRS OBTENIDO POR LA PRUEBA DE PORTER ESTANDER

Las características mínimas que debe tener la sub-rasante son las siguientes:

ESPESOR DE LA CAPA	:	30 cm. mínimo
TAMAÑO MAXIMO AGREGADO	:	7.5 cm. mínimo
GRADO DE COMPACTACION	:	95 % del PVSM
VALOR RELATIVO DE SOPORTE	:	5 % mínimo
EXPANSION MAXIMA	:	5 %

III.4.2 CAPA SUB-BASE

Los primeros pavimentos rígidos se construyeron directamente sobre la sub-rasante, pues se consideraba, que independientemente del suelo que la conformara, ella era adecuada para soportar las cargas impuestas por el tráfico. Sin embargo, el rápido incremento en la magnitud y frecuencia de vehículos pesados puso en evidencia que la vida útil del pavimento estaba estrechamente condicionada a la estabilidad de la sub-rasante, uno de los principales problemas, observado ya desde el año 1942, fué el "bombeo", fenómeno estudiado a partir de tal año el cual consiste en la expulsión de agua y suelo de la sub-rasante a travéz de las juntas y grietas, y a lo largo de los bordes de las placas de concreto, causada por las deflexiones de dichas placas al paso de los vehículos pesados en presencia de agua libre en la sub-rasante. De acuerdo con la experiencia se ha observado que para que ocurra el bombeo deben concurrir 3 condiciones básicas:

- a) Suelos finos-granulares bajo la losa de concreto que puedan entrar en suspensión con el agua.
- b) Agua libre bajo el pavimento, ó sub-rasante saturada.
- c) Alta frecuencia de vehículos pesados.

Como consecuencia del bombeo, gradualmente se forman cavernas o vacíos bajo la losa, en los sitios donde ha sido expulsado el suelo de la sub-rasante, es decir, en las juntas y bordes del pavimento, que son

precisamente las zonas estructuradas más debiles, la sub-rasante pierde uniformidad de soporte, se incrementan los esfuerzos de flexión y finalmente sobreviene la rotura de la losa, (figura III.2).

La importancia del fenomeno de bombeo ha sido ratificada en los ensayos viales ejecutados hasta el presente, particularmente en el ensayo AASHO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS DE E.U.). -- Estas investigaciones, así como la observación de pavimentos reales en servicio, han permitido llegar a la conclusión de que el único control efectivo de bombeo es la colocación de una capa de material granularo estabilizado entre el pavimento y la sub-rasante y que se denomina sub-base.

La función primordial de la sub-base es, pues, prevenir el bombeo, sobre sub-rasantes bombeables sometidas a tráfico pesado, no solo es -- recomendable si no absolutamente necesaria la colocación de sub-base. -- Una vez colocada, ella desempeña algunas funciones, tales como:

- a) Ayudar a controlar los cambios de volumen en sub-rasantes altamente expansivos.
- b) Disminuir los efectos de las heladas (practicamente ausentes en la totalidad del país).
- c) Mejorar la capacidad de soporte del suelo de la sub-rasante.
- d) Proporcionar una superficie limpia y estable para los trabajos de pavimentación.

Para la construcción de sub-bases puede utilizarse arena, grava -- arenosa, piedra triturada o combinaciones de estos materiales. Para -- que sean efectivos contra el fenomeno de bombeo deben satisfacer los -- siguientes requisitos.

- | | | |
|-------------------------------|---|---------------------------------|
| - Tamaño Máximo del agregado | : | 1/3 del espesor de la sub-base. |
| - % que pasa la malla No. 200 | : | 15% máximo |
| - Índice de Plasticidad | : | 6 máximo |
| - Limite Liquido | : | 25 máximo |

Los materiales granulares son susceptibles de sufrir asentamientos permanentes (por densificación) bajo las cargas del tránsito a menos - que se compacte a densidades muy altas.

La figura III.4 presenta graficamente los asentamientos sufridos por una sub-base granular a diversos porcentajes de compactación, según los resultados de una investigación adelantada por la PCA (Portland Cement Association).

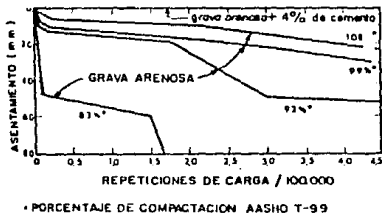


FIG. III.4

INFLUENCIA DE LA COMPACTACION EN LOS ASENTAMIENTOS DE LA SUB-BASE.

Para evitar este efecto se recomienda una compactación del 100% - de PVSM (obtenida con la prueba proctor Normal).

Obviamente, durante la construcción debe adelantarse un riguroso - control de la densidad de campo de la sub-base para poder garantizar el adecuado comportamiento del pavimento.

Espesor de la Sub-base

Los asentamientos ocasionados en la Sub-base granular por el tráfico dependen también muy estrechamente del espesor de ella. La figura -- III.5 muestra los resultados de ensayos con cargas cíclicas sobre una sub base granular compactada al 100% de la máxima densidad proctor Normal -- con 10, 15 y 30 cm de espesor.

Como el asentamiento es mayor en las zonas sometidas a mayores esfuerzos (juntas y bordes), este fenómeno implica una drástica disminución de la uniformidad de soporte.

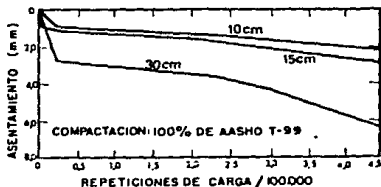


FIG. III.5
INFLUENCIA DEL ESPESOR DE
LA SUB-BASE GRANULAR EN
ASENTAMIENTOS.

Por otra parte tanto en carreteras de ensayo como en vías de servicio se ha observado que las sub-bases de 5 a 8 centímetros de espesor, funcionan efectivamente contra el fenómeno de bombeo, aún bajo cargas continuadas de vehículos pesados.

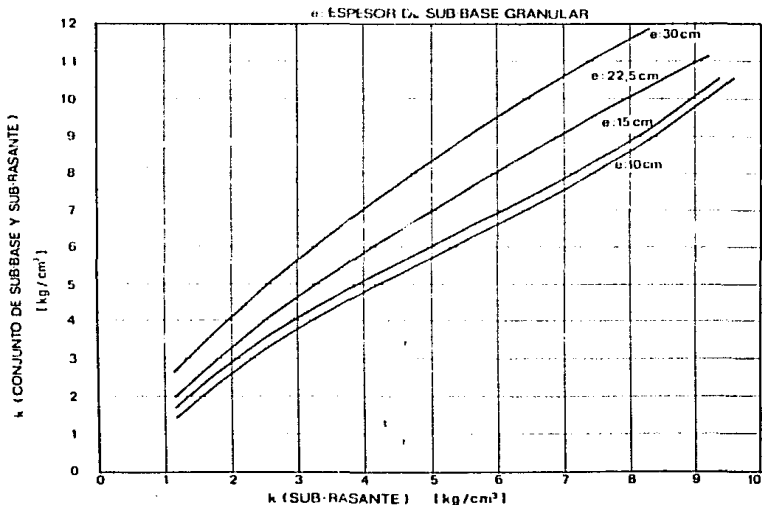
En conclusión el empleo de sub-bases de espesores mayores de 10 cm de espesor no ofrece protección adicional contra el fenómeno de bombeo, y en cambio a más de elevar el costo del proyecto, conduce a asentamientos indeseables en el tráfico. Por estas razones, la practica racional es utilizar espesores de 10 a 15 cm para las sub-bases granulares, cuando estas se requieran. Solo en casos excepcionales de trafico muy pesado (como en aeropuestos importantes) se justifica el empleo de sub-bases hasta de 30 cm. Ya que la magnitud de las cargas exige mejorar considerablemente la capacidad de soporte de la sub-rasante.

Aunque la sub-base se coloca primordialmente para controlar el fenómeno de bombeo, ella tiene algunos efectos colaterales benéficos, uno de los cuales es incrementar el valor del modulo de reacción del sistema. Estudios realizados han permitido calcular teoricamente los valores de "K" correspondientes a distintas condiciones de sub-rasantes y de espesores de sub-base, los cuales aparecen en la figura III.6.

Es posible visualizar la escasa influencia del espesor de la sub-base granular en el valor de "K", y, de ahí en el espesor de las losas. Tal es la razón para afirmar que, normalmente, la colocación de una sub-base granular no se justifica económicamente con el solo objeto de mejorar la capacidad de soporte de la sub-rasante y ahorrar concreto en las losas.

Sin embargo cuando por cualquier motivo se proyecta la colocación de una sub-base, el valor de K para el diseño del espesor de la losa de concreto puede tomarse de la figura 111.6.

FIG. 111. 6 INFLUENCIA DEL ESPESOR DE LA SUB-BASE GRANULAR EN EL VALOR DE "K"



Efectos adicionales de las sub-bases mejoradas con cemento

Aparte de ofrecer un excelente control del bombeo de la sub-rasante, - las sub-bases mejoradas con cemento, presentan altas propiedades mecánicas que influyen favorablemente en el comportamiento del pavimento, tal como - se describe a continuación:

1.- Las sub-bases mejoradas con cemento son prácticamente insensibles a los efectos de densificación ocasionadas por el tráfico, es decir, no sufren asentamientos permanentes una vez colocados y - - compactados debidamente, la figura III.4 muestra el comportamiento de una sub-base de grava-arenosa estabilizada con 4% de cemento, a pesar de que las repeticiones de carga se llevaron hasta - -- 1'000,000.00, no se observó asentamiento medible, como lo indica la línea horizontal superior de la figura.

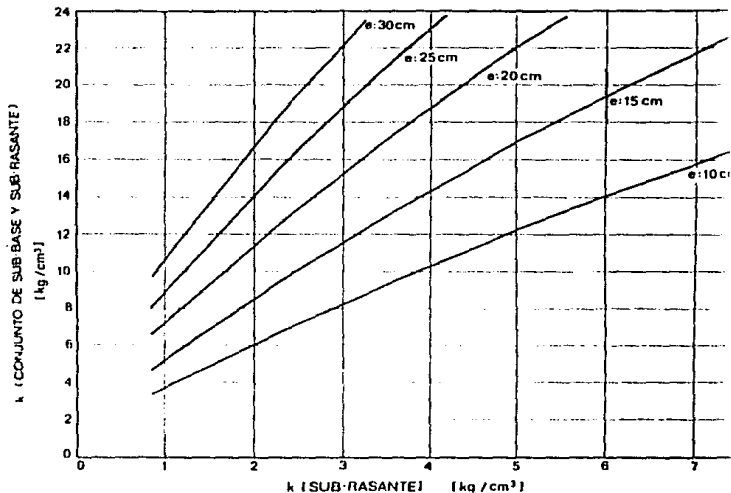
2.- El alto valor de soporte de las sub-bases mejoradas con cemento - implica un aumento sustancial en el valor de "k" que se traduce - en reducciones sensibles en el espesor de las losas de concreto - (2.5 a 5 cm.), especialmente en los casos de tráfico muy pesado. - La figura III.8 presenta la influencia del espesor de la sub-base en el valor de "k" para diferentes condiciones de sub-rasante.

Estos valores son conservativos si se comparan con los resultados de ensayos de placas ejecutados directamente sobre la sub-base -- (se han obtenido resultados hasta de 30 kg/cm³), los cuales no son recomendables como parámetros de diseños porque parecen conducir a sub-dimensionar los espesores de las losas. Para el proyecto estructural del pavimento con sub-base mejorada con cemento pueden utilizarse los valores de "k" que aparecen en la figura III.8.

3.- Una consecuencia de la alta capacidad de soporte de este tipo de - sub-base es la eficiencia en la transferencia de carga a través de las juntas de losas apoyadas en ella. La figura III.9 es el resu

FIG. III.8

INFLUENCIA DEL ESPESOR DE LA SUB-BASE
TRATADA CON CEMENTO EN EL MODULO DE -
REACCION "K" DE LA SUB-RASANTE.



tado de una investigación de laboratorio llevada a cabo por la PCA (Portland Cement Association) sobre una losa de concreto simple, - con juntas transversales desprovistas de pasadores.

El concepto eficiencia es la relación porcentual entre la deflexión de la losa no cargada y la deflexión promedio de las dos losas en la junta.

Se observa que después de 1'000,000.00 de repeticiones de carga, - la sub-base granular ha perdido prácticamente toda su eficiencia, - en tanto que la mejorada con cemento permanece por encima del 50%. Este comportamiento permite la construcción de pavimentos de concreto sin refuerzo, con juntas transversales espaciadas hasta 6.0m con excelentes resultados.

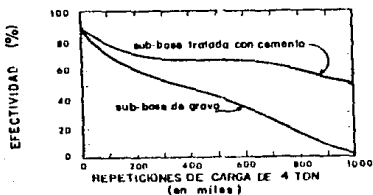


FIG. III.9
EFECTO DEL TIPO DE
SUB-BASE SOBRE LA
EFICIENCIA EN LA JUNTA

- 4.- Sub-bases mejoradas con cemento de 10 a 15 cm de espesor son altamente efectivas para uniformizar sub-rasantes heterogéneas ó para controlar sub-rasantes altamente expansivas. La impermeabilidad del suelo mejorado con cemento minimiza las variaciones de humedad en el suelo y por tanto sus cambios volumétricos.

Con frecuencia los materiales que forman parte de la sub-rasante presentan características favorables que pueden substituir las funciones de la sub-base y por tanto, ésta se hace innecesaria. Asimismo en investigaciones conjuntas llevadas a cabo por la Portland Cement Association (PCA) y varios departamentos de carreteras de los Estados Unidos, se llegó a la -- conclusión que la colocación de la sub-base no se justifica desde el punto de vista económico en los siguientes casos:

- 1.- En pavimentos con tráfico diario no mayor de 200 vehículos pasados.
- 2.- En sub-rasantes que contengan más del 55% retenido en la malla No. 200 e índice de plasticidad no mayor de 6, con tráfico moderado .

Sin embargo en la práctica nacional de acuerdo al Ingeniero Fernando - Olivera Bustamantes (reconocido Ingeniero en vías terrestres y Autor del Libro "Estructuración de vías Terrestres"), únicamente podría omitirse el uso de sub-bases en sub-rasantes que contengan un máximo de 10% de finos, una contracción lineal menor de 6% con un tráfico moderado.

Así mismo en sub-rasantes con un pendiente mayor del 3% aunque cumplan las características anteriores, no solamente es recomendable sino necesario colocar una sub-base rigidizada, para evitar la tubificación en las capas - del pavimento, que ha sido la causa de falla de algunos pavimentos rígidos urbanos construidos en México, en especial los construidos en la colonia - Lomas Anahuac en el Estado de México.

III.4.3 LOSAS DE CONCRETO HIDRAULICO

La parte superior de los pavimentos rígidos, son las losas de concreto hidráulico, las cuales proporcionan la superficie de rodamiento.

El concreto hidráulico es un material petreo artificial, que se elabora -- mezclando parte de agua y cemento Portland, con arena y grava, en proporciones tales que se produzcan la resistencia y la densidad deseadas. A continuación se estudia cada uno de los materiales que intervienen en la fabricación del concreto hidráulico, así como sus características para los pavimentos rígidos.

1.- CEMENTO PORTLAND

El cemento Portland se fabrica a partir de combinaciones de piedra caliza, margas y otro material calcareo y arcilla, pizarra y otras sustancias similares arcillosas. Estas se trituran y se pulverizan, se mezclan en proporciones cuidadosamente determinadas, y se queman para formar un clínquer a una temperatura de 1538°C, finalmente el clínquer enfriado y una pequeña cantidad de yeso para controlar la rapidez de fraguado se pulverizan íntimamente hasta que casi todo pasa a través de un tamiz No. 200, finalmente el cemento se envasa en sacos de 50 kg.

TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

TIPO I

PORTLAND ORDINARIO

Es el más comúnmente especificado para pavimentos, así como el más común en la construcción en general.

TIPO II

PORTLAND MODIFICADO

Para construcción general de concreto, expuesta a una moderada acción de los sulfatos o en donde se requiere un moderado calor de hidratación.

TABLA III.10 CARACTERISTICAS DE COMPOSICION Y RESISTENCIA
 DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

TIPOS DE CEMENTO	COMPOSICION EN COMPUESTOS %				RESISTENCIA A LA COMPRESION, % DE LA RESISTENCIA DE CEMENTO NORMAL	
	C ₃ S	C ₂ A	C ₃ A	C ₄ AF	3 DIAS	28 DIAS
I	45	27	11	8	100	100
II	44	31	5	13	80	85
III	53	19	10	10	190	130
IV	28	49	4	12	50	65
V	38	43	4	8	65	65

DONDE: C₃S = SILICATO TRICALCICO
 C₂S = SILICATO BICALCICO
 C₃A = ALUMINATO TRICALCICO
 C₄AF = ALUMINIO-FERRITA TETRACALCICA

TIPO III	PORTLAND DE ENDURECIMIENTO RAPIDO Para una creación rápida de resistencia elevada
TIPO IV	PORTLAND DE BAJO CALOR DE HIDRATACION
TIPO V	PORTLAND DE ALTA RESISTENCIA A LOS SULFATOS.

Las propiedades esperadas en los diferentes tipos de cemento se fijan cuidadosamente en las especificaciones de las oficinas de carreteras. Para satisfacer estas especificaciones, las muestras deben pasar por un número de pruebas químicas y físicas que solamente pueden hacerse en un laboratorio bien equipado. Las pruebas químicas constituyen, efectivamente, un análisis químico para determinar si los compuestos que proporcionan resistencia aparecen o no aparecen en la cantidad apropiada, y si existen cantidades excesivas de ciertas sustancias indeseables. Las pruebas físicas incluyen la de finura, tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión de los morteros. Cada fábrica de cemento dispone de un laboratorio completo de pruebas y mantiene un estrecho control sobre el producto. Raramente se envasan cementos que no satisfagan las especificaciones.

Químicamente el cemento Portland tiene 4 constituyentes principales, éstos son: Silicato tricálcico (C_3S), Silicato bicálcico (C_2S) aluminato tricálcico (C_3A) y Aluminio-Ferrita tetracálcica (C_4AF). Las proporciones de éstos compuestos en los diferentes tipos de cemento se muestran en la tabla III.10. La rapidéz con la cual las muestras de prueba hechas con los diferentes cementos adquieren resistencia también aparecen en la tabla. Las variaciones resultan debido a que la velocidad de la reacción química entre cada compuesto y el agua en cada caso es diferente. Tanto el silicato tricálcico como el aluminato tricálcico hidratado reaccionan muy rápidamente, mientras que los otros reaccionan más lentamente. Tal como es de esperarse en la tabla III. 10 muestra que el cemento de alta resistencia rápida tiene elevados porcentajes de los compuestos que reaccionan más rápidamente.

2.- AGUA DE MEZCLA

El agua de mezcla debe de estar libre de ácidos, alcalis y aceites. - Las aguas que contienen material vegetal en putrefacción deben evitarse -- particularmente, ya que pueden interferir con el fraguado del cemento, generalmente el agua potable es satisfactoria para el concreto, con la posible excepción del agua potable que contiene grandes cantidades de sulfatos

3.- AGREGADOS

Los agregados minerales forman aproximadamente 76% del volúmen ó toscamente el 80% del peso del concreto normal para pavimentación. Se concluye que, si un pavimento se requiere que sea fuerte, sólido y duradero, los agregados deben tener propiedades similares. Esto es de importancia particular en las zonas en donde el invierno produce temperaturas de congelación, nieve y escarcha, bajo estas condiciones, el concreto está sometido a heladas y deshielo, al golpeo y desgaste ocasionado por las cadenas de las llantas y a la acción del cloruro de calcio, la sal u otros agentes -- contra la congelación y contra el derrape. Para hacer que esta elevada cantidad sea asegurada, los departamentos de carreteras ó pavimentos, han -- prescrito que los agregados pasen por pruebas apropiadas para la resistencia, sólides, desgaste, ó combinaciones de las tres.

El tamaño máximo permitido para el agregado grueso para el concreto -- de pavimentación, es generalmente de 5.08, 6.35 ó 7.62 cm. Estos máximos se exeden en gran medida con respecto a los utilizados para el concreto -- estructural, en donde el acero de refuerzo con poca separación limita el -- tamaño del agregado. La granulación del agregado grueso está sujeto a un control cuidadoso así como el del agregado fino y los métodos para combinarlos extienden el control de los tamaños al concreto mismo.

3-A CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS FINOS.

Un requisito general es que los agregados finos deben constar en arena natural ó, sujetos a aprobación, en otros materiales inertes con características similares, ó combinaciones de los mismos que tengan partículas resistentes, duras y duraderas. Es usual reforzar este requisito fijando límites máximos para las cantidades de substancias perjudiciales. Los límites recomendados máximos propuestos por la AASHO (Asociación Americana de funcionarios de carreteras), aparecen en la tabla III.11

**TABLA III.11 CANTIDAD DE MATERIALES PERJUDICIALES
ADMISIBLES EN LOS AGREGADOS FINOS PARA EL CONCRETO
BASADO EN LAS ESPECIFICACIONES AASHO PARA
MATERIALES DE CARRETERAS**

SUBSTANCIA	LIMITES ADMISIBLES RECOMENDADOS % EN PESO	LIMITES ADMISIBLES MAXIMOS % EN PESO
GRUPOS DE ARCILLA	0.5	1.0
CARBON Y LIGNITO	0.25	1.0
MATERIAL QUE PASA A TRAVEZ DEL TAMIZ No. 200		
a) En el concreto sujeto a abrasión superficial	2	4
a) En todas las otras clases de concreto	3	5

La granulaci3n del agregado fino, en peso, tal como lo recomienda la AASHO, es como sigue:

- % Que pasa a trav3z de la malla de 1.90 cm (3/4")	100
- % Que pasa a trav3z de la malla No. 4	95-100
- % Que pasa a trav3z de la malla No.16	45-80
- % Que pasa a trav3z de la malla No. 50	10-30
- % Que pasa a trav3z de la malla No. 100	2-10

Muchos ingenieros creen que una especificaci3n de "porcentaje de paso" por s3 sola, no asegura la uniformidad de los agregados finos, ya que las arenas que var3an de gruesas a finas, todas caer3n dentro de los l3mites - de granulaci3n usuales. Para evitar estas fluctuaciones las especificaciones de la AASHO tambi3n requieren que el m3dulo de finura de la arena procedente de un origen dado permanezca constante. La variaci3n usual permitida es de 0.2 en cualquier sentido con respecto a una muestra tipo.

La resistencia de los agregados finos se mide mediante pruebas de -- compresi3n o extensi3n de los morteros de cemento y arena. Las especificaciones de la AASHO establecen una resistencia m3nima a la compresi3n del 90% con respecto a una muestra tipo.

3-B CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS GRUESOS

El requisito general es que los agregados gruesos consistan en piedra triturada, grava, escoria de altos hornos u otros materiales inertes - aprobados, de caracter3sticas similares, 3 combinaciones de los mismos, -- que tengan piezas duras, resistentes y duraderas, libres de revestimientos adherentes. Los l3mites de los materiales perjudiciales, basados en las - recomendaciones de la AASHO, aparecen en la tabla III.12

**TABLA III.12 CANTIDADES DE MATERIALES PERJUDICIALES
ADMISIBLES EN LOS AGREGADOS GRUESOS
PARA EL CONCRETO**

SUBSTANCIA	LIMITES ADMISIBLES RECOMENDADOS % EN PESO	LIMITES ADMISIBLES MAXIMOS % EN PESO
- FRAGMENTOS BLANDOS	2	5
- GRUMOS DE ARCILLA	0.25	1
- MATERIAL QUE PASA A TRAVEZ DE LA MALLA No. 200	0.50	1.0
- PIEZAS DELGADAS O ALARGADAS (longitud mayor 5 veces el espesor promedio)		15

En algunas ocasiones se está obligado a aceptar porcentajes mayores de ciertos materiales objetables, debido a que se encuentran presentes en todos los depósitos locales y no es económico aportar agregados de orígenes distantes.

En la tabla III.13 se presentan las recomendaciones de la AASHO para el agregado grueso para el concreto en la construcción de pavimentos rígidos. Los números de tamaño 467 (3.81 cm (1½") al No. 4) y 357 (5.08 cm (2") al No. 4) son representativos de las granulaciones adecuadas para el concreto de pavimentación.

Las granulaciones frecuentemente se establecen separadamente para dos escalas de tamaños gruesa y fina. Los agregados de tamaño No. 3 (5.08 cm (2") a 2.54 cm (1")) y del No. 57 (2.54 cm (1") a la malla No. 4) serán combinadas para producir la granulación deseada del agregado de 5.08 centímetros a la malla No. 4. Los tamaños de la malla No. 4 al No. 67, asimismo pueden combinarse, con la separación entre ellos sobre la malla de 3/4".

Para medir la resistencia por abrasión de los agregados gruesos se utiliza la prueba de los Angeles, la cual consiste en colocar un agregado de granulometría especificado en un tambor cilíndrico que está montado horizontalmente con un anaquel en el interior, se añade una carga de bolas de acero, y se aplica al tambor un número especificado de revoluciones. El choque entre agregado y las bolas da por resultado la abrasión y el rozamiento del agregado, la proporción del material quebrado, que se expresa como porcentaje, representa el valor de la abrasión. La AASHO recomienda un porcentaje máximo de desgaste del 40%.

**TABLA III.13 GRANULACION DE LOS AGREGADOS GRUESOS PARA EL CONCRETO
EN LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS
RECOMENDADOS POR LA AASHO**

MALLA	No. DE	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA A TRAVEZ DE LAS MALLAS							
		5.08 cm (2 pulg)	6.35 cm (2½ pulg)	3.81 cm (1½ pulg)	2.54 cm (1 pulg)	1.91 cm (¾ pulg)	1.27 cm (½ pulg)	0.95 cm (3/8 pulg)	No.4
1.27 cm al No. 4	7	- o -	- o -	- o -	- o -	100	90-100	40-70	0-15
1.91 cm al No. 4	67	- o -	- o -	- o -	100	95-100	- o -	20-55	0-10
2.54 cm al No. 4	57	- o -	- o -	100	95-100	- o -	25-60	- o -	0-10
3.81 cm al No. 4	467	- o -	100	95-100	- o -	35-70	- o -	10-30	0-10
5.08 cm al No. 4	357	100	95-100	- o -	35-70	- o -	10-30		0-5
3.81 cm a 1.91 cm	4	- o -	100	90-100	20-55	0-15		0-5	
5.08 cm a 2.54 cm	3	100	95-100	35-70	0-15	- o -	0-5		

4.- DOSIFICACION DEL CONCRETO PARA PAVIMENTOS

4-A) RELACION AGUA-CEMENTO

Para una combinación dada de materiales, la resistencia y otras propiedades convenientes de la mezcla de concreto varían casi directamente con la relación de cemento a agua de mezcla. Esta idea desarrollada en el año de 1920 por Duff Abrams, es básica para la apropiada preparación del concreto. Dice, en efecto, que, para mezclas de proporciones razonables, la calidad depende de la riqueza de la pasta de cemento y agua; para ilustrar, un concreto con una relación de agua a cemento de 19 litros de agua por saco de cemento tendrá una resistencia a la compresión, en 28 días, aproximadamente de 352 kg. por centímetro cuadrado. Otra con una relación de agua a cemento de 26.5 litros por saco, pero similar a la primera en todos los demás aspectos, desarrollará una resistencia a los 28 días, solamente de 232 kg. por centímetro cuadrado. La duración también depende de la relación agua-cemento y fija un segundo control sobre la riqueza de la pasta. Considerando estos factores, las especificaciones de la AASHTO para la construcción de pavimentos de concreto establecen el contenido máximo de agua en 22.8 litros por saco de cemento, aunque esto puede variar de acuerdo a la calidad de los agregados.

4-B CONSISTENCIA

Una mezcla de concreto debe ser lo suficientemente manejable como para que pueda ser colocada en las partes más inaccesibles de las formas. Por otra parte, no ser tan húmeda que los agregados y el mortero se separen. De tal modo, para cada clase de obra de concreto, existe una escala de consistencia que es la más adecuada. Para los pavimentos en donde la losa es delgada y el concreto puede ser fácilmente manipulado desde la superficie, lo mejor es una mezcla consistente. El revenimiento generalmente especificado para los pavimentos colocados por medio de máquinas, es de 4.0 a 7.00 centímetros, y el de los pavimentos colocados por medio de máquinas y vibrados es de 1.50 a 4.00 centímetros.

4-C DOSIFICACION DE LOS AGREGADOS

Es útil imaginarse el concreto como una mezcla de agregados gruesos y finos que se hace manejable mediante la adición de una pasta de cemento y agua. La economía demanda que exista suficiente pasta para llenar los huecos del agregado y para proporcionar lubricación. Cuatro medios para reducir la cantidad de pasta son:

- 1.- Asegurarse de que el agregado esta apropiadamente graduado desde grueso hasta fino.
- 2.- Utilizar un porcentaje más pequeño de arena, que sea compatible con manejo apropiado
- 3.- Exigir el revenimiento mínimo compatible con la colocación apropiada y el acabado.

C A P I T U L O I V

MÉTODOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

IV.1 INTRODUCCION

El propósito del diseño es encontrar el espesor mínimo de acuerdo a los requerimientos de servicio. Existen diferentes métodos para la determinación de espesores de pavimentos rígidos, en este trabajo se presentan los más utilizados y se explica el criterio de diseño de cada uno, Asimismo se marcan las diferencias entre cada método; los cuales se presentan a continuación:

- 1.- Método de fatiga de la Asociación de Cemento Portland
- 2.- Método de fatiga y erosión de la Asociación de Cemento Portland -- (este método fue publicado en el año de 1984 por la Asociación de Cemento Portland en un informe titulado "Thickness Design for concrete Highways and Street Pavements".
- 3.- Gufa provisional AASHO para el diseño de pavimentos rígidos.

A continuación se estudian los factores que intervienen en cada uno de los métodos.

IV.2 GENERALIDADES

Los esfuerzos en una losa de pavimento rígido son originados por dos causas principales: El tránsito que pasa sobre el pavimento y los cambios de volumen que tienen lugar dentro del concreto durante y después del periodo de fraguado. Las cargas de rueda producen esfuerzos de flexión en todos los sentidos y los cambios de volumen que tienen lugar en el concreto, produce esfuerzos de tensión, compresión y flexión.

IV.2.1 ESFUERZOS DEBIDOS A LAS CARGAS

En el año de 1925 Westergard estudió los esfuerzos debidos al tránsito en 3 posiciones de las llantas:

- a) Cuando la huella de una de ellas es tangente en forma simultánea a 2 orillas, o sea que la llanta está en una esquina; en este caso, la

losa trabaja en cantiliver y los esfuerzos principales de tensión se presentan haciendo un ángulo de 45 grados con respecto a las orillas y en la parte superior FIG. IV.1.

En este caso los esfuerzos se calculan con la siguiente fórmula:

$$= \frac{3P}{d^2} \left[1 - \left(\frac{a}{r} \right)^{1.2} \right]$$

b) la siguiente posición estudiada es cuando la huella de la llanta es tangente solo a una orilla de la losa (Fig. IV.2), en este caso, el esfuerzo principal de tensión es paralelo a la orilla y se presenta en la parte inferior, la magnitud de este esfuerzo se calcula con la siguiente fórmula:

$$= \frac{0.572P}{d^2} \left[4 \log_{10} \left(\frac{r}{b} \right) + 0.359 \right]$$

FIG. IV.1 ESFUERZOS QUE SE PRESENTAN EN UN PAVIMENTO RIGIDO CUANDO LA LLANTA ES TANGENTE A 2 ORILLAS

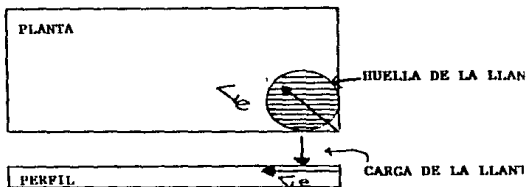
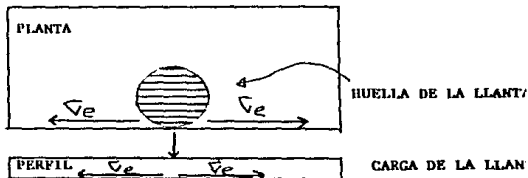


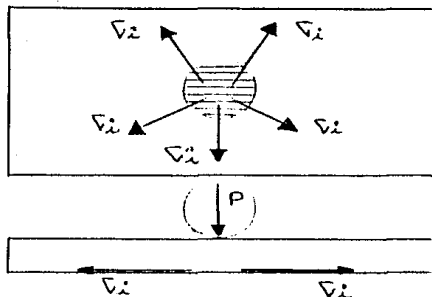
FIG. IV.2 ESFUERZOS QUE SE PRESENTAN EN UN PAVIMENTO RIGIDO CUANDO LA LLANTA ES TANGENTE A UNA SOLA ORILLA



c) Asimismo se estudiaron los esfuerzos de la losa de concreto hidráulico cuando la llanta está en el centro de ella. En esta posición los esfuerzos máximos de tensión se desarrollan en el lecho inferior de la losa y en forma radial (fig. IV.3) y su valor se obtiene de la siguiente manera:

$$= \frac{0.316 P}{d^2} [4 \log_{10} \left(\frac{r}{b} \right) + 1.069]$$

FIG. IV.3



HUELLA DE LA LLANTA

En estas igualdades aparecen los siguientes términos

- σ_e, σ_i = ESFUERZO DE TENSION MAXIMO [Kg]
 P = CARGA TRANSMITIDA A LA LOSA A TRAVES DE LA LLANTA [cm]
 a, b = SEMI-EJES DE LA ELIPSE QUE REPRESENTA LA HUELLA DE LA LLANTA [cm]
 d = ESPESOR DE LA LOSA [cm]
 r = RADIO DE RIGIDEZ RELATIVA [cm]

$$r = \sqrt[4]{\frac{Ed^2}{12(1-U^2)k}}$$

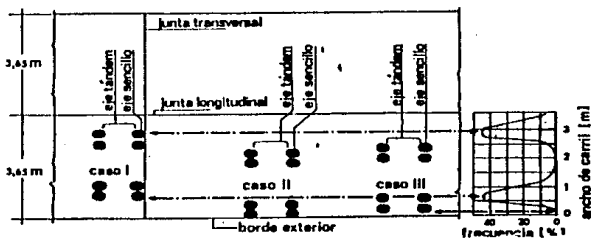
U = MODULO DE POISSON DEL CONCRETO = 0.15

k = MODULO DE REACCION DE LA SUB-RASANTE [Kg/cm

E = MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO [Kg/cm

Para una carga dada el mayor esfuerzo se produce en la esquina y el menor en el interior, por tal razón los pavimentos antiguos de 2.85 m de ancho por carril se diseñaban para el caso de carga de esquina que era la ocurrencia más alta. Sin embargo las calzadas actuales se aproximan a 3.65 metros de ancho y en estas circunstancias solo una mínima parte del tráfico produce cargas de esquina o carga de orilla. De esta manera los bordes de las juntas transversales se han constituido en las zonas más críticas para el diseño. La figura IV.4 muestra la distribución del tráfico para un ancho de carril de 3.60 metros y presenta 3 posiciones de ejes (sencillos y tandem) denominados caso I, caso II y caso III que permiten fijar un criterio para escoger la posición de la carga para el diseño.

FIG. IV.4 POSICION DE LA CARGA Y DISTRIBUCION DEL TRAFICO PARA CARRIL DE 3.65 METROS DE ANCHO.



En el caso I muestra un eje sencillo o tandem, localizado en el borde de una junta transversal y en el punto de mayor frecuencia de aplicación de cargas, en el caso II, un eje en el borde exterior del pavimento; El caso III es igual al caso II pero con las ruedas desplazadas 15 cm. hacia

adentro del borde. Utilizando las fórmulas de Westergaard, a través de un procedimiento desarrollado por G. Pickett y G Ray en 1951 se llega a las siguientes conclusiones:

- a) Para eje sencillo, el caso II solo produce mayores esfuerzos que el caso I, cuando la rueda exterior se encuentra a menos de 7.5 cm. del borde exterior. Según el diagrama de distribución de tráfico de la figura IV.5, esto sólo ocurre con el 0.2% de frecuencia, es decir, el caso I da mayores esfuerzos para el 99.8% del tráfico de ejes sencillos.
- b) Para eje tandem, el caso II es más desfavorable que el I cuando la rueda exterior se encuentra a menos de 2.5 cm. del borde exterior, lo que ocurre el 0.1% de las veces. Por tanto, el caso I da mayores esfuerzos para el 99.9% del tráfico de ejes tandem.

En conclusión los pavimentos de 3.65 metros de ancho se diseñan para el caso I. En pavimentos más estrechos, es necesario verificar los esfuerzos de borde (Caso II).

El ejemplo de fórmulas de Westergaard se han simplificado mediante el trabajo de Pickett y Ray ya mencionado, consistente en la elaboración de "Cartas de Influencia" para diversos casos de posición de carga (interior, borde ó esquina). Estas cartas permiten encontrar la posición más desfavorable de los ejes mediante la construcción de las huellas de las ruedas a escala apropiada.

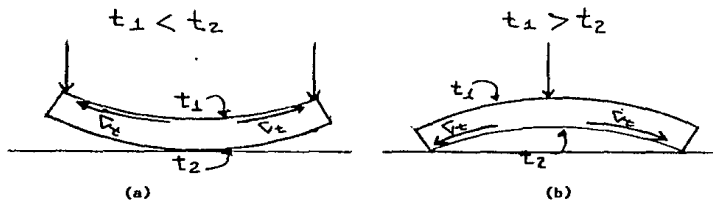
IV.2.2 ESFUERZOS DEBIDOS AL CAMBIO DE TEMPERATURA

Quando el cambio de temperatura es igual en la parte superior e inferior de la losa, se presentan los fenómenos de dilatación y contracción, pero si se encuentran en forma simultánea a diferentes temperaturas se tiene un gradiente que hace que se presenten alabeos. Si la temperatura de la superficie es menor que en la parte inferior (Fig. IV.5-a), el alabeo es hacia arriba o sea que la superficie de rodamiento se torna concava, en el caso contrario el alabeo es hacia abajo o sea que la superficie de rodamiento se torna convexa (Fig. IV.5-b)

La importancia de la combadura de las losas no consiste en los esfuerzos que se producen durante la combadura, sino en el hecho de que las esquinas y las orillas de las losas tienden a levantarse de su superficie de apoyo, esto reduce el soporte dado al pavimento por la sub-rasante e incrementa los esfuerzos de flexión producidos por las cargas de rueda.

En las esquinas de las losas, donde los esfuerzos debidos a las cargas son los más grandes, los esfuerzos de combadura son despreciables por la razón de que la tendencia de la losa a combarse es resistida por una pequeña porción de concreto. Las fórmulas previamente mencionadas para la determinación de los esfuerzos de flexión, fueron desarrolladas de tal manera -- que dieran resultados que concordaran con los esfuerzos reales medidos, -- cuando la losa esta combada hacia arriba. La influencia de la combadura en los esfuerzos está ampliamente tomada en cuenta tanto en las fórmulas como en las gráficas construidas con éstas fórmulas.

FIG. IV. 5 EFECTO DE ALABEO EN LAS LOSAS DE CONCRETO DE PAVIMENTOS RIGIDOS



t = TEMPERATURA

V_t = ESFUERZO DE TENSION

P = CARGA DE RUEDA

IV.2.3 MODULO DE RUPTURA DEL CONCRETO (MR)

En el cálculo de pavimentos rígidos se emplea el módulo de ruptura (MR) a la flexión, que es el valor empírico que representa el esfuerzo en las fibras más alejadas de una viga en el momento de la ruptura, suponiendo al calcularlo que el esfuerzo varía directamente con la distancia al eje neutro de la viga, ya que la falla en una losa de pavimento rígido es debida a la flexión producida por la carga que transportan las ruedas de los vehículos. su obtención es por medio de la prueba de tensión por flexión, que consiste en llevar a la ruptura a una viga curada durante 28 días, con sección transversal de 225 cm² (15 cm. por lado y 60 de longitud); la carga se proporciona en dos puntos de apoyo en la parte superior de la viga y dos apoyos en la parte inferior en los tercios; el módulo de ruptura se calcula con la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{PL}{bd^2} \quad [\text{kg/cm}^2]$$

DONDE:

P= CARGA DE RUPTURA	[kg]
L= DISTANCIA ENTRE APOYOS INFERIORES	[cm]
b= ANCHO DE LA VIGA	[cm]
d= PERALTE DE LA VIGA	[cm]

En la figura IV.6 se presenta una correlación entre el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días.

De acuerdo a los materiales petreos y el cemento Portland que se use en una obra determinada, se puede ajustar la correlación y como la prueba de tensión por flexión es más elaborada y consume mayor volumen de concreto, se puede realizar el control, con el objeto de reducir el número de vigas y completar la verificación por medio de cilindros para probarlos a la compresión.

Para el caso de pavimentos rígidos la resistencia a la flexión requerida será entre 40 y 45 kg/cm². En el caso de una resistencia de 45 kg/cm², puede considerarse que el diseño del laboratorio es adecuado si por lo menos el 80% de todos los ensayos de resistencia a la flexión, realizados en especímenes moldeados dan resultados iguales o mayores que 42kg/cm² y el promedio de cualquier grupo de cuatro ensayos consecutivos es igual o mayor que 42 kg/cm². En el caso de una resistencia de 42 kg/cm², se cumplirá el diseño del laboratorio si el 80% de todos los ensayos de resistencia a la flexión dan resultados iguales o mayores de 38 kg/cm² y el promedio de cualquier grupo de cuatro ensayos consecutivos es igual o mayor de 38 kg/cm².

La mezcla determinada para la losa de concreto deberá producir un concreto trabajable, con un revenimiento de 4 a 7.5 cm. para concretos que no vayan a vibrarse ó 1.5 a 4 cm. para concreto que vaya a vibrarse. La resistencia promedio a la compresión, no será menor de 280 kg/cm² a los 28 días.

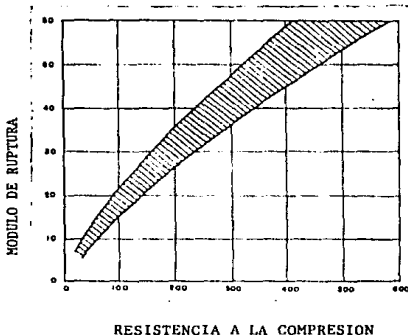


FIG. IV.6
RELACION ENTRE EL
MÓDULO DE RUPTURA
DEL CONCRETO Y LA
RESISTENCIA A LA
COMPRESION

IV.2.4 FATIGA DEL CONCRETO

Aunque la carga individual produzca en el concreto esfuerzos de flexión menores que su módulo de ruptura, y, por tanto no produzca falla en el pav

mento, la repetición de ésta misma carga un número grande de veces puede producir fatiga del material y ocasionar rotura de losas. Investigaciones realizadas por M.A. Minor han demostrado que si una carga da lugar a esfuerzos de flexión mayores que la mitad del módulo de ruptura del concreto, esa carga induce fatiga del material y, por tanto, un número suficiente de repeticiones de ella provocan la falla del pavimento, mientras que cargas que causen esfuerzos menores o iguales a la mitad de MR pueden repetirse indefinidamente pues no producen fatiga en el concreto. La tabla IV.7 es el resultado de la investigación de -- M.A. Minor y cuantifica las repeticiones de carga que dan lugar a la falla, en función de la relación entre el esfuerzo de flexión y el módulo de ruptura del concreto.

Este criterio y la tabla IV.7 son utilizados en el método de fatiga de la P.C.A. (método tradicional).

Relación de esfuerzos	Repeticiones admisibles	Relación de esfuerzos	Repeticiones admisibles
0.50	infinitas	0.68	3500
0.51	400 000	0.69	2500
0.52	300 000	0.70	2000
0.53	240 000	0.71	1500
0.54	180 000	0.72	1100
0.55	130 000	0.73	850
0.56	100 000	0.74	650
0.57	75 000	0.75	490
0.58	57 000	0.76	360
0.59	42 000	0.77	270
0.60	32 000	0.78	210
0.61	24 000	0.79	160
0.62	18 000	0.80	120
0.63	14 000	0.81	90
0.64	11 000	0.82	70
0.65	8 000	0.83	50
0.66	6 000	0.84	40
0.67	4 500	0.85	30

TABLA IV.7
TABLA PARA ENCONTRAR LAS REPETICIONES DE CARGA QUE UN PAVIMENTO RIGIDO PUEDE ACEPTAR EN FUNCION DE LA RELACION ENTRE EL ESFUERZO DE FLEXION Y EL MODULO DE RUPTURA.

IV.2.5 FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA

Los métodos antiguos para diseñar pavimentos incluían el llamado "Factor - Impacto", que incrementaba el valor de la carga estática por eje debido al efecto dinámico del movimiento de los vehículos. Sin embargo, los ensayos viales de Maryland y de la AASHO han demostrado que los esfuerzos producidos por un eje en movimiento son menores que los ocasionados cuando el mismo eje está detenido y que hacen falta periodos considerables de tiempo (hasta 5 min, según se observó en el ensayo de Arlington) para que el esfuerzo producido por un eje estático alcance su valor máximo. Estos hechos han conducido a abandonar el "Factor - Impacto" y a sustituirlo por un apropiado "Factor de Seguridad de carga" por el cual deben de multiplicarse las cargas nominales de eje. Para este factor se recomiendan los siguientes valores.

- | | |
|--|----------|
| a) Para vías de tráfico pesado (Autopistas de varios carriles) | FS = 1.2 |
| b) Para carreteras y áreas urbanas con tráfico serio | FS = 1.1 |
| c) Para carreteras secundarias, calles residenciales y otras vías de tráfico liviano | FS = 1.0 |

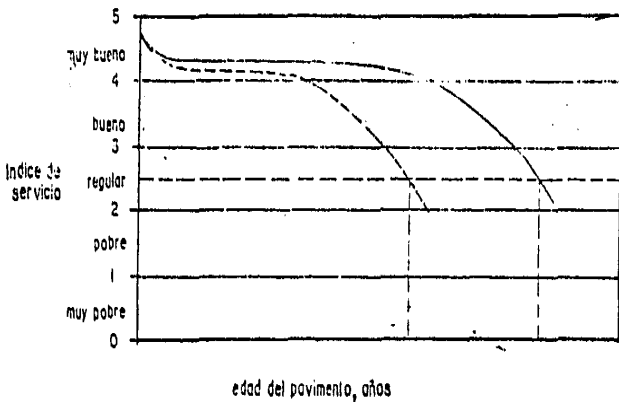
IV.2.6 PERIODO DE DISEÑO

La observación de pavimentos correctamente contruidos hace más de 40 años y que en la actualidad continúan dando servicio (aunque provistos algunas veces de capas adicionales de asfalto, para mejorar las condiciones de rodadura y absorber las crecientes cargas del tráfico actual) ha servido -- como base a la Asociación de Cemento Portland (PCA) para recomendar periodos de diseño de 40 años, muy normales en Estados Unidos. En México debido a la falta de tecnología, parece más recomendable que el periodo de diseño sea de 25 a 30 años.

IV.2.7 INDICE DE SERVICIO

El índice de servicio sirve para calificar el comportamiento de los pavimentos de acuerdo a una escala realizada para calificar los pavimentos -- existentes en E.U.A. (fig.IV.7-A) . En la escala vertical de la figura se -- observa que el índice de servicio va desde cero hasta 5, correspondiendo a un comportamiento muy pobre, pobre de 1 a 2, regular de 2 a 3, bueno de 3 a 4 y muy bueno de 4 a 5. Para determinar el valor del índice de servicio de un pavimento, se consideran las condiciones actuales del pavimento como son su resistencia al deslizamiento, la rugosidad del pavimento, capacidad del pavimento, número de grietas, de fracturas y de parches por unidad de longitud. La característica que mayor influencia tiene en el índice de servicio es la llamada rugosidad' formada por las irregularidades geométricas que -- causan los movimientos de las losas y el desgaste de la superficie (surcos), ésta rugosidad se mide con un perfilómetro en función a la variación de la pendiente longitudinal causada por las irregularidades; a mayor rugosidad -- habrá mayor incomodidad para viajar sobre el pavimento y el índice de servicio será menor.

FIG. IV.7-A ESCALA DE EVALUACION DEL INDICE DE SERVICIO BASADO EN EL COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LOS PAVIMENTOS EN ESTADOS UNIDOS



IV.3 METODO DE FATIGA DE LA ASOCIACION DE CEMENTO PORTLAND (PCA)

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

- a) Se fija un espesor tentativo de losa y se calculan los esfuerzos que en las condiciones de sub-rasante y con la calidad de concreto de -- proyecto, producen los diferentes ejes que circulan por la vía.
- b) Se calcula la fatiga que produce cada uno de esos ejes durante el número de repeticiones del mismo que hayan previsto durante la vida -- útil del pavimento.
- c) La fatiga acumulada debido a todos los ejes se compara con la admisible para verificar si el espesor supuesto originalmente es seguro ó no, reiterando el proceso con nuevos espesores se obtiene la aproximación que se desee.

Para la obtención de los esfuerzos originados por cada eje, En el borde de una junta transversal (Caso I) en base a las cartas de influencia de Picket y Ray la ASSHO desarrolló dos ábacos ó nomogramas (uno para eje sencillo y otro para eje tandem), éstos nomogramas aparecen en las figuras (IV.8) y -- (IV.9).

A continuación se describe paso por paso el método de diseño para carriles de 3.65 m. de ancho (Caso I).

- 1.- Ordenar los ejes (sencillos y tandem) en orden decreciente según su paso.
- 2.- Calcular el esfuerzo que cada eje, multiplicado por el correspondiente factor de seguridad, produce en la losa, cuyo espesor ha sido previamente fijado de modo tentativo. Estos esfuerzos se determinan por medio de las figuras (IV.8 y IV.9) y construidas para el caso I de carga.
- 3.- Calcular la relación entre el esfuerzo producido por cada eje y el valor de M.R. del concreto y con este resultado obtener de la tabla IV.7 el número de repeticiones admisibles de cada eje.

FIG. IV.8

NOMOGRAMA PARA CALCULO DE ESFUERZOS DE BORDE PARA EJE SENCILLO (CASO I)

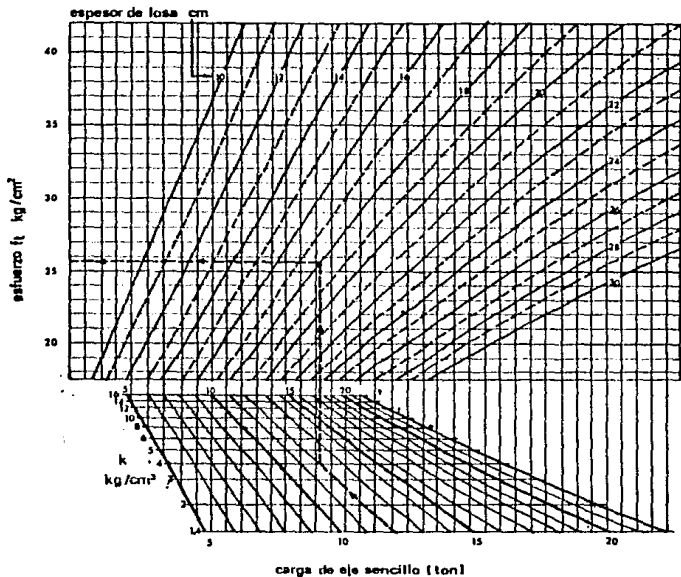
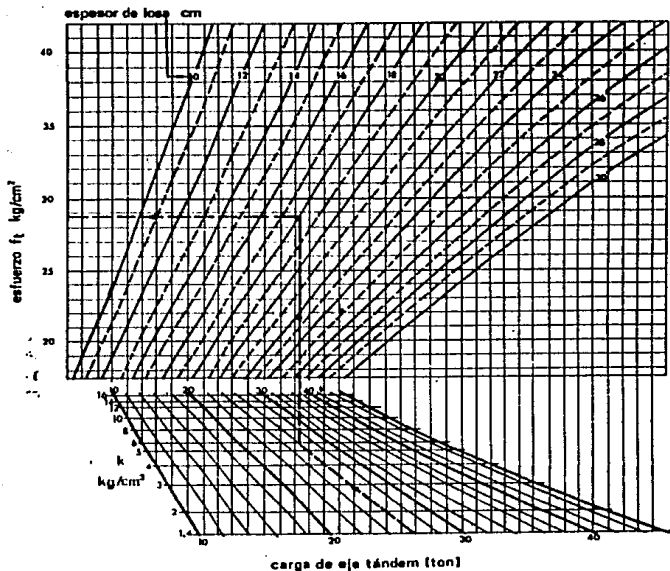


FIG. IV.9

NOMOGRAMA PARA CALCULO DE ESFUERZOS DE BOP PARA EJE TANDEM (CASO I)



- 4.- Calcular la relación porcentual entre el número de ejes previsto durante el periodo de diseño para cada carga y el admisible correspondiente, esta relación se llama consumo de fatiga.
- 5.- El método se basa en que la fatiga no consumida por un tipo de eje queda disponible para ser usada por los demás. Por tanto, el último paso es sumar los consumos de fatiga correspondiente a todos los ejes considerados y compararlos con el máximo admisible, que es, obviamente 100%.

EJEMPLO DE DISEÑO 1

Se desea construir una carretera de dos carriles de 3.65 m. de ancho de carril para un periodo de diseño de 30 años, con una sub-rasante con $K=3.00$ kg/cm³, como la sub-rasante es bombeable se propone colocar una sub-base granulada de 15 cm. de espesor (Ver solución en ejemplo No. 1).

Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente se obtienen los resultados de el ejemplo de diseño I en donde se puede observar que el consumo de fatiga con el espesor de losa propuesto es cercano al 100%, por lo que es un indicador para que la losa de concreto no falle por fatiga durante su periodo de diseño, si por el contrario el consumo de fatiga hubiera excedido el valor de 100% sería necesario repetir el cálculo mejorando bien sea el espesor de la losa ó la calidad del concreto.

IV.3.1. CORRECCION DE DISEÑO PARA CARRILES MAS ANGOSTOS

Actualmente el carril de 3.65m. de ancho, es el que más se emplea, pero pueden presentarse proyectos con carriles más angostos en los que la máxima frecuencia de repeticiones se aproxima a la orilla del pavimento, de tal manera que, para un mismo volumen de tránsito se puede requerir un espesor diferente de losa. Con ayuda de la carta de influencia de Picket y Ray, la Asociación de Cemento Portland ha construido curvas que suministran el factor por el cual debe multiplicarse el esfuerzo ocasionado por una carga de eje sobre una losa de características dadas en el caso I, para obtener el llamado "Esfuerzo de borde ponderado" que tiene en cuenta la acción del tráfico sobre el borde (Caso II). Estas gráficas se presentan en las figuras --

IV.11 y IV.12, que se utilizan para obtener los factores de ponderación de esfuerzos para anchos de carril de 3.35 m. y 3.05 m. respectivamente.

FIG. IV.10 FACTORES DE PONDERACION DE ESFUERZOS PARA VIA DE DOS CARRILES DE 3.35 m. DE ANCHO CADA UNO

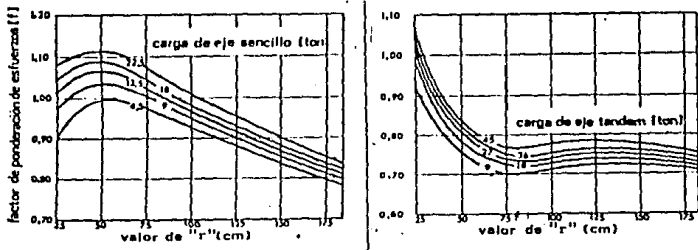
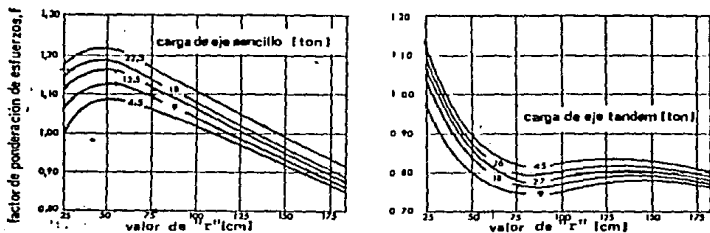


FIG. IV.11 FACTORES DE PONDERACION DE ESFUERZOS PARA VIA DE DOS CARRILES DE 3.05 m. DE ANCHO CADA UNO.



Se observa que la utilización de éstas gráficas requiere el conocimiento de un parámetro llamado "Radio de rigidez relativa de Westergaard" y representado por la letra "r". Este valor es una medida de la relación entre la rigidez de la losa de concreto y el conjunto de sub-base y sub-rasante que se calcula con la expresión:

$$r = \sqrt[4]{\frac{Ed^3}{12(1-U^2)k}} \quad [\text{cm}]$$

EN DONDE:

E = MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO	[kg/cm ²]
d = ESPESOR DE LA LOSA	[cm]
U = MODULO DE POISSON DEL CONCRETO = 0.15	
k = MODULO DE REACCION DE LA SUB-RASANTE	[kg/cm ³]
r = RADIO DE RIGIDEZ RELATIVA	[cm]

El sistema de operación del método obedece básicamente a las siguientes instrucciones:

- 1.- Se calcula el consumo de fatiga para el caso I de acuerdo al procedimiento descrito para carriles de 3.65 m de ancho.
- 2.- Se obtiene el valor de "r" para el pavimento
- 3.- Con el valor de "r" se obtiene para cada carga de eje "el factor de ponderación de esfuerzos" (f), por medio de las figuras IV.10 y -- IV.11.
- 4.- Se multiplica la relación de esfuerzos del caso I por el valor de "f" correspondiente a cada eje..
- 5.- Obtener el número de repeticiones admisibles por medio de la tabla de M.A. Minor (tabla IV.7).
- 6.- Finalmente se calcula el consumo de fatiga y se totaliza para todos los ejes, debe verificarse que el consumo total sea menor que el -- admisible pues en caso contrario el caso II llega a ser más crítico que el caso I, lo cual exige un rediseño.

EJEMPLO DE DISEÑO No. 2

Supóngase que se quiere diseñar un pavimento con las mismas características del ejemplo 1 con la única diferencia de que el ancho de carril será de 3.05 m. (Solución en Ejemplo No.2).

- Siguiendo el procedimiento mencionado anteriormente, para un "L" -- = 73.08 se obtienen los factores de ponderación de esfuerzos indicados en la columna 8 del ejemplo
- Se observa que el consumo de fatiga sobre la orilla de pavimento -- (Caso II) excede notablemente el valor admisible (222 %), aunque el consumo en la junta transversal (Caso I) suma 70%. Esto indica que este pavimento estrecho fallaría por su orilla, siendo necesario un rediseño con mayor espesor o mejor calidad de concreto. Asimismo no tase la influencia que tienen los ejes sencillos sobre la orilla, a diferencia de los ejes tandem

EJEMPLO DE DISEÑO 3

Este ejemplo se realiza para poder ver la influencia que tiene una sub-base tratada con cemento en diseño de espesores.

Con los mismos datos del ejemplo de diseño No. 2, pero colocando una sub-base de 15 cm. tratada con cemento (Ver solución en ejemplo de diseño No. 3).

Se puede observar que el "k" cambia de 3.^o kg/cm³ a 11.50 kg/cm³ por la influencia de la sub-base tratada con cemento (según la Fig. 111.8), -- asimismo el consumo de fatiga para el caso I (esfuerzos en las juntas -- transversales) disminuye de 70% a cero, se puede notar que para este caso se sobrediseñó con el espesor propuesto de 20 cm, un espesor menor puede -- satisfacer satisfactoriamente los requerimientos del diseño. Al igual que para el caso I el consumo de fatiga disminuye de 222% a 5% en el borde -- del pavimento (Caso II) y se puede notar un sobrediseño con 20 cm. de espesor propuesto, un espesor un poco menor puede satisfacer los requerimientos de diseño.

IV.4 METODO DE FATIGA Y EROSION DE LA ASOCIACION DE CEMENTO PORTLAND (PCA)

el método de diseño de espesores de pavimento rígido aquí expuesto se

OBRA : Ejemplo de diseño No. 2

"K" Sub-rasante : 3 Kg/cm³

"k" Combinado : 4 Kg/cm³

Espesor de losa propuesto : 20 cm

Tipo de Sub-base Granular sin tratar de 15 cm. de espesor.

Factor de Seguridad 1.2

Modulo de Ruptura : 40 kg/cm²

$$r = \sqrt[4]{\frac{Ed^3}{12(1-\nu^2)K}} = \sqrt[4]{\frac{167,332 \cdot (20)^3}{12(1-0.15^2)4}} = 73.08 \text{ cm}$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CARGA DE EJE (TON)	CARGA POR F.C. (TON)	ESFUERZOS Kg/cm ²	RELACION DE ESFUERZOS	REPETICIONES ADMISIBLES	REPETICIONES ESPERADAS	CONSUMO DE FATIGA	FACTOR DE PONDERACION DE ESFUERZOS "r"	RELACION DE ESFUERZOS	REPETICIONES ADMISIBLES	CONSUMO DE FATIGA (%)
Ejes Sensillos										
11	13. ²⁰	24. ⁵⁰	0.61	24,000 ⁰⁰	6,500 ⁰⁰	27	1.12	0.68	3,500 ⁰⁰	185
10	12. ⁰⁰	22. ¹⁰	0.55	130,000 ⁰⁰	6,500 ⁰⁰	5	1.12	0.61	24,000 ⁰⁰	27
9	10. ⁸⁰	20. ⁰⁰	0.50	Plimitado	13,119. ⁰⁰	0	1."	0.55	130,000 ⁰⁰	10
8	9. ⁶⁰	18. ⁰⁰	0.45	"	13,119. ⁰⁰	0	1.10	0.49	Plimitado	0
7	8. ⁴⁰			"	61,222. ⁰⁰	0	1.09		"	0
6	7. ²⁰			"	118,071. ⁰⁰	0	1.08		"	0
Ejes Tandem										
18.50	22.20	24.00	0.60	32,000	6,500	20	0.78	0.47	Plimitado	0
17.00	20.40	22.40	0.56	100,000	6,500	7	0.78	0.44	"	0
16.00	19.20	21.20	0.53	240,000	26,930	11	0.78	0.41	4	0
15.00	18.00	19.60	0.49	Plimitado	26,930	0	0.77	0.38	"	0
14.00	16.80			"	63,500	0	0.76			0
13.00	15.60			"	63,500	0	0.76			0
12.00	14.40			"	96,180	0	0.76			0

20%

200%

OBRA : Ejemplo de Diseño No. 3 (para verificar la influencia de una sub-base tratada)

"k" Sub-rasante : 3 kg/cm³

Tipo de Sub-base : Granbr tratada con cemento 15 cm.

"K" Combinado : 11.5 kg/cm³

Factor de Seguridad : 1.2

Espesor de losa propuesto : 20 cm

Modulo de Ruptura : 40 kg/cm²

$$r = 4 \sqrt{\frac{E d^3}{12(1-\nu^2)k}} = 4 \sqrt{\frac{167,332 \cdot (20)^3}{12(1-0.15)^2 \cdot 11,50}} = 56.13 \text{ cm.}$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CARGA DE EJE (TON)	CARGA POR F.C. (TON)	ESFUERZOS kg/cm ²	RELACION DE ESFUERZOS	REPETICIONES ADMISIBLES	REPETICIONES ESPERADAS	CONSUMO DE FATIGA	FACTOR DE PONDERACION DE ESFUERZOS "P"	RELACION DE ESFUERZOS	REPETICIONES ADMISIBLES	CONSUMO DE FATIGA (%)

Ejes Sensillos

11	13.26	19.30	0.46	Plimitado	6,500*	0	1.16	0.55	130,000	5
10	12.00	—	—	"	6,500.	0	1.15	—	Plimitado	0
9	10.80	—	—	"	13,119.	0	1.14	—	"	0
8	9.60	—	—	"	13,119.	0	1.13	—	"	0
7	8.40	—	—	"	61,222.	0	1.12	—	"	0
6	7.20	—	—	"	118,071.	0	1.10	—	"	0

Ejes Tandem

18.50	22.20	18.20	0.45	Plimitado	6,500.	0	0.82	0.37	Plimitado	0
17.00	20.46	—	—	"	6,500.	0	0.82	—	"	0
16.00	19.20	—	—	"	26,930.	0	0.82	—	"	0
15.00	18.00	—	—	"	26,930.	0	0.81	—	"	0
14.00	16.80	—	—	"	63,500.	0	0.81	—	"	0
13.00	15.60	—	—	"	63,500.	0	0.80	—	"	0
12.00	14.40	—	—	"	96,180.	0	0.80	—	"	0
TOTAL :						0%				5%

basa en el conocimiento teórico del pavimento, en su comportamiento, y en la experiencia de fuentes tales como los estudios teóricos del comportamiento de la losa del pavimento efectuados por Westergaard, Pickett y Ray y análisis por computadora del elemento finito; pruebas en modelos y a escala natural conducidos por la P.C.A.; pavimentos experimentales sujetos a un tránsito de prueba controlado, así como en el comportamiento de pavimentos construidos en condiciones normales sujetos al tránsito mezclado normal. En éste método de diseño se reconoce:

- a) El grado de transferencia de carga en las juntas transversales
- b) El efecto de usar acotamiento de concreto adyacentes al pavimento.
- c) Se pueden considerar ejes triples en el diseño.

En este método se aplican 2 criterios de diseño:

- a) **POR FATIGA:** Se conservan los esfuerzos en el pavimento debidos a la repetición de cargas dentro de los límites de seguridad (criterio utilizado en el método del capítulo IV.3).
- b) **POR EROSION:** Este criterio se aplica para limitar los efectos de las deflexiones del pavimento en los bordes de la losa, en las juntas y en las esquinas y así evitar la erosión de la cimentación (sub-rasante ó sub-base) del pavimento.

IV.4.1 PARAMETROS DE DISEÑO

Tras la selección del tipo de pavimento de concreto, del tipo de sub-base (si es necesaria), el diseño del espesor se determina basándose en:

- a) Resistencia a la flexión del concreto (Módulo de Ruptura)
- b) La resistencia de la sub-rasante o de la combinación de sub-rasante y sub-base (k).
- c) El período de diseño
- d) Los pesos, frecuencias y tipos de cargas de eje de los camiones que el pavimento soportará.

IV.4.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

1) ANALISIS POR FATIGA

- a) Determinar el tipo de junta, para transferencia de carga
- b) Calcular el esfuerzo equivalente en base al módulo de reacción "k" de la sub-rasante - sub-base y un espesor propuesto de losa, para lo cual la Asociación de Cemento Portland proporciona las tablas IV.12 (Sin acotamiento de concreto) y la IV.13 (con acotamiento de concreto), para ejes sencillos y tandem, los cuales se anotarán en los puntos 8 y 11 de la tabla de diseño.
- c) Dividir los esfuerzos equivalentes (ejes sencillos y tandem) entre el módulo de ruptura del concreto y anotarlos en los puntos 9 y 12.
- d) Determinar las repeticiones permisibles de carga de la columna 4 - para cada eje, para lo cual se utiliza la figura IV.14, unir los puntos de la carga de eje y el factor de relación de esfuerzos, -- prolongar la recta hasta la gráfica de repeticiones permisibles, -- cuando la recta sale por arriba de la gráfica las repeticiones son ilimitadas.
- e) Calcular el porciento de fatiga consumido por cada eje (columna 5) dividiendo las repeticiones esperadas (datos de tránsito) entre -- las repeticiones permisibles y multiplicándolo por 100.
- f) Por último sumar el consumo de fatiga de cada eje.

2.- ANALISIS POR EROSION

- a) Determinar los factores de erosión en base a las tablas IV.15 -- (juntas con pasajuntas sin acotamiento de concreto), IV.16 (Juntas con trabazón de agregados sin acotamiento de concreto, IV.17 (Juntas con pasajuntas, con acotamiento de concreto) y IV.18 (Juntas con trabazón de agregados, con acotamiento de concreto), Tablas proporcionadas por la Asociación de Cemento Portland, anotarlos en los puntos 10 y 13 de la tabla de diseño.
- b) Determinar las repeticiones permisibles con las figuras IV.19 -- (sin acotamiento de concreto) y figura IV.20 (con acotamiento de --

concreto) como en el análisis por fatiga.

- c) Calcular el daño causado por cada eje por ciento, dividiendo las repeticiones esperadas entre las permisibles y multiplicándolo por 100.
- d) Por último sumar los porcentos de daño por erosión en la parte inferior de la columna 7.

Al usar las gráficas no se necesita una interpolación precisa de repeticiones permisibles. Si la línea de intersección sale por el extremo superior sin tocar la recta de repeticiones de carga permisibles, éstas se consideran ilimitadas. El espesor propuesto no da un diseño adecuado si cualquiera de los porcentajes de daño por fatiga o por erosión son mayores que 100% y se debe seleccionar un espesor mayor de losa de concreto, mejorar la resistencia de concreto (aumentar el módulo de ruptura) ó mejorar la calidad de la sub-rasante sub-base y reiniciar el proceso. En caso contrario, si los totales son mucho menores que 100% se puede seleccionar un espesor menor que el inicial.

El análisis por fatiga controlará usualmente el diseño de pavimentos con tránsito ligero. El análisis por erosión se ve más influenciado en pavimentos con tránsito pesado.

A continuación se presentan algunos ejemplos para la aplicación del método y al mismo tiempo se realiza una comparativa con el método de el capítulo IV.3.

EJEMPLO DE DISEÑO 4

Con los mismos datos del ejemplo de diseño No. 1, o sea una carretera de 2 carriles para un periodo de diseño de 30 años con una sub-rasante con $K=3 \text{ Kg/cm}^3$, una sub-base granular de 15 cm. de espesor y un Módulo de ruptura de 40 kg/cm^2 .

Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente se obtiene el resultado presentado en la tabla del ejemplo No. 4, se hace la aclaración que el módulo de reacción "k" de sub-rasante - sub-base se obtiene de la figura -

III.6, con un "k" de 3 kg/cm² de la sub-rasante, con una sub-base granular de 15 cm. de espesor se obtiene un valor combinado de "k" de 4 kg/cm³.

Se puede observar que por este método el consumo de fatiga para un espesor de 20 cm. excede notablemente el valor permisible (694% >> 100%) a diferencia que con el método del capítulo IV.3. En el caso de el análisis por erosión el daño causado por las cargas de tránsito para el espesor propuesto es mucho menor que el que puede soportar (43% < 100%). (Ver ejemplo de diseño No. 4).

Se nota que por este método darán espesores mayores para el caso de fatiga que con el método de el capítulo IV.3.

En el ejemplo de diseño No. 5 se repite el procedimiento aumentando el espesor de 20 cm. a 22.5 cm. Se puede observar que el consumo de fatiga está dentro de los límites permisibles 74% < 100% y el daño por erosión se reduce con respecto al ejemplo No. 4 de 43% a 24%.

Con el objeto de ver como influyen cargas mayores en la erosión de la cimentación del pavimento se presenta el ejemplo de diseño No. 6.

EJEMPLO DE DISEÑO No. 6

Se desea construir una carretera de 2 carriles para un periodo de diseño de 30 años con una sub-rasante con $k=1.8$ kg/cm³, debido a que la mayoría del camino tiene pendientes mayores al 3% se propone colocar una sub-base tratada con cemento.

SOLUCION: De la figura III.6 para una sub-rasante de 1.8 kg/cm³ y una sub-base tratada con cemento se obtiene un "k" combinado de 7.70 kg/cm³.

En la solución del ejemplo 6 se puede observar como influyen las cargas de tráfico pesado (compararlas con cargas del ejemplo de diseño 1) en el daño por erosión con respecto a la fatiga para el espesor propuesto de 25 cm., el daño por fatiga causado por las cargas es nulo, mientras que el daño por erosión es muy cercano al límite permisible.

METODO PARA EL CALCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS RIGIDOS CONSIDERANDO LA FATIGA Y LA EROSION
EJEMPLO DE DISEÑO No. 4

Proyecto Ejemplo de Diseño No. 4

Espesor propuesto 210 cm. Juntas con pasajuntas si no
k de la subrasante-lubbase 4 kg/cm³
Módulo de Ruptura, MR 40 kg/cm² Acotamiento de concreto si no
Factor de seguridad de carga 1.2
Período de diseño 30 años.

Carga de eje, Ton	Multipl. ca por LSF	Repeticiones esperadas.	Análisis por Fatiga.		Análisis por Erosión.	
			Repeticiones Permisibles	Fatiga %	Repeticiones permisibles	Daño. %
1	2	3	4	5	6	7

8. Esfuerzo equiv. 17.93 10. Factor de erosión
9. Factor de relación de esfuerzos: 0.45

Ejes sencillos

11	13.20	6,500.	1,200.	541	300,000.	2
10	12.00	6,500.	5,900.	110	540,000.	1
9	10.80	13,119.	38,000.	34	990,000.	1
8	9.60	13,119.	250,000.	5	2,100,000.	1
7	8.40	61,222.	6,000,000.	1	4,500,000.	1
6	7.20	118,071.	11,000,000.	0	15,000,000.	1

11. Esfuerzo equiv. 15.68 13. Factor de erosión
12. Factor de relación de esfuerzos 0.39

Ejes Tándem.

18.50	22.20	6,500.	215,000	3	165,000.	4
17.00	20.40	6,500.	1,650,000.	0	260,000.	2
16.00	19.20	26,930.	11,000,000.	0	390,000.	7
15.00	18.00	26,930.	"	0	520,000.	5
14.00	16.80	63,500.	"	0	740,000.	8
13.00	15.60	63,500.	"	0	1,150,000.	5
12.00	14.40	96,180.	"	0	2,000,000.	5
Total 694 %				Total 43 %		

TABLA IV.12 ESFUERZO EQUIVALENTE - SIN ACOTAMIENTO DE CONCRETO (EJE SENCILLO-TANDEM)

EJE SENCILLO A. CH.	EJE SENCILLO-TANDEM - CUBIERTA P/CM ²						
	1.14	2.27	3.40	4.54	5.67	6.80	7.94
10	36.99/37.74	41.04/41.33	47.16/40.14	44.59/36.28	41.06/34.17	36.77/32.13	34.03/31.15
11	49.15/41.20	43.13/35.12	40.15/32.14	37.97/30.58	35.01/28.55	31.50/26.58	29.12/25.22
12	45.13/36.59	37.93/31.65	37.66/29.50	35.93/28.44	33.97/27.54	31.47/27.37	28.57/24.50
14	36.80/31.75	32.60/27.21	30.10/24.02	28.76/21.27	26.65/21.44	24.12/19.55	22.50/18.54
17	35.64/27.85	28.36/24.41	27.06/23.12	25.40/20.81	23.82/19.05	21.37/17.30	20.04/16.11
17	29.32/26.72	25.86/22.24	21.9/20.11	22.78/18.77	21.02/17.16	19.15/15.47	18.00/14.55
19	27.92/25.53	23.57/20.04	20.58/18.43	19.25/17.16	18.00/15.61	17.10/13.99	16.34/13.04
19	23.90/22.71	21.02/18.48	18.6/16.84	16.84/15.75	17.10/14.27	15.75/12.71	14.76/11.90
20	21.26/21.09	19.26/17.17	17.53/15.49	16.03/14.62	15.82/11.72	14.41/11.74	13.50/10.50
22	26.94/19.76	17.72/16.11	16.45/14.14	15.61/13.57	14.46/12.11	11.7/10.81	12.44/10.05
23	16.97/16.76	16.31/15.11	14.7/13.47	14.41/12.73	13.76/11.44	12.23/10.12	11.47/9.73
24	17.12/17.44	15.12/14.41	14.1/12.77	13.26/11.95	12.12/10.76	11.32/9.42	10.62/8.72
25	16.67/16.85	14.66/14.57	13.58/12.16	12.74/11.25	11.53/10.12	10.55/8.66	9.71/7.87
26	14.26/14.61	11.15/12.67	12.23/11.25	11.60/10.61	10.76/9.56	9.84/8.37	9.20/7.72
26	14.66/14.84	12.36/12.27	11.46/10.76	10.67/10.05	10.12/7.67	9.21/7.94	8.65/7.31
29	11.22/14.11	11.60/11.05	10.26/9.41	9.37/8.96	8.49/8.08	8.65/7.52	8.16/6.64
31	12.74/11.75	10.74/11.11	9.12/8.91	8.57/8.25	8.07/7.66	8.17/7.17	7.66/6.71
31	11.01/11.44	10.14/10.15	9.59/9.59	9.07/8.72	8.44/7.60	7.66/6.82	7.24/6.24
33	10.16/11.77	9.1/10.12	7.67/8.72	7.24/6.78	7.04/7.45	7.24/6.54	6.82/5.94
34	10.93/11.61	9.28/8.76	8.56/8.65	8.16/8.02	7.52/7.17	6.89/6.26	6.41/5.71
35	10.10/11.11	8.75/8.92	7.76/8.22	7.27/7.66	7.17/6.89	6.54/5.98	6.19/5.48

TABLA IV.13 ESFUERZO EQUIVALENTE CON ACOTAMIENTO DE CONCRETO (EJE SENCILLO-TANDEM)

EJE SENCILLO A. CH.	EJE SENCILLO-TANDEM - CUBIERTA P/CM ²						
	1.14	2.27	3.40	4.54	5.67	6.80	7.94
10	45.00/37.54	49.10/32.30	46.35/30.87	44.10/29.67	41.70/28.13	38.76/27.28	36.10/24.00
11	30.46/32.41	31.60/28.12	31.22/25.17	29.60/24.04	27.4/21.76	24.96/22.43	23.41/22.29
11	11.35/27.10	20.71/21.54	19.11/17.91	17.51/16.31	16.01/14.81	14.51/13.31	13.01/11.81
14	21.92/28.11	20.12/21.41	24.02/20.84	22.18/19.05	21.23/17.86	19.41/16.11	18.15/16.34
15	22.15/22.28	22.99/21.48	21.17/17.91	20.27/18.94	19.06/15.82	17.77/14.76	16.45/14.77
18	21.46/20.74	22.43/17.65	20.71/16.91	19.29/15.11	17.02/13.27	15.09/11.22	14.91/12.12
18	21.46/20.74	18.90/14.84	17.44/14.94	16.50/13.92	15.47/12.94	14.27/11.95	13.20/11.55
19	19.13/17.50	17.09/14.84	15.12/12.60	14.12/12.00	13.01/11.01	11.01/10.90	10.37/10.41
20	17.57/16.11	16.61/14.80	14.1/12.60	13.06/11.61	11.01/10.90	11.95/7.90	11.94/9.44
22	16.31/17.11	15.43/14.80	13.4/12.60	12.46/10.92	11.95/10.12	11.04/9.21	10.55/8.29
23	13.17/14.11	11.67/11.22	11.45/11.90	11.06/10.27	11.17/9.42	10.77/8.56	9.61/7.53
24	14.00/11.36	11.67/11.22	10.12/11.22	10.04/9.61	10.27/9.07	9.56/7.06	9.61/7.10
25	13.60/12.50	11.53/10.61	10.77/9.61	10.27/9.07	9.60/7.00	8.37/7.10	7.94/6.68
27	12.20/11.95	10.81/10.61	10.12/9.14	9.61/8.51	8.44/7.10	7.87/6.60	7.15/6.11
28	11.53/11.72	10.12/9.61	9.25/8.62	9.07/8.09	8.44/7.10	7.34/6.33	7.03/5.98
29	10.81/11.76	9.57/9.00	8.77/8.62	8.57/7.66	7.92/7.10	7.46/6.05	6.68/5.70
31	10.19/12.87	8.57/8.55	7.43/7.60	6.92/7.11	7.52/6.68	6.96/6.05	6.33/5.41
31	7.61/8.77	6.77/6.21	5.81/5.81	5.47/5.47	5.11/6.68	4.61/5.71	4.50/5.41
33	6.14/7.35	6.00/6.00	5.62/7.10	5.27/6.10	4.75/6.05	4.26/5.48	4.50/5.41
34	5.22/6.43	4.60/7.10	4.1/6.42	3.82/4.41	3.40/5.04	3.00/5.20	2.73/4.42
36	4.30/7.10	3.71/7.24	3.62/6.54	3.54/6.12	3.12/4.35	2.70/4.99	2.41/4.71

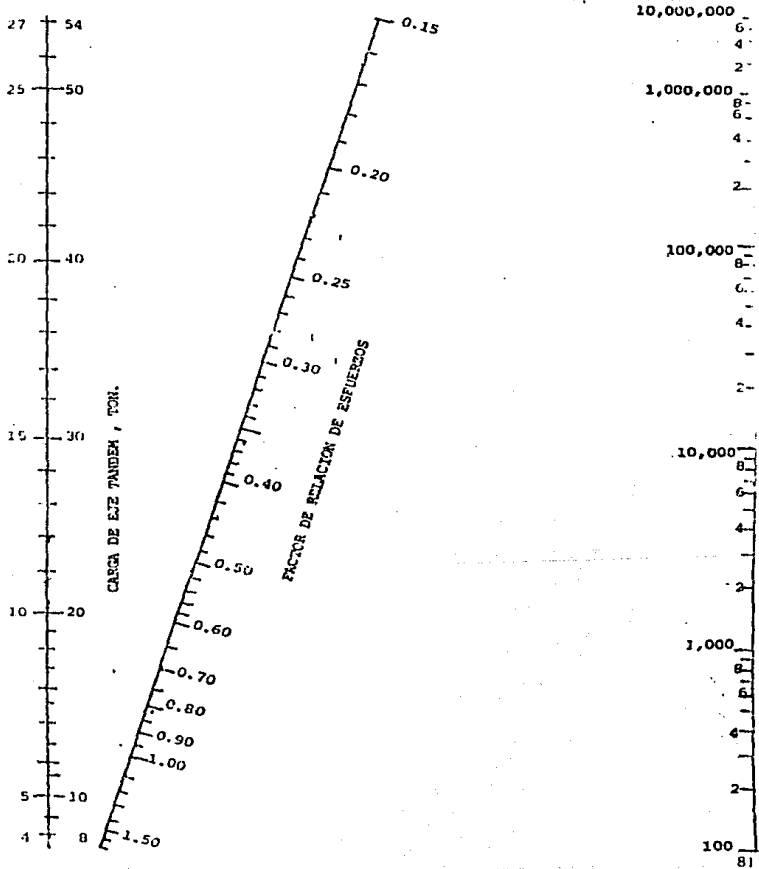


TABLA IV.15 FACTORES DE EROSION, JUNTAS CON PASAJUNTAS SIN ACOTAMIENTO DE CONCRETO (EJE SENCILLO/TANDEM)

ESPESOR DE LA LOSA, CM.	K DE LA SUPERFACIENTE-SUBBASE, Kg/cm ²					
	1.30	2.77	5.54	11.07	13.04	19.30
10	3.74/3.03	3.73/3.79	3.72/3.75	3.71/3.73	3.70/3.70	3.68/3.67
11	3.59/3.70	3.57/3.65	3.56/3.61	3.55/3.58	3.54/3.55	3.52/3.53
13	3.45/3.58	3.43/3.52	3.42/3.48	3.41/3.45	3.40/3.42	3.38/3.40
14	3.33/3.47	3.31/3.41	3.29/3.36	3.28/3.33	3.27/3.30	3.26/3.28
15	3.22/3.38	3.19/3.31	3.18/3.26	3.17/3.23	3.16/3.20	3.14/3.17
17	3.11/3.29	3.09/3.22	3.07/3.16	3.06/3.13	3.05/3.10	3.03/3.07
18	3.02/3.21	2.99/3.14	2.97/3.08	2.96/3.05	2.95/3.01	2.94/2.98
19	2.93/3.14	2.91/3.06	2.88/3.00	2.87/2.97	2.86/2.93	2.84/2.90
20	2.85/3.07	2.82/2.99	2.80/2.93	2.79/2.89	2.77/2.85	2.76/2.82
22	2.77/3.01	2.74/2.93	2.72/2.86	2.71/2.82	2.69/2.78	2.68/2.75
23	2.70/2.96	2.67/2.87	2.65/2.80	2.63/2.76	2.62/2.71	2.61/2.68
24	2.63/2.90	2.60/2.81	2.58/2.74	2.56/2.70	2.55/2.65	2.54/2.62
25	2.56/2.85	2.54/2.70	2.51/2.68	2.50/2.64	2.48/2.58	2.47/2.56
27	2.50/2.81	2.47/2.71	2.45/2.63	2.44/2.59	2.42/2.51	2.41/2.51
28	2.44/2.76	2.42/2.67	2.39/2.58	2.38/2.54	2.36/2.49	2.35/2.45
29	2.38/2.72	2.36/2.62	2.33/2.54	2.32/2.49	2.30/2.44	2.29/2.40
31	2.33/2.68	2.30/2.58	2.28/2.49	2.26/2.44	2.25/2.39	2.23/2.35
32	2.28/2.64	2.25/2.54	2.23/2.45	2.21/2.40	2.19/2.35	2.18/2.31
33	2.23/2.61	2.20/2.50	2.18/2.41	2.16/2.36	2.14/2.30	2.13/2.27
34	2.18/2.57	2.15/2.47	2.13/2.37	2.11/2.32	2.09/2.26	2.08/2.23
35	2.13/2.54	2.11/2.43	2.08/2.34	2.07/2.29	2.05/2.23	2.03/2.19

TABLA IV.16 FACTORES DE EROSION, JUNTAS CON TRABAZON DE AGREGADOS, SIN ACOTAMIENTO DE CONCRETO (EJE SENCILLO /TANDEM)

ESPESOR DE LA LOSA, CM.	K DE LA SUPERFACIENTE-SUBBASE, Kg/cm ²					
	1.30	2.77	5.54	11.07	13.04	19.30
10	3.94/4.03	3.91/3.95	3.88/3.89	3.86/3.86	3.82/3.83	3.77/3.80
11	3.79/3.91	3.76/3.82	3.73/3.75	3.71/3.72	3.68/3.68	3.64/3.65
13	3.66/3.81	3.63/3.72	3.60/3.64	3.58/3.60	3.55/3.55	3.52/3.52
14	3.54/3.72	3.51/3.62	3.48/3.53	3.46/3.49	3.43/3.44	3.41/3.40
15	3.44/3.64	3.40/3.53	3.37/3.44	3.35/3.40	3.32/3.34	3.30/3.30
17	3.34/3.56	3.30/3.46	3.26/3.36	3.25/3.31	3.22/3.25	3.20/3.21
18	3.26/3.49	3.21/3.34	3.17/3.25	3.15/3.24	3.13/3.17	3.11/3.13
19	3.18/3.43	3.13/3.32	3.09/3.22	3.07/3.17	3.04/3.10	3.02/3.06
20	3.11/3.37	3.05/3.26	3.01/3.16	2.99/3.10	2.96/3.03	2.94/2.99
22	3.04/3.32	2.98/3.21	2.93/3.10	2.91/3.04	2.88/2.97	2.87/2.93
23	2.98/3.27	2.91/3.16	2.86/3.05	2.84/2.99	2.81/2.92	2.79/2.87
24	2.92/3.22	2.85/3.11	2.80/3.00	2.77/2.94	2.75/2.86	2.73/2.81
25	2.86/3.18	2.79/3.06	2.74/2.95	2.71/2.89	2.68/2.81	2.66/2.76
27	2.81/3.14	2.74/3.02	2.68/2.91	2.65/2.84	2.62/2.76	2.60/2.72
28	2.77/3.10	2.69/2.94	2.63/2.86	2.60/2.80	2.57/2.72	2.54/2.71
29	2.72/3.06	2.64/2.94	2.58/2.82	2.55/2.76	2.51/2.68	2.49/2.63
31	2.68/3.03	2.60/2.90	2.53/2.78	2.50/2.72	2.46/2.64	2.44/2.59
32	2.64/2.99	2.55/2.87	2.48/2.75	2.45/2.68	2.41/2.60	2.39/2.55
33	2.60/2.96	2.51/2.83	2.44/2.71	2.40/2.65	2.36/2.56	2.34/2.51
34	2.56/2.93	2.47/2.80	2.40/2.68	2.36/2.61	2.32/2.53	2.30/2.48
35	2.53/2.90	2.44/2.77	2.36/2.65	2.32/2.58	2.28/2.50	2.25/2.43

TABLA IV.17 FACTORES DE EROSION, JUNTAS CON PASAJUNTAS CON ACOTAMIENTO DE CONCRETO (EJE SENCILLO/TANDEM)

ESPESOR DE LA LOSA, CM	K DE LA SUBRASANTE-SUBBASE, KG/CM ³					
	1.18	2.77	5.54	8.30	11.04	19.38
10	3.26/3.30	3.26/3.20	3.21/3.13	3.19/3.10	3.15/3.09	3.12/3.00
11	3.13/3.19	3.09/3.06	3.06/3.00	3.04/2.96	3.01/2.93	2.98/2.91
13	3.01/3.05	2.97/2.98	2.93/2.89	2.90/2.84	2.87/2.79	2.85/2.77
14	2.90/3.01	2.85/2.89	2.81/2.79	2.79/2.74	2.76/2.68	2.73/2.65
15	2.77/2.93	2.75/2.82	2.70/2.71	2.68/2.65	2.65/2.58	2.62/2.54
17	2.70/2.86	2.65/2.75	2.61/2.63	2.58/2.57	2.55/2.50	2.52/2.45
18	2.57/2.79	2.56/2.66	2.52/2.56	2.49/2.50	2.46/2.42	2.43/2.38
19	2.53/2.73	2.48/2.62	2.44/2.50	2.43/2.44	2.39/2.36	2.35/2.31
20	2.46/2.58	2.41/2.55	2.38/2.44	2.37/2.36	2.33/2.30	2.29/2.24
22	2.34/2.62	2.34/2.51	2.29/2.39	2.26/2.32	2.22/2.24	2.20/2.18
23	2.33/2.57	2.29/2.46	2.24/2.34	2.19/2.27	2.16/2.19	2.13/2.14
24	2.28/2.54	2.21/2.41	2.16/2.29	2.13/2.22	2.09/2.14	2.07/2.08
25	2.25/2.47	2.15/2.35	2.10/2.25	2.07/2.16	2.03/2.09	2.02/2.03
27	2.15/2.43	2.05/2.32	2.04/2.20	2.01/2.14	1.97/2.05	1.95/1.99
28	2.10/2.39	2.04/2.28	1.99/2.16	1.95/2.09	1.92/2.01	1.89/1.95
29	2.05/2.35	1.99/2.24	1.93/2.22	1.90/2.05	1.87/1.97	1.84/1.91
31	2.00/2.31	1.95/2.20	1.88/2.09	1.85/2.02	1.82/1.93	1.79/1.87
32	1.95/2.27	1.89/2.16	1.84/2.05	1.81/1.98	1.77/1.89	1.74/1.84
33	1.91/2.23	1.85/2.13	1.79/2.01	1.76/1.95	1.72/1.85	1.70/1.80
34	1.86/2.20	1.81/2.09	1.75/2.00	1.72/1.91	1.68/1.83	1.65/1.77
36	1.81/2.17	1.76/2.06	1.71/1.95	1.67/1.88	1.64/1.80	1.61/1.74

TABLA IV.18 FACTORES DE EROSION, JUNTAS DE TRABAZO DE AGREGADOS CON ACOTAMIENTO DE CONCRETO (EJE SENCILLO/TANDEM)

ESPESOR DE LA LOSA, CM	K DE LA SUBRASANTE-SUBBASE, KG/CM ³					
	1.18	2.77	5.54	8.30	11.04	19.38
10	3.46/3.49	3.47/3.39	3.39/3.32	3.36/3.29	3.32/3.26	3.28/3.24
11	3.32/3.39	3.28/3.28	3.24/3.19	3.22/3.16	3.19/3.12	3.15/3.09
13	3.23/3.30	3.18/3.18	3.13/3.09	3.10/3.05	3.07/3.00	3.04/2.97
14	3.10/3.22	3.05/3.10	3.01/3.00	2.99/2.95	2.96/2.90	2.93/2.86
15	3.00/3.12	2.95/3.02	2.90/2.92	2.88/2.87	2.86/2.81	2.83/2.77
17	2.91/3.08	2.86/2.96	2.81/2.85	2.79/2.79	2.76/2.73	2.74/2.68
18	2.87/3.02	2.77/2.94	2.73/2.78	2.70/2.72	2.68/2.66	2.65/2.61
19	2.76/2.97	2.70/2.84	2.65/2.72	2.62/2.66	2.60/2.59	2.57/2.54
20	2.69/2.92	2.63/2.79	2.57/2.67	2.55/2.61	2.52/2.53	2.50/2.48
22	2.63/2.88	2.56/2.74	2.51/2.62	2.48/2.55	2.45/2.48	2.43/2.43
23	2.57/2.83	2.50/2.70	2.44/2.57	2.42/2.51	2.39/2.43	2.36/2.36
24	2.51/2.79	2.44/2.65	2.38/2.53	2.36/2.46	2.33/2.38	2.30/2.33
25	2.46/2.75	2.39/2.61	2.33/2.49	2.30/2.42	2.27/2.34	2.24/2.28
27	2.41/2.72	2.33/2.58	2.27/2.45	2.24/2.38	2.21/2.30	2.18/2.24
28	2.36/2.68	2.28/2.54	2.22/2.41	2.19/2.34	2.16/2.26	2.14/2.20
29	2.32/2.65	2.24/2.51	2.17/2.38	2.14/2.31	2.11/2.22	2.09/2.16
31	2.28/2.62	2.19/2.48	2.13/2.34	2.10/2.27	2.06/2.19	2.04/2.13
32	2.24/2.59	2.15/2.45	2.09/2.31	2.05/2.24	2.02/2.15	1.99/2.10
33	2.20/2.56	2.11/2.42	2.04/2.28	2.01/2.21	1.98/2.12	1.95/2.06
34	2.16/2.53	2.08/2.34	2.00/2.25	1.97/2.18	1.93/2.09	1.91/2.03
36	2.13/2.51	2.04/2.30	1.97/2.23	1.93/2.15	1.89/2.06	1.87/2.00

FIGURA IV.19 REPETICIONES DE CARGA PERMISIBLES BASADAS EN EL FACTOR DE EROSION (SIN ACOTAMIENTO DE CONCRETO), ANALISIS POR EROSION

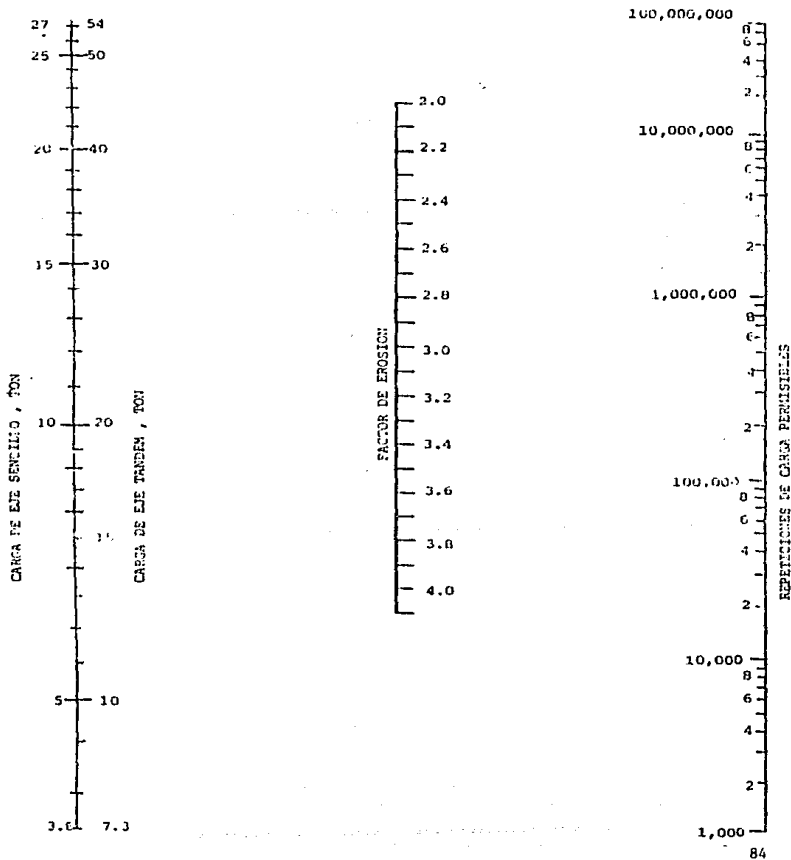
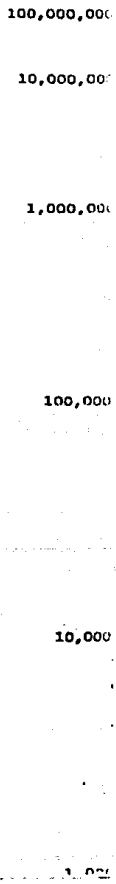
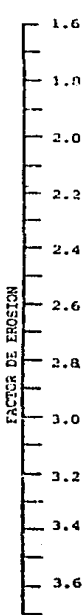
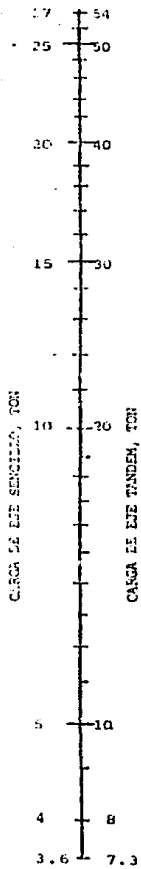


FIGURA IV.20

REPETICIONES DE CARGA PERMISIBLES BASADAS EN EL FACTOR DE EROSION
(CON ACOTAMIENTO DE CONCRETO), ANALISIS POR EROSION



IV.5 GUIA PROVISIONAL AASHO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

La guía se basa en relaciones empíricas derivadas de la prueba AASHO - suplementadas por la teoría e información desarrollada de la práctica corriente de agencias de construcción de carreteras en E.E.U.U. Este método tiene muy poca difusión en México, lo que se pudo comprobar con la bibliografía consultada.

El procedimiento de diseño se presenta en forma de nomograma (fig. -- IV.21). Las escalas para el esfuerzo de trabajo en el concreto (f_t), el módulo de elasticidad del concreto (E_c), y el módulo de reacción de la subrasante (k) se derivaron de las modificaciones de Spangler a la teoría de distribución de esfuerzos en losas rígidas de Westergaard. Las ecuaciones representadas en el nomograma se basan en que:

- a) Son una representación válida de la relación entre pérdida de servicio, tránsito y espesor del pavimento.
- b) Las ecuaciones desarrolladas en la prueba de caminos AASHO para un tipo único de subrasante, aplicaciones aceleradas de cargas uniformes y para un solo tipo de losa de concreto hidráulico se hacen extensivas a cualquier subrasante, a tránsito mixto aplicado en un período extenso y para losas de otro tipo y diferentes propiedades. - Esto se logra por medio de una escala de Módulo de reacción, factores de conversión de tránsito, y mediante una escala de esfuerzos de trabajo y módulo de elasticidad del concreto.

IV.5.1 PARAMETROS DE DISEÑO.

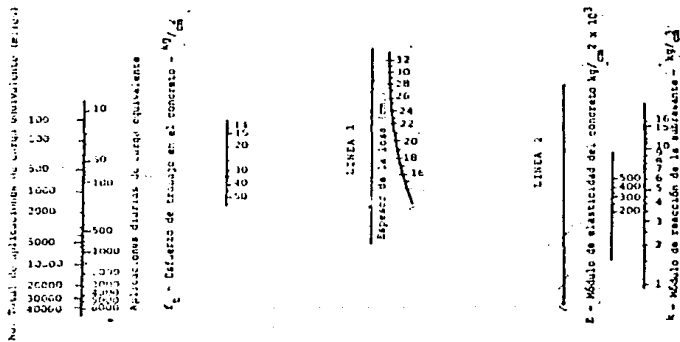
ESFUERZO DE TRABAJO: La base para determinar la resistencia a la flexión del concreto es el Módulo de ruptura (MR) a los 28 días. El esfuerzo de trabajo debe apoyarse en la resistencia a la flexión del concreto. Los esfuerzos de trabajo recomendados se pueden calcular según:

$$f_t = \frac{MR}{C} \quad [\text{kg/cm}^2]$$

donde:

f_t = ESFUERZO DE TRABAJO

FIG. IV.21 NOMOGRAMA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS POR EL METODO DE LA AASHO
 INDICE DE SERVICIO 2.5



MR = MODULO DE RUPTURA DEL CONCRETO A LOS 28 DIAS

C = CONSTANTE PARA DETERMINAR EL ESFUERZO DE TRABAJO DE DISEÑO "C", ES UN FACTOR DE SEGURIDAD; A MAYOR "C", MAYOR CONFIANZA EN EL DISEÑO. GENERALMENTE SE RECOMIENDA UN VALOR DE C=1.33; PARA CONDICIONES ESPECIALES DE TRANSITO O AMBIENTALES, SE PUEDE PRESCRIBIR UN VALOR HASTA DE 2.º.

TRANSITO: En la gafa se convierten las cargas de eje aleatorias en un denominador común (carga equivalente de eje sencillo de 8,200 kg) y se expresa en la suma de cargas convertidas. En la figura 111.3 del capítulo III se presentan los factores de equivalencia de tránsito para pavimentos rígidos propuestos por la AASHO.

INDICE DE SERVICIO: En el procedimiento se considera un nivel de servicio al final del periodo de análisis de 2.5.

MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO: El módulo de elasticidad es función principalmente de la resistencia del concreto y de su peso volumétrico. Se han propuesto varias expresiones para predecir el módulo de elasticidad a partir de estas variables. Por ejemplo el reglamento ACI presenta la ecuación:

$$E_c = w^{1.5} 15,000 \sqrt{f'c} \quad [\text{kg/cm}^2]$$

DONDE:

E_c = MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO	[kg/cm ²]
w = PESO VOLUMETRICO DEL CONCRETO	[kg/m ³]
$f'c$ = RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO	[kg/cm ²]

El reglamento del Distrito Federal propone la ecuación:

$$E_c = 10,000 \sqrt{f'c} \quad [\text{kg/cm}^2]$$

que es aplicable únicamente a concretos fabricados con agregados típicos de la Ciudad de México. Estas ecuaciones dan únicamente valores aproximados, porque existen otras variables importantes, como el tipo de agregado. Las

diferencias entre los valores reales y los calculados pueden ser muy grandes. Cuando se requiera estimaciones con cierta precisión conviene determinar el módulo de elasticidad del concreto de acuerdo a los materiales que se vayan a utilizar.

IV.5.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

- A) Determinar el número de cargas de eje equivalente, el módulo de reacción de la sub-rasante, el esfuerzo de trabajo del concreto y el módulo de elasticidad del concreto.
- B) Usando una regla se tira una línea que una el número total de aplicaciones equivalentes (en la escala de la izquierda) con el valor del esfuerzo de trabajo (ft) del concreto (en la segunda escala) para intersectar la línea 1.
- C) Prolongue una recta que una el valor del módulo de reacción de la sub-rasante "k" (en la escala de la extrema derecha) con la escala adyacente del módulo de elasticidad del concreto hasta la línea 2.
- D) Trace una línea que conecte los puntos en las líneas 1 y 2, en la intersección de esta línea con la escala curva del espesor de la losa. Este espesor se debe redondear a los próximos 2 cm.

A continuación se presentan algunos ejemplos para la aplicación del método y al mismo tiempo se realiza una comparación con los métodos de los capítulos IV.3 y IV.4.

EJEMPLO DE DISEÑO No. 7

Con los mismos datos del ejemplo de diseño No. 1, calcular el espesor de la losa de concreto por el método de la gufa provisional AASHO.

SOLUCION: Se transforman las repeticiones esperadas de ejes en cargas equivalentes de eje, utilizando los factores de eje equivalente de tránsito de la fig. III.3 del capítulo III.

Si guiendo el procedimiento descrito anteriormente, para este ejemplo - se obtiene un espesor de 17 cm. Se puede apreciar la diferencia que existe con el método del capítulo IV.3 (20 cm.) y capítulo IV.4 (22.5 cm.).

A continuación se presenta un ejemplo aumentando las cargas de eje y - las repeticiones esperadas.

EJEMPLO DE DISEÑO No. 8

Con los mismos datos del ejemplo No. 6 diseñar el espesor del pavimento por el método de la AASHO.

SOLUCION: Si guiendo el procedimiento descrito anteriormente se obtienen los resultados de la hoja del ejemplo No. 8. Se puede observar que utilizando este método se obtiene un espesor de 26 cm, aproximadamente igual - al que se obtuvo por el método del capítulo IV.4 que fué de 25 cm.

CALCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS RIGIDOS POR EL METODO DE LA AASHO

PROYECTO : Ejemplo de diseño No. 7
 K De la Sub-rasante : 3 kg/cm³
 K Combinado : 4 kg/cm³
 Modulo de Ruptura : 40 kg/cm²

Grav. Tipo de Sub-base : 16.
 Factor de Seguridad (c) :
 Periodo de diseño : 30

CARGA DE EJE (TON)	REPETICIONES ESPERADAS	FACTOR DE EQUIVALENCIA DE TRANSITO	TRANSITO EQUIVALENTE
EJES SENCILLOS			
11	6,500.	3.23	20,995. ⁰⁰
10	6,500.	2.28	14,820.
9	13,119.	1.55	20,334.
8	13,119.	1.00	13,119.
7	61,222.	0.61	37,345.
6	118,091.	0.35	41,325.
EJES TANDEM			
18.50	6,500. ⁰⁰	3.55	23,075. ⁰⁰
17. ⁰⁰	6,500. ⁰⁰	2.91	18,915. ⁰⁰
16. ⁰⁰	26,930. ⁰⁰	2.35	63,285. ⁰⁰
15. ⁰⁰	26,930. ⁰⁰	1.87	50,359. ⁰⁰
14. ⁰⁰	63,500. ⁰⁰	1.13	71,755. ⁰⁰
13. ⁰⁰	63,500. ⁰⁰	0.85	53,975. ⁰⁰
12. ⁰⁰	96,180. ⁰⁰	0.63	60,594. ⁰⁰

$$f_t = \frac{MR}{C} \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$f_t = \frac{40}{1.33} = 30.07$$

$$E = 10,000 \sqrt{f'c} \text{ [Ks]}$$

$$E = 173,205 \text{ Kg/cm}$$

Espesor Resultante

$$E = 17 \text{ cm.}$$

TOTAL : 489,896. ejes equivalentes

IV.6 LAS JUNTAS EN LOS PAVIMENTOS RIGIDOS

El pavimento ideal del concreto no debería tener juntas, sino ser una cinta continua que resistiera las cargas impuestas por el tráfico, ofreciera una impecable superficie de rodamiento y protegiera eficazmente a la subrasante de la acción del agua. Sin embargo existen problemas tanto en las propiedades de los materiales como en los sistemas de construcción vial -- que exigen la presencia de juntas, las cuales a menudo se convierten en -- las zonas más débiles de toda la estructura.

En efecto los esfuerzos más desfavorables ocasionados por el tráfico ocurren en las juntas transversales del pavimento, y gobiernan el diseño estructural del mismo. Por otra parte los dispositivos para transmitir dos cargas de rueda de un placa a otra adyacente, a través de las juntas, dificultan la construcción del pavimento y elevan los costos; finalmente el agua encuentra mayores posibilidades de llegar hasta la fundación del pavimento a través de las juntas, especialmente si éstas carecen de un adecuado programa de conservación. Sin embargo en un pavimento de concreto -- simple las juntas son absolutamente necesarias (es posible construir pavimentos rígidos con mucho menos juntas, utilizando concreto reforzado o pretensado, sin embargo su costo es tan alto que ellos no presentan una solución económica al problema vial en México), por lo cual un correcto diseño y una perfecta construcción de los mismos constituyen puntos claves para el buen funcionamiento de la estructura.

IV.6.1 NECESIDAD DE LAS JUNTAS

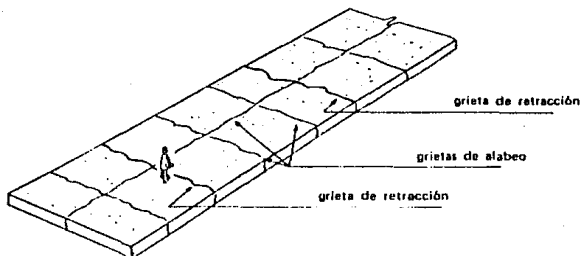
A) RETRACCION DEL CONCRETO

El concreto al endurecer ocupa menos volumen que cuando está fresco, -- debido fundamentalmente a las reacciones de hidratación que ocurren durante el fraguado y, en forma secundaria, al enfriamiento producido por el --

desprendimiento de calor originado en dicha reacción.

La retracción lineal de un elemento de concreto es tanto mayor cuanto menor sea la relación entre su volúmen y su área superficial; en el caso de las losas de un pavimento esta relación es muy pequeña, debido al bajo espesor de ellas comparado con su superficie y, por lo tanto, se presenta una retracción lineal considerable. En un pavimento perfectamente horizontal y que no tuviera fricción con la sub-rasante, el fenómeno no tendría ninguna repercusión dañina, pero en un pavimento real donde la fricción -- con el terreno de fundación constituye una restricción que tiende a impedir el acortamiento de la losa de concreto, lo cual necesariamente introduce esfuerzos de tracción. Como la resistencia del concreto a la tensión es muy baja (especialmente a edades tempranas), estos esfuerzos longitudinales originan rotura que se manifiesta en forma de grietas transversales espaciadas de tal manera que los tramos de losa entre dos losas consecutivas no estén sometidas a esfuerzos de tensión mayores que la resistencia actual del concreto, ver figura IV.22.

FIG. IV.22 ESQUEMA DE LA DISPOSICION DE LAS GRIETAS DE RETRACCION DEL CONCRETO



La presencia de estas grietas por retracción es irremediable y la posición más lógica del proyectista es, por tanto, tratar de controlarlas fijando de antemano la localización y forma de ellas. Este es el origen de las llamadas juntas de retracción, que son discontinuidades de la losa en sentido transversal.

B) DILATACION TERMICA

El aumento de temperatura en cualquier material ocasiona, en ausencia de restricciones, un incremento en su volumen. El concreto no escapa a esta ley física, y por ser la placa del pavimento un elemento de poco espesor en relación con su área superficial, este aumento de volumen es más notorio en su dimensión longitudinal. Si existe confinamiento (es decir, si se impide el aumento de longitud) se introducen necesariamente esfuerzos de compresión, los cuales, aunque son bien resistidos por el concreto tienen efectos secundarios perjudiciales, como producir alabeo en las placas e introducir esfuerzos en las estructuras colocadas dentro del pavimento (tapas de alcantarillas por ejemplo) o colindantes con él (puentes, intersecciones con otras vías etc.). Otro efecto importante de la temperatura es el alabeo por gradiente térmico. La experiencia ha enseñado que los esfuerzos de tracción ocasionados por el alabeo son una de las fuentes principales de grietas transversales intercaladas entre las grietas de retracción del concreto, y de grietas longitudinales en pavimentos que carecen de juntas longitudinales entre carriles. Dichas grietas se controlan por medio de juntas transversales (que desempeñan asimismo el papel de juntas de contracción) y de juntas longitudinales, frecuentemente utilizadas también como juntas de construcción.

Por otra parte, para minimizar el efecto de la dilatación térmica de las losas del concreto se han desarrollado las juntas de expansión, que son simplemente discontinuidades transversales en las losas, con una separación suficiente como para permitir el movimiento longitudinal de éstas, aunque originalmente se construían juntas transversales de expansión distribuidas regularmente a lo largo del pavimento, esta práctica se ha abandonado debido principalmente a que las juntas de contracción desempeñan prácticamente el mismo papel que las de expansión ya que los esfuerzos de compresión resultantes de la dilatación parcialmente restringida, son bajos y los resiste ampliamente el concreto; por otra parte, las juntas de expansión son causa de problemas en la conservación del pavimento, pues el ancho necesario para su funcionamiento ofrece dificultades de sellado.

Actualmente la tendencia es a construir juntas de expansión solamente en el contacto del pavimento con otras estructuras (puentes, postes, inter

secciones con otros pavimentos rígidos etc.).

C) DISCONTINUIDAD EN LA CONSTRUCCION DE LAS LOSAS

La construcción de las losas del pavimento de concreto es una labor que tiene necesarias interrupciones, bien sea programadas (fin de jornada de -- trabajo, ancho de vaciado del equipo, etc.) o bien imprevistas (daños de -- los equipos, lluvia, interrupción en el suministro de concreto). Dado que la superficie de concreto que ya inició fraguado no presenta adherencia con el concreto fresco colocado al recomenzar el trabajo, es necesario construir en los puntos de interrupción algún mecanismo que permita la continuidad en la transmisión de cargas y el sellado del espacio resultante para evitar la entrada de agua a la sub-base, tal mecanismo forma lo que se llama una junta de construcción, que puede ser transversal o longitudinal.

La junta transversal programada ocurre cuando se interrumpe el vaciado de concreto al fin de una jornada de trabajo; éstas juntas están previstas y se hacen coincidir con las juntas de contracción; sin embargo, existe la posibilidad de interrupciones imprevistas, que hacen necesaria la colocación de juntas de construcción entre las de contracción programadas.

La junta longitudinal de construcción se presenta normalmente debido a la limitación en el ancho del equipo de construcción, el cual en la mayoría de los casos sólo tiene capacidad de colocar un solo carril. Sin embargo, la junta longitudinal tiene un papel muy importante para la disipación de ciertos esfuerzos, y por eso, aunque el equipo pueda vaciar dos carriles al multáneamente, siempre debe ejecutarse una junta longitudinal entre ellos.

IV.6.2. ELEMENTOS DE LA JUNTA

La duración de un pavimento rígido está condicionada por la duración -- de sus juntas. En efecto las fallas más frecuentes no se deben a inadecuada capacidad estructural sino a problemas originados en las juntas (infil-

tracción de agua, bombeo, deflexión excesiva en los bordes de la junta, etc.) Dado que éstas son imprescindibles en los pavimentos rígidos, son necesarios un diseño correcto, una buena construcción y un adecuado mantenimiento para obtener larga vida.

Las principales condiciones que debe tener una junta son:

- a) localización adecuada, de tal manera que controle eficazmente el agrietamiento potencial
- b) Transmisión adecuada de las cargas a la losa adyacente, con el fin de evitar fallas por deformaciones excesivas.
- c) Protección adecuada de la sub-rasante contra el agua. la junta debe ser impermeable, de tal manera que el agua no pueda infiltrarse en ella.

IV.6.2.1 MECANISMOS DE TRANSMISION DE CARGA

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

A) TRABAZON DEL AGREGADO

El sistema consiste en marcar una ranura en la superficie del concreto, de tal manera que la sección quede disminuida y permita el agrietamiento espontáneo del concreto (ver figura IV.23-a). Normalmente, la fisura se extiende a través de la parte cementante, y deja intactos los agregados; es la trabazón de los agregados de dos caras vecinas la que proporciona la resistencia a cizalladura necesaria para la transmisión de cargas. Este mecanismo solo funciona efectivamente cuando la abertura de la junta no pasa de 9 milímetros de ancho, aunque el valor recomendable es de 5mm. máximo lo cual implica la necesidad de juntas muy próximas entre sí, para minimizar los efectos tanto de la retracción como los cambios de temperatura del

concreto.

B) PASADORES

En condiciones de tráfico pesado y/o clima severo es necesario complementar la eficiencia de trabazón de agregados mediante empleo de barras de acero liso, denominados Pasadores, que conectan entre sí las losas separadas por juntas. Este tipo de mecanismo transmite tanto fuerzas de cizalla dura como momento flector, pero debe permitir el libre movimiento horizontal de las losas, por lo cual al menos una mitad del pasador debe engrasarse, a fin de evitar su adherencia con el concreto que lo rodea (Ver figura IV.23-c). Asimismo, esta libertad de movimiento horizontal, exige que -- los pasadores de una junta sean todos paralelos al eje de la calzada.

C) JUNTAS MACHI-HEMBRADAS

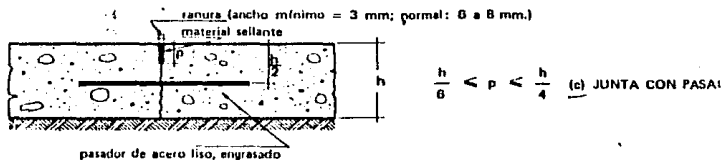
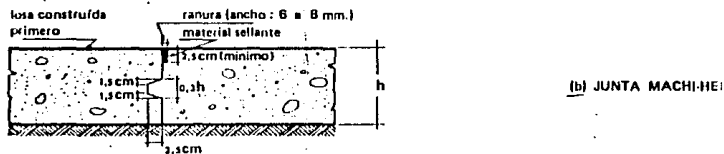
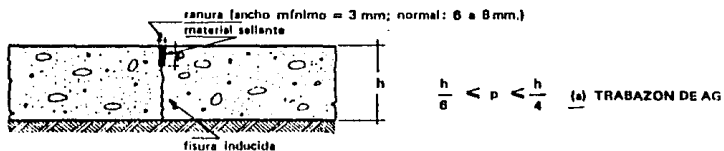
Las juntas machi-hembradas es un mecanismo de transmisión de carga -- del tipo que aparece en la figura IV.23-b. Este mecanismo transmite satisfactoriamente fuerzas de cizalladura, pero no momentos flectores; esta indicado en las juntas longitudinales de construcción y alabeo, utilizándose solo muy raramente en las juntas transversales, debido no solamente a su -- costo sino a sus dificultades constructivas.

Tal como se menciona en el capítulo III.4.2.1, la colocación de una -- sub-base mejorada con cemento mejora sensiblemente la eficiencia de transmisión de carga en las juntas, y permite construirlos sin pasadores, utilizando solamente la trabazón del agregado aún para condiciones de tráfico pesado. Esta eficiencia de las sub-bases mejoradas con cemento se debe a su alta capacidad de soporte, que le permite resistir esfuerzos impertan--tes con deformaciones pequeñas.

IV.6.2.2. SELLADO DE JUNTAS

La ranura entre juntas debe sellarse, tanto para impedir la entrada --

FIG. IV. 23 MECANISMOS DE TRANSMISION DE CARGA Y SELLADO DE JUNTAS



de agua a la sub-rasante como para evitar la penetración de cuerpos extraños dentro de la junta que puedan obstaculizar su normal funcionamiento. - Adicionalmente, el sello mejora la calidad de rodamiento. El sello puede ser vaciado en sitio o premoldeado; el primero consiste en un producto, generalmente asfáltico, que se vierte en estado líquido, mientras que el segundo es un dispositivo elástico prefabricado, que se coloca a presión dentro de la junta; en cualquiera de los dos casos, es necesario que ésta tenga una cavidad apropiada para recibir el sellante (ver figura IV.23).

IV.6.3 TIPOS DE JUNTA

IV.6.3.1 JUNTA LONGITUDINAL

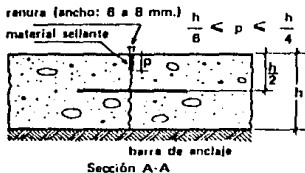
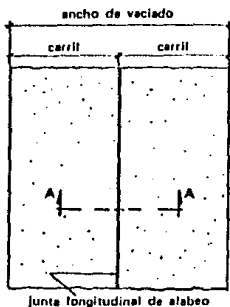
El papel principal de la junta longitudinal es controlar el agrietamiento producido por el alabeo.

- a) Si el pavimento se construye con todo su ancho completo en una sola operación, la junta debe ser marcada con una ranura que separe los carriles y proporcione alojamiento adecuado al sello de la junta; la transmisión de cargas se hace por trabazón de agregados, y es usual colocar barras de anclaje que mantengan unidas las caras de las juntas y garanticen su eficiencia (ver figura IV.24.a).

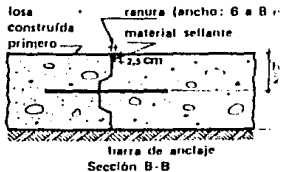
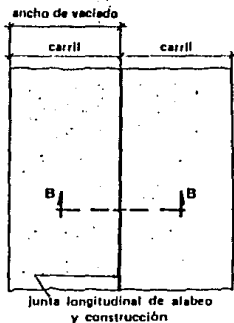
Estas barras de anclaje no se diseñan para transmitir carga vertical ni momento flector, y por eso son de diámetros pequeños -- 12.7mm. ó 15.9 mm. Cuando existe confinamiento lateral del pavimento (por ejemplo, en las calles urbanas y aeropuertos) no es necesario colocar las barras de anclaje, ya que dicho confinamiento es suficiente para mantener cerrada la junta y asegurar la eficiencia de la trabazón del agregado.

- b) Si el pavimento se construye carril por carril (que es lo usual en nuestro país por las características de los equipos disponibles),- la junta longitudinal es también junta de construcción del tipo -- machi-hembrado, con barras de anclaje cuando no existe confinamiento lateral. La figura IV.24.b muestra el detalle de este tipo de junta.

FIG. IV.24 JUNTAS LONGITUDINALES



(a) JUNTA LONGITUDINAL PARA PAVIMENTO VACIADO EN TODO SU ANCHO



(b) JUNTA LONGITUDINAL PARA PAVIMENTO VACIADO CARRIL POR CARRIL

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

$$A_u = \frac{b f_w}{f_s} \quad \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \right]$$

DONDE:

- A_s = AREA DE ACERO POR UNIDAD DE LONGITUD DE JUNTA [cm²/m]
- b = DISTANCIA ENTRE LA JUNTA EN CONSIDERACION Y EL BORDE LIBRE DEL PAVIMENTO, CORRESPONDE NORMALMENTE AL ANCHO DEL CARRIL [m]
- f = COEFICIENTE DE FRICCIÓN ENTRE LOSA Y SUELO (1.5)
- w = PESO DE LA LOSA POR UNIDAD DE AREA [kg/ m²]
- f_s = ESFUERZO DE TRABAJO DEL ACERO, NORMALMENTE SE TOMA 0.67 f_y (ESFUERZO DE FLUENCIA DEL ACERO) [kg/cm²]

En base a la fórmula anterior y a pavimentos reales, se recomienda que la separación máxima entre varillas sea de 1.20 m.

Asimismo la longitud de las barras de anclaje debe ser tal que el esfuerzo de adherencia p cada lado de la junta iguale el esfuerzo de trabajo del acero. Agregando 7.5 cm. para compensar defectos de colocación de la varilla, la longitud total de esta puede calcularse por medio de la siguiente fórmula:

$$L = \frac{2 A f_s}{a p} + 7.5 \quad [\text{cm}]$$

DONDE:

- L = LONGITUD TOTAL DE LA BARRA DE ANCLAJE [cm]
- A = AREA TRANSVERSAL DE UNA BARRA DE ANCLAJE [cm²]
- f_s = ESFUERZO DE TRABAJO DEL ACERO, NORMALMENTE SE TOMA 0.67 f_y [kg/cm²]
- a = ESFUERZO DE TRABAJO POR ADHERENCIA. SE PERMITE USAR EL 10% DE $f'c$, "a" NO DEBE SER MAYOR DE 24.5 kg/cm² [kg/cm²]

IV.6.3.2 JUNTAS TRANSVERSALES

Las juntas transversales pueden ser de contracción, expansión, alabeo o construcción. Normalmente, las de contracción funcionan también como juntas de alabeo y de expansión, en tanto que las de construcción se programan para que coincidan con alguna de las anteriores. De esta manera se obtiene un pavimento a base de losas prácticamente iguales entre sí. A continuación se describen en detalle las características de cada uno de los tipos de juntas transversales utilizadas en los pavimentos rígidos.

A) JUNTAS DE CONTRACCION

Son también juntas de alabeo, es decir, controlan las grietas causadas por la retracción del fraguado del concreto y por el alabeo del pavimento. La separación normal entre juntas varía entre 4.5 y 7.5 m.; en la selección final del espaciamiento entran en juego tal cantidad de variables que solo la experiencia local indicará el valor apropiado. En climas suaves o uniformes, la separación entre juntas puede ser mayor que en climas donde se presentan cambios grandes de temperatura, ya sean diarios ó estacionales.

En cuanto a la elección del sistema de transmisión de carga a través de la junta, la PCA resume la experiencia norteamericana en los siguientes puntos:

- a) En climas severos (sujetos a cambios drásticos de temperatura), las vías con tráfico mayor de 500 ejes equivalentes de 8.2 toneladas por día (en ambas direcciones) requieren el uso de pasadores de acero para complementar el funcionamiento de la trabazón de agregados.
- b) En climas moderados, las vías con tráfico muy pesado (del orden de 750 camiones por día) requieren también complementar la trabazón del agregado con pasadores de acero.

- c) Para tráfico liviano (calles residenciales, vías secundarias, etc.) la trabazón del agregado funciona eficazmente con juntas espaciadas a 4.5 m. Se cita el caso de 3200 km. de pavimentos rígidos de 15 cm. de espesor, con excelente comportamiento. (Estado de Iowa, USA.).
- d) En zonas no sometidas a heladas, la colocación de una sub-base mejorada con cemento permite construir juntas de contracción sin pasadores, con excelente comportamiento.

Se recomienda utilizar la experiencia local con pavimentos sometidos a condiciones de tráfico, clima y sub-camante similares a las de proyecto. Si no se dispone de esa experiencia, la separación entre las juntas y el tipo de transmisión de cargas deben proyectarse de acuerdo con las recomendaciones de la PCA. Cuando el pavimento necesite pasadores en las juntas de contracción, la PCA con base en consideraciones teóricas y en ensayos de campo y de laboratorio recomienda las características de los pasadores los cuales se muestran en la tabla IV.25

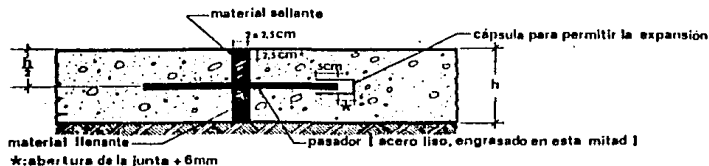
TABLA IV.25 REQUISITOS MINIMOS PARA PASADORES DE ACERO EN JUNTAS DE PAVIMENTOS

ESPESOR DEL PAVIMENTO (cm.)	DIAMETRO DEL PASADOR		LONGITUD TOTAL (cm.)	SEPARACION ENTRE CENTROS (cm.)
	(cm.)	(plg.)		
10	1,27	1/2	25	30
11 - 13	1,59	5/8	30	30
14 - 15	1,91	3/4	35	30
16 - 18	2,22	7/8	35	30
19 - 20	2,54	1	35	30
21 - 23	2,86	1 1/8	40	30
24 - 25	3,18	1 1/4	45	30
26 - 28	3,49	1 3/8	45	30
29 - 30	3,81	1 1/2	50	30

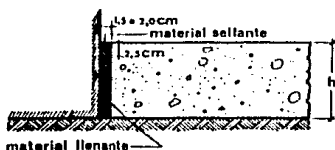
B) JUNTAS DE EXPANSION

En la actualidad las juntas de expansión se reservan tan solo para intersecciones del pavimento con estructuras fijas ó con otros pavimentos de concreto, las cuales se proyectan con base en la figura IV.26.a. Cuando el pavimento empalma con otras estructuras viales previamente existentes, en condiciones en las cuales no es posible construir mecanismos adecuados para la transferencia de cargas, se construye una junta como la de la figura IV.26.b en la cual se aumenta el espesor de la losa para absorber los esfuerzos de borde ocasionados por el tráfico.

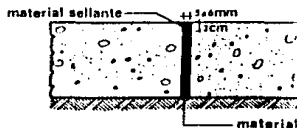
FIG. IV.26 JUNTAS DE EXPANSION



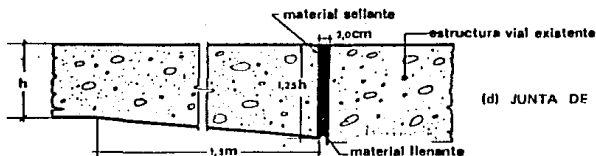
(a) JUNTA DE EXPANSION TIPO 1



(b) JUNTA DE EXPANSION TIPO 2



(c) JUNTA DE EXPANSION TIPO 3



(d) JUNTA DE EXPANSION TIPO 4

Contra estructuras que confinen el pavimento, se calcula una junta de expansión sin pasadores, con un ancho de 1.5 a 2 cm. (fig. IV.26-b), finalmente, alrededor de las tapas de cámaras de inspección y de los sumideros de los desagües, se coloca una junta sin pasadores de 0.5 a 0.6 cm. de ancho (figura IV.26. c), dispuesta como aparece en la figura IV.27.

C) JUNTAS DE CONSTRUCCION

Las juntas transversales de construcción se proyectan para que coincidan con las de contracción, la transferencia de carga se lleva a cabo por medio de pasadores de acero liso, ya que no existe trabazón de agregados entre las caras de los concretos vaciados en distintas épocas. La figura IV.28 presenta el detalle de la junta. Cuando la interrupción del vaciado es imprevista se presenta la necesidad de colocar una junta de construcción no proyectada, se deben seguir entonces los siguientes criterios, fig. IV.29.

- a) La longitud de la losa no será menor de 3m. En caso de que no se disponga de suficiente cantidad de concreto, la junta de construcción se trasladará hasta la junta transversal anterior. En todo caso la junta de construcción no programada no modifica la posición de las demás juntas transversales.
- b) La junta tendrá todo el ancho del vaciado.
- c) La transmisión de carga se puede ejecutar a través de barras de anclaje dimensionadas como si fueran pasadores. Obviamente éstas barras de anclaje no deben engrasarse, pues su misión, aparte de transmitir cargas a la losa vecina, es mantener la junta cerrada, (figura IV.29).

FIGURA IV.27
 JUNTA DE EXPANSION ALREDEDOR DE LAS
 TAPAS DE DESAGUE, QUE COINCIDEN CON
 LA JUNTA LONGITUDINAL DEL PAVIMENTO

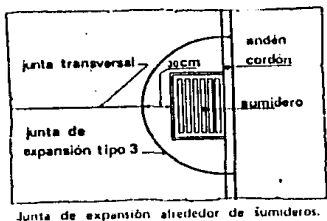


FIGURA IV.28
 JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUCCION
 PROGRAMADA

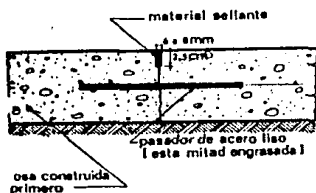
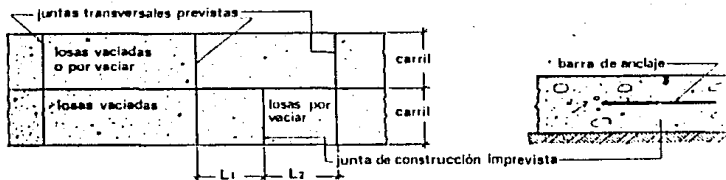


FIGURA IV.29 JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUCCION IMPREVISTA



VACIADO CARRIL POR CARRIL

C A P I T U L O V

LOS PAVIMENTOS RIGIDOS ANTE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

V.-I.- INTRODUCCION .

Todos sabemos que la función de un pavimento en última instancia es la de proporcionar al tránsito una superficie adecuada de rodamiento dentro de un marco en donde se involucran, principalmente, la economía de la obra, la comodidad y la seguridad del usuario. Con objeto de disponer de un marco de referencia para poder realizar un cuadro comparativo entre los pavimentos flexibles y los pavimentos rígidos, se considera necesario realizar una breve revisión de los principales aspectos que diferencian a los pavimentos, incluyendo una discusión acerca de sus ventajas y desventajas.

V.II.- DIFERENCIAS ENTRE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS Y LOS FLEXIBLES.

Puede decirse que la diferencia esencial entre uno y otro tipo radica en la forma como distribuyen los esfuerzos producidos por las cargas de los vehículos, hacia las capas inferiores. En el pavimento rígido debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, los esfuerzos tienden a ser distribuidos a áreas relativamente grandes de la sub-rasante, por lo que gran parte de la capacidad de carga es proporcionada por la losa misma. (capítulo III.4.1.0). Debido a ello, los esfuerzos que se inducen a las capas subyacentes son de pequeña magnitud, llegando a ocurrir que en determinadas zonas débiles de la terracería la reacción de estas sobre la losa se llegue a anular, pudiendo decirse en consecuencia, que la calidad del material que constituye las terracerías influye poco en espesor que debe alcanzar el pavimento para un proyecto dado.

En cambio, en los pavimentos flexibles, en donde la resistencia a la tensión de los materiales es muy pequeña, los esfuerzos se transmiten a áreas comparativamente menores que en los rígidos de tal suerte que en las deformaciones producidas en la propia terracería por la acción de las cargas, se refleja casi íntegramente en la propia superficie del pavimento. Por lo tanto, para restringir esta deformación a límites convenientes, es necesario reducir el nivel de esfuerzos que actúa sobre la terracería, lo cual se logra alejando la carga, es decir, aumentando correlativamente el espesor del pavimento.

En los países industrializados es común advertir una profunda controversia cuando se pretende discutir cual de los dos tipos de pavimentos es mejor. En tales discusiones se aducen razones de índole muy variada, sin --

TABLA V.1 COMPARACION ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

CONCEPTO	RIGIDO	FLEXIBLE
1.- Calidad de Rodamiento	Mayores problemas en el acabado superficial. Las juntas entre las losas suelen ser fuente de problemas.	Mayor facilidad para lograr una mejor superficie de rodamiento.
2.- Funcionalidad	Bajo altos niveles de tránsito este pavimento llega a ser más ventajoso, la falla más común es por agrietamiento, los cuales no suelen afectar la <u>funcionalidad</u> .	Cuando el tránsito es muy intenso suele ser común la formación de baches y roderas, que afectan seriamente la <u>funcionalidad</u> del pavimento.
3.- Agrietamiento	Es más probable que en este caso se presenten grietas no controladas, sin embargo, estas suelen ser de poca trascendencia.	El agrietamiento suele influir <u>mayormente</u> en el comportamiento del pavimento.
4.- Resistencia al derrapamiento.	Textura superficial más estable que la del flexible, requiere adoptar medidas especiales para disponer de una superficie anti-derrapante.	Requiere adaptar medidas especiales para disponer de una superficie anti-derrapante.
5.- Facilidad de reparación	Requiere alta especialización	Es relativamente sencilla, sin embargo, en caminos de alto tránsito la operación del mismo se ve <u>seriamente</u> afectada.
6.- Visibilidad	En general la visibilidad es mejor que en el pavimento flexible.	
7.- Durabilidad	Substancialmente mayor que la del pavimento flexible.	
8.- Construcción por etapas	No aplicable a este tipo de pavimento.	Muy favorable

TABLA V.I CONTINUACION

CONCEPTO	RIGIDO	FLEXIBLE
9.- Costos	<p>Los costos de construcción inicial son mayores, siendo en cambio menores las de conservación. En el punto de este capítulo se presenta un análisis en cada caso.</p> <p>Cuando se prevé un fuerte proceso inflacionario, puede ofrecer ventajas este tipo de pavimento.</p>	<p>Posibilidad de diferir inversiones al construir por etapas.</p>

llegar a demostrar de una manera general la supremacía de un tipo de pavimento sobre otro, desde luego se reconoce que, en general, existe una serie de ventajas y desventajas que habrá que ponderar debidamente para cada caso en particular. En la tabla V.I, se ha intentado resumir, según los puntos de vista compartidos por un sector importante de técnicos especializados en el campo de los pavimentos, los pros y contras que suelen observarse en uno y otro tipo de pavimento, respecto a un grupo de cualidades importantes que pueden llegar a influir, de una manera decisiva, en la elección de un determinado tipo de pavimento para un proyecto en particular.

Comentando lo expuesto de dicha tabla, se puede señalar que las cualidades más importantes que suelen favorecer los pavimentos rígidos con relación a los flexibles, se refieren principalmente a su mayor durabilidad y menor conservación a lo largo de su vida útil. Las otras características comparadas son un tanto relativas, por su parte los pavimentos flexibles tienen como principales ventajas sobre los rígidos, la de requerir, en general, un menor costo inicial de construcción y la gran adaptabilidad a ser construidos por etapas.

Para tener un panorama un poco más general sobre la diferencia de costos entre los pavimentos rígidos y flexibles en el siguiente punto se presenta un análisis económico de los 2 tipos de pavimento.

V.3.- ANALISIS ECONOMICO.

La elaboración de un estudio económico de un pavimento supone, además de valorar el costo inicial de construcción, todas aquellas erogaciones que requiere su correspondiente conservación y mantenimiento a lo largo de su vida útil.

Dado lo complejo de los factores involucrados, la cuantificación previa de dichos costos, a nivel de proyecto, ofrece un alto grado de dificultad, ya que en el proyecto de un pavimento dado existen, por lo general, múltiples alternativas o posibilidades que de antemano deben ser valuadas para lograr la elección óptima. De acuerdo con el costo unitario de los posibles materiales a emplear, los diversos espesores previsibles para cada una de las capas y las diversas estrategias de conservación que presumiblemente -

habrán de seguirse, según los factores climáticos, índices de tránsito y -- otros de índole diverso, se obtienen las diferentes soluciones posibles ordenadas gerárquicamente con respecto a su costo de construcción y conservación. Dichas soluciones suelen cubrir una amplia gama de estructuras de pavimento, las cuales a su vez, pueden corresponder tanto a secciones de tipo rígido como flexible. De esta manera se llega a determinar la solución óptima para un proyecto en particular, ponderando debidamente la información obtenida en donde se involucran los aspectos tanto de índole económica como operacional y de política de inversión.

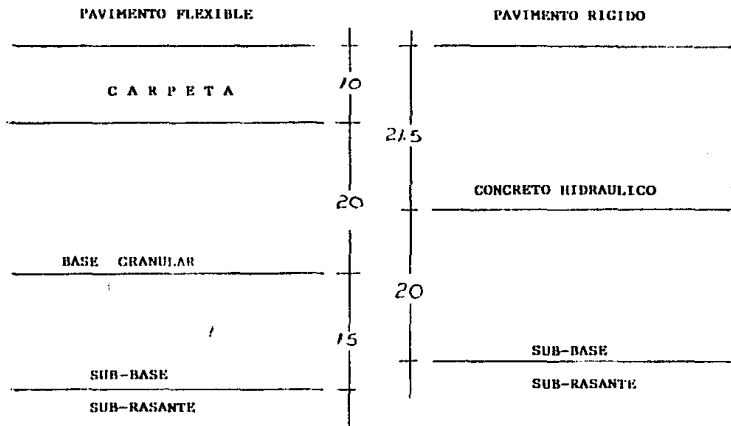
Obviamente para llevar a cabo un análisis es indispensable referir el estudio a cada caso particular, partiendo de una serie de datos específicos correspondientes a cada problema planteado.

Tratando de tener un indicador que nos permita visualizar cual puede ser la situación económica de los pavimentos rígidos frente a los flexibles, en el caso de que los primeros se aplicasen a las carreteras de nuestro país, así como a las calles urbanas, se efectuó un análisis de una manera general con el siguiente planteamiento:

Se eligió una sección tanto de pavimento rígido como de flexible (FIG. - V.2), resultado de un diseño realizado por los Ingenieros Manuel Zarate A. -- y Aguirre M. L. en un estudio realizado para el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, dichas secciones se analizaron para las mismas condiciones de tránsito (tránsito pesado 10×10^6 ejes equivalentes de 8.2. Ton), así como a igual calidad de suelo (V.R.S. de 8%).

Para la obtención de los costos de construcción inicial se emplearon precios de adquisición de materiales de acuerdo al mercado. Asimismo para el efecto de este análisis se supone que los pavimentos serán construidos en el área metropolitana, en los 2 casos no se considera la capa sub-rasante. A continuación se presenta el análisis del costo directo de cada tipo de pavimento.

Fig. V.2. Secciones estructurales para pavimento rígido y flexible - para tránsito pesado 10×10^6 ejes equivalentes y un V.R.S. de 8Z.



1.- PAVIMENTO FLEXIBLE.

A).- Sub-base con material de banco de 15 cm. de espesor incluye acarreo de 20 km. (M²).

CONCEPTO	U	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
a) Material para sub-base con acarreo en camión del volteo a 20km, incluye abundamiento y desperdicio.				
0.15M3/M2x1.33=0.20M3/M2	M3	0.20	\$ 40,000	\$ 8,000.00
b) Agua para compactación del material de sub-base				
0.027 M3/M2	M3	0.027	\$ 1,600	\$ 43.00
c) Camión pipa de 10,000 litros marca FAMSA de 140 H.P.	Hr.	0.013	\$ 47,000	\$ 611.00
d) Motoconformadora marca compacto CM-14 con motor diesel de 140 H.P.	Hr.	0.011	\$ 102,000	\$ 1,122.00
e) Compactador dinapac -- CA-25 Motor diesel de 110 H.P.	Hr.	0.02	\$ 174,000	\$ 3,480.00
			C.D.	\$13,256.00
b) Base de material granular seleccionado incluye carga con máquina y 20 km. de acarreo (M2).				

CONCEPTO	U	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
a) Material granular seleccionado, incluye carga y acarreo de 20 km; abundamiento y desperdicio.				
0.20 M3/M2x1.33=0.27M3/M2	M3	0.27	\$ 52,000	\$ 14,040.00
b) Agua para la compactación de material de base				
0.033 M3/M2	M3	0.033	\$ 1,600	\$ 53.00

CONCEPTO	U	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
c) Camión pipa de 10,000 Litros marca FAMSA de 140 H.P.	M3	0.013	\$ 47,000	\$ 611/M2
d) Motoconformadora marca compacto con motor diesel de 140 H.P. 13,12M3/Hr=65.60M2/Hr.	M3	0.015	\$102,000	\$ 1,530/M2
e) Compactador dinapac -- CA-25 Motor diesel de 110 H.P. 8.75M3/Hr=43.74M2/Hr	M3	0.02	\$174,000	\$ 3,480/M2
			COSTO DIRECTO	\$19,714⁰⁰/M2

1).- Riego asfáltico de impregnación con asfalto FM-1 a razón de 1.5 litros por metro cuadrado, incluye acarreo de 20 km.

CONCEPTO	U	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
a) Suministro de asfalto FM-1 (en almacén local) incluye carga a petrolizadora y acarreo a 20km. 1.5lts./M2+5% desp.	litro	1.58	\$ 880 ⁰⁰	\$ 1,390/M2
b) Petrolizadora sobre camión FAMSA S-1834 marca SEAMAN-GUNNISON modelo 1140 de -- 155 H.P. de 4300 litros. 0.003 Hrs/M2	Hr	0.0035	\$ 98,000	\$ 343 ⁰⁰ /M2
			COSTO DIRECTO	\$ 1,733/M2

2.- Riego de liga con asfalto FM-1 a razón de 1⁰⁰ litros por metro cuadrado, incluye carga y acarreo a 20 km.

a) Suministro de asfalto FM-1 (en almacén local), incluye carga a petrolizadora y acarreo a 20km. 1 ⁰⁰ lts/M2+5% desp.	litro	1.05	\$ 880	\$ 924 ⁰⁰ /M2
--	-------	------	--------	--------------------------

CONCEPTO	U	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
b) Petrolizadora sobre camión FAMS A S1834 SEAMAN-GUNNISON Modelo 1140 de 155 H.P. capacidad 4300 Hr.				
1.5.11ts/M ² X1.05=1.05 ll/M ² Hr		0.0025	\$ 98,000	\$ 245
			COSTO DIRECTO	\$ 1,169/M ²
3) Carpeta de concreto asfáltico PA-5 con espesor compacto de 10cm. incluye carga y acarreo de 20 km. (M ²).				
a) Suministro de concreto asfáltico en planta, incluye carga a camión, abastecimiento y desperdicio.				
1°M ³ X1.30X0.10=0.13M ³ /M ²	M ³	0.13	\$ 89,100	\$ 11,583 ⁷ /M ²
b) Acarreo en camión de volteo de 7M ³ , kilometros subsecuentes.				
0.13 M ³ /M ² X20= 2.60	M ³ /km.	2.60	\$ 725	\$ 1,885 ⁸ /M ²
c) Pavimentadora Barber-Green modelo 5B-131, motor diesel de 95 H.P. incluye controles de nivel.				
15.75 M ³ /Hr=121M ² Hr.	Hrs.	0.008	\$ 211,000	\$ 1,688/M ²
d) Compactador dinapac CA-25 motor diesel de 110 H.P. Incluye abastecimiento y -- desperdicio.				
121 M ² /Hr.	Hrs.	0.008	\$ 174,000	\$ 1,392 ⁹ /M ²
e) Compactador Duo-Pactor de llantas neumaticas mod. 10-30 R.D. 8 de - 123 H.P.				
121 M ² /Hr.	Hrs.	0.008	81,000	\$ 648/M ²
f) Compactador dinapac CA-25 motor diesel de 110 H.P.				
15.75 M ³ /Hr.	Hrs.	0.008	\$ 174,000	\$ 1,392 ¹⁰ /M ²

CONCEPTO	U	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
g) 0.10 Cabo + Peñón para limpieza 1500 M ² /Jor	Jor	0.007	\$ 55,714.00	\$ 390.00/M ²
h) Herramienta menor y escobas	z	10	\$ 390.00	\$ 39.00
COSTO DIRECTO:				\$ 19,017.00
3) Riego de sello sobre carpeta asfáltica a razón de 1 kg. de cemento por M ² , incluye limpieza.				
a) Cemento Normal	Ton.	0.00	\$350,000.00	\$ 350.00/M ²
b) Agua para construcción	M ³	0.003	1,600.00	\$ 5.00/M ²
c) 0.10 Cabo + Peñón 1000 M ² /Jor.	Jor	0.001	\$55,714.00	\$ 56.00/M ²
d) Herramienta y escobas	z	10	\$ 56.00	\$ 6.00/M ²
COSTO DIRECTO:				\$ 417/M ²

Resumen costo de carpeta asfáltica terminada.

1) Riego de impregnación	\$ 1,733.00/M ²
2) Riego de Liga	\$ 1,169.00/M ²
3) Carpeta de concreto asfáltica	\$19,017.00/M ²
4) Riego de sello	\$ 417.00/M ²
	<u>\$22,336.00/M²</u>

Resumen Final Pavimento Flexible.

a) Sub-base	\$ 13,256.00/M ²
b) Base	\$ 19,714.00/M ²
c) Carpeta asfáltica 10 cm.	<u>\$ 22,336.00/M²</u>
Costo Directo:	\$ 55,306.00/M²

Ahora se analizará el costo del pavimento rígido de acuerdo a la sección de la figura V. 2

2.-Pavimento de concreto premezclado de f'c= 280 kg/cm² y revestimiento de 7 -- con agregado de 1 1/2", con juntas transversales a base de varillas lisas - de 1" de diámetro y trabazón de agregado, juntas longitudinales con cimbramachihembra.

CONCEPTO	U	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
a) Concreto premezclado f'c=280 kg/cm ² , agregado de 1 1/2", 7 cm. de revestimiento, incluye desperdicio.	M ³	0.22	\$ 320,000.00	\$70,400.00/M ²
0.215 x 1.03=0.22 M ³ /M ²				

CONCEPTO	U	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
b) Cimbra metálica para junta longitudinal.	M.L.	0.57	\$ 1,749 ⁰⁰	\$ 997/M2
c) Varillas de acero liso de 1 Puig. para juntas transversales. 0.25M.L./M ² 0.25X3.98=1kg/M2	Tn.	0.001	\$1'600,000	\$ 1,600/M2
d) Agua	M3	0.008	\$ 1,600	\$ 13/M2
e) Grasa para varillas de acero liso	Kg.	0.017	\$ 9,800	\$ 167/M2
f) Cemento asfáltico para sellado de juntas	lt s.	0.175	\$ 935	\$ 164/M2
g) Vibrador de chicote marca MECSA con motor de 4 H.P. marca KOHLER	Hr.	0.009	\$ 13,887	\$ 125/M2
h) Roda vibratoria para enrase de pavimento	lir.	0.009	\$ 14,822	\$ 133/M2
i) Cortadora de concreto de sierra para juntas transversales y longitudinales.	M.L.	0.50	\$ 5,060	\$ 2,530/M2
j) Mano de obra para maniobras en el tendido del concreto y terminado, 2 oficiales más 8 peones 4.80M3/Jor=22M2-Jor.	Jor	0.045	\$ 344,310	\$15,494 ⁰⁰
k) Mano de obra colocado y engrasado de varillas 1 of y 1 peón 0.080 T/Jor.	Jor	0.012	\$ 75,748	\$ 909/M2
l) Mano de obra sellado de juntas un oficial y un ayudante	Jor	0.01	\$ 75,748	\$ 757/M2
m) Herramienta y equipo menor	%	5	\$ 17,160	\$ 858/M2
			COSTO DIRECTO	\$94,147/M2

RESUMEN DE COSTO DE PAVIMENTO RIGIDO

a) Sub-base 20 cm. espesor		
\$13,256.00 X 0.20 + 0.15		\$ 17,675.00 / M ²
b) Losa de concreto hidráulico		\$ 94,147.00 / M ²
21.5 cm de espesor		
	COSTO DIRECTO	\$ 111,822.00 / M²

A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos de los costos de construcción inicial.

TIPO DE PAVIMENTO	COSTO INICIAL PESOS/M ²	COSTO RELATIVO PAV. RIGIDO CONTRA FLEXIBLE.
FLEXIBLE	\$ 55,222.00	2.02
RIGIDO	111,822.00	2.02

Se puede observar que para un mismo tipo de suelo y para tránsito pesado el costo del pavimento rígido llega a ser del orden del doble del costo del pavimento flexible (en un estudio realizado por el Ing. Manuel Zárate A. y el Ing. Aguirre M. en el año de 1977 para estas mismas condiciones e igual sección de pavimento obtienen un costo relativo del pavimento rígido con respecto al flexible de 2.20, asimismo para un suelo con VRS de 8% y tránsito mediano, 1×10^6 ejes equivalentes de 8.2 toneladas acumuladas, obtienen una relación de 2.66, para el mismo tipo de suelo y tránsito ligero, 0.10×10^6 ejes equivalentes de 8.2 ton acumuladas, obtienen una relación de costo de 4.27, con lo que se puede observar que a medida que disminuye el peso de tránsito la relación de costos aumenta)

IV.3.1. COSTOS DE CONSERVACION

Los trabajos de conservación de un pavimento pueden encasillarse propiamente, dos fases, la primera de ellas comprende todas aquellas labores de mantenimiento que implican las continuas reparaciones de los diversos deterioros que paulatinamente van apareciendo en el pavimento, tales como baches, grietas o fisuras, desprendimientos superficiales de la carpeta etc., lo cual supone la necesidad de efectuar bacheos, calafateos y riegos de sello periódicos, principalmente.

Todas estas labores tienen un carácter que puede considerarse como rutinario.

La segunda fase corresponde propiamente a aquellos trabajos que tienen - como principal objetivo restituir al pavimento sus condiciones originales, las que han sido alteradas en mayor o menor grado, por efectos del tránsito e interperie, afectando de una manera sensible su calidad de rodamiento. Es entonces cuando se hace necesario emprender trabajos de rehabilitación del pavimento, que a la vez de reforzarlo, le devuelven sus características de uniformidad. Básicamente estos trabajos consisten en la colocación de capas de mezclas asfálticas a ciertos intervalos de tiempo.

La experiencia demuestra (Zarate A.M., Aguirre M.L.) que cuando estas fases no se conjugan de una manera oportuna y eficiente, la conservación se torna crítica, a un grado tal, que para ser operable el pavimento, llega a requerir propiamente una verdadera reconstrucción del mismo.

Debido a la complejidad para evaluar los costos de mantenimiento, en este trabajo se considerarán los porcentajes con respecto al costo inicial obtenidos por el Ing. Zarate A.M. y Aguirre M.L., en donde los costos de mantenimiento se obtuvieron en base a las siguientes consideraciones:

- 1) Por lo que se refiere a los costos de conservación rutinaria fue el resultado de una encuesta realizada en diversas dependencias gubernamentales, relacionadas con la conservación de pavimentos.
- 2) En cuanto a la estimación de los costos correspondientes a la segunda fase de conservación, es decir, a la rehabilitación formal periódica del pavimento, se considera una vida útil de 30 años, requiriéndose - para los pavimentos flexibles la construcción de sobre carpetas a intervalos de 10 años, con espesores de 10 cm. Para el pavimento rígido se considera la necesidad de aplicar una sobrecarpeta de concreto asfáltico de 7 cm. de espesor a partir del 20° año de entrar en operación.
- 3) Se obtienen costos actualizados, que es el costo actual de la inversión que será realizada en una fecha futura, para su cálculo se emplea la siguiente expresión.:

$$P = \frac{M}{(1+i)^n} \quad [\$]$$

DONDE: P = Valor actualizado de la inversión M, a realizar en lo futuro [\$]
 i = Tasa de Interés [%]
 n = Número de años del periodo de análisis [años]

Para efecto de este trabajo se considera una tasa de interés del 12% que es la más cercana a la situación actual de México, se hace la aclaración que a mayor tasa de interés serán menores los costos totales actualizados y viceversa. Con lo que se puede observar que la alternativa de un pavimento con bajo costo inicial y alto costo de mantenimiento es favorable para tasas de interés altas. Inversamente, las bajas tasas de interés favorecen las alternativas de pavimentos con alto costo inicial y bajo costo de mantenimiento.

Teniendo en consideración lo anterior a continuación se muestran los -- costos iniciales, los costos actualizados de mantenimiento y los costos totales actualizados de las secciones de pavimento analizados en este capítulo, para un periodo de diseño de 30 años.

V.R.S. %	TIPO DE PAVIMEN TO	COSTO INICIAL (\$/M ²)	% DE MANTENIMIEN TO CON RESPECTO AL COSTO INICI AL.	COSTO DE MANTENI MIENTO -- ACTUALIZA DO. (\$/M ²)	COSTO TO TAL ACTUA LIZADO. (\$/M ²)
8	FLEXIBLE	55,222	48.05	\$26,534.	\$ 81,756
8	RIGIDO	111,822	1.75	\$ 1,957.	\$113,779.

Como puede observarse en la tabla anterior la relación entre el pavimento rígido y el flexible para tránsito pesado anda alrededor de 1.39 se hace la relación que para tránsito mediano y ligero esta relación tiende a aumentar. -- Considerablemente.

V. 3.2 COSTOS DE OPERACION

Tomando en cuenta que los trabajos de conservación del pavimento, y en especial los que se refieren a la rehabilitación formal del mismo, originan -- trastornos de operación del mismo, muchos especialistas en la materia, consideran que la valoración de estos costos, llamados de operación, no debe omitirse cuando se intenta establecer comparaciones entre los costos que representan -- ambos tipos de pavimento

Con el fin de valorar los costos de operación, se han desarrollado varios métodos, en los cuales intervienen como principales parámetros, el volumen de tránsito de la carretera y los procedimientos para su control en las interferencias, el número de carriles, las velocidades y costos de operación al - variar estas.

Es interesante hacer notar que de todos los factores enunciados, es quizás el volumen de tránsito el que adquiere mayor relevancia, ocurriendo el caso de que cuando el volumen de tránsito es particularmente elevado, se llega a concluir que las interferencias producidas en el mismo son a tal grado costosas, que resulta antieconómico recurrir a secciones estructurales sujetas - a frecuentes trabajos de mantenimiento, debiéndose optar por aquellas que requieren de un mínimo de conservación.

C A P I T U L O V I

PERSPECTIVAS PARA LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN MEXICO

VI. 1 INTRODUCCION

Como es bien sabido, la pavimentación de la red carretera de nuestro país - ha sido resuelta en su integridad recurriendo a los pavimentos flexibles. Por consiguiente, no existe un solo tramo de camino pavimentado con concreto hidráulico (a excepción de algunos pavimentos urbanos), a diferencia de lo que ha venido ocurriendo en la mayoría de los países industrializados, en donde con mayor o menor frecuencia, recurren al empleo de los pavimentos hidráulicos en su sistema vial.

VI. 2 FACTORES QUE DETERMINAN LA ELECCION DEL TIPO DE PAVIMENTO.

Indudablemente uno de los factores que mayor influencia suelen tener en la elección del tipo de pavimento esta relacionado con las diferencias en los costos requeridos para la construcción de uno u otro tipo, sobre todo si se toma en cuenta que la política de inversión que se ha venido aplicando en nuestro país, da preferencia a la construcción de más caminos y no a mejores caminos.

Aún cuando la comparación de los costos iniciales de construcción no constituyen por si sola, una medida que refleje la comparación económica de uno u otro tipo de pavimento, ya que para ellos había que involucrar otros costos tales como los de operación y mantenimiento, es innegable que esta comparación tiene en nuestro medio, una influencia muy importante en la elección final del tipo de pavimento.

Adicionalmente al factor económico, se identifican otros factores que en la práctica llegan a intervenir con más o menos peso en la decisión, tales factores pueden ser los siguientes:

- a) Confiabilidad
- b) Limitaciones en el mantenimiento y conservación
- c) Equipo y Prácticas de construcción
- d) Disponibilidad presente y futura de los materiales requeridos

Aún cuando en teoría ambos tipos de pavimento deben garantizar, para cada caso en particular, un adecuado comportamiento, supuesto que se proceda de una manera racional en su diseño, ello no significa que necesariamente la solución propuesta sea igualmente confiable, y de hecho, en la práctica se ha podido constatar que un pavimento rígido ofrece mayores garantías cuando se trata, por ejemplo, de suelos particularmente difíciles (expansivos, susceptibilidad a las heladas etc.), aunado, a la condición de tránsito intenso (Zarate A. y Aguirre M.L.).

En la operación de carreteras de tránsito particularmente intenso, las labores de conservación suelen representar serias interferencias al flujo de los vehículos, que llegan a constituir verdaderas situaciones de conflicto. En tales condiciones, el optar por un pavimento cuya conservación sea mínima, puede constituir una sana decisión, aún cuando presumiblemente dicha solución requiera de una mayor inversión inicial.

La disponibilidad de equipos de construcción y las condiciones más favorables en cada caso, pueden en ocasiones, ser determinantes para la elección de uno u otro tipo de pavimento. Como ejemplo podría citarse el caso de una preferencia al tipo de pavimento que requiera una menor mecanización, en beneficio de un mayor empleo de mano de obra, lo cual puede constituir una política ampliamente justificable, desde un punto de vista social, aún cuando un tanto al margen del factor estrictamente económico del pavimento.

Por lo que se refiere a la influencia que puede ejercer la disponibilidad presente y futura de los materiales requeridos, en la elección del pavimento, debe tenerse muy presente que para el caso de pavimentos flexibles, estos se fabrican en base a un derivado del petróleo que es un recurso no renovable. En cambio para la fabricación del concreto hidráulico, el cemento portland se produce principalmente a partir de la roca caliza de gran abundancia en nuestro país, en relación con su actual utilización. Se estima que un pavimento de esta naturaleza requiere una quinta parte de productos derivados del petróleo con respecto a los pavimentos asfálticos, en un periodo de 20 años.

En base a lo expuesto en los capítulos anteriores y este capítulo, a continuación, se realizarán una serie de comentarios y reflexiones que nos podrán formar un criterio de la posibilidad de construcción de pavimentos rígidos en nuestro país, tanto a corto como a largo plazo.

- A) Se reconoce ampliamente que los factores que determinan la elección de un pavimento, rígido ó flexible, son múltiples y de naturaleza variada. De ahí que dicha elección sea motivo de controversias en la mayoría de los países industrializados. Es innegable asimismo, que el factor al que se le otorga mayor peso en la decisión es el económico, y más concretamente, al correspondiente a la inversión inicial, es decir, al costo de construcción. Por lo anterior se considera que éste último factor, o sea el del costo de construcción inicial, es el que con mayor énfasis ha limitado en nuestro país, el uso de los pavimentos de concreto hidráulico en las carreteras y calles.
- B) De acuerdo a la comparativa de costos realizada en el capítulo V (se hace la aclaración que la relación de costo obtenida, únicamente es representativa para éste trabajo, ya que debe reconocerse que dichos costos pueden variar dentro de límites muy amplios, debido principalmente a la disponibilidad de materiales, así como equipo de construcción), el costo de construcción de un pavimento rígido con respecto a uno de tipo flexible, llega a ser del orden de 2 veces el costo del primero con respecto al segundo para el caso de tránsito pesado, se hace la aclaración que a menor peso de tránsito la relación tiende a aumentar considerablemente - capítulo (IV.3).

Si en la comparación económica de ambos tipos de pavimento se incluye, además del costo de construcción, los costos de conservación y mantenimiento a lo largo de la vida útil de los mismos, su relación de costos disminuye, reduciéndose el factor para el caso estudiado (tránsito pesado) a 1.39 en términos de costos actualizados y tasa de interés de 12%, para tasas de interés menores la relación de costos actualizados tiende a disminuir (Capítulo IV.3.1). Asimismo para tránsito mediano y ligero esta relación tiende a aumentar considerablemente (Zárate Aquino M., Aguirre M.L.).

Debe tenerse presente que en las relaciones de costos expresados anteriormente, por falta de información no se tomaron en cuenta los costos de operación de los vehículos, debidos a la interferencia sufrida por los mismos al efectuarse labores de conservación y reconstrucción del pavimento. De haberlo hecho, seguramente las relaciones de costos entre ambos tipos de pavimentos se verían disminuidos apreciablemente, sobre todo para el caso particular de tránsito intenso.

- C) En éste trabajo se considera que la falta de promoción e interés en la construcción de pavimentos rígidos en México por parte de los fabricantes:

de cemento Portland, ha sido un factor muy importante en la ausencia total de pavimentos de concreto en nuestras carreteras, y a la casi nula - en las ciudades.

La promoción deberá apoyarse, no solo en apoyo técnico, dirigido a las - condiciones en donde los pavimentos rígidos ofrecen una mayor competitivi- dad con respecto a los flexibles, desde un punto de vista económico, sino - también buscando soluciones financieras que hagan más atractivo su empleo, - dentro de un marco de carácter propiamente promocional, como pudieran ser: - la reducción del costo del cemento dentro de límites factibles, lograr fi- nanciamientos con bajas tasas de interés, así como la optimización del dise- ño estructural.

C A P I T U L O V I I

CONCLUSIONES

VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Siendo los pavimentos rígidos una opción para la zona de rodamiento de las carreteras, calles y avenidas, en este trabajo se presentaron las generalidades para un buen diseño, basadas principalmente en estudios experimentales realizados en Estados Unidos, así como en resultados obtenidos en caminos de prueba. - Además se estudiaron los principales factores que han limitado su construcción en las carreteras, calles y caminos de México. De lo que se pueden desprender - las siguientes conclusiones:

1.- Siendo el tránsito la carga que va a soportar el pavimento, éste, junto con los efectos climáticos, deben quedar en niveles no destructivos durante la vida para la que se diseña. Las siguientes recomendaciones se consideran necesarias para prevenir los daños causados por el agua, (Capítulo III.2).

- a) Desarrollar un sistema de drenaje adecuado que mejore la recolección -- del escurrimiento superficial y minimice la infiltración.
- b) Mantener la superficie del pavimento razonablemente impermeable y reducir la infiltración de agua de lluvia.

2.- A diferencia de los pavimentos flexibles, en los pavimentos rígidos la función primordial de la sub-rasante es proporcionar un apoyo razonablemente uniforme y de la sub-base, prevenir el bombeo. Con frecuencia los materiales que forman parte de la sub-rasante, presentan características favorables que pueden substituir las funciones de la sub-base. De acuerdo a estudios realizados por - la Asociación de Cemento Portland (PCA) y varios departamentos de carreteras de los Estados Unidos, se llegó a la conclusión que la colocación de la sub-base - no se justifica desde el punto de vista económico en los siguientes casos:

- a) En pavimentos con tráfico diario no mayor de 200 vehículos pesados.
- b) En sub-rasantes que contengan más del 5% retenido en la malla No. 200 e índice de plasticidad no mayor de 6, con tráfico moderado.

Hay que tener presente la opinión del Ing. Fernando Olvera Bustamante, que basado en su experiencia, opina que, aunque se cumplan las características anteriores, en sub-rasantes con una pendiente mayor del 3%, no solamente es recomen

dable, sino necesario, la colocación de una sub-base rigidizada, para evitar la tubificación en las capas del pavimento originada por el agua.

3.- El concreto utilizado en las losas deberá tener una resistencia a la flexión (MR), entre 40 y 45 kg/cm². Para poder realizar un control en el concreto utilizado se debe realizar la prueba de tensión por flexión, debido a que la prueba es muy elaborada y consume un considerable volumen de concreto, se puede realizar una correlación entre el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión del concreto, ajustando la gráfica de la figura IV.6 del capítulo IV, de acuerdo a los materiales petreos y el cemento Portland que se utilice en una obra determinada.

4.- En lo que respecta a los métodos de diseño de espesores de pavimentos rígidos, en este trabajo se estudiaron los 3 métodos siguientes:

- a) Método de Fatiga de la Asociación de Cemento Portland (PCA)
- b) Método de Fatiga y Erosión de la Asociación de Cemento Portland (PCA)
- c) Guía provisional AASHO

El método del inciso (a) se fundamenta en el concepto de que la falla de las losas del pavimento ocurre por fatiga en el supuesto de que los esfuerzos originados por las cargas no exceden la resistencia a la flexión del concreto únicamente, se toma en cuenta dicha resistencia para su diseño.

El método del inciso (b), fué publicado en el año de 1984 por la Asociación de Cemento Portland (PCA), en un informe titulado "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements", al igual que el método del inciso (a), se basa en la fatiga del concreto, pero además de considerar la resistencia a la flexión del concreto, se toma en cuenta el acotamiento del pavimento. Asimismo se realiza una revisión por erosión (nuevo fenómeno considerado en el diseño de pavimentos rígidos), que es un criterio que se aplica para limitar los efectos de las deflexiones del pavimento en los bordes de las losas, y así evitar la erosión de la cimentación (Sub-rasante ó sub-base).

El método del inciso (c), es una guía provisional publicada por la AASHO - (Asociación Americana de Funcionarios de carreteras), que se basa en relaciones empíricas derivadas de pruebas realizadas en pavimentos, suplementadas por la teoría e información desarrollada en la práctica.

En este trabajo se consideró necesario realizar una comparativa de los resultados obtenidos por cada uno de los métodos, de lo que se desprenden las siguientes conclusiones:

- A) Para las mismas condiciones de diseño, el método del inciso (b), da espesores mayores que el método del inciso (a) (de 2 a 3 centímetros), -- ver ejemplos de diseño No. 1 y 4.
- B) En el método del inciso (b), el análisis por fatiga controlará usualmente el diseño de pavimentos con tránsito mediano y ligero. El análisis -- por erosión por lo general controlará el diseño de pavimentos con tránsito pesado (Asociación de Cemento Portland), ver ejemplo de diseño No. 5.
- C) En el análisis por erosión se considera el acotamiento del pavimento, -- así como los mecanismos de transmisión de carga en las juntas, como las varillas para juntas y la trabazón del agregado.
- D) El método del inciso (c), es una guía provisional publicada por la --- AASHO, en donde el espesor del pavimento se obtiene a través de un nomograma donde se involucra: El número total de aplicaciones de carga equivalente, esfuerzo de trabajo, módulo de elasticidad del concreto y módulo de reacción de la sub-rasante. A continuación se presentan los espesores resultantes de los ejemplos solucionados por este método, y al mismo tiempo se comparan con los métodos del inciso (a) y (b).

EJEMPLO DE DISEÑO	METODO DE LA AASHO	METODO DE FATIGA	METODO DE FATIGA Y EROSION
No. 7	17 cm.	20 cm.	22.5 cm.
No. 8	26 cm.		25 cm.

5.- La duración de un pavimento está condicionada por la duración de sus juntas, ya que las fallas más frecuentes no se deben a inadecuada capacidad estructural

nino a problemas originados en las juntas. Dado que estas son imprescindibles en los pavimentos rígidos, son necesarios un diseño correcto, una buena construcción y un adecuado mantenimiento para obtener una larga vida. En la selección final de las características de las juntas, entran en juego gran cantidad de variables, en su elección se debe de considerar la experiencia local, si no se cuenta con suficiente experiencia, se recomienda utilizar la experiencia Norteamericana, difundida por la Asociación de Cemento Portland (PCA), (Capítulo - IV.6).

6.- Con objeto de disponer de un marco de referencia entre los pavimentos rígidos y los flexibles, que nos permitiera visualizar los factores que han limitado la construcción de pavimentos rígidos en México y poder formarse un criterio de sus perspectivas de construcción, tanto a corto como a largo plazo. Para lo cual se realizó un cuadro comparativo entre los dos tipos de pavimento, incluyendo un análisis económico. Se hace la aclaración que la relación de costos obtenida es únicamente representativa para este trabajo, ya que debe reconocerse que dichos costos pueden variar dentro de límites muy amplios, debido principalmente, a la disponibilidad de materiales y del equipo de construcción. De lo que se puede concluir:

- a) Las cualidades más importantes que favorecen a los pavimentos rígidos con relación a los flexibles son: Su mayor durabilidad y menor conservación a lo largo de su vida útil. Por su parte los pavimentos flexibles tienen como principales ventajas sobre los rígidos, la de requerir, en general, un menor costo y la gran adaptabilidad a ser construídos por etapas.
- b) En este trabajo se analizó el costo inicial de un pavimento sometido a tráfico pesado y un suelo de mediana calidad. Basado en un estudio realizado por el Ing. Manuel Zárate A. y el Ing. Aguirre M., en el año de 1977, se presentó la relación obtenida para un tráfico mediano y ligero, el cual nos puede servir para efecto de éste trabajo, los resultados obtenidos se presentan a continuación:

PESADO	2.02 (2.20)*
MEDIANO	2.66*
LIGERO	4.27*

NOTA: (*) Obtenido en el año de 1977 por el Ing. Manuel Zárate A. y el Ing. Aguirre M., en un estudio realizado para el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

De lo que se deduce que el tipo de tránsito influye considerablemente en el costo inicial del pavimento.

- c) Si en la comparación económica de ambos tipos de pavimento, se incluye, además del costo de construcción inicial, los costos de construcción y mantenimiento, a lo largo de la vida útil de los mismos, su relación de costos disminuye, reduciéndose el factor para el caso estudiado (tránsito pesado), de 2.02 a 1.39, en términos de costos actualizados, considerando una tasa de interés de 12%. Para tasas de interés menores la relación de costos actualizados, tiende a disminuir. Asimismo esta relación de costos tiende a aumentar para tránsito mediano y ligero (Zárate A.M. Aguirre M.). Actualmente en México se presenta cierta estabilidad económica, en donde las tasas de interés tienden a ser bajas, por lo que una inversión en pavimentos con altos costos de construcción inicial y bajos costos de mantenimiento, se vería más favorecida. (Cap. V.3.1.).
- d) En la operación de carreteras de tránsito particularmente intenso, las labores de conservación y mantenimiento, suelen representar serias interferencias al flujo de los vehículos, que llegan a constituir verdaderas situaciones de conflicto, lo que origina costos en la operación de los mismos. En tales condiciones el optar por un pavimento cuya conservación sea mínima, puede constituir una sana decisión, aún cuando dicha solución requiera de una mayor inversión inicial.
- e) Al realizar este trabajo se pudo observar, que en la década de los sesenta en algunas unidades habitacionales construidas por el sector privado, sus pavimentos fueron solucionados con concreto hidráulico (Bos-

8.-	Ramírez C. Juan "Catálogo Auxiliar de Análisis de Precios Unitarios en Edificación"	México	1990
9.-	Santander R. N. Madrid Fernandez H. "Pavimentos de Concreto, Manual de Diseño" Instituto Colombiano de Productores de Cemento	Colombia	1975
10.-	Santiago Bringas Manuel "Diseño de Espesores de Pavimentos Rígidos para Carreteras" Tesis Profesional Universidad de Puebla	México	1986
11.-	Secretaría de Obras Públicas "Diseño de Pavimentos de Concreto"	México	1968
12.-	Yoder E.J. Witczak M. W. "Principales of Pavements Design" John Wiley and Sons Inc.	E.U.A.	1975
13.-	Zárate A. Manuel Aguirre M.L. Fernández H.O. "Identificación de los factores que limitan la utilización del cemento y del concreto en las carreteras de México" Informe No. 505-01-77 Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.	México	1977

B I B L I O G R A F I A

- | | | |
|--|--------|------|
| 1.- Avitia G. Rodolfo
"Pavimentos de Concreto"
Instituto Mexicano del Cemento
y del Concreto | México | 1977 |
| 2.- Cámara Nacional de la Industria
de la Construcción.
"Costos Unitarios, Pavimentos" | México | 1987 |
| 3.- Crespo Villalaz Carlos
"Mecánica de Suelos"
Editorial Limusa | México | 1979 |
| 4.- Hudson R.
"Diseño de Pavimentos Rígidos y
repavimentación: Experiencia -
Norteamericana.", aportes téc-
nicos No. 4.
Instituto Chileno del Cemento y
del Hormigón. | CHILE | 1982 |
| 5.- Lawrence I. Hewes
Clackson W. Oglesbi
"Ingeniería de Carreteras"
Editorial Continental | E.U.A. | 1960 |
| 6.- Olivera Bustamante Fernando
"Estructuración de Vías Terrestres"
Editorial C.E.C.S.A. | México | 1986 |
| 7.- Portland Cement Association
"Thickness Design For Concrete
Highway and Street Pavements" | E.U.A. | 1984 |