

157

Universidad Nacional Autónoma de México



FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS
RIGIDOS Y FLEXIBLES

T E S I S

Que para obtener el Título de
I N G E N I E R O C I V I L
P r e s e n t a

NICOLAS PLASCENCIA ALBITER



México, D. F.

1985



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N D I C E

<u>CAPITULO</u>	<u>PAG.</u>
INTRODUCCION.....	5
I. PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO.....	8
I.1 DEFINICION.....	8
I.2 DIFERENTES TIPOS DE CARPETAS ASFALTICAS.	9
I.3 ASFALTOS.....	14
I.3.1 TIPOS DE ASFALTO.....	16
I.4 MATERIALES USADOS EN LA FABRICACION DE - CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO.....	19
I.5 PREPARACION DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFAL TICO.....	22
I.6 COLOCACION DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFAL- TICO.....	25
II. ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO Y MATERIALES CONSTITUTIVOS....	27
II.1 CRITERIOS DE DISEÑO.....	27
II.1.1 METODO DEL CALIFORNIA BEARING RATIO - - (C.B.R.).....	30
II.2 METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M.....	36
II.3 MATERIALES PARA BASES.....	44
II.4 MATERIALES EMPLEADOS PARA SUB-BASE.....	46
II.5 BASE NEGRA.....	49

INDICE

(CONTINUA).

<u>CAPITULO</u>		<u>PAG.</u>
II.6	CARPETA ASFALTICA.....	52
III.	PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.....	58
III.1	CARACTERISTICAS.....	58
III.2	MATERIALES USADOS EN LA ELABORACION DE - PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.....	60
III.3	DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAU- LICO.....	63
III.4	JUNTAS.....	72
III.5	PAVIMENTOS REFORZADOS.....	76
III.6	PREPARACION Y COLOCACION DE MEZCLAS.....	79
III.7	COLOCACION DEL CONCRETO.....	83
IV.	ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTOS RI- GIDOS Y FLEXIBLES.....	86
IV.1	ANALISIS ESTRUCTURAL COMPARATIVO.....	86
IV.2	DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO ASFALTI- CO.....	86
IV.2.1	DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAU-- LICO.....	87
IV.2.2	EVALUACION DE ALTERNATIVAS.....	90
IV.2.3	EQUIVALENCIAS FINANCIERAS.....	93
V.	CONCLUSIONES.....	113
	BIBLIOGRAFIA.....	121

INTRODUCCION

El crecimiento económico de un país va acompañado por el desarrollo de sus vías de comunicación de un modo importante.

Se incrementa la cantidad de carreteras, puertos, vías ferroviarias, aeropuertos, transporte pluvial como una necesidad de intercambio comercial entre diferentes regiones de un mismo país y entre países diferentes.

La expansión económica que experimentó México a partir de 1925 hizo que el país contara para 1930 con 1426 kilómetros de carreteras. A partir de entonces, la construcción de carreteras ha ido en aumento constante contando para fines de 1980 con 212,626 kilómetros.

Año con año los programas para construcción de nuevas carreteras aumenta de modo considerable, estos programas son coordinados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Los motivos para tomar el criterio de construir una nueva carretera pueden ser:

- 1.- Integrar a núcleos de población que se encuentran marginados a los beneficios de la Sociedad como educación, atención médica, etc., integrándolos a la vida social-

del país.

- 2.- Llevar los productos producidos por las regiones agrícolas a los centros de consumo.
- 3.- Incrementar la capacidad de transporte de personas y mercancías de zonas que se encuentran ya comunicadas - pero su crecimiento obliga a la construcción de nuevas carreteras por volverse las primeras construídas, obsoletas.

Considerando la importancia de las carreteras, calles y avenidas de un país, las decisiones sobre los trazos, diseños - de pavimentos y conservación de los pavimentos existentes -- son llevados a cabo por gente experimentada en esta área y - que a lo largo de los años ha podido observar como cambian - las condiciones y los criterios de diseño para un pavimento.

Con el aumento del peso de los vehículos de carga, se ha hecho necesario reconstruir las carreteras que no se habían diseñado para estas nuevas condiciones de intensidad de carga - y número cada vez mayor de vehículos.

Las alternativas de pavimentos en general se separan en dos grupos: Pavimentos Rígidos y Pavimentos Flexibles, quedando a criterio del valuador el tipo de pavimento que convenga a-

las condiciones económicas del país.

El objeto del presente estudio es hacer un análisis comparativo entre los pavimentos rígidos y flexibles, tomando en -- consideración desde los materiales constitutivos, la preparación de las mezclas, la colocación y el acabado final, así -- como criterios de diseño de pavimentos y una evaluación de -- alternativas por el método del valor presente, terminando -- con conclusiones y recomendaciones.

Se considera el caso de una toma de decisiones para la selección entre un pavimento rígido y uno flexible para una avenida de tránsito y peso de vehículos. De manera que se analizó el factor económico describiendo los conceptos del proceso constructivo que intervienen en ambos pavimentos hasta obtener un costo final, que nos sirve de base para hacer el -- planteamiento sobre la evaluación de alternativas desde el -- punto de vista del sector público.

I. PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO.

I.1 Definición.- Se puede definir un pavimento como la capa o serie de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, del intemperismo, así como de transmitir a las terracerías los refuerzos producidos por las cargas debidas al tránsito. Como se trata de una estructura vial, - debe tener requisitos que la hagan comportarse como tal, - estos requisitos son los siguientes:

- 1.- Debe ser estable, es decir, debe tener la resistencia necesaria para soportar las cargas estáticas y dinámicas - de rodamiento.
- 2.- Debe tener una superficie tersa para proporcionar comodidad a los usuarios.
Esta superficie además debe ser resistente al desgaste - ocasionado por las llantas de los vehículos.
- 3.- Debe tener una gran resistencia a los efectos del intemperismo.
- 4.- Debe ser impermeable.
- 5.- Debe tener adecuadas pendientes transversales y longitudinales para su mejor funcionamiento.

El pavimento de concreto asfáltico es una mezcla de agregado (grava y arena) y asfalto hecha a altas temperaturas - mediante un proceso de mezclado en planta. El espesor del pavimento será en relación al incremento en la capacidad de carga, es decir, para un pavimento con una gran intensidad de -- cargas aplicadas, el pavimento será de mayor espesor.

La función en el diseño del pavimento sin importar los - espesores, es transmitir los esfuerzos a las capas inferiores- hasta que sean anuladas, llegando en ocasiones hasta el terreno de cimentación.

Una de las cosas de gran importancia para la estabilidad de un pavimento reside en la capacidad de carga que tenga el terreno de cimentación, esto permite variar los espesores y - el tipo de material usado en el diseño.

I.2 DIFERENTES TIPOS DE CARPETAS ASFALTICAS.

Las carpetas asfálticas usadas en pavimentos flexibles - se pueden clasificar de la siguiente manera:

- | | |
|------------------------------|---|
| a) Carpetas por penetración. | Simple o de un riego.
Doble o de dos riegos.
Triple o de tres riegos. |
| b) Macadam Asfáltico. | Elaborada con mezcladora -
portátil. |

- c) Mezcla en el lugar. Elaborada con motoconformadora.

- d) Concreto Asfáltico. Dosificado por peso en --- planta, y empleado cemento asfáltico y agregados ca-lientes.

- a) Carpeta por riego o penetración.

El proceso constructivo para estas carpetas consiste en tener una base bien compactada, barrida y seca, a la cual se le aplica un riego de impregnación con asfaltos de fraguado medio (FMO, FMI, FM2) a razón de 1.5 litros por metro cuadrado, es aconsejable dejar unos dos días para que el riego penetre y seque. Después se aplican un riego con asfalto del tipo FR-3 a razón de 1.0 litro por metro cuadrado y se cubre con un material petreo que varía en tamaño según el tipo de carpeta a construir, para las de un riego se usa material tipo 3A (Clasificado entre las mallas 3/8 a la Núm. 8), para la de dos riegos entre las mallas de 1/2 y 1/4, un nuevo riego en la misma proporción de FR3 y después material tipo 3B - (Clasificado entre las mallas de 1/4 y Núm. 8). Para la carpeta de tres riegos el material petreo usado varía partiendo con una capa de material #1 (Clasificado entre las mallas 1" y 1/2") y siguiendo con dos capas similares a las de la carpeta de dos riegos, para que el material acomode mejor se aconseja

seja usar una plancha de 5 a 8 toneladas para cada capa colocada, barriendo el material sobrante y abriéndose al tránsito tres días después.

b) Macadam Asfáltico.

El procedimiento constructivo para este tipo de pavimento consiste en capas sucesivas de material petreo que se acomodan mediante un compactador y se bañan con producto asfáltico. El modo de ejecutar esta operación es el siguiente:

Estando la base seca, limpia, compactada e impregnada se aplica la primera capa de material grueso, a razón de 100 - - Kg./M² una vez colocada esta capa se acomoda el material uniformemente con un rodillo vibratorio de 10 a 17 toneladas de peso, ya acomodada la capa se aplica un riego de producto asfáltico FR3 a razón de 3.5 a 5 litros/M², a una temperatura entre 60°C y 90°C. A continuación se aplica el material de encaje que es el segundo tipo de material de menor tamaño que el primero y que tiene como función ocupar los huecos dejados por el material grueso, se aplica a razón de 20 Kg/M², para esparcir uniformemente el material se usan rastras y un rodillo vibratorio para uniformizar el acomodamiento, es aconsejable hacer esta operación cuando el primer riego de FR3 aún es

té caliente, así se logra una mejor adherencia, a continua---
 ción se aplica el material asfáltico a razón de 1.5 a 2 li---
 tros/M² para recibir posteriormente el material fino (10 - -
 Kg./M²) repitiendo la operación con las rastras y el rodillo
 vibratorio para acomodar este último material que sirve como-
 sello. La graduación del material debe ser congruente con la
 siguiente tabla:

% EN PESO DEL MATERIAL QUE PASA POR LAS MALLAS.

MALLA	MATERIAL GRUESO	MAT. ENCAJE	MAT. FINO
2-1/4"	100		
2"	90-100		
1-1/2"	30-55		
1-1/4"	0-15		
3/4"		100	
5/8"		90-100	100
1/2"		40-70	
3/8"		8-15	10-50
4		0-5	0-8
10			0-3

c) Mezcla en el lugar.

Este tipo de mezcla se logra revolviendo agregados pe---

treos con el producto asfáltico, logrando este procedimiento por medio de una motoconformadora o empleando una revolvedora portátil.

El procedimiento que se lleva a cabo es el siguiente:

Se acamellona el material sobre la base, se acordonará y posteriormente se extenderá en una capa de espesor uniforme, una vez extendido se aplicará el producto asfáltico a razón de 3 a 4 litro por metro cuadrado, después se procede a voltear el material hasta uniformizar el color y la granulometría, al terminar este proceso se acordona nuevamente en un extremo el material para ligar la base con asfalto rebajado FR3, e inmediatamente se tiende la mezcla sobre el riego de liga, después de lo cual se le da una planchada ligera para acomodarla; una vez que ha transcurrido el tiempo de fraguado necesario se procede a la compactación final.

Cuando se usa revolvedora portátil, se acordona el material pétreo a lo largo del camino para que lo vaya recogiendo la máquina, a la cual una vez que la revoltura se uniformiza, se procede al tendido del material, anexando con anterioridad a la base el riego de liga con asfalto rebajado FR3 y compactado la carpeta una vez que el laboratorio determina que la mezcla ha perdido los solventes suficientes y dé la autoriza-

ción para proceder con él.

d) Concreto Asfáltico.

Las carpetas de concreto asfáltico se fabrican en una -- planta fija con un gran control de calidad y es una mezcla de agregados pétreos ligados con cemento asfáltico y que cumplen con las condiciones de granulometría, fijadas en las normas.

Los agregados y el asfalto se combinan en una planta mez cladora que caliente y dosifica todos los elementos para obte ner la mezcla adecuada.

Una vez obtenida la mezcla se transporta a la obra en ca miones de volteo para ser depositada en una máquina extende do ra y antes de que la mezcla se enfríe se da la compactación - definitiva mediante planchas de tipo triciclo y tadem.

I.3 ASFALTOS.

El asfalto es un material de color negro ó castaño, de - consistencia viscosa y constituido esencialmente por hidrocar buros ó sus derivados, con propiedades aglutinantes que se li cuá gradualmente al calentarse.

Actualmente todos los materiales asfálticos se obtienen-

de la destilación del crudo del petróleo.

Existen dos procedimientos diferentes de destilación.

A. Destilación por vapor al vacío.

B. Extracción por solventes.

A. Destilación por vapor al vacío. En este proceso se separa el crudo en diversos productos como son: gasolina, Keroseno, diesel, aceite lubricante y material residual pesado.

El proceso de refinado del crudo del petróleo es un proceso continuo que consiste principalmente en el bombeo del petróleo crudo a través de un horno tubular para elevar su temperatura pasando posteriormente a una torre de destilación para su primer separación. Esta torre de destilación es un cilindro vertical que en su interior están una serie de plataformas superpuestas que cuando entran mediante inyección, el crudo del petróleo caliente y los vapores o fracciones más ligeras se acumulan en las plataformas superiores y en los niveles inferiores se acumulan grados o separaciones más pesadas del crudo, quedando en el fondo el residuo pesado del crudo del petróleo que contiene el asfalto. Durante este primer proceso de separación, las refinerías separan el crudo del petróleo en 5 productos que son:

- a) Gasolina de destilación.
- b) Keroseno destilado.
- c) Diesel-oil.
- d) Aceite lubricante.
- e) Material residual pesado.

El residuo pesado del crudo del petróleo mediante proceso de temperatura y de inyección de vapor al vacío dá la obtención de los asfaltos para pavimentación.

B. Extracción por solventes. Este método está vinculado íntimamente con la fabricación de aceites lubricantes de alta viscosidad que requieren un cuidadoso control de temperatura del crudo del petróleo. Para la extracción del asfalto de las fracciones de aceites lubricantes se emplea el propano; usualmente el producto final en este proceso es un asfalto de penetración bastante baja. Para su transformación de este asfalto de penetración relativamente baja a cualquier otro más blando es necesario mezclarlo con una pequeña cantidad de material residual.

I.3.1 TIPOS DE ASFALTO.

- A) Asfaltos oxidados o soplados.

B) Asfaltos rebajados.

C) Emulsiones asfálticas.

A) Asfaltos oxidados o soplados. La utilización de este asfalto es de tipo industrial, es decir, se utiliza para fabricar pinturas impermeabilizantes, revestimientos, techados, cajas de baterías y en pavimentos se utiliza para relleno de -- juntas de pavimentos rígidos.

B) Asfaltos rebajados. Como su nombre lo indica son asfaltos con algún disolvente. Existen asfaltos rebajados de tipo lento, medio y rápido, el tipo es consecuencia del tiempo de fraguado de cada material así como del uso. Por comodidad se ha asignado una notación y se les conocen respectivamente: FL, FM, y FR. También se les asigna un número después de esta notación que va del 0, 1, 2, 3, 4, 5, que nos indica el grado de fluidez o viscosidad del material empleado, de modo que -- los asfaltos menos viscosos se les asigna con el número "0" y los menos fluidos o más viscosos con el número "5".

B-1) Asfaltos rebajados de fraguado rápido (FR).

Se les denomina así porque el disolvente empleado es gasolina que se evapora rápidamente al usarlo, además de tener un bajo punto de ebullición. La cantidad de disolvente que --

deba mezclarse con el asfalto depende del tipo de asfalto rebajado, de fraguado rápido que haya de fabricarse.

B-2) Asfaltos rebajados de fraguado medio (FM).

Este tipo de asfalto se fabrica haciendo la mezcla de asfalto con un disolvente de punto de ebullición intermedio como keroseno. Este tipo de disolvente no se evapora como la gasolina, de ahí su denominación de rompimiento medio.

La relación entre el grado y la viscosidad de asfalto rebajado medio es el mismo del asfalto rebajado rápido.

B-3) Asfaltos rebajados de rompimiento lento (FL).

Para este tipo de asfaltos existen dos procedimientos para su obtención. Uno, haciendo una mezcla de diesel de alto-punto de ebullición y el otro sería controlando la temperatura del crudo de petróleo durante la primera destilación.

Como en la mezcla usada se utiliza el diesel que es un material semi-volátil, se necesita un período de rompimiento más dilatado.

C) Emulsiones Asfálticas. La emulsión asfáltica es una com

binación de agua, asfalto y agente emulsificante. Como el -- asfalto y el agua no son miscibles, es necesario agregar un - agente que mantenga esta unión, de modo que existen en el mercado jabones creados por refinerías o bien bases jabonosas. - Cuando una emulsión se extiende sobre una superficie o entra en contacto directo con agregados, esta rompe a causa de una coagulación de las partículas de asfalto y a la consiguiente expulsión del agua interpuesta entre partículas.

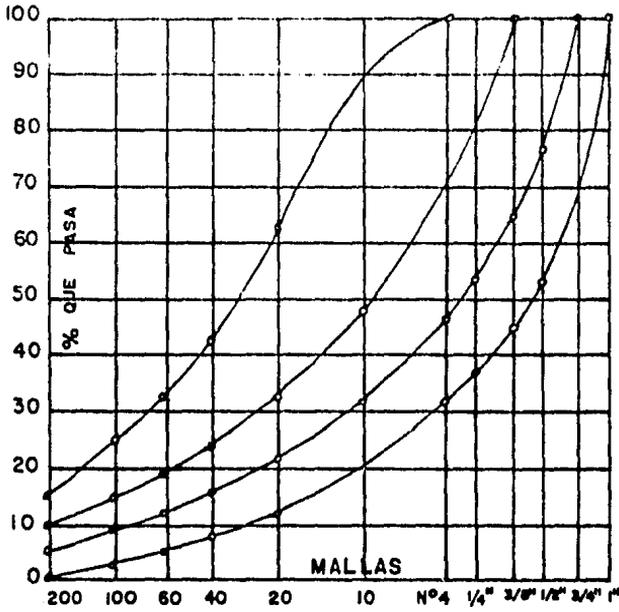
Otra de las causas principales al rompimiento de la emulsión es la carga eléctrica de las partículas de asfalto que - se atraen, (eléctricamente) por la carga de la superficie de los agregados.

I.4 MATERIALES USADOS EN LA FABRICACION DE CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO

Los agregados más usados en la fabricación del concreto asfáltico son: la caliza, basalto, grava, escoria y arena. - La calidad del concreto asfáltico depende principalmente de - las características de sus agregados, ya que estos representan aproximadamente un 90% en peso de la mezcla. Por consiguiente en la construcción de pavimentos asfálticos el con--- trol de las propiedades de sus agregados es tan importante -- como el de las del asfalto.

Los requisitos que deben cumplir los materiales pétreos-para carpeta asfáltica son los siguientes:

- a).- No deben usarse materiales pétreos con tendencia a romperse en forma de laja cuando se le tritura.
- b).- No deben emplearse materiales pétreos contaminados con arcilla o materia orgánica.
- c).- Los agregados pétreos no deben tener más del 20% de --- fragmentos suaves.
- d).- Se deben emplear materiales secos o cuando mucho con -- una humedad igual a la de absorción de ese material.
- e).- Tener resistencia suficiente para soportar el peso del-equipó de compactación sin romperse.
- f).- El tamaño máximo del agregado pétreo no debe ser mayor-del 75% del tamaño del espesor de la carpeta.
- g).- La porción que pase la malla #40 no debe tener una con-tracción lineal mayor de tres.
- h).- Los materiales pétreos deben cumplir con las caracterís-ticas granulométricas tales que su curva se mantenga en-tre los límites de las curvas de la siguiente gráfica:



GRAFICA 1.- Granulometría de la Carpeta Asfáltica.

La curva granulometría del material debe quedar dentro - de cualquiera de las zonas de la gráfica No. 1, no debería -- presentar cambios bruscos de pendiente y por lo menos el 90% - de la longitud de la curva debe tener su concavidad hacia - - arriba.

LIMITE DE ESPECIFICACIONES.	PORCENTAJE.
Pasa por el tamiz de 3/4"	100
Pasa por el tamiz de 1/2"	85-100
Pasa por el tamiz núm. 4	55-80
Pasa por el tamiz Núm. 10	40-60
Pasa por el tamiz Núm. 40	20-34
Pasa por el tamiz Núm. 80	10-25
Pasa por el tamiz Núm. 200	3-8

El cemento asfáltico para elaborar la mezcla se recomienda que tenga una penetración 60/70 y se aplique el 5.93 % del peso total de la mezcla.

I.5 PREPARACION DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO.

La elaboración de mezclas de concreto asfáltico se lleva a cabo en plantas estacionarias, que pueden ser de producción intermitente o de producción continua.

a) Planta de Producción intermitente de mezcla asfáltica.

En este tipo de planta, los materiales, en las proporciones aproximadas requeridas, se impulsan del lugar de almacenamiento mediante una banda que los conduce al elevador frío. - Este entrega el agregado combinado al secador, en el cual el-

agregado cae repentinamente a través de gases calientes hasta que toda la humedad se expulsa y el agregado alcanza una temperatura máxima (de 149 a 163°C). Los agregados calientes-combinados, a continuación suben por el elevador caliente a la parte superior de la planta mezcladora, en donde se separan en varios tamaños mediante tamices. El almacenamiento temporal en caliente se dispone en tolvas colocadas directamente por debajo de los tamices. Para la mezcla intermitente la cantidad prescrita de cada uno de los agregados calientes-se extrae sucesivamente de las tolvas y se lleva hacia una "caja pesadora" colocada exactamente abajo de las tolvas de "almacenamiento en caliente". Los agregados en su debida proporción caen de la caja pesadora hacia el mezclador, que se conoce como "amasadora". En este lugar se mezclan perfectamente los agregados con el cemento asfáltico hasta quedar perfectamente revestidos. Finalmente los materiales mezclados salen a través de una compuerta de descarga en el fondo del mezclador al camión de volteo que espera, o hacia una tolva que permita almacenar el material para continuar el proceso del mezcladora aún cuando no haya camión inmediatamente para recibir la carga.

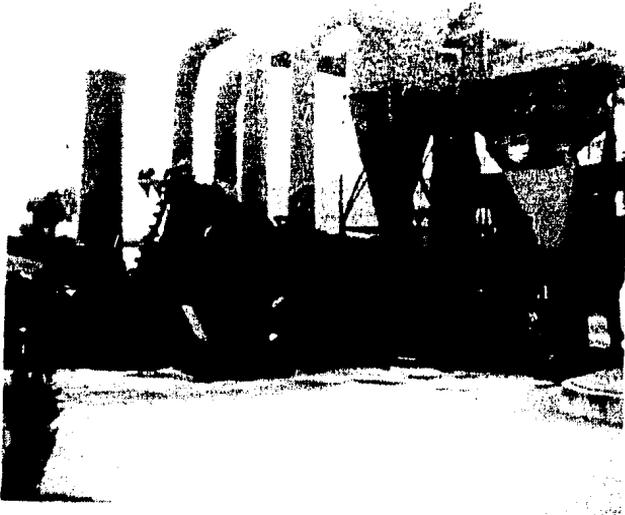


Fig. 1: Planta Estacionaria para producción de Concreto Asfáltico.

Las plantas de producción continua modernas, cuentan con sistemas de control por medio de computadora para la elaboración de la mezcla asfáltica.

En estas plantas los agregados que son depositados en -- las tolvas de material, deben ser del tamaño adecuado para la elaboración del concreto asfáltico, una vez llenas las tolvas pasan por medio de bandas transportadoras al secador, antes - de entrar a este compartimiento son pasados en la última ban-

da y los datos pasan a la computadora que regula la velocidad de las bandas para dosificar correctamente el material, ya -- que han pasado por el secador, en la etapa final, se agrega - el asfalto y la mezcla pasa posteriormente a silos de almace- namiento para finalmente descargar a camiones de volteo.

I.6 COLOCACION DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO.

La base que recibirá la carpeta debe encontrarse seca, - limpia, para aplicar el riego de impregnación que consiste en un asfalto rebajado del tipo FM, el riego se aplicará a razón de 1.5 litros por metro cuadrado y se dejará en reposo duran- te 48 horas, suspendiendo cualquier tránsito sobre la superfi- cie, la penetración del asfalto debe ser 4 mm. como mínimo.

A continuación se aplica el riego de liga que es un as- falto rebajado del tipo FR3 a razón de 1 litro por metro cua- drado, dejándolo reposar 2 horas mínimo para que pierda los - solventes.

Se acostumbra hacer un manteo de protección a la base pa- ra evitar que los camiones que transportan la mezcla levanten el riego, el transporte de material asfáltico se efectúa en - camiones de volteo y se deposita en una máquina extendora - autopropulsada, que consta en una tolva que recibe el mate---

rial y una barra expulsora que distribuye la mezcla en espesores uniformes. Algunas máquinas también tienen una barra ---aprisionadora o vibradora que compacta parcialmente el pavimento. Estas máquinas pueden estar montadas sobre orugas o sobre neumáticos, siendo más versátil esta última por su facilidad para desplazamiento en la obra. El ajuste de los dispositivos permite un rápido cambio en la altura del material colocado, de suerte que pueden tenderse rápidamente capas de altura variable. También se usan controles automáticos que mantienen las pendientes transversales.

La extendedora deberá tender tramos completos para evitar las juntas longitudinales, lo recomendable es tender con 2 máquinas que vayan dejando el área a pavimentar totalmente cubierta, pero esto incrementa los costos, de manera que es necesario hacer un estudio completo de acuerdo a las necesidades de tiempo de terminación y volúmen de obra para hacer la anterior consideración.

A continuación se procede a compactar la mezcla con un rodillo tipo tandem de ocho (8) a doce (12) toneladas para dar un acomodo inicial a la mezcla; este planchado debe --efectuarse longitudinalmente a media llanta. Después se utiliza un rodillo de neumáticos con peso de 5 a 7 toneladas hag

ta alcanzar el porciento de compactación fijada en el proyecto.

Al final se pasa un rodillo liso de 8-12 toneladas para borrar las huellas de los neumáticos.

En la zona urbana se acostumbra sellar la carpeta con cemento portland de 0.5 a 0.75 Kg./M².

II. ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO Y MATERIALES CONSTITUTIVOS.

II.1 Criterios de Diseño.

Los criterios de diseño de pavimento, se basan con frecuencia en la ecuación de Boussinesq para determinar los esfuerzos bajo una carga concentrada de masa infinita, homogénea e isótropa. Llegando a ecuaciones finales para el cálculo de espesores, cuyo desarrollo depende de factores y coeficientes que se suponen basados en la teoría elástica, que no es compatible para los materiales que se utilizan en la construcción de pavimentos. De manera que no se ha llegado a desarrollar un método científico exacto para el diseño de pavimentos flexibles, los métodos de diseño normalmente empleados son empíricos y están basados en gran parte en la observación cuidadosa de experiencias y fallas, complementadas por la in-

formación de las pruebas realizadas en caminos y tramos experimentales, en los que se usan diversas combinaciones de materiales y espesores de capas.

Durante este siglo y particularmente en los últimos cuarenta años, se han llevado a cabo investigaciones muy completas en un esfuerzo por desarrollar un método para la determinación de los espesores, aceptable universalmente, hasta hoy se han encontrado más de treinta métodos con la misma finalidad.

Independientemente del tipo de análisis o método de proyecto para el diseño de pavimentos asfálticos, se necesita tener como base datos de tipo preliminar informativos que son necesarios, como:

- a) Estudio del suelo.
- b) Estudio de los materiales.
- c) Estudio de tráfico.
- d) Estudio de Laboratorio.

a).- Estudio del suelo.- Para efecto de hacer la mejor selección y diseño es necesario después del estudio topográfico hacer sondeos de una sub-rasante propuesta para determinar las características del suelo subyacente. El estudio debe com---

prender los ensayos de campo suficientes para tener un estudio representativo de las condiciones geológicas existentes.

b).- Estudio de los materiales.- Esta observación es muy importante en el aspecto económico de la obra. Es necesario -- que los ingenieros adquieran un completo conocimiento de la zona situada alrededor de la obra tomando en consideración la distancia de acarreo libre y sobreacarreo.

En muchas ocasiones ésta inspección permite también localizar materiales que puedan servir como agregados bajo capas de sub-base, base y carpetas.

c).- Estudio del tráfico.- Este es uno de los puntos de gran importancia en los métodos de diseño, debido a que es un índice necesario en los nomogramas y gráficas de diseño. Uno de los factores que ocasiona graves daños a pavimentos existentes es el aumento desmedido de los vehículos y la capacidad -- cada vez mayor de carga, de modo que carreteras diseñadas para una intensidad menor de tráfico sufren graves daños estructurales debido a la acción de estas modernas unidades, siendo necesaria una completa reconstrucción de la vía, llámese carretera, avenida o calle. En cualquier proyecto y diseño esencial un análisis de tráfico completo, en la actualidad --

existen métodos muy completos para la medición del tráfico. - El análisis de tráfico debe proporcionar información que permita al proyectista determinar el número medio de vehículos - que pasa sobre el camino por día, así como el paso de los mis mos.

d).- Estudio de Laboratorio.- Las muestras obtenidas en el - campo se llevan al laboratorio para el estudio de suelos y en sayos que requiera el método de proyecto utilizado. Casi todos los laboratorios de suelos realizan los ensayos de análisis granulométrico en los tamices 10, 40 y 200; además determinan los límites líquido y plástico. Con estos ensayos es - suficiente para clasificar el suelo, según el ampliamente usa do método del índice de grupo, método AASHO M-145.

Como es obvio no podremos hablar en este trabajo de todos los métodos de diseño de pavimento, pero tomaremos dos de ellos a fin de ejemplificar. Los métodos son:

II.1.1 Método del California Bearing Ratio (C.B.R.)

II.2. Método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

II.1.1 Método del California Bearing Ratio (C.B.R.).

Este método se basa en el empleo de gráficas para la - determinación de espesores de pavimentos.

El uso de este método requiere la realización de ensayos CBR sobre el terreno de desplante y sobre la sub-base. Las bases de piedra triturada o grava triturada, bien graduadas, de baja plasticidad, no se ensaya normalmente por el método CBR porque los resultados exceden siempre bastante al valor 80.

El ensayo original CBR exige que se compacte el suelo en un molde de 6 pulgadas de diámetro con una algura compactada de 4 a 6 pulgadas.

La compactación se realiza aplicando una carga estática de 200 Lb/pulg². y se mantiene durante un minuto y se hace desaparecer gradualmente durante un período de 20 segundos.

Se prepara una serie de muestras con contenido creciente de humedad y se determina la densidad en cada una de ellas; se prepara también una curva que represente la relación densidad-contenido de agua, de la que se deduce la densidad máxima y el contenido óptimo de humedad correspondiente. El ensayo CBR se realiza sobre una probeta preparada con el contenido óptimo de humedad. Antes de efectuar el ensayo se sumerge la probeta en agua durante cuatro días bajo una carga de 10 Lbs.

O. J. Porter ha desarrollado una adaptación especial del valor portante llamada Bearing Ratio.

Se realiza un ensayo de carga aplicado sobre la superficie del suelo un pistón circular de 1.95 pulg. de diámetro -- (Sección Transversal 3 pulg.²) y se hace penetrar en el terreno a una velocidad de 0.05 pulgadas por minuto. La relación entre las cargas así producidas y la penetración obtenida se representa como se indica en la fig. II.1.

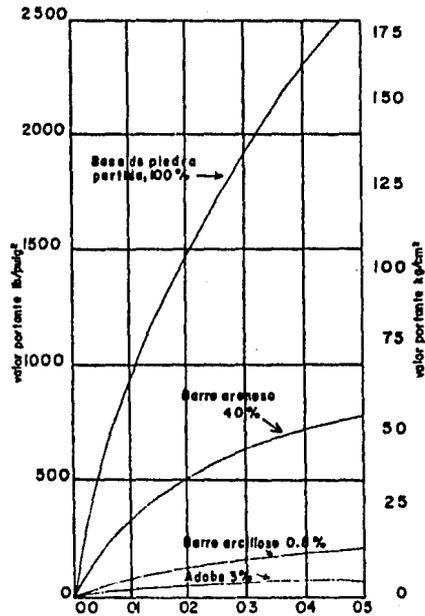


Fig. II.1 Curvas que representan los resultados del ensayo C.B.R.

La relación entre el valor portante para una penetración de 0.1 pulg. y un valor portante patrón (base de piedra machacada) indicado en la Fig. (II.1) es el valor C.B.R.

Muchas de las organizaciones que emplean el ensayo C.B.R. han modificado el procedimiento particularmente en cuanto a compactación de la muestra se refiere; la compactación con el martillo proctor ha sustituido en general a la ejercida mediante compresión estática. Algunos utilizan el método AASHO T-99 empleando un molde de 6 pulgadas de diámetro en lugar del de 4 pulgadas.

Este método emplea un martillo con una superficie de percusión circular de 2 pulgadas de diámetro y un peso total de 5.5 Lg. dejado caer desde una altura de 12 pulgadas. La probeta se compacta en tres capas iguales, y a cada una de las mismas se le aplican 25 golpes hasta obtener una altura de la probeta terminada de unas 5 pulgadas.

El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, emplea un molde de 6 pulgadas de diámetro y compacta la muestra en 5 capas iguales en lugar de tres, para obtener una probeta terminada de una altura comprendida entre 4-1/4 y 4-3/4 pulg. y se compacta con un martillo de 10 Lb. con una cara de percusión circular

cular de 2 pulg. de diámetro, que se deja caer de una altura de 18 pulg. Se aplican a cada una de las cinco capas 55 golpes. Este método se llama comunmente AASHO modificado.

Una vez obtenido el valor de C.B.R. que tiene la sub-rasante, sub-base y base, los espesores de proyecto se calculan con las siguientes gráficas:

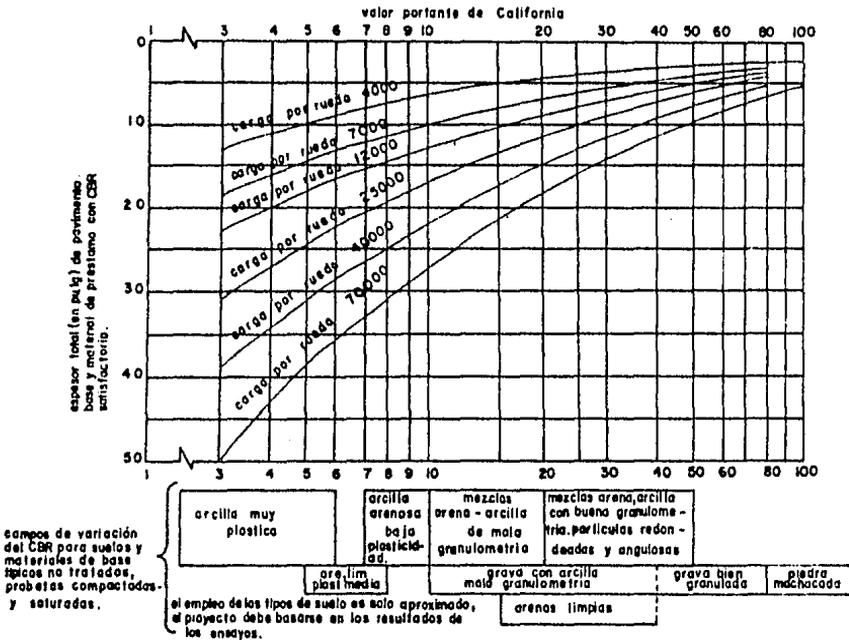


Fig. II.2 Porcentaje C.B.R. para penetración de 0.1 pulgada (25.4 mm) en probetas compactadas y saturadas de agua.

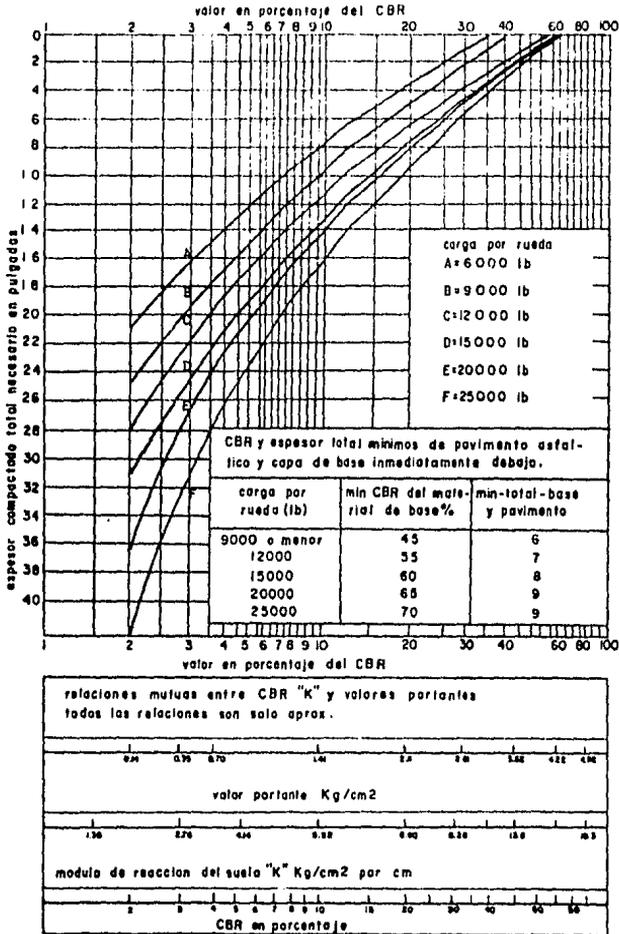


Fig.(11.3) Grafica para proyecto de Pavimentos flexibles.

II.2 Método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

En enero de 1974, el Instituto de Ingeniería de la U.N.-A.M. publicó el informe 325, en el que se presenta un criterio teórico-práctico para el diseño de la estructura de una obra vial. Dicho trabajo se desarrolló con los auspicios de la ex-Secretaría de Obras Públicas y fué dirigido por el Ing. Santiago Corro Caballero.

El método que se propone en dicho informe supone a la estructura de las obras viales como un sólido de capas múltiples y resistencias relativas uniformes; es decir, que tanto las capas superiores como las inferiores llegarán a la falla al mismo tiempo, pues sus resistencias son proporcionales a los esfuerzos normales que obran en ellas, de acuerdo con la teoría de Boussinesq. El parámetro que se utiliza para medir la resistencia de los materiales es el V.R.S. que corresponde al VRS crítico de campo.

En su planteamiento, el método establece la necesidad de realizar un cambio básico de criterio. En efecto, normalmente se habla del diseño del pavimento por definición está constituido por las capas de carpeta, base y sub-base que son soportados por la capa sub-rasante. Lo anterior supone implícit

tamente que la sub-rasante es la capa más débil y no hay posibilidad de falla en las demás capas que constituyen la carretera.

La hipótesis precedente, en muchos casos da lugar a estructuras inadecuadas, ya que la sub-rasante no es necesariamente la zona crítica. Este problema se acentúa en el caso de reconstrucciones, donde no siempre el refuerzo de la superficie del pavimento es la solución más económica. Si la falla es estructural, es decir, se debe a las capas inferiores del pavimento, la solución será mejorar la resistencia de estas capas y construir posteriormente una superficie de rodamiento ligera.

El método se basa en una generalización teórica de los datos experimentales obtenidos en la pista circular del Instituto y en los tramos experimentales de Izúcar y Salinas. Se basa en la hipótesis de que la carretera más económica es aquella que tiene una resistencia relativa uniforme en todas sus capas y llega a la falla funcional, cuando ha soportado el número acumulado de aplicaciones de carga equivalente especificadas para la vida de proyecto del camino. Si la resistencia relativa no es uniforme en las diferentes capas de la estructura, se supone que la capa de resistencia mínima deter

mina la vida de servicio de la carretera.

Se emplean los conceptos de capacidad de carga en suelos cohesivos y la teoría de distribución de esfuerzos verticales de Boussinesq, deducida para una placa estática, circular, -- flexible, apoyada uniformemente en la superficie de un medio-elástico, homogéneo o hisótropo, para su aplicación en el caso particular de una estructura de capas múltiples y resistencia relativa uniforme, sujeta a cargas repetidas de un eje -- sencillo equivalente cuyo peso estático es, por definición, - 8.2 toneladas, y el que tiene un coeficiente de impacto constante, además, se supone que el valor relativo de soporte en el lugar (VRS) es un buen indicador de la capacidad de carga de las diferentes capas.

La falla por fatiga de una capa en la superficie de la - carretera, se analiza bajo la hipótesis de que existe una relación lineal entre el logaritmo de la resistencia ($\log. VRS$) y el logaritmo del número acumulado de ejes equivalentes de - 8.2 toneladas ($\log. \Sigma 1$). Para una capa cualquiera a una profundidad Z , el concepto se generaliza multiplicando la resistencia por el coeficiente de influencia (F_2) de Baussinesq, - suponiendo por definición una estructura de resistencia relativa constante. El análisis de la información a través de --

las hipótesis anteriores permitió establecer las ecuaciones - de las gráficas de diseño para diferentes grados de confianza en cuanto a resistencia mínima necesaria en cualquier capa, - para que la estructura soporte un número determinado de aplicaciones equivalentes (ΣL) antes de alcanzar el deterioro superficial que define la falla funcional de la carretera.

Con base en las gráficas de diseño, se dedujo teóricamente una gráfica para estimar el daño relativo a cualquier profundidad, producidas por los diferentes tipos de ejes sencillos o Tándem, cuando circulan con diferentes presiones de inflado (Δq_s).

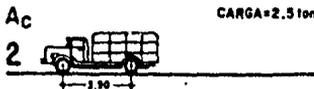
NOTA
 K_v = Coeficiente de equivalencia para el vehículo vacío
 K_c = Coeficiente de equivalencia para el vehículo cargado



Características			
Eje	Peso, ton	P _v (kg/cm ²)	
1	Cargado	Vacío	
1	1.0	0.8	2.0
2	1.0	0.8	2.0
3	-	-	-
Σ	2.0	1.6	-

Coeficiente de daño			
Cargado, F.			
z=0	z=15	z=32.5	z=50
0.0013	0.0019	0.0026	0.0030
0.0013	0.0019	0.0026	0.0030
-	-	-	-
0.0046	0.0060	0.0080	0.0092

Coeficientes de daño			
Vacio, F.			
z=0	z=15	z=32.5	z=50
0.0021	0.0030	0.0040	0.0046
0.0021	0.0030	0.0040	0.0046
-	-	-	-
0.0046	0.0060	0.0080	0.0092



1	1.6	1.2	4.2
2	3.3	1.2	4.2
3	-	-	-
Σ	4.9	2.4	-

0.17	0.102	0.061	0.100
0.17	0.100	0.010	0.010
-	-	-	-
0.34	0.043	0.011	0.010

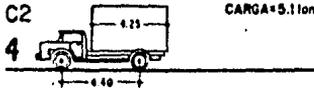
0.17	0.001	0.000	0.000
0.17	0.000	0.000	0.000
-	-	-	-
0.34	0.001	0.000	0.000



1	4.2	3.0	5.8
2	8.3	7.0	5.8
3	-	-	-
Σ	12.5	10.0	-

1.0	0.150	0.050	0.150
1.0	1.050	1.020	1.050
-	-	-	-
2.0	1.150	1.100	1.100

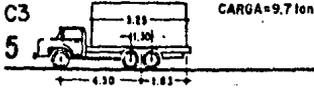
1.0	0.040	0.015	0.007
1.0	0.600	0.500	0.700
-	-	-	-
2.0	0.640	0.515	0.717



1	2.1	1.3	5.0
2	6.8	2.7	5.0
3	-	-	-
Σ	9.3	4.2	-

0.44	0.725	0.008	0.002
0.44	0.440	0.430	0.430
-	-	-	-
0.88	0.465	0.446	0.442

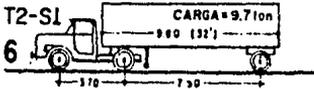
0.44	0.002	0.000	0.000
0.44	0.025	0.000	0.000
-	-	-	-
0.88	0.027	0.000	0.000



1	1.6	1.7	5.0
2	14.0	5.3	5.0
3	-	-	-
Σ	16.6	6.9	-

0.44	0.625	0.008	0.003
0.44	0.650	0.650	0.650
-	-	-	-
0.88	0.670	0.658	0.653

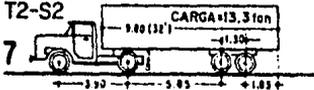
0.44	0.004	0.001	0.000
0.44	0.040	0.022	0.000
-	-	-	-
0.88	0.044	0.023	0.000



1	3.0	2.5	5.8
2	8.0	3.6	5.8
3	7.8	3.0	5.8
Σ	18.8	9.1	-

1.0	0.100	0.017	0.022
1.0	0.900	0.900	0.900
1.0	1.000	0.800	0.800
3.0	1.700	1.715	1.677

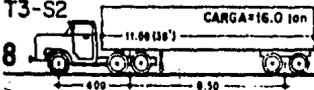
1.0	0.000	0.000	0.000
1.0	0.900	0.922	0.920
1.0	0.900	0.800	0.800
3.0	0.920	0.915	0.897



1	4.0	3.5	5.8
2	9.5	4.0	5.8
3	12.1	3.8	5.8
Σ	26.6	11.3	-

1.0	0.120	0.060	0.030
1.0	1.000	1.020	1.050
2.0	1.470	0.490	0.470
4.0	1.570	1.483	1.477

1.0	0.000	0.000	0.000
1.0	0.120	0.060	0.030
2.0	0.470	0.490	0.470
4.0	0.510	0.500	0.483



1	3.9	3.5	5.8
2	12.0	3.4	5.8
3	12.0	3.0	5.8
Σ	27.9	11.9	-

1.0	0.100	0.050	0.025
2.0	0.473	0.500	0.500
3.0	0.800	0.500	0.500
6.0	1.373	1.050	1.025

1.0	0.000	0.000	0.000
2.0	0.470	0.490	0.490
3.0	0.800	0.500	0.500
6.0	0.873	0.500	0.500

Fig.11.2.2. Coeficiente de daño por tránsito para vehículos típicos.

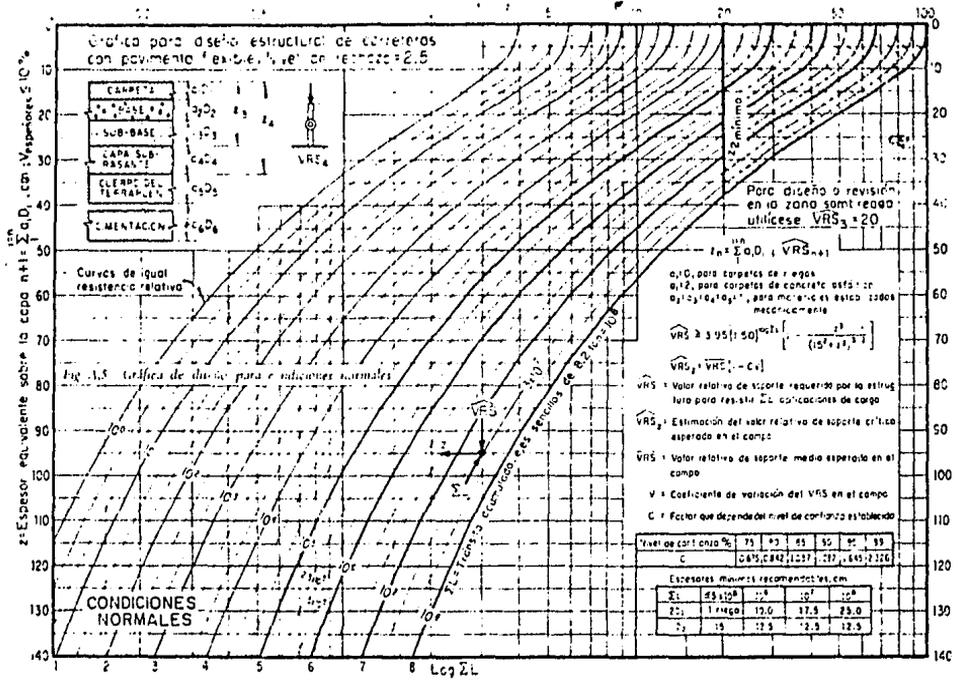
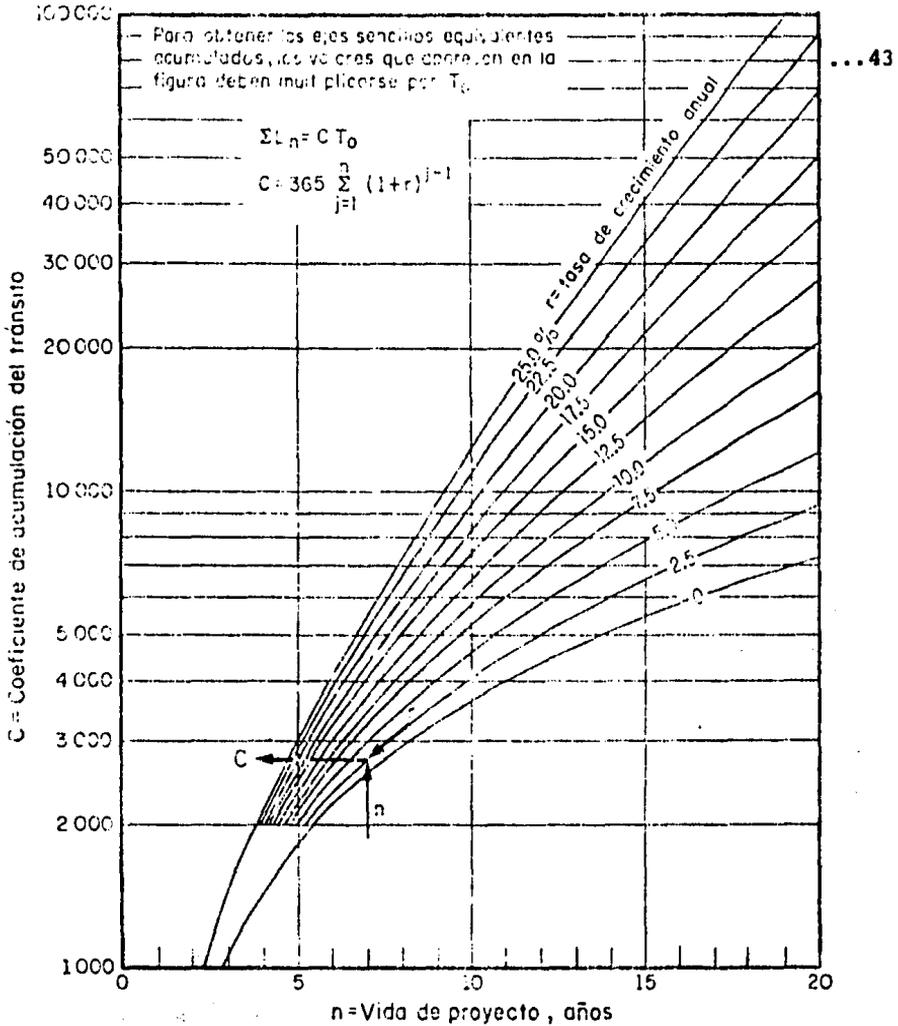


Fig. II.2.4. Grafica de diseño para condiciones normales.



ΣL_n tránsito acumulado al cabo de n años de servicio, ejes equivalentes de 8.2 ton

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

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

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

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

Fig. II.2.1 Gráfica para estimar el tránsito equivalente acumulado.

II.3 Materiales para Bases.

Los materiales pétreos usados para formar la base y sub-base de los pavimentos flexibles, se clasifican en tres grupos:

- a) Materiales naturales que no requieren ningún tratamiento de trituración ó cribado, tales como conglomerados, tepetates, gravas y arenas, de río, areniscas, etc.
- b) Materiales naturales que si requieren un tratamiento previo de cribado o trituración.
- c) Mezcla de dos a más materiales de cualquiera de los dos grupos anteriores o de ambos.

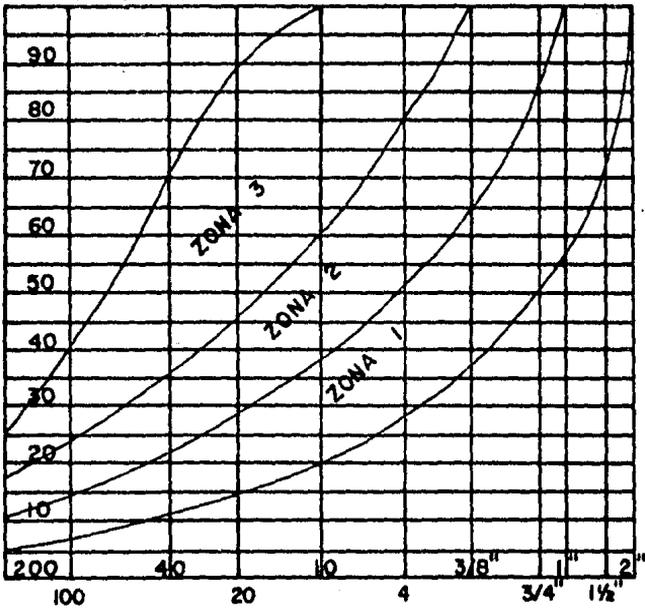
Los materiales empleados como base de pavimentos flexibles en calles y caminos, deberán satisfacer los siguientes requisitos:

- a) La granulometría del material debe quedar comprendida entre el límite inferior de la zona número uno y el superior de la zona número tres de la Gráfica II.3.1 y la curva granulométrica deberá ser de forma semejante a las curvas que limitan las zonas del gráfico sin presentar cambios bruscos de pendiente y sin estar indistintamente.

- b) La relación del porcentaje en peso del material que pase la malla # 200 al material que pase la malla # 40, no deberá ser mayor de 0.65
- c) La contracción lineal, determinada con la humedad correspondiente a límite líquido, y el valor cementante del material deben satisfacer las condiciones siguientes:

Zonas en las que se - clasifica el material según sus granulome- trías.	1	2	3
Contracción lineal en %	4.5 Máx.	3.5 Máx.	2.0 Máx.
Valor cementante, en Kg./cm.2, para materiales angulosos.	4.5 Mfn.	3.5 Mfn.	2.5 Mfn.
Valor cementante, en Kg./cm.2, para materiales redondeados y lisos.	2.0 Mfn.	5.0 Mfn.	4.0 Mfn.

GRANULOMETRIA .



GRAFICA 2.3.I. GRANULOMETRIA DE BASES

- d) El valor relativo de soporte estandard del material debe satisfacer las siguientes condiciones:

Para tránsito inferior a 600 vehículos pesados
por día..... 50 % Mín.

Para tránsito superior a 600 vehículos pesados
por día..... 80 % Mín.

Se considera en este caso como vehículos pesados aquellos que tengan capacidad de carga igual ó superior a tres toneladas métricas.

II.4 Materiales empleados para Sub-base.

Los materiales empleados como Sub-base deben satisfacer los siguientes requisitos:

- a) La granulometría debe satisfacer los mismos requisitos -
indicados para los materiales de base.
- b) La contracción lineal, determinada con la humedad correspondiente al límite líquido, y el valor cementante del material deben satisfacer las siguientes condiciones:

Zona en la cual se - clasifica el mate--- rial según su granu- lometría.	1	2	3
Contracción lineal - en %.	6.0 Máx.	4.5 Máx.	5.0 Máx.
Valor cementante, en Kg./cm.2, para mate- riales angulares.	3.5 Mín.	3.0 Mín.	2.5 Mín.
Valor cementante, en Kg./cm.2, para mate- riales redondeados y lisos.	5.5 Mín.	4.5 Mín.	3.5 Mín.

c) El valor relativo soporte estandard debe satisfacer las-
condiciones siguientes:

Para tránsito inferior a 600 vehículos
pesados..... 30 % Mín.

Para tránsito superior a 600 vehículos
pesados..... 50 % Mín.

El procedimiento constructivo para bases y sub-bases es, en términos generales como sigue:

Cuando se emplean dos ó más materiales, se mezclarán en seco con objeto de obtener un material uniforme.

Cuando se empleen motoconformadoras para el mezclado y el tendido, se entenderá parcialmente el material y se procederá a incorporarle agua por medio de riegos y mezclados sucesivos, para alcanzar la humedad que se fije y hasta obtener homogeneidad en granulometría y humedad. A continuación se extenderá en capas sucesivas de materiales sin compactar, cuyo espesor no deberá ser mayor de quince centímetros.

Cada capa extendida se compactará hasta alcanzar un grado mínimo de noventa y cinco por ciento (95 %), sobreponiéndose las capas hasta obtener el espesor y sección fijados en el proyecto. En algunos casos se puede escarificar cualquier capa ya compactada y agregarle agua con el fin de ligarlas debidamente.

Algunos compactadores con vibrador son capaces de compactar espesores mayores a los indicados anteriormente, de ser así, se procederá a efectuar el trabajo de compactación cumpliendo con el porcentaje mínimo especificado.

En las tangentes, la compactación se iniciará de las orillas hacia el centro y en las curvas, de la parte interior de la curva hacia la parte exterior.

Se darán riegos superficiales de agua, durante el tiempo que dure la compactación, únicamente para compensar la pérdida de humedad por evaporación.

II.5 Base Negra.

Es la capa asfáltica del pavimento (con granulometría - abierta), situada inmediatamente abajo de la capa de rodamiento, que transmite las cargas de tránsito a la base hidráulica, sub-base y sub-rasante. El espesor de esta capa deberá ser de diez centímetros mínimo de material compacto.

En virtud de que se incrementa notablemente la resistencia del pavimento al agregar la base negra, el Departamento - del Distrito Federal lo incluye en los diseños donde el tránsito es intenso y pesado, tales como Avenidas, Viaductos, - - Ejes Viales, Periférico y Circuito Interior.

Especificaciones de ejecución.

Una vez aplicado el riego de liga y que haya transcurrido el tiempo necesario para la eliminación de los solventes -

del producto asfáltico, se procederá al tendido de la base -- negra.

Se deberán aplicar encima del riego de liga, unas pala-- das de mezcla en la zona de tránsito necesario de construc-- ción, para evitar que se levante el riego. Posteriormente se tenderá la mezcla con una máquina terminadora en un espesor - de trece centímetros sueltos para que una vez compactados se obtengan los diez centímetros de proyecto con una tolerancia- de cinco milímetros de temperatura de tendido, deberá ser ma- yor de 70°C verificada con termómetro que deberá tenerse en - la obra.

No se deberá tender mezcla para base negra cuando la tem- peratura ambiente sea menor de 10°C.

La mezcla asfáltica se deberá compactar a una temperatu- ra comprendida entre 70 y 50°C con una compactadora de tres - rodillos lisos y un peso de doce toneladas, efectuándose lon- gitudinalmente, de la parte baja hacia la parte alta de la su- perficie. La velocidad de la compactadora no deberá exceder- de 5 Km./h. Se compactará hasta alcanzar un grado mínimo del 95% de su densidad teórica máxima.

En caso de que se emplee base asfáltica elaborada con ce

mento asfáltico No. 6, se seguirán las mismas indicaciones -- que para carpetas asfálticas en cuanto a temperaturas.

Especificaciones de Materiales.

La mezcla asfáltica que se utiliza para la base negra de berá cumplir con las siguientes especificaciones:

1) Granulometría.

Mallas	% que pasa
1-1/2"	100-90
1"	80-50
3/4"	67-42
1/2"	50-30
3/8"	42-36
No. 4	28-18
No. 10	23-14
No. 20	18-11
No. 40	14-7
No. 60	12-5
No. 100	9-3
No. 200	5-0

2) Tamaño máximo del agregado: 1-1/2".

3) Tipo y contenido de asfalto.

Asfalto P.A.5

Contenido de cemento asfáltico: 4.5 a 5%

4) Densidad teórica máxima: 2500 Kg./M³.

II.6 Carpeta Asfáltica.

La carpeta asfáltica es la última capa del pavimento que sirve como superficie de rodamiento en una obra vial. La mezcla deberá elaborarse con agregado pétreo graduado y cemento-asfáltico No. 6. Estas superficies deberán estar acondicionadas de tal manera que el desplazamiento de los vehículos pueda realizarse con comodidad, seguridad y rapidez.

Especificaciones de Construcción.

1) Tendido de mezcla asfáltica: Deberán aplicarse encima del riego de liga una palada de mezcla, para evitar que el tránsito necesario de construcción levante dicho riego. - Posteriormente se tenderá la mezcla con una máquina terminadora en un espesor tal que una vez compacto se obtenga el de -- proyecto. La velocidad de la máquina terminadora al colocar la mezcla deberá estar comprendida entre 2 y 4 Km./hora.

La temperatura recomendable para el tendido debe estar -

comprendida entre 100°C y 130°C.

2) Compactación: La mezcla asfáltica deberá compactarse a una temperatura comprendida entre 90° y 110°C., siendo la óptima, 100°C. La compactación se hará longitudinalmente - - traslapando a toda rueda, iniciando de la parte baja hacia la parte alta y de las orillas al centro del arroyo.

Para la compactación inicial deberá emplearse una compactadora de rodillos lisos tipo Tandem de 6 a 8 toneladas, con una velocidad que no debe exceder los 5 Km./hora, para evitar el levantamiento de la mezcla caliente, se traslapará entre - pasada y pasada, media rueda, con el objeto de darle el acomodo inicial al material.

Una vez que la compactadora Tandem deja huellas apenas - perceptibles se procederá a compactar la capa con una compactadora de 3 rodillos lisos y un peso de doce toneladas hasta que las huellas de esta sean muy leves.

La compactación final de la mezcla se dará con una compactadora neumática que borre las huellas que deje la máquina de doce toneladas, hasta dejar una superficie afinada y adecuada al tránsito de vehículos.

La compactación obtenida deberá ser mayor del 90% de la Densidad Teórica Máxima de la mezcla según el proyecto. Aproximadamente el peso volumétrico del lugar será de $2,250 \text{ Kg/M}^3$ en promedio.

Las juntas longitudinales y transversales de construcción deberán hacerse cuidadosamente a efecto de que queden bien ligadas y selladas.

Las aristas de las superficies colocadas con anterioridad, deberán cortarse verticalmente y en todo su espesor, - - aplicando una película de asfalto rebajado FR3 (con temperatura aproximada a 90°C.) para después colocar y compactar la mezcla caliente.

La carpeta terminada deberá tener la sección y pendiente de proyecto y en ningún punto se aceptarán depresiones o crestas mayores de 5 mm., medidas con una regla de 3 M. normal y paralela al eje de la vía.

Las carpetas asfálticas después de terminadas deben cumplir las siguientes propiedades:

a.- Estabilidad.- La carpeta terminada debe resistir - los esfuerzos del tránsito sin sufrir deformaciones permanen-

tes.

b.- Flexibilidad.- La carpeta debe admitir las deformaciones elásticas impuestas por el tránsito sin fracturarse.

c.- Impermeabilidad.- Debe ser impermeable para evitar filtraciones de agua a las capas inferiores del pavimento.

d.- Antideslizante.- La superficie de la carpeta terminada deberá presentar una textura tal que permita al conductor el control adecuado del vehículo en condiciones de seguridad.

e.- Durabilidad.- La carpeta asfáltica debe ser suficientemente resistente a la acción del tránsito y a los agentes atmosféricos. Para que se cumpla esta propiedad debe existir buena dosificación entre el material pétreo y el aglutinante, es decir, una mezcla de buena calidad.

Especificación de Materiales:

1.- Cemento Asfáltico No. 6.

- | | |
|--|----------|
| a) Penetración a 25°C 100 g. 5 seg. | 85 a 100 |
| b) Viscosidad (Saybolt Furol) (seg) | 85 Mfn. |
| c) Punto inflamación (Cleveland (°C) | 232 Mfn. |
| d) Pérdida por calentamiento en película | |

delgada: (%)	1.0 Máx.
e) Penetración después prueba a 25°C 5 seg. % del original.	50 Mín.
f) Ductilidad: a 25°C (cm.)	100 Mín.
g) Solubilidad en tetracloruro de carbono (%)	99 Mín.
h) Punto de reblandecimiento	45 a 52

2.- Agregado Pétreo.

a) Tamaño máximo.	3/4"
b) Clase Material.	Triturado Basáltico
c) Peso específico.	2.69 Mín.
d) Absorción (B seca) (%)	3.00 Máx.
e) Equivalente de arena (%)	60 Mín.
f) Desgaste Deval (%)	20 Máx.
g) Intemperismo acelerado (%)	12 Máx.
h) Afinidad con el asfalto (desprendimiento %)	25 Máx.

i) Granulometría:

Malla	% Pasa
3/4"	100
1/2"	100-75
3/8"	100-65
No. 4	70-47
No. 10	48-32

Malla	% Pasa
No. 20	33-22
No. 40	25-16
No. 60	20-12
No. 100	15-9
No. 200	10-5

3.- Mezcla elaborada.

a) Estabilidad (marsall-50 golpes por lado (Kg.)	450 Mín.
b) Fluencia (mm.)	4 Máx.
c) Vacíos en mezcla (%)	3 a 5
d) Vacíos llenos de asfalto (%)	75 a 85
e) Contenido de asfalto (%)	6 a 7
f) Densidad Teórica máxima (Kg./M ³)	2500
g) Densidad media en el campo al terminar la compactación.	2250 Mín.
h) Temperatura de elaboración (°C)	135 a 150
i) Temperatura de tendido (°C)	100 a 130
j) Temperatura de compactación (°C)	90 Mín.
k) Índice de Permeabilidad (%)	10 Máx.

III.- PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

III.1. Características.

Los pavimentos de concreto hidráulico también llamados - pavimentos rígidos, tienen como elemento estructural fundamentalmente una losa de concreto. Cuando las características -- del terreno de apoyo son de buena calidad puede prescindir de la construcción de una sub-base y apoyarse directamente sobre la subrasante.

Además de las propiedades de la infraestructura, es necesario tener un gran control de calidad en la elaboración del concreto ya que estará sujeto a esfuerzos de compresión relativamente altos, siendo esta una característica favorable en el concreto, pero además, se verá sujeto a flexión y en este aspecto su resistencia es baja. El concreto, como otros materiales, se dilata o se contrae cuando la temperatura aumenta o disminuye. Como la madera, se dilata al humedecerse y se contrae al secarse, también se encoge inmediatamente después del colado, a medida que el mortero se endurece y el cemento se hidrata. Bajo ciertas condiciones su volúmen aumenta con la edad. Debido a estas propiedades y a que los elementos de concreto están expuestos a los elementos, aquellos varían de

longitud según la hora del día, las estaciones y las variaciones del tiempo. Además, la variación de la temperatura diaria y de las estaciones, y la diferencia de humedad entre la parte superior e inferior de las losas, introducen una tendencia a inclinarse y curvarse. Otras complicaciones intervienen debido a que los cimientos que soportan las losas se deforman cuando los caminos se cargan y se recuperan cuando las cargas son eliminadas. Estas complicaciones hacen que la determinación teórica de los esfuerzos en las losas de pavimentos de concreto sea extremadamente difícil.

En cuando a la superficie de apoyo de la losa, se ha tenido una mayor preocupación de la calidad a partir de la Segunda Guerra Mundial, debido al aumento cada vez mayor de vehículos y actualmente con la aparición de vehículos sumamente pesados y aviones de gran tamaño, en el caso de aeropuertos, de modo que se ha establecido como norma la construcción de una capa de sub-base. Esta sub-base consiste en una o más capas de materiales granulares, muchas veces estabilizados.

Las principales funciones de la sub-base en un pavimento rígido son las siguientes:

- 1.- Proporcionar apoyo uniforme a la losa de concreto.

- 2.- Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo respecto a lo que es común en la terracería y sub-rasante.
- 3.- Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volúmen que puedan tener lugar en el suelo que forme las terracerías a la sub-rasante.
- 4.- Reducir a un mínimo las consecuencias de la congelación en los suelos de las terracerías o de la capa sub-rasante.
- 5.- Evitar el bombeo.

III.2 Materiales usados en la elaboración de Pavimentos de Concreto Hidráulico.

1) Concreto Hidráulico.- Uno de los aspectos básicos en la construcción de los pavimentos rígidos es la elaboración del concreto, la cual se hará de preferencia en planta premezcladora.

El concreto por emplearse deberá estar sujeto a las siguientes especificaciones:

Resistencia mínima a la compresión a la edad de 28 días:
200 Kg./cm².

Resistencia mínima a la flexión a la edad de 28 días:
30 Kg./cm².

Revenimiento: 20 a 50 cm.

2) Agua.- El agua que se emplee para el mezclado no deberá tener cantidades perjudiciales de gas carbónico libre, limo, materia orgánica, álcalis, aceites y sales. Generalmente bastará con que el agua sea potable para poder emplearse.

3) Cemento.- Se empleará cemento tipo I de resistencia normal para condiciones generales y tipo III de resistencia rápida cuando se desea adquirir la resistencia a cortas edades.

Cualquiera de los dos tipos que se emplee deberá satisfacer los requisitos físicos y químicos para cemento Portland - especificados en la norma D.G.N. C-1.

4) Arena.- La arena que se use en la elaboración del concreto, deberá reunir los siguientes requisitos:

a) De Granulometría:

Malla	% que pasa
3/8"	100
No. 4	95-100
16	46-80

Malla	% que pasa
50	10-30
100	2-10

b) Características físicas.

<u>Concepto:</u>	<u>Especificaciones:</u>
Densidad aparente.	2.45 Mín.
Módulo de finura.	2.32 a 3.45
Grumos de arcilla.	1.0 % Máx.
Sanidad (pérdida de peso en 5 ciclos sulfato de sodio.	10% Máx.
Materia Orgánica.	1 6 2 (color A.S.T.M.)
Polvo (% que pasa malla 200)	3.0 % Máx.

5) Grava.- El agregado grueso deberá consistir en grava natural o piedra triturada y deberá reunir los siguientes requisitos:

a.- De Granulometría, dependiente del tamaño máximo.

Mallas	% Retenidos acumulativos.			
	2"	1-1/2"	1"	3/4"
2	0-5	.....	.....	.....
1-1/2"	.....	0-5	.....	.....

Mallas	2"	1-1/2"	1"	3/4"
1"	30-65	.....	0-10	.....
3/4"	.....	30-65	.....	0-10
1/2"	70-90	.....	40-75	.....
3/8"	.....	70-90	.....	45-80
No. 4	95-100	95-100	90-100	90-100

b) De características físicas:

<u>Concepto:</u>	<u>Especificaciones:</u>
Densidad aparente.	2.45 Mín.
Absorción.	5 % Máx.
Grumos de arcilla.	0.25 % Máx.
Partículas suaves.	5.0 % Máx.
Sanidad (Pérdida de peso en 5 ciclos con sulfato de sodio)	12.0 % Máx.
Desgaste Los Angeles (500 revoluciones).	45 % Máx.
Polvo (% que pasa malla 200)	1 % Máx.

III.3 Diseño de pavimentos de Concreto Hidráulico.

En el año de 1925 el Doctor H. M. Westergaard publicó una serie de artículos sobre el análisis teórico de las losas de pavimento de concreto que se ha aceptado en gran medida como-

fundamental.

Las fórmulas fueron presentadas dando los esfuerzos de flexión en las losas de espesor uniforme, que resultaron de las cargas y los efectos de curvado de losa bajo las diferencias de temperatura.

Posteriormente se han efectuado algunos cambios a sus fórmulas por algunos investigadores, pero las consideraciones básicas permanecen sin cambio. Las consideraciones que se llevaron a cabo para la obtención de las fórmulas para los esfuerzos de las cargas, fueron las siguientes:

- 1.- La carga aplicada próxima a un ángulo de una gran losa.- Dicha condición existe en la intersección del borde del pavimento con una junta transversal si no se hace ninguna prevención para transmitir una parte de la carga a través de la junta a la losa adyacente.
- 2.- La carga aplicada al interior de una gran losa a una considerable distancia de sus bordes.
- 3.- La carga aplicada al borde de la losa a una considerable distancia de cualquier ángulo.

Para acercarse lo más posible a las condiciones reales - observadas, varios investigadores han sugerido distintos coeficientes y correcciones en la fórmula teórica derivada por Westergaard. En estas fórmulas se consideran como factores - determinantes para el cálculo del espesor requerido, el valor de soporte de la terracería o base: Coeficientes "K" para la fórmula de Bradburg y "C" para la simplificada.

K. Coeficiente de soporte del sub-suelo, representa la presión necesaria en Kg./cm^2 que debe aplicarse sobre una área circular (cuyo diámetro estará comprendido entre 15 y 16 cm. para producir un asentamiento de 1 cm.

C. Coeficiente empírico y dimensional derivado de la - experimentación con pavimentos de concreto hidráulico, aplicando distintas cargas en las esquinas de las losas y observando las deformaciones y esfuerzos.

De los resultados encontrados y estudiados de acuerdo -- con la fórmula empírica o simplificada, se deducen los valores de "C" que corresponden a distintos tipos de suelos.

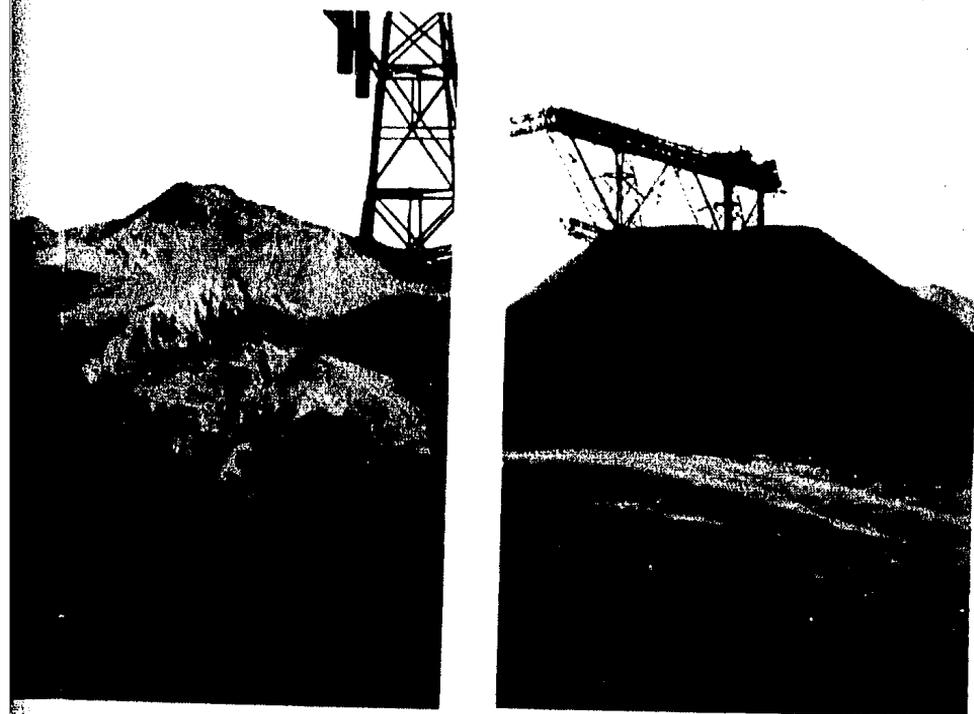
El cuadro siguiente indica la relación entre ambos coeficientes.

FIG. III.3.2.

EQUIVALENCIA DE COEFICIENTES.

C y K

Tipo de Suelo.	Capacidad de soporte. Método A.S.T.M. D-1194-57 (Área de carga circular, - diámetro comprendido en-- tre 30 y 76 cm.) Kg./cm ² .	Coeficiente "K" módulo de reacción del terreno. Método A.S.T.M. D-1195 y 1196-57. (Área de carga circular diámetro - comprendido entre 15 y 76 cm.) Kg./cm. necesarios para producir - un asentamiento de 1 cm.	Coeficiente "C" empírico y adimen- sional derivado - de la experiencia.
Terrenos muy suaves y fá- cilmente deformables, alu- viones sin cohesión.	0.350	1.4	1.10
Suelos finos, de elevada- compresibilidad, arcillas plásticas, con micas a -- diatomeas de reducida ca- pacidad de soporte (como en la Ciudad de México).	0.700	2.8	1.00
Suelos finos de compresí- bilidad media, limos, are- nas muy finas, arcillas - de plasticidad media.	1,200	5.0	0.92
Arenas, suelos arenosos, - arena arcillosa, areno li- mosos.	2,300	9.3	0.82
Gravas, suelos con grava, grava-arena, arcilla.	3,300	13.4	0.78



**Fig. 3.3 Almacén de agregados para la fabricación,
de concreto hidráulico.**

Los valores expresados en el cuadro anterior corresponden al grado de compactación medio, que en su estado natural suelen presentar los materiales de los tipos respectivos.

La fórmula para el cálculo de los espesores de pavimento es la que corresponde a los análisis de Westergaard con las modificaciones de Bradburg para la carga crítica en la esquina y se expresa así:

$$d = \sqrt{\frac{3P}{S} \left(1 - \left(\frac{a}{e} \right)^{0.6} \right)} \quad \text{en donde:}$$

d = espesor requerido de la losa de concreto en cm.

p = carga aplicada a través de la doble rodada de vehículos pesados; en dicha carga se considera de un -- 20% a un 30% de impacto, este último valor es el -- considerado para aplicar la fórmula de Bradburg.

a = radio de la superficie de contacto entre la rodada y el pavimento.

S = fatiga de trabajo a la flexión del concreto.

L = radio de rigidez relativa.

Cuando se consigue un buen contacto estructural entre -- una losa y la adyacente, se supone de acuerdo con la experiencia

cia que un 20% de la carga aplicada en el borde se trasmite a la losa contigua y entonces se disminuye P en un 20%. Los -- dispositivos adecuados para lograr esta transmisión generalmente son pasajuntas y machihembrado.

Para obtener P en función de W que es la carga estática aplicada a través de la rodada doble neumática consideramos:

$$P = W \times 1.3 \times 0.8 = 1.04 W.$$

Por otra parte la fatiga de trabajo a la flexión del concreto (S), usualmente se calcula dividiendo R (módulo de -ruptura) entre un factor de seguridad de 2, R se toma como - el 15% de f'c (f'c = 300 Kg./cm²) por lo tanto:

$$S = \frac{0.15 \times 300}{2} = -2.5 \text{ Kg./cm}^2.$$

El radio de rigidez relativa se define como sigue:

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

E = Módulo de elasticidad del concreto que en general -- es igual a 1000 f'c. de modo que para f'c - 300 Kg./cm².

$$E = 300,000 \text{ Kg./cm}^2.$$

μ = Módulo de Poisson que para concretos del tipo estipuo

lado puede considerarse igual a 0.15.

Como esta fórmula es muy laboriosa existe la fórmula sim
plificada que es la siguiente:

$$d = \sqrt{\frac{2 W C}{S}}$$

Los términos W. C. S. ya fueron definidos anteriormente.

En la siguiente tabla se indican los valores de la fórmu
la de Bradburg y la simplificada para los distintos tipos de-
subsuelo; uno poco estable como el de la zona oriente de la -
Ciudad de México y otro más resistente que podría representar
la zona poniente de la misma ciudad, donde se observa que los
espesores calculados con ambas fórmulas no exceden de 1 cm.

ESPEORES DE PAVIMENTOS DE CONCRETO CON DISTINTAS CONDICIONES DE TRANSITO Y SOBRE DIFERENTES BASES						
Trasito	"w"	"a"	Subsuelo			
	Carga considerada, (estática) se supone que un 20% de ella se transmite adecuadamente a los adyacentes.	Radio del área de contacto de la doble rodada	Reducido capacidad de soportes, arcillas compresibles	Mayor capacidad de soporte, suelos arenosos con algo de limo y arcilla.		
			Fórmulas		Fórmulas	
			Bradbury K=2.8	Simplificada C=1.0	Bradbury K=9.3	Simplificada C=0.82
			Espesor de la losa			
Kg.	Cm.	Cm.	Cm.	Cm.	Cm.	
A.- Traslito pesado en zonas muy industrializadas	6.000	23	22	23	20	21
B.- Caminos, avenidas y calles de trasito preferente.	5.000	21	20	21	19	19
C.- Caminos y avenidas principales.	4.500	20	19	20	18	18
D.- Otros caminos, calles y avenidas, no comprendidos en las clasificaciones anteriores.	3.500	18	17	18	16	16

Fig.III.3.4. Espesores de concreto con distintas condiciones de trasito y sobre diferentes bases.

III.4. Juntas.

La construcción de juntas en pavimentos de concreto hidráulico es muy necesaria, ya que de no hacerlo se presentarían una serie de grietas debido a los cambios volumétricos del material. Se debe tener mucho cuidado en el proyecto y la construcción de juntas- debido a que generalmente son puntos débiles de la superficie de rodamiento y se pueden provocar desperfectos al aumentar el peso de los vehículos, o pueden sufrir pequeñas fracturas en los bordes, causando molestias a los conductores de vehículos y aumentando los gastos de conservación.

Las juntas longitudinales son las que se construyen paralelas al eje del camino y se acostumbra dividir el ancho de la corona con el número de juntas necesarias que sirvan como división de carriles.

Estas juntas se construyen muy comunmente del tipo macho y hembra, como el dibujo lo indica a continuación.

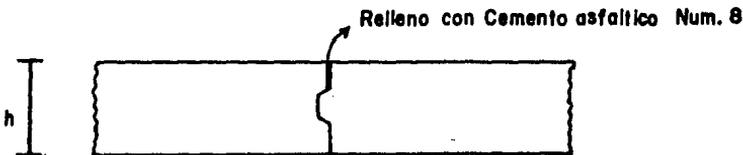


Fig.III.3.5 Junta longitudinal

Las juntas transversales son las perpendiculares al eje de la vía, y pueden ser de los siguientes tipos:

- Juntas de contracción.
- Juntas de expansión.
- Juntas de construcción.
- Juntas de articulación.

Las juntas de contracción se disponen para aliviar esfuerzos de tensión causados por las contracciones del concreto. Las juntas de expansión se disponen para permitir que las losas de concreto se expandan una contra otra sin destruirse. Las juntas de construcción corresponden a aquellos usados en las interrupciones de las operaciones de colado y deben garantizar la continuidad estructural. Las juntas de articulación tienen por misión evitar los agrietamientos a lo largo del eje central de los pavimentos o en las líneas de unión de las diferentes hileras de losas que se producirían al elevarse sus bordes cuando la losa es cargada.

La construcción de las juntas puede realizarse renovando la losa una vez que ha fraguado, también provocando una ranura que posteriormente se rellenará con algún material apropiado ó estableciendo la continuidad entre losas con barras de -

acero liso (pasajuntas) ó corrugado.

En las juntas de contracción se coloca pasa-junta liso - lubricado para que la losa pueda retraerse sin generar guerdas que las agrieten.

Las juntas de expansión deberán tener una ranura de aproximadamente 19 mm. relleno con algún material apropiado en algunos casos se usa un cemento asfáltico del # 8. Algunas losas de este tipo cuentan con un pasajuntas con casquillo para permitir movimiento relativo.

Las juntas de contrucción son del tipo machiembrado como el indicado en la Fig. III.3.5 que también puede llevar una barra de sujeción corrugada.

Las juntas de articulación suelen llevar barras de acero corrugado y junta a tope siguiendo su sección transversal ó del tipo de la junta de construcción llevando su barra corrugada de sujeción.

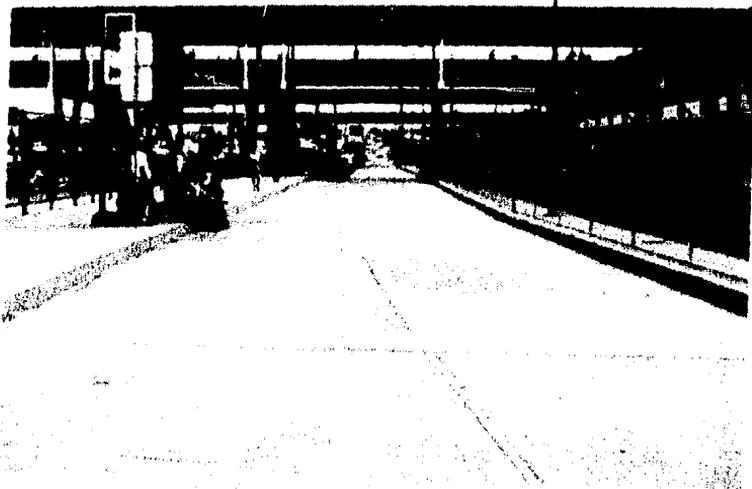


Fig. III.3.6.

**Pavimento de Concreto Hidráulico
para una Terminal de Autobuses.**

III.5. Pavimentos Reforzados.

Al reforzar un pavimento de concreto hidráulico se pretende garantizar lo siguiente:

- 1.- Contacto íntimo de las losas adyacentes para permitir una adecuada transmisión de carga a través de la grieta por la trabazón de los agregados tal que la carga de ruedas cerca de la grieta sea soportada por las losas en ambos lados, reduciendo los esfuerzos de flexión en el concreto en esa zona y las deflexiones producidas por la carga.
- 2.- Reducir la filtración de agua al suelo de la sub-rasante y la infiltración de suelo en la grieta.

Generalmente se limita el refuerzo en losas a aquellas cuya longitud no exceda de los 30 metros, aunque los principios para el control de grietas se aplican a losas de longitud mayor, entre 30 y 60 metros.

Cuando la temperatura disminuye, las losas del pavimento tienden a contraerse. Esta contracción es resistida por la subrasante. La resistencia al deslizamiento que aumenta desde los extremos al centro de la losa, deberán resistirse por el esfuerzo de tensión del acero a través de cualquier grieta

ta. El esfuerzo máximo del acero se presentará en una grieta a la mitad de la longitud de la losa y el esfuerzo se diseñará bajo esta consideración.

Presentaré a continuación los requisitos de diseño:

a) Diámetro mínimo del refuerzo longitudinal.

La selección del diámetro del refuerzo longitudinal se basa en consideraciones prácticas y normas industriales. En pavimentos de carreteras destinadas a servicio pesado, los miembros longitudinales de refuerzo no serán menor de 6.3 mm. de diámetro, o calibre No. 3.

b) Refuerzo transversal.

1. El refuerzo transversal de acero deberá diseñarse para desarrollar un esfuerzo a la tensión comparable con la resistencia total de las barras de sujeción en las juntas longitudinales en pavimentos de dos o más bandas.

2. El diámetro mínimo de los elementos deberá ser de calibre No. 4 ó 5.7 mm. Para mallas de varillas soldadas, el diámetro mínimo de las varillas transversales deberá ser 6.3-mm. (No. 2).

3. Para obtener una soldadura satisfactoria, la diferen

cia de diámetro entre los alambres longitudinales y transversales no deberá ser mayor de seis números de calibre.

c) Espaciamiento máximo del esfuerzo.

1. Para malla de alambres soldados, el espaciamiento de los alambres longitudinales no deberá ser mayor de 15 cm. y el de los alambres transversales 30 cm.

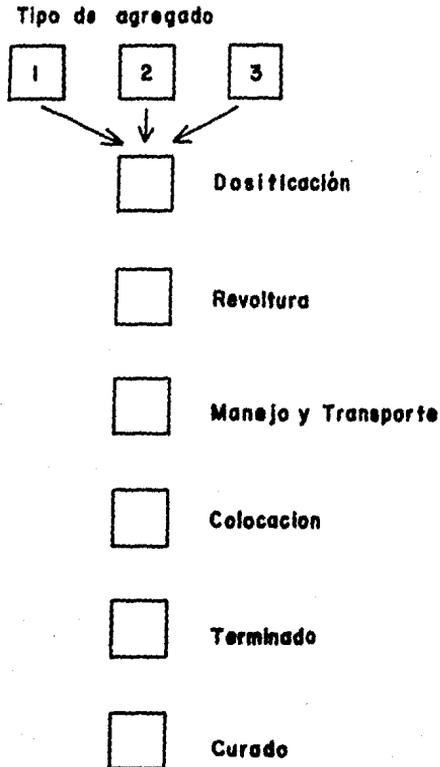
2. Para mallas de varillas soldadas el espaciamiento de las varillas longitudinales no deberá ser mayor de 37.5 cm. y el de las varillas transversales 75 cm.

d) Localización del refuerzo.

El refuerzo deberá colocarse a una profundidad no menor de 5 cm., ni mayor de $1/3 H$ desde la parte superior de la losa.

III.6 Preparación y Colocación de Mezclas.

Las operaciones en la producción de concreto variarán de acuerdo al volúmen necesario para la obra y al tipo de concreto que produzcan. En una forma esquemática podemos señalar - los procesos de elaboración, colocación en obra y terminado - en general.



El proporcionamiento de una mezcla de concreto involucra la determinación de las proporciones adecuadas de cemento, -- grava, arena y agua.

Los tipos de agregados son los indicados en la Sección - III-B.

Los métodos más comunes para la elaboración de mezclas - son dos:

- A) Dosificación por peso.
- B) Dosificación por volúmen.

A) Dosificación por peso.- Este método da resultados muy - satisfactorios, el control de los materiales se lleva -- por medio de básculas que pesan cada elemento en forma - separada para unirlos en un mezclador y hacer la revoltu ra que será depositada en un camión de volteo ó en un ca mión provisto de una olla revolvedora. Este proceso se - lleva a cabo en las grandes plantas premezcladoras de -- concreto.

B) Dosificación por volúmen.- Este método se usa para fa- bricar concretos en obra, dando como resultado una menor calidad en la mezcla, se acostumbra tomar como base los-

sacos de cemento de 50 Kgs. de peso para hacer las dosificaciones de resistencia pedida para la obra.

REVOLTURA.

La revoltura puede llevarse a cabo en plantas centrales, en plantas portátiles o en revolvedoras.

Independientemente del tamaño de la mezcladora, el tiempo mínimo de mezclado recomendable es de 50 segundos. Cuando no se han hecho pruebas a la mezcladora el tiempo mínimo será de 75 segundos. En el caso de volúmenes de concreto o mezclas grandes y tiempo de mezclado cortos, para lograr una mezcla uniforme, es necesario efectuar un mezclado previo de los materiales.

Después de que se hayan añadido todos los ingredientes, incluyendo el agua, (y el aditivo, si este se agrega al agua) el mezclado del concreto debe continuar durante todo el tiempo de mezclado requerido, antes de retirar cualquier parte de mezcla.

TRANSPORTE DEL CONCRETO.

El concreto podrá ser transportado en camiones de volteo con caja especial cuando las distancias de acarreo sean cor--

tas. También se puede agregar un aditivo inductor de aire al concreto para ser transportado de esta manera y evitar la segregación.

Cuando se requiere llevar concreto a lugares alejados de la obra, se usan camiones mezcladores o agitadores.



FIG. 3.6. Camión usado para el transporte del concreto

III.7 Colocación del Concreto.

La colocación del concreto se efectúa por los siguientes métodos:

- A) En forma Manual.
- B) Con máquina extendidora.

A) En forma manual.- Este procedimiento es muy usado en México y en las Ciudades de Provincia, consiste en el tendido del concreto en forma manual sobre la base preparada y conformada, una vez extendido el material se hace pasar una regla vibratoria para eliminar la cantidad excesiva de aire que se ha acumulado y homogeneizar la mezcla, antes de que el concreto alcance su fraguado, se ranura y se pasa el volteador para darle el acabado en sus bordes.

Cuando es necesario aplicar la malla de refuerzo, se extiende el concreto y se nivela a la profundidad de diseño para colocar el acero; posteriormente se aplica la segunda capa de concreto para darle los acabados finales.

B) Con máquina extendidora.- El uso de la máquina extendidora es poco frecuente en México, este método consiste -

en el uso de una pavimentadora de cimbra deslizante que está diseñada para colocar, compactar, emparejar y dar acabado al concreto fresco en una sola pasada de la máquina, dejando en esta forma un pavimento homogéneo y bien consolidado, que requiere un mínimo de acabado manual para cumplir con las tolerancias de la superficie.

El acabado en la superficie del pavimento debe incluir tanto texturas finas como texturas gruesas. Puede aplicarse al pavimento una amplia gama de texturas antiderrapantes; en una misma obra pueden requerirse texturas diferentes en distintos lugares.

El método de acabado que se emplee debe ser compatible con el medio ambiente, con la velocidad e intensidad del tránsito, y con la topografía y geometría del pavimento.

Puede obtenerse una textura adecuada en el pavimento mediante cualesquiera de los siguientes procedimientos: Uso de manta o yute, escobillado, empleo de cepillos de alambre, ranurado, etc.

Inmediatamente después de que se hayan concluido las operaciones de acabado y se haya evaporado la película de agua -

de la superficie ó tan pronto como la consistencia de la mezcla lo permita, debe curarse toda la superficie de concreto.

Existen diversas maneras de curar el concreto.

Puede ser colocando mantas de algodón ó yute, las cuales deben cubrirse con agua. Deben mantenerse completamente húmedas y en su posición correcta durante todo el período de curado especificado.

en el uso de una pavimentadora de cimbra deslizante que está diseñada para colocar, compactar, emparejar y dar acabado al concreto fresco en una sola pasada de la máquina, dejando en esta forma un pavimento homogéneo y bien consolidado, que requiere un mínimo de acabado manual para cumplir con las tolerancias de la superficie.

El acabado en la superficie del pavimento debe incluir tanto texturas finas como texturas gruesas. Puede aplicarse al pavimento una amplia gama de texturas antiderrapantes; en una misma obra pueden requerirse texturas diferentes en distintos lugares.

El método de acabado que se emplee debe ser compatible con el medio ambiente, con la velocidad e intensidad del tránsito, y con la topografía y geometría del pavimento.

Puede obtenerse una textura adecuada en el pavimento mediante cualesquiera de los siguientes procedimientos: Uso de manta o yute, escobillado, empleo de cepillos de alambre, ranurado, etc.

Inmediatamente después de que se hayan concluido las operaciones de acabado y se haya evaporado la película de agua -

Con los datos antes mencionados acudimos a la tabla II.3 y con el valor relativo de soporte igual a 5 %, se considera la curva A de 1500 a 3500 vehículos por día obtenemos de la gráfica un espesor de sub-base más base de 51.0 cm. en la práctica se redondeará a 55 cm.

Los espesores de las diferentes capas de pavimento se distribuirían de la siguiente manera:

CARPETA ASFALTICA	7.5 cm(no se considera en el espesor)
BASE NEGRA	10cm(sustituye a 20cm de base hidraulica)
BASE HIDRAULICA	15cm
SUB-BASE	20cm

Fig. IV. 1

El espesor total de base más sub-base (equivalentes) es de 55 cm.

IV.2.1. Diseño de Pavimento de Concreto Hidráulico.

Utilizando la fórmula simplificada estudiada en el capítulo III, tenemos los siguientes valores:

$$C = 1.00 \quad (\text{figura III.3.2})$$

$$W = 6000 \text{ Kg.} \quad (\text{gráfica III.3.4})$$

$$S = 22 \text{ Kg./cm}^2.$$

Los valores anteriores serán aplicados a la fórmula:

$$d = \sqrt{\frac{2 W C}{S}} \quad \text{En la que:}$$

d = espesor mínimo de losa en cm.

w = carga estática por neumático.

s = fatiga de trabajo a la flexión del concreto.

Sustituyendo:

$$d = \sqrt{\frac{2 (6000) (1)}{22.5}} = \sqrt{\frac{12000}{22.5}} = \sqrt{533.3} = 23.09 \text{ cm.}$$

El espesor de la losa será considerado de 23 cm.

Como medida de seguridad se recomienda para todos los casos en que la calidad de la sub-rasante sea menor a la de la sub-base, colocar una capa de base de grava cementada, controlada de 15 cm. de espesor compactada al 98% de su Peso Volumétrico Seco Máximo antes de colocar las losas de concreto.

El diseño final será:

CONCRETO HIDRAULICO	23 cm
BASE HIDRAULICA	15 cm

Comparando los dos casos analizados tenemos:

Pavimento Flexible.

Pavimento Rígido.

CARPETA ASFALTICA 7.5cm	CONCRETO HIDRAULICO 25cm
BASE NEGRA 10cm	BASE HIDRAULICA 15cm
BASE HIDRAULICA 15cm	
SUB-BASE 20cm	

IV.2.2 Evaluación de alternativas.

El objeto básico de todo estudio económico de un proyecto es evaluarlo, es decir, calificarlo y compararlo con otros proyectos de acuerdo con una determinada escala de valores a fin de establecer un orden de prelación. Esta tarea exige -- precisar las "ventajas y desventajas" de la asignación de recursos a un fin dado. En otras palabras, se debe, establecer cuales son los patrones de comparación que se van a utilizar y como se podrán medir.

Existen fundamentalmente dos criterios de evaluación; el privado o del empresario y el social. El primero se hace en función del interés individual, considerando tan solo los -- efectos directos del proyecto, la utilidad y empleando los -- precios del mercado. En cambio el criterio social atiende a los efectos indirectos, además de que al realizarse con el empleo de los precios de mercado, requiere la consideración de costos sociales.

La tarea de evaluar requiere medir objetivamente ciertas magnitudes resultantes del estudio del proyecto y combinarlas en operaciones aritméticas, a fin de obtener los coeficientes de evaluación. La objetividad no implica desconocer la exis-

tencia de diferentes criterios de evaluación y que se discute acerca de cuál o cuáles serán más adecuados; sin embargo, definiendo un criterio y reconocidos como válidas sus premisas, deberá poderse expresar en cifras. En otras palabras, se podrá medir, y aunque esta medición se hiciera por distintos observadores, se obtendría siempre el mismo resultado si se respetan los principios del criterio utilizado.

Ahora bien, la falta de unanimidad de opiniones respecto a qué es lo que se debe medir y cómo se debe medir para evaluar hace que, en la práctica, esta tarea se lleve a cabo según las preferencias personales de quienes la realizan, según el tipo de información disponible y, en general, según las condiciones específicas de cada estudio.

Las diferencias sustantivas entre los criterios de evaluación se refieren a las diferentes maneras de considerar, especificar y medir lo que en cada caso se entiende por recursos-empleados y beneficios obtenidos. Cualesquiera que sean esas diferencias, todo cómputo de evaluación debe abordar problemas que en forma convencional se designarán como de valoración, homogeneidad y extensión. A continuación se explica brevemente el significado de estos términos.

a) Valoración.

Debido a la diferente naturaleza física de los bienes y servicios, la determinación de su cuantía relativa para fines de evaluación se expresa mediante un denominador común, que es la unidad monetaria. Por lo tanto, la valoración consiste en asignar precios a los bienes y servicios relacionados con un proyecto, y es una tarea que reviste decisiva importancia para la evaluación, pues no siempre se consideran los precios de mercado como representativos del valor de los bienes o servicios.

Se llama "Precios de mercado" los que se registran normalmente en las transacciones habituales de bienes o servicios, y son los usados para evaluación de proyectos en el Sector Privado. En el Sector Público, se llamará "Precios o Costos Sociales" de los factores a los precios de mercado corregidos para fines de evaluación.

b) Homogeneidad.

Como los cálculos de evaluación abarcan toda la vida útil del proyecto, habrá que operar con valores monetarios correspondientes a transacciones realizadas en distintas fechas. Para que tales magnitudes monetarias sean compara-

bles, es necesario hacerlas homogéneas con respecto al -- tiempo, utilizando para ello equivalencias financieras.

c) Extensión.

La realización de un proyecto provoca una serie de reacciones económicas en cadena "hacia atrás" ó "hacia el origen" y "hacia adelante" ó "hacia el destino" del mismo, - términos que se refieren respectivamente al origen de los insumos y al destino de los bienes o servicios producidos.

El problema de la "extensión" consiste en reconocer y - - cuantificar estas repercusiones económicas del proyecto - dentro del criterio de evaluación adoptado.

4.2.3 Equivalencias Financieras.

Los cálculos de evaluación deben considerar el factor - - tiempo en el uso de los capitales, en las disponibilidades de los ingresos y en el espaciamento de los egresos, y ello implica la adopción de cierta tasa de interés. El problema consiste en hacer homogéneas series de dinero con el tiempo, - - pues para efectos de comparación económica y evaluación no se puede considerar que lo sean los ingresos o egresos correspondientes a dichas fechas.

Los cálculos de evaluación se referirán no sólo al resultado de un año dado, sino a todos los costos e ingresos resultantes en la vida de la empresa; la suma de tales costos e ingresos no se podrá realizar a menos que los componentes se hagan homogéneos y se expresen en términos equivalentes en relación con el tiempo.

Interés Compuesto.- El interés puede interpretarse como el dinero pagado por el uso de capital prestado. La tasa de interés i es la relación de la cantidad ganada al capital - - prestado para un período específico.

Cuando se habla de interés compuesto, la duración de un préstamo P se divide en varios períodos. Al final del primer período se calcula el interés ganado I y se suma al valor inicial del préstamo para el segundo período y así sucesivamente. De esta manera el interés ganado durante este período también gana intereses durante los períodos que le siguen.

Equivalencia entre un capital inicial P y un capital final F .- Si un capital P se coloca al interés compuesto i , al cabo del primer período se le sumarán los intereses Pi , el capital pasa a ser $P + Pi$, o sea $P (1 + i)$. Al cabo del segundo año, el capital $(P (1 + i)$ con intereses a la tasa i

habrá ganado $P (1 + i) i$ intereses convirtiéndose en:

$$P (1+i) + P (1+i) i = P (1+i) (1+i) = P (1+i)^2$$

Análogamente se demuestra que el tercer año el capital -- será $P (1 + i)^3$

Después de n años el valor F alcanzado por P será:

$$F = P (1+i)^n \dots\dots\dots (1)$$

En donde:

F = valor que alcanzará P después de n (períodos al interés compuesto i).

i = tasa de interés anual (o de otro período de tiempo expresado en tanto por uno).

n = número de períodos.

P = suma actual de dinero.

El factor $(1 + i)^n$ está calculado en tablas especiales- para distintos valores de i y de n . Se llama factor de interés compuesto singular. Basta multiplicar un capital inicial P por este factor para encontrar que el valor que alcanzará - P después de n años al interés compuesto i .

Despejando P resulta:

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} = F (1+i)^{-n} \dots\dots\dots (2)$$

La fórmula (2) permite calcular P conocidos los otros - datos. Equivale a descontar con intereses compuestos una suma F, que tendrá vigencia en n años más.

Este tipo de cálculo se llama actualización. La aplicación de la fórmula (2) permite actualizar una sola cantidad, hay fórmulas que permiten actualizar una serie de valores si- son iguales. El factor $(1+i)^{-n}$ es el factor singular de actualización y su valor también se encuentra en tablas espe- ciales. Se trata simplemente del recíproco del factor de in- terés compuesto. Se llama singular porque permite actualizar solo una cantidad.

Equivalencia entre una serie uniforme de valores anuales- R y un valor final F.

Supóngase que durante n años se coloca una cantidad R el- interés compuesto i, capitalizado al final de cada año.

La cantidad R colocada al final del primer año ganará in- tereses durante (n-1) años. De acuerdo con la fórmula (1),

se convertirá en $R (1+i)^{n-1}$. El pago que se hará al final - del segundo año se convertirá en $R (1+i)^{n-2}$ y así sucesivamen - te hasta que el último pago, al final del año n , quedará solo en R .

Al cabo de n años se tendrá un equivalente igual a la su - ma de estas acumulaciones parciales.

Si se llama F a la suma se tendrá:

$$F = R + R (1+i) + R (1+i)^2 + \dots + R (1+i)^{n-1}$$

$$= R \left[1 + (1+i) + (1+i)^2 + \dots + (1+i)^{n-1} \right]$$

El paréntesis es una progresión geométrica cuya suma vale

$$\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] / i \text{ entonces}$$

$$F = R \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] \dots (3)$$

y despejando R se tiene:

$$R = F \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Si se coloca una cantidad R al final de cada uno de n - - años al intefes compuesto i , su suma será equivalente a una - cantidad F al final del período de n años, cuyo valor está --

dado por la fórmula (3).

$$\text{El factor } \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

es el factor de interés compuesto para una serie uniforme y su valor también se da en tablas.

$$\text{El factor } \frac{i}{(1+i)^n - 1}$$

es el recíproco del factor de interés compuesto para la serie uniforme y se le denomina factor de fondo de acumulación y se utiliza en el cálculo de depreciaciones acumulativas.

Equivalencia entre una serie de valores anuales R y un capital inicial.

El valor F_1 que alcanzará un capital inicial P después de n años al interés compuesto i, está dado por:

$$F_1 = P (1+i)^n$$

Si se coloca una cantidad R al final de cada uno de los n años al interés compuesto i, su suma será equivalente a una cantidad F_2 al final del período de n años, cuyo valor está dado por:

$$F_2 = R \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$$

al igualar F_1 y F_2 resulta:

$$R = \frac{Pi (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

y multiplicando el numerador y denominador del segundo -- miembro por $(1+i)^{-n}$ se obtiene:

$$R = P \left[\frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \right] \dots\dots\dots (5)$$

R es la cantidad que hay que colocar al final de cada uno de n años o períodos consecutivos a la tasa i de interés compuesto, para obtener, al cabo de estos n años o períodos lo mismo que se obtendría con un capital P colocado al comienzo de los N períodos al interés compuesto i.

El factor $\frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}$

Se llama factor de recuperación de capital y se encuentra en tablas calculadas para distintos valores de i y de n. Si la inversión inicial se multiplica por este factor, se obtiene el valor anual equivalente para los valores de n a i que --

correspondan.

Despejando P en la fórmula (S) resulta:

$$P = R \left[\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \right] \dots\dots (6)$$

Una serie uniforme de valores R, colocados al final de cada año o período durante n períodos, es equivalente a un capital inicial P al comienzo de la Serie, cuyo valor está dado por la fórmula (6).

El factor $\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i}$

Se denomina factor de actualización de la Serie y es el recíproco del factor de recuperación de capital. Basta multiplicar la anualidad R por este factor, para obtener el valor actual equivalente de la Serie.

Estos conceptos de equivalencias financieras nos ayudarán a comprender el método de evaluación que presentaré enseguida:

Método del Valor Presente.- Como sabemos el valor presente es el valor del dinero en el instante cero. Cualquier ingreso o desembolso en dicho instante se incorpora al análisis con su valor inicial. A estos costos iniciales se les --

agrega el valor presente de pagos futuros. Cuando los pagos son de la forma de una anualidad el valor presente se calcula con el factor de actualización para una serie uniforme. Los pagos aislados se trasladan al instante cero usando el factor singular de actualización.

El período de estudio debería ser el mismo para las alternativas bajo análisis. No es posible analizar dos alternativas con diferente vida útil.

Consideramos para esta evaluación la alternativa de seleccionar un pavimento de concreto hidráulico ó uno de concreto asfáltico, considerando una avenida de 1 Km. de longitud - con un ancho de 8 metros y tomaremos los diseños de pavimento calculados en el capítulo anterior, considerando que la obra se encuentra a 11 Kms. del centro de suministro de materiales.

Analizaremos primero los costos por M^2 de los pavimentos antes mencionados, para ésto, nos basamos en los Precios Unitarios autorizados para el D.D.F. en su tabulador del mes de Junio de 1984.

Primero estudiaremos el costo por M^2 del pavimento de -- concreto asfáltico, de modo que tenemos los siguientes conceptos:

COSTO DE CONSTRUCCION DE UN METRO CUADRADO DE PA-
VIMENTO DE CONCRETO ASFALTICO.

<u>CONCEPTO</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>PRECIO UNITARIO</u>	<u>IMPORTE</u>
1. Trazo y nivelación de pavimento.	M ²	1.00	13.00	13.00
2. Excavación por medios mecánicos encaja. Todas las zonas, incluye corte y acamellonado del material con acarreo libre de 20 M. en seco, en material tipo I.	M3.	0.475	168.00	79.80
3. Acarreo en camión con carga mecánica de material producto de excavación al ler. Kilómetro.	M3.	0.475	215.00	102.12
4. Acarreo en camión a 10 Km. subsecuentes, zona urbana.	M3/Km.	4.75	59.00	280.25
5. Preparación, conformación y compactación de subrasante en arroyo en forma mecánica.	M2.	1.00	56.00	56.00
6. Sub-base de gravacementada compactada al 95% de su P.V.S.M. en capas no mayores de 15 cm. (P.V.S.M. aproximadamente 1700 a 1800 Kg/m3), incluye agua.				

<u>CONCEPTO:</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>PRECIO UNITARIO</u>	<u>IMPORTE</u>
Con carga y acarreo al 1er. Km.	M3.	0.15	1,096.00	219.20
7. Acarreo a 10 Kms. subsecuentes en zona urbana.	M3/Km.	2.00	55.00	110.00
8. Base de grava cementada controlada compactada al 98% de su P.V.S.M. en capas no mayores de 15 cm. de espesor (P.V.S.M. de 1850 a 1950 -- Kg/M3) incluye agua, con carga y acarreo al 1er. - kilómetro.	M3.	0.15	1,279.00	191.85
9. Acarreo a 10 Kms. subsecuentes, zona urbana.	M3/Km.	1.50	55.00	82.50
10. Riego de impregnación con asfalto rebajado F.M.O.	LT.	1.5	34.00	51.00
11. Riego de liga con asfalto rebajado F.R.3	LT.	1.00	39.00	39.00
12. Base negra de 10-cm. de espesor -- compactado al 95% de su densidad -- teórica máxima, - (peso volumétrico compactado 2375 - Kg/M3 mínimo), -- con acarreo al -- primer kilómetro.	M2.	1.00	894.00	894.00

<u>CONCEPTO:</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>PRECIO UNITARIO</u>	<u>IMPORTE</u>
13. Acarreo a 10 Kms. subsecuentes de base negra en zona urbana.	M3/Km.	1.00	55.00	55.00
14. Riego de liga con asfalto rebajado-F.R.3.	LT.	1.00	39.00	39.00
15. Carpeta de concreto asfáltico elaborada en planta con agregado máximo de 20 mm. y 7.5 cm. de espesor, compactada al 95% de su D.T. M.	M2.	1.00	690.00	690.00
16. Acarreo de carpeta a 10 Kms. subsecuentes zona urbana.	M3/Km.	0.75	59.00	44.25
17. Sello con cemento aplicado en pavimento, incluye cepillado del mismo riego de agua, doble cepillado, de 0.75 Kg. de cemento por M2.	M2.	1.00	15.00	<u>15.00</u>
			SUMA:	\$2,961.97

COSTO DE UN METRO CUADRADO DE
PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO.

<u>CONCEPTO:</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>PRECIO UNITARIO</u>	<u>IMPORTE</u>
1. Trazo y nivelación de pavimento.	M2.	1.00	13.00	13.00
2. Excavación por medios mecánicos en caja. Todas las zonas, incluye corte y acamellonado del material con acarreo libre de 20 M. en seco, en material tipo I.	M3.	0.40	168.00	67.20
3. Acarreo en camión con carga mecánica de material producto de excavación al primer kilómetro.	M3.	0.40	215.00	86.00
4. Acarreo en camión de material producto de excavación a 10 Km. en zona urbana.	M3/Km.	4.00	59.00	236.00
5. Preparación, conformación y compactación de subrasante en arroyo en forma mecánica.	M2.	1.00	56.00	56.00
6. Base de grava cementada controlada compactada al 98% de su P.V.S.M. en capas no mayores de 15 cm. de espesor (P.V.S.M. de 1850 a 1950 Kg/M3)				

<u>CONCEPTO:</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>PRECIO UNITARIO</u>	<u>IMPORTE</u>
incluye agua con- acarreo al primer kilómetro.	M3.	0.15	1,279.00	191.85
7. Acarreo de base a 10 Kms. subsecuen- tes en zona urba- na.	M2.	1.50	55.00	82.50
8. Concreto premez- clado resistencia normal, incluye - acarreo, muestreo colado, vibrado, - curado, desperdi- cio y equipo, - - f'c=300 Kg/cm2., - agregado máximo - 20 mm, incluye -- cimbrado y descim- brado.	M3.	0.23	15,741.00	3,620.43
9. Cimbra de madera- para losas de ci- mentación.	M2.	1.00	944.00	<u>944.00</u>
			SUMA:	\$4,452.98

Para fines de evaluación entre el pavimento de concreto-hidráulico y el pavimento de concreto asfáltico, consideramos los siguientes datos:

Se tomará como ejemplo una calle de un kilómetro de longitud, con un ancho de 8.00 metros.

El costo por M^2 del Pavimento de Concreto Hidráulico es -
\$ 4,452.98

El costo por M^2 del Pavimento de Concreto Asfáltico es -
\$ 2,961.97

La vida útil del Pavimento de Concreto Hidráulico es - -
25 años.

La vida útil del Pavimento de Concreto Asfáltico es - -
9 años.

Repavimentar el Concreto Hidráulico cuesta: \$4,600.00 / M^2

Repavimentar el Concreto Asfáltico cuesta: \$1,100.00 / M^2

El costo de construcción anual en el Concreto Hidráulico es \$ 1'000,000.00

La tasa de descuento considerada será de un 12%.

El proyecto se analiza para un período de 50 años.

El Asfalto se repavimenta 5 veces.

El Concreto se repavimenta 2 veces.

R E S U M E N

<u>TIPO DE COSTO:</u>	<u>ASFALTO</u>	<u>CONCRETO</u>
Construcción	23'695,760.00 Primer año.	35'623,840.00 Primer año.
Conservación Anual.	2'000,000.00 Años 2 al 8 10 al 17 19 al 26 28 al 35 37 al 44 46 al 50	1'000,000.00 Años 2 al 24 26 al 49
Repavimentación.	8'800,000.00 Años 9, 18, 27, 36, 45	39'200,000.00 Años 25 y 50

Considerando la alternativa Concreto Hidráulico

Inversión Inicial: 35'623,840.00

Conservación Primer Período:

$$1'000,000 \left[\frac{1-(1.12)^{-23}}{0.12} \right] = 7'719,433.70$$

Primera Repavimentación.

$$39'200,000 (1.08)^{-24} = 2'582,578.45$$

Conservación Segundo Período:

$$1'000,000 \left[\frac{1-(1.12)^{-24}}{0.12} \right] (1.08)^{-24} = 512,847.10$$

Segunda Repavimentación.

$$39'200,000 (1.12)^{-49} = \underline{151,915.80}$$

V.P.N. \$ 46'589,615.05

De la misma manera calculamos el valor del V.P.N. para diferentes tasas de descuento, obteniendo la siguiente tabla:

<u>TASA DE DESCUENTO:</u>	<u>CONCRETO HIDRAULICO</u>	<u>CONCRETO ASFALTICO.</u>
1 %	127'756,298.70	272'940,722.10
2 %	104'901,891.30	159'866,347.30
3 %	88'892,466.82	117'337,140.40
4 %	77'458,183.10	94'141,449.51
5 %	69'134,847.40	79'459,316.33
6 %	62'964,237.17	69'398,918.59
7 %	58'309,220.14	62'148,831.60
8 %	54'739,746.70	56'730,627.02
9 %	51'960,713.36	52'564,063.31
10 %	49'766,363.30	49'282,857.54
12 %	46'589,615.05	44'486,571.62
14 %	44'462,944.92	41'176,423.75
16 %	42'980,129.15	38'763,464.11
18 %	41'908,429.16	36'926,543.67
20 %	41'108,740.01	35'479,457.05

TABLA IV. Valores del V.P.N. para diferentes tasas de -
interés.

Si graficamos los valores de la Tabla IV obtendremos:

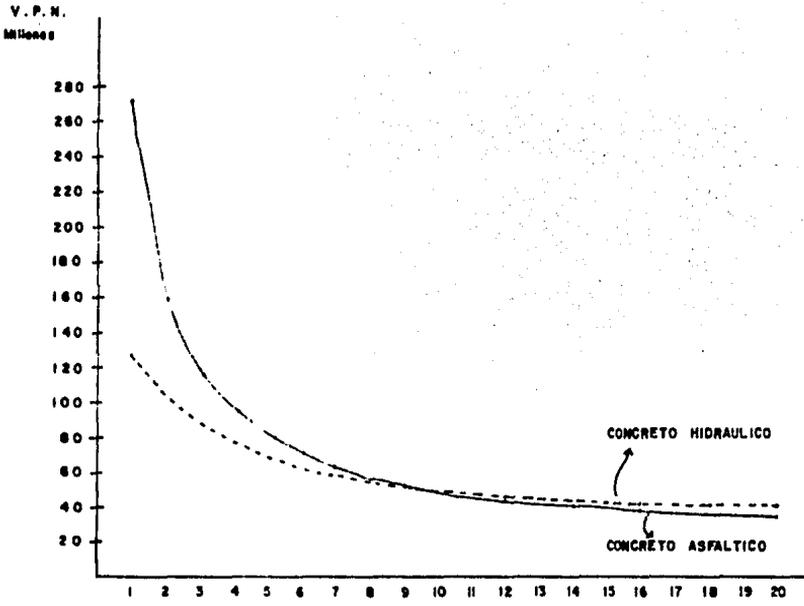


Gráfico IV

Valores de V.P.N. para diferentes Tasa de descuento.

Como se puede apreciar en la gráfica IV, para tasas de descuento inferiores a 9.5% la solución adecuada es Concreto-Hidráulico.

Para la tasa de descuento que hemos considerado en nuestro análisis, la solución óptima es Concreto Asfáltico.

V.- CONCLUSIONES.

Actualmente existe en México una política de desarrollo sustentado en factores tales como la estabilidad monetaria, - la reforma fiscal, la estimación periódica de los posibles recursos de inversión y la necesidad de crear empleo para medio millón de mexicanos cada año; esta política permite la formulación de planes sectoriales de los que derivan programas - - coordinados para todo el gobierno federal.

Con base en estos lineamientos, se establecen los necesarios estudios de planeación para la selección de las alternativas óptimas de inversión, que aporten un beneficio en el horizonte económico del país.

Las estrategias de inversión tanto en el Sector Público como Privado, necesitan el apoyo de los métodos de selección de proyectos que les redituen mayor beneficio; el ejemplo del capítulo anterior del tipo del Sector Público, en tanto que - el Sector Privado manejaría otros criterios de evaluación que tendrían como primordial importancia la captación de utilidades.

El Gobierno es el encargado de la construcción de pavi--

mentos en zonas urbanas y carreteras que a partir de 1925 que contábamos con 1426 Kms. se elevó en 1940 a 9929 y para fines de 1980 contábamos con 212,626 kilómetros de esta importante vía de comunicación.

En el Sector Privado los pavimentos son usados para dar acceso a sus fábricas, bodegas, instalaciones, para estacionamientos y áreas de circulación.

Las decisiones serán tomadas considerando en caso del gobierno, una tasa de descuento del 12 % que acostumbra tomar para la evaluación de proyectos y actualizando los costos y beneficios se obtendrá un índice de rentabilidad que de ser mayor que la unidad indica que sí debe hacerse la inversión.

Los empresarios privados consideran la rapidéz de recuperación de utilidades para una inversión sin interesar en algunos casos los beneficios sociales, de modo que el ingeniero debe considerar los dos casos para el momento en que sea llamado a tomar una decisión en cualquiera de estos campos.

En el caso de la toma de decisión entre la carpeta de -- Concreto Asfáltico ó el Concreto Hidráulico se consideró como óptima la primera, caso generalizado en la Ciudad de México por las siguientes consideraciones:

El uso de pavimentos de Concreto Hidráulico en la Ciudad de México es muy escaso, debido a que no se cuenta con la tecnología adecuada para su construcción y hacerlo con métodos normales encarece su costo y disminuye la calidad.

Otro de los problemas que presenta la Ciudad de México son los asentamientos diferenciales en la zona lacustre, al construir losas de concreto hidráulico se presentarían alabos y ruptura de las mismas.

La tecnología para construcción de carpetas de Concreto-Asfáltico es más común, ya que contamos con plantas estacionarias de concreto asfáltico, maquinaria para el tendido y compactación de la carpeta, facilidades para el transporte de la mezcla y una mayor aprobación por parte del gobierno, ya que las erogaciones inmediatas son menores y cubren una mayor área dando servicios a un gran número de habitantes.

Es común observar pavimentos que fallan antes de cumplir con su tiempo estimado de duración, esto trae como consecuencia la erogación de gastos superiores a los gastos programados para mantenimiento, siendo en ocasiones de tal magnitud que es necesario la reconstrucción total del pavimento.

Estudiaremos algunas de las causas más comunes en la fa-

lla de los pavimentos que al conocerlas será más fácil evitarlas a su debido tiempo y alcanzar una vida más larga de las obras.

Las causas de falla de un pavimento antes de cumplir su vida útil pueden ser las siguientes:

- 1.- Procedimiento Constructivo.
- 2.- Fallas por drenaje.
- 3.- Calidad de los materiales usados.
- 4.- Uso inadecuado del pavimento.
- 5.- Cargas superiores a las de diseño.

Estas fallas se manifiestan por fracturamiento, deformación o desintegración de la carpeta.

- 1.- Procedimiento constructivo: Estas fallas se originan debido a que no se respetan las normas establecidas para la construcción de pavimentos, originadas por problemas tales como mala compactación, preparaciones de revolturas de material de sub-base (cuando son hechas en campo) pendientes transversales y longitudinales no adecuadas, aplicación de riegos asfálticos sobre bases con exceso de polvo ó contaminadas, etc.
- 2.- Fallas por drenaje: Se originan en zonas en las cuales-

no existe drenaje para la captación de aguas pluviales, que se almacenan en la superficie ocasionando serios daños al pavimento.

El daño ocasionado por las aguas también puede ser a través de la capa subrasante cuando el nivel freático se encuentra demasiado superficial, así el agua asciende por capilaridad saturando las capas de pavimento y provocando la falla del mismo.

3.- Calidad de los materiales usados: Cuando los materiales usados en la construcción del pavimento son de mala calidad, la vida de éste tiene a acortarse, estas fallas pueden presentarse en todas las capas, de manera que los materiales de sub-base y base pueden venir contaminados -- con materia orgánica producto del despilme de los bancos que suministran dicho material, la granulometría puede no ser la adecuada por falta de control de calidad en la mina, los riegos asfálticos pueden venir demasiado rebajados y no cumplir con su cometido, la mezcla asfáltica puede venir con exceso de temperatura (quemada) y presenta problemas de disgregación por falta de adherencia en el asfalto. Problemas en la calidad del concreto.

4.- Uso inadecuado del Pavimento: Existen organismos públi-

cos que adoptan el uso de pavimentos no apropiados, en el caso de los pavimentos de Concreto Asfáltico los utilizan en zonas de estacionamiento, almacenes y talleres de vehículos cuyo combustible es el diesel, este elemento es uno de los solventes del asfalto de manera que al entrar en contacto comienza la desintegración de la carpeta.

- 5.- Cargas superiores a las de diseño: Las fallas en las carreteras del norte de República son ocasionados por vehículos cuyas cargas por eje son superiores a las cargas de diseño usadas por los proyectistas que no consideraron la existencia hoy en día de vehículos que cada vez transportan mayor tonelaje y el número creciente de los mismos.

Concluimos esta obra haciendo las siguientes recomendaciones:

- 1° Se debe contar en la obra con un laboratorio y un Ingeniero que muestren los materiales usados y determinen los procedimientos adecuados de construcción evitando lo comentado en el punto 1.
- 2° En zonas que no existe drenaje superficial se debe-

buscar la existencia de grietas naturales en el terreno para encausar en ese lugar las aguas pluviales y resolver dos problemas; el de la protección al pavimento y el de recargar los acuíferos de la ciudad-- que tanta falta hace.

Esto se puede lograr en las zonas del Sur y Poniente de la Ciudad de México.

En zonas donde no sea posible la utilización de grietas, se deben manejar pendientes longitudinales que lleven el agua a pozos de absorción.

- 3° En el caso de pavimentos que sean construídos en lugares cuyo nivel freático sea muy superficial (como el caso de la zona de Villa Coapa y San Juan de Aragón), se deben procurar excavar lo menos posible, -- así como evitar compactar en exceso la subrasante.

En el diseño de pavimentos en esta zona se deberá -- considerar una primer capa de material volcánico del tipo ígneo extrusivo con porosidad y un tamaño de -- 3", tendido con motoconformadora y acomodado con un rodillo vibrador de 8 toneladas.

En el caso de estacionamientos de camiones de Servicio Público, talleres mecánicos, etc., es recomendable usar pavimentos de Concreto Hidráulico.

Cuando la falla es ocasionada por cargas de servicios superiores a las de proyecto es necesario evaluar la alternativa entre el constante mantenimiento de la vía o la reconstrucción completa.

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

- ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION.
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.
- DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE.
SANTIAGO CORRO C.
GUILLERMO PRADO O.
INSTITUTO DE INGENIERIA U.N.A.M.
- ASPHALT PAVING MANUAL.
THE ASPHALT INSTITUTE.
- LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES.
ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO.
- VIAS DE COMUNICACION.
ING. CARLOS CRESPO VILLALLOZ.
- INGENIERIA DE CARRETERAS.
HEWES Y OGLESBY.
- MANUAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO ECONOMICO.
ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS.
- MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES.
CARLOS CRESPO VILLALLOZ.
- ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION.
LABORATORIO DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.