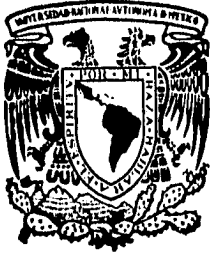


40  
289



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“Rehabilitación de Pavimentos por  
Medio de Sobrecarpetas de Concreto  
Hidráulico”

T E S I S

Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a n

*Efrén Marcelino Gutiérrez López*

*Román López Soto*



México, D. F.

Junio 1996

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-095/91

Señores  
**EFREN MARCELINO GUTIERREZ LOPEZ**  
**ROMAN LOPEZ SOTO**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. OSCAR E. MARTINEZ JURADO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

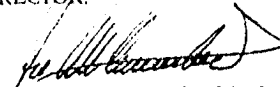
**"REHABILITACION DE PAVIMENTOS POR MEDIO DE SOBRECARPETAS DE  
CONCRETO HIDRAULICO"**

- INTRODUCCION**
- I. GENERALIDADES**
- II. CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO DE SOBRECARPETAS**
- III. DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SOBRECARPETAS**
- IV. METODOS DE DISEÑO DE LAS SOBRECARPETAS**
- V. ESTUDIO DE UN PROBLEMA REAL DONDE SE APLICA UNA SOBRECARPETA**
- VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitario, a 8 de abril de 1996.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP\*nl

A MIS PADRES :

SRA. FRANCISCA SOTO ALMAZAN DE LOPEZ  
SR. CORNELIO LOPEZ GONZALEZ

A MI MADRE POR PERTENECER A LA GENERACION DE MUJERES  
QUE LUCHAN Y SE ESFUERZAN DIA CON DIA SIN MOSTRAR UN SOLO  
RASGO DE FATIGA.

A MI PADRE POR APOYARME Y GUIARME EN TODOS LOS  
MOMENTOS DE MI VIDA.

A MIS HERMANOS:

ALEJANDRINA Y RUFINO POR SUS PALABRAS DE ALIENTO  
Y MOTIVACION.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE HAN SABIDO ESTAR CONMIGO EN  
LAS DIFERENTES ETAPAS DE MI VIDA, PORQUE DE ALGUNA MANERA  
HAN APORTADO ALGO EN MI FORMACION.

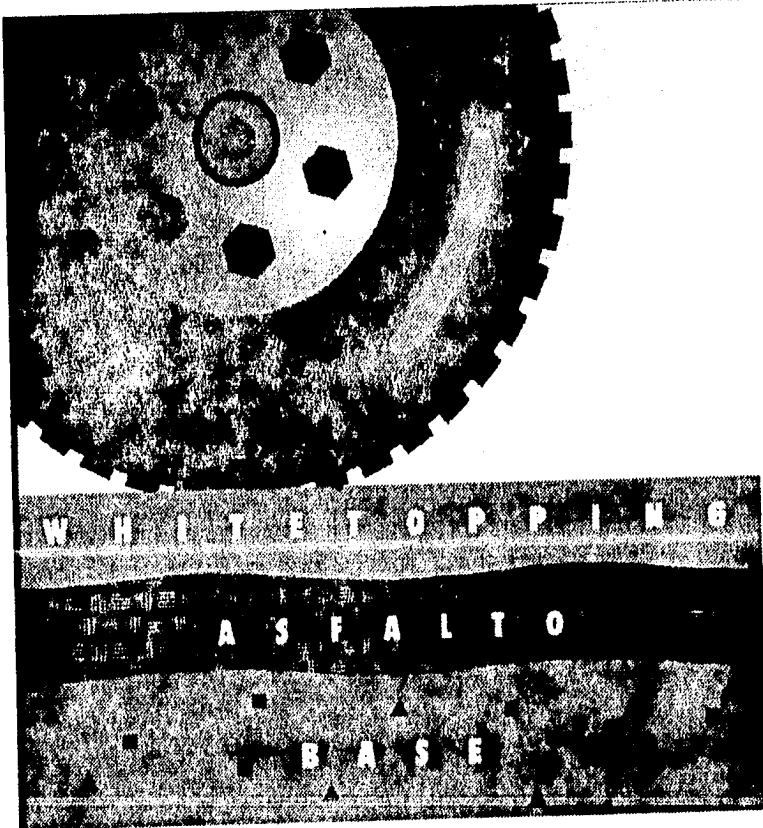
A LA FACULTAD DE INGENIERIA(UNAM):

Y POR OFRECERME LA OPORTUNIDAD DE TRASCENDER CON UNA  
PROFESION DIGNA. POR ACOGERME EN SU SENO

## INDICE

	PAG.
INTRODUCCION.	1
CAPITULO I GENERALIDADES.	6
I.1.- SELLO DE JUNTAS.	7
I.2.- REPARACION DE PAVIMENTOS CON LOSA DE CONCRETO.	8
CAPITULO II CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO DE SOBRECARPETAS.	16
II.1.- REENCARPETADO.	16
II.2.- CONSIDERACIONES IMPORTANTES EN EL DISEÑO DE SOBRECARPETAS.	19
II.3.- EVALUACION DE PAVIMENTOS PARA EL DISEÑO DE SOBRECARPETAS.	33
CAPITULO III DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SOBRECARPETAS.	49
III.1.- SOBRECARPETAS DE CONCRETO LIGADAS A PCSI, PCCP, PCCPYR Y PCCR.	49
III.2.- SOBRECARPETAS DE PCCP, PCSP Y PCCR NO LIGADAS A PCCP, PCSP Y PCCR.	67
III.3.- SOBRECARPETAS DE PCCP, PCSP, PCCPYR Y PCCR PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO (WHITETOPPING).	80
CAPITULO IV METODOS DE DISEÑO DE LAS SOBRECARPETAS.	88
IV.1.- ESPESORES EFECTIVOS.	88
IV.2.- DE DEFLEXIONES.	90
IV.3.- EMPIRICO-MECANISTICO.	90
IV.4.- EL METODO DE LA PÇA.	92
CAPITULO V ESTUDIO DE UN PROBLEMA REAL DONDE SE APLICA UNA SOBRECARPETA.	103
V.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	103
V.2.- OBJETIVO DE ESTUDIO	105
V.3.- METODOLOGIA	106
V.4.- CONCLUSIONES	112
CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	122
ANEXO 1	
ANEXO 2	
ANEXO 3	

# REHABILITACION DE PAVIMENTOS POR MEDIO DE SOBRECARPETAS DE CONCRETO HIDRAULICO



# **INTRODUCCION**

## INTRODUCCION

Históricamente la construcción y conservación de caminos, juega un papel preponderante en el desarrollo de la humanidad. Desde los tiempos en que los pueblos utilizaban una simple "vereda" para comunicarse con fines de comercio o conquista, hasta hoy día, con las grandes autopistas, que son los motores que dan la pauta al desarrollo de la civilización; los caminos siguen evolucionando buscando en su construcción y conservación, economía, seguridad y comodidad.

Al paso del tiempo con la evolución de los medios de transporte evolucionaron también los caminos, y con la aparición del automóvil a fines del siglo XIX, los caminos que en un principio sirvieron de vía a " las carretas" a hora se acondicionan para recibir vehículos motorizados. Pronto los vehículos se multiplicaron y se tuvieron grandes deformaciones en la geometría y en la estructura del camino original.

De esta manera se tuvo la necesidad de implementar una estructura capaz de recibir cargas sin ruptura estructural y de distribuir los esfuerzos en zonas cada vez más amplias para poder ser soportadas por el terreno natural. Así a partir de 1925 en México se empieza la construcción de caminos con técnicas avanzadas.

Estas estructuras llamadas *PAVIMENTOS* las encontramos de dos tipos, flexibles y rígidos. Para que estos cumplan los objetivos para los cuales fueron diseñados, a lo largo de su "vida útil", es importante proporcionarles un buen mantenimiento, sin embargo muchas veces esto no evita que algunos lleguen a la falla.

Para poder definir si un pavimento esta fallando y requiere una rehabilitación, lo primero que tendríamos que acordar es lo que constituye realmente una falla en estas estructuras.

A la falla, como agente causante de una rehabilitación, se le da tanta importancia como a otros factores que influyen en el diseño de los pavimentos.

Se reconocen dos tipos de fallas:

- a) Fallas funcionales
- b) Fallas estructurales



Las fallas funcionales son leves, relativamente. Cuando un pavimento ha perdido su función inicial o asignada de antemano, se acepta que tiene falla funcional.

Generalmente esta localizada en la capa superficial, ya sea carpeta asfáltica, losa de concreto, etc. Si una carpeta asfáltica se coloca para que proporcione un tránsito cómodo y seguro, y resulta que esa carpeta después de un tiempo de uso, esta arrugada, bolada o resbaladiza entonces tiene falla funcional.

Estas fallas pueden ser progresivas o no. Además, no imposibilitan a los pavimentos para usarse, simplemente perdieron su "cómoda tersura", que es muy importante, sobre todo en calles o carreteras de mucho tránsito.

Las fallas estructurales, que pueden originarse o localizarse en una o varias capas, si son graves. Consiste en el rompimiento del pavimento por la falla estructural de la subrasante, la subbase, base o superficie, también puede fallar estructuralmente el cuerpo de un terraplén o el suelo que lo soporta. Estas fallas si imposibilitan al pavimento, cuando están muy avanzadas.

Para juzgar el tipo y lugar de una falla, tiene que hacerse un estudio de campo y laboratorio, dirigido por una persona con muchos conocimientos de pavimentos y de laboratorio. El experto tiene que abrir la parte dañada de un pavimento y visualmente analizar el caso y ahí mismo hacer algunas mediciones y pruebas y ordenar un cuidadoso muestreo y su envío a un laboratorio de pavimentos para su ensayo. Después de reunir esa información, puede decir en donde esta la falla, si será progresiva y que tipo de falla es.

En fallas de tipo funcional, los tratamientos suelen ser sencillos y en algunos casos si no se descuidan, desaparecen sin dejar daño alguno. Para darle solución a este problema pueden utilizarse sobrecarpetas de concreto, siempre y cuando no se descuide el factor económico.

En fallas estructurales se recomienda hacer una inspección detallada (ya descrita anteriormente) en toda la estructura del pavimento y si así se requiere, hacer los cambios necesarios en la base o subbase; finalmente haciendo las preparaciones

adecuadas aplicar algún tipo de sobrecarpeta, para recuperar la funcionalidad del pavimento.

Las sobrecarpetas de Concreto Hidráulico como una técnica de rehabilitación de pavimentos, tiene la ventaja de que el costo de mantenimiento durante su "vida útil" es casi nulo. Lo que le da ventaja sobre otras alternativas de solución a este problema. Por ejemplo donde se utiliza concreto asfáltico, "en estos el costo de mantenimiento durante toda su vida útil, es diez o mas veces el costo de su construcción" (Ver ref. bibliográfica 21,22 ,23 y 26).

Ciertamente podría suceder que esta diferencia tan marcada de costo, se viera compensada con el costo inicial de construcción. Pues el concreto hidráulico nos exige mayor costo inicial, aun que casi es nulo el "costo de operación", pues la superficie de acabado, dificilmente posee fallas funcionales durante su "vida útil"; en el caso de los pavimentos de concreto asfáltico (C.A.), las fallas funcionales provocan deterioros en la mayoría de los vehículos, ocasionando altos "costos de operación". Análisis como estos nos arrojan "una verdad", "los pavimentos de C.A. y de concreto hidráulico (C.H.), poseen ventajas, cualidades y propiedades en igual medida" y en este momento cualquiera de las dos alternativas podría utilizarse en nuestro sistema carretero.

Análisis podrían hacerse muchos, sin embargo, el punto medular de este razonamiento, no es ver quien es mejor o peor, pues las cosas ya se han dado, mas bien si valdría analizar porque teniendo dos opciones viables para la construcción de pavimentos se halla optado por una sola, de tal manera que ha acaparado en su totalidad nuestro sistema carretero, a tal grado que el 90% de nuestras carreteras y calles se construyen precisamente mediante esa técnica.

Esto ha sucedido debido a que en el pasado existían tabúes, mitos y conceptos erróneos que negaban al concreto hidráulico ser utilizado en los pavimentos. Ideas tales como:

Se optaba por el asfalto pues:

- Se pensaba que por ser un país petrolero la superficie de rodamiento del pavimento debería ser de asfalto
- Se pensaba en el asfalto como un material barato
- El asfalto es lo que queda en el fondo del barril después de refinar el crudo, por lo tanto debemos utilizarlo en algo

No se utilizaba el concreto hidráulico pues:

- En suelos como en la Cd. de México por ejemplo, el concreto se fractura
- Las juntas en el concreto causan vibración y desprendimientos
- El concreto se vuelve muy liso y puede haber derrapadas en pavimentos mojados
- El concreto es muy caro pues requiere cimbras en cada losa, una o dos capas de acero de refuerzo y mucha mano de obra

Uno de los objetivos de este trabajo, es echar por tierra estas falacias que hemos aceptado en el pasado y demostrar que los pavimentos de concreto hidráulico así como la rehabilitación de los pavimentos en general con sobrecarpetas de C.H., son una necesidad surgida de la modernización de nuestro país, "donde el costo inicial resulta inferior, o en el peor de los casos igual, al de los viejos pavimentos de asfalto cuando se comparan diseños equivalentes para un mismo volumen de tránsito esperado, para una misma distribución de cargas y para una misma vida útil" (Ver ref. bibliográfica 21,22, 23 y 26).

Así pues la realidad es que tenemos el 90% de nuestras carreteras y calles, constituidas por pavimentos flexibles que deben recibir mantenimiento o algún tipo de rehabilitación. Incurriríamos en los mismos errores de antaño, si pretendiéramos rehabilitar nuestros pavimentos de concreto asfáltico, siguiendo aquellos principios .

De esta manera alejados, de viejas costumbres y apoyados en la opinión internacional (Europa y EUA), la técnica denominada WHITETOPPING se confirma como la mejor alternativa que se tiene para rehabilitar nuestros pavimentos. Esta técnica consiste en la colocación de una sobrelosa convencional de concreto (Sobrecarpeta), sobre la carpeta

asfáltica, con ventajas que van desde la disminución de los costos de rehabilitación, hasta el incremento de la "vida útil" del pavimento con gastos mínimos de mantenimiento. Esta técnica solo se aplica a carpetas de concreto asfáltico, de ahí la importancia de utilizarla en México.

Dentro de este trabajo de tesis se pretende aportar los argumentos suficientes para promover al concreto hidráulico como el material idóneo para ser utilizado en nuestros pavimentos en la superficie de rodamiento.

Todas nuestras expectativas habrán de consolidarse siguiendo nuestro objetivo principal, que es:

"Describir la importancia de la rehabilitación de pavimentos, haciendo referencia a la técnica denominada WHITETOPPING, como una solución alternativa para rehabilitar nuestro sistema nacional de carreteras con concreto hidráulico".

Para cumplir con este objetivo se han planteado una serie de capítulos que nos llevan de una manera sistemática y explicativa a comprender las ventajas, propiedades y características de las sobrecarpetas de concreto hidráulico, utilizadas en la rehabilitación de pavimentos.

**CAPITULO I**

**GENERALIDADES**

## I.- GENERALIDADES

Una de las condiciones necesarias para que los países que se encuentran en vías de desarrollo logren su avance económico y social, es la creación, mantenimiento y desarrollo de una infraestructura que sea compatible con su estrategia de crecimiento.

Las carreteras y calles de nuestro país, como infraestructura promueven el carácter económico de la región, de ahí la importancia de que día con día se haga un esfuerzo cada vez más intenso en el momento de diseñar, construir y conservar estas obras.

La parte mas importante de una carretera, aeropuerto o calle es su Pavimento. Sin esta estructura en condiciones óptimas no se puede pensar en un tránsito rápido, cómodo y seguro.

Este tipo de infraestructura se planea y se construye para que este en servicio un determinado número de años, que se llama "vida útil" de la obra, al cabo del cual se abandona, pudiendo tener algún valor de rescate o se reconstruye con el fin de aumentar su servicio por mas tiempo, que es lo que en forma general sucede.

Al estar en operación una obra, se va deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros que se van teniendo, al principio pueden ser pequeños pero pueden ser la causa de problemas serios que aceleren su falla, por lo que una obra para que proporcione un servicio adecuado requiere de una buena conservación o mantenimiento que cuando menos, asegure su vida de proyecto.

El concepto de mantenimiento de carreteras se define como todas las operaciones encaminadas a preservar, reparar y restaurar la estructura de rodamiento, a fin de que esta se mantenga segura y económica. Las actividades de conservación se implementan para compensar los efectos nocivos del envejecimiento de las estructuras viales, deterioro de los materiales por agentes de meteorización, crecimientos orgánicos, etc. Estas labores consisten básicamente en bacheo, recorte de hierba, sello de juntas, etc. No se incluye el ensanche de acotamientos, rehabilitaciones, ni reconstrucciones. Sin embargo a un con este mantenimiento, eventualmente las cargas impuestas por el tráfico hacen que los pavimentos requieran refuerzo, a efecto de restablecer los niveles aceptables de los índices de servicio.

Posteriormente se aplican chiflones de aire para secar y dejar libre de detritus al corte. Los tipos de sellante que se utilizan comúnmente son a base de asfalto y hule aplicados en caliente. Se utilizan piletas móviles - con ruedas neumáticas - dotadas de calentadores (puede ser aceite caliente circulando como medio de transmisión de calor). La aplicación en sí del sellante es a base de pistolas de presión mecánicas, conectadas a una manguera que a su vez saca al sellante de las piletas o tambos. Se emplean también los de aplicación mecánica por gravedad con calderas, de vaciado manual. Se utilizan como selladores polímeros elastoméricos de dos componentes de aplicación en frío, o bien, productos de silicón. Los tiempos más favorables para la reparación de fracturas son los de verano, que es cuando se registran las temperaturas más altas. Los astillamientos del concreto en las inmediaciones de las juntas podrán presentarse debido a desintegración del concreto en estas zonas. Normalmente los agrietamientos menores de la superficie de concreto se preparan rellenándolos con compuestos selladores de juntas. El manual de mantenimiento de la AASHTO (1976) recomienda que las fracturas mayores a 1/8" (3.2 mm) se rellenen con sellantes que permitan los movimientos alternos de contracción y expansión del concreto. Cuando los fracturamientos y/o fisuramientos sean de naturaleza tal que no permitan su corrección mediante sellado rutinario de juntas, deberán emplearse resinas epóxicas. Cuando las áreas con desprendimientos o irregularidades sean apreciables, pero que no existan daños estructurales de importancia, el tratamiento efectivo podrá consistir en riegos de lechada de cemento, para el taponamiento de fisuras.

## **I.2. REPARACION DE PAVIMENTOS CON LOSAS DE CONCRETO**

Cuando en base a monitoreo de todas las secciones de losas se demuestre la seriedad de las fracturas, existan evidencias de problemas de "bombeo", escalonamientos, etc. tales losas serán marcadas para ejecutar reparaciones de losas en toda su sección transversal. Se toma la decisión anterior a fin de restablecer las condiciones estructurales originales. Los despostillamientos en zonas de juntas se presentan cuando

Posteriormente se aplican chiflones de aire para secar y dejar libre de detritus al corte. Los tipos de sellante que se utilizan comúnmente son a base de asfalto y hule aplicados en caliente. Se utilizan piletas móviles - con ruedas neumáticas - dotadas de calentadores (puede ser aceite caliente circulando como medio de transmisión de calor). La aplicación en sí del sellante es a base de pistolas de presión mecánicas, conectadas a una manguera que a su vez saca al sellante de las piletas o tambos. Se emplean también los de aplicación mecánica por gravedad con calderas, de vaciado manual.

Se utilizan como selladores polímeros elastoméricos de dos componentes de aplicación en frío, o bien, productos de silicón. Los tiempos más favorables para la reparación de fracturas son los de verano, que es cuando se registran las temperaturas más altas.

Los astillamientos del concreto en las inmediaciones de las juntas podrán presentarse debido a desintegración del concreto en estas zonas. Normalmente los agrietamientos menores de la superficie de concreto se preparan rellenándolos con compuestos selladores de juntas. El manual de mantenimiento de la AASHTO (1976) recomienda que las fracturas mayores a 1/8" (3.2 mm) se rellenen con sellantes que permitan los movimientos alternos de contracción y expansión del concreto. Cuando los fracturamientos y/o fisuramientos sean de naturaleza tal que no permitan su corrección mediante sellado rutinario de juntas, deberán emplearse resinas epóxicas.

Cuando las áreas con desprendimientos o irregularidades sean apreciables, pero que no existan daños estructurales de importancia, el tratamiento efectivo podrá consistir en riegos de lechada de cemento, para el taponamiento de fisuras.

## **1.2. REPARACION DE PAVIMENTOS CON LOSAS DE CONCRETO**

Cuando en base a monitoreo de todas las secciones de losas se demuestre la seriedad de las fracturas, existan evidencias de problemas de "bombeo", escalonamientos, etc. tales losas serán marcadas para ejecutar reparaciones de losas en toda su sección transversal. Se toma la decisión anterior a fin de restablecer las condiciones estructurales originales. Los despostillamientos en zonas de juntas se presentan cuando

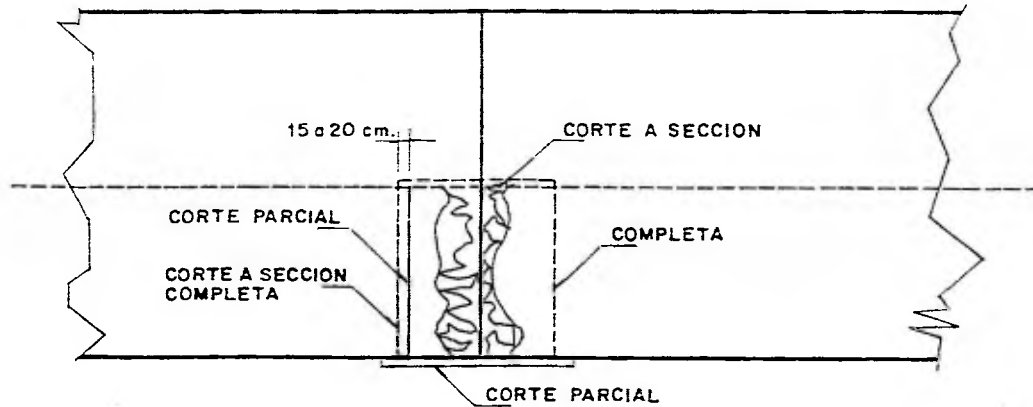


MÉTODO DE REMOCIÓN	TEXTURA EN LA CARA DE LA JUNTA
Izaje	Suave
Izaje	Rugosa
Fracturamiento	Suave
Fracturamiento	Rugosa

Se recomienda el retiro de las losas dañadas mediante el método de izaje. Ello demanda que los cortes verticales, a sección completa, estén correctamente aislados del resto del pavimento sano. El retiro de secciones es vertical. Antes de retirar las piezas, se ejecutarán barrenos desde la superficie, para alojar a los pernos de izaje, conectados a cadenas de acero. Estas se manipularán ya sea con grúa o con cargadores frontales.

Con el método de remoción por izaje se obtendrán caras limpias en las zonas de juntas, y quedarán listas para alojar eventuales pasajuntas, de ser necesarias estas últimas. Así, únicamente hará falta hacer solo los barrenos que alojen las varillas. La capa de sub-base también será poco alterada con este método de remoción. Para lograr una alteración en esta última capa, será suficiente penetrar con los discos de corte 1.2 cm. A fin de que los cortes sean lo más limpios posibles, y para evitar atascamientos del disco en climas extremos, es recomendable realizar los cortes durante la noche, que es cuando el concreto se contrae. Alternativamente, se podrán ejecutar cortes parciales, sobre un espesor digamos del tercio del espesor de la losa, para liberar presiones sobre el disco cuando este ejecute el corte en toda la profundidad. Se recomienda, por otro lado, que los cortes a profundidad parcial y a sección completa no tengan separaciones menores que el rango de 15 a 20 cm. Esto se debe a que el corte de alivio puede generar microfisuramientos que pueden dañar la periferia de la zona marcada, **ver fig. 1**.

fig.1  
AISLAMIENTO DE LA REPARACION

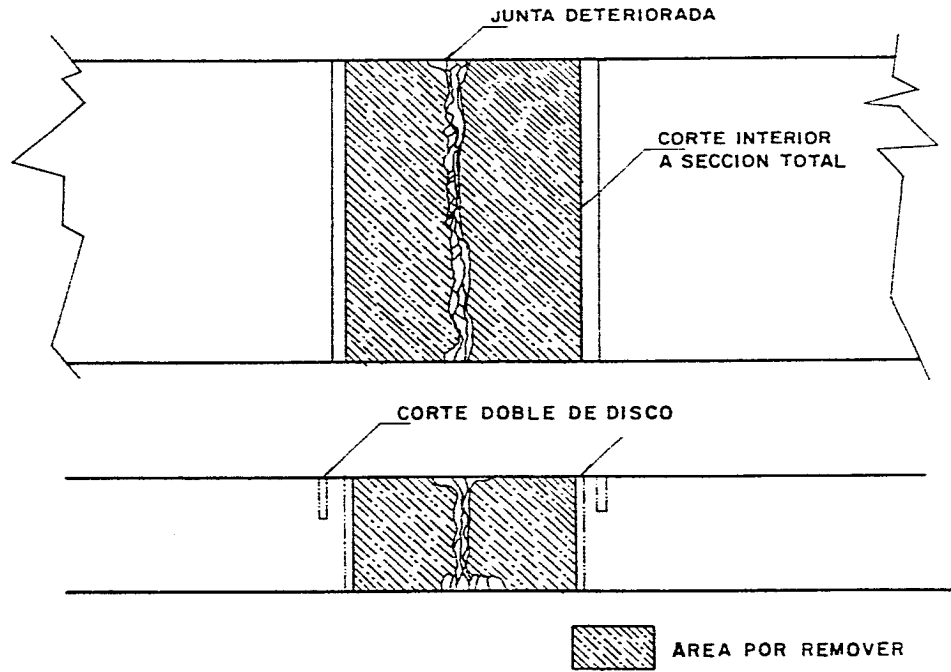


**Caras rugosas:** en ocasiones se requiere que las periferias de los recuadros tengan caras rugosas, para que con la contribución de la fricción de losa nueva - existente, más las varillas pasajuntas - le den a las nuevas losas buena transferencia de carga. Para lograr las rugosidades, se emplean discos dobles, con separaciones entre hojas de 3.5 a 5 cm. Solo uno de los cortes, los interiores, deberán ser a sección completa, en todo el espesor de losa. El corte externo será solo a 1/4 del espesor. El procedimiento es el siguiente: la primer pasada ambos discos cortan al cuarto del espesor. Posteriormente, ya con un solo disco, se ejecutan los cortes interiores. Cuando se completan estos últimos, se perforan los barrenos para los pernos de izaje. Se retira la losa dañada. Posteriormente, con la ayuda de martillos neumáticos ligeros - en el rango de 15-30 lbs. - se cincelan las paredes recién cortadas, hasta lograr una superficie rugosa en los cantos, *ver fig. 2*.

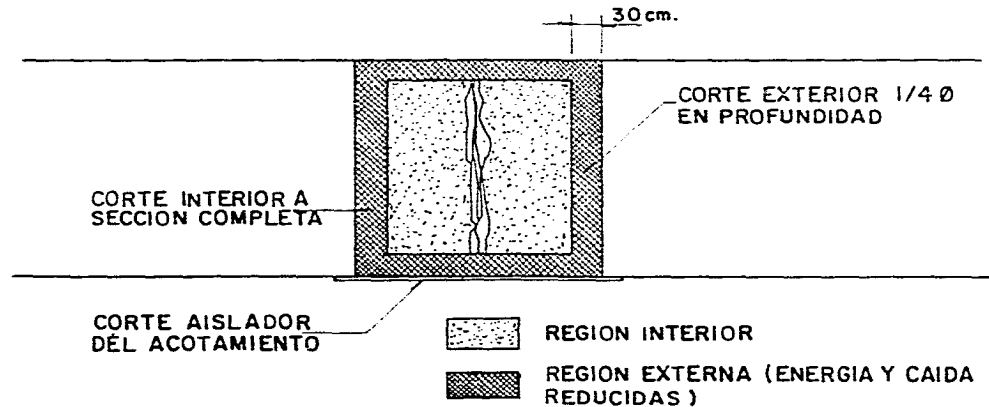
**Demolición por percusión:** cuando se utilicen martillos rompedores de caída, del tipo neumático, será conveniente tomar medidas preventivas adicionales. Se deberán evitar daños al pavimento aledaño existente. Esto se consigue mediante cortes en las fronteras de la zona por rehabilitar. Después se ejecutará un segundo corte paralelo al anterior, también a sección completa. La separación entre cortes paralelos es de 30 cm, aproximadamente. Este dimensionamiento incluye a las juntas longitudinales, si estas están cercanas, *ver fig. 3*.

El rompimiento de losas debe iniciarse desde el centro, dentro de los cortes interiores. Una vez completado el rompimiento de la parte interior, entonces deberá reducirse la altura de caída de los martillos rompedores. Esta reducción deberá ser función de la resistencia del concreto, y si existe o no acero de refuerzo. Luego el martillo se utilizará para golpear ligeramente las franjas externas de los cortes. En caso de dañar losas adyacentes, se deberán practicar cortes adicionales a sección completa más allá de los límites deteriorados, siguiendo con un golpeo ligero, con una reducción adicional de la altura de caída en el martillo, hasta remover la totalidad de los fisuramientos. Finalmente se utilizarán herramientas manuales para la remoción final de escombros.

fig.2  
**CORTE DOBLE DE DISCO  
PARA LA REMOCION DE BACHES**



**FIG.3 ARREGLOS TÍPICOS DE CORTES DE DISCOS  
PARA EMPLEAR ROMPEDORES NEUMÁTICOS**



*Dispositivos de transferencia de carga:* en general todas las zonas reparadas deberán contar con pasajuntas para que exista transferencia de carga efectiva entre las losas existentes y las nuevas. Esto se dará principalmente en pavimentos de caminos o vialidades de primer orden, y en donde se espere el tráfico pesado. Las juntas transversales de estos bacheos necesariamente deberán ser pasajunteados.

Se han presentado muchos problemas por una mala instalación de las pasajuntas. Ellos tienen que ver con mala ejecución de los barrenos, malos ajustes y alineamientos de las piezas de acero. Por lo que se recomienda que estas pasajuntas estén lo más alineado posible respecto a la pared de la losa. Se aconseja sean de 1E 1/4" de diámetro, y de 45 cm de longitud. Para el anclaje de dovelas se hacen los barrenos con equipo dotado de brocas en batería, para hacer varias perforaciones al mismo tiempo. Se utiliza perforadora montada en un armazón rígido de acero. Ella cuenta con brocas paralelas en el plano horizontal. En ocasiones se pueden utilizar taladros manuales, en donde las brocas en baterías no se puedan utilizar, tales como en esquinas, planos inclinados, o cuando por la distribución de acero de refuerzo de la losa no permita la maniobra. Sin embargo, se debe de tomar en cuenta que con pistolas o taladros individuales las desviaciones de barrenos son más posibles.

Con el fin de evitar abocardar los barrenos de las pasajuntas de anclaje en las losas existentes, como resultado de esfuerzos de flexión excesivos en la zona de juntas, es conveniente colocar de cuatro (4) a cinco (5) pasajuntas de 1E1/4" de diámetro en cada juntas, en la zona de ruta de las llantas. Las pasajuntas deberán colocarse una vez que se haya contado con un barreno seco y limpio de polvo y detritus. Para ello se emplea aire a presión. Previo a la inserción, se deberá colocar lechada de cemento sin contracción, o bien resinas epóxicas, procurando ser colocadas desde el fondo de las perforaciones, para que al insertar las dovelas, se expulse el material de adherencia. Otra manera de asegurar que las varillas estarán completamente cubiertas de adherente es la de girar una vuelta completa mientras se introduce dentro de la perforación.

Como en cualquier tipo de proyecto en donde se utilicen pasajuntas, estas deberán ser protegidas contra agentes corrosivos y/o químicos; para ello se deben utilizar pinturas para esos propósitos, o fundas de plástico.

**Pavimentos de tráfico bajo:** es importante señalar que en caminos de baja importancia, o de pavimentos rígidos en calles residenciales se podrá prescindir de las pasajuntas como elementos de transmisión de cargas. En estos casos será suficiente el trabajo por fricción entre las losas.

Es frecuente que estos pavimentos - urbanos - se requiera abrirlos para efectuar reparaciones en tuberías subterráneas; en estos casos no será necesario hacer la reparación en todo lo ancho del carril, sino en lo estrictamente necesario. No se aconseja colocar juntas de la nueva reparación a menos de 60 cm respecto a una junta existente. Cuando forzosamente se requiera hacer juntas muy cerca de una ya existente, será preferible recorrer esta última.

Los cortes empleados para demarcar la frontera de la zona por bachear no serán a sección completa del pavimento, sino que solo se realizará hasta la profundidad futura de la caja de sellante de las juntas, o a un máximo de 1/3 del espesor. Para preparar la remoción de las losas por izaje, se deberán ejecutar de preferencia con discos que tengan dos hojas de corte. Alternativamente, también se podrán hacer con discos simples, y la zona por retirar se podrá demoler con martillos de percusión, aplicados hasta muy cerca de las fronteras de corte. Acto seguido se podrá dar el cincelado a las paredes para lograr la superficie rugosa requerida y así inducir la fricción en las juntas. Es importante dar un cincelado sobre una pared sensiblemente vertical por abajo del corte de disco que constituirá la caja receptora de sello, a fin de no eliminar la trabazón por fricción entre agregados. Para ello se aconseja utilizar un martillo neumático ligero, para no sobrecincelar las paredes, **ver fig. 4.**

Una vez retirada la losa, es recomendable utilizar material de relleno de importación, para luego ser compactado, y brindar así una buena capa de apoyo a la losa de

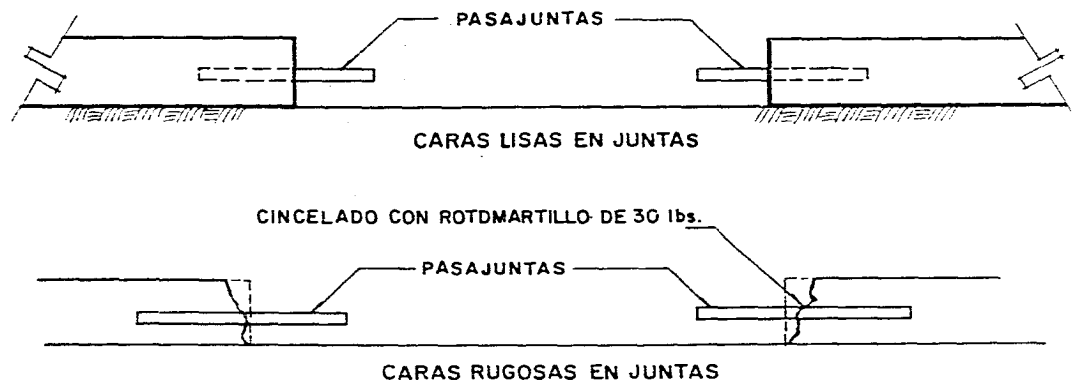


FIG.4 Superficies en las caras de las juntas, utilizando un corte simple de disco para limitar la reparación. O bien un corte doble, para proporcionar fricción de agregados.



repuesto. Esto se hará más necesario cuanto más fino o arcilloso sea el material producto de excavación y solo podrá emplearse cuando sea competente.

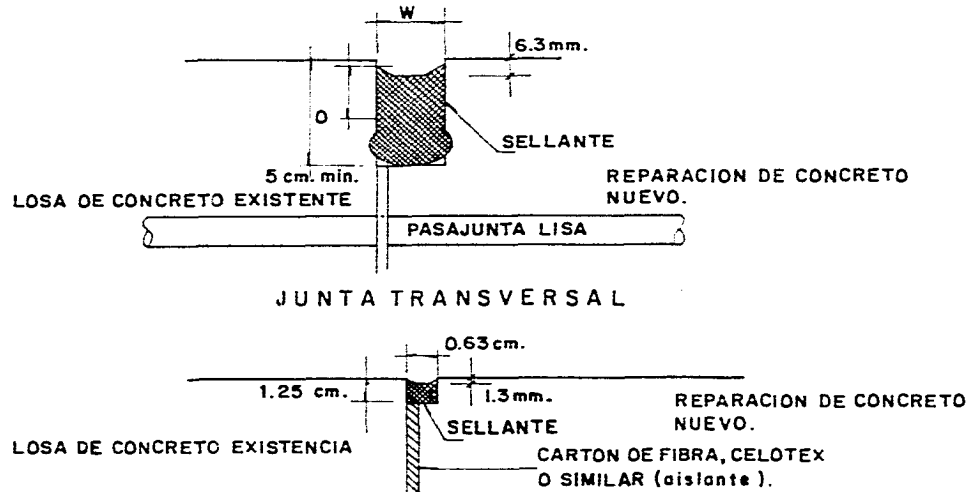
En ocasiones, y a fin de garantizar llenar huecos del material excavado, y una superficie libre de asentamientos, se han utilizado rellenos en suspensión: mezclas de agua, cemento y arena - y opcionalmente cenizas volantes -, con contenidos de cemento más bien bajos, los suficientes para lograr resistencias a la compresión a los 28 días del orden de 3 kg/cm<sup>2</sup> a 7 kg/cm<sup>2</sup>. Este material de relleno será lo suficientemente rígido para apoyar sobre el la losa, pero también podrá ser removido, si así se requiere, con relativa facilidad.

**Colocación del concreto:** esta operación se realizará tan pronto como la sub-base y las pasajuntas (en caso de que se hayan utilizado) ya estén totalmente instaladas. De preferencia se utilizarán, en caso de pretender apertura rápida al tráfico, mezclas de fraguado y resistencias tempranas. Se empleará de preferencia cemento del tipo III. Se deberá mantener la relación agua/cemento lo más baja posible. En caso de no planear colocar una sobrecarpeta encima, y que se proyecte la apertura rápida al tránsito, entonces se empleará como criterio normativo cuando el concreto alcance resistencias a la compresión mínimas de 210 kg/cm<sup>2</sup> o una resistencia a la flexión - medida con carga en el tercio medio - de 45 kg/cm<sup>2</sup>.

Los baches se nivelan con reglas de 3 m o con reglas vibratorias, hasta lograr el perfil de proyecto. Es preferible mover la regla vibratoria paralelamente al eje de la vialidad. Finalmente, se deberá colocar membrana de curado, para prevenir la pérdida de humedad. Las cantidades estándares de este líquido son suficientes en la mayoría de los casos.

**Sello:** el paso final será el sello de las juntas transversales y longitudinales. Aquí se pondrá especial atención al tipo de material sellante a emplear, ya que en función de él será el factor de forma, definido como la relación del ancho a la profundidad de la caja receptora. En cualquier caso, siempre se seguirán las recomendaciones del fabricante

FIG. 5 DISEÑO DE LA CAJA RECEPTORA DEL SELLANTE



del sellador. En el caso de las juntas longitudinales, inmediatamente abajo de la caja receptora de sellante deberá colocarse, a manera de separador entre losas nuevas y existentes cartón asfaltado, "Celotex", o similar, a fin de evitar trabazón y astillamientos por acción entre dichas losas, **ver fig. 5**.

**CAPITULO II**

**CONSIDERACIONES GENERALES  
EN EL DISEÑO DE  
SOBRECARPETAS**

## **II.-CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO DE SOBRECARPETAS**

Existen muchas consideraciones sin embargo el diseñador deberá tomar en cuenta únicamente, aquellas que afecten directamente al espesor de la Sobrecarpeta. Habrá que pensar en el aspecto económico, constructivo y el que define la "vida útil" del nuevo elemento, esto con el fin de poder ubicar con mayor precisión los parámetros de diseño. Otro aspecto importante para analizar, es el que se refiere a las preparaciones que se realizan al pavimento existente, para recibir a la Sobrecarpeta; este tipo de trabajos nos evitan problemas a futuro tales como, reflexión de grietas, problemas de bombeo y además proporcionan mejores condiciones de apoyo, al nuevo elemento.

### **II.1. REENCARPETADO**

Cuando las labores de mantenimiento rutinario no logran hacer duradera una superficie de rodamiento segura y económica, es cuando se piensa en la ejecución de un reencarpetao o sobrecarpeta de refuerzo. Como regla una sobrecarpeta resultará competitiva desde el punto de vista económico cuando más del 2 o 3% del área total requiere bacheo.

Las sobrecarpetas de refuerzo se utilizan para corregir deficiencias funcionales y/o estructurales de los pavimentos (ver introducción). Para llegar a una solución adecuada en cuanto al tipo de sobrecarpeta a usar, es necesario contar con una valuación confiable de la situación actual del pavimento.

Como es sabido, entendemos que la falla es funcional cuando la superficie de rodamiento afecta al usuario del camino, tanto en su comodidad como en los costos de operación del vehículo. Normalmente esto último se asocia con problemas de resistencia pobre a la fricción, irregularidades en las superficie en general (corrugaciones, fracturamientos, hoyos, desprendimientos, etc.), hidropneumático, acumulación de agua y eventuales salpicaduras en zona de roderas.

Por otro lado, las deficiencias estructurales tienen que ver con un deterioro de la estructura del pavimento producto de cargas de tráfico excesivas, y agentes de meteorización. Para ello contribuyen aspectos desde espesores insuficientes, desintegración, distorsión y agrietamientos en el pavimento. Se debe hacer notar que este último se puede ver amenazado no solo por el tráfico, sino incluso en ausencia de este, por los agentes erosivos o por mala construcción. Generalmente es en este tipo de fallas (en las asociadas con el tránsito vehicular a ser soportado), en donde se hace factible la colocación de sobrecarpetas de refuerzo.

**La conveniencia del refuerzo :** la decisión de colocar una sobrecarpeta vendrá dictada por las siguientes consideraciones:

- Disposición de recursos económicos
- Aspectos constructivos
  1. Control de tráfico
  2. Disposición de materiales y equipo
  3. Clima
  4. Obras asociadas y/o restricciones: señalamientos, contaminación, vibraciones, ruido, gálbos en puentes
  5. Espesores de acotamientos extensión de sus taludes, en los casos de limitaciones en los derechos de vía
  6. Interrupciones de tránsito vehicular, y costos de tiempos de horas - hombre
- La vida útil requerida en la nueva sobrecarpeta
  - Aspecto que la regirán:
    - Deterioro en los pavimentos existentes (distribución y frecuencia en los daños e irregularidades)
    - Diseño del pavimento existente, incluyendo sus condiciones de apoyo
    - Cargas de tráfico futuras

Clima local

Situación del drenaje actual

En caso de pretender reforzar pavimentos asfálticos, y que estos presenten ya fuertes distorsiones, roderas o protuberancias severas, será necesario corregir el perfilamiento antes de colocar la sobrecarpeta. Esto es más cierto en cuanto sea más delgado el reencarpetao por colocar. En estos casos lo que conviene es el "fresado" o desbastamiento de las irregularidades inaceptables. En caso de carpetas asfálticas muy viejas se pueden quemar para aflojar la mezcla asfáltica, para luego ser compactada. Esto en el caso de disponer compactadores con calentador. Tal como se aplican las sobrecarpetas de concreto hidráulico sobre carpetas asfálticas, en ocasiones, dada la gran irregularidad de las superficies, se colocan sobre estas capas de nivelación, con la finalidad de reducir volúmenes de concreto. Esta capa niveladora o de compensación podrá ser de cemento asfáltico, con bajo contenido de este último, o bien mediante mortero de arena-cemento. En algunas circunstancias, dependiendo del grado de deterioro, y de la importancia del camino, podrá utilizarse solamente arena como elemento compensatorio. En general se rellenará cualquier grieta o junta mediante concreto asfáltico como el utilizado en bacheos convencionales.

En ocasiones, si la superficie lo permite, bastará con limpiar y levantar detritus o polvo mediante barredoras giratorias autopropulsables o potentes ventiladores. En cualquier caso, toda irregularidad será tratada antes de proceder a la construcción de la sobrecarpeta.

**Pavimentos de concreto hidráulico deteriorados:** en general se deberán rellenar los agrietamientos y/o fracturamientos. También se deberá dictaminar lo más razonable posible el origen de las fallas. El objeto de rellenar las grietas o fisuras mediante materiales sellantes es la de evitar el paso del agua hacia la capa subrasante o de apoyo, con el consecuente deterioro de esta última. El fenómeno de "reflexión de grietas" consiste en la aparición de grietas en la nueva sobrecarpeta en las zonas de

juntas y grietas en la carpeta de rodamiento existente. Se han utilizado diferentes metodologías para su mitigación:

1. Cubrir las grietas existentes con placas de metal
2. Papel o malla de alambre, o electrosoldadas de refuerzo
3. La construcción de una capa de transición de grava o piedra triturada, que separa a las capas nueva y vieja
4. Capa de espesor considerable de una mezcla asfáltica, con alto contenido de huecos
5. Provocar asentamientos de carpetas existentes mediante equipo pasado, además, fracturamiento inducido a la carpeta existente por medio de percusores o quebradoras

## **II.2. CONSIDERACIONES IMPORTANTES EN EL DISEÑO DE SOBRECARPETAS**

En el diseño de sobrecarpetas se requiere tomar en consideración muchos aspectos varios, incluyendo: reparación de las superficies de apoyo existentes, control de reflexión de grietas, intensidad de tráfico, subdrenaje, fresado de una superficie de concreto asfáltico, CA, existente, el reciclaje de tramos de un pavimento existente, necesidades estructurales versus funcionales de la sobrecarpeta preexistentes, durabilidad de losas de concreto hidráulico, diseño de juntas, refuerzo, y capas de adherencia/separación para sobrecarpetas de concreto hidráulico, SCH, nivel de confiabilidad del diseño de la sobrecarpeta y desviación estándar total, y la necesidad de ensanchar el pavimento.

El diseñador no debe pasar por alto estas consideraciones. Cada una de ellas se describe brevemente a continuación, sobre todo aquellas que son comunes para todo tipo de sobrecarpetas. Se describen con más detalle en las secciones para cada tipo de estas últimas.



EN LO QUE SIGUE SE UTILIZARÁN LAS SIGUIENTES ABREVIACIONES

CA	Concreto Asfáltico
CCP	Concreto de Cemento Portland
PCSJ	Pavimento de Concreto Sin Pasajuntas
PCCP	Pavimento de Concreto Con Pasajuntas
PCCPYR	Pavimento de Concreto Con Pasajuntas Y Refuerzo
PCCR	Pavimento de Concreto Continuamente Reforzado

**Reparación previa a la Sobrecarpeta:** el deterioro en un pavimento existente incluye desperfectos visibles, así como también daños que no son tan obvios en la superficie, pero que pueden ser detectados por otros medios. ¿En qué extensión estos desperfectos deben ser reparados antes de colocar una sobrecarpeta? El grado necesario de preparación y reparación previa de la superficie existente está relacionado con el tipo de sobrecarpeta por colocar. Si la probabilidad de que el desperfecto en el pavimento existente afecte el comportamiento del pavimento en el curso de pocos años, debe ser reparado antes de la colocación de la sobrecarpeta. Gran parte del deterioro que ocurre en una sobrecarpeta es el resultado del deterioro que no se reparó en el pavimento existente. El diseñador debe considerar también los pros y contras con relación al costo de una reparación del pavimento existente y el tipo de sobrecarpeta. Si el pavimento existente está severamente deteriorado, la selección de un tipo de sobrecarpeta que sea menos sensible a la condición del pavimento puede ser más rentable que efectuar una reparación previa a gran escala. Se dispone de excelentes guías sobre las técnicas de reparación de un pavimento existente (FHA, Darter et al 1985, Snyder y Darter 1989, ver ref. bibliográfica 10,13 y 14).

**Control de reflexión de grietas:** la reflexión de grietas son una causa frecuente del deterioro de las sobrecarpetas. Los procedimientos para el diseño de espesores, en esta parte del escrito, no toman en consideración el agrietamiento por reflexión. Se deben tomar medidas adicionales para reducir la ocurrencia y severidad de la reflexión de grietas. Algunas sobrecarpetas son menos susceptibles al agrietamiento por reflexión que otras, debido a sus materiales y a su diseño. Similarmente, algunas

medidas para el control de grietas por reflexión son más efectivas con algunos tipos de pavimento y sobrecarpeta que con otros. El control de reflexión de grietas se discute con más detalle en lo que sigue, atendiendo al tipo de sobrecarpeta.

**Cargas de tráfico:** los procedimientos de diseño para una sobrecarpeta requieren el conocimiento, o más bien, la transformación de la distribución del tránsito vehicular a cargas inducidas por un eje sencillo equivalente (Equivalent single-axe loads, *ESAL's*) de 18 kips, o 8.2 ton de peso, que se esperan durante la vida de diseño de la sobrecarpeta en el carril de diseño. Los *ESAL's* estimados se deben calcular usando los factores de equivalencia de pavimento flexible o pavimento rígido apropiados (ver guía de la AASHTO, 1993). El tipo apropiado de factores de equivalencia para cada tipo de sobrecarpeta y cada tipo de pavimento existente se dan en la siguiente tabla:

Pavimento Existente	Tipo de Sobrecarpeta	Factores de Equivalencia - que se Deben Usar
Flexible	CA	Flexible
CCP con grava	CA	Flexible
CCPPyR, CCPPyR con Rotura / Grieta / Asentamiento	CA	Flexible
PCCP	CA o CCP	Rígido
PCCR	CA o CCP	Rígido
Flexible	CCP	Rígido
Compuesto(CA/CCP)	CA o CCP	Rígido

Existe una correlación aproximada entre los *ESAL's* calculados usando los factores de equivalencia de pavimentos rígidos. Para convertir *ESAL's* de pavimento rígido a *ESAL's* de pavimento flexible, hay que multiplicar los *ESAL's* de pavimento rígido por 0.67. Por ejemplo, 15 millones de *ESAL's* de pavimento rígido es igual a 10 millones de *ESAL's* de pavimento flexible. Cinco millones de *ESAL's* de pavimento

flexible es igual a 7.5 millones de ESAL's de pavimento rígido. El error en la utilización del tipo de ESAL's dará como resultado errores significativos en los diseños de una sobrecarpeta. Por ejemplo, se deben hacer las conversiones al diseñar una sobrecarpeta de concreto asfáltico en un pavimento flexible (ESAL's flexibles requeridos), y al diseñar una sobrecarpeta alternativa de CCP del mismo pavimento flexible (ESAL's rígidos requeridos). A lo largo de esta parte de las notas, los ESAL's se designan como ESAL's rígidos o ESAL's flexibles según se considere apropiado.

El tipo de ESAL's usado en el diseño de una sobrecarpeta depende del modelo de comportamiento del pavimento (flexible o rígido) que se esté utilizando. En los procedimientos de diseño de una sobrecarpeta que se presentan en esta parte del trabajo, se usa el modelo de pavimento flexible al diseñar sobrecarpetas CA de pavimentos CA y pavimentos de concreto hidráulico deteriorados. Se usa el modelo de pavimento rígido al diseñar sobrecarpetas CA y CCP de pavimentos CCP y CCA/CCP y sobrecarpetas CCP de pavimentos CA.

**Subdrenaje:** la condición del subdrenaje de un pavimento existente generalmente tiene una gran influencia sobre la manera en que se comporta una sobrecarpeta. Se debe llevar a cabo una evaluación del subdrenaje del pavimento existente tal como se describe a continuación:

#### *El papel del drenaje en la rehabilitación*

Se sabe que los deterioros de los pavimentos en general son causados o incrementados por la presencia de agua en el cuerpo del pavimento. El responsable del proyecto deberá diagnosticar con la mejor precisión posible los problemas relacionados por la presencia de agua, y así hacer la mejor medida correctiva, si así se justifica. A partir de un levantamiento físico del estado actual del pavimento en un tramo dado se puede establecer el daño y su relación con la humedad o

- ¿Se estanca el agua en los acotamientos?
- ¿Las plantas crecen y florecen a lo largo del camino?
- ¿Existen evidencias del fenómeno de "bombeo", o socavaciones ("respiraderos") en las orillas de los pavimentos?
- ¿Se presentan taponamientos o acumulación de finos o escombros en las entradas de los subdrenes o tuberías de desalojo de agua?
- ¿Las grietas y juntas tienen buen sello?

Se deberá verificar si las obras complementarias para el drenaje fueron planeadas en la etapa de proyecto, y si realmente se ejecutaron. Se recomienda inspeccionar si se han ejecutado mantenimientos a las instalaciones de drenaje, para así poder establecer un programa de mantenimiento o limpieza.

#### *Propiedades de los materiales*

Para saber con buen grado de aproximación qué materiales estudiar o investigar, es necesario conocer: a) el tipo de deterioro provocado por humedad y b) los materiales de las capas que componen el pavimento.

Cuando sea posible, se deberán estudiar las propiedades de los materiales que constituirán el pavimento, esto se hará desde el punto de vista del drenaje. De esta manera, por ejemplo si se toman núcleos de la capa de suelo natural de apoyo para estudiarlos desde el punto de vista físico-mecánico, para el pavimento futuro, también se estudiarán sus propiedades drenantes, y así reducir costos.

La siguiente tabla resume las propiedades de los materiales asociadas con problemas de drenaje en pavimentos. El mejoramiento de las condiciones de un subdrenaje pobre tendrá un efecto benéfico en el comportamiento de una sobrecarpeta. Los deterioros más significativos de los pavimentos en la mayoría de los casos son provocados por la presencia del agua. La condición de los materiales favorece o desfavorece la aparición de estos problemas.

información, será recomendable revisar los planos y/o documentos originales del proyecto, sobre todo lo concerniente a:

- Rasantes longitudinales del proyecto
- Rasantes transversales
- Anchos en las capas del pavimento
- Espesores en las capas
- Profundidades de cortes y terraplenes
- Taludes y dimensiones generales en el drenaje superficial (cunetas, alcantarillas, etc.)
- Subdrenaje del lugar

Las evidencias de problemas relacionados con los drenajes serán los que determinen la necesidad de crear, aumentar o mantener las medidas preventivas para manejar las humedades excesivas en los pavimentos.

El paso siguiente será un examen de las condiciones topográficas. Se considera si existe o no facilidad del agua para salir de la estructura del pavimento, de si existe o no planicies de inundación. Se analizará si existen lagos, arroyos, o zonas inundables estacionales por encima del nivel del pavimento. Se analizarán, asimismo, mapas con información geotécnica de los lugares, para ver niveles freáticos posibles, así como sus variaciones. Se estudiarán los tipos de suelos presentes, para ver sus aportaciones de agua, o sus permeabilidades, según el caso.

El estudio de las condiciones de drenaje para un sitio dado de preferencia se ejecutará durante las estaciones más húmedas del mismo. Lo siguiente constituye una serie de puntos que deberá incluir un monitoreo de las condiciones de drenaje:

- Hacia donde se mueve el agua en la superficie del pavimento
- Zona puntual en donde se acumula el agua dentro o cerca del pavimento
- Que altura alcanza el agua en las cunetas (en días lluviosos)
- Existencia o acumulación de agua en las juntas o grietas de pavimentos rígidos

presencia de agua. En los del tipo flexible se podrán detectar problemas que se ven ampliados por el agua:

- Desprendimientos
- Roderas
- Baches
- Depresiones
- Agrietamiento por fatiga

En los pavimentos de concreto podemos encontrar problemas que se relacionan con el agua, tales como:

- Bombeo
- "D cracking"
- Deterioros en juntas
- Fracturamientos
- Roturas en esquinas

El hecho de que no se observen evidencias de daños producto de erosión por agua no necesariamente descarta el potencial de daño de esta última. Durante la etapa de evaluación e incluso durante los trabajos de rehabilitación el encargado de los trabajos deberá buscar evidencias de daños potenciales por el agua. El personal de conservación de caminos puede resultar una fuente invaluable de información. De esta manera atendiendo el caso se podrá emprender un proceso de rehabilitación.

#### *Historia del pavimento, topografía y geometría*

Desde luego que será deseable que se cuente en cada caso con los datos de construcción relativa al drenaje. Sin embargo, cuando no se cuente con tal

<b>Terreno natural de apoyo</b>	
<b>Ensayes generales</b>	Granulometría Clasificación e identificación Peso volumétrico seco máximo
Relaciones volumétricas y gravimétricas	Humedad óptima Densidad seca en el lugar Contenido de agua en el lugar
<b>Capas granulares</b>	
<b>Ensayes generales</b>	a) Identificación y clasificación b) Granulometría c) Porcentaje de finos d) Límites de Atterberg e) Humedad óptima en el laboratorio f) Peso volumétrico seco máximo en el lugar g) Humedad del lugar
<b>Otras propiedades relacionadas con el drenaje</b>	a) Permeabilidad b) Porosidad efectiva c) Capilaridad
<b>Superficie</b>	
<b>Agregados</b>	a) Susceptibilidad al fenómeno del "D cracking" b) Desprendimientos c) reacción química en agregados

La remoción del exceso de agua de la sección transversal del pavimento reducirá la erosión e incrementará la resistencia de la base y de la subrasante, lo que a su vez, reducirá las deflexiones. Además, el descascaramiento de un pavimento CA y el agrietamiento "D" en un pavimento CCP se puede reducir por medio de un subdrenaje mejorado.

<b>Terreno natural de apoyo</b>	
<b>Ensayes generales</b>  Relaciones volumétricas y gravimétricas	Granulometría Clasificación e identificación Peso volumétrico seco máximo  Humedad óptima Densidad seca en el lugar Contenido de agua en el lugar
<b>Capas granulares</b>	
<b>Ensayes generales</b>  <b>Otras propiedades relacionadas con el drenaje</b>	a) Identificación y clasificación b) Granulometría c) Por ciento de finos d) Límites de Atterberg e) Humedad óptima en el laboratorio f) Peso volumétrico seco máximo en el lugar g) Humedad del lugar  a) Permeabilidad b) Porosidad efectiva c) Capilaridad
<b>Superficie</b>	
<b>Agregados</b>	a) Susceptibilidad al fenómeno del "D cracking" b) Desprendimientos c) reacción química en agregados

La remoción del exceso de agua de la sección transversal del pavimento reducirá la erosión e incrementará la resistencia de la base y de la subrasante, lo que a su vez, reducirá las deflexiones. Además, el descascaramiento de un pavimento CA y el agrietamiento "D" en un pavimento CCP se puede reducir por medio de un subdrenaje mejorado.



**Rodera en pavimentos CA:** se debe determinar la causa de las roderas hechas por rodadas en un pavimento existente CA antes de diseñar una sobrecarpeta CA. Una sobrecarpeta no puede ser apropiada si están apareciendo severas roderas por rodamiento debido a la inestabilidad en cualquiera de las capas del pavimento existente. Se puede recurrir al fresado para remover las roderas superficiales y en cualquier capa subyacente de asfalto con este mismo problema

**Fresado de una superficie de CA:** la remoción de una porción de una superficie CA existente frecuentemente mejora el comportamiento de una sobrecarpeta CA debido a la remoción del material CA agrietado y endurecido. Se deben quitar las roderas significativas y otras distorsiones importantes de cualquier capa por medio del fresado antes de que se coloque otra sobrecarpeta. Si no se hace esto, se contribuirá significativamente a la aparición de roderas por rodamiento en la sobrecarpeta.

**Reciclado el pavimento existente:** se puede considerar como una opción el reciclaje de una porción de una capa CA existente en el diseño de una sobrecarpeta. Esto se ha convertido en una práctica muy común. También se puede realizar el reciclaje completo de una capa CA (a veces en combinación con la remoción de una capa base deteriorada).

**Sobrecarpetas estructurales versus funcionales:** los procedimientos de diseño de sobrecarpetas mostradas aquí proporcionan un espesor de sobrecarpeta para corregir una deficiencia estructural. Si no existe una deficiencia estructural, se obtendrá un espesor de sobrecarpeta menor que, o igual a cero. Sin embargo, esto no significa que el pavimento no necesite una sobrecarpeta para corregir una deficiencia funcional. Si la deficiencia es principalmente funcional, entonces el espesor de sobrecarpeta debe ser solamente el que sea necesario para remediar el problema funcional. Si el pavimento tiene además una deficiencia estructural, es

necesario un espesor de sobrecarpeta estructural que sea adecuado para soportar el tráfico futuro por el período de diseño.

### *Materiales para la Sobrecarpeta*

Los materiales para la sobrecarpeta deben ser seleccionados y diseñados para que funcionen a las cargas específicas, las condiciones climáticas, y las deficiencias del pavimento subyacente presentes.

**Acotamientos:** al colocar una sobrecarpeta a los carriles de tráfico generalmente se requiere que se de también una sobrecarpeta a los acotamientos para igualar a los niveles de rasante de los carriles de tráfico. Al seleccionar un material de sobrecarpeta y el espesor para el acotamiento, el diseñador debe considerar qué tan deteriorado está el acotamiento existente y la cantidad de tráfico que usará el acotamiento. Por ejemplo, si los camiones tienden a estacionarse en el acotamiento en ciertos puntos, esto se debe considerar en el diseño de la sobrecarpeta de esta parte del camino.

Si un acotamiento existente está en buenas condiciones, cualquier área deteriorada debe ser rehabilitada. Entonces se puede colocar una sobrecarpeta de modo que el nivel de acotamiento esté de acuerdo con los carriles de tráfico. Si un acotamiento existente se encuentra en una condición tan dañada que no pueda ser reconstruido desde el punto de vista económico, se debe quitar y debe ser reemplazado.

**Durabilidad de una losa CCP existente:** la durabilidad de una losa CCP existente influye de manera importante en el comportamiento de sobrecarpetas de CCP adheridos y de CA. Si existe agrietamiento "D" o agregado reactivo, es de esperarse que el deterioro de la losa existente continúe después de colocar la sobrecarpeta. Esta debe diseñarse teniendo en cuenta dicho deterioro progresivo de la losa subyacente (Vespa, Darter et- al, 1990, ver ref. bibliográfica 12).

**Juntas en Sobrecarpetas CCP:** Las sobrecarpetas de concreto ligadas o desligadas requieren juntas que consideren las características (es decir, la rigidez) del pavimento subyacente. Los factores que se deben considerar incluyen el espaciamiento de juntas, profundidad del corte con disco, forma de la caja receptora del sellante, y requerimientos de transferencia de carga.

**Refuerzo de la Sobrecarpeta CCP:** las sobrecarpetas de concreto continuamente reforzado y reforzado en las juntas requieren de una cantidad adecuada de refuerzo para mantener unidas las grietas. Se debe considerar la fricción entre la losa de sobrecarpeta y la losa base en el diseño del refuerzo.

**Capas de adherencia/separadoras en Sobrecarpetas CCP:** se debe considerar completamente la adherencia o separación de las sobrecarpetas de concreto. Se deben construir sobrecarpetas adheridas para asegurar que la sobrecarpeta permanezca adherida a la losa existente. Se deben construir sobrecarpetas no adheridas para asegurar que la capa de separación evite cualquier reflexión de grietas en la sobrecarpeta.

**Nivel de confiabilidad del diseño de la Sobrecarpeta y desviación estándar promedio:** se puede diseñar una sobrecarpeta para diferentes niveles de confiabilidad usando los procedimientos descritos en el método AASHTO para pavimentos nuevos. Esto se logra a través de la determinación de la capacidad estructural (número estructural efectivo o espesor, NEf o Df, respectivamente) requerida para soportar el tráfico por el período de diseño al nivel deseado de confiabilidad.

El nivel de confiabilidad tiene un gran efecto sobre el espesor de la sobrecarpeta. Variando el nivel de confiabilidad usado para determinar SNf o Df entre 50 y 99%, se pueden producir espesores de sobrecarpeta que varían en 6 pulgadas o más (Darter, Ellio, y Hall, 1992, ver ref. bibliográfica 13). Con base en pruebas de

campo, parece que un nivel de confiabilidad de diseño de aproximadamente 95% da un espesor de sobrecarpeta consistente con los recomendados para la mayoría de los proyectos por las agencias de carreteras estatales, cuando se usan las desviaciones estándares totales. Por supuesto, hay muchas situaciones para las cuales es deseable diseñar a un nivel de confiabilidad más alto o más bajo, dependiendo de las consecuencias de una falla en la sobrecarpeta. Puede variar el nivel de confiabilidad que ha de usarse para diferentes clasificaciones funcionales de las carreteras (o volúmenes de tráfico).

El diseñador debe estar consciente de que algunas fuentes de incertidumbre son diferentes para el diseño de sobrecarpetas que para el caso de diseños de pavimentos nuevos. Por lo tanto, las desviaciones estándar totales recomendadas para el diseño de pavimentos nuevos pueden no ser apropiadas para el diseño de sobrecarpetas. El valor apropiado para la desviación estándar total puede variar también por el tipo de sobrecarpeta. Una fuente adicional de la variación es la incertidumbre asociada con el establecimiento de la capacidad estructural efectiva existente (SNef o Def). Sin embargo, algunas fuentes de variación pueden ser más pequeñas para el diseño de sobrecarpetas que para el diseño de pavimento nuevo (ejemplo, estimación del tráfico futuro). Se requiere de investigación adicional para establecer mejor las desviaciones estándar para el diseño de sobrecarpetas. Por ahora, se recomienda usar 0.39 para cualquier tipo de sobrecarpeta de concreto, y 0.49 para cualquier tipo de sobrecarpeta de CA.

***Ensanche del pavimento:*** muchas sobrecarpetas CA se colocan sobre pavimentos CCP en combinación con el ensanche del pavimento (ya sea agregando carriles o ampliando un carril angosto). La tarea de ensanchar los pavimentos requiere de la coordinación entre el diseño de la sección ampliada del pavimento y la sobrecarpeta, no solo para que la superficie sea funcionalmente adecuada y compatible. Muchos proyectos para hacer carriles más amplios han sufrido un

deterioro serio a lo largo de la junta longitudinal debido a un diseño inapropiado. Las recomendaciones claves de diseño son como sigue:

(1) Las "vidas" de diseño tanto de la sobrecarpeta como de la nueva construcción que ha de ampliarse deben ser las mismas para evitar la necesidad de una rehabilitación futura a edades significativamente diferentes.

(2) La sección transversal anchada generalmente debe corresponder lo mejor posible con el pavimento existente o con la sección transversal en tipo de material, espesor, refuerzo, y espaciamiento de juntas. Sin embargo, se puede utilizar un espaciamiento de juntas más corto.

(3) Toda sección de losa CCP para dar ampliación debe amarrarse con varillas corrugadas a la cara de la losa CCP existente. Las varillas de amarre o de sujeción se deben anclar firmemente y deben ser consistentes con los amarres usados en la construcción del pavimento nuevo (por ejemplo, varillas No. 5 de 75 cm de largo, lechadas y espaciadas no más de 80 cm centro a centro).

(4) Se puede colocar un geotextil de alivio para reflexión de grietas a lo largo de la junta longitudinal de ensanche.

(5) La sobrecarpeta generalmente debe tener el mismo espesor sobre la sección ensanchada que en el resto del carril de tráfico.

(6) De ser necesario, se debe colocar un subdrenaje longitudinal.

**Errores potenciales y posibles ajustes en el procedimiento para el diseño del espesor:** los espesores de sobrecarpeta obtenidos usando estos procedimientos deben ser razonables cuando el pavimento tiene una deficiencia estructural. Si el

espesor de la sobrecarpeta no parece ser razonable, se puede deber a una o más de las siguientes causas.

(1) El deterioro del pavimento puede ser causado principalmente por factores no asociados a las cargas. Un espesor de sobrecarpeta calculado en menos de cero o próximo a cero sugiere que el pavimento no requiere de un mejoramiento estructural. Si existe una deficiencia funcional, se puede colocar un espesor de sobrecarpeta tan mínimo como sea factible de construirse y que pueda resolver el problema.

(2) Pueden ser necesarias modificaciones en los datos de entrada para el diseño de la sobrecarpeta para ajustar los procedimientos a las condiciones específicas de la entidad encargada del proyecto. Cada una de estas últimas debe probar los procedimientos de diseño de sobrecarpetas en proyectos reales para investigar la necesidad de modificaciones.

(a) Nivel de confiabilidad en el diseño de una sobrecarpeta,  $R$ . Cada entidad responsable del proyecto debe revisar los niveles de confiabilidad de diseño recomendados para los diseños de sobrecarpetas, puesto que las recomendaciones que algunas veces se dan, están pensadas para aplicarse en los diseños de pavimentos nuevos. Véase en párrafos anteriores sobre la discusión de la confiabilidad en el diseño de una sobrecarpeta.

(b) Desviación estándar total  $S_o$ . Los valores recomendados para el diseño de un pavimento nuevo pueden ser demasiado grandes para el diseño de la sobrecarpeta. Véase en párrafos anteriores lo referente a este tópico.

(c) Espesor efectivo de la losa y factores de ajuste del número estructural,  $NE$ . Existen muchos aspectos relacionados con esto que pueden requerir ajustes por parte de los encargados del proyecto.

(d) Módulo de Resiliencia de diseño de la capa de apoyo y valor K efectivo. Específicamente, se debe usar un módulo de resiliencia que sea consistente con el incorporado en la ecuación de diseño para pavimento flexible.

(e) Otros datos de entrada para el diseño podrían ser erróneos. Los rangos de variación de los valores típicos para los datos de entrada se dan en las hojas de trabajo para el diseño de sobrecarpetas (estas se encontraran al final del presente trabajo, anexo 3).

**Ejemplos de diseños y documentación:** mas adelante se proporcionara un ejemplo de diseño de sobrecarpetas para pavimentos (MÉTODO DE LA PCA). Esto puede proporcionar al diseñador una valiosa comprensión de los resultados obtenidos para proyectos reales. También se mostrara documentación para los conceptos involucrados en los procedimientos de diseño de las sobrecarpetas (ANEXOS en la parte final).

### **II.3. EVALUACION DE PAVIMENTOS PARA EL DISEÑO DE SOBRECARPETAS**

Es importante llevar a cabo una evaluación del pavimento existente para identificar cualesquiera deficiencias funcionales y estructurales, a fin de seleccionar la reparación apropiada para la sobrecarpeta, los tratamientos para la reflexión de grietas, y los diseños de sobrecarpetas para corregir estas deficiencias. Esta sección proporciona una guía en la evaluación del pavimento para el diseño de una sobrecarpeta.

**Diseño de una Sobrecarpeta a lo largo de un proyecto:** los proyectos de rehabilitación de pavimentos involucran tramos de pavimentos que van de algunos cientos de metros hasta varios kilómetros. Existen dos métodos para diseñar el

espesor de una sobrecarpeta para un proyecto, y ambos tienen ventajas y desventajas. El ingeniero diseñador debe seleccionar el método que mejor se ajuste a la situación específica de diseño.

(1) *Método de Sección Uniforme*. El proyecto se divide en secciones de diseño y condiciones relativamente uniformes. Cada sección uniforme se considera independientemente, y los datos de entrada para el diseño de la sobrecarpeta se obtienen de cada sección que representa su condición promedio (ejemplo, espesor promedio, número promedio de grietas transversales por km, módulo de elasticidad promedio). Los datos de entrada promedio para la sección se usan para obtener un espesor único de la sobrecarpeta para el tramo completo de la sección. Se deben usar los datos de entrada promedio en el procedimiento de diseño AASHTO, ya que la confiabilidad de diseño se aplica más tarde para dar el factor de seguridad apropiado.

(2) *Método de Punto por Punto*. Los espesores de sobrecarpetas se determinan para puntos específicos a lo largo de la sección de diseño uniforme (ejemplo, cada 100 m). Todos los datos de entrada requeridos se determinan para cada punto, de modo que se pueda diseñar el espesor de la sobrecarpeta. Los factores que pueden cambiar de un punto a otro incluyen deflexión, espesor y condición; otros datos de entrada usualmente son razonablemente constantes a lo largo del proyecto. Este método aparentemente requiere mucho más trabajo; sin embargo, en realidad, no requiere mucho trabajo adicional en el campo; únicamente más ciclos a través del procedimiento de diseño. Esto se puede hacer eficientemente usando una computadora.

El método de punto por punto produce un espesor requerido para el diseño de la sobrecarpeta para cada punto del análisis a lo largo del proyecto para un nivel dado de confiabilidad. Al seleccionar un espesor para la sección uniforme, se debe tener en cuenta que cada espesor de sobrecarpeta ya se ha incrementado para



tomar en cuenta el nivel de confiabilidad del diseño. La selección de un espesor que sea mayor que el promedio de estos valores estaría diseñado para un valor más alto de confiabilidad. Los espesores de sobrecarpeta de punto a punto pueden ser usados para dividir el proyecto en secciones de diferente espesor del diseño de sobrecarpetas si existe una variación sistemática a lo largo del proyecto, o se puede seleccionar un espesor de diseño para todo el proyecto. Se pueden seleccionar áreas que tengan requerimientos de espesor inusualmente altos para llevar a cabo investigaciones de campo adicionales, y así poder garantizar una reparación extensiva o la reconstrucción.

***Evaluación funcional de un pavimento existente:*** el deterioro funcional se define como cualquier condición que afecte adversamente al usuario de carreteras. Se proporcionan algunas soluciones de sobrecarpeta recomendadas para resolver problemas funcionales.

### **(1) Fricción Superficial e Hidroplano**

*Todo tipo de pavimentos.* Fricción pobre en clima húmedo debido al pulido de la superficie (macrotextura y/o microtextura inadecuados). Se puede usar una sobrecarpeta delgada que sea adecuada para el nivel de tráfico y así remediar este problema.

Ver la tabla siguiente que nos muestra las diferentes causas de roderas, las capas que involucran el daño y la posible solución, todo esto con el fin de recuperar la funcionalidad de la estructura del pavimento. Recordemos que una sobrecarpeta no sirve si están apareciendo severas roderas por rodamiento debido a la inestabilidad en las capas del pavimento existente. Una solución al problema de roderas superficiales es el fresado del pavimento dañado.

Causa de Rodera	Capas(s) Causantes de las Rodera	Solución
Inadecuado espesor total del pavimento	Terreno de apoyo/capa subrasante	Sobrecarpeta gruesa
Capa granular inestable debido a saturación	Base o subbase	Quitar capa inestable o sobrecarpeta gruesa
Capa inestable debido a baja resistencia al cortante	Base	Quitar capa inestable sobrecarpeta gruesa
Mezcla CA inestable (incluyendo desprendimiento)	Superficie	Remover capa inestable
Compactación por tráfico	Carpeta, base, subbase	Fresado de la superficie y nivelación de la sobrecarpeta
Desgaste por llantas con dientes	Carpeta de rodamiento	Fresado de la superficie y nivelación de la sobrecarpeta

*Pavimentos con carpeta de CA.* Fricción pobre debido a sangrado de la superficie. Podría requerirse el fresado de la superficie de CA para quitar el material que está sangrando, a fin de evitar mayor sangrado a través de la sobrecarpeta, y para evitar roderas a la inestabilidad existente. Después del fresado, puede usarse una capa friccionante de estructura abierta o un espesor de sobrecarpeta que sea adecuado para el nivel de tráfico, a fin de remediar este problema.

*Pavimento con superficie CA.* Hidroplaneo y chapaleo debido a las roderas. Es importante determinar cuál o cuales capas están sufriendo daños por roderas y tomar la acción correctiva apropiada.

## (2) Rugosidad de la Superficie

*Todo tipo de pavimentos.* Distorsión de gran longitud de onda de la superficie, incluyendo levantamientos y expansiones. Una sobrecarpeta de nivelación o

compensación con un espesor variable (espesor adecuado en las crestas) usualmente corrige este problema.

*Pavimento con carpeta CA.* La rugosidad provocada por grietas transversales deterioradas, grietas longitudinales, y baches. Una sobrecarpeta convencional corregirá la aspereza sólo temporalmente, hasta que las grietas se reflejen a través de la sobrecarpeta. La reparación a toda profundidad de las áreas deterioradas y una sobrecarpeta CA más gruesa que incorpore un tratamiento para el control de reflexión de grietas puede remediar este problema.

*Pavimentos con carpeta de CA.* Aspereza por desmoronamiento en los bordes de la carpeta. Se podría usar una sobrecarpeta de CA delgada para remediar este problema. Se podría requerir el fresado de la superficie existente para quitar el material deteriorado a fin de evitar la pérdida de adherencia. Si el desmoronamiento en los bordes se debe a desprendimientos, se debe quitar la capa completa, ya que el descascamiento continuará y puede acelerarse debajo de una sobrecarpeta.

*Pavimento con superficie CCP.* Aspereza por astillamiento (incluyendo baches) y los desperfectos de juntas transversales, longitudinales y grietas. El astillamiento se puede reparar por medio de reparaciones de profundidad completa o parcial donde se usen materiales rígidos. Los desperfectos se pueden aliviar por medio de una sobrecarpeta de espesor adecuado; no obstante, los desperfectos indican una pobre transferencia de carga y un subdrenaje deficiente. La transferencia de carga inadecuada provocará astillamiento de grietas ya reflejadas en una sobrecarpeta de CA. Puede ser necesario el mejoramiento del subdrenaje.

Algunas dependencias aplican lo que se ha llamado "sobrecarpetas preventivas" con la intención de retrasar la velocidad de deterioro. Este tipo de sobrecarpeta incluye CA o de concreto hidráulico delgado y varios tratamientos de superficie. Esto se puede aplicar a pavimentos que no presentan una deficiencia funcional o

estructural inmediata, pero cuya condición podría deteriorarse rápidamente en el futuro. Los diseños de sobrecarpetas (incluyendo espesor, reparaciones previas y tratamientos para grietas por deflexión) se deben dirigir a las causas de los problemas funcionales para evitar su reaparición. Esto sólo puede lograrse a través de procedimientos sólidos de ingeniería y requiere de experiencia para resolver los problemas específicos involucrados. El diseño de la sobrecarpeta requerido para corregir problemas funcionales se debe coordinar con el requerido para corregir cualquier deficiencia estructural.

**Evaluación estructural del pavimento existente:** el deterioro estructural se define como cualquier condición que reduce la capacidad del pavimento para soportar cargas. Los procedimientos de diseño de sobrecarpetas presentados aquí se basan en el concepto de que el tiempo y las cargas de tráfico reducen la capacidad del pavimento para soportar cargas durante un período de diseño futuro.

La Figura 5.1, ilustra los conceptos generales de deficiencia estructural y de capacidad estructural efectiva. La capacidad estructural de un pavimento cuando es nuevo se denota como  $SC_o$ . Para pavimentos flexibles, la capacidad estructural es el número estructural SN (o N.E). Para pavimento rígido, la capacidad estructural es el espesor de la losa  $D$ . Para pavimentos compuestos existentes (CA/CCP), la capacidad estructural se expresa como un espesor de losa equivalente, ver fig. 5.1. La capacidad estructural declina con el tiempo y con el tráfico, y para cuando se realiza una evaluación para el diseño de la sobrecarpeta, la capacidad estructural ha disminuido a  $CE_{ef}$ . La capacidad estructural efectiva para cada tipo de pavimento se expresa como sigue:

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>* Pavimentos flexible. NEf, (Número Estructural efectivo)</li><li>* Pavimentos rígidos y compuestos: Def</li></ul> |
|--|

ESQUEMA DE LA PERDIDA DE LA CAP. ESTRUCTURAL  
CON EL TIEMPO, Y POR ACCION DEL TRAFICO

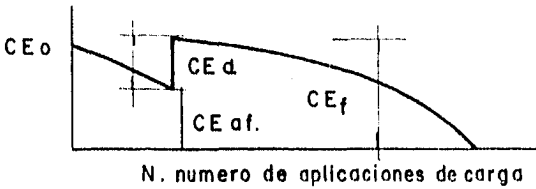
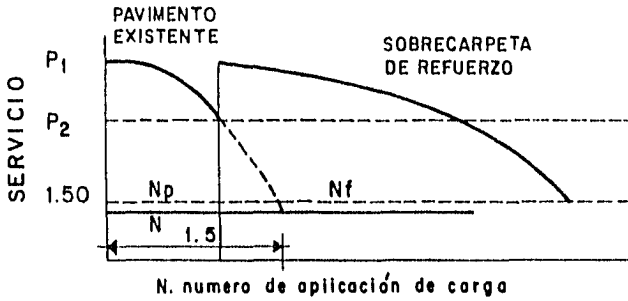


FIG. 5.1 PERDIDA DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL CON EL TIEMPO DEBIDO AL TRAFICO.

Si se requiere una capacidad estructural CEF para el tráfico futuro esperado durante el periodo de diseño de la sobrecarpeta, se debe agregar una sobrecarpeta que tenga una capacidad estructural de SCo (es decir, SCf - SCEff) a la estructura existente. Este método para el diseño de una sobrecarpeta comúnmente se llama método de *deficiencia estructural*. Obviamente, la capacidad estructural de la sobrecarpeta requerida se puede corregir únicamente si la evaluación de la capacidad existente es correcta. El objetivo principal de la evaluación estructural es determinar la capacidad estructural efectiva.

La velocidad de deterioro en la gran mayoría de los casos no es lineal, así, no existe relación directa entre el número de repeticiones, N, y la C.E. o el índice de servicio. Cada tramo será diferente no existe tampoco un método único para dictaminar la capacidad estructural efectiva. Se debe considerar los materiales del pavimento actual, y se deberá prever su comportamiento a futuro. Existen tres maneras básicas de evaluar la C.E.ef.

1. Capacidad estructural, C.E., basada en monitoreo del estado actual (inspección ocular): se basa en la inspección ocular. Incluye un levantamiento físico de las condiciones actuales de: daños, drenaje, rugosidad, etc.
2. En base al monitoreo con pruebas no destructivas, PND. se busca medir directamente a lo largo del proyecto la rigidez de la superficie de apoyo y de las capas que conforman el pavimento.
3. Basado en el daño por fatiga inducido por tráfico: se fundamenta en el conocimiento del tráfico que se tenga hasta la fecha para el diagnóstico de la fatiga en el momento presente. Así, puede asignársele una vida remanente al pavimento. Este método funciona mejor cuando no son tan visibles los deterioros en el pavimento.

## **(A) Basado en monitoreo físico y ensayo de materiales**

Inspección ocular: una parte esencial de toda evaluación es un recorrido técnico sobre el tramo problema. Esto, junto con el estudio de los planos y documentos de proyecto y construcción, junto con los programas de mantenimiento, si los hay, permitirá dar una idea más aproximada sobre el status del camino. Se buscará identificar, clasificar y ordenar el tipo, frecuencia y causas probables de los daños. Se enlistan a continuación las causas más comunes en los diferentes tipos de pavimentos. Es importante señalar que algunos de estos problemas no tienen su origen en las cargas impuestas por tráfico, sino a otros factores. En todo caso, tales problemas se incrementan por las cargas.

### **A.1 Pavimentos asfálticos:**

Fallas por fatiga, o del tipo de piel de cocodrilo. Se requiere bacheo o sobrecarpetas de refuerzo para evitar su recurrencia.

Roderos por la ruta de tránsito de las llantas. Agrietamiento transversal y longitudinal que degeneran en baches. Áreas de falla puntuales en proceso de desintegración y causan el colapso de las carpetas de rodamiento. Por ejemplo el CCP con fuertes desprendimientos de agregados, o bloques de concreto desprendidos, problemas de durabilidad en el concreto o "D cracking", problemas en capas subbase y/o de subrasante. Cuando la zona dañada no es de gran extensión se podrán ejecutar reconstrucciones a sección completa. En caso contrario, será menester una sobrecarpeta para restablecer la capacidad estructural en las zonas más débiles.

### **A.2 Pavimentos de concreto:**

*Agrietamiento transversal y longitudinal (por fracturas y por descascaramiento).* Normalmente, se deberán remediar previo a la colocación de la sobrecarpeta, si se quiere evita la reflexión de grietas a esta última. Esta

reparación se deberá hacer de preferencia a sección completa. Desde luego, cuando se utilicen sobrecarpetas desligadas se podrá prescindir de preparaciones costosas.

*Rotura de esquinas en agrietamientos y juntas transversales.* Se deben reparar en toda su sección, y en todo lo ancho del carril. Esto no se requiere hacer en el caso de sobrecarpetas de PCCP Y R, PCSP y PCCP.

Fallas locales en losas, con desintegraciones causantes de despostillamientos y baches (por ejemplo las causadas por alternancias de congelamiento y deshielo en ciertos agregados o "D cracking", reacción álcali-agregado, y otros problemas de durabilidad en el concreto). Algunos espesores de sobrecarpeta o reparaciones previas pueden ser incluso prohibitivas.

Fallas de placas, principalmente en los del tipo PCCR. Se requiere reparación a sección completa.

La colocación de una sobrecarpeta reducirá sensiblemente la ocurrencia de este problema.

**Monitoreo del subdrenaje:** junto al levantamiento físico de daños, se deberán monitorear las características de drenaje, para sí detectar problemas relacionados con agua, y tomar las medidas correctivas una vez que se coloque la sobrecarpeta.

**Extracción de núcleos y ensayo de materiales:** se deben obtener núcleos de exploración para investigar las causas de los deterioros. La localización de esta exploración será función de lo observado en el monitoreo y de las Pruebas No Destructivas, PND.

Siempre será recomendable obtener los núcleos, ya que a través de estos se detectan espesores e información igualmente importantes. Los programas de ensayos en estos corazones determinarán qué también se comportan los materiales In Situ en comparación con los de proyecto, o con los que se utilizaría en un



pavimento nuevo. Una prueba típica en núcleos recuperados es la de resistencia, y de distribución granulométrica, su degradación, dureza, etc. en particular en carpetas asfálticas y de CCP.

### **(B) Capacidad estructural basada en pruebas de deflexión no destructivas**

Mediante las pruebas no destructivas, PND, se podrá obtener, a bajo costo, propiedades importantes de las capas que forman el pavimento.

Dependiendo del tipo de pavimento, se podrán obtener diferentes ventajas de las PND. En el caso de pavimentos rígidos, esta evaluación arroja: 1) información sobre transferencias de carga en juntas y agrietamientos, 2) el valor efectivo del módulo de reacción,  $k_{ef}$ , 3) estimación del módulo de elasticidad del concreto, y con ello el de su resistencia. Por otro lado, en el caso de pavimentos flexibles, estas pruebas nos sirven para conocer: 1) módulo de resiliencia de los suelos de apoyo, y 2) el valor del Número Estructural efectivo, N.E. ef.

Además, mediante PND es posible diferenciar tramos de igual o análoga condición estructural, ayudando así al diseño del camino por reestructurar. También podemos estimar el módulo de resiliencia en cada una de las capas del pavimento.

### **(C) Capacidad estructural basada en la vida remanente**

El concepto de vida remanente se ilustra en la Fig. 5.1 (anterior). Esencialmente lo que esta ilustración indica es el daño por fatiga que el pavimento sufre por acción del tráfico, reduciendo su capacidad para absorber más de este último para llegar hasta la falla. Para un tiempo dado, quizás no se observen daños apreciables, sin embargo, su capacidad estructural ha disminuido a un valor tal que su valor es menor respecto a la capacidad estructural futura, esto es, el número de ejes que el pavimento puede tomar en el futuro, hasta el final de su vida.

Para determinar la vida remanente, el proyectista debe determinar el número de ejes que el pavimento ha soportado hasta la fecha, y estimar el número de cargas que podrá tomar hasta su "falla" ( el valor del índice de servicio será de 1.5, utilizado en el tramo de prueba AASHTO). Ambas cantidades de tráfico se deben expresar en términos de ESAL's de 18 kips (8.2 ton). La diferencia entre ambas cantidades, expresada como porcentaje del tráfico total a la "falla", se define como *Vida Remanente*:

$$V.R. = 100 [1 - N_p/N_{1.5}]$$

V.R. = vida remanente

$N_p$  = tráfico total a la fecha. ESAL's de 18 kips

$N_{1.5}$  = tráfico total hasta la "falla", ESAL's de 18 kips

Una vez conocido el valor de V.R., se podrá determinar, mediante la Fig. 2 anexo 2, el factor de condición, el cual se define como:

$$CF = SC_n/SC_o$$

Donde:

$SC_n$  = capacidad estructural del pavimento después de  $N_p$  ESAL's

$SC_o$  = capacidad estructural original

De esta manera, la capacidad estructural actual es el producto de la C.E. original y el factor de condición CF. Para un pavimento dado, se puede estimar el Número Estructural, N.E., original a partir de sus espesores de las capas que lo componen, y los coeficientes estructurales de cada uno de ellos (AASHTO 1995). El valor del N.E. efectivo o N. E. ef. será entonces:

$$N.E. \text{ ef.} = CF * N.E. o$$

Esto constituye un valor límite mínimo, sin considerar cualquier reparación previa a la sobrecarpeta. Para la determinación aproximada de la V.R., el valor de N1.5 puede estimarse mediante la ecuación para pavimentos nuevos de la AASHTO.

Si se emplea este criterio, se deberá emplear un índice de servicio terminal o de falla de 1.5, con una confiabilidad del 50%, para ser consistente con la prueba experimental de la AASHTO.

En caso de que el tráfico presente  $N_p$  sea mayor al de falla, N1.5, lo cual resultaría en una V.R. negativa, se recomienda utilizar el valor C.F. mínimo de 0.50, o de plano no utilizar el concepto de V.R.

Las fuentes de error en este enfoque para la determinación de N.E. ef y Def son:

La capacidad de predicción que pudiese tener la ecuación de la AASHTO producto del tramo de prueba.

El comportamiento tan diferente que se observa incluso en tramos de igual diseño.

Estimación de los ESAL's pasados.

Esta metodología, V.R., no toma en cuenta la ejecución o los trabajos previos que se pudiesen realizar antes de la colocación de la sobrecarpeta de refuerzo. En los casos de pavimentos muy deteriorados, los valores de NEef y Def pueden resultar mediante este método muy bajos, en comparación con otras metodologías que toman en cuenta reparaciones previas a la aplicación de sobrecarpetas. Así, el método de V.R. es aplicable a pavimentos con daños visibles.

Los resultados con este enfoque pueden resultar engañosos. Esto se ilustra en dos ejemplos: 1) en un pavimento dado puede existir poca vida remanente, aún si los daños por cargas de tráfico no sean tan evidentes. Mientras daños por fatiga pueden presentarse sin agrietamiento aparente, presentar mucho daño, seguramente estaría evidenciado por un agrietamiento pronunciado. Si existe poco agrietamiento debido a

cargas de tráfico y en niveles bajos de severidad, el pavimento tiene una V.R. alta, sin importar lo que sugiera el cálculo de la V.R. basado en tráfico. 2) La V.R. puede resultar extremadamente alta aunque existan evidencias de daños muy severos producidos por el tránsito vehicular. En este caso el pavimento realmente tiene una V.R. baja.

En cualquier punto intermedio de estas dos condiciones extremas, la determinación de la V.R. basándose exclusivamente en el tráfico pasado no nos permitirá conocer los daños por fatiga. La única opción será deducirlo por medio de observaciones.

El enfoque de V.R. para determinar la capacidad estructural no es aplicable directamente, sin modificaciones, a pavimentos que ya han sido reforzados con sobrecarpetas.

**Modulo de Resiliencia  $M_R$  y su Determinación para Diseño:** el módulo de resiliencia,  $M_R$ , se emplea para caracterizar a las capas de apoyo del pavimento-terreno natural y capas subrasantes-. Este modulo es una medida de las propiedades elásticas de los suelos, considerando también sus propiedades o respuestas no lineales. Este parámetro se puede utilizar directamente en el diseño de pavimentos rígidos, no así en los del tipo, en donde se tiene que transformar a módulos de reacción - valor de "k", en  $\text{kg/cm}^2/\text{cm}$  -. Este último valor, de preferencia, podrá ser obtenido directamente de mediciones de campo. La forma de obtención en laboratorio de  $M_R$  se describe en el método de prueba de la AASHTO T 274.

Dado que no todos los laboratorios cuentan con este equipo, se han creado correlaciones más o menos confiables, respecto a los VRS, valor R, o índices de suelos. Sin embargo, de preferencia se deberán hacer determinaciones directas en laboratorio. En caso de que se trabajen con correlaciones, estas se obtendrán para los materiales naturales y equipos disponibles de cada región y dependencia.

Las guías de diseño de la AASHTO, (1993) proponen la siguiente correlación:

$$M_R = 1500 \text{ VRS}$$

Donde:

VRS = Valor Relativo de Soporte de acuerdo al Cuerpo de Ingenieros de E.U.A.

Esta correlación se considera aceptable para suelos finos saturados, de  $VRS < 10$

El valor del módulo elástico en condiciones dinámicas (o de resiliencia) de los suelos se ve afectado por los procedimientos constructivos y en particular por la compactación lograda en el sitio. La siguiente es una lista de requerimientos adicionales al momento de preparar una especificación:

Cuando no se cumplan en campo los requisitos básicos de grados de compactación alcanzados, vía pesos secos volumétricos secos máximos, PVSM, entonces se deberán hacer ajustes al MR.

Cuando se tengan suelos muy resilientes o expansivos en un tramo dado, estos deberán cubrirse, si es posible, con una cubierta de suelos seleccionados de banco, para mitigar el efecto nocivo de los mismos. En ocasiones, los del tipo expansivo pueden mejorarse si se compactan a humedades del orden del 1 al 2 % por arriba de la óptima. En otras puede resultar más económico tratar estos suelos de alta resiliencia y/o expansión mediante cal y cemento, o aislar mediante geomembranas buena parte del espesor de estos suelos, a fin de aminorar posibles cambios en la humedad.

Se deben evitar todos los suelos de tipo orgánico. En estos casos, si el depósito es muy superficial, deberá removerse y substituirse por suelos de banco. En ocasiones no tan profundos, que deberán ser preconsolidados con terraplenes de carga, y aun empleando drenes verticales para acelerar el proceso de consolidación.

En casos en que existan variaciones importantes en el tipo de suelos de apoyo, es conveniente especificar y colocar material producto de banco, o colocar una capa mejorada o estabilizada con cemento portland o cal; sobreexcavar y colocar rellenos de material seleccionado tanto en cortes como en terraplenes. Cuando existan variaciones fuertes en el terreno de apoyo, se justifican incluso ajustes en espesores de las capas de subbase.

Aunque se supone que en un proyecto nuevo se hicieron provisiones de drenaje y subdrenaje, es necesario verificar que el sistema de desalojo de agua funcione lo mejor posible, sobre todo en las zonas en donde los cambios de humedad sean importantes en algunos tipos de suelos, y si esto se conjuga con condiciones topográficas adversas, como son: resumideros sin salida, planicies sujetas a inundación, todo en presencia de suelos altamente plásticos, susceptibles a cambios volumétricos o a pérdida de la resistencia, expansivos, etc.

Quizás incluso convenga colocar capas de material drenante para la colección de agua, y tubos drenantes para colectar y desalojar fuera de la estructura del pavimento el agua. Algunas obras complementarias tales como: zanjas, cunetas, y diques de acopio de agua requieren superficies drenantes especiales.

Algunos suelos extremos, como arcillas altamente plásticas, y suelos granulares libres de finos en estado seco no permiten su acomodo y compactación adecuados, debido a su movilidad. En estos casos se sugiere: 1) el empleo de mezclas, por ejemplo con suelos granulares en el primero de los casos; 2) adición de aditivos a los suelos granulares, para darle cierta cohesión; 3) la adición de aditivos acelerantes del secado en materiales arcillosos plásticos, para ganancia temprana de resistencias al esfuerzo cortante; 4) en ocasiones se debe de colocar una capa de material seleccionado, a manera de "cama de trabajo" sobre los suelos difíciles para facilitar las maniobras de equipo.

Los valores del módulo de resiliencia,  $MR$ , se asocia a un material que está compactado. Sin embargo, si los suelos son débiles, se deberán considerar condiciones de cimentación sin compactar.

Obtención; el módulo de resiliencia,  $MR$ , puede obtenerse a través de: 1) ensayos de laboratorio, 2) determinación indirecta a través de PND, 3) correlación con otros parámetros (valor  $R$ ,  $VRS$ , etc.), 4) diseño original y datos de construcción. Independientemente del método de estimación de  $MR$ , el valor deberá ser congruente con los empleados para la formulación correspondiente a la capa de apoyo que caracterizó al tramo de prueba AASHTO. Esto es más válido para el caso de estimarlo a

partir de las PND, en donde el valor de este módulo resulta muy alto y no consistente con el empleado en la ecuación resultante de diseño. En estos casos este valor deberá ser ajustado, pues estaría del lado de la inseguridad, y el diseño sería incorrecto.

El valor de MR a partir de PND se calcula como:

$$M_R = 0.24 P / d_r r$$

donde:

MR = módulo de resiliencia del terreno de apoyo, en kg/cm<sup>2</sup>

d<sub>r</sub> = deflexiones medidas a una distancia radial r, cm

r = distancia radial a la cual la deflexión se mide, cm

La ecuación se fundamenta en que las mediciones más retiradas del lugar de la carga en realidad miden las deflexiones que sufre la capa de apoyo o subrasante del radio del área cargada. Para hacer este enfoque práctico, se utiliza la medición lo más cercano posible a la carga, pero lo suficientemente retirada de suerte tal que la carga ya no representa influencia en los geófonos perimetrales.

El valor así obtenido de MR deberá afectarse por un factor de ajuste C, para hacer su valor consistente con la capa subrasante empleada en la formulación de AASHTO. Se recomienda utilizar un valor de C no mayor de 0.33 para ajustar el valor determinado indirectamente de MR. Así:

$$M_R = C [ 0.24 P / d_r r ]$$

Lo anterior toma en cuenta el hecho de que los valores indirectamente a través de PND siempre han resultado, según varios estudios, hasta tres veces el valor medido en el laboratorio. Este tipo de consideraciones tiene mucha incidencia en el cálculo de sobrecarpetas flexibles.

## CAPITULO III

### DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SOBRECARPETAS



### **III.- DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SOBRECARPETAS**

Los diferentes tipos de Sobrecarpetas que existen se distinguen por la capacidad de adhesión que tienen con respecto al pavimento existente. Existen las de adhesión confiable que aquí les llamaremos "Sobrecarpetas ligadas" , estas permiten el contacto íntimo entre el pavimento existente y la Sobrecarpeta, mejorando la capacidad estructural y funcional de la estructura del pavimento. Hay otras donde no existe adhesión ni contacto íntimo, a estas les llamamos "Sobrecarpetas no ligadas" , pues entre estas habrá de colocarse una capa de separación que tiene la función de capa niveladora; este tipo de Sobrecarpetas son más rentables cuando el pavimento existente está severamente deteriorado. Por último, tenemos aquellas que proporcionan una adhesión parcial, pues dependen de la cantidad de liga entre las dos carpetas (Whitotopping); estas son una alternativa viable de rehabilitación para pavimentos de concreto asfáltico en prácticamente todas las condiciones. A continuación las describiremos con mayor detalle.

#### **III.1. SOBRECARPETAS DE CONCRETO LIGADAS A PCSJ, PCCP, PCCPyR, Y PCCR**

Se han colocado sobrecarpetas de concreto ligadas sobre pavimentos de concreto simple con juntas (PCCP), reforzado con juntas (PCCPYR) y continuamente reforzado(PCCR), para mejorar la capacidad estructural, así como también su condición funcional. Una sobrecarpeta de concreto ligada consiste de las siguientes actividades:

- (1) Reparación de áreas deterioradas y mejoras en el subdrenaje (si fuera necesario)
- (2) Ensanche de la construcción (si fuera necesario)
- (3) Reparación de la superficie existente para asegurar una adherencia confiable
- (4) Colocación de la sobrecarpeta de concreto
- (5) Aserrado y sellado de las juntas.

**Viabilidad:** una sobrecarpeta ligada a un tipo de pavimento (PCSJ, PCCP, PCCPyR, Y PCCR) es una alternativa viable de rehabilitación para pavimentos de cemento portland (CP), excepto cuando las condiciones del pavimento existente exijan una remoción sustancial o su reemplazamiento, o cuando existan problemas de durabilidad. Las condiciones bajo las cuales no sería viable una sobrecarpeta de PCP ligada incluyen:

- (1) El grado de deterioro por agrietamiento de la losa y del astillamiento de las juntas es tan grande que es indispensable una sustancial remoción y reemplazamiento de la superficie existente.
- (2) Ha ocurrido un deterioro significativo de la losa PCP debido a problemas de durabilidad (ejem. agrietamiento "D" o agregados Reactivos). Esto afectará el comportamiento de las sobrecarpetas.
- (3) El gálibo de los puentes es inadecuado para el espesor requerido de la sobrecarpeta, (esto usualmente no es un problema, ya que las sobrecarpetas ligadas normalmente son bastante delgadas).

Si la duración de la construcción tiene una importancia crítica, las sobrecarpetas pueden utilizar mezclas de CP (Cemento Portland) de alta resistencia temprana. Se han abierto a la vialidad las sobrecarpetas de PCP (Pavimento de Cemento Portland) en un período de 6 a 24 horas después de su colocación usando estas mezclas.

**Reparaciones previas:** se deben reparar los siguientes tipos de daños antes de la colocación de la sobrecarpeta de CP (Cemento Portland) ligada. Las reparaciones a toda la sección o profundidad y los reemplazamientos de losas en PCSJ (Pavimentos de Concreto Sin Pasajuntas), PCCP y PCCPyR deben ser de PCP con pasajuntas o amarres para proporcionar transferencia de carga a través de las juntas de reparación.

Tipo de Daño:

Tipo de problema	Tipo de reparación
Grietas activas	Reparación a toda profundidad o reemplazo de la losa
Baches	Reparación a toda profundidad
Juntas astilladas	Reparación parcial a toda profundidad
Remiendos deteriorados	Reparación a toda profundidad
Bombeo/fallas	Drenajes laterales
Asentamientos/levant.	Levantamiento de la losa por inyección de todo y cemento, o reconstrucción del área

Las reparaciones a toda profundidad en PCCR deben ser de concreto de CP y deben estar continuamente reforzadas con acero que esté amarrado o soldado al acero de refuerzo en la losa existente, a fin de proporcionar transferencia de carga a través de las juntas y continuidad de la losa.

Las reparaciones de CA a toda profundidad no deben someterse a esfuerzos de trabajo antes de la colocación de una sobrecarpeta PCP ligada, además todos los bacheos CA existentes se deben quitar y deben ser reemplazados con PCP.

Hay que instalar drenajes laterales, procurar el mantenimiento de drenajes existentes, u otras mejoras en el subdrenaje, antes de colocar las sobrecarpetas, cuando una evaluación del subdrenaje indique la necesidad de realizar tales mejoras.

Se deben hacer juntas de alivio de presión únicamente en estructuras fijas y no a intervalos regulares a lo largo del pavimento. La única excepción de esto es cuando un agregado reactivo ha causado expansión de la losa. En rutas de tráfico intenso, las juntas de expansión deben ser del tipo de trabajo pesado con pasajuntas. Si las juntas contienen incompresibles significativos, se deben limpiar y sellar antes de la colocación de la sobrecarpeta.

**Control de reflexión de grietas:** cualesquiera grietas en formación (astilladas) en losas (PCSP, PCCP, PCCPyR, y PCCR existente) se pueden reflejar a través de la sobrecarpeta de concreto ligada en el término de un año. Las grietas por reflexión se pueden controlar en las sobrecarpetas ligadas por medio de reparaciones a toda profundidad de las grietas en formación en el pavimento existente, y para PCSP, PCCP, PCCPyR, por medio de aserrado y sellado de juntas a través de la sobrecarpeta directamente sobre las juntas de reparación. Las grietas relativamente cerradas que no estén activas o trabajando no necesitan ser reparadas, ya que no todas se reflejarán a través de la sobrecarpeta, y aquellas que sí se reflejen, usualmente permanecerán apretadas. Las grietas cerradas en PCCR tardarán varios años para que se reflejen a través de la sobrecarpeta, y aún entonces permanecerán apretadas.

**Subdrenaje:** véase la sección II.2 sobre este tópico, en párrafos de este mismo trabajo, para obtener pautas generales .

**Diseño del espesor:** si se coloca la sobrecarpeta para algún propósito funcional, como puede ser rugosidad o fricción, se debe colocar una sobrecarpeta de espesor mínimo que resuelva el problema funcional. Si las sobrecarpetas se colocan con el propósito de lograr un mejoramiento estructural, el espesor requerido de la sobrecarpeta es una función de la capacidad estructural del pavimento existente. El espesor requerido de la sobrecarpeta es una función de la capacidad estructural requerida para hacer frente a las demandas del tráfico futuro y a la capacidad estructural del pavimento existente. El espesor requerido de la sobrecarpeta para incrementar la capacidad estructural para soportar el tráfico futuro se determina por medio de la siguiente ecuación.

$$D_{ol} = D_f - D_{ef}$$

en donde:

$D_{ol}$  = espesor requerido de la sobrecarpeta PCP ligada, pulgadas

$D_f$  = espesor de la losa para soportar el tráfico futuro, pulgadas

$Def$  = espesor efectivo de la losa existente, pulgadas

Se han construido exitosamente sobrecarpetas de concreto ligadas tan delgadas de hasta 5 cm, y tan gruesas de hasta 15 cm (6 pulgadas) o más. Lo más típico ha sido de 7.4 a 10 cm (3 a 4 pulgadas) para la mayoría de las sobrecarpetas para carreteras. Si la sobrecarpeta ligada se coloca únicamente para un propósito funcional, como por ej. rugosidad o fricción, debe ser adecuado un espesor de 7.5 cm (3").

El espesor requerido de la sobrecarpeta se puede determinar a través de los siguientes pasos de diseño. Estos pasos proporcionan un amplio método de diseño que recomienda la prueba del pavimento para obtener datos válidos de diseño. Si no fuera posible realizar estas pruebas, se puede desarrollar un diseño aproximado de la sobrecarpeta con base en los daños visibles observados, saltándose los Pasos 4 y 5 y estimando otros datos de entrada.

El diseño de la sobrecarpeta se puede hacer para una sección uniforme o con base en el método de punto por punto, tal como se describe en la sección II.3 de los párrafos anteriores.

#### **Paso 1: Diseño del pavimento existente (Condiciones y requerimientos)**

- (1) Espesor del pavimento existente
  
- (2) Tipo de transferencia de carga (dispositivos mecánicos, entrelazado de agregado, PCCR)
  
- (3) Tipo de acotamiento (ligado al cuerpo principal, de concreto, otras)

#### **Paso 2: Análisis de tráfico**

- (1) ESAL's de 18 kip pasados acumulativos en el carril de diseño ( $N_p$ ) para usarse en el método de la vida restante para la determinación de  $Def$  únicamente

(2) ESAL's de 18 kip futuros pronosticados en el carril de diseño (Nf)

### **Paso 3: Levantamiento de las condiciones Físicas**

Los siguientes daños se miden durante los levantamientos físicos de las condiciones para PCSP, PCCP y PCCR. Se puede realizar el muestreo a largo del proyecto para estimar estas cantidades en los carriles de tráfico más intenso. Para analizar y estudiar los tipos de daño y las severidades existe información especializada que abunda mas sobre estos tópicos. Deteriorado significa severidad mediana o más alta.

#### **PCSP, PCCP/PCCPyR**

- (1) Número de juntas transversales deterioradas por milla
- (2) Número de grietas transversales deterioradas por milla
- (3) Número de juntas de expansión existentes, juntas excepcionalmente anchas (> 2.5 cm o 1 pulg.) o reconstrucciones de CA a toda profundidad.
- (4) Presencia y severidad general de problemas de durabilidad de PCP
  - (a) Agrietamiento "D": baja severidad (únicamente grietas), severidad mediana (algo de astillamiento), alta severidad (astillamiento severo)
  - (b) Agrietamiento por agregado reactivo: Severidad baja, mediana y alta.
- (5) Evidencia de fallas, bombeo de finos, o agua en las juntas, grietas, o en el borde del pavimento

#### **PCCR**

- (1) Número de baches por milla
- (2) Número de grietas transversales deterioradas por milla
- (3) Número de juntas de existentes, juntas excepcionalmente anchas (> 2.5 cm o 1 pulg) o bacheos de concreto hidráulico a toda profundidad.
- (4) Número re reparaciones existentes y nuevas antes de la sobrecarpeta, por milla

- (5) Presencia y severidad general de problemas de durabilidad en PCP (NOTA: el astillamiento superficial de grietas cerradas en donde el PCCR subyacente es fuerte, no se debe considerar como un problema de durabilidad)
  - (a) Agrietamiento "D": baja severidad (grietas únicamente), severidad media (algo de astillamiento), severidad alta (astillamiento severo)
  - (b) Agrietamiento por agregado reactivo: Severidad baja, mediana y alta
- (6) Evidencia de bombeo de finos o agua

**Paso 4: Pruebas de deflexión** (Altamente recomendable)

Mida las configuraciones de deflexión de la losa en la rodada exterior a lo largo del proyecto a un intervalo suficiente para valorar adecuadamente las condiciones. Los intervalos típicos son de 30 -300 m. Mida las deflexiones con sensores localizados a 0, 30, 60 y 90 cm desde el centro de la carga. Se recomienda un aparato para medir la deflexión por cargas pesadas (ejem. Deflectómetro de impulsos por Caída) y una magnitud de carga de 4.2 ton (9,000 libras). En ASTM D 4694 y D 4695 se proporcionan pautas adicionales sobre las pruebas de deflexión.

Para cada losa probada, vuelva a calcular el valor efectivo y el módulo de elasticidad de la losa, usando las Figuras 10 y 11 del anexo 2, o un procedimiento de verificación. El Área de cada configuración de deflexiones se calcula como sigue:

$$\text{ÁREA} = 6 \times [ 1 + 2 (d30/d_0) + 2 (d60/d_0) + (d90/d_0) ]$$

en donde:

$d_0$  = deflexión en el centro de la placa de carga, cm

$d_i$  = deflexiones a 30, 60 y 90 cm desde el centro de la placa, cm

El **ÁREA** variará típicamente de 29 a 32 para concreto sano.

(1) *Valor k dinámico efectivo*. Recorra a la Figura 10 del anexo 2 con  $d_o$  y el  $\bar{A}REA$  para determinar el valor  $k$  dinámico efectivo debajo de cada losa para un radio de carga circular de 5.9 pulgadas y una magnitud de 9,000 libras. Nótese que para cargas que están entre 2,000 libras más o menos, las deflexiones se pueden escalar linealmente a una deflexión de 9,000 libras

Si se está diseñando un espesor único de sobrecarpetas para una sección uniforme, calcule el valor  $k$  dinámico efectivo promedio de las losas ensayadas en la sección uniforme

(2) *Valor k estático efectivo*. El valor  $k$  efectivo puede requerir un ajuste para tomar en cuenta los efectos por cambios de estación usando el método presentado en la guía de diseño de la AASHTO, 1993. Sin embargo, el valor  $k$  puede cambiar substancialmente, y tener únicamente un efecto muy pequeño en el espesor de la sobrecarpeta

(3) *Módulo elástico de una losa PCP (E)*. Recorra a la fig. 11 del anexo 2, con  $\bar{A}REA$ , continúe con las curvas del valor  $k$  dinámico efectivo, y determine un valor para  $ED^3$ , en donde  $D$  es el espesor de la losa. Resuelva para  $E$  conociendo el espesor de la losa,  $D$ . Los valores típicos  $E$  de losas varían entre 3 a 8 millones de psi.

Si se obtiene un valor  $E$  de la losa que éste fuera de este rango, puede existir un error en el espesor supuesto de la losa, el estanque de deflexión puede haber sido medido sobre una grieta, o el PCP puede estar relativamente deteriorado.

Si se está diseñando un espesor único de sobrecarpetas para una sección uniforme, calcule el valor  $E$  promedio de las losas ensayadas en la sección uniforme.

No use ningún valor de  $k$  o de  $E$  que parezca estar significativamente fuera de línea con el resto de los datos.

(4) *Transferencia de carga en una junta*. Para PCSJ, PCCP y PCCPyR, mida la transferencia de carga en las juntas en la rodada exterior en juntas transversales representativas. No mida la transferencia de cargas cuando la temperatura ambiente



sea mayor de 27°C. Coloque la placa de carga sobre un lado de la junta con el borde de la placa tocando la junta. Mida la deflexión en el centro de la placa de carga y a 30 cm desde el centro. Calcule la transferencia de carga por deflexión a partir de la ecuación siguiente.

$$\text{delta LT} = 100 \left( \frac{\text{delta ul}}{\text{delta l}} \right) * B$$

en donde:

delta LT = transferencia de carga por deflexión, %

ul = deflexión del lado sin carga, cm

l = deflexión del lado cargado, cm

B = factor de corrección de flexión de la losa

El factor de corrección por flexión de la losa, B, es necesario, debido a que las deflexiones  $d_0$  y  $d_{30}$  medidos a 30 cm uno del otro no serían iguales, aún cuando se midan en el interior de una losa. Se puede determinar un valor apropiado para el factor de corrección a partir de la relación de  $d_0$  a  $d_{30}$  para mediciones de estanques por deflexión en el centro de losas típicas, tal como se muestra en la ecuación de abajo. Los valores típicos para B están entre 1.05 y 1.15.

$$B = \frac{d_0 \text{ centro}}{d_{12} \text{ centro}}$$

Si se está diseñando un espesor único para las sobrecarpetas para una sección uniforme, calcule el valor promedio de transferencia de carga por deflexión de las juntas probadas en la sección uniforme.

Para PCSP, PCCP y PCCPyR, determine el coeficiente de transferencia de carga J usando las siguientes pautas:

Porcentaje de transferencia de carga J	
>70	3.2
50-70	3.5
<50	4.0

Si la rehabilitación incluye la adición de un acotamiento de concreto ligado mediante varillas puede ser apropiado un factor J menor. Véase la guía de diseño de pavimentos de la AASHTO, 1993

Para PCCR, use J = 2.2 a 2.6 para el diseño de la sobrecarpeta, suponiendo que las grietas y los baches se reparan con PCP continuamente reforzado.

**Paso 5. Obtención de corazones y prueba de materiales (Altamente recomendado)**

(1) *Módulos de ruptura de PCP (S'c, o Mr)*. Recupere varios corazones de 15 cm (6 pulgadas) de diámetro a la mitad de la losa y ensáyelos en tensión indirecta (ASTM C 496). Calcule la resistencia a tensión indirecta (psi) de los corazones. Estime el módulo de ruptura según la siguiente ecuación:

$$S'c = 210 + 1.02 IT$$

en donde.

S'c = módulo de ruptura, psi

IT = resistencia a tensión indirecta de corazones de 6 pulgadas de diámetro, psi

**Paso 6: Determinación del espesor requerido de la losa para tráfico futuro (Df)**

Los datos para determinar Df para sobrecarpetas de concreto hidráulico ligadas son representativos de la losa existente y de las propiedades de los suelos de apoyo. Esto se enfatiza debido a que son las propiedades de la losa existente (es decir, módulo de ruptura y transferencia de carga) los que controlaron el comportamiento de la sobrecarpeta ligada

(1) *Valor k estático efectivo*. Se determina a partir de uno de los siguientes métodos:

(a) verifique el valor k dinámico efectivo a partir de los estanques por deflexión, tal como se describe en el Paso 4. Divida entre 2 el valor k dinámico efectivo para obtener el valor k estático efectivo.

(b) Realice pruebas de carga de placa (ASTM D 1196) después de quitar la losa en algunos sitios. Esta alternativa es costosa y consume mucho tiempo, por lo que no se usa con frecuencia. El valor k estático obtenido puede requerir ajustes debido a los efectos producidos por cambio de estación usando el método presentado en la guía de diseño de pavimentos de la AASHTO, 1993.

(c) Estímelo a partir de los datos del suelo y el tipo y espesor de la base, usando la ya citada guía en la sección correspondiente. Esta alternativa es simple, pero hay que reconocer que el valor k estático obtenido es sólo una estimación aproximada. El valor k estático obtenido puede requerir de ajustes para tomar en cuenta efectos estacionales.

(2) *Pérdida PSI (perdida de los índices de servicio) de diseño*. PSI inmediatamente después de la sobrecarpeta (P1) menos PSI en el momento de la siguiente rehabilitación (P2).

(3) *J, factor de transferencia de carga*. Véase el Paso 4.

(4) *Módulo de ruptura de PCP*. Determinado por uno de los siguientes métodos:

(a) Estimado a partir de la resistencia a tensión indirecta medida a partir de corazones de 15 cm (6 pulgadas) de diámetro, tal como se describe en el paso 5.

(b) Estimado a partir de E verificado de la losa, usando la siguiente ecuación:

$$S'c = 43.5 [ E \cdot 10^6 ] + 488.5$$

en donde:

S'c = Módulo de ruptura, psi

E = Módulo elástico verificado, de la losa de PCP, psi

Para PCCR, S'c se puede determinar a partir de los valores E verificados únicamente en puntos que no tienen grietas dentro de los estanques por deflexión.

(5) *Módulo elástico de losa de PCP existente*, determinado por uno de los siguientes métodos:

(a) Verificado a partir de las mediciones de deflexión, tal como se describe en el Paso 4

(b) Estimado a partir de la resistencia a tensión indirecta

(6) *Pérdida de soporte de la losa existente*. Las esquinas de juntas que tienen pérdida de soporte se pueden identificar usando las pruebas de deflexión FWD. La pérdida de soporte de PCCR se puede determinar graficando un perfil de deflexión de borde de losa o de rodada, e identificando localizaciones con deflexiones significativamente altas. La pérdida de apoyo existente se puede mejorar con la estabilización de la losa. Para el diseño del espesor, suponga una losa completamente soportada  $LS = 0$ .

(7) *Confabilidad del diseño de la sobrecarpeta, R (%)*. Véase la guía AASHTO(1993), y los párrafos referente ha este tópico, en la seccion II.2.

(8) *Desviación estándar total (So) para pavimento rígido*. Véase la guía de la AASHTO (1993), y los párrafos referente ha este tópico, en la seccion II.2.

(9) *Capacidad de subdrenaje de losa existente, después de las mejoras en el subdrenaje, si las hubiera*. Véase la ya citada guía y las tablas anexas ha este trabajo para obtener pautas en la determinación de Cd (anexo 3, tabla 17). El bombeo o las fallas en las juntas y grietas determinados en el Paso 3 son una evidencia de que existe un problema en el subdrenaje. Al seleccionar este valor, nótese que la pobre situación del subsuelo en la Prueba de Carreteras AASHTO estaría dada con un Cd. de 1.0

Terminado lo anterior:

Calcule Df para los datos de diseño anteriores usando la ecuación de diseño de pavimento rígido o el nomograma de la figura 11, anexo 2 del presente trabajo. Al diseñar un espesor de sobrecarpetas para una sección de pavimento uniforme, se deben usar valores de datos promedio. Al diseñar el espesor de una sobrecarpeta para puntos específicos a lo largo de un proyecto, se deben usar los datos en ese punto. En las tablas anexas al final del trabajo, se proporciona como guía valores típicos de entrada. Los valores que se encuentran fuera de estos rangos se deben usar con precaución.

### **Paso 7: Determinación del espesor efectivo de losa (Def) de un pavimento existente**

Se presentan los procedimientos de levantamientos físicos de las condiciones y de la vida remanente, RL.

*Def a Partir del levantamiento de las condiciones para pavimentos de concreto hidráulico*

Apartir de los factores de ajuste podemos encontrar el Def.

El espesor efectivo de la losa existente (Def) se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Def} = F_{jc} * F_{dur} * F_{fat} * D$$

en donde:

D = espesor de la losa PCP existente, pulgadas

(1) *Factor de ajuste de juntas y grietas (F<sub>jc</sub>)*. Este factor ajusta la pérdida extra en PSI causada por reflexión de grietas deterioradas en las sobrecarpetas, que resultan de juntas y grietas deterioradas no reparadas, y otras discontinuidades en la losa existente antes de la sobrecarpeta. Una junta o grieta deteriorada en la losa existente se reflejará rápidamente a través de una sobrecarpeta CA, y contribuirá a la pérdida de serviciabilidad. Por lo tanto, se recomienda que todas las juntas y grietas deterioradas (para grietas distintas del tipo "D" o agregado reactivo relacionado con pavimentos defectuosos) y cualesquiera otras discontinuidades mayores en la losa existente sean reparadas con PCP a toda profundidad con pasajuntas o amarres antes de la sobrecarpeta, de modo que  $F_{jc} = 1.00$ .

Si no es posible reparar todas las áreas deterioradas, se necesita la siguiente información para determinar  $F_{jc}$ , a fin de incrementar el espesor de la sobrecarpeta para tomar en cuenta la pérdida extra en PSI debido a grietas por deflexión deterioradas (por carril de diseño).

Pavimentos que no tienen agrietamiento "D" o trastornos por agregados Reactivos:

Número de juntas deterioradas no reparadas/milla

Número de grietas deterioradas no reparadas/milla

Número de baches no reparados/milla

Número de juntas de expansión, juntas excepcionalmente anchas (> 1 pulgada) y bacheos de CA a todo lo ancho y a toda profundidad del carril/milla

Nótese que no se incluyen grietas cerradas que se pueden mantener juntas por refuerzo en JRCP o PCCR. Sin embargo, si una grieta en PCCPyR o PCCR está astillada y tiene fallas, probablemente el acero se ha roto, y la grieta se debe considerar como agrandándose. El astillamiento superficial de grietas PCCR no es una indicación de que la grieta se esté agrandando. Se usa el número total de juntas, grietas, baches o otras discontinuidades deterioradas no reparadas por milla para determinar el Fjc a partir de la figura 12, anexo 2.

Pavimentos con agrietamiento "D" o deterioro por agregados reactivos:

Estos tipos de pavimentos con frecuencia tienen deterioros en las juntas y grietas por problemas de durabilidad. El factor Fdur se usa para ajustar el espesor total, y así resolver este problema. Por lo tanto, cuando este sea el caso, el Fjc se debe determinar a partir de la figura 12, anexo 2, únicamente usando las juntas y grietas deterioradas no reparadas que no son causadas por problemas de durabilidad. Si todas las juntas y grietas deterioradas están astilladas debido a agrietamiento "D" o por agregados reactivos, entonces Fjc = 1.0. Esto evitará que se ajuste dos veces con los factores Fjc y Fdur.

(2) *Factor de ajuste de durabilidad (Fdur)*. Este factor ajusta una pérdida extra en PSI de la sobrecarpeta cuando la losa existente tiene problemas de durabilidad tales como agrietamiento "D" o trastornos por agregados reactivos. Usando los datos del levantamiento físico de las condiciones, del Paso 3, Fdur se determina como sigue:

1.00 : Ningún signo de problemas de durabilidad en PCP

0.96 - 0.99 : Existe agrietamiento por durabilidad, pero no astillamiento

0.80 - 0.95 : Existe agrietamiento y astillamiento (normalmente no se recomienda una sobrecarpeta PCP ligada en estas condiciones)

(3) *Factor de ajuste por daño por fatiga ( F fat)*. Este factor ajusta el daño pasado por fatiga que pudiera existir en la losa. Se determina observando el grado de agrietamiento transversal (PCCP, PCSP, PCCPyR) o baches (PCCR) que pueden ser causados principalmente por cargas repetidas. Use los datos del levantamiento físico del Paso 3 y las siguientes pautas para estimar Ffat para el carril de diseño.

0.97 - 1.00 : Existen pocas grietas transversales y baches (ninguno causado por agrietamiento "D" o transtorno por agregado reactivo)

PCCPyPCSP : < 5 %de las losas tiene grietas

PCCPyR : < 25 grietas en formación por milla

PCCR: < 4 baches por milla

0.94 - 0.96 : Existe un número significativo de grietas transversales/baches (ninguno causado por agrietamiento "D" o por daños causados por agregado reactivo)

PCCPyPCSP : 5 - 15 %de las losas tiene grietas

PCCPyR : 25 - 75 grietas funcionales por milla

PCCR: 4 - 12 baches por milla

0.90 - 0.93: Existe un gran número de grietas transversales/baches (ninguno causado por agrietamiento "D" o transtorno por agregado reactivo)

PCCPyPCSP : > 15 %de las losas están agrietadas

PCCPyR : > 75 grietas por milla

PCCR: > 2 baches por milla

*Def a partir de la Vida Restante para Pavimentos PCP*

La vida restante del pavimento está dada por la siguiente ecuación:



$$RL = 100 [ 1 - (Np/N1.5)]$$

en donde:

RL = vida restante, %

Np = tráfico total hasta ahora, ESALs

N1.5 = tráfico total hasta la "falla" del pavimento, ESALs

N1.5, se puede estimar usando las ecuaciones de diseño de pavimentos nuevos o los nomogramas presentados al final del trabajo, utilizados para este fin. Para ser consistente con la Prueba de Carreteras AASHTO y el desarrollo de estas ecuaciones, se recomienda un PSI de "falla" igual a 1.5 y una confiabilidad del 50%.

Def se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$Def = CF \cdot D$$

en donde:

CF = factor de condición determinado por la figura 2 anexo 2

D = espesor de la losa existente, en pulgadas

El diseñador debe reconocer que Def determinado por este método no refleja ningún beneficio para la reparación previa para el reencarpetado. Por eso, la estimación de Def obtenida se debe considerar como un límite inferior. El Def del pavimento será más alto si se realizan reparaciones preliminares de los daños asociados a las cargas. En la Tabla 12 anexo 3, se proporciona una hoja de trabajo para la determinación de Def para PCCP, PCSP, PCCyR y PCCR.

#### **Paso 8: Determinación del espesor de la sobrecarpeta**

El espesor de la sobrecarpeta PCP ligada se calcula como sigue:

$$Dol = Df - Def$$

en donde:

Dol = Espesor requerido de la sobrecarpeta PCP ligada, cm. (pulgadas)

Df = Espesor de la losa determinado en el Paso 6, cm. (pulgadas)

Def = Espesor efectivo de losa existente determinado en el Paso 7, cm. (pulgadas)

El espesor de la sobrecarpeta determinado a partir de la relación anterior debe ser razonable cuando se requiera sobrecarpetas para corregir una deficiencia estructural. Véase la sección II.2 para este tópico que formula una discusión de los factores que pueden dar como resultado espesores de sobrecarpetas no razonables.

**Acotamientos:** véase en secciones del capítulo II pautas generales.

**Juntas:** *PCSP, PCCP, PCCPyR y PCCR existentes.* Las juntas transversales y longitudinales se deben cortar con disco completamente a través del espesor de la sobrecarpeta (más una profundidad de 1.25 cm) tan pronto como lo permita el curado después de la colocación de la sobrecarpeta. Si no se realiza el corte de las juntas inmediatamente después de la colocación, puede resultar un rompimiento de la liga y se puede generar agrietamiento en las juntas. No se deben colocar pasajuntas o acero de refuerzo en estas juntas. Se debe aserrar un embalse sellador apropiado y se debe colocar un sellador tan pronto como sea posible.

*PCCR existente.* Las juntas transversales no se deben cortar en las sobrecarpetas ligadas, ya que no es necesario. Tampoco son necesarias las juntas transversales para las juntas extremas para los bacheos de concreto amarrado reforzado a toda profundidad. Las juntas longitudinales se deben aserrar de la misma manera que para PCSJ, PCCP y PCCPyR.

**Procedimientos de liga y materiales:** el comportamiento exitoso de la sobrecarpeta ligada depende de una adherencia confiable con la superficie existente. Se proporciona las siguientes pautas:

La superficie existente se debe limpiar y se le debe dar rugosidad a través de un proceso mecánico que quite una capa delgada de concreto pero que no dañe (agriete) la superficie. El sistema más usado es el sopleteado con perdigones. También se ha utilizado el fresado en frío, pero puede causar daño a la superficie y entonces se requiere el chifloneo posterior con arena para remover las partículas sueltas.

Se recomienda un agente adherente para lograr una adherencia más confiable. Para este propósito se ha utilizado agua, cemento y mortero de arena, lechada de agua y cemento, y epóxicos de baja viscosidad. En algunos casos, las sobrecarpetas ligadas construidas sin un agente adherente se han comportado bien.

**Ensanches:** véase en secciones del capítulo II pautas generales.

### **III.2. SOBRECARPETAS DE PCCP, PCSP Y PCCR NO LIGADAS A PCCP, PCSP Y PCCR**

Se puede colocar una sobrecarpeta JPCP (Junta Simple Con Pasajunta), JRCP (Junta Reforzada con Pasajunta), o PCCR (Pavimento de Concreto Continuamente Reforzado) no ligada de un JPCP, JRCP, PCCR existente, o un pavimento compuesto (CA/PCP, Concreto Asfáltico/Pavimento de Cemento Portland) para mejorar tanto la capacidad estructural como la condición funcional. Una sobrecarpeta de concreto no ligada consiste de las siguientes tareas:

- (1) La reparación de únicamente las áreas muy deterioradas y mejoramiento del subdrenaje (si fuera necesario)
- (2) Ampliación de la construcción (si fuera necesario)
- (3) Colocación de una capa de separación (esta capa puede servir también como una capa de nivelación)
- (4) Colocación de la sobrecarpeta de concreto
- (5) Aserrado y sellado de las juntas

**Viabilidad:** una sobrecarpeta no ligada es una alternativa de rehabilitación viable para pavimentos de concreto de cemento portland y para prácticamente todas las condiciones. Son más rentables cuando el pavimento existente está severamente deteriorado debido a la poca necesidad de reparación previa a la colocación de la sobrecarpeta. Las condiciones bajo las cuales no sería viable una sobrecarpeta no ligada PCP incluyen:

- (1) El grado de deterioro por agrietamiento de la losa y del astillamiento de las juntas no es tan grande y otras alternativas resultarían mucho más económicas.
- (2) El espacio libre vertical en los puentes es inadecuado para el espesor requerido de la sobrecarpeta. Esto se puede resolver reconstruyendo el pavimento por debajo de los puentes o elevándolos. Las sobrecarpetas no ligadas con espesores grandes podrían también necesitar la colocación de señales y guardarrieles, así como también incrementar las pendientes laterales y extender las alcantarillas. Se debe disponer de suficiente derecho de paso para permitir estas actividades
- (3) El pavimento existente es susceptible de formar grandes levantamientos o asentamientos.

Si la duración de la construcción tiene importancia crítica, las sobrecarpetas PCP pueden utilizar mezclas de alta resistencia temprana. Las sobrecarpetas PCP se han abierto en un término de 6 a 24 horas después de la colocación usando estas mezclas.

**Reparaciones previas a la Sobrecarpeta:** una ventaja importante de una sobrecarpeta no ligada es que la cantidad de reparaciones al pavimento existente se reduce substancialmente. Sin embargo, las sobrecarpetas no adheridas no pretenden unir áreas localizadas de soporte no uniforme. Se deben reparar los tipos de daños

enumerados en la tabla mostrada más adelante, antes de la colocación de la sobrecarpeta para evitar grietas por reflexión que puedan reducir su vida de servicio.

Otras formas de tratamiento previo para pavimentos muy deteriorados incluyen fractura de losa (rompimiento/asiento, grieta/asiento, o utilización de grava) a la losa PCP existente antes de la colocación de la capa de separación. La fractura y el asiento de la losa existente puede proporcionar un soporte más uniforme para la sobrecarpeta.

**Control de grietas por reflexión:** cuando se usa una capa de separación CA de 2.5 cm a 5 cm, no debe existir ningún problema con la reflexión de grietas a través de una sobrecarpeta no ligada. Sin embargo, este espesor de la capa de separación puede no ser adecuada para una sobrecarpeta no ligada cuando el pavimento existente tiene pobre transferencia de carga y altas deflexiones diferenciales a través de las grietas transversales y las juntas.

**Subdrenaje:** véase la sección II.1 para sugerencias generales.

**Diseño del espesor:** el espesor requerido de la sobrecarpeta no ligada es una función de la capacidad estructural requerida para cumplir con demandas futuras de tráfico y la capacidad estructural del pavimento existente. El espesor requerido de la sobrecarpeta para incrementar la capacidad estructural a fin de soportar el tráfico futuro está determinado por la siguiente ecuación.

$$D_{ol} = (D_f^2 - D_{ef}^2) \text{ (raíz cuadrada)}$$

en donde:

$D_{ol}$  = espesor requerido de la sobrecarpeta PCP no ligada, cm

$D_f$  = espesor de la losa para soportar el tráfico futuro, cm

$D_{ef}$  = espesor efectivo de la losa existente, cm

Tipo de trastorno	Tipo de sobrecarpetas	Reparación
Grieta en formación	PCSP, PCCP, PCCPyR y PCCR	No se necesita reparación Reparación a toda profundidad con pasajuntas si la deflexión diferencial es significativa
Bache	PCSP, PCCP, PCCPyR, y PCCR	Reparación a sección completa
Junta astillada	PCSP, PCCP, PCCPyR PCCR	No se requiere reparación Reparación a toda profundidad de juntas severamente deterioradas
Bombeo	PCSP, PCCP, PCCPyR, y PCCR	Drenajes laterales (si fuera necesario)
Asentamiento	PCSP, PCCP, PCCPyR, y PCCR	Nivelación con CA
Transferencia de carga pobre junta/grieta	PCSP, PCCP, PCCPyR, y PCCR	No se requiere reparación, si el pavimento tiene juntas o grietas con pobre transferencia de carga, considere una capa de separación de CA más gruesa

Se han construido exitosamente sobrecarpetas de concreto no ligadas tan delgadas de hasta 12.5 cm, y tan gruesas de hasta 30 cm o más. Son típicos los espesores de 18 a 25 cm en la mayoría de las sobrecarpetas no ligadas para pavimentos de carreteras.

El espesor requerido de la sobrecarpeta se puede determinar a través de los siguientes pasos de diseño. Estos pasos proporcionan un amplio método que recomienda la prueba del pavimento para obtener datos válidos de diseño. Si no es posible realizar estas pruebas, se puede desarrollar un diseño aproximado con base en las observaciones de los daños visibles, saltándose los Pasos 4 y 5 y estimando otros datos.

Se puede hacer el diseño de la sobrecarpeta para una sección uniforme en base al método de punto por punto, tal como se describe en la Sección II.3.

### **Paso 1: Diseño del pavimento existente**

- (1) Espesor de la losa existente
- (2) Tipo de transferencia de carga (pasajuntas, fricción por agregado, PCCR)
- (3) Tipo de acotamiento (amarrado, PCP, otros)

## **Paso 2: Análisis de tráfico**

- (1) ESAL's de 18 kip acumulativos pasados en el carril de diseño ( $N_p$ ) para usarse en la determinación de Def del método de la vida remanente, R.L., únicamente
- (2) ESAL's de 18 kip futuros pronosticados en el carril de diseño durante el período de diseño ( $N_f$ )

## **Paso 3: Levantamientos físicos de las condiciones**

Los siguientes daños se miden mediante la evaluación ocular y registro de daños para PCSP, PCCP, PCCPyR y PCCR. Se puede usar el muestreo a lo largo del proyecto para estimar estas cantidades en el carril de tráfico más pesado. Los tipos y severidades de los daños se definen en los capítulos anteriores. Deteriorado significa severidad media o mayor.

### **PCSP, PCCP/PCCPyR**

- (1) Número de juntas transversales deterioradas por km
- (2) Número de grietas transversales deterioradas por km
- (3) Número de juntas de expansión existentes, juntas excepcionalmente anchas (> 2.5 cm) o bacheos CA a todo lo ancho y profundidad del carril
- (4) Presencia y severidad general de problemas de durabilidad de PCP
  - (a) Agrietamiento "D": baja severidad (únicamente grietas), severidad media (algo de astillamiento), alta severidad (astillamiento severo)
  - (b) Agrietamiento por agregado reactivo: Severidad baja, media y alta
- (5) Evidencia de fallas, bombeo de finos, o agua en las juntas, grietas, y en la orilla del pavimento

### **PCCR:**

- (1) Número de baches por km
- (2) Número de grietas transversales deterioradas por km

- (3) Número de juntas de expansión existentes, juntas excepcionalmente anchas (> 2.5 cm) o bacheos CA a todo lo ancho y profundidad de carril
- (4) Número de reparaciones existentes y nuevas previas a las sobrecarpetas, por km
- (5) Presencia y severidad general de problemas de durabilidad PCP (NOTA: el astillamiento superficial de grietas apretadas en donde el PCCR subyacente es firme, no se debe considerar como un problema de durabilidad)
  - (a) Agrietamiento "D": baja severidad (grietas únicamente), severidad media (algo de astillamiento), severidad alta (astillamiento severo)
  - (b) Agrietamiento por agregado reactivo: Severidad baja, media y alta
- (6) Evidencia de bombeo de finos o agua

**Paso 4: Pruebas de deflexión (recomendadas)**

Al diseñar una sobrecarpeta no ligada para PCCP, PCCPyR o PCCR existentes, siga las siguientes pautas que se dan abajo para las pruebas de deflexión y la determinación del valor k estático efectivo. Al diseñar una sobrecarpeta no ligada para CA/PCP existente, siga las pautas que se dan para sobrecarpetas ligadas, eligiendo la mas adecuada, para las pruebas de deflexión y la determinación del valor k estático efectivo. Mida las configuraciones de deflexión de la losa en la rodada exterior a lo largo del proyecto a un intervalo suficiente para valorar adecuadamente las condiciones. Son típicos de 30-300 m. Mida las deflexiones con sensores localizados a 0, 30, 60 y 90 cm desde el centro de la carga. Se recomienda un aparato para medir las deflexiones por carga pesada (ejemplo, el Deflectómetro de Caída de Peso) y una magnitud de carga de 4.2 ton. ASTM D 4694 y D 4695 proporcionan pautas adicionales sobre las pruebas de deflexión.

Para cada losa probada, verifique el valor k efectivo usando la Figuras 10 anexo 2, o un procedimiento de verificación. El Área de cada estanque por deflexión se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$\text{ÁREA} = 6 \times [ 1 + 2 (d30/do) + 2 (d60/do) + (d90/do) ]$$



en donde:

$d_0$  = deflexión en el centro de la placa de carga, cm

$d_i$  = deflexiones a 30, 60 y 90 cm desde el centro de la placa, cm

El ÁREA variará típicamente de 29 a 32 para concreto sano.

(1) *Valor k dinámico efectivo.* Recorra a la Figura 10 anexo 2, con  $d_0$  y el ÁREA para determinar el valor k dinámico efectivo debajo de cada losa para un radio de carga circular de 5.9 pulgadas y una magnitud de 9,000 libras. Nótese que para cargas de 2,000 libras más o menos, las deflexiones se pueden escalar linealmente a deflexiones de 9,000 libras.

Si se está diseñando un espesor único de sobrecarpeta para una sección uniforme, calcule el valor k dinámico efectivo promedio de las losas probadas en la sección uniforme.

(2) *Valor k estático efectivo*

$$\text{Valor k estático efectivo} = \text{Valor k dinámico efectivo}/2$$

Puede ser necesario ajustar el valor k estático efectivo para tomar en cuenta efectos estacionales usando el método presentado en la ya tan mencionada guía de diseño. Sin embargo, el valor k puede cambiar substancialmente, y tener solo un efecto muy pequeño sobre el espesor de la sobrecarpeta.

#### **Paso 5. Obtención de núcleos y pruebas de materiales**

Cuando se diseña una sobrecarpeta no ligada para PCCP, PCSP, PCPyR o PCCR existentes, la obtención de núcleos y las pruebas de materiales de la losa PCP existente no son necesarios para el diseño del espesor de la sobrecarpeta. Cuando tenga que diseñarse una sobrecarpeta no ligada para CA/PCP existente, siga las pautas que se

dan en la Sección III.1, Paso 5, para la determinación del módulo de ruptura de CA por medio de la obtención de corazones y la prueba de materiales.

**Paso 6: Determinación del espesor requerido de la losa para tráfico futuro ( $D_f$ )**

El módulo elástico, el módulo de ruptura, y los datos de transferencia de carga para determinar  $D_f$  para sobrecarpetas PCP no ligadas de pavimentos PCP y CA/PCP son representativos de la nueva sobrecarpeta PCP que se ha de colocar, los que controlarán el comportamiento de la sobrecarpeta no ligada.

(1) *Valor  $k$  estático efectivo por debajo del pavimento existente.* Se determina a partir de uno de los siguientes métodos:

- (a) Verifique el valor  $k$  dinámico efectivo a partir de las configuraciones de deflexión, tal como se describe en el Paso 4. Divida el valor  $k$  dinámico efectivo sobre dos para obtener el valor  $k$  estático efectivo. El valor  $k$  estático obtenido puede requerir ser ajustado para tomar en cuenta los efectos de los cambios de estación.
- (b) Realice pruebas de carga de placa (ASTM D 1196) después de la remoción de la losa en algunos sitios. Esta alternativa es costosa y requiere de mucho tiempo, y no se usa con frecuencia. El valor  $k$  estático obtenido puede requerir ser ajustado para tomar en cuenta los cambios de estación.
- (c) Haga estimaciones a partir de los suelos y el tipo y espesor de la base. Esta alternativa es simple, pero se debe reconocer que el valor  $k$  estático obtenido es sólo una aproximación. Puede ser necesario ajustar el valor  $k$  estático obtenido para tomar en cuenta los efectos estacionales.

(2) *Pérdida PSI (perdida del índice de servicio) de diseño* PSI inmediatamente después de la sobrecarpeta (P1) menos PSI en el momento de la siguiente rehabilitación (P2).

(3) *J, factor de transferencia de carga para diseño de juntas de la sobrecarpeta PCP no ligada.* Véase la ya citada guía de diseño y la tabla del anexo 2.

(4) *Módulo de ruptura de PCP para sobrecarpetas PCP no ligada*

(5) *Módulo elástico de sobrecarpetas PCP no ligada*

(6) *Pérdida de soporte.* Use  $LS = 0$  para sobrecarpetas PCP no ligada.

(7) *Confiabilidad del diseño de sobrecarpetas, R (%)*. Véase la guía AASHTO (1993) y los párrafos sobre este tópico en la sección II.2.

(8) *Desviación estándar total ( $S_o$ ) para pavimento rígido.* Véase la guía AASHTO (1993) y los párrafos sobre este tópico en la sección II.2.

(9) *Capacidad de subdrenaje de losa existente,* después de las mejoras en el subdrenaje, si las hubiera. Véase tabla 17 en el anexo 3 de figuras, para obtener pautas en la determinación de Cd. El bombeo y las fallas en las juntas y grietas determinados en el paso 3 es una evidencia de que existe un problema en el subdrenaje. Al seleccionar este valor, nótese que la situación de drenaje pobre en la Prueba de Carreteras AASHTO estará dada con un Cd. de 1.0 .

Calcule Df para los datos de diseño anteriores usando la ecuación de diseño de pavimento rígido o el nomograma en el anexo 2, Figura 8. En la Tabla 7 anexo 3 se proporciona una hoja de trabajo para determinar Df.

**Paso 7: Determinación del espesor efectivo de losa (Def, de un pavimento existente)**

Se presentan los procedimientos de inspección ocular y levantamiento físico de la condición y de la vida restante.

Def a Partir del levantamiento físicos de las condiciones del camino.

El espesor efectivo (Def) de un pavimento PCP o CA/PCP existente se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Def = F_{jcu} * D$$

en donde:

D = espesor de la losa PCP existente, pulgadas

(NOTA: el valor máximo de D para usarse en el diseño de una sobrecarpeta de concreto no ligada es de 25 cm o 10 pulgadas, aún cuando el D existente sea mayor que 25 cm)

F<sub>jcu</sub> = factor de ajuste de juntas y grietas para sobrecarpetas de concreto no ligada

**NÓTESE:** que la superficie existente no se toma en cuenta en la determinación del espesor efectivo de la losa de un pavimento CA/PCP existente.

Las evaluaciones o levantamientos físicos de sobrecarpetas de concreto con juntas, no ligadas, han mostrado muy poca evidencia de agrietamiento por deflexión u otros problemas causados por la losa existente. Por lo tanto, no se usan F<sub>dur</sub> y F<sub>fat</sub> para sobrecarpetas de concreto no ligadas. El factor F<sub>jcu</sub> se modifica para mostrar un efecto reducido de grietas y juntas deterioradas en la losa existente, y se da en la figura 13 del anexo 2.

(1) *Factor de ajuste de juntas y grietas (F<sub>jcu</sub>).* Este factor hace los ajustes por la pérdida extra en PSI (perdida del índice de servicio) causada por grietas por reflexión deterioradas o baches en las sobrecarpetas, que resultan de juntas, deterioradas, grietas y otras discontinuidades no reparadas en la losa existente, previo a las

sobrecarpetas. Se ha observado muy poca pérdida de ese tipo en PSI para sobrecarpetas PCC, PCSP o JRCP no ligadas.

Se requiere de la siguiente información para determinar  $F_{jcu}$  para ajustar el espesor de la sobrecarpeta, y compensar la pérdida extra en PSI por grietas por deflexión, deterioradas, que no son reparadas:

Número de juntas no reparadas/km (milla)

Número de grietas no reparadas/km (milla)

Número de juntas de expansión, juntas excepcionalmente anchas (>2.5 cm) o bacheos CA a todo lo ancho y profundidad del carril/km (milla)

Se usa el número total de juntas/grietas deterioradas no reparadas y otras discontinuidades por km, anteriores a las sobrecarpetas, para determinar  $F_{jcu}$  a partir de la figura 13 del anexo 2, para el tipo apropiado de sobrecarpetas PCP. Como una alternativa a la reparación extensiva a toda profundidad para una sobrecarpeta no ligada que ha de colocarse en un pavimento muy deteriorado, una capa intercalada CA más gruesa debe eliminar cualquier problema de agrietamiento por reflexión, de modo que  $F_{jcu}$  sea = 1.0

*Def a partir de la Vida Restante para Pavimentos PCP*

La vida restante del pavimento está dada por la siguiente ecuación:

$$RL = 100 [ 1 - (N_p/N_{1.5}) ]$$

en donde:

RL = vida restante, %

$N_p$  = tráfico total hasta ahora, ESAL's

$N_{1.5}$  = tráfico total hasta la "falla" del pavimento, ESAL's

Se puede estimar N1.5 usando la ecuación de diseño de pavimento nuevo o los nomogramas anexos al final del trabajo. Para ser consistente con la Prueba de Carreteras AASHTO y el desarrollo de estas ecuaciones, se recomienda un PSI de "falla" igual a 1.5 y una confiabilidad del 50%.

Def se determina de la siguiente ecuación:

$$\text{Def} = \text{CF} \cdot \text{D}$$

en donde:

CF = factor de condición determinado por la figura 2 anexo 2

D = espesor de la losa existente, pulgadas

(NOTA: el valor máximo de D para usarse en el diseño de una sobrecarpeta de concreto no ligada es de 2.5 cm, aún cuando el D existente sea mayor de 25 cm)

El diseñador debe reconocer que el Def determinado por este método no refleja ningún beneficio en la reparación previa del pavimento existente antes de la colocación del reencarpetao. La estimación de Def obtenido debe ser, pues, considerando un valor límite inferior. El Def del pavimento será más alto si se lleva a cabo la reparación previa de los daños asociados con las cargas. También se enfatiza que este método para determinar Def no es aplicable para pavimentos CA/PCP.

#### **Paso 8: Determinación del espesor de la sobrecarpeta**

El espesor de la sobrecarpeta PCP no ligada se calcula como sigue:

$$\text{Dol} = \text{Df} - \text{Def}$$

en donde:

Dol = Espesor requerido de la sobrecarpeta PCP no ligada, cm

Df = Espesor de la losa, determinado en el Paso 6, cm

Def = Espesor efectivo de losa existente, determinado en el Paso 7, cm

El espesor de la sobrecarpeta determinado por la relación anterior debe ser razonable cuando en las sobrecarpetas sea necesario para corregir una deficiencia estructural. Véase la Sección II.2 para una discusión de los factores que pueden dar como resultado espesores de sobrecarpetas no razonables.

**Acotamientos:** véase el capítulo II para pautas generales.

**Juntas:** se deben proveer juntas transversales y longitudinales de la misma manera que para la construcción de pavimento nuevo, excepto en lo que se refiere a las pautas para espaciamiento de juntas para sobrecarpetas JPCP. Debido al soporte inusualmente rígido por debajo de la losa, es aconsejable limitar el espaciamiento de juntas a lo siguiente, a fin de controlar el esfuerzo de ondulación por gradiente térmico:

$$\text{Espaciamiento máximo de juntas(pies)} = 1.75 * \text{Espesor de losa(pulgadas)}$$

Ejemplo: espesor de losa = 8 pulgadas  
espaciamiento de juntas =  $8 * 1.75 = 14$  pies

**Refuerzo:** las sobrecarpetas PCSP, PCCP y PCCR no ligadas deben contener refuerzo para mantener cerradas las juntas y las grietas. El diseño del refuerzo debe seguir las pautas dadas para la construcción de pavimentos nuevos, excepto que el factor de fricción debe ser alto (por ej. De 2 a 4) debido a la adherencia entre la capa de separación CA y las nuevas sobrecarpetas PCP (véase la guía de diseño de pavimentos AASHTO, 1993).

**Capa interior de separación:** se necesita una capa intercalada de separación entre las sobrecarpetas PCP no ligadas y la losa existente a fin de aislar las sobrecarpetas de

las grietas y otro tipo de deterioro en la losa existente. El material de la capa intercalada de separación que más común y exitosamente se ha usado es una mezcla CA colocada con un espesor de 2.5 cm. Si se requiere una nivelación, también se puede usar la capa intercalada CA para ese propósito.

Algunos materiales delgados que se han usado rompedores de adherencia no se han comportado muy bien. Se han utilizado exitosamente otras delgadas, incluyendo tratamientos de superficie, sellos de lechadas, y asfalto con recubrimiento de arena, para pavimentos existentes, sin que exista gran cantidad de fallas o rompimiento de la losa. Para carreteras con un gran volumen de tráfico, se debe considerar el problema potencial de la erosión de la capa separadora. Un tratamiento superficial delgado puede erosionarse más rápidamente que un material CA. No existe razón para no utilizar una capa intercalada granular, permeable, de estructura abierta, con la condición de que se diseñe un sistema de drenaje para recoger el agua de esta capa. Este tipo de intercapa debe proporcionar un excelente control de reflexión de grietas, así como también evitar el bombeo y la erosión de la capa intercalada.

***Ensanche:*** véase capítulo II para pautas generales.

### **III.3. SOBRECARPETAS DE PCCP, PCSP, PCCPyR Y PCCR PARA PAVIMENTOS DE CA (CONCRETO ASFALTICO) "Whitetopping"**

Se pueden colocar sobrecarpetas de PCCP, PCSP, PCCPyR, Y PCCR para pavimentos CA para mejorar tanto la capacidad estructural, así como también las condiciones funcionales. Este tipo de sobrecarpetas consiste de las siguientes tareas importantes de construcción:

- (1) Reparación de áreas deterioradas y realización de mejoras en el subdrenaje (si fuera necesario)
- (2) Ampliación de la superficie de construcción (si fuera necesario)



- (3) Fresado de la superficie existente si hubiera distorsiones importantes o declive transversal inadecuado
- (4) Colocación de una capa de nivelación CA, ( si fuera necesario) que le dará una adhesión parcial
- (5) Colocación de la sobrecarpeta de concreto
- (6) Aserrado y sellado de juntas

**Viabilidad:** una sobrecarpeta de PCP es una alternativa viable de rehabilitación para pavimentos de CA para prácticamente todas las condiciones. Son más rentables cuando el pavimento existente está seriamente deteriorado. Las condiciones bajo las cuales no sería viable una sobrecarpeta de PCP incluyen:

- (1) El grado de deterioro no es tan grande y otras alternativas serían mucho más económicas.
- (2) El claro vertical es inadecuado para el espesor requerido de la sobrecarpeta. Esto se puede solucionar reconstruyendo el pavimento debajo de los puentes o elevándolos. Las sobrecarpeta más gruesas de PCP pueden requerir que se pongan señales y guardarríes, así como también incrementar los declives laterales, y extender las alcantarillas. Se debe disponer de suficiente derecho de paso para permitir estas actividades.
- (3) El pavimento existente es susceptible de grandes movimientos hacia arriba o asentamientos.

Si la duración de la construcción tiene importancia crítica, las sobrecarpeta de PCP pueden utilizar mezclas de PCP de alta resistencia temprana. Se han abierto las sobrecarpeta de PCP en un período de 6 a 24 horas después de su colocación usando estas mezclas.

**Reparaciones preliminares:** una ventaja importante de las sobrecarpetas PCCP, PCSP, PCCPyR, Y PCCR sobre pavimentos CA es que la cantidad de reparación requerida para el pavimento existente se reduce de manera importante. Sin embargo, se deben reparar los siguientes tipos de daños (Ver la tabla siguiente) antes de la colocación de la sobrecarpeta, a fin de evitar grietas por reflexión que puedan reducir su vida de servicio. Ver párrafos del primer capítulo donde se proporcionan pautas sobre reparaciones (Ver ref. bibliográficas 1 y 2).

**Control de reflexión de grietas:** la reflexión de grietas generalmente no son un problema para sobrecarpetas de PCCP, PCSP, PCCPyR, Y PCCR de una sobrecarpeta CA. Sin embargo, si el pavimento de CA existente tiene grietas térmicas transversales severas, puede ser deseable colocar algún tipo de capa de separación sobre las grietas transversales para reducir el agrietamiento por deflexión potencial.

Tipo de daño	Tipo de sobrecarpetas	Tipo de Reparación
Agrietamiento de cocodrilo	PCCP, PCSP, PCCPyR PCCR	No se necesita reparación Áreas bacheadas en zonas de altas deflexiones
Grietas transversales	PCCP, PCSP, PCCPyR PCCR	No se necesita reparación
Bombeo, desgaste de capa	PCCP, PCSP, PCCPyR, PCCR	Drenajes laterales (si fuera necesario) Quite la capa desgastada si es severa
Asentamiento/levantamiento	PCCP, PCSP, PCCPyR PCCR	Nivelación con CA

**Subdrenaje:** véase el capítulo II respecto a pautas generales.

**Diseño del espesor:** el espesor requerido de la sobrecarpeta PCP es una función de la capacidad estructural requerida para hacer frente a la demanda futura de tráfico y al soporte proporcionado por el pavimento de CA subyacente. El espesor requerido de la

sobrecarpeta para incrementar la capacidad estructural para soportar el tráfico futuro se determina por la siguiente ecuación:

$$Dol = Df$$

en donde:

Dol = espesor requerido de la sobrecarpeta PCP, cm

Df = espesor de la losa para soportar el tráfico futuro, cm

Se han construido exitosamente sobrecarpetas de PCP de pavimentos de CA tan delgados de hasta 12.5 cm, y tan gruesos de hasta 30 cm o más. Para la mayoría de las sobrecarpetas de pavimentos de carreteras, lo típico ha sido de 18 a 25 cm.

El espesor requerido de la sobrecarpeta se puede determinar a través de los siguientes pasos de diseño. Estos pasos de diseño proporcionan un amplio método que recomienda la prueba del pavimento para obtener datos válidos de diseño. Si no es posible llevar a cabo esta prueba, se puede desarrollar un diseño aproximado de la sobrecarpeta con base en las observaciones visibles de daños, saltándose los Pasos 4 y 5, y estimando otros datos. Se puede hacer el diseño de la sobrecarpeta para una sección uniforme en base al método de punto por punto (Ver sección II.3).

### **Paso 1: Diseño del pavimento existente**

(1) Tipo de material existente y espesores de sobrecarpetas

### **Paso 2: Análisis de tráfico**

(1) ESAL's de 18 kip futuros pronosticados en el carril de diseño por el período de diseño (Nf)

### **Paso 3: Levantamiento físico de las condiciones actuales**

No se requiere un levantamiento detallado de la condición del daño. Sólo es necesario uno general que identifique cualquiera de los siguientes daños que pueden afectar el comportamiento de una sobrecarpeta de PCP:

- (1) Levantamientos y expansiones
- (2) Signos de desgaste de la capa de CA. Esto podría convertirse en algo más serio bajo una sobrecarpeta de PCP
- (3) Grandes grietas transversales que, sin una nueva capa de separación, se pueden reflejar a través de la sobrecarpeta de PCP

**Paso 4: Pruebas de deflexión (Muy recomendadas)**

Mida los estanques por deflexión en la rodada exterior a lo largo del proyecto a un intervalo suficiente para valorar adecuadamente la condición. Son típicos intervalos de 30 a 300 m. Se recomienda un aparato de deflexión para carga pesada (por ej. el Deflectómetro de masa de Caída, o del tipo de impulso) y una magnitud de carga de 9,000 libras. ASTM D 4694 y D 4695 proporcionan pautas adicionales sobre pruebas de deflexión. Estas últimas se deben medir en el centro de la carga y, al menos, a otra distancia desde la carga.

Para cada punto probado, determinar de manera indirecta el módulo efectivo del pavimento ( $E_p$ ) de acuerdo con los procedimientos descritos en la AASHTO, para pavimentos CA.

(1) *Valor k dinámico efectivo.* Estime el valor k dinámico efectivo (Guía de Diseño de la AASHTO, 1993), usando el módulo de elasticidad de la explanación verificado (MR), el módulo efectivo de las capas de pavimento sobre la explanación, ( $E_p$ ) y el espesor total de las capas del pavimento por encima de la subrasante (D). Se enfatiza que el módulo de resiliencia usado para estimar el valor k dinámico efectivo no se debe ajustar por el factor C (ej. 0.33), que pertenece al establecimiento del diseño MR para sobrecarpetas de CA de pavimentos de CA.

Si se está diseñando un espesor único de sobrecarpetas para una sección uniforme, calcule el valor k dinámico efectivo promedio de la sección uniforme.

### **Paso 5. Obtención de núcleos y pruebas de materiales**

Al menos que exista alguna condición inusual de daño, no se requiere la obtención de corazones y la prueba de materiales.

### **Paso 6: Determinación del espesor requerido de la losa para tráfico futuro ( $D_f$ )**

(1) *Valor  $k$  estático efectivo (en la base de la sobrecarpeta de PCP sobre un pavimento de CA existente). Se determina a partir de uno de los siguientes métodos:*

(a) Determine el valor  $k$  dinámico efectivo a partir del módulo verificado de la explanación  $MR$ , el módulo del pavimento  $E_p$ , y el espesor del pavimento  $D$ , tal como se describe en el Paso 4. Divida el valor  $k$  dinámico efectivo entre 2 para obtener el valor  $k$  estático. El valor  $k$  estático puede requerir ajustes para tomar en cuenta los efectos por cambios de estación .

(b) Haga la estimación a partir de los datos del suelo y los tipos y espesores de la capa del pavimento, usando la guía de diseño de la AASHTO, 1993. El valor  $k$  estático puede requerir ajustes para tomar en cuenta los efectos por cambios de estación .

(2) *Pérdida PSI (perdida de los índices deservicio) de diseño. PSI inmediatamente después de la sobrecarpeta (P1) menos PSI en el momento de la siguiente rehabilitación (P2).*

(3)  *$J$ , factor de transferencia de carga para el diseño de juntas de sobrecarpetas de PCP. Ver figura 19 anexo 3.*

(4) *Módulo de ruptura de la sobrecarpeta de PCP. Use el módulo de ruptura de carga en el tercer punto a un promedio a 28 días de la sobrecarpeta de PCP.*

(5) *Módulo de elasticidad de sobrecarpetas de PCP.* Use un módulo de elasticidad promedio de 20 días para sobrecarpetas de PCP.

(6) *Pérdida de soporte.* Véase las secciones anteriores a cerca de este topico.

(7) *Confiabilidad del diseño de sobrecarpetas, R (%)*. Véase la guía AASHTO (1993) y los párrafos sobre este topico en el punto II.2.

(8) *Desviación estándar total (So) para pavimento rígido.* Véase la sección II.2 .

(9) *Capacidad de subdrenaje del pavimento existente CA, después de mejoras en el subdrenaje, si las hubiera.* Véase tabla 17 anexo 3, al final del trabajo, respecto a pautas en la determinación de Cd. En la selección de este valor, note que la situación de drenaje pobre en la Prueba de Carreteras AASHTO estará dada con un Cd. de 1.0. Ver tabla con valores de diseño en el anexo 3 de figuras.

Calcule Df para los datos de diseño anteriores usando la ecuación de diseño de pavimento rígido o el nomograma de la Guía (mostrada en el anexo 2 de figuras). Al diseñar el espesor de sobrecarpetas para una sección uniforme de pavimento, se deben usar los valores promedio de los datos de entrada. Al diseñar el espesor de una sobrecarpeta para puntos específicos a lo largo del proyecto, se deben usar los datos para dicho punto. En la Tabla 15 anexo 3, se proporciona una hoja de trabajo para la determinación de Df.

#### **Paso 7: Determinación del espesor de la Sobrecarpeta**

El espesor de la sobrecarpeta de PCP se calcula como sigue:

$$D_{ol} = D_f$$

El espesor de la sobrecarpeta determinado a partir de la relación anterior debe ser razonable cuando en las sobrecarpetas se requiera para corregir una deficiencia estructural. Véase la sección II.2 para este tópico, donde se formula una discusión de los factores que pueden dar como resultado espesores no razonables de la sobrecarpeta.

**Acotamientos:** véase pautas generales. Sección II.

**Juntas:** véase pautas generales. Sección II.

**Refuerzo:** véase pautas generales. Sección II.

**Ampliación:** véase pautas generales. Sección II.

**CAPITULO IV**

**METODOS DE DISEÑO DE LAS  
SOBRECARPETAS**



## IV.- METODOS DE DISEÑO DE LAS SOBRECARPETAS

Por lo menos en los países de Norteamérica, antes de 1960 los diseños de sobrecarpetas eran casi empíricos, basándose exclusivamente en la experiencia. Fue en esos años en que se iniciaron de manera profusa las pruebas de evaluación estructural del tipo no destructivo, PND. Casi en todas las dependencias encargadas de los proyectos prevalecen los criterios de diseño que diseñan al refuerzo como si se tratase de *pavimento nuevo*, con la única salvedad de que ahora se toma en cuenta la *vida remanente*, V.R., de la estructura existente, para que sirva como cimentación a la nueva capa. Si se pretende diseñar un pavimento compuesto (concreto asfáltico con capas de concreto hidráulico) se deberá tomar al pavimento existente con el 100% de V.R. o como nuevo.

Existen tres categorías básicas de metodologías de diseño: 1) el enfoque de espesores efectivos, 2) el de deflexiones, y 3) metodologías empírico - mecánico. Independiente del tipo de diseño, y de la sobrecarpeta, se deberá realizar un levantamiento o monitoreo de la situación del camino, de sus subzonas, en caso de existir, tomando en cuenta: edad, tipología de daños, severidad de estos últimos y tráfico. La clasificación de subtramos incluso podría con llevar diseños de sobrecarpetas diferentes para un mismo proyecto de reconstrucción.

### IV.1. ESPESORES EFECTIVOS

Se fundamenta en el hecho de que una superficie de rodamiento para soportar el tráfico actual y futuro requiere un espesor de sobrecarpeta de refuerzo resultado de la diferencia entre el pavimento considerado como *nuevo* y el espesor *efectivo* del existente:

$$h_{ox} = h_n - h_e$$

$h_{ol}$  representa el espesor de sobrecarpeta,  $h_n$  el espesor de un pavimento considerado nuevo, y  $h_e$  el espesor del existente. El método supone que el espesor actual del pavimento es función del tráfico que haya soportado, siendo "mayor" conforme tenga mayor edad. En la ecuación anterior cada uno de sus términos será convertido a espesor de concreto asfáltico o de losa de CCP, según el caso. Dado que el espesor efectivo en un tiempo dado del pavimento es función del estado, espesor, y tipo de cada una de las capas que lo componen, se le llama también a este enfoque procedimiento de Análisis de Componentes.

La ecuación que más se ha difundido es la del Cuerpo de Ingenieros de EUA, CIUSA, resultado de tramos experimentales ejecutados por tal institución, y actualmente es adoptada en forma por la AASHTO. Tiene la siguiente forma:

$$h_{ol} = h_n - C \cdot h_e$$

Aquí  $h_e$  es el espesor del pavimento existente, no el efectivo como en la ecuación anterior. El valor de "n" define tipo de sobrecarpeta y el de C es el que refleja la condición de la superficie de rodamiento, y tienen los siguientes valores:

$n = 2$	Sobrecarpeta desligada
$n = 1.4$	Para sobrecarpetas colocadas directamente sobre el pavimento existente
$n = 1.0$	Sobrecarpeta ligada
$C = 1.0$	Para pavimentos libres de daños estructurales importantes. Poco agrietamiento
$C = 0.75$	Pavimentos existentes para agrietamiento transversal inicial, agrietamiento en esquinas debido al tráfico, pero sin agrietamiento progresivo, y cuando este último es reciente
$C = 0.35$	Pavimento seriamente fracturado y dañado

Nótese por ejemplo que cuando  $C = 1$  y  $n = 1$ , las dos ecuaciones anteriores son iguales en forma, no así en significado, ya que en la primera de ellas  $h$  es el espesor efectivo, mientras que en la segunda es el existente. De esta manera, al aplicar estos valores en la segunda ecuación ello indicaría que el pavimento existente, en el caso de ser concreto, estaría como nuevo, libre de daños por fatiga, o cualquier deterioro por cargas o intemperismo. Esto desde luego no podrá ser el caso, y esta en contra del concepto de vida remanente, V.R., que se discutió anteriormente.

## **IV.2. DE DEFLEXIONES**

Cuanto mayores deflexiones se registren en la superficie de rodamiento, mayor debilidad habrá en las capas que componen la estructura del pavimento. Para este propósito se miden deflexiones directamente bajo la carga, exclusivamente. No confundir con mediciones de deflexiones mediante Transductores para obtener una configuración de desplazamientos, de los utilizados en los métodos empírico - mecánicos. Este método descansa solo en la relación empírica entre deflexión - espesor de sobrecarpeta (en caso de reencarpetao con concreto asfáltico, consultar Instituto del Asfalto, este método se utiliza en algunos departamentos de transportes de EUA, Canadá y el Reino unido).

## **IV.3. EMPIRICO - MECANISTICO**

Este método considera, al igual que en el caso de pavimentos nuevos, los refuerzos críticos, deformaciones y deflexiones por cualquier método mecanístico, y la predicción de los daños resultantes en base a criterios de falla empíricos. También aquí será necesario evaluar las condiciones físicas actuales del pavimento, para que posteriormente se pueda determinar el espesor de sobrecarpeta. En ambos casos, pavimento existente y sobrecarpeta, los daños deberán estar en límites aceptables.

El criterio de falla empleado en sobrecarpetas de CCP es el agrietamiento por fatiga. Aquí ya no rige tanto, el criterio de erosión - criterio de la PCA de EUA, para pavimentos nuevos -, ya que se utiliza el existente como base de apoyo, y se considera como no erosionable.

El método de sobrecarpeta de refuerzo es válido cuando el pavimento existente tiene una vida remanente, establecida como:

$$\sum_{i=1}^m (n_i/N_i) < 1$$

En donde  $n_i$  es el número real de pasadas para un grupo de carga  $i$  -ésimo, y  $N_i$  el número de repeticiones o pasadas permisible,  $m$  es el número de grupos de ejes o cargas. Si el pavimento existente no tiene VR, entonces la sobrecarpeta se representa como una capa superior de un conjunto de dos, siendo la inferior el pavimento existente. El módulo de la capa de apoyo es función del estado de este último.

#### *Agrietamiento por Fatiga*

Primeramente se determina la VR del pavimento existente, estimada mediante la relación:

$$(nr/Na) = 1 - (ne/Na)$$

en donde:

$nr$  = número de pasadas adicionales que pueden aplicarse al pavimento existente después de la sobrecarpeta

$Na$  = Número de carga permisible del pavimento existente antes de la sobrecarpeta

$ne$  = número de repeticiones actuales del pavimento existente antes de la ejecución de la sobrecarpeta

Posteriormente, en base a los esfuerzos de tensión y las correspondientes deformaciones en el lecho inferior del pavimento existente, una vez colocada la sobrecarpeta, se determina el número de repeticiones permisibles de carga del pavimento reforzado. Dado que el pavimento existente no es nuevo, y tiene una vida remanente  $CR$ , de  $nr/Na$ , el número de repeticiones debe multiplicarse por  $nr/Na$  para obtener las repeticiones permisibles después de la sobrecarpeta.

#### IV.4. EL METODO DE LA PCA

Según ya se mencionó en párrafos anteriores, existen tres grandes categorías de sobrecarpetas en Pavimentos de CCP:

- . Desligadas
- . Ligadas
- . Parcialmente ligadas (depende de la cantidad de liga entre las dos carpetas, para efectos de diseño)
- . Y una cuarta opcional: refuerzos a pavimentos asfálticos deteriorados, que caen de hecho en la tercer categoría, a saber, adhesión parcial entre concreto y asfalto

##### *Evaluación del pavimento existente*

Como parte de la mayoría de los diseños, se debe ejecutar una evaluación de las condiciones actuales del pavimento. Esto se puede hacer mediante: 1) Inspección ocular o monitoreo físico, 2) pruebas no destructivas, y 3) evaluación de los materiales a través de ensayos de laboratorio.

##### *Levantamiento físico*

Estas actividades estarán enfocadas a un levantamiento de daños, su frecuencia, tipología y severidad. Esto permitirá subdividir los tramos en subzonas caracterizadas por los mismos problemas, de diseño, tráfico, localización y construcción. En proyectos

pequeños se debe de monitorear todo el tramo. En caminos de gran extensión se tomarán secciones tipo a partir de 10 a 20 losas. Posteriormente se seleccionarán al azar unidades muestra. Se recomienda utilizar del 25 al 50 % de cada una de las secciones -muestra- tipo. La frecuencia de muestreo dependerá de la geometría y de las condiciones generales. En cada una de las muestras o secciones se determinará el tipo, severidad y extensión de los daños. Después se clasifica si el daño es bajo, medio o alto. En este último caso, se harán las reparaciones necesarias antes de colocar la sobrecarpeta.

LEVANTAMIENTO DE DAÑOS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO
*FRACTURAMIENTO EN ESQUINAS
*ESCALONAMIENTO
*AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL
*FRACTURAMIENTO TRANSVERSAL
*BOMBEO
*REACCION ALCALI-AGREGADO
*ASTILLAMIENTOS

**Pruebas de Deflexión No Destructivas, PDND:** el estado físico del camino dictará la necesidad, cuantía y el tipo de mediciones en deflexiones. Si se sospecha que en tramos bien definidos de pavimento con deterioros similares imputables a cargas de tráfico, entonces se deberá verificar la capacidad estructural en tales áreas. Además, este tipo de mediciones se efectuarán en juntas y grietas, para ver si existe buena transmisión de carga por trabazón de agregado - o fricción de agregado -, también se investigará mediante estas mediciones si existe socavación por debajo de las losas o

"pérdida de soporte". Se sugiere emplear equipo PDND que aplique cargas en el rango de 3.7 a 4.5 ton. No se recomienda equipo más ligero.

**Evaluación de materiales en el lugar:** una identificación y clasificación correcta de las capas del terreno natural, subrasante y/o sub-base, así como los ensayos de resistencia correspondientes, servirán para obtener los módulos de reacción,  $K_d$  de diseño. Además, para el caso de sobrecarpetas ligadas totalmente concreto - concreto, será necesario caracterizar al pavimento existente a través del módulo de ruptura,  $M_r$  y del de elasticidad,  $E_c$ . El valor  $K_d$  puede ser determinado a través de PND o mediciones indirectas.

El diseño de sobrecarpetas ligadas demanda los valores de  $M_r$  y  $E_c$ . Dado que no es práctico cortar vigas en el pavimento existente, es aceptable obtener núcleos y ensayarlos según la norma ASTM C 496 "Resistencia a la tensión indirecta en especímenes cilíndricos" -prueba brasileña-. Se deben recuperar muestras a separaciones de 100 a 150 m, y de preferencia los núcleos se obtendrán de la parte media de las losas seleccionadas. Las partes inferiores de los núcleos pueden ser recortados o "cabeceados", pero no más de 1.30 cm. Para cada sección la resistencia a la tensión efectiva se puede establecer como:

$$f_{te} = f_t - 1.65 S$$

En donde:

$f_{te}$  = resistencia efectiva a la tensión indirecta

$f_t$  = promedio de la resistencia a la tensión indirecta

$S$  = desviación estándar de la resistencia a la tensión indirecta

La ecuación anterior implica que solo el 5% de todas las muestras de una sección analizada puede ser inferior a los valores efectivos.

De acuerdo a este método; el módulo de ruptura,  $S_c$ , se puede determinar mediante la relación:

$$S_c = AB f_t$$

En donde A es una constante de regresión basada en la experiencia regional, y B es un valor de daño igual a 0.9 que relaciona las resistencias entre un espécimen situado aproximadamente a 0.60 m respecto a la orilla de la losa del carril lento, a aquella correspondiente a la orilla. Los Valores de "A " reportados en la literatura van de 1.35 a 1.55. En ausencia de valores de correlación locales o particulares en la región en que se aplique el método, se sugiere emplear 1.45.

El valor del módulo de elasticidad será determinado de preferencia de acuerdo a la norma ASTM C 469 "Módulo de elasticidad estático y Relación de Poisson de concreto a compresión", alternativamente se podrá estimar mediante:

$$E_c = (14,000 f'_c) \quad (\text{raíz cuadrada})$$

EVALUACIÓN DE MATERIALES DEL PAVIMENTO EXISTENTE	
<u>Módulo de reacción</u>	
Determinación directa o (En cada una de las	
Indirecta	capas que componen el pavimento)
<u>Propiedades del concreto:</u>	
- Resistencia a la flexión	
- Módulo de elasticidad	
<u>Metodología recomendada:</u>	
Muestras a cada 100 ó 150 m de longitud, en partes medias de las losas, y en zonas localizadas a 50 cm respecto a las orillas del carril de baja. El diámetro no será menor a 10 cm.	

**Sobrecarpetas de concreto desligadas:** el criterio de diseño de la PCA se fundamenta en el siguiente postulado: colocar una sobrecarpeta que junto con el pavimento existente sea *equivalente* a un pavimento nuevo (losa nueva más sub-base y



capa subrasante existentes). Se parte del hecho de que la equivalencia estructural, en términos de agrietamiento por fatiga, se cumple "si el esfuerzo desarrollado en las orillas de la sobrecarpeta  $\overline{\sigma}_{\text{e}}$  es menor que el desarrollado en la orilla de un pavimento nuevo,  $\overline{\sigma}_{\text{in}}$ " tal como aparece en la siguiente figura, ver fig. 6.

Las cargas se colocaron directamente sobre las grietas, y estas se modelaron como elementos suaves dentro del método de elementos finitos, MEF, empleado para desarrollar un programa de cómputo denominado JSLAB. Las ruedas de carga fueron colocadas directamente en la orilla y sobre agrietamientos del pavimento existente, ver fig. 7.

Se obtuvieron las influencias de agrietamientos para diferentes espaciamientos de estos últimos, 1.5, 2 y 3 m.

Como era de esperarse, se observó que los esfuerzos eran mayores en las orillas cuando existía grieta.

**Cartas de diseño** : mediante el programa de cómputo, y utilizando el MEF, se prepararon curvas de diseño para lo cual se utilizaron los siguientes parámetros (ver ejemplos de estas cartas en el anexo 1) :

Ejes sencillos equivalentes, ESAL's, para representar el tráfico

$E_c = 351,535 \text{ kg/cm}^2$ , para la sobrecarpeta

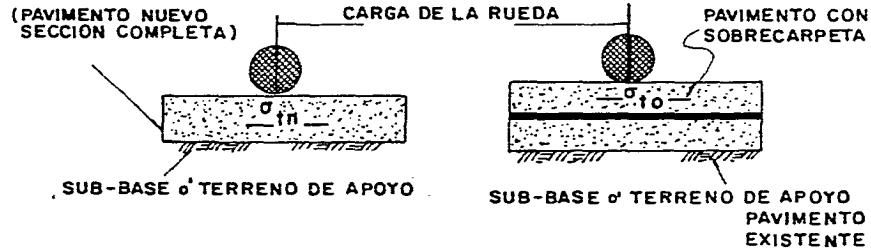
$E_c = 210,921$  y  $281,228 \text{ kg/cm}^2$  para el pavimento existente

Se tipificaron tres casos:

Caso 1. - El pavimento existente presenta fuerte fracturamiento en la mitad de la losa y agrietamiento en la esquina. Por otro lado, existe poca transferencia de carga entre juntas y grietas.

fig.6

## CONCEPTO DE EQUIVALENCIA DE ESFUERZOS



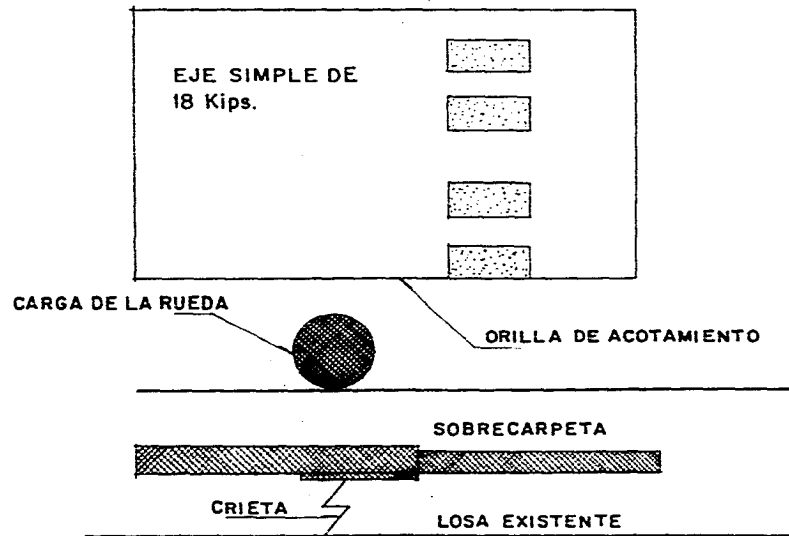
B conjunto pavimento existente-sobrecarpeta es estructuralmente equivalente a una seccion completa de pavimento (nuevo) Ambas estructuras resisten el trafico proyectado a futuro. se cumple:

$$\sigma_{to} < \sigma_{tn}$$

$\sigma_{tn}$  = esfuerzo critico en la orilla, en pavimento nuevo (sección total)

$\sigma_{to}$  = esfuerzo critico en la orilla, sobrecarpeta

### VISTA EN PLANTA DE LA LOSA



### VISTA EN CORTE

FIG. 7 POSICION DE LA CARGA PARA EL ANALISIS DE ESFUERZOS (PCA)

Caso 2. - El pavimento presenta poco deterioro en la mitad de las losas, y fracturamiento ligero en las esquinas. Existe transferencia de carga razonables entre losas a través de grietas y juntas. Se pueden corregir daños de manera sencilla antes de colocar la sobrecarpeta.

Caso 3. - El pavimento existente presenta solo pequeños agrietamientos en las partes medias de las losas, existe buena transferencia de cargas entre las losas y las grietas. El soporte de losas es bueno, ya que se ha ejecutado inyección de sello por debajo de las losas en zonas socavadas.

Es importante señalar que en la preparación de la gráfica para del caso 1, se colocó la carga directamente sobre una de las orillas de la sobrecarpeta, y sobre una grieta en el pavimento existente. La gráfica del caso 3 representa al caso en que el pavimento existente esta libre de agrietamientos. La del caso 2 corresponde a una interpolación de los dos casos anteriores. Los espesores resultantes son para el caso de que no existan acotamientos ligados a la superficie de rodamiento. Cuando estos se construyan, con espesores mínimos de 15 cm, podrá reducirse el espesor de losas principales obtenidas de las gráficas del orden de 2.5 cm, ver fig.8.

#### *Espesor de sobrecarpetas*

Como primer paso se recomienda obtener el espesor de un nuevo pavimento con la metodología de la PCA (Portland Cement Association), para que haya congruencia. También podrá utilizarse el método de la AASHTO. Como es de suponer, será necesario conocer con la mayor precisión posible el tráfico de diseño. Para determinar el espesor del pavimento "nuevo", se utilizarán las mismas condiciones de apoyo del pavimento existente. Así, de manera resumida se deberá conocer:

# EJEMPLO DE CURVAS TÍPICAS DE DISEÑO SOBRECARPETAS DE CONCRETO: CASO 1

ESPESOR DEL PAVIMENTO EXISTENTE, CM.

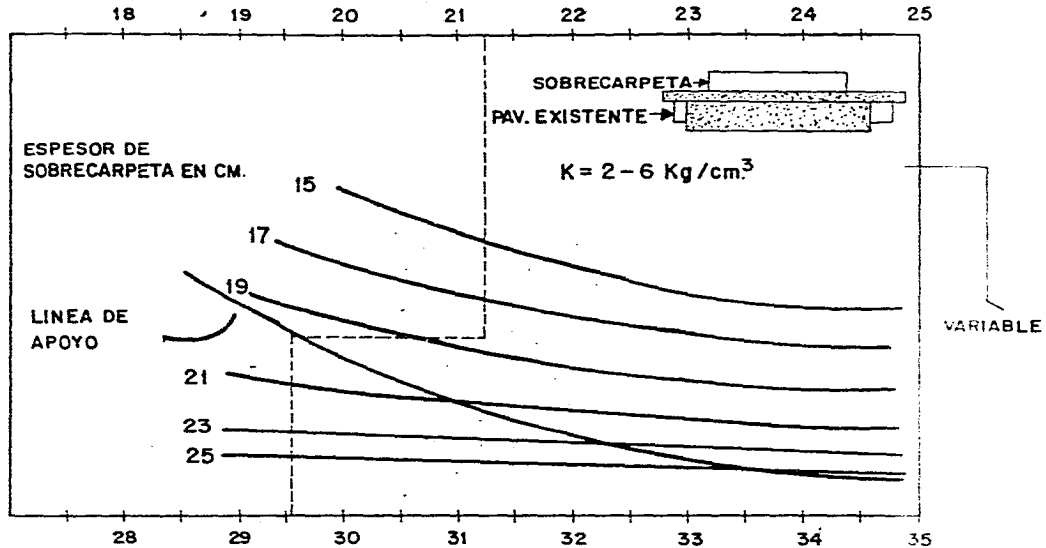


fig. 8

ESPESOR DE DISEÑO DE PAVIMENTO NUEVO (sección total)

- . Resistencia del concreto a emplear
- . Condiciones de apoyo de diseño (módulo de reacción de la capa subrasante o del terreno natural de apoyo)
- . Trafico de diseño (calcularlo tomando distribución vehicular y tasas de crecimiento reales, para un periodo de diseño)

Basándose en las condiciones físicas existentes en el pavimento, vamos a la tabla correspondiente, caso 1 a 3. Nótese por ejemplo que para el caso 1 el espesor mínimo de sobrecarpeta es de 16 cm (6"), no se recomienda espesores menores.

A manera de ejemplo, a continuación se presenta dos tablas mostrando valores  $h_{ol}$ , para los casos del método PCA y el del Cuerpo de Ingenieros. En este último caso se utilizó  $c = 0.35, 0.60$  y  $0.80$ :

**Espesores representativos de sobrecarpeta, PCA.**

Espesor de sobrecarpeta, $h_{ol}$ , en cm				
$h_n$ , en cm	$t_{ef}$ , en cm	Caso 1	Caso 2	Caso 3
20	20	17.5	(15.2)	(15.2)
	17.8	18.3	15.2	15.2
	15	19.3	17.3	15.2
25	23	22.9	17.8	(15.2)
	20	23.4	19.8	15.2
	17.8	23.9	22.4	20.32
30.5	23	29.2	26.4	22.9
	20	29.7	27.4	25.4
	17.8	30	28.5	27.4

**Espesores de sobrecarpeta determinados según la ecuación del CIUSA**

Espesor de sobrecarpeta, hol, en cm.				
hn, en cm	tef, en cm	C = 0.35	C = 0.60	C = 0.80
20	20	16.5	(15.2)	(15.2)
	17.8	17.3	(15.2)	(15.2)
	15	18.3	16.5	15.2
25	23	21.6	18.3	15.2
	20	21.6	20	17.5
	17.8	23.0	21.3	19.8
30.5	23	27.4	24.9	22.6
	20	28.0	26.2	24.4
	17.8	28.7	27.2	25.9

Nótese que los casos 1, 2 y 3 tienen buena relación con los valores determinados por medio de la ecuación del CIUSA, tabla inferior, para valores de C de 0.3 a 0.5, 0.5 a 0.70, y de 0.7 a 0.90, respectivamente.

***Sobrecarpetas de Concreto Ligadas:*** se utiliza cuando los daños en pavimento existente no son muy pronunciados o críticos. Se utilizan cuando es necesario reforzar una sección dada para un tráfico futuro previamente calculado.

**Concepto básico de diseño:** al igual que en el caso anterior, el procedimiento se fundamenta en que un pavimento existente que funciona como capa base, más la sobrecarpeta, es estructuralmente equivalente a un pavimento nuevo, ambos para un mismo tráfico de futuro. Ello implica que el pavimento reencarpetao tendrá una vida de servicio equivalente a que si se hubiese construido un pavimento nuevo. La diferencia respecto al caso de sobrecarpeta desligada es la localización de los esfuerzos críticos de orilla que se comparan en ambos casos: reencarpetao y nuevo. En el primer caso se comparaba el esfuerzo desarrollado en la base del pavimento nuevo-sección completa-con el desarrollado en la base de la sobrecarpeta. En este caso se comparan ahora los esfuerzos desarrollados en el lecho inferior de las losas, en ambos casos, **ver fig. 9.**

Los esfuerzos críticos normalizados en el conjunto losa existente-sobrecarpeta son iguales o menores a los desarrollados en un pavimento nuevo, para iguales condiciones de apoyo. La normalización se hace respecto a la resistencia a la flexión,  $M_r$ . Con respecto a la fig. anterior, los parámetros requeridos para ambos pavimentos, nuevo y reencarpetaos, son:

Resistencia a la flexión de diseño

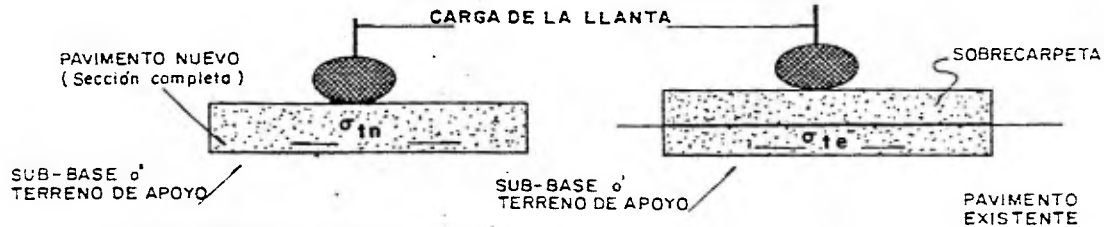
Esfuerzos de tensión críticos,  $\sigma_{2a}$  y  $\sigma_{1a}$ .

Para los esfuerzos críticos tanto en el pavimento existente, así como el nuevo, de sección completa, se requiere conocer el módulo de elasticidad de los concretos. En este enfoque se utilizó un programa de computo (JSLAB ) utilizando elementos finitos para las condiciones de carga en las orillas, en pavimento nuevo y en pavimento reforzado o reencarpetao, a fin de determinar los esfuerzos de tensión críticos. Con estos análisis se prepararon cartas de diseño para un cierto rango de valores de  $M_r$ , de los módulos de elasticidad,  $E_c$ :



fig. 9

## CONCEPTO DE EQUIVALENCIA DE ESFUERZOS SOBRECARPETAS LIGADAS



### CONDICION BASICA:

EL conjunto pavimento existente sobrecarpeta es estructuralmente equivalente a una sección completa de pavimento (nuevo). Ambas estructuras resisten el tráfico proyectado a futuro. Se cumple:

$$\frac{\sigma_{te}}{Mr(e)} < \frac{\sigma_{tn}}{Mr(n)}$$

$\sigma_{tn}$  = esfuerzo crítico en la orilla, en pavimento nuevo (sección total)

$Mr(e)$  = resistencia a la flexión del pavimento existente

$\sigma_{te}$  = esfuerzo crítico en la illa, sobrecarpeta

$Mr(n)$  = resistencia a la flexión de sección completa (nuevo)

$E_c$  (pavimento nuevo) =  $281.3$  a  $351.3 \times 10^3$  kg/cm<sup>2</sup>

$M_r$  (pavimento nuevo) =  $42$  -  $46$  kg/cm<sup>2</sup>

En la siguiente figura aparecen gráficas de diseño para los siguientes rangos de parámetros:

1. Resistencia a la flexión del pavimento existente =  $30$  -  $33.4$  kg/cm<sup>2</sup>
2. Resistencia a la flexión del pavimento existente =  $33.4$  -  $37$  kg/cm<sup>2</sup>
3. Resistencia a la flexión del pavimento existente =  $37$  -  $40.5$  kg/cm<sup>2</sup>

Para la preparación de estas gráficas ver fig. 10, se utilizó el módulo de elasticidad  $E_c = D.M_r$ . El valor  $M_r$  en PSI, y el valor de correlación  $D$  en el rango de  $6000$  a  $7000$ . Nótese que las cartas de diseño se prepararon solo para el rango de  $M_r$  entre  $30$  y  $40.5$  kg/cm<sup>2</sup>. Para valores menores de  $M_r = 30$  kg/cm<sup>2</sup> los espesores teóricos de sobrecarpeta ligada son excesivos, y no se garantiza su empleo. También, con valores tan bajos de  $M_r$  es muy posible que el pavimento esté seriamente deteriorado, de manera que ya no sea recomendable un reencarpetao ligado, sino que ya una colocación directa de la capa de refuerzo sobre el pavimento existente.

Para el caso en que  $M_r$  sea mayor a  $40.5$  kg/cm<sup>2</sup>, entonces el espesor de la sobrecarpeta será la diferencia entre el pavimento nuevo o de sección completa y la del pavimento existente, más cualquier profundidad de fresado, "desbastado" o escarificado.

Es importante señalar que el máximo espesor ligado es de  $12.5$  cm ( $5''$ ), y si requiere un mayor espesor, deberá decidirse por una capa colocada directamente sobre la superficie dañada existente. No se recomiendan espesores ligados menores de  $5$  cm.

# EJEMPLO DE CARTA DE DISEÑO SOBRECARPETAS LIGADAS

ESPEJOR TOTAL EXISTENTE Y SOBRECARPETA cm.

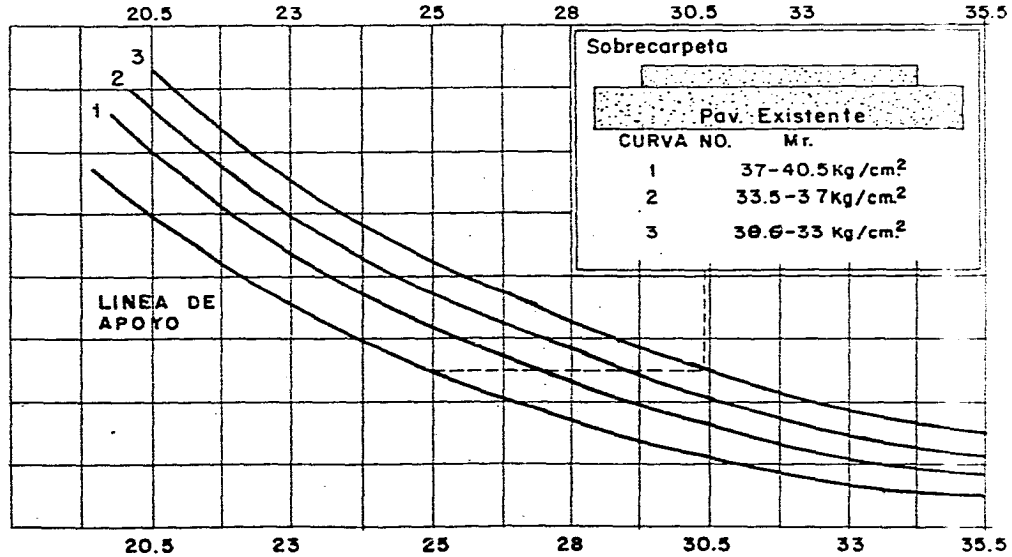


fig.10 ESPEJOR DE PAVIMENTO SECCION COMPLETA cm.

## **EJEMPLO DE APLICACION**

### **METODO DE LA PCA (Portland Cement Association)**

#### **Parámetros del pavimento existente**

Espesor del pavimento existente después del fresado = 7.5" (19 cm)

Resistencia promedio a la prueba brasileña = 430 lb/pulg<sup>2</sup> (30.2 kg/cm<sup>2</sup>)

Desviación estándar de la resistencia en la prueba brasileña, S = 50 lb/pulg<sup>2</sup>  
(3.5 kg/cm<sup>2</sup>)

#### **Parámetros del pavimento nuevo**

Espesor de diseño: 10 pulgadas, (25 cm)

Resistencia a la flexión de diseño, Mr = 600 lb/pulg<sup>2</sup>, (42.2 kg/cm<sup>2</sup>)

Módulo de elasticidad del concreto, E = 4 x 10<sup>6</sup>, (281.3 x 10<sup>5</sup>, kg/cm<sup>2</sup>)

Módulo de reacción de diseño, k = 100 lb/pulg<sup>3</sup>, (2.7 kg/cm<sup>3</sup>)

#### **Determinación del Mr de diseño:**

Aplicando la ecuación:  $f_{te} = f_t - 1.65 S$

Resistencia efectiva a la tensión indirecta = 430 - 1.65 (50) = 358 lb/pulg<sup>2</sup>

Aplicando Mr = A.B. fte

Mr = 1.45(0.9)(358), empleando un factor de regresión A = 1.45

Utilizando la gráfica correspondiente a CARPETAS LIGADAS se obtiene el espesor total es de  $h_n = 11.5"$

El espesor de la sobrecarpeta de refuerzo será:

$$h_{ol} = h_n - h_{ef}$$

$$h_{ol} = 11.5 - 7.50 = 4.0 \text{ in (10 cm)}$$

**CAPITULO V**

**ESTUDIO DE UN PROBLEMA REAL  
DONDE SE APLICA UNA  
SOBRECARPETA**

## **V.- ESTUDIO DE UN PROBLEMA REAL DONDE SE APLICA UNA SOBRECARPETA**

Nuestro sistema de caminos y calles en México está compuesto predominantemente por pavimentos flexibles con carpeta asfáltica, los cuales requieren de altos costos de mantenimiento continuo. La acción combinada del tráfico y los escurrimientos pluviales producen daños que pueden variar desde la destrucción parcial o total de la superficie de rodamiento, hasta el deterioro de las capas subyacentes con la consecuente pérdida de la capacidad estructural del pavimento. Este problema se ve acentuado en las intersecciones de calles o cruceros donde se localizan semáforos.

La limitada vida útil observada en los pavimentos flexibles, además de generar inconformidad ciudadana y el rechazo hacia los mismos, ha dado lugar a costosos programas de mantenimiento continuo para reintegrar a nuestro sistema niveles aceptables en sus condiciones de resistencia y de servicio; esta situación actual restringe la aplicación de recursos presupuestales para la construcción de nuevos caminos.

Los métodos tradicionales empleados en México para la rehabilitación de pavimentos flexibles, han consistido desde el bacheo y riegos de sello hasta la reconstrucción de la carpeta asfáltica, reiniciándose con ello el ciclo de mantenimiento. Es un hecho conocido y comprobado empíricamente que los métodos tradicionales de mantenimiento proporcionan una limitada vida útil a los pavimentos flexibles, y no resuelven el problema de los altos costos requeridos para su mantenimiento.

### **V.I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los pavimentos flexibles con carpeta asfáltica exhiben una limitada vida útil al ser sometidos a la acción combinada del tráfico y escurrimientos pluviales. Los métodos tradicionales de mantenimiento y rehabilitación han demostrado una clara limitación para extender la vida útil de los pavimentos flexibles y reducir significativamente los

gastos en su mantenimiento. Atendiendo a la situación anterior, resulta obvia la necesidad de buscar y aplicar nuevos métodos de rehabilitación que coadyuven a resolver el presente problema.

En la búsqueda de métodos alternativos para rehabilitar pavimentos flexibles, se han desarrollado y probado técnicas más eficientes que los métodos tradicionales; a continuación se describen dos de ellas.

La técnica de rehabilitación de pavimentos de asfalto, mediante la colocación de una sobrelosa de concreto hidráulico se conoce como "Whitetopping" (WT). Esta técnica se ha utilizado desde 1944 en Estados Unidos y Europa para la rehabilitación de aeropistas, carreteras y calles urbanas, con excelentes resultados (Ver ref. bibliográfica 1, 2 y 3); los espesores de las losas de concreto varían de los 15 a los 25 cms. Esto es lo que se puede denominar WT-convencional.

Recientemente (Ver ref. bibliográfica 4 y 5), se han utilizado losas delgadas con espesores de 2 a 3'2" con buenos resultados. Esto es lo que podemos llamar WT-delgado.

Un ejemplo de esta técnica es el tramo experimental de WT-delgado construido en 1991, en Louisville, Kentucky (Ver ref. bibliográfica 4), el cual tiene las siguientes particularidades:

1. La carpeta asfáltica se rebajó hasta un espesor de aproximadamente 4"
2. El hecho de rebajar la carpeta asfáltica dejó el agregado grueso superficialmente expuesto, por lo cual es de esperarse que pueda desarrollarse adherencia significativa entre el concreto fresco y la carpeta asfáltica; esta posible adherencia entre ambas capas resulta en un trabajo conjunto que puede reducir los esfuerzos de tensión máximos en la losa de concreto. Esta hipótesis se discute analíticamente en la ref. bibliográfica (4)

3. El tamaño de los tableros formados en el tramo experimentalmente fue de 180 x 180 cms. y 3 1/2" de espesor, así como de 180 x 180 cms. y 60 x 60 cms., de 2" de espesor. En todos los casos los tableros se formaron con cortadoras de concreto.

La respuesta observada hasta el presente del tramo antes descrito es muy buena; habiéndose presentado únicamente fallas de esquina en algunos de los tableros de 180 x 180 cms. y 2" de espesor.

## **V.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

Considerando que el WT-delgado es una solución alternativa para rehabilitar nuestro sistema de caminos y calles dañadas, en el presente proyecto de investigación se decidió construir un tramo experimental.

En relación con el problema inicialmente descrito, en esta investigación se plantean los siguientes objetivos:

### **A. Objetivo General.**

Desarrollar tecnología propia que nos permita, a través de resultados teóricos y experimentales, identificar nuevas áreas de oportunidad para rehabilitar pavimentos de asfalto existentes y construir en México pavimentos de concreto durables y de bajo costo.

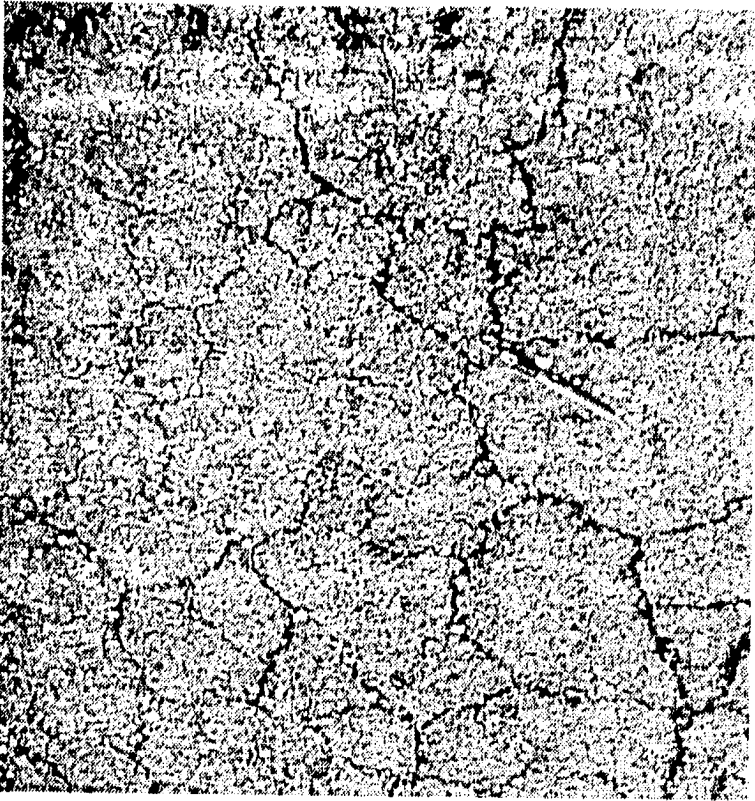
### **B. Objetivos Particulares.**

Determinar el estado de esfuerzos producido por tráfico urbano típico en tableros de 90 x 90 cms. y 2 1/2" de espesor, y en tableros de 120 x 120 cms. y de 180 x 180 cms. y 3 1/2" de espesor, con el propósito de estimar su resistencia potencial a la fatiga producida por el paso de vehículos.





La gran mayoría de caminos y calles compuestas predominantemente de asfalto, requieren de un mantenimiento continuo; financiar esto, debilita la capacidad económica de cualquier departamento de obras viales e imposibilita la aplicación de recursos presupuestales para ampliar el sistema. En la fotografía se puede apreciar el tramo de pavimento de asfalto que habrá de confinarse, para facilitar la ejecución de los trabajos en la construcción de la losa delgada de concreto, (foto CEMEX).



Las sobrelosas de concreto son una buena alternativa para restablecer los índices de servicio de los pavimentos de asfalto. Sus resultados han sido exitosos para extender de 15 a 20 años la vida útil de pavimentos dañados eliminando prácticamente el mantenimiento. En la fotografía se puede observar con mayor detalle los daños presentes en la zona de estudio; aquí se puede apreciar la magnitud de las grietas (del tipo "piel de cocodrilo"), probablemente ocasionadas por cargas excesivas de tráfico y escurrimientos pluviales, (foto CEMEX).

### V.3. METODOLOGIA

#### A. Introducción.

Con el propósito de evaluar la factibilidad técnica del WT-delgado como alternativa de rehabilitación para pavimentos flexibles, se decidió construir un tramo experimental el cual estaría sujeto a la acción de tráfico urbano típico. Para el diseño del experimento fue necesario considerar los siguientes aspectos relevantes:

1. Los pavimentos urbanos construidos en México tienen carpetas asfálticas cuyos espesores varían de 4 a 6 cms.
2. Por razones económicas y técnicas se decidió no rebajar la carpeta asfáltica existente, con la consecuente disminución de la posible adherencia esperada entre el concreto fresco y la carpeta asfáltica.
3. Por razones de mínimo costo, las juntas transversales se construyeron mediante el hincado de cintas plásticas de 1" de ancho; las longitudinales se hicieron con herramientas de corte.

Para la construcción del tramo experimental se seleccionó una calle de una zona urbana de la ciudad de Tijuana, B.C., la cual tiene un volumen de tráfico de 2,100 vehículos por hora; el pavimento existente está compuesto por una carpeta asfáltica de 5 cms. de espesor, y una base de 20 cms. de espesor con un VRS = 50% apoyada sobre terreno natural previamente escarificado y compactado al 90% en sus primeros 20 cms. La calle tiene una pendiente natural del 5%, y ha estado continuamente sujeta a trabajos de bacheo; pudiendo observarse también patrones de agrietamiento en las roderas y zonas donde el agua y aceites han atacado el asfalto de la carpeta.



El proyecto WHITETOPPING Tijuana, tubo dos etapas de estudio: a) Construcción del tramo. B) Observación del comportamiento del tramo bajo la acción del tráfico urbano (prueba de carga). Para construir este elemento se deben hacer las preparaciones pertinentes en el pavimento existente; en la fotografía se puede apreciar la única preparación previa que se llevo acabo en la zona, esta consistió en dejarla libre de polvo, mediante el lavado y cepillado, con agua. Esto con el fin de mejorar la adherencia entre el concreto y la carpeta de asfalto existente, (foto CEMEX).

## B. Diseño del Experimento.

De acuerdo con los objetivos del presente estudio, en el diseño del experimento se incluyeron los factores y la variable de respuesta que a continuación se indican:

### FACTORES

1. Espesor de la losa de concreto

$h_i = [2\frac{1}{2}; 3\frac{1}{2}]$  pulgadas

2. Separación de juntas en ambas direcciones

$S_j = [90; 120; 180]$  cms.

### VARIABLE DE RESPUESTA

1. Estado de esfuerzos máximos producido por vehículos de diferente peso. (peso )

Dado el número de niveles de cada uno de los factores anteriores, resultan un total de seis combinaciones de tratamientos; sin embargo por razones de tiempo y costo, se seleccionaron únicamente las tres combinaciones siguientes:

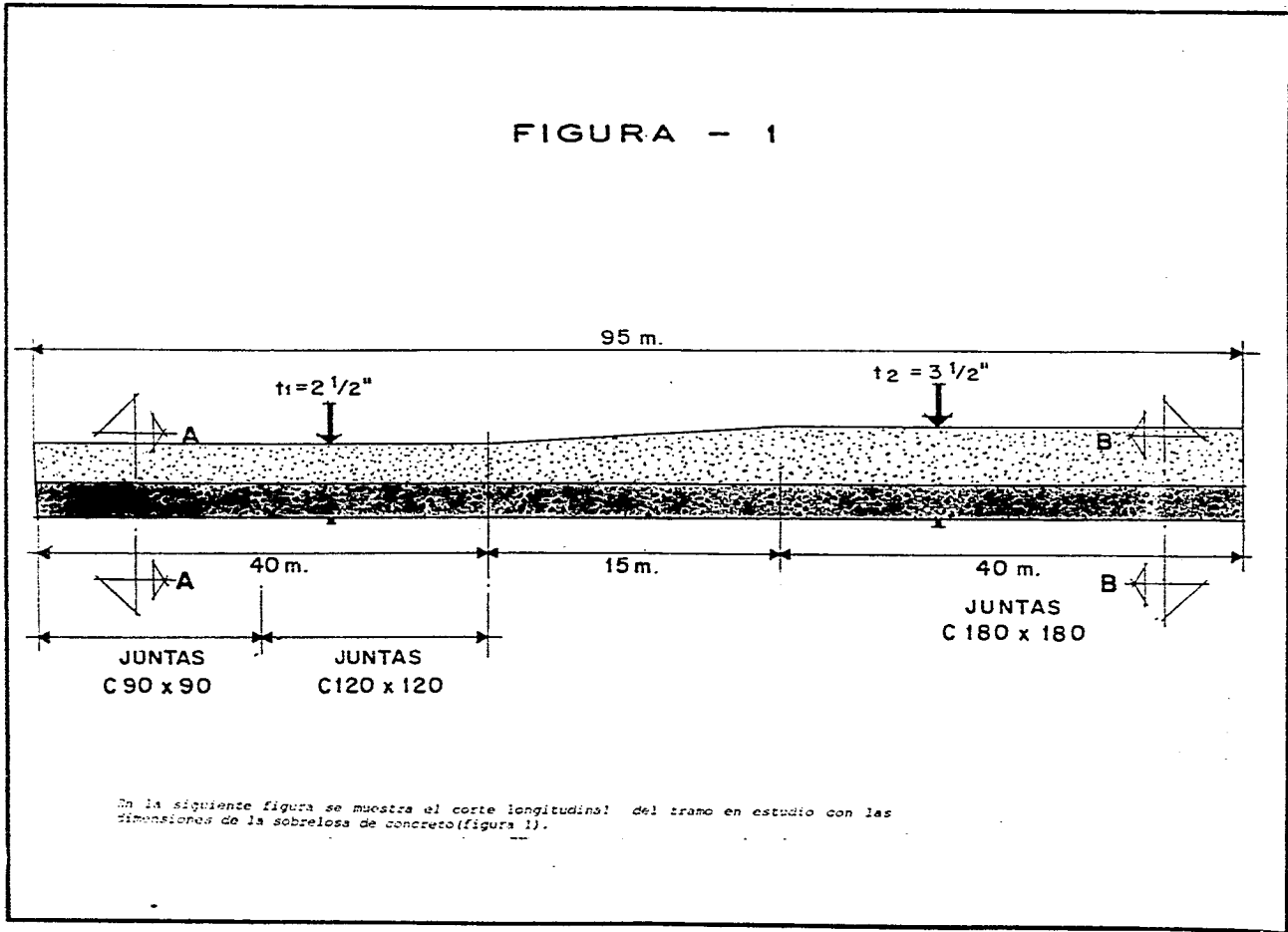
Tablero T I : 90 x 90 cms. y espesor 2 $\frac{1}{2}$ "

Tablero T II : 120 x 120 cms. y espesor 3 $\frac{1}{2}$ "

Tablero T III : 180 x 180 cms. y espesor 3 $\frac{1}{2}$ "

La geometría de la calle seleccionada, así como los detalles de la sobrelosa de concreto con sus espesores variables y la distribución de juntas, se indican en las secciones longitudinal y transversal mostradas en las figuras (1) y (2).

FIGURA - 1



En la siguiente figura se muestra el corte longitudinal del tramo en estudio con las dimensiones de la sobrelasa de concreto (figura 1).

### C. Instrumentación

Con el propósito de determinar el estado de deformaciones unitarias en cada uno de los tableros seleccionados, estos fueron instrumentados en tres puntos: centro, borde y esquina. En cada uno de estos puntos, los tableros fueron instrumentados con extensómetros eléctricos en las caras superior e inferior de la losa de concreto.

Una vez que fueron colocados los extensómetros y sus alambres conectores, estos fueron debidamente protegidos para evitar la penetración de humedad presente en la mezcla de concreto fresco, y otras perturbaciones esperadas durante el proceso constructivo.

Las mediciones de deformaciones unitarias al momento de cargar los tableros instrumentados, se hicieron mediante la conexión de los extensómetros a un puente digital con veinte canales disponibles.

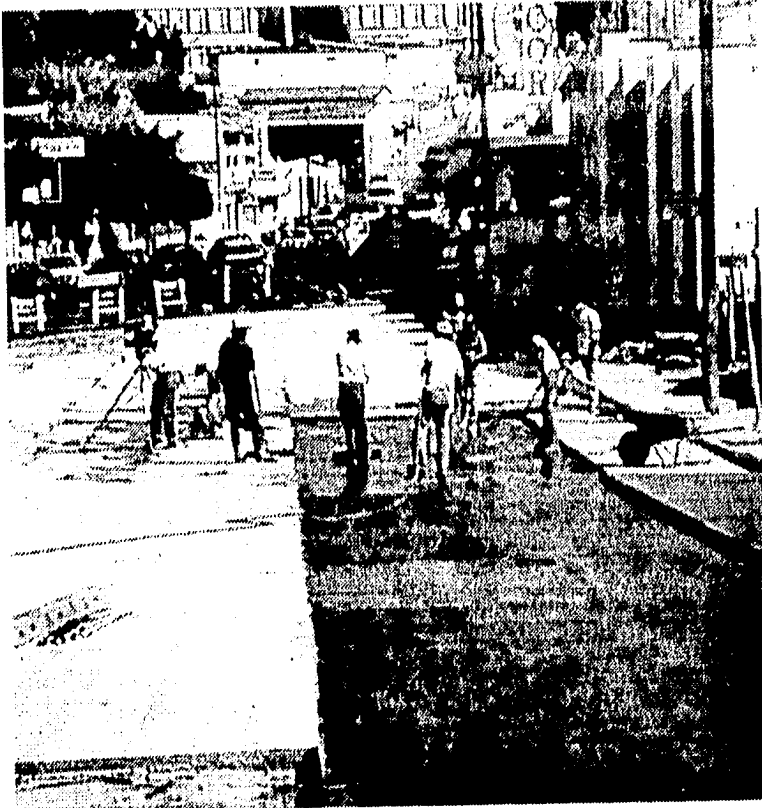
Los extremos de los cables conectores de todo el sistema de medición se dejaron protegidos en dos cajas metálicas selladas y ahogadas en la losa de concreto, se hizo esto con el propósito de tomar lecturas a largo plazo para estimar el posible daño acumulativo producido por el paso de vehículos.

### D. Construcción del Tramo Experimental

Previo a la construcción de losa de concreto se lavó con agua toda la superficie de la carpeta asfáltica; esto se hizo con el fin de retirar polvos y otras sustancias que pueden reducir la posible adherencia entre el concreto fresco y la carpeta asfáltica y sus agregados expuestos. Después del lavado de la calle, se cimbraron las vialidades según la geometría que se muestra en las figuras (1) y (2).

La mezcla de concreto que se usó para la construcción de la losa, tenía las siguientes características:

- Módulo de ruptura a una edad de 28 días:  $MR = 50 \text{ kg/cm}^2$
- Tamaño máximo  $3/8''$



En la siguiente fotografía podemos apreciar con mayor detalle los trabajos previos a la colocación del concreto. Se puede observar también, una brigada de topografía verificando los niveles de la carpeta de rodamiento con respecto al nivel real de la localidad, (foto CEMEX).



- Revenimiento : 8 +/- 2 cms
- Fibra de polipropileno : 900 gr/m<sup>3</sup>
- Aditivo reductor de agua : 322 N

La losa se construyó usando una regla vibratoria, y siguiendo todas las operaciones convencionales para la construcción de pavimentos de concreto. Las juntas transversales se construyeron mediante el hincado en el concreto fresco de juntas plásticas de 1" de ancho, espaciadas a 180, 120 y 90 cms. según el diseño propuesto para el tramo experimental. Las juntas longitudinales se cortaron al día siguiente con una profundidad de una pulgada; dado que las vialidades tenían un ancho de 3.60 m, los tableros de 180, 120 y 90 cms. se formaron mediante uno , dos o tres cortes longitudinales, respectivamente.

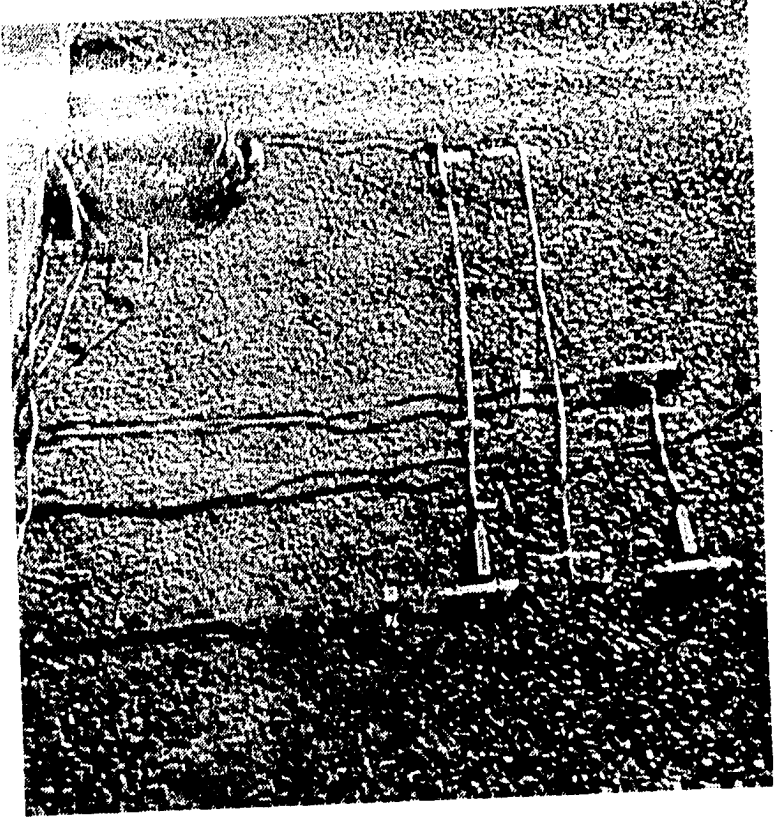
En todo el tramo se utilizó una membrana de curado de color blanco con el fin de reflejar los rayos solares y reducir así la cantidad de calor absorbido por la losa de concreto.

#### E. Prueba de Carga

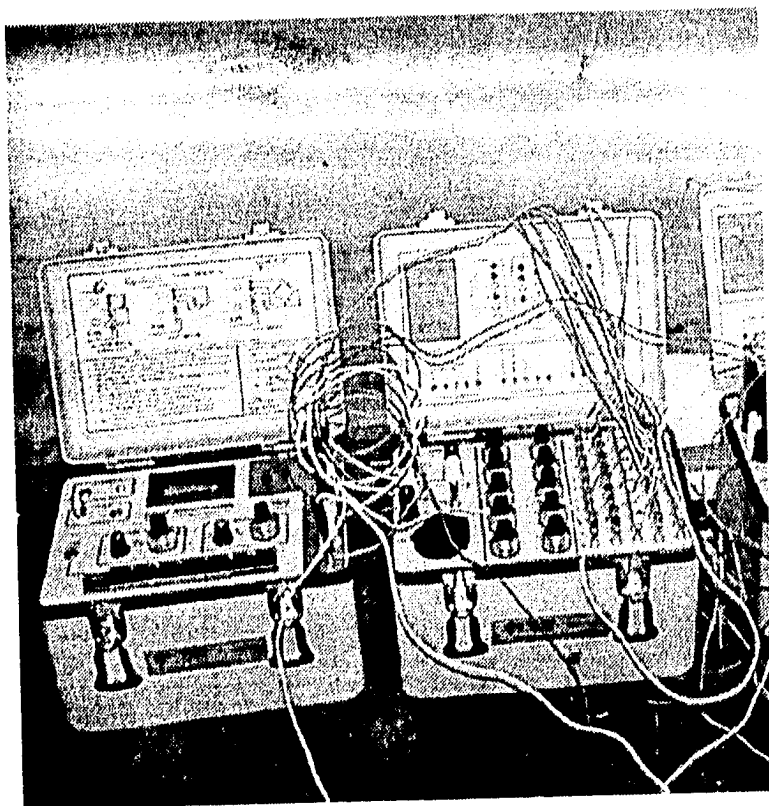
Una semana después de construida la sección del tramo con los tableros instrumentados en su cara inferior, se procedió a colocar los extensómetros en la superficie de los mismos; inmediatamente después de lo cual se realizó la prueba de carga.

La prueba de carga se llevó a cabo cargando cada uno de los tableros instrumentados, utilizando vehículos representativos del tráfico urbano típico. El tráfico urbano se caracterizó mediante los cuatro tipos de vehículos siguientes:

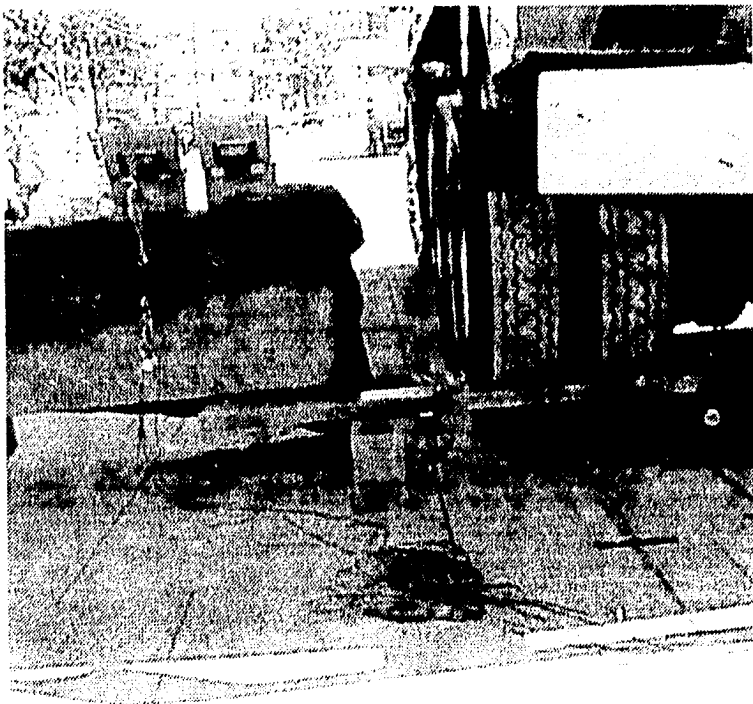
1. Un automóvil
2. Un camión repartidor de refrescos
3. Una pipa de PEMEX
4. Un trailer cargado



a) Colocación de los extensómetros



b) Tablero digital donde se registran las mediciones



c) Tablero digital registrando las deformaciones impuestas por el trailer y la pipa PEMEX

Antes de la prueba cada uno de los vehículos fueron cargados y pesados en una báscula; la secuencia de aplicación de carga fue creciente, empezando con el automóvil y terminando con el trailer cargado con 32 tons. de cemento. Después de colocar cada vehículo en la posición, se procedió a tomar lecturas de deformaciones unitarias en todos los extensómetros, utilizando un puente digital.

En la tabla I se presenta el resumen correspondiente a las deformaciones unitarias máximas a tensión medidas en cada tablero, independientemente de la posición de la carga. Estos resultados representan la envolvente de los valores máximos que fueron registrados. Como podrá observarse en la tabla I, las deformaciones unitarias máximas a tensión producidas en el tablero T I por todos los vehículos, excepto el trailer, fueron relativamente pequeñas; por ello, se decidió modificar el criterio de carga y los tableros T II y T III fueron cargados únicamente con el trailer colocado en diferentes posiciones.

#### F. Análisis e Interpretación de Resultados

Para poder interpretar los resultados de la Tabla I en términos de la resistencia potencial de los tableros e la fatiga producida por el paso de vehículos, se calcularon los esfuerzos de tensión correspondientes; se descartó la alternativa de estimar el Módulo de Young del concreto ( $E_c$ ) mediante la expresión recomendada por el Comité ACI 318 (Ver ref. Bibliográfica 6), y en cambio se decidió determinar experimentalmente el valor de  $E_c$ .

La determinación directa del módulo de elasticidad del concreto en flexión ( $E_c$ ), se hizo utilizando dos vigas de 15 x 15 x 50 cms. fabricadas con la misma mezcla de concreto con que se construyó la sección instrumentada. Cada una de las vigas se instrumentó con dos extensómetros eléctricos, colocados uno en la cara de compresión y otro en la cara de tensión de las mismas; las vigas instrumentadas se sometieron a ensayos de flexión a la misma edad del concreto cuando se realizó la prueba de carga en el campo. De los ensayos de flexión se obtuvieron la relación



d) Losa de concreto sometida a la carga producida por el trailer cargado de bultos de cemento

La acción de los vehículos sobre la losa de cemento de 2' x 2' se puede registrar con los aparatos presentados en las fotografías antes expuestas (a y b). Este aparato provisto de extensómetros eléctricos, proporcionaron las deformaciones unitarias al momento de cargar los tableros instrumentados. En la fotografía se muestran como fueron colocados los dispositivos (a) y la conexión de los extensómetros a un puente digital con veinte canales disponibles (b). (foto CEMEX).

esfuerzo - deformación y el módulo de ruptura (MR) de cada una de las vigas: los resultados se indican en la figura 4.

A una edad de 12 días, el módulo de ruptura promedio del concreto fue de  $MR = 29.4 \text{ kg/cm}^2$  y el módulo de elasticidad promedio fue de  $E_c = 2.30 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ .

El módulo de ruptura del concreto a una edad de 28 días fue de  $48 \text{ kg/cm}^2$ ; sin embargo, para propósitos del análisis de resultados supondremos conservadoramente un módulo de ruptura  $MR = 45 \text{ kg/cm}^2$ , para tomar en consideración posibles deficiencias constructivas durante el manejo de la mezcla en el campo.

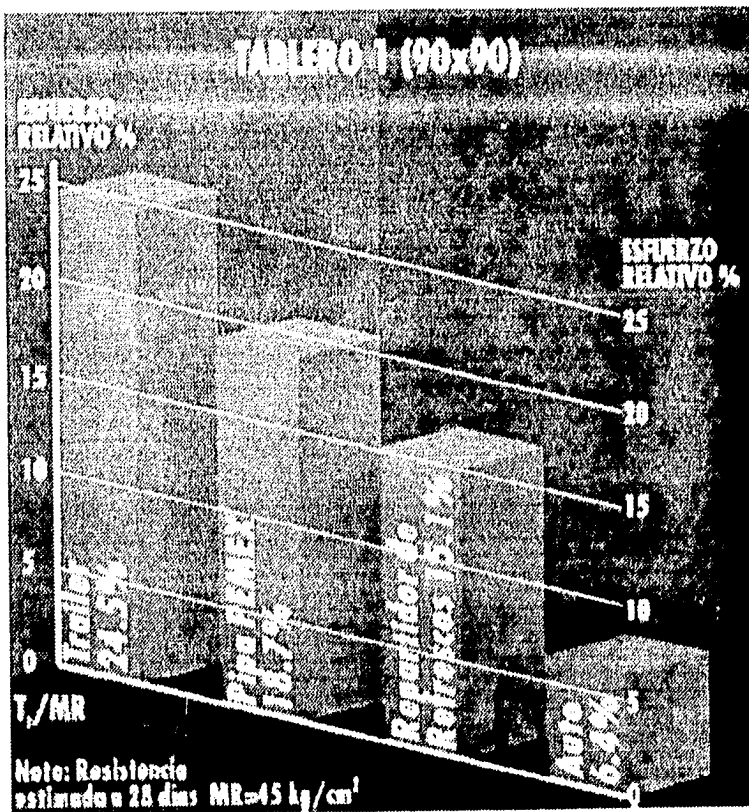
Los esfuerzos de tensión máximos producidos por diferentes vehículos en el tablero T I  $90 \times 90 \text{ cms.}$  y espesor  $2\frac{1}{2}"$ , expresados como un porcentaje de la resistencia última del concreto a flexión, se muestran en la figura (5).

En la figura (6) se muestra el esfuerzo relativo máximo en tensión, producido en cada uno de los tableros T I, T II y T III por la carga correspondiente al trailer cargado.

En las figuras (7.a) y (7.b) se muestran los perfiles de deformaciones unitarias para el tablero T I, cuando este es sometido secuencialmente a las cargas producidas por los cuatro tipos de vehículos.

Las condiciones de rugosidad inicial y limpieza con que quedó la carpeta asfáltica después del lavado superficial, aparentemente permiten que se desarrolle una adherencia mínima que sí contribuye a reducir los esfuerzos de tensión máximos en el concreto bajo la acción de cargas pequeñas (automóviles); sin embargo, a medida que aumenta el peso de los vehículos (pipa y trailer) esta adherencia parece romperse y es la losa de concreto quien tiene que soportar el estado de esfuerzos producido por los mismos.

De acuerdo con los resultados mostrados (Ver ref. bibliográfica 7 y 8), dado que los porcentajes de esfuerzos producidos por cualquiera de los vehículos en los tableros T I, T II y T III son inferiores a 45%, esto es indicativo de que teóricamente cualquiera de ellos puede soportar un número infinito de aplicaciones de cargas. Interpretado lo anterior en términos de durabilidad, puede afirmarse que la losa de concreto tendrá



Como era de esperarse, a pesar del pequeño espesor (2 1/2"), la sobrelosa de concreto es capaz de soportar con amplios márgenes de seguridad cualesquiera de las cargas debidas al trafico urbano típico. En la figura se observan los resultados del estudio, (foto CEMEX).

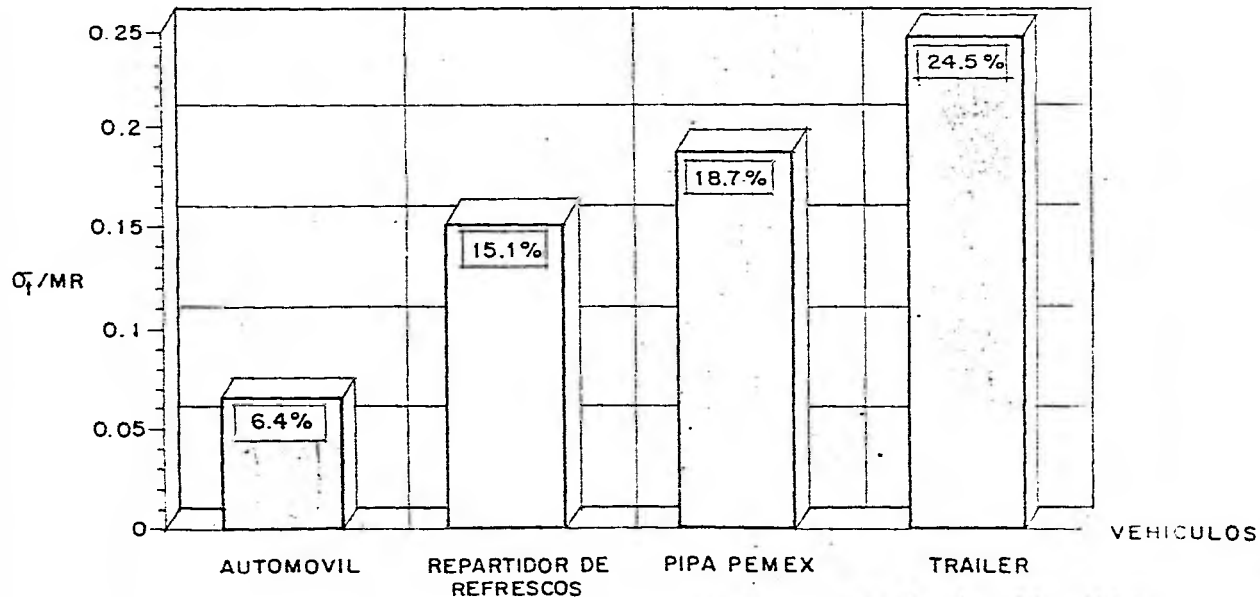


FIGURA - 5  
RESUMEN DE RESULTADOS

TABLERO 1

(90 x 90)

ESFUERZO  
RELATIVO

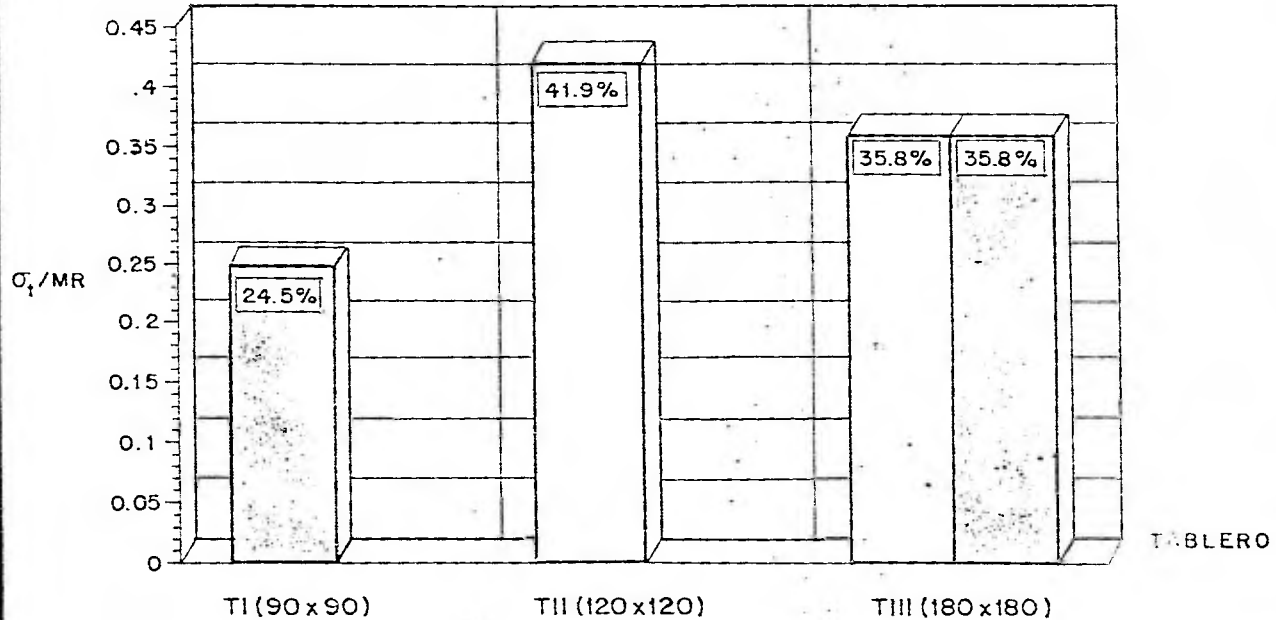


Nota: Resistencia estimada a 28 dias MR = 45 Kg./cm<sup>2</sup>

Esfuerzos de relativo obtenidos  
producidos por los diferentes  
vehiculos, expresados en porcentaje  
de la resistencia ultima del concreto a 28 dias  
Kg/cm<sup>2</sup>.

FIGURA - 6  
RESUMEN DE RESULTADOS  
TRAILER

ESFUERZO  
RELATIVO



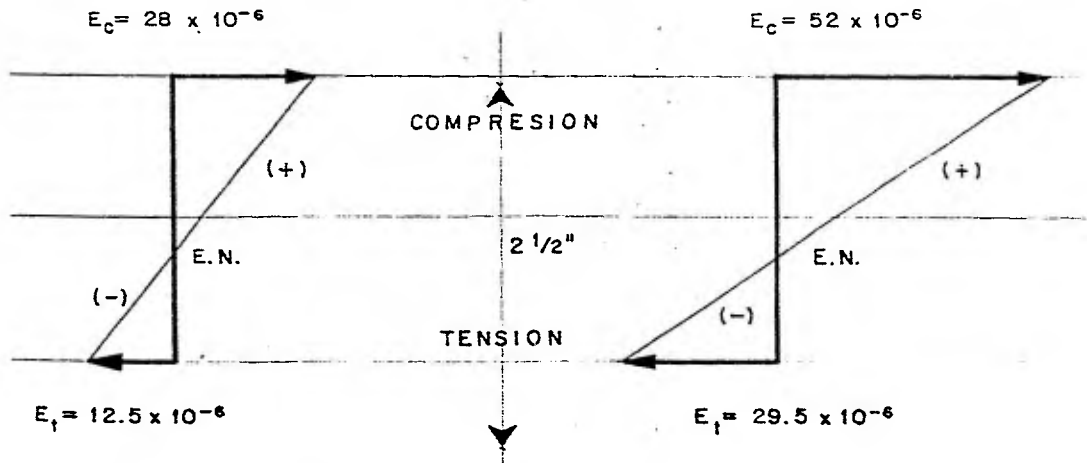
NOTA: Resistencia estimada a 28 dias  $MR = 45 \text{ Kg./cm}^2$

Esfuerzo relativo máximo  
tension producido por el trailer  
en TI, TII Y TIII.

FIGURA - 7.a  
**PERFIL DE DEFORMACIONES UNITARIAS**  
 TABLERO 1

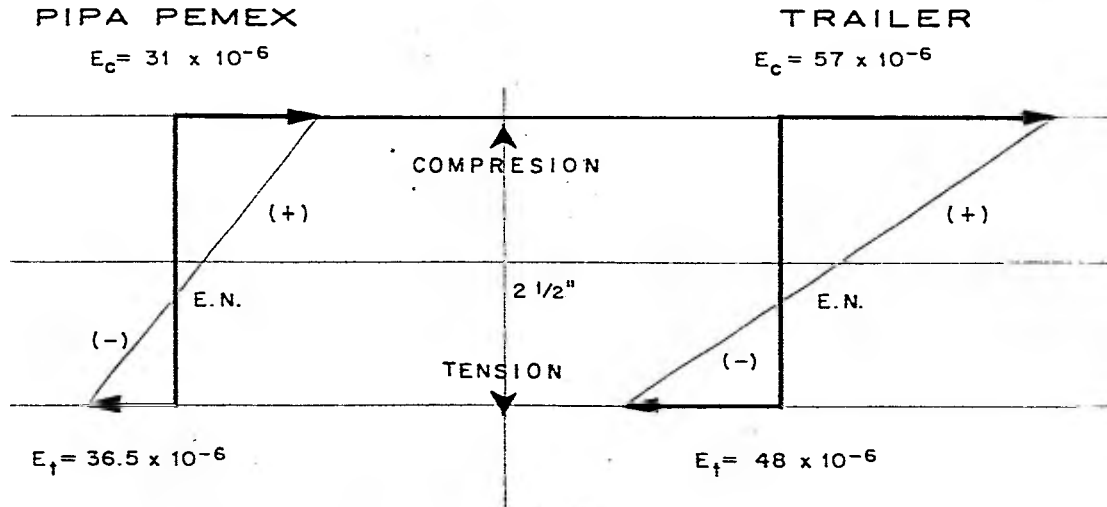
AUTOMOVIL

REPARTIDOR DE REFRESCOS



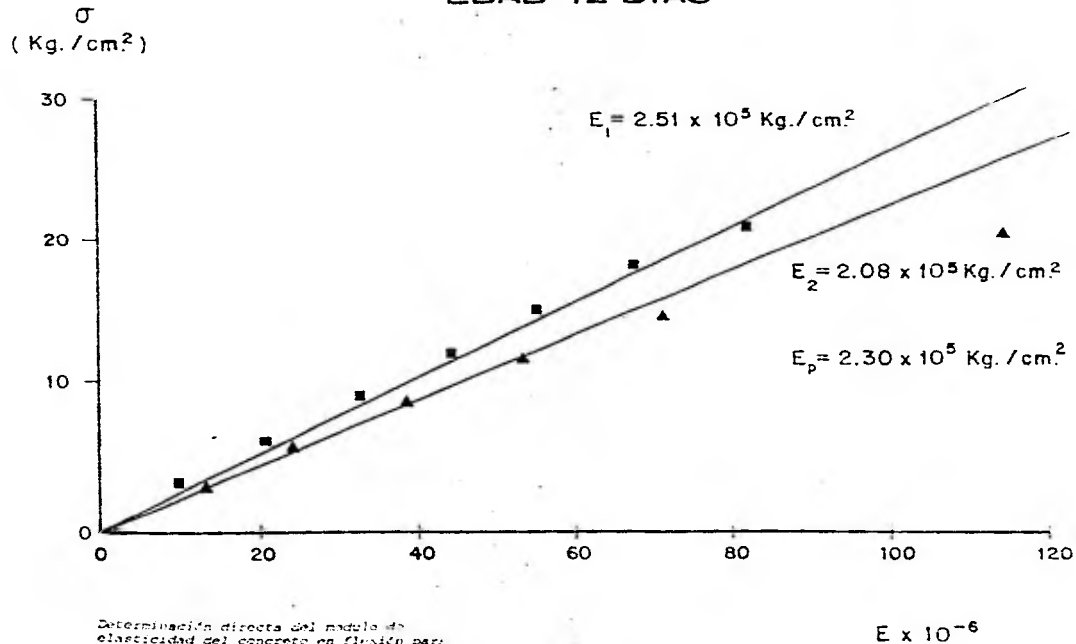
*Perfiles que nos indican las deformaciones unitarias que se presentan al sujetar el tablero T1 a las cargas previstas por los cuatro vehículos. Obsérvese que a medida que aumenta el peso del vehículo (papa y trailer) la adherencia de lospa y el acero soporta el estado de esfuerzos en la losa de concreto.*

FIGURA - 7.b  
**PERFIL DE DEFORMACIONES UNITARIAS**  
 TABLERO 1



*Perfiles que nos indican las deformaciones unitarias que se presentan al someter el Tablero T1 a las cargas producidas por los cuatro vehiculos. Obsérvese que a medida que aumenta el peso del vehiculo (pipa y trailer) la adherencia se rompe y quien soporta el estado de esfuerzos es la losa de concreto.*

**FIGURA 4**  
**RELACION ESFUERZO DEFORMACION**  
**RESISTENCIA A FLEXION**  
**EDAD 12 DIAS**



Determinación directa del módulo de elasticidad del concreto en flexión para interpretar los resultados de la tabla 1. Se obtuvo un  $2046 \text{ kg/cm}^2$ .

una larga vida útil en excelentes condiciones de servicio y con un costo mínimo de mantenimiento.

#### **V.4. CONCLUSIONES**

El propósito del presente proyecto de investigación fue evaluarla factibilidad técnica de WT-delgado como alternativa de rehabilitación de pavimentos flexibles; para ello, se decidió construir un tramo experimental instrumentado.

Dadas las condiciones en que se desarrolló el experimento, y a partir de los resultados obtenidos en el mismo, pueden plantearse las siguientes conclusiones:

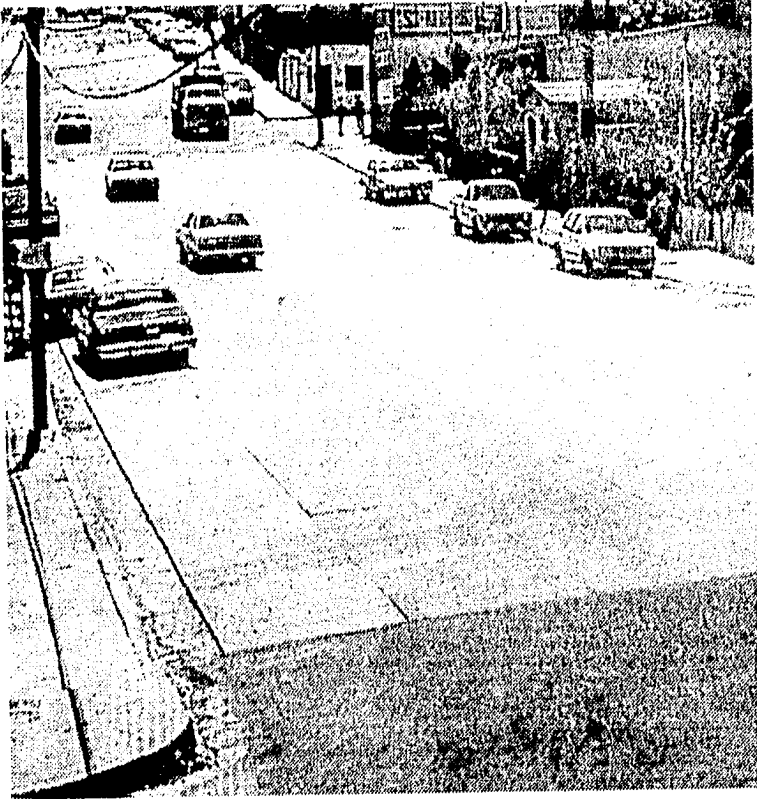
A. El estado de esfuerzos producido por tráfico urbano en losas delgadas de concreto es de una magnitud tal, que esta técnica de rehabilitación permite extender significativamente la vida útil de los pavimentos flexibles, conservándolos en excelentes condiciones de servicio con mantenimiento mínimo.

B. Por la adherencia mínima observada entre el concreto y el asfalto, y su posterior reducción o eliminación bajo tráfico pesado, se infiere que esta técnica se puede aplicar a carpetas asfálticas que exhiban agrietamiento superficial; esto será válido siempre que las capas subyacentes tengan una adecuada capacidad portante.

C. Dado que la prueba de carga se realizó en condiciones estáticas, los resultados obtenidos en esta investigación deben considerarse como un límite inferior de los valores esperados bajo sollicitaciones dinámicas.

**TABLA I**  
**RESUMEN DE RESULTADOS**  
 DEFORMACIONES UNITARIAS Ex10<sup>-6</sup>

Vehículo / Tablero	Automóvil	Repartidor Refrescos	PIPA PEMEX	TRAILER	Observaciones
I	+8 (B - B <sub>2</sub> )	+20 (B - B <sub>2</sub> )	+30 (B - B <sub>2</sub> )	+48 (B - B <sub>2</sub> )	
II	---	---	---	+83 (B - B <sub>1</sub> )	
III	---	+40 (B - A <sub>2</sub> )	---	+70 (B - A <sub>2</sub> )	UN EJE
				+70 (U - A <sub>2</sub> )	DOS EJES



La losa de concreto terminada se muestra como lo indica la fotografía. Una vez rehabilitado el pavimento con el fin de medir su capacidad incrementada para soportar tráfico, este se sometió a las cargas producidas por un automóvil, un camión repartidor de refrescos, una pipa PEMEX y un trailer cargado, (foto CEMEX).





En la presente fotografia se puede observar otra vista de la calle donde se aplico el estudio, ya restablecido el trafico vehicular (foto CEMEX).



En la presente fotografía se presenta un panorama mayor de la calle reconstruida, ya restablecido el tráfico vehicular (foto CEMEX).

**CAPITULO VI**

**CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**

## VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. El concreto se ha utilizado en México amplia y profusamente en obras de todo tipo. Con este material arquitectos e ingenieros han concebido y construido un sinnúmero de edificaciones con los usos más diversos, hospitales, estadios, puentes, escuelas, viviendas, así como obras de infraestructura que incluyen obras de demasías y cortinas de presas, canales, túneles, muelles, pistas y calles de rodaje en aeropuertos y vialidades casi exclusivamente urbanas.

En lo referente a obras viales, la utilización del concreto ha sido prácticamente nula en carreteras interurbanas pero, muy abundante en avenidas y calles citadinas y en muchos bulevares de acceso a ciudades, frecuentemente sujetos a tránsito interurbano intenso. A este respecto, caben muchas reflexiones preliminares pero, en este momento, quisiéramos señalar únicamente una de ellas. Al inaugurar una avenida puramente urbana con pavimento de concreto, suele afrontarse un período de tiempo importante en el que por una u otra razón sea preciso romperlo para corregir problemas de drenaje, conectar casas y edificios a diversos servicios, etc. Todo ello suele causar que el impecable y duradero pavimento original aparezca posteriormente parchado y demeritado. Se antoja pensar que un pavimento provisional de tipo asfáltico de horizonte temporal bajo y por ende barato, hubiese sido un buen prólogo a la utilización de un flamante y duradero pavimento de concreto.

De cualquier modo, puede afirmarse entonces que el uso del concreto hidráulico por la ingeniería y el gremio constructor del país, no ha representado en el pasado y tampoco parece representarlo en el presente, ningún problema tecnológico. Es decir, ante la evidencia de multitud de obras a lo largo y ancho del país, ni la producción de agregados pétreos, o la disponibilidad de cemento de calidad, la capacidad técnica para el diseño de la mezcla, la disponibilidad de aditivos que se haya juzgado necesario utilizar, el aprendizaje, adaptación o creación de procedimientos constructivos han sido limitantes u obstáculos al proyecto, uso y aprovechamiento del concreto como material básico en el desarrollo de las obras nacionales.

Hay que reconocer, sin embargo, que los equipos de fabricación y colocación del concreto en sus diversas variantes han evolucionado más allá de los comúnmente ocupados en el país, evolución derivada principalmente de desarrollos de la ingeniería mecánica que brinda alternativas de ejecución de trabajos en concreto hidráulico con mejor calidad de "terminados" y mayor eficiencia económica, considerando plazos suficientes para amortizar las inversiones que representan su adquisición. A este respecto creemos que se presenta en el país un típico círculo vicioso: las empresas especializadas en la construcción de carreteras no tienen la última palabra en equipos para pavimentos de concreto y ello, precisamente porque no hay pavimentos de concreto que prestigien la solución. De cualquier forma estos acontecimientos no demeritan la importancia que tiene o que pudiera tener el concreto, en las obras viales.

II. De esta manera, podríamos decir sin temor a equivocarnos, que la utilización de concreto, en la rehabilitación de los Pavimentos, daría resultados excelentes. Estas mejoras proporcionarían cualidades cercanas a las de un pavimento nuevo (claro esta, con las debidas reservas del caso), pues se diseñan sobre esa base. Recientemente se están empleando estas técnicas con mucho éxito; se aplican recubrimientos con losas de espesores relativamente pequeños (Sobrecarpetas), empleados sobre pavimentos asfálticos en operación previa. Este tipo de pavimento mixto puede tener interesantes campos de aplicación, si bien no puede pensarse en ellos como una solución de utilización general. La condición es obviamente que la sección estructural previamente existente no sea deformable a un grado tal que la capa de recubrimiento sufra un agrietamiento prematuro.

Dado que en la fabricación del concreto y en el diseño de las sobrecarpetas intervienen muchos factores que determinan su calidad y durabilidad esperada, es de vital importancia hacer las consideraciones pertinentes en el momento de utilizar los parámetros de diseño de los diferentes métodos, así como apegarse a las especificaciones cuando se ejecutan los trabajos. Para el diseño, en cada caso específico de sobrelosa o sobrecarpeta, recomendamos apoyarse en los métodos ya

descritos en la presente tesis ( PCA, AASHTO), pues son los mas reconocidos y poseen la gran ventaja, de diseñar a la sobrecarpeta como un pavimento nuevo, con la salvedad de que ahora se toma en cuenta la vida remanente (V.R.) de la estructura existente, para que sirva como cimentación al nuevo elemento.

Se sabe por experiencia (Ver ref. bibliográfica 16), que los pavimentos que fallan por mala construcción representan el 55%, por malos diseños un 25% y por un pésimo mantenimiento un 20%; de esta manera es importante enfatizar que las fallas se presentan con mayor regularidad, por mala ejecución de los trabajos. Así pues es recomendable calcular el espesor de la sobrecarpeta o pavimento de concreto apegados a los diferentes métodos ya antes descritos, empero la ejecución de los trabajos se debe hacer con mayor cuidado, respetando las indicaciones del diseñador, las de el laboratorio de suelos y la opinión de ingenieros con experiencia en pavimentos. Se debe tener muy en cuenta que los procedimientos de construcción son esenciales para toda sobrecarpeta o pavimento de concreto ya sea para una autopista como para una calle vecinal. Los mismos principios se aplican por igual, desde la obra de pavimentado al 100% con equipo mecánico sofisticado hasta una obra pequeña desarrollada con implementos manuales. También en el aspecto constructivo de una sobrelosa o pavimento de concreto, cave destacar la importancia de algunas actividades que indiscutiblemente determinan la durabilidad de la obra. Tal es el caso del "junteado y bordeado" para evitar fisuras o grietas, o la utilización del "curado" inmediatamente después de haber "colado", para asegurar la continua hidratación del cemento que fomenta el desarrollo de la resistencia del concreto; de igual manera el papel que cumple "el sellado de las juntas", que nos evita el asentamiento, el agrietamiento y en consecuencia la ruptura del elemento. Cuando los procedimientos de construcción son ejecutados con propiedad, los resultados serán satisfactorios. Recordemos que una calle con carpeta de rodamiento de concreto tiene la gran ventaja de que prácticamente no tiene mantenimiento.

III. El concreto constituye una solución completa y, para fines prácticos, definitiva, para el problema planteado por los pavimentos carreteros. A juicio de nosotros el, principal enemigo sería el que es común a muchas de las obras que se construyen en México. Este enemigo es el subdiseño, al que pretende justificarse en aras de un costo inicial mínimo, al que se aspira aduciendo las múltiples necesidades de la nación. Este criterio, llevado a ultranza, conduce a obras de conservación cara y excesivamente frecuente en acciones, pero sobre todo, a una operación defectuosa, con importantes sobrecostos que gravan a la nación durante toda la vida útil de las obras (interrupciones del tránsito, incremento de riesgos de accidentes debido a lo anterior, incremento acumulativo de tiempos de viaje, sobrecostos directos de operación vehicular por el estado superficial deficiente y sobrecostos económicos debidos a una menor confiabilidad en el transporte).

No está de más repetir que si se considera unitario el costo de construcción de una carretera, el costo de conservación en cuarenta años de vida útil puede llegar a ser diez, pero el de operación en el mismo lapso se mide en cientos. Desde nuestro punto de vista, librado el subdiseño como enemigo, con un costo puramente marginal dentro del total de unos pocos centímetros en el espesor de la losa y un poco de cuidado supletorio en sus suelos de apoyo, puede llegarse a una solución duradera y estable

Obviamente, si logra erradicarse el fantasma del subdiseño en aras del costo de construcción mínimo, el pavimento asfáltico también constituye una solución y ha sido la universalmente seguida por México en su red carretera y ello ha sido seguramente acertado por dos razones. Primero, porque México, país petrolero, era importante productor de asfalto y el modelo económico nacional era proclive a proporcionar ese asfalto que resultaba de 2 a 2.5 veces más baratos que el concreto. Segundo, porque las intensidades de tránsito que tenían las carreteras mexicanas (y en gran medida aún tienen) hacían la solución del pavimento asfáltico perfectamente compatible con los requerimientos. Si los pavimentos asfálticos empiezan a tener hoy ominosos detractores que los desprestigian, debemos preguntarnos si ello se debe a características esenciales de la solución misma o a que hayamos caído en el pecado del subdiseño

atrás mencionado (cabe la reflexión reiterativa de si una política de costo inicial mínimo no llegará también a desprestigiar con la misma injusticia a los pavimentos de concreto). A juicio de nosotros, la cuestión no es satanizar un tipo de solución en beneficio de la otra. Ambas son buenas si se hacen bien y malas si existen subdiseños.

Hoy, la mayor parte de los especialistas en carreteras opina que apartir de ciertos niveles de tránsito en número y peso, los pavimentos asfálticos empiezan a ser intrínsecamente desconfiables. Se mencionan cifras del orden de 12 a 15,000 vehículos diarios con porcentaje importante de vehículos pesados, como límites arriba de los cuales la mayor resistencia y durabilidad de los pavimentos de concreto los hacen ya, quizá, indispensables. No se ignora que ciertos elementos de las tecnologías modernas (georedes, geomallas, técnicas especiales de subdrenaje, uso de materiales terrenos y pétreos fabricados en planta y otras) pueden extender algo el horizonte de los pavimentos asfálticos, pero se considera razonable pensar que hay un límite por arriba del cual deben pensarse en pavimentos de concreto no sólo como solución alternativa, sino probablemente como inevitable. En México, las estadísticas en aforos en el tránsito pesado son desusadamente altas (porcentajes del 30% o más de camiones de carga son usuales en los caminos más transitados).

La gran confrontación de los pavimentos asfálticos y los pavimentos de concreto ha terminado en todas partes por ser una competencia formal en dos terrenos, el económico y el de suministros.

Aún en los países petroleros, si el asfalto no se subvenciona y se proporciona a precio internacional, la relación de costo en el pavimento asfáltico y el de concreto, se reduce enormemente en relación a los valores atrás mencionados. De hecho, en países no petroleros, esta relación puede llegar a cambiar de signo, lo que es significativo. Otro factor a considerar es el desarrollo petroquímico que puede señalar utilidades ulteriores del asfalto aún provechosas.

El problema de los suministros se centra evidentemente en la disponibilidad de asfalto y cemento. En estos terrenos, como en todos los demás que se refieren a la construcción



de carreteras, parece que lo importante es señalar políticas claras fundamentadas en informaciones fehacientes, hasta donde el futuro pueda ser desentrañado.

IV. Nosotros estamos ciertos que la preferencia de un sistema de pavimentación sobre otro, no puede ser objeto de moda o preferencia subjetiva. Debe responder claramente a una política técnico-económica clara y consistente, necesariamente basada en los dos aspectos contrastantes que en párrafos anteriores se han señalado: el económico y el de suministros. La técnica pura no suele excluir alguna de las dos soluciones en forma tajante en cualquier análisis razonable; sin embargo, hay casos en que la prudencia lleva a inclinarse definitivamente por alguna de ellas.

Algunos casos los podemos encontrar ,de esta manera:

- En México es muy frecuente que se construya un camino para un tránsito modesto que represente un elemento generador de riqueza nacional aún incipiente, pero que ese camino se desarrolle exitosamente en ambos conceptos.

Un razonable criterio de manejo de inversiones diferidas, por cierto frecuentemente utilizados, hace que a lo largo de los años esa carretera haya de sufrir refuerzos, rectificaciones de trazo y modernizaciones en lo general, que harían altamente desaconsejable la utilización prematura de carácter tan definitivo y difícil de modificar como un pavimento de concreto. Esos deberán seguir siendo probablemente casos típicos de pavimentos asfálticos.

- En el otro extremo, carreteras de alto tránsito y con alto porcentaje de vehículos pesados deberían beneficiarse, sea en la construcción inicial o sea aprovechando la coyuntura de una modernización definitiva, de los pavimentos de concreto, mucho menos demandadores de conservación frecuente y más capaces de sostener un índice de servicio adecuado durante largos periodos de tiempo, con mínimas inversiones.

- Existen casos en carreteras o en otras obras relacionadas con el transporte en donde prácticamente no es factible pensar en la posibilidad de actuar con frecuencia en la superficie de rodamiento, sin caer en auténticos desastres operativos. Tal es el caso de muchos patios de maniobra, de terminales de carga y pasajeros, de explanadas operativas en puertos, de tramos carreteros conectados a grandes puentes, por ejemplo internacionales, bulevares de entrada a ciudades, etc. Todos estos casos, más los que pudieran ocurrirse, se benefician extraordinariamente de sólidos y duraderos pavimentos de concreto, mucho menos demandadores de acciones continuas de regeneración de la superficie de rodamiento.

- La utilización de concreto rodillado ha sido exitosa en muchos casos, extendiéndose inclusive hacia los caminos de tránsito menor, o utilizándose como capas incorporadas a la sección estructural de pavimentos asfálticos.

- Los asfaltos son más proclives a ser atacados por elementos que los oxidan o los degradan. Las plataformas de los aeropuertos constituyen un caso típico, como lo son también ciertas intersecciones en zonas urbanas, productoras de frecuentes paradas y arranques de vehículos.

- Muchas autoridades en la materia piensan que los pisos de los túneles han de ser necesariamente de concreto, por no ser aceptable el mantenimiento frecuente, por obtener ventaja de reducción de gálibos y por menor peligrosidad en casos de incendio.

- El pavimento asfáltico resulta más favorable para muchos por comodidad de marcha y, luego lo es, desde el punto de vista de ruido, en la vecindad de hospitales, recintos universitarios y otros lugares.

- Se ha mencionado que la política de energéticos favorece al pavimento de concreto sobre el asfáltico, quizá no tanto por el proceso industrial en sí mismo, cuanto porque

parece probado que el rodamiento sobre un pavimento rígido produce menor consumo de combustible en los vehículos.

La enumeración anterior no debe interpretarse como una preferencia de nosotros por un tipo de pavimento. No hay que decir que la situación común de la red de carreteras sigue en México aceptando cualquiera de las dos soluciones, en la gran mayoría de los proyectos.

V. Al margen de todas las consideraciones anteriores, creemos nosotros que para definir una política nacional consistente en lo relativo a la comparación de ambos sistemas, expertos en áreas que ya no son de vialidad ni de transporte deben omitir su opinión pues esa opinión puede afectar tanto al problema de comparación económica como al de suministros. Algunas interrogantes surgen, tales como:

- La evolución del precio de asfalto en el futuro contemplable y las posibilidades de la petroquímica para obtener de ese material beneficios ulteriores. También convendría una visión realista sobre la posibilidad de obtener las calidades necesarias.

- La capacidad nacional de producir cemento y la conveniencia de dedicar ese cemento a obras viales. En el caso de que por exportación o dedicación a otros usos la capacidad nacional de disponer de cemento se viera en entre dicho, habría que definir la posibilidad de obtenerlo ventajosamente en el extranjero.

Nosotros no creemos que haya un criterio general que de primacia a un sistema de pavimentación sobre otro, salvo en algunos casos específicos, algunos de los cuales se mencionaron. La comparación de costos totales y el problema de la conservación seguirá siendo el paradigma económico para muchas decisiones. Las posibilidades de suministro de ambos materiales deberán ser estudiadas por los distintos expertos, así como la probable evolución de su precio. Sin embargo, parece absolutamente fuera de duda que la red carretera mexicana ha llegado a una situación en la que la falta casi total de pavimentos de concreto implica una desventaja altamente cuestionable.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1)NHCRP Synthesis of Highway Practice No. 99, "Resurfacing with Portland Cement Concrete", Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1982.
- 2)Schnoor, C.F., Reiner, E. J., "Portland Cement Concrete Overlays of Existing Asphaltic Concrete Secondary Roads in Iowa", Transportation Research Record 702, Washington, D.C., 1979.
- 3)Lokken, E.C., "Concrete Overlays for Concrete and Asphalt Pavements", Proceedings, 2nd. International Conference on Concrete Pavement Design, Purdue University, 1981.
- 4)Risser, R. J., LaHue, S.P., Voigt, G. F., Mack, J. W. "Ultra-thin Concrete Overlays on Existing Asphalt Pavement", Proceedings, 5th. International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, 1993.
- 5)Pettersson, O., Silfwerbrand, J., "Thin Concrete Overlays on Old Asphalt Roads", Proceedings, 5th. International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, 1993.
- 6)American Concrete Institute, "Building Code Requirements ACI 318-89", Detroit, Michigan, 1989.
- 7)Yoder, E. J., Witczak, M. W., "Principles of Pavement Design", De. John Wiley and Sons, 1975.
- 8)Portland Cement Association, "Thickness Design for Concrete Highways and street Pavements", EB109P, 1984.
- 9)"AASHTO", "Maintenance Manual", American Association of State Highway and Transportation officials, Washington, D.C.(1976).
- 10)Federal Highway Administration, "Pavement Rehabilitation Manual", Pavement Division, Office of Highway Operations, Washington, D.C.(Versión actual).

- Darter, M.I. Barenberg, E. J., and Yrjanson, W.A., "Joint Repair For Portland Cement Concrete Pavements," NCHRP Report No. 281, Transportation Research Board 1985
- "Techniques for Pavements Rehabilitation", Training Course Participants Notes, National Highway Institute, Federal Highway Administration, 3d Edition, 1987.
- Snyder, M.B., Reiter, M.J., Hall, K.T. and Darter, M.I., "Rehabilitation Techniques," Report No FHWARD-88-071, Federal Highway Administration, 1989.
- 11) AASHTO Guide For the Design Of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials., 1993.
  - 12) Vespa, J.W., Hall, K.T., Darter, M.I., and Hall, J.P., "Performance of Resurfacing of JRCP and CRCP on the Illinois Interstate Highway System", Illinois Highway Research Report No 517-5, Federal Highway Administration Report No FHWA- IL-UI229, 1990.
  - 13) Darter, M.I., Elliot, R.P., and Hall, K.T., "Revision of the AASHTO Pavement Overlay Design Procedures, Appendix: Overlay Design Examples," NCHRP Project 20-7/Task 39, Final Report, April 1992.
  - 14) Dartel, M.I., Barenberg, E.J., and Yrjanson, W.a., "Joint Repair Methods For Portland Cement Concrete Pavements", NCHRP Report No281, Transportation Research Board, 1985.
  - 15) Ruiz Taviel José Manuel , "Ingeniería de Construcción Pesada" (enfoque empresarial) , Editorial Addison- Wesley Iberoamericana, S.A. , Wilmington, Delaware, E.U.A. , 1992.
  - 16) Moncayo V. Jesús , "Manual de Pavimentos", Cia. Editorial Continental S.A.deC.V., México, 1987.
  - 17) Olivera Bustamante, Fernando "Estructuración de Vías Terrestres" , Editorial CECSA, México D.F., 1986.

- 18) Rico Rodríguez Alfonso, Del Castillo Hermilo "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres " Volumen I,II, Editorial Limusa , México D.F. 1982.
- 19) "Diseño y Control de Mezclas de Concreto" Fondo Editorial IMCYC, México , D.F., 1992.
- 20) Arq. Gustavo G. Méndez Fregoso, "Pavimentos de Concreto" (Procedimientos para autoconstrucción.), Fondo editorial IMCYC., México D.F. 1992
- 21) Yoder, E.J. : "Ciclo de conferencias", Segundo Simposio Colombiano de Pavimentos. Popayan, Colombia 1977, Tercer Simposio Colombiano de Pavimentos, Armenia, Colombia ,1979.
- 22) Hudson, McCoullough: "Conferencia sobre pavimentos asfálticos", México, 1977 y 1978.
- 23) Alfonso Rico Rodríguez, "Entorno al uso del concreto hidráulico en la red carretera nacional" , Tercer Congreso Nacional de Concreto, México 1994.
- 24) José Antonio Tena Colunga "Empleo de pavimentos de concreto presforzado como alternativa de rehabilitación de carreteras de asfalto" Tercer Congreso Nacional de Concreto, México 1994.
- 25) Marco A. Salcedo Guerrero "Rehabilitación de Pavimentos Flexibles Mediante Losas delgadas de Concreto" . Tercer Congreso Nacional de Concreto, México 1994.
- 26) Jose Antonio Nieto "Mitos y realidades de los Pavimentos de Concreto" Tercer Congreso Nacional de Concreto, Mexico 1994.

**ANEXO 1**  
**GRAFICAS DE DISEÑO**  
**CRITERIO DE LA PCA**



# CARTA DE DISEÑO PARA EL CASO N<sup>o</sup>. 1 DEL PAVIMENTO EXISTENTE.

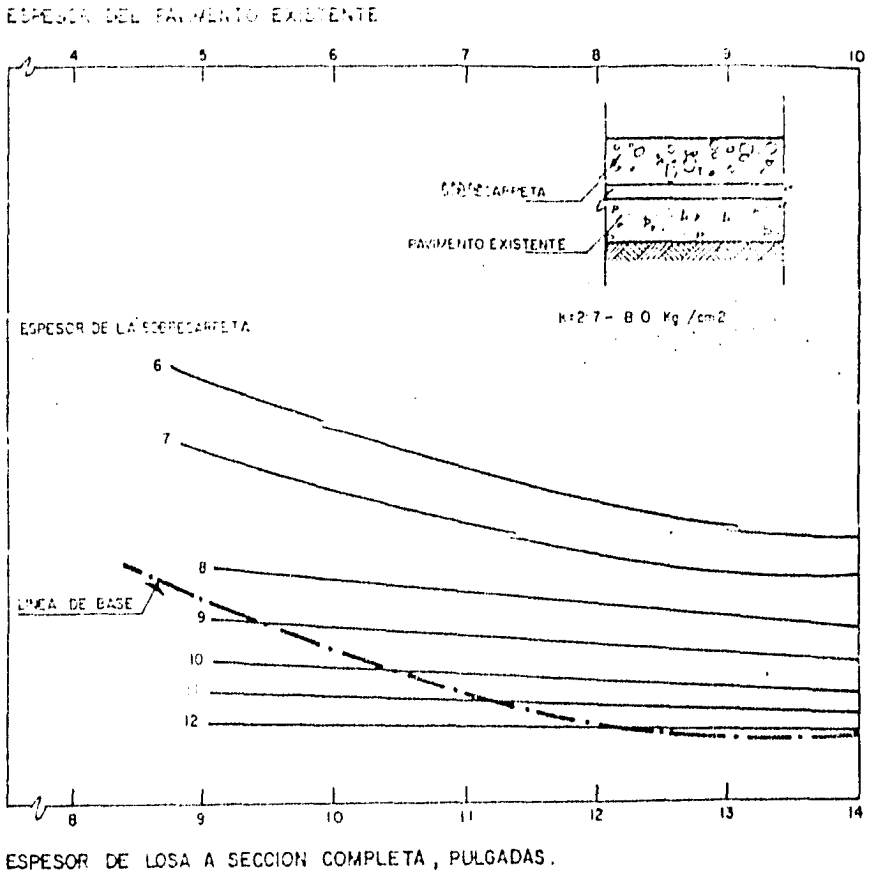
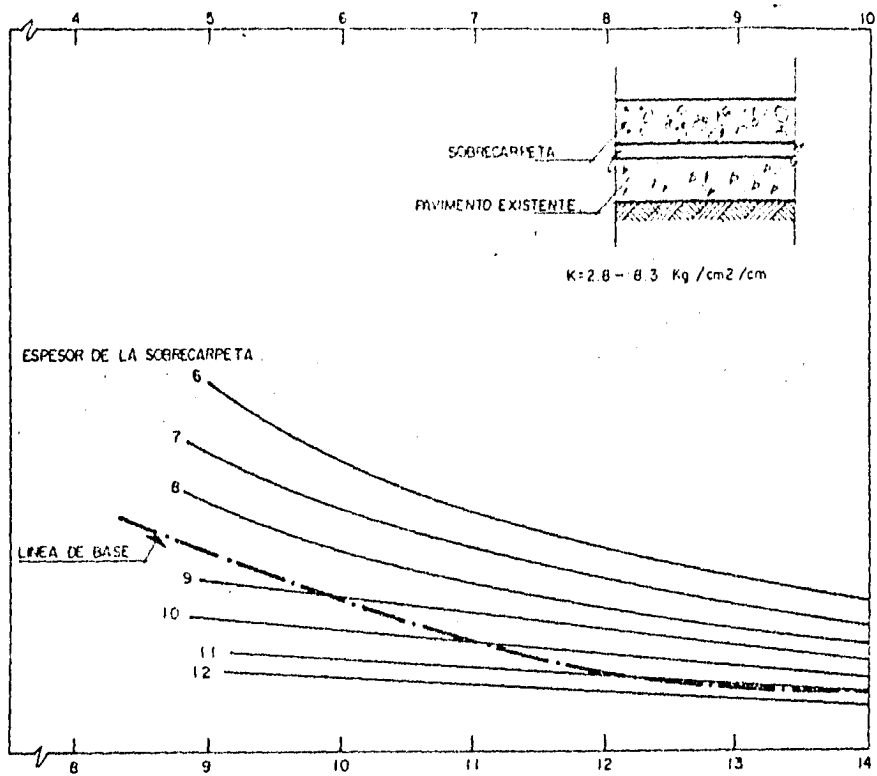


Fig. "A"

# CARTA DE DISEÑO PARA EL CASO No. 2 DEL PAVIMENTO EXISTENTE.

ESPESOR DEL PAVIMENTO EXISTENTE, EN PULGADAS.



ESPESOR A SECCION COMPLETA, EN PULGADAS.

Fig. "B"

# CARTA DE DISEÑO PARA EL CASO No. 3 DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO EXISTENTE.

ESPESOR DEL PAVIMENTO EXISTENTE, EN PULGADAS

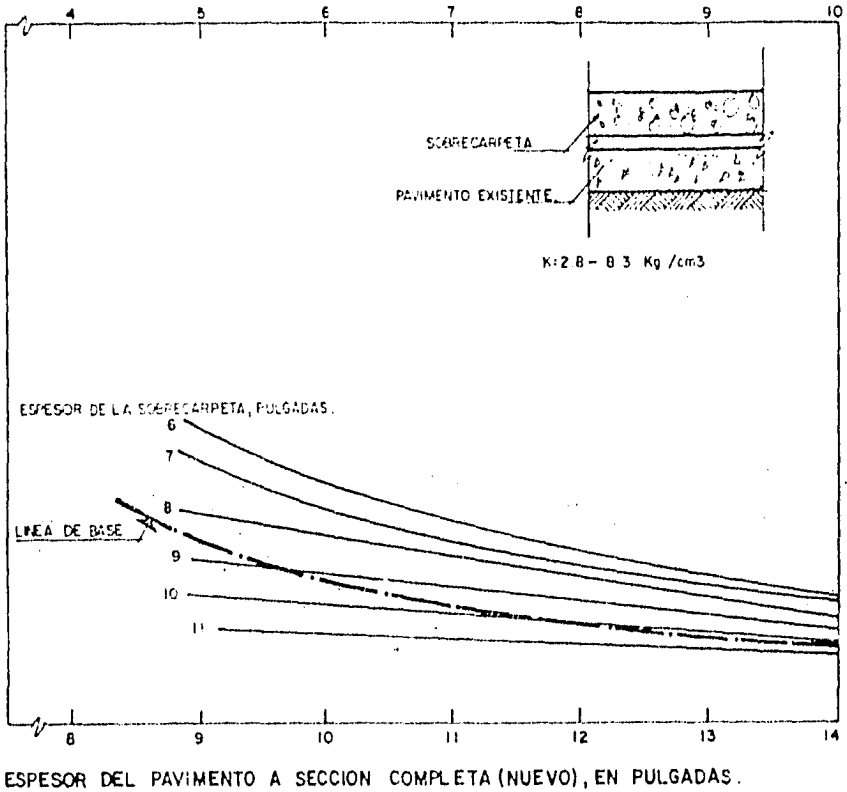


Fig. "C"

**ANEXO 2**  
**GRAFICAS DE DISEÑO**  
**CRITERIO DE LA AASHTO**

Fig. Nº 1

### Relación entre AREA y $I_k$

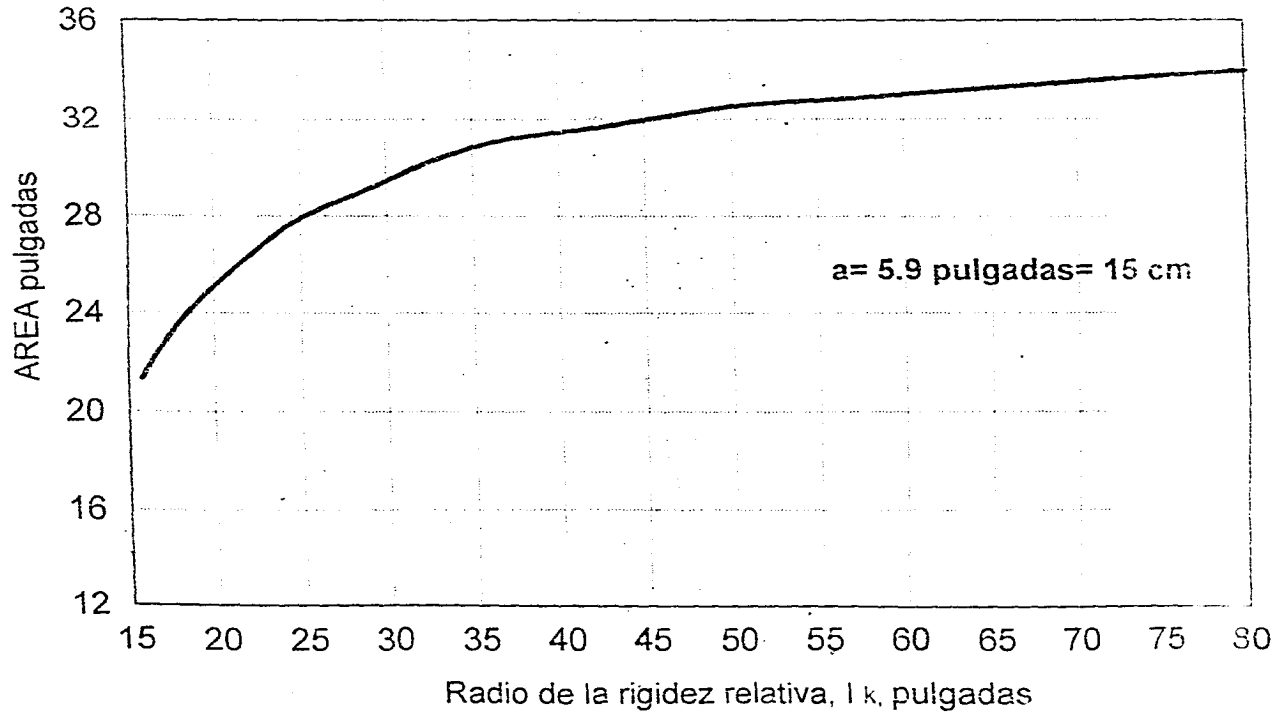


Fig. N° 2

### Relación entre el factor de condición y vida residual

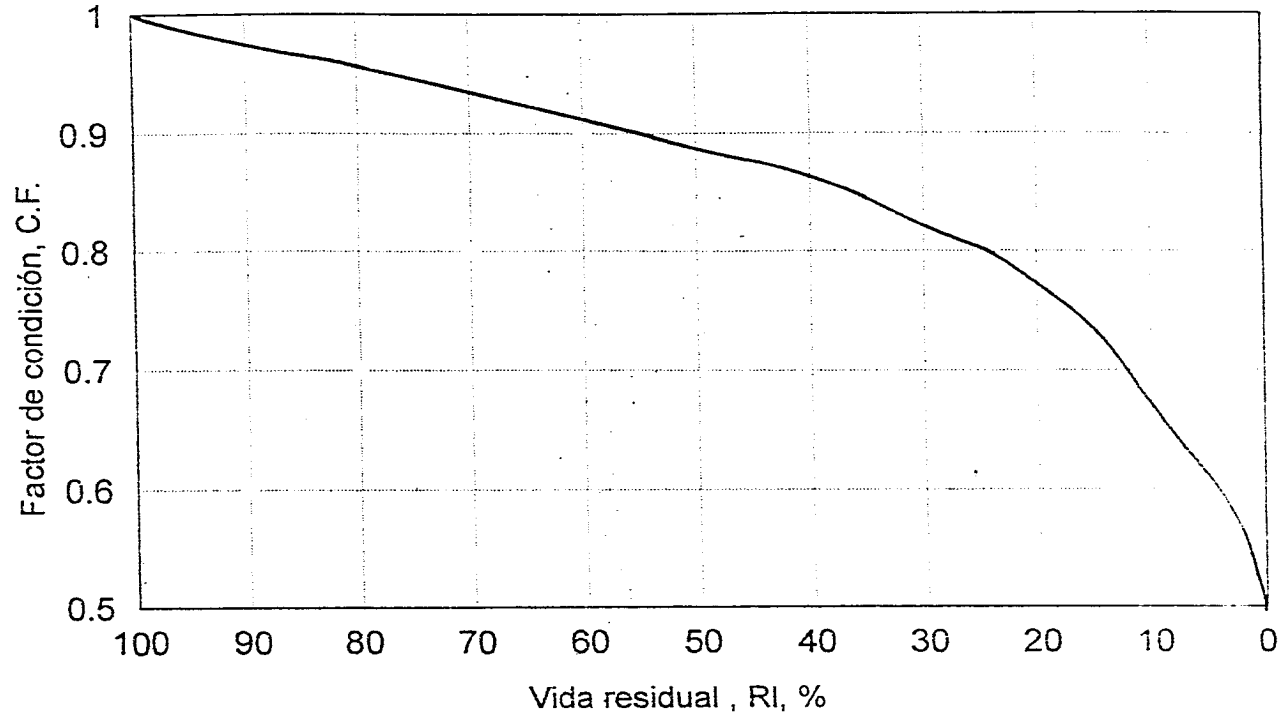


Fig. N° 5

### Determinación de $E_p / M_r$

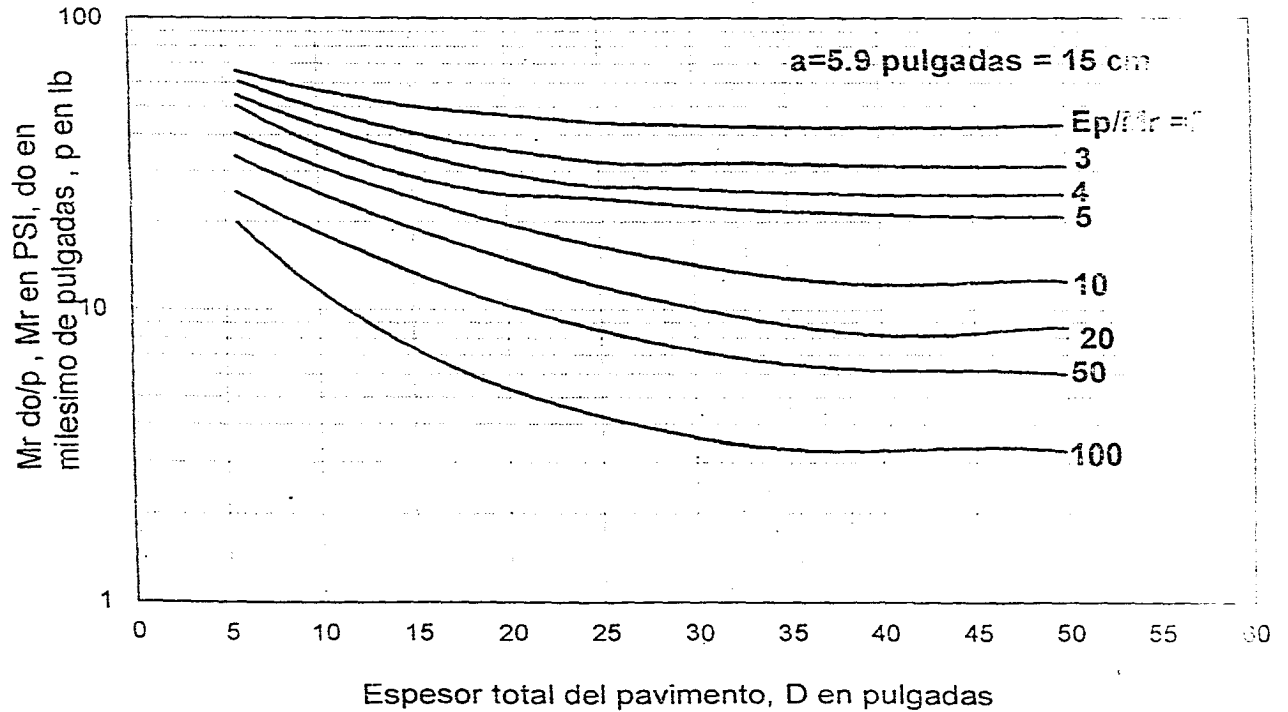


Fig. N° 7

### Ajuste a do por temperatura del concreto asfáltico para pavimento con base tratado con cemento o puzolana

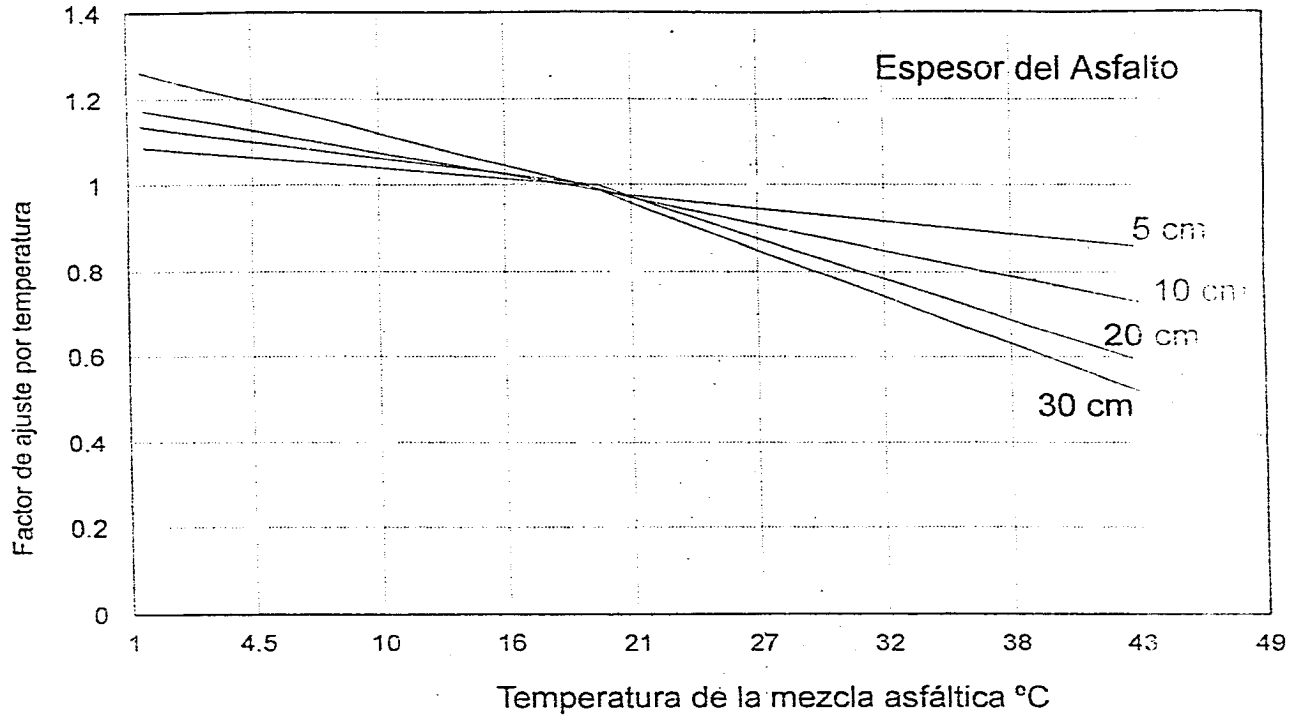




Fig. Nº 8

Número estructural efectivo, N.E. efec. ,a partir del metodo de P

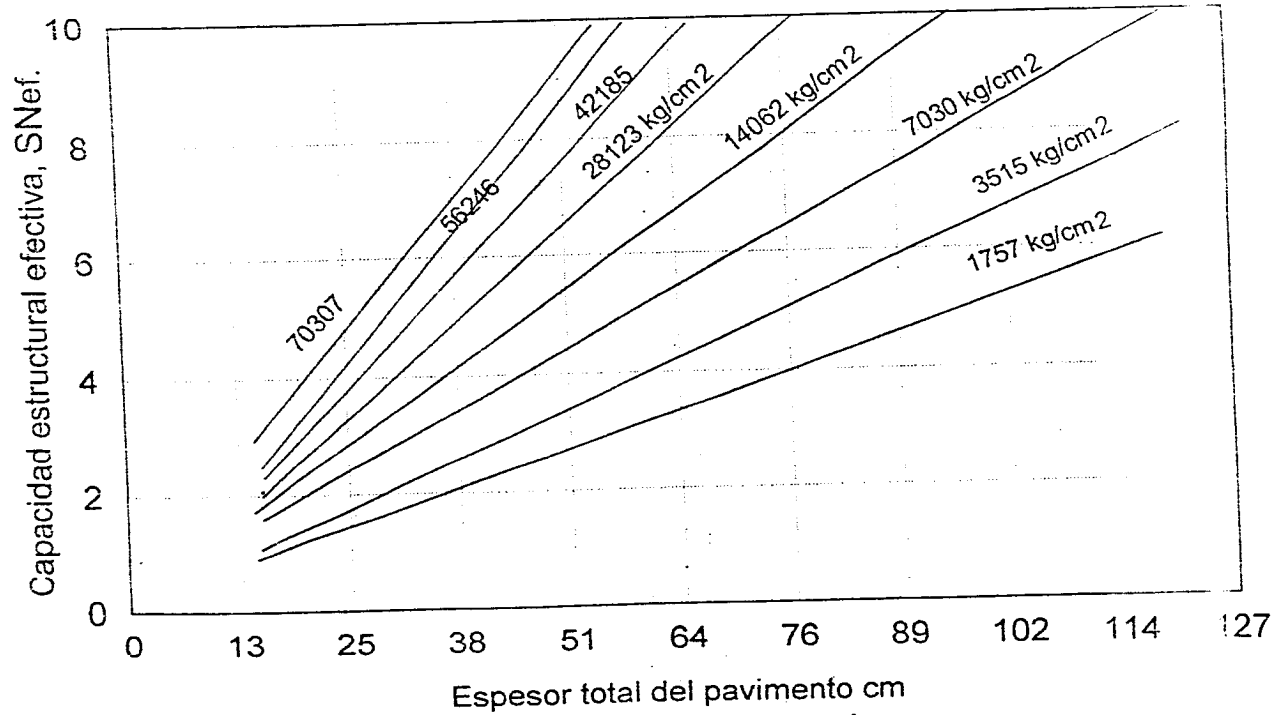


Fig. N° 10

## Determinación de k dinámico a partir de do y AREA

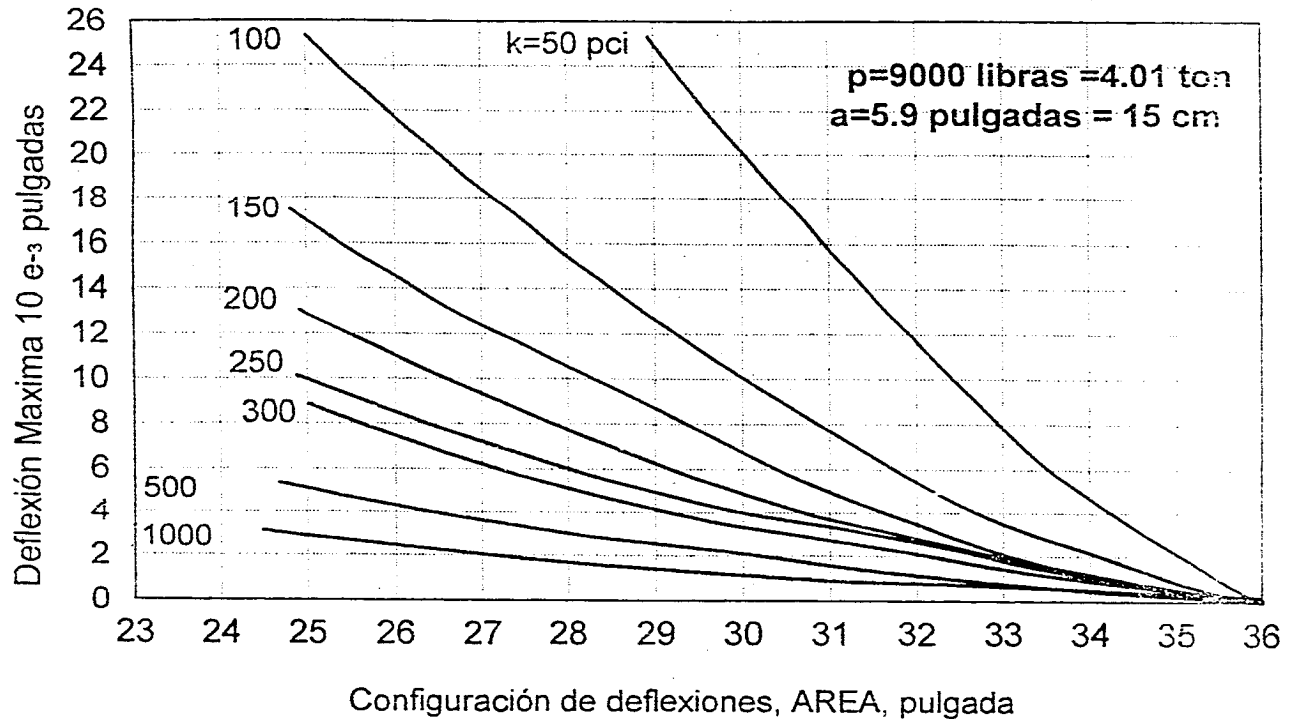


Fig N° 11

Determinación del módulo elástico en pavimentos de concreto, a partir de valores de k, AREA y espesor de losa

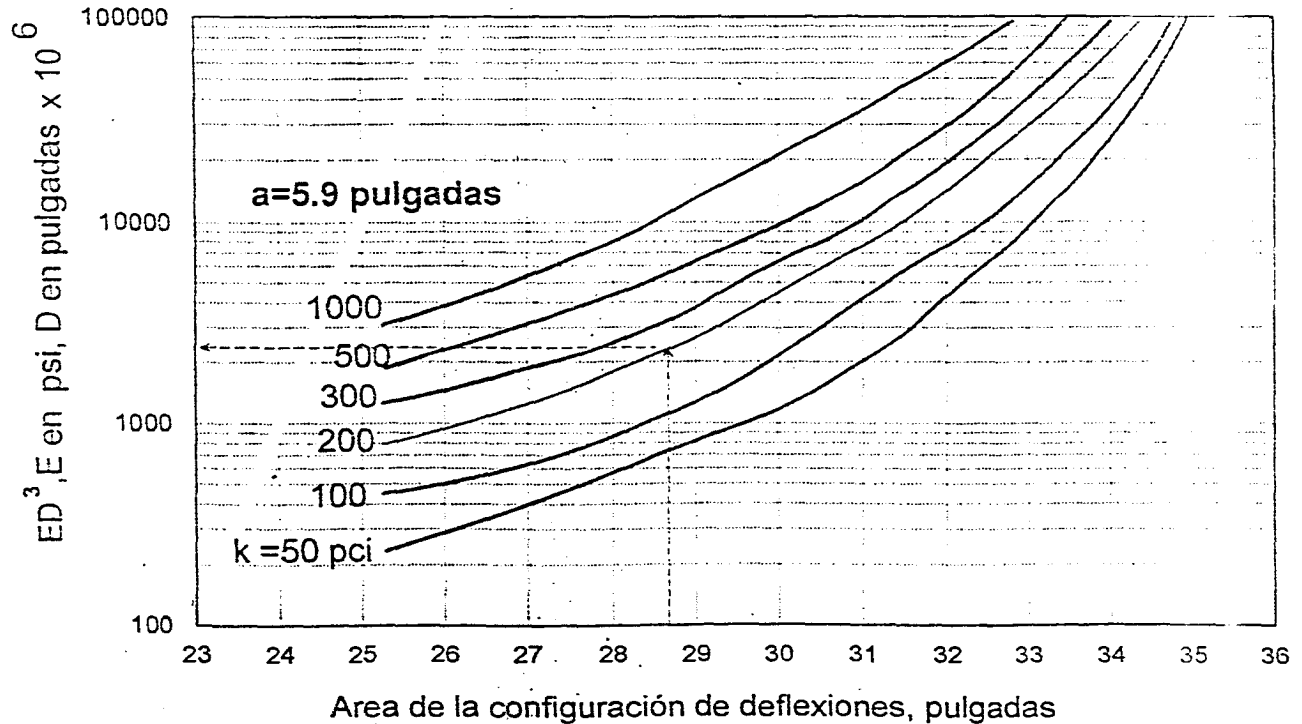


Fig. N° 12

# Factor de Ajuste fjc

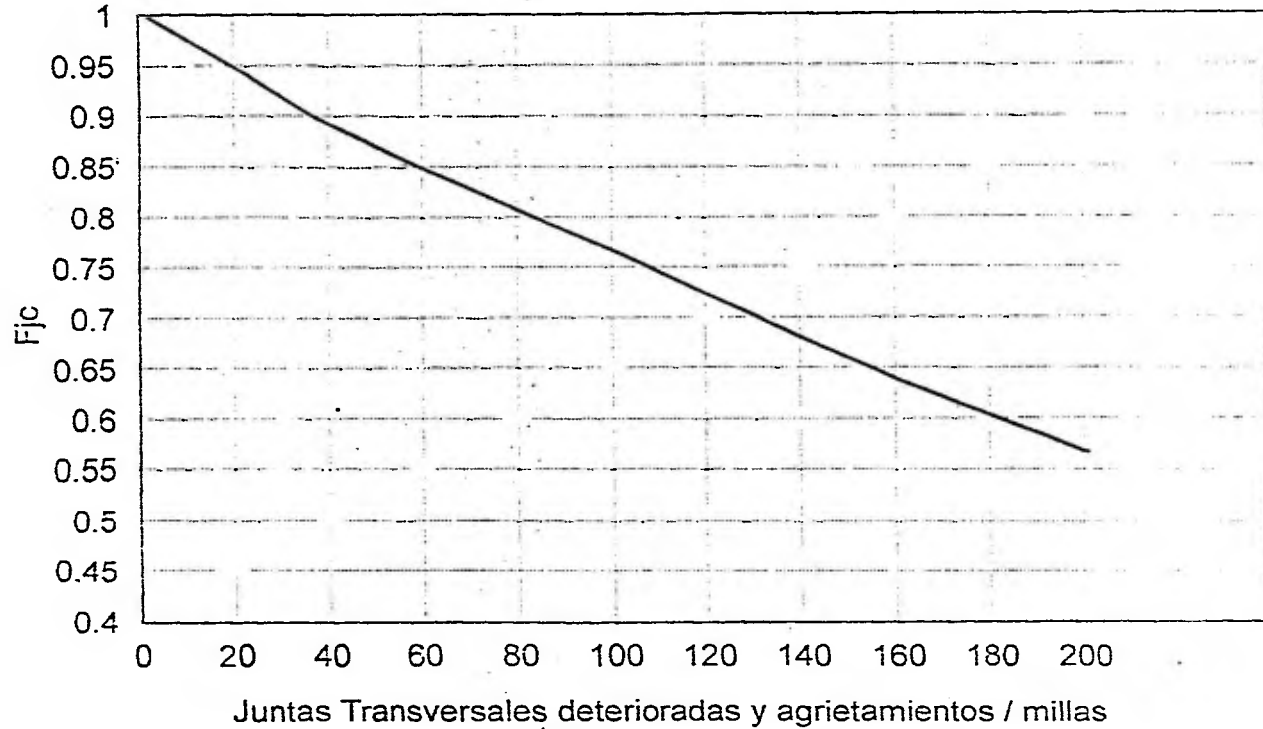
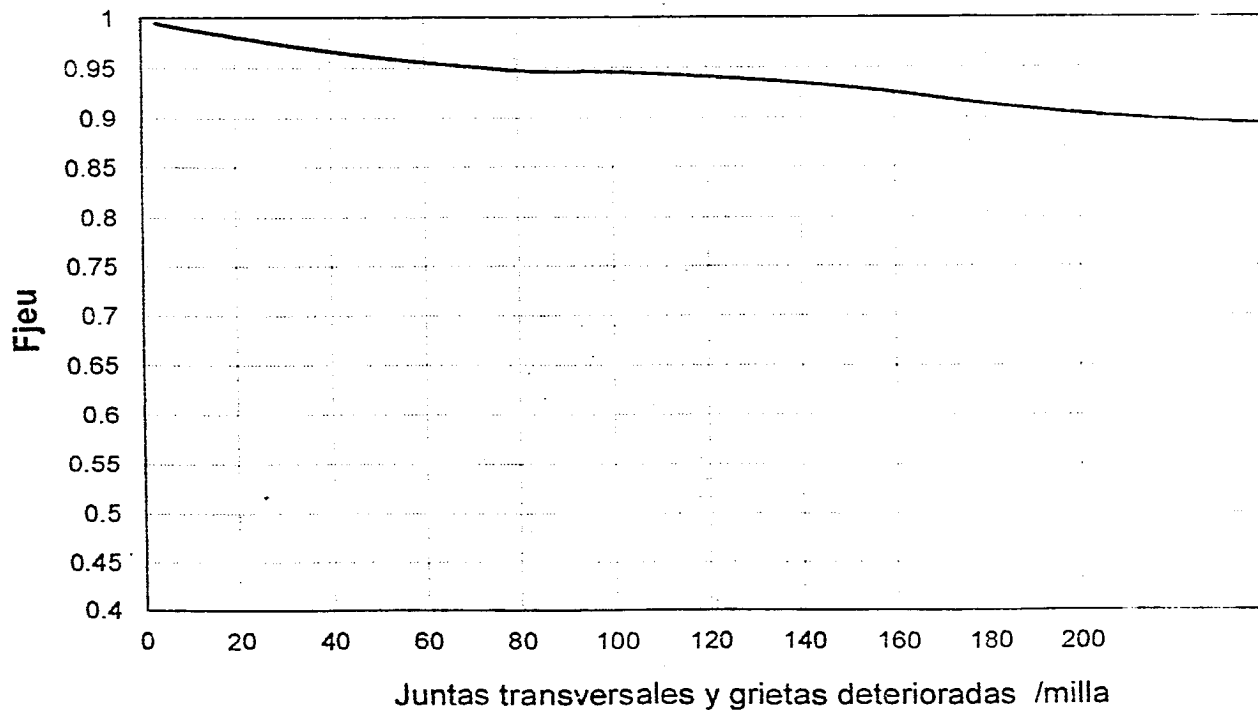


Fig. N° 13

Factor de ajuste,  $f_{ju}$ , para SOBRECARPETAS pcss, pccp, pccp y r y pccr



**ANEXO 3**  
**TABLAS DE AYUDA PARA**  
**DISEÑO DE SOBRECARPETAS**  
**CRITERIO DE LA AASHTO**

---

**Tabla 1 Hoja de trabajo para la determinación de  $SN_f$  para Pavimentos Asfálticos**

---

**TRAFICO:**

ESAL, futuros de 18-kip en carril de diseño que cubre un periodo de diseño,  $N_f$  = \_\_\_\_\_

**MODULO DE RESILIENCIA EFECTIVO DE LA CAPA DE APOYO DEL PAVIMENTO:**

Módulo de resiliencia de diseño,  $M_r$  = \_\_\_\_\_ psi (Kg/cm<sup>2</sup>)

(Ajustado para que sea consistente con el modelo de pavimento flexible y con las variaciones por los cambios de estación. Valores típicos de diseño de  $M_r$  van de 2,000 a 10,000 psi (140 a 140 kg/cm<sup>2</sup>) para suelos finos y cohesivos, de 10,000 a 20,000 psi (700 a 1,400 kg/cm<sup>2</sup>) para suelos de granulares. El valor de  $M_r$  para el tramo de Prueba de la AASHO usado en la ecuación del diseño para pavimento flexible fue de 3,900 psi)

**PERDIDA DE SERVICIABILIDAD**

PSI de diseño o. ( $P_1 - P_2$ )(1.2 a 2.5) = \_\_\_\_\_

**INDICE DE CONFIANZA DE DISEÑO**

Confiabilidad del diseño del revestimiento, R(80 a 99 %) = \_\_\_\_\_

Desviación estándar total,  $S_o$  (típicamente 0.49) = \_\_\_\_\_

**CAPACIDAD ESTRUCTURAL FUTURA:**

El número estructural requerido para tráfico futuro se determina a partir de la ecuación del diseño para pavimento flexible o del nomograma en la Parte II, Figura 3.1. (AASHTO, Guía de Diseño, 1993)

$SN_f$  = \_\_\_\_\_

$SN_f$  = Número estructural final

---

**Tabla 2. Coeficientes de Capa Superficiales para los Materiales que forman los Pavimentos Asfálticos Existentes**

<b>MATERIAL</b>	<b>CONDICION DE LA SUPERFICIE</b>	<b>COEFICIENTE</b>
<b>Superficie AC</b>	Poco o ningún agrietamiento de piel de cocodrilo y/o agrietamiento transversal de poca severidad	0.35 a 0.40
	< 10% de agrietamiento de cocodrilo de baja severidad y/o < 5 % de agrietamiento transversal de mediana y fuerte severidad	0.25 a 0.35
	> 10% de agrietamiento de cocodrilo de poca severidad y/o	0.20 a 0.30
	< 10% de agrietamiento de cocodrilo de mediana severidad y/o	
	> 5-10% de agrietamiento transversal de mediana y gran severidad	
	> 10% de agrietamiento de cocodrilo de mediana severidad y/o	0.14 a 0.20
	< 10% de agrietamiento de cocodrilo de gran severidad y/o	
	> 10% de agrietamiento transversal de mediana y gran severidad	
	> 10% de agrietamiento de cocodrilo de gran severidad y/o	0.08 a 0.15
	> 10% de agrietamiento transversal de gran severidad	
<b>Base Estabilizada</b>	Poco o ningún agrietamiento de cocodrilo y/o únicamente agrietamiento transversal de poca severidad	0.20 a 0.35
	< 10% de agrietamiento de cocodrilo de poca severidad y/o	0.20 a 0.35
	< 5% de agrietamiento transversal de mediana y gran severidad	
	> 10% de agrietamiento de cocodrilo de poca severidad y/o	0.15 a 0.20
	< 10% de agrietamiento de cocodrilo de mediana severidad y/o	
	> 5-10% de agrietamiento transversal de mediana y gran severidad	
	> 10% de agrietamiento de cocodrilo de mediana severidad y/o	0.10 a 0.20
	< 10% de agrietamiento de cocodrilo de gran severidad y/o	
	> 10% de agrietamiento transversal de mediana y gran severidad	
	> 10% de agrietamiento de cocodrilo de gran severidad y/o	0.08 a 0.15
> 10% de agrietamiento transversal de gran severidad		
<b>Base o Subbase Granular</b>	<u>No hay evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos</u>	0.10 a 0.14
	Hay alguna evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos	0.00 a 0.10



**Tabla 3. Hoja de trabajo para la Determinación del  $SN_{eff}$  para Pavimento Asfáltico ( $SN_{eff}$ , Número estructural efectivo)**

**(1) Método PND Para  $SN_{eff}$  Para Pavimento Asfáltico**

Espesor total de todas las capas del pavimento por encima de la subrasante, D = \_\_\_\_\_ cm

Módulo de elasticidad de la subrasante calculado indirectamente,  $M_s$  = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>)

Módulo efectivo del pavimento efectivo calculado indirectamente,  $E_p$  = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>)

$$SN_{eff} = 0.0045 D^3 \sqrt{E_p} = \underline{\hspace{2cm}}$$

**(2) Método de Levantamiento físico para el número estructural efectivo,  $SN_{eff}$  para pavimentos asfálticos**

Espesor de la carpeta AC,  $D_1$  = \_\_\_\_\_ cm

Coefficiente estructural de la superficie AC,  $a_1$ , en base en Levantamiento físico de las condiciones y de los datos de los corazones = \_\_\_\_\_

Espesor de la base,  $D_2$  = \_\_\_\_\_ cm

Coefficiente estructural de la base,  $a_2$ , en base a la levantamientos de las condiciones, inspección de los materiales, y pruebas = \_\_\_\_\_

Coefficiente de drenaje de la base,  $m_2$  = \_\_\_\_\_

Espesor de la subbase,  $D_3$ , si está presente = \_\_\_\_\_ cm

Coefficiente estructural de la subbase,  $a_3$ , en base a la de las condiciones, la inspección de materiales, y pruebas = \_\_\_\_\_

Coefficiente de drenaje de la subbase,  $m_3$  = \_\_\_\_\_

$$SN_{eff} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 = \underline{\hspace{2cm}}$$

**(3) Método de la Vida Residual para  $SN_{eff}$  para Pavimento Asfáltico:**

Los pasados ESAL<sub>8</sub> de 18 kip en el carril de diseño desde la construcción,  $N_p$  = \_\_\_\_\_

ESAL<sub>8</sub> de 18 kip hasta la falla del diseño existente,  $N_{15}$  = \_\_\_\_\_

$$RL = 100 \left[ 1 - \left( \frac{N_p}{N_{15}} \right) \right] = \underline{\hspace{2cm}}$$

Factor de Estado físico, CF (Figura 5.2) = \_\_\_\_\_

Espesor de la carpeta asfáltica  $D_1$  = \_\_\_\_\_ cm

Coefficiente estructural de la carpeta asfáltica  $a_1$ , si es recién construida = \_\_\_\_\_

Espesor de la base,  $D_2$  = \_\_\_\_\_ cm

Coefficiente estructural de la base,  $a_2$ , si es recién construida = \_\_\_\_\_

Espesor de la subbase,  $D_3$ , si está presente = \_\_\_\_\_ cm

Coefficiente estructural de la subbase,  $a_3$ , si es recién construida = \_\_\_\_\_

$$SN_p = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$SN_{eff} = CF * SN_p = \underline{\hspace{2cm}}$$

**Tabla 4. Hoja de trabajo para la Determinación de  $SN_e$  para Pavimentos de Losa de Concreto ya deterioradas**

**TRAFICO:**

ESAL, futuros de 18 ktp en el carril de diseño por un periodo de diseño,  $N_f$  = \_\_\_\_\_

**MODULO DE RESILIENCIA EFECTIVO DEL SUELO DEL DE APOYO:**

Módulo de resiliencia de diseño,  $M_r$ , Módulo de resiliencia de diseño,  $M_p$  = \_\_\_\_\_

(Ajustado para que sea consistente con el modelo de pavimento flexible y con las variaciones estacionales. El diseño típico  $M_r$  es de 140 a 700 kg/cm<sup>2</sup> para suelos finos de 700 a 1,400 kg/cm<sup>2</sup> para suelos de gruesos. El valor de  $M_r$  para el tramo de la Prueba de la AASHTO usado en la ecuación de diseño de pavimento flexible fue de 3,000 psi.)

**PERDIDA DE SERVICIABILIDAD**

Pérdida de diseño  $PSI(P1 - P2)$  (1.2 a 2.5) = \_\_\_\_\_

**CONFIABILIDAD DEL DISEÑO**

Confiabilidad del diseño del revestimiento,  $R$  (80 a 99 %) = \_\_\_\_\_ %

Desviación estándar total,  $S$  (típicamente 0.40) = \_\_\_\_\_

**CAPACIDAD ESTRUCTURAL FUTURA**

El número estructural respondiendo para el tráfico futuro se determina a partir de la ecuación de diseño de pavimento flexible o del nomograma en la Parte II, Figura 3.4 (AASHTO, Guía de Diseño, 1993)

$SN_e$  = \_\_\_\_\_

Tabla 5. Coeficientes de Capas Sugeridos para Pavimentos de Losas Fracturadas

MATERIAL	CONDICION DE LA LOSA	COEFICIENTE
Fractura y cedencia JPCP	Fragmentos mayores de 30 cm con refuerzo roto o adherencia acero/concreto rota	0.20 A 0.35
Grieta y Cedencia JPCP	Fragmentos de 30 a 90 cm	0.20 A 0.35
PCC de gravas cualquier tipo de pavimentos	Losas completamente fracturada con fragmentos menores de 30 cm	0.14 a 0.30
Base subbase granular y estabilizada	No hay evidencia de degradación o intrusión de finos	0.10 a 0.14
	Hay alguna evidencia de degradación o intrusión de finos	0.00 a 0.10

Tabla 5.6. Hoja de trabajo para la Determinación de  $SN_{eff}$  para Rotura/Asentamiento, Grieta/Asentamiento y Pavimentos de grava

Espesor de la rotura/grieta o PCC, $D_1$	= _____ cmg
Coefficiente estructural de rotura / grieta / asentamiento o PCC con gravas, $a_1$	= _____
Coefficiente de drenaje de una losa fracturada, $m_2$ (1.0 recomendado)	= _____
Espesor de subbase, $D_2$ , si está presente	= _____ cm
Coefficiente estructural de la subbase, $a_2$	= _____
Coefficiente de drenaje de la subbase, $m_3$	= _____
$SN_{eff} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 =$	_____

**Tabla 7. Hoja de trabajo para la Determinación de  $D_i$   
para JPCC, JRCP, y CRCP**

**LOSA:**

Espesor de losa PCC existente = \_\_\_\_\_ cm

Tipo de sistema de transferencia de carga: dispositivo no usado, fricción por agregado, CRCP

Tipo de acotamiento = PCC con varillas de sujeción, otro método de ruptura de PCC (típicamente de 600 a 800 psi) = \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>2</sup>

Módulo E de PCC (3 a 8 millones psi para PCC sanos)

< 3 millones para PCC no sanos = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>)

Factor de transferencia de carga J (3.2 a 4.0 para JPCC, JRCP de 2.2 a 2.6 para CRCP) = \_\_\_\_\_

**TRAFICO:**

ESAL's futuros de 18 kip en el carril de diseño por un periodo de diseño (Nt) = \_\_\_\_\_

**SOPORTE Y DRENAJE:**

Valor k dinámico efectivo = \_\_\_\_\_ Kg/cm<sup>2</sup>/cm)

Valor k estático efectivo = valor k dinámico efectivo/2 (típicamente de 50 a 500 psi/pulgada) = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>/cm)

Coefficiente de subdrenaje,  $C_d$  (típicamente 1.0 para condiciones pobres de subdrenaje) = \_\_\_\_\_

**PERDIDA DE SERVICIABILIDAD:**

Pérdida de PSI de diseño ( $P1 - P2$ ) = \_\_\_\_\_

**CONFIABILIDAD:**

Confiablez de diseño, R, (80 a 99 %) = \_\_\_\_\_ %

Desviación estándar total,  $S_o$  (típicamente 0.39) = \_\_\_\_\_

**CAPACIDAD ESTRUCTURAL FUTURA:**

El espesor de la losa requerido para el tráfico futuro se determina a partir de la ecuación de diseño de pavimento rígido o del nomograma en la Parte II - Figura 3.7 (AASHTO, Guía de Diseño, 1993)

$D_i$  = \_\_\_\_\_ cm

**Tabla 8. Cálculo de  $D_{eq}$  para Revestimiento AC de JPCP, JRCP, y CRCP en el Carril de Diseño**

**Método de levantamiento físico del estado actual**

$F_{jc}$	Número de juntas deterioradas no reparadas /milla	= _____
	Número de grietas deterioradas no reparadas / milla	= _____
	Número de baches por desprendimiento no reparados/milla	= _____
	Número de juntas de expansión, juntas excepcionalmente anchas (> 1 pulgada) o baches profundos AC/nila	= _____
	Total/milla	= _____

$F_{je} =$  \_\_\_\_\_ (Figura 12)

(Valor recomendado 1.0, reparar todas las áreas deterioradas)

- $F_{dur}$
- 1.00: Ningún signo de problemas de durabilidad PCC
  - 0.96-0.99: Existe algún agrietamiento de durabilidad, pero no hay descascaramiento
  - 0.86-0.95: Existe agrietamiento sustancial y algo de descascaramiento
  - 0.80-0.88: Existe agrietamiento extendido y descascaramiento severo

$F_{dur} =$  \_\_\_\_\_

- $F_{ft}$
- 0.97-1.00: Existe muy poco agrietamiento transversal/baches
  - 0.91-0.96: Existe un número significativo de grietas transversales/baches
  - 0.90-0.93: Existe un gran número de grietas transversales/baches por desprendimiento

$F_{ft} =$  \_\_\_\_\_

$D_{adj} = F_{jc} * F_{dur} * F_{ft} * D =$  \_\_\_\_\_

**Método de Vida Residual:**

$N_p =$  ESAL<sub>p</sub> pasados del carril de diseño = \_\_\_\_\_

$N_{1.5} =$  ESAL, de carril de diseño a P2 de 1.5 = \_\_\_\_\_

$RL = 100 \left[ 1 - \left( \frac{N_p}{N_{1.5}} \right) \right] =$  \_\_\_\_\_

CF = \_\_\_\_\_ (Figura 2)

De la AASHTO Guía de Diseño, 1993

$D_{eq} = (CF * D) =$  \_\_\_\_\_

**Tabla 9. Hoja de trabajo para la Determinación de Df para AC/JPCP, AC/RCRP,  
Y AC/CRCP**

**LOSA:**

Espesor de la carpeta asfáltico existente = \_\_\_\_\_ cm

Espesor de losa PCC existente = \_\_\_\_\_ cm

Tipo de sistema de transferencia de carga: dispositivo mecánico, fricción entre agregado, CRCP

Tipo de Acotamiento: = Pcc amarrado, otros

Módulo de ruptura PCC (típicamente de 600 a 800 psi) = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>)

Módulo E de PCC (3 a 8 millones psi para PCC resistente, < 3 millones para PCC no resano) = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>)

Factor de transferencia de carga (3.2 a 4.0 para AC / JPCP, AC / RCRP 2.2 a 2.6 para AC / CRCP) = \_\_\_\_\_

**TRAFICO:**

ESAL, futuros de 18 kip en el carril de diseño para el periodo de diseño (N) = \_\_\_\_\_

**SOPORTE Y DRENAJE:**

Valor k dinámico efectivo = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>)

Valor k estático efectivo = Valor k dinámico efectivo/2 (típicamente 50 a 500 psi/pulg)

Coefficiente de subdrenaje, C<sub>d</sub> (típicamente 1.0 para pobres condiciones de subdrenaje) = \_\_\_\_\_

**PERDIDA DE SERVICIABILIDAD:**

Pérdida PSI de diseño (P1 - P2) = \_\_\_\_\_

**CONFIABILIDAD:**

Confiability de diseño, R (80 a 99 %) = \_\_\_\_\_ %

Desviación estándar total, S<sub>o</sub> (típicamente 0.39) = \_\_\_\_\_

**CAPACIDAD ESTRUCTURAL FUTURA:**

El espesor de losa requerido para tráfico futuro se determina a partir de la ecuación de diseño de pavimento rígido o del nomograma en la Parte II, Figura 3.7 de la AASHTO Guía de Diseño, 1993

D<sub>f</sub> = \_\_\_\_\_ cm



**Talbla 11. Hoja de trabajo para la Determinación de Df para JPCP, JRCP, y CRCP**

**LOSA:**

Espesor de losa PCC existente = \_\_\_\_\_ cm

Tipo de sistema de transferencia de carga: dispositivo mecánico, fricción por agregado, CRCP

Tipo de acotamientos = PCC amarrado, otros

Módulo de ruptura PCC (típicamente 600 a 800 psi) = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>)

Módulo E de PCC (3 a 8 millones psi para PCC dañados, < 3 millones para PCC no dañados) = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>)

Factor de transferencia de carga J (3.2 a 4.0 para JPCP, JRCP 2.2 a 2.6 para CRCP) = \_\_\_\_\_

**TRAFICO:**

ESAL, de 18 kip futuros en carril de diseño por el periodo de diseño (N<sub>d</sub>) = \_\_\_\_\_

**SOPORTE Y DRENAJE:**

Valor k dinámico efectivo = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>/cm)

Valor k estático efectivo = Valor k dinámico efectivo/2 (típicamente 50 a 500 psi/pulg) = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>/cm)

Coefficiente de subdrenaje, C<sub>a</sub> (típicamente 1.0 para pobres condiciones de subdrenaje) = \_\_\_\_\_

**PERDIDA DE SERVICIABILIDAD:**

Pérdida PSI de diseño (P1 - P2) = \_\_\_\_\_

**CONFIABILIDAD:**

Confabilidad de diseño, R (80 a 99 %) = \_\_\_\_\_ %

Desviación estándar total, S<sub>o</sub> (típicamente 0.39) = \_\_\_\_\_

**CAPACIDAD ESTRUCTURAL FUTURA:**

El espesor de losa requerido para tráfico futuro se determina a partir la ecuación de diseño para pavimento rígido o del nomograma en la Parte II, Figura 3.7.

D<sub>o</sub> = \_\_\_\_\_ cm





**Tabla 13. Hoja de trabajo para la Determinación de  $D_f$  para Sobrecarpetas de concreto no ligadas**

**LOSA:**

Tipo de sistema de transferencia de carga: fricción por agregado, CRCP

Tipo de acotamientos = PCC con varillas de sujeción, otros

Módulo de ruptura PCC de la sobrecarpeta desligada (típicamente de 600 a 800 = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>/cm psi)

Módulo E de PCC de sobrecarpeta desligadas (3 a 5 millones psi) = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>/cm)

Factor J de transferencia de carga de la sobrecarpeta desligada (2.5 a 4.4 para PCC = \_\_\_\_\_ unido, 2.3 a 3.2 para CRCP)

**TRAFICO:**

ESAL<sub>f</sub> futuros de 18 Eip en el carril de diseño por el período de diseño ( $N_f$ ) = \_\_\_\_\_

**SOPORTE Y DRENAJE:**

Valor k dinámico efectivo = \_\_\_\_\_

Valor k estático efectivo = Valor k dinámico efectivo/2 (típicamente 50 a 500 = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>/cm psi/pulg)

Coefficiente de subdrenaje,  $C_d$  (típicamente 1.0 para pobres condiciones de = \_\_\_\_\_ subdrenaje)

**PERDIDA DE SERVICIABILIDAD:**

Pérdida PSI de diseño ( $P1 - P2$ ) = \_\_\_\_\_

**CONFIABILIDAD:**

Confiabilidad de diseño, R (80 a 99 %) = \_\_\_\_\_

Desviación estandar total,  $S_x$  (típicamente 0.39) = \_\_\_\_\_

**CAPACIDAD ESTRUCTURAL FUTURA:**

El espesor de losa requerido para el tráfico futuro se determina a partir de la ecuación de diseño de pavimento rígido o del nomograma en la Parte II, Figura 3.7 (AASHTO 1993)

$D_f$  = \_\_\_\_\_ cm

**Tabla 14. Cálculo de  $D_{eff}$  para Sobrecarpetas de concreto no ligadas a JPCP, JRCP, CRCP, y AC/PCC**

**Método del estado físico actual**

**Revestimiento JPCP, JRCP o CRCP:**

$F_{jca}$	Número de juntas deterioradas no reparadas/milla	= _____
	Número de grietas deterioradas no reparadas/milla	= _____
	Número de baches deteriorados no reparados/milla	= _____
	Número de juntas de expansión, juntas excepcionalmente anchas (> 1 pulg) o bacheo AC de gran profundidad a todo lo ancho del carril/milla	= _____
	Total/milla	= _____
$F_{jes}$	= _____ (Figura 13), (AASHTO 1993)	

**Espesor de Losa Efectivo:**

$$D_{eff} = F_{jes} * D = \underline{\hspace{2cm}}$$

NOTAS: D máximo permitido de 10 pulg para usarse en el cálculo de  $D_{eff}$  para sobrecarpetas desligadas. La carpeta asfáltica existente se desprecia al calcular  $D_{eff}$  para pavimentos AC/PCC al diseñar una sobrecarpeta no ligada.

**Método de Vida Residual:**

$$N_p = \text{ESALS ya pasados en el carril de diseño} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$N_{1.5} = \text{ESALS de carril de diseño a P2 de 1.5} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$RL = 100 \left[ 1 - \left( \frac{N_p}{N_{1.5}} \right) \right] = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$CF = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$D_{eff} = CF * D = \underline{\hspace{2cm}}$$

NOTA: D máximo permitido de 10 pulg para usarse en el cálculo de  $D_{eff}$  para sobre carpetas de concreto no ligadas.

**Tabla 15. Hoja de trabajo para la Determinación de  $D_f$  para Sobrecarpetas de concreto aplicados a Pavimentos de concretos asfálticos**

**LOSA:**

Tipo de sistema de transferencia de carga: dispositivo mecánico, fricción entre agregados, CRCP

Tipo de acotamiento = PCC ligado, otros

Módulo de ruptura de PCC de la sobrecarpeta desligada. (típicamente 600 a 800 psi) = \_\_\_\_\_ Kg/cm<sup>2</sup>

Módulo E de PCC de la sobrecarpeta desligada (3 a 5 millones psi) = \_\_\_\_\_ Kg/cm<sup>2</sup>

Factor J de transferencia de carga para la sobrecarpeta desligada (2.5 a 4.4 para PCC conjuntos, 2.3 a 3.2 para CRCP) = \_\_\_\_\_

**TRAFICO:**

ESAL, de 18 kip futuros en el diseño de carril por el periodo de diseño (N<sub>d</sub>) = \_\_\_\_\_

**SOPORTE Y DRENAJE:**

Valor k dinámico efectivo = \_\_\_\_\_

Valor k estático efectivo = Valor k dinámico efectivo/2 (típicamente 1.4 a 14.0 kg/cm<sup>2</sup>/cm) = \_\_\_\_\_ (kg/cm<sup>2</sup>/cm)

Coefficiente de subdrenaje, C<sub>d</sub> (típicamente 1.0 para condiciones pobres de subdrenaje) = \_\_\_\_\_

**PERDIDA DE SERVICIABILIDAD:**

Pérdida PSI de diseño (P1 - P2), = \_\_\_\_\_

**CONFIABILIDAD:**

Confianza de diseño, R (80 a 99 %) = \_\_\_\_\_ %

Desviación estándar total, S<sub>o</sub> (típicamente 0.39) = \_\_\_\_\_

**CAPACIDAD ESTRUCTURAL FUTURA:**

El espesor de losa requerido para tráfico futuro se determina a partir de la ecuación de diseño de pavimentos rígidos o del nomograma en la Parte II, Figura 3.7(AASHTO, 1993).

D<sub>f</sub> = \_\_\_\_\_ cm

**TABLA No. 16** Módulos de reacción aproximados,  $K_c$ , para varias condiciones de pavimentos

Espesor de bases sin tratar vs. Valor de $K_c$ , $kg/cm^3$				
Valor de k en la subrasante o terreno natural	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
1.4	0.75	0.85	0.94	1.03
2.8	1.20	1.30	1.42	1.55
4.2	1.60	1.72	1.83	2.00
5.5	1.95	2.05	2.15	2.36
Espesor de base asfáltica vs. $K_c$ , $kg/cm^3$				
Valor de k en la subrasante o terreno natural	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
1.4	2.32	3.10	3.90	4.70
2.8	4.00	5.50	6.80	8.00
4.2	6.15	7.70	9.25	10.90
5.5	7.85	9.72	11.60	13.50
Espesor de base tratada con cemento vs. $K_c$ , $kg/cm^3$				
Valor de k en la subrasante o terreno natural	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
1.40	2.80	4.00	5.40	6.80
2.80	5.12	7.15	9.25	11.46
4.20	7.34	10.00	12.80	15.60
5.50	9.44	12.70	16.00	19.40
Espesor de base de concreto pobre vs. $K_c$ , $kg/cm^3$				
Valor de k en la subrasante o terreno natural	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
1.4	2.88	4.32	5.70	7.25
2.8	5.32	7.50	9.80	12.26
4.2	7.60	10.50	13.50	16.70
5.5	9.80	13.30	16.95	20.80

**TABLA No.17 VALORES RECOMENDADOS DEL COEFICIENTE DE DRENAJE PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS**

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación			
	Menos que 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	Más del 25 %
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

**TABLA No.18 VALORES TÍPICOS DE RESISTENCIA DE ALGUNOS SUELOS**

Tipo de suelo	Resistencia de la capa subrasante	Kc, en kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad dinámico o de resiliencia, en kg/cm <sup>2</sup>	VRS
Limos y arcillas de alta compresibilidad	Muy baja	1.10 - 2.80	70 - 133	< 3
Suelos finos de baja compresibilidad	baja	2.50 - 4.15	133 - 204	< 5.50
Arenas poco limosas, y arcillosas, mal graduadas	Media	4.00 - 6.00	204 - 302	5.50 < 12
Gravas, arenas bien graduadas, y mezclas de arena y grava con pocos finos	Alta	6.00 - 7.00	302 - 341	> 12

Alta compresibilidad para LL  $\geq$  50 %

Baja compresibilidad media LL  $\leq$  50 %

LL = límite líquido, según la ASTM 4- 423

FIG. No. 19 COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CARGA

	CON PASAJUNTAS Y REFORZADA CON MALLA		JUNTA SIN PASAJUNTAS (FRICCIÓN ENTRE AGREGADOS)		CON REFUERZO CONTINUO		TIPO DE PAVIMENTO
	No	Si	No	Si	No	Si	
Millones de ejes equivalentes							
Hasta 0.3	3.2	2.7	3.2	2.8	-	-	Calles y caminos vecinales
0.3 - 1	3.2	2.7	3.4	3.0	-	-	
1 a 3	3.2	2.7	3.6	3.1	-	-	
3 a 10	3.2	2.7	3.8	3.2	2.9	2.5	Caminos principales y autopistas
10 a 30	3.2	2.7	4.1	3.4	3.0	2.6	
Más de 30	3.2	2.7	4.3	3.6	3.1	2.6	

Valores recomendados por "AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures", 1993