



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO UTILIZANDO SOBRECAPAS DE REFUERZO

Javier Paúl Morales Olivares

Piura, 05 de Enero de 2005

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA

Facultad de Ingeniería
Programa Académico de Ingeniería Civil



**“Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto
utilizando sobrecapas de refuerzo”**

Tesis que presenta el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería

JAVIER PAÚL MORALES OLIVARES

Para optar el título de:

INGENIERO CIVIL

Asesor : Mgtr. Jorge Timaná Rojas

PIURA – PERÚ

2004

Dedicatoria

*Dedico esta tesis a Dios, a mis
padres: Javier y Sebastiana por el
apoyo constante que siempre me han
brindado.*

PROLOGO

En las últimas décadas, los pavimentos de concreto han adquirido mayor participación en los proyectos viales, debido a su durabilidad, capacidad de reparto de cargas y calidad para el rodamiento. Sin embargo, éstos pueden quedar parcial o totalmente fuera de servicio como consecuencia lógica del desgaste producido por el uso y otros factores como clima, tráfico, etc. Por lo tanto, es necesario realizar una serie de trabajos tendientes a dejar la obra en las mismas condiciones que se encontraba al momento de su puesta en servicio.

El proceso de rehabilitación está ligado al monitoreo permanente del pavimento construido con el fin de determinar el estado en que se encuentra y recomendar así una adecuada rehabilitación. En los primeros años de servicio, es necesario una rehabilitación superficial que permita al pavimento mejorar sus características superficiales. Pero, a medida que pasa el tiempo, los gastos para conservarlo en condiciones aceptables de transitabilidad se tornan onerosos. Es en este momento que se debe pensar en una rehabilitación estructural, con el fin de evitar la destrucción total del mismo.

Es responsabilidad de los ingenieros estudiar las diferentes alternativas de rehabilitación de pavimentos de concreto, realizando un estudio económico que permita elegir la alternativa técnico-económica más adecuada.

Después de cumplir su vida de servicio, por lo general los pavimentos poseen un valor residual como estructuras resistentes y aptas para distribuir las cargas de tránsito sobre la subrasante. Por lo tanto, siempre que no sea necesario modificar su trazado en planimetría o altimetría, la solución que aparece como más racional es el uso de sobrecapas de refuerzo sobre el pavimento existente, con el fin de devolverle a éste sus características funcionales y estructurales que tenía al principio.

En Piura y en general en todo el Perú, es poco lo que se ha hecho por aplicar este tipo de rehabilitación, debido al desconocimiento o poca difusión de los métodos, técnicas, equipos y materiales que son utilizados. Motivado por esta carencia y la gran importancia que puede representar en el aspecto económico aplicarlas oportunamente, evitando la destrucción total del pavimento, presento la tesis titulada **“Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo”**, que pretende dar a conocer el procedimiento de diseño de sobrecapas de refuerzo (flexible o rígida) sobre pavimentos de concreto, utilizando el método AASHTO 93, como una alternativa de solución en la rehabilitación de los mismos.

Finalmente deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor Mgtr. Ing. Jorge Timaná Rojas, por su apoyo continuo en la elaboración de la presente tesis.

Javier Paúl Morales Olivares
Bachiller en Ingeniería Civil

RESUMEN

Éste trabajo pretende difundir el uso de sobrecapas de refuerzo como una alternativa de solución en la rehabilitación de los pavimentos de concreto. En ese sentido, la presente tesis tiene como objetivo dar a conocer los diferentes tipos de sobrecapas de refuerzo (flexible o rígida), que se pueden aplicar sobre los pavimentos rígidos y el procedimiento de diseño de cada uno de ellas, utilizando el método AASHTO 93.

El desarrollo del trabajo se divide en dos grandes partes . La primera parte comprende todas las consideraciones básicas que se debe tener en cuentas al momento de diseñar un refuerzo, como son: evaluación del pavimento, reparaciones previas, preparación de la superficie, etc. La segunda parte trata el procedimiento de diseño de una sobrecapa de refuerzo (flexible o rígida) y su aplicación a un problema específico de la ciudad de Piura.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ejemplo de aplicación se concluye que la metodología propuesta es aplicable a los pavimentos de concreto de nuestra ciudad. presentándose como una alternativa económica y durable en el tiempo.

INDICE

Dedicatoria	
Prólogo	
Resumen	
Introducción	

Capítulo I: Método AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos.

1.1 Resumen.	3
1.2 Introducción a los pavimentos de concreto	4
1.2.1 Definición.	4
1.2.2 Tipos de pavimento de concreto.	5
1.2.3 Juntas.	8
1.2.3.1 Juntas de contracción.	8
1.2.3.2 Juntas de construcción.	9
1.2.3.3 Juntas de expansión.	9
1.2.4 Sellos.	10
1.2.4.1 Sellos líquidos.	10
1.2.4.2 Sellos preformados.	11
1.3 Factores de diseño.	12
1.3.1 Variables de diseño.	13
1.3.1.1 Variables de tiempo.	13
1.3.1.2 Tránsito.	14
1.3.1.3 Confiabilidad.	15
1.3.2 Criterios de comportamiento.	18
1.3.2.1 Serviciabilidad.	18
1.3.3 Propiedades de los materiales.	19
1.3.3.1 Módulo de reacción de la subrasante.	19
1.3.3.2 Módulo de rotura del concreto.	22
1.3.3.3 Módulo de elasticidad del concreto	22
1.3.4 Características estructurales.	23
1.3.4.1 Drenaje.	23
1.3.4.2 Transferencia de carga.	26
1.3.4.3 Pérdida de soporte.	27

Capítulo II: Comportamiento y evaluación del pavimento de concreto.

2.1 Resumen.	29
2.2 Comportamiento del pavimento de concreto.	30
2.2.1 Comportamiento funcional.	30
2.2.2 Comportamiento estructural.	31
2.3 Factores que afectan el comportamiento del pavimento de concreto.	32
2.3.1 Tráfico.	32
2.3.2 Medio ambiente.	35
2.4 Evaluación del pavimento existente.	35
2.4.1 Evaluación funcional.	36
2.4.1.1 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).	37
2.4.1.2 Índice de Regularidad Superficial (IRI).	39

2.4.1.3 Índice de Estado (IE).	41
2.4.2 Evaluación estructural.	43
2.4.2.1 Evaluación de la capacidad estructural basada en ensayos no destructivos	44
2.4.3 Evaluación visual.	46
2.4.3.1 Clasificación de fallas.	46
2.4.3.2 Cuantificación de fallas.	47
2.5 Diagnóstico del estado del pavimento.	56

Capítulo III: Principales consideraciones para el diseño de una sobrecapa de refuerzo

3.1 Resumen.	57
3.2 Reparaciones previas.	57
3.2.1 Estabilización de losas.	58
3.2.2 Reparación en todo el espesor.	60
3.2.3 Reparación de espesor parcial.	62
3.2.4 Colocación de barras de transferencia de carga.	64
3.2.5 Colocación de barras en cruz.	64
3.2.6 Cepillado.	65
3.2.7 Reparación de juntas y grietas.	66
3.2.8 Instalación de drenes de borde.	67
3.3 Control de reflexión de fisuras.	68
3.3.1 Definición.	68
3.3.2 Dispositivos de control.	70
3.3.2.1 Rotura y asentamiento.	70
3.3.2.2 Capa inhibidora del agrietamiento.	73
3.3.2.3 Capa compuesta absorbente de esfuerzos.	73
3.4 Ensanche de pavimentos.	74

Capítulo IV: Diseño de sobrecapas de refuerzo sobre pavimentos rígidos.

4.1 Resumen.	77
4.2 Conceptos generales acerca de sobrecapas de refuerzo.	78
4.2.1 Factores básicos para el diseño de refuerzos.	79
4.2.2 Estudios preliminares.	79
4.2.3 Factores de dimensionamiento de una rehabilitación estructural.	80
4.2.3.1 Análisis del tránsito.	80
4.2.3.2 Análisis de la subrasante.	85
4.3 Refuerzos flexibles.	88
4.3.1 Concreto asfáltico como material de refuerzo.	88
4.3.2 Refuerzo sobre pavimentos de concreto previamente fracturados.	90
4.3.2.1 Diseño del espesor de refuerzo.	90
4.3.2.2 Procedimiento constructivo.	99
4.3.3 Refuerzo sobre pavimentos de concreto sin fracturar.	101
4.3.3.1 Diseño del espesor de refuerzo.	101
4.3.3.2 Procedimiento constructivo.	114
4.4 Refuerzos rígidos.	115
4.4.1 Concreto de cemento portland como material de refuerzo.	115
4.4.2 Refuerzo adherido al pavimento existente.	115
4.4.2.1 Diseño del espesor de refuerzo.	116

4.4.2.2 Preparación de la superficie del pavimento.	119
4.4.2.3 Construcción de la interfase (capa de adherencia).	120
4.4.2.4 Aserrado y sellado de juntas.	121
4.4.3 Refuerzo no adherido al pavimento existente.	123
4.4.3.1 Diseño del espesor de refuerzo.	125
4.4.3.2 Preparación de la superficie del pavimento.	128
4.4.3.3 Construcción de la interfase (capa de separadora).	129
4.4.3.4 Aserrado y sellado de juntas.	130

Capítulo V: Ejemplo de aplicación a un problema específico de la ciudad de Piura.

5.1 Resumen.	133
5.2 Estado actual de los pavimentos de concreto de la ciudad de Piura.	133
5.2.1 Análisis de la problemática local.	133
5.2.1.1 Lluvias	134
5.2.1.2 Control de calidad de los materiales.	134
5.2.1.3 Inadecuado plan de mantenimiento.	134
5.2.3 Sobrecapa asfáltica de refuerzo (Avenida Loreto, cuadras 1 a 5).	141
5.2.3.1 Descripción del proyecto.	141
5.2.3.2 Estado actual de la obra ejecutada.	141
5.3 Ejemplo de aplicación.	146
5.3.1 Introducción.	146
5.3.2 Metodología.	146
5.3.2.1 Estudio de cargas.	146
5.3.2.2 Evaluación superficial.	148
5.3.2.3 Posibles alternativas de solución.	151
5.3.2.4 Evaluación técnico-económica.	153
5.3.3 Conclusiones.	157
5.3.4 Recomendaciones.	157

Bibliografía

INTRODUCCIÓN

El tema de rehabilitación de pavimentos de concreto con sobrecapas de refuerzo nace paralelamente a la construcción de carreteras. El primer trabajo que se tiene memoria acerca de este tipo de aplicaciones tuvo lugar en la Union Street, de la ciudad de Schenectady, Estados Unidos, en el año de 1909, donde se construyó un recubrimiento de concreto con espesores variables entre 3.8 cm en los bordes y 7.6 cm en el centro sobre un pavimento de concreto simple. La obra prestó servicio por 12 años.

Desde entonces el tema de rehabilitación con sobrecapas de refuerzo ha adquirido mucha importancia en los proyectos viales. Se han publicado diversas guías de diseño referidas al tema, entre las que destacan la publicada por el Instituto del Asfalto en el año 1983 denominada “Sobrecapas asfálticas para la rehabilitación de calles y carreteras”, y la publicada por la AASHTO en el año 1993 titulada “Diseño de estructuras de pavimentos”.

En lo que concierne al plano local, la tesis “Diseño de sobrecapas asfálticas de refuerzo en pavimentos usando el método del Instituto del Asfalto”, realizada por el Ing. José Andrés Bermeo Romero, constituye un gran aporte al tema que merece ser ampliado, ya que existen otros métodos, como el propuesto en la presente tesis, el cuál no solamente trata el uso de sobrecapas asfálticas como alternativa de rehabilitación, sino también el uso de sobrecapas de refuerzo de concreto de cemento portland que, según sea el caso, pueden ser adheridas y no adheridas al pavimento por rehabilitar.

En la ciudad de Piura son pocos los pavimentos en los que se ha utilizado esta técnica de rehabilitación, como es el caso de la Avenida Loreto de la cuadra 1 a la 5, en la cuál se ha colocado una sobrecapa asfáltica sobre un pavimento de concreto de cemento portland.

El desarrollo de la presente tesis se ha dividido en cinco capítulos. El primer capítulo es una introducción a los pavimentos rígidos. Se describe en forma breve cada uno de los factores necesarios para el diseño, según el método AASHTO 93. El segundo capítulo abarca el comportamiento del pavimento de concreto y los principales factores que afectan su serviciabilidad. Se describe en forma breve las formas de evaluar el estado de un pavimento.

El tercer capítulo se refiere a las principales consideraciones que se deben tener en cuenta al momento de diseñar una sobrecapa de refuerzo, como son: reparaciones previas, ensanche de pavimentos, etc. El cuarto capítulo comprende el diseño de refuerzo estructural (flexible o rígido), sobre pavimentos de concreto existentes, utilizando el procedimiento propuesto por el método AASHTO 93. El último capítulo trata en forma breve el estado actual de los pavimentos de concreto en la ciudad de Piura y el desarrollo de un ejemplo de cálculo de refuerzo estructural aplicado a un problema específico.

CAPITULO I

MÉTODO AASHTO 93 PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

1.1 RESUMEN

El método de diseño AASHTO, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitación de las distintas secciones ensayadas.

A partir de la versión del año 1986, y su correspondiente versión mejorada de 1993, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original.

Se ha elegido el método AASHTO, porque a diferencia de otros métodos, éste método introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario.

En este capítulo se desarrollará en forma concisa los conceptos básicos sobre pavimentos rígidos, para tener una idea general de los tipos de pavimentos, así como de los principales elementos que conforman el pavimento de concreto como son: subbase, losa de concreto, juntas, selladores, tipos de pavimento, etc. Asimismo, se describirá brevemente cada uno de los factores o parámetros necesarios para el diseño de pavimentos rígidos según el método AASHTO 93.

1.2 INTRODUCCIÓN A LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

1.2.1 DEFINICIÓN

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Todo lo contrario sucede en los pavimentos flexibles, que al tener menor rigidez, transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencia mayores tensiones en la subrasante, como se puede apreciar en la figura 1.1.

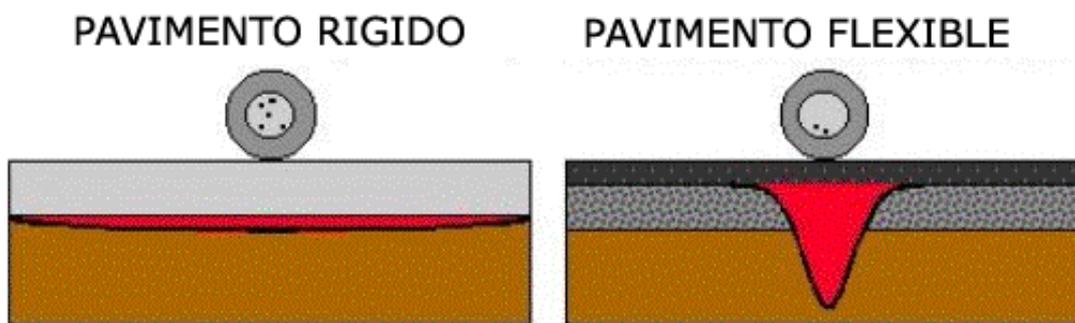


Figura 1.1 Esquema del comportamiento de pavimentos

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, subbase y la losa de concreto. A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman el pavimento rígido.

a) Subrasante

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.⁽¹⁾

b) Subbase

La capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.

⁽¹⁾ Subrasantes y subbases para pavimentos de concreto de la American Concrete Pavement Association (ACPA)

Entre otras funciones que debe cumplir son:

- Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.
- Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

c) Losa

La losa es de concreto de cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

1.2.2 TIPOS DE PAVIMENTO DE CONCRETO

Los diversos tipos de pavimentos de concreto pueden ser clasificados, en orden de menor a mayor costo inicial, de la siguiente manera: ⁽²⁾

- Pavimentos de concreto simple.
 - Sin pasadores.
 - Con pasadores.
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas
- Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.

a) Pavimentos de concreto simple

a.1) Sin pasadores (figura 1.2)

Son pavimentos que no presentan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas, ésta se logra a través de la trabazón (interlock) de los agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas aserradas o formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas.

Están constituidos por losas de dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 6 m de largo y 3.5 m de ancho. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto. Por ejemplo para calles de urbanizaciones residenciales, éstos varían entre 10 y 15 cm, en las denominadas colectoras entre 15 y 17 cm. En carreteras se obtienen espesores de 16 cm. En aeropistas y autopistas 20 cm o más.

Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoyan directamente sobre la subrasante.

⁽²⁾ Boletín técnico N^o 81 de la Asociación de Productores de Cementos del Perú (ASOCEM).

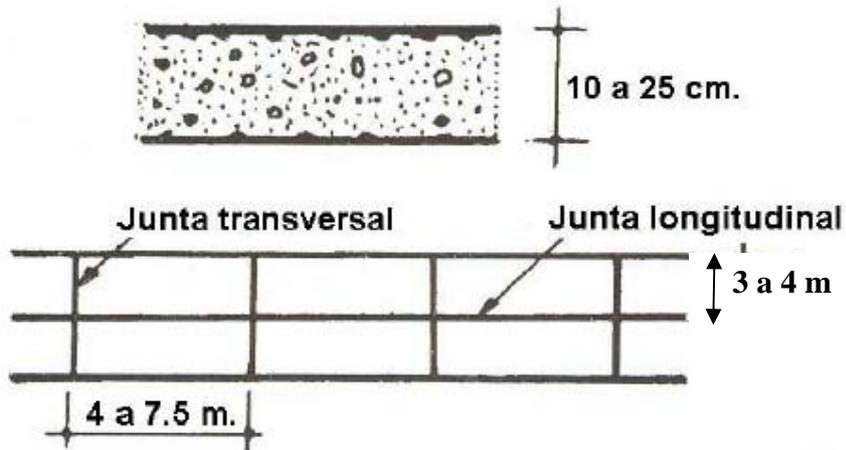


Figura 1.2 Pavimento de concreto simple sin pasadores*

a.2) Con pasadores (figura 1.3)

Los pasadores (dowels) son pequeñas barras de acero liso, que se colocan en la sección transversal del pavimento, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de deformación en las juntas. De esta manera, se evitan los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamientos).

Según la Asociación de Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés), este tipo de pavimento es recomendable para tráfico diario que exceda los 500 ESALs (ejes simples equivalentes), con espesores de 15 cm o más.

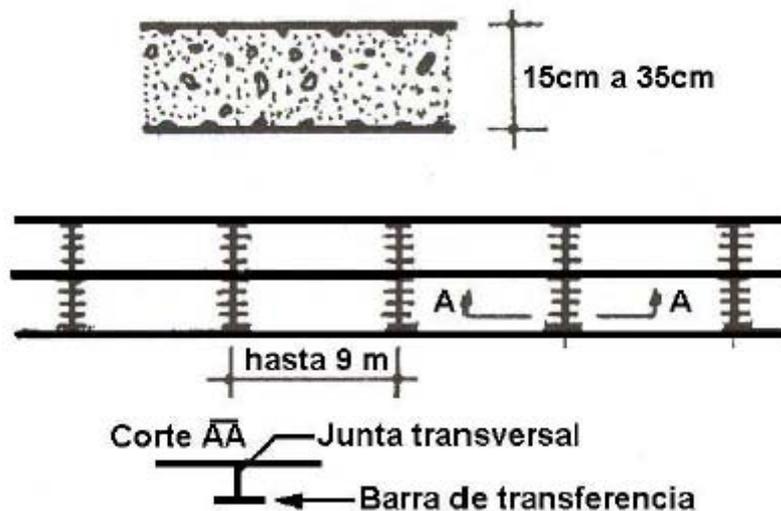


Figura 1.3 Pavimento de concreto simple con pasadores*

*Tomado del boletín técnico N° 81, publicado por la ASOCEM.

b) Pavimentos de concreto reforzado con juntas (figura 1.4)

Los pavimentos reforzados con juntas contienen además del refuerzo, pasadores para la transferencia de carga en las juntas de contracción. Este refuerzo puede ser en forma de mallas de barras de acero o acero electrosoldado. El objetivo de la armadura es mantener las grietas que pueden llegar a formarse bien unidas, con el fin de permitir una buena transferencia de cargas y de esta manera conseguir que el pavimento se comporte como una unidad estructural.

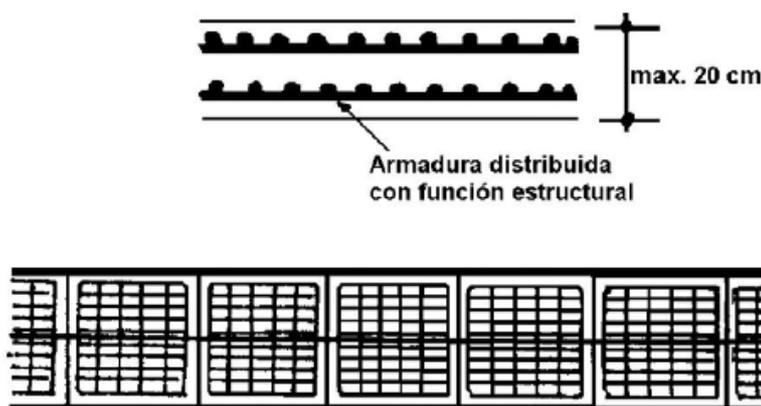


Figura 1.4 Pavimento de concreto reforzado*

c) Pavimentos de concreto con refuerzo continuo (figura 1.5)

A diferencia de los pavimentos de concreto reforzado con juntas, éstos se construyen sin juntas de contracción, debido a que el refuerzo asume todas las deformaciones, específicamente las de temperatura. El refuerzo principal es el acero longitudinal, el cual se coloca a lo largo de toda la longitud del pavimento. El refuerzo transversal puede no ser requerido para este tipo de pavimentos.

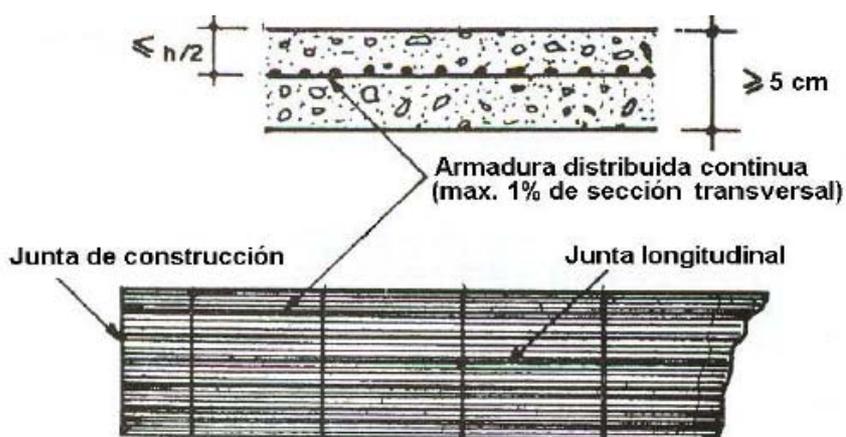


Figura 1.5 Pavimento con refuerzo continuo*

*Tomado del boletín técnico N° 81, publicado por la ASOCEM.

1.2.3 JUNTAS

La función de las juntas consiste en mantener las tensiones de la losa provocadas por la contracción y expansión del pavimento dentro de los valores admisibles del concreto; o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas losas.

Son muy importantes para garantizar la duración de la estructura, siendo una de las pautas para calificar la bondad de un pavimento. Por otro lado, deben ser rellenadas con materiales apropiados, utilizando técnicas constructivas específicas. En consecuencia, la conservación y oportuna reparación de las fallas en las juntas son decisivas para la vida útil de un pavimento.

De acuerdo a su ubicación respecto de la dirección principal o eje del pavimento, se denominan como longitudinales y transversales. Según la función que cumplen se les denomina de contracción, articulación, construcción expansión y aislamiento. Según la forma, se les denomina, rectas, machimbradas y acanaladas.

1.2.3.1 JUNTAS DE CONTRACCIÓN

Su objetivo es inducir en forma ordenada la ubicación del agrietamiento del pavimento causada por la contracción (retracción) por secado y/o por temperatura del concreto. Se emplea para reducir la tensión causada por la curvatura y el alabeo de losas. Los pasadores se pueden usar en las juntas de contracción para la transferencia de cargas, bajo ciertas condiciones. Sin embargo, se espera que la transferencia de cargas se logre mediante la trabazón entre los agregados.

En la figura 1.6 se observan los diferentes tipos de juntas de contracción

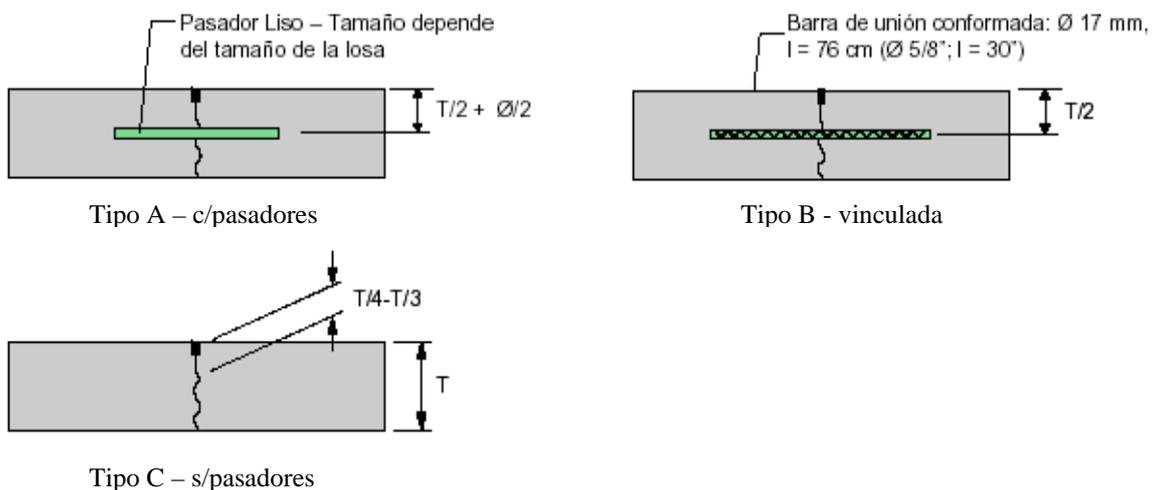


Figura 1.6 Tipos de juntas de contracción *

*Tomado del artículo "Design and construction of joint for concrete highways", publicado por la American Concrete Pavement Association (ACPA).

1.2.3.2 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Las juntas de construcción separan construcciones contiguas colocadas en diferentes momentos, tales como la colocación al final del día o entre fajas de pavimentación. La transferencia de cargas se logra mediante el empleo de pasadores. Pueden ser transversales o longitudinales. En la figura 1.7 se observan los diferentes tipos de juntas de construcción.

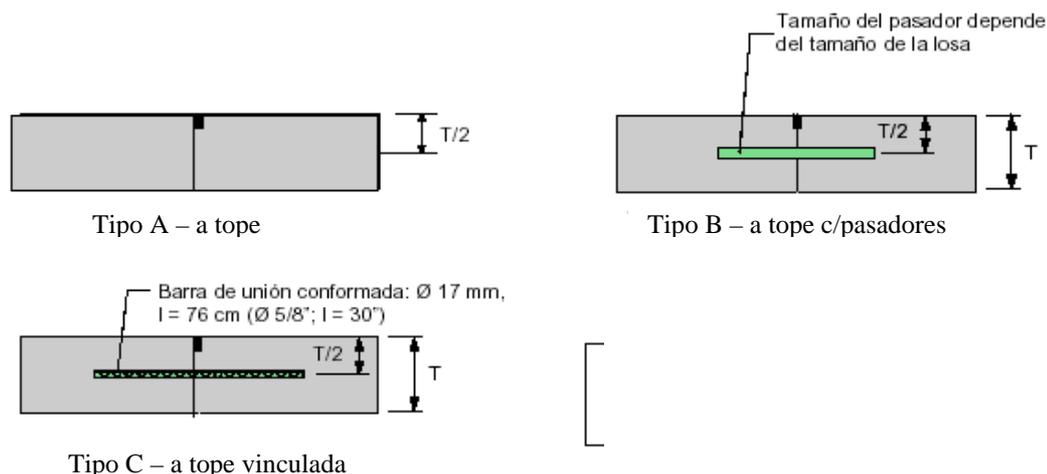


Figura 1.7 Tipos de juntas de construcción*

1.2.3.3 JUNTAS DE EXPANSIÓN O AISLACIÓN

Se usan para aislar pavimentos que se interceptan con la finalidad de disminuir los esfuerzos de compresión en éstos, cuando se expanden por el aumento de temperatura. También se utilizan para aislar estructuras existentes. En la figura 1.8 se muestran los diferentes tipos de juntas de expansión.

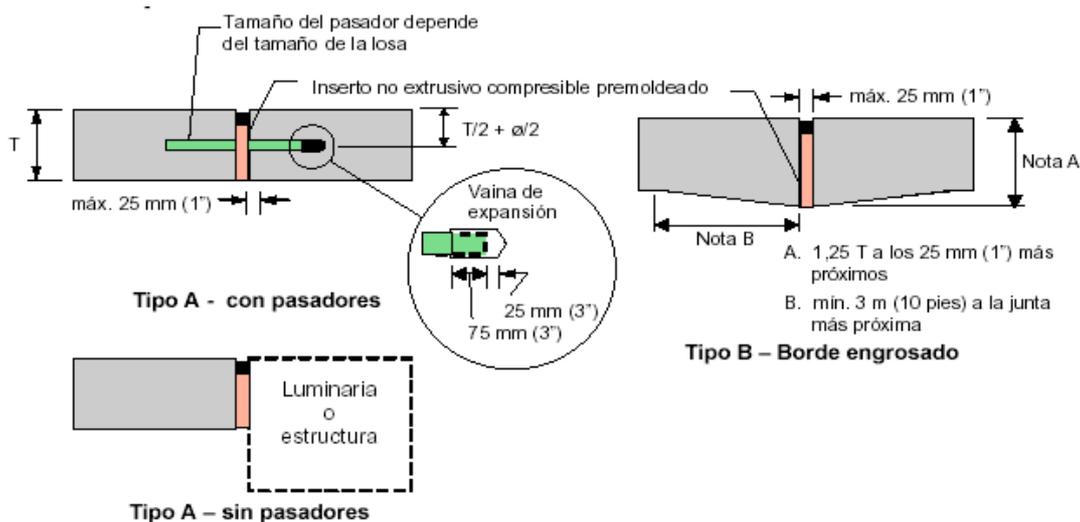


Figura 1.8 Tipos de juntas de expansión*

*Tomado del artículo "Design and construction of joint for concrete highways", publicado por la ACPA.

1.2.4 SELLOS

La función principal de un sellador de juntas es minimizar la infiltración de agua a la estructura del pavimento y evitar la intrusión de materiales incompresibles dentro de las juntas que pueden causar la rotura de éstas (descascamientos).

En la selección del sello se debe considerar su vida útil esperada, el tipo de sello, tipo de junta, datos climáticos y el costo de control de tránsito en cada aplicación del sello, en todo el período económico de análisis. El tipo de junta es muy influyente en la selección del material de sello. Las juntas longitudinales entre pistas o en la unión berma-losa no generan las mismas tensiones sobre el sello que ejercen las juntas transversales, debido a que sus movimientos son considerablemente menores. Se podría optimizar enormemente el costo del proyecto considerando esto en la selección del sello.

Todo material de sellos de juntas de pavimentos de concreto, deben cumplir con las siguientes características:

- Impermeabilidad
- Deformabilidad
- Resiliencia
- Adherencia
- Resistencia
- Estable
- Durable

Finalmente, el sellado se hará antes de la entrega al tránsito y previa limpieza de la junta, con la finalidad de asegurar un servicio a largo plazo del sellador. Los siguientes puntos son esenciales para las tareas de sellado:

- Inmediatamente antes de sellar, se deben limpiar las juntas en forma integral para librarlas de todo resto de lechada de cemento, compuesto de curado y demás materiales extraños.
- Parta limpiar la junta, se puede usar arenado, cepillo de alambre, chorro de agua o alguna combinación de estas herramientas. Las caras de la junta se pueden imprimir inmediatamente después de la limpieza.
- Es necesario usar el soplado con aire como paso final de la limpieza.
- Cabe mencionar que la limpieza solo se hará | sobre la cara donde se adherirá el sellador.

1.2.4.1 SELLOS LÍQUIDOS

La performance a largo plazo de este tipo de sello, depende de su capacidad de adhesión con la cara de la junta. Los sellos líquidos pueden ser de asfalto, caucho colocado en caliente, compuesto elastoméricos, siliconas y polímeros. Los materiales son colocados en las juntas en forma líquida, permitiéndoseles fraguar.

Cuando se instalan los sellos líquidos es necesario el uso de un cordón o varilla de respaldo, la cual no debe adherirse ni al concreto ni al sellador ya que si esto sucede se induce tensión en el mismo. También ayuda a definir el factor de forma y a optimizar la

cantidad de sello a usar. El diámetro del cordón debe ser 25 % más grande que el ancho del reservorio para asegurar un ajuste hermético.

El factor de forma (relación ancho/profundidad) del sellador es una consideración muy importante a tener en cuenta, ya que si éste no es el adecuado, se pueden generar esfuerzos excesivos dentro del sello que acortan la vida útil de éste. Un sellador con un factor de forma inferior a uno desarrolla menos esfuerzos que un sellador con un factor de forma mayor a uno.

1.2.4.2 SELLOS ELASTOMÉRICOS PREFORMADOS

La performance a largo plazo de este tipo de sello, depende de su capacidad de recuperación a la compresión. Son sellos de neopreno extruido que tienen redes internas que ejercen una fuerza hacia fuera contra las caras de la junta. A diferencia de los sellos líquidos que experimentan esfuerzos de compresión y tensión, los sellos preformados solo se diseñan para esfuerzos de tensión.

La profundidad y ancho del reservorio dependen de la cantidad de movimiento esperado en la junta. Como regla general, la profundidad del reservorio debe exceder la profundidad del sello preformado.

Los reservorios de sellador por compresión están conformados para proporcionar un promedio de compresión del sellador de un 25 % en todo momento. En la figura 1.9 se observan los diferentes tipos de selladores.

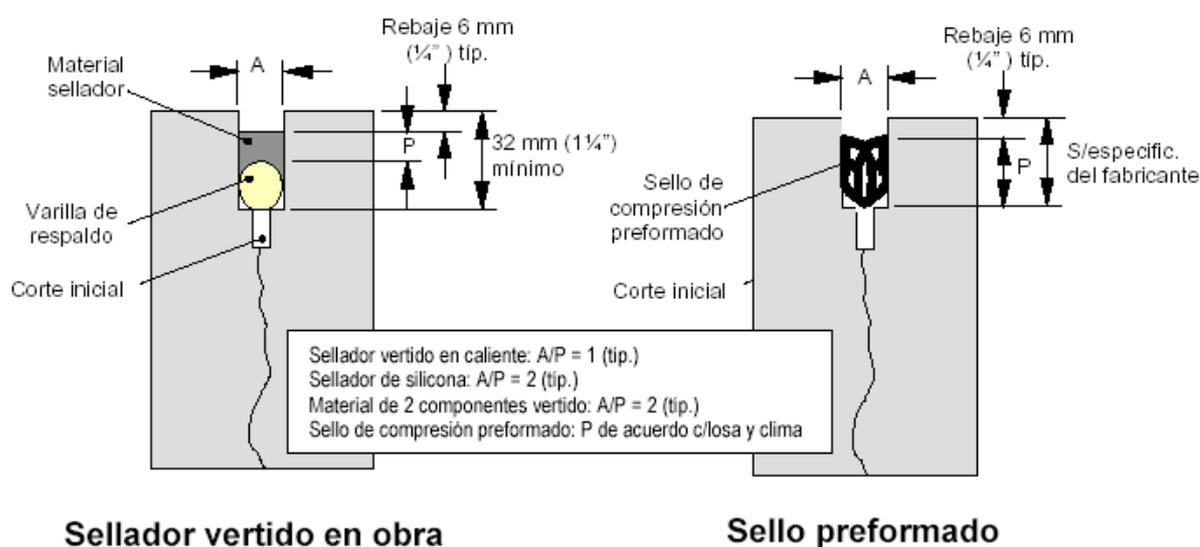


Figura 1.9 Tipos de selladores*

*Tomado del artículo "Design and construction of joint for concrete highways", publicado por la ACPA.

1.3 FACTORES DE DISEÑO

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

La ecuación fundamental AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos es:

$$\text{Log } W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \log \left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k}\right]^{0.25}} \right]} \right]$$

Donde:

W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.

Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

S_0 = Desvío estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa del pavimento en pulg.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

P_t = Serviciabilidad final.

S'_c = Módulo de rotura del concreto en psi.

J = Coeficiente de transferencia de carga.

C_d = Coeficiente de drenaje.

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

K = Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulg).

Para una mejor descripción de las variables, éstas se han clasificado de la siguiente manera:

- **VARIABLES DE DISEÑO.** Esta categoría se refiere al grupo de criterios que debe ser considerado para el procedimiento de diseño.
- **Criterio de comportamiento.** Representa el grupo de condiciones de fronteras especificado por el usuario, dentro del que una alternativa de diseño deberá comportarse.
- **Propiedades de los materiales para el diseño estructural.** Esta categoría cubre todas las propiedades de los materiales del pavimento y del suelo de fundación, requeridas para el diseño estructural.
- **Características estructurales.** Se refiere a ciertas características físicas de la estructura del pavimento, que tienen efecto sobre su comportamiento.

1.3.1 VARIABLES DE DISEÑO

1.3.1.1 VARIABLES DE TIEMPO

Se consideran dos variables: período de análisis y vida útil del pavimento. La vida útil se refiere al tiempo transcurrido entre la puesta en operación del camino y el momento en el que el pavimento requiera rehabilitarse, es decir, cuando éste alcanza un grado de serviciabilidad mínimo. El período de análisis se refiere al período de tiempo para el cual va a ser conducido el análisis, es decir, el tiempo que puede ser cubierto por cualquier estrategia de diseño. Para el caso en el que no se considere rehabilitaciones, el período de análisis es igual al período de vida útil; pero si se considera una planificación por etapas, es decir, una estructura de pavimento seguida por una o más operaciones de rehabilitación, el período de análisis comprende varios períodos de vida útil, el del pavimento y el de los distintos refuerzos.

Para efectos de diseño se considera el período de vida útil, mientras que el período de análisis se utiliza para la comparación de alternativas de diseño, es decir, para el análisis económico del proyecto. Los períodos de análisis recomendados son mostrados en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Períodos de análisis*

CLASIFICACIÓN DE LA VÍA	PERÍODO DE ANÁLISIS (AÑOS)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 – 50
Rural de alto volumen de tráfico	20 – 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 – 20

*Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”.

1.3.1.2 TRÁNSITO

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que éstos resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito esta compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, lo cual origina distintas fallas en éste. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 kips (80 kN) ó ESAL (Equivalent Single Axle Load), de tal manera que el efecto dañino de cualquier eje pueda ser representado por un número de cargas por eje simple.

La información de tráfico requerida por la ecuación de diseño utilizado en este método son: cargas por eje, configuración de ejes y número de aplicaciones.

Para la estimación de los ejes simples equivalentes (ESALs), se debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

a) Factor equivalente de carga (LEF, por sus siglas en ingles)

La conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga (Fec), que es el número de aplicaciones ESALs aportadas por un eje determinado. Así, el Fce es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un eje estándar de 18 Kips y la carga producida por otro tipo de eje.

$$LEF = \frac{N^0 \text{ de ESALs de } 80 \text{ kN que produce una pérdida de serviciabilidad}}{N^0 \text{ de ejes x kN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Por ejemplo, la aplicación de un eje simple de 12 kips causa un daño aproximadamente igual a 0.23 aplicaciones de una carga por eje simple de 18 kips, por lo tanto se necesitan cuatro aplicaciones de un eje simple de 12 kips para provocar el mismo daño (o reducción de la serviciabilidad), que el de una aplicación de un eje simple de 18 kips.

b) Factor camión (TF, por sus siglas en ingles)

El factor camión (FC) da una manera de expresar los niveles equivalentes de daño entre ejes, pero para el cálculo de ESALs es conveniente expresar el daño en términos del deterioro producido por un vehículo en particular, es decir los daños producidos por cada eje de un vehículo son sumados para dar el daño producido por ese vehículo. Así nace el concepto de factor camión que es definido como el número de ESALs por vehículo.

El factor camión, puede ser computado para cada clasificación general de camiones o para todos los vehículos comerciales como un promedio para una configuración dada de tránsito, pero es más exacto considerar factores camión para cada clasificación general de camiones.

1.3.1.3 CONFIABILIDAD

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Cabe resaltar, que cuando hablamos del comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de éste, es decir, a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito, y asimismo de brindar seguridad y confort al usuario durante el período para el cual fue diseñado. Por lo tanto, la confiabilidad esta asociada a la aparición de fallas en el pavimento.

La confiabilidad (R) de un pavimento puede definirse en términos de ESALs como:

$$R (\%) = 100 P(N_t > N_T)$$

Donde :

N_t = Número de ESALs de 80 kN que llevan al pavimento a su serviciabilidad final.

N_T = Número de ESALs de 80 kN previstos que actuarán sobre el pavimento en su período de diseño (vida útil).

Como N_t y N_T tienen una distribución normal, la diferencia entre ambas, también tendrá una distribución normal, como se puede apreciar en la figura 1.10.

Por lo tanto la probabilidad de falla es:

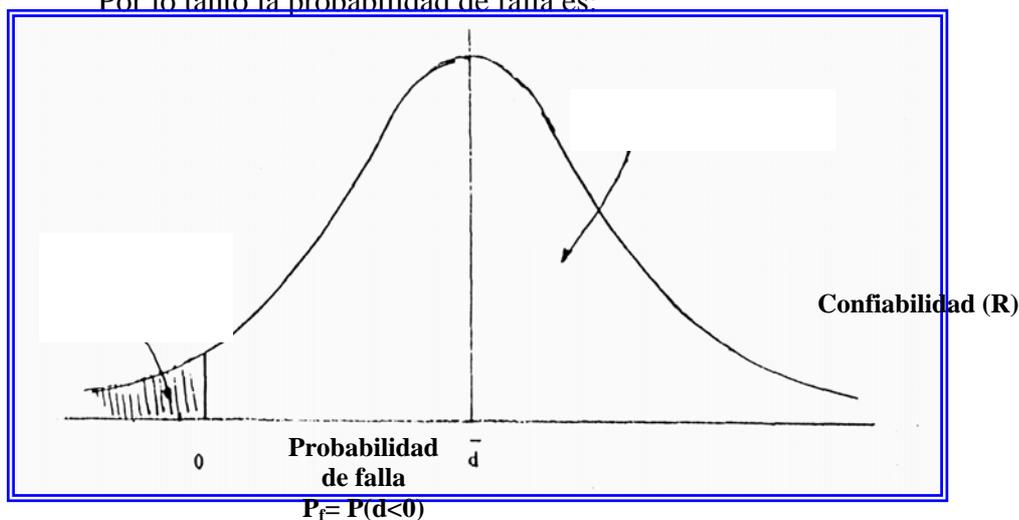


Figura 1.10 Ilustración de los conceptos de probabilidad de falla y de confiabilidad*

*Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".

Es fácil deducir que si el número de ESALs previstos es menor que el número de ESALs reales, la vida útil del pavimento se acortará. Por lo tanto, la variabilidad en el diseño, en la construcción afectan en gran medida la bondad de un diseño, por ejemplo:

- La variación en las propiedades de los materiales a lo largo del pavimento, produce como resultado una variación en el desarrollo de fallas y rugosidades en ese pavimento. Las fallas localizadas en zonas débiles, dan como resultado una disminución en la vida útil del pavimento.
- La variación de la ubicación de los pasadores en las juntas y profundidad de colocación de la armadura da como resultado una variación en el desarrollo de fallas y rugosidades.
- La variación entre los datos de diseño del pavimento y los reales puede significar un aumento o disminución de la vida útil del mismo.

Es por esto que se necesario una variable (S_0 – Desviación Estándar) que acote la variabilidad de todos éstos factores dentro de unos límites permisibles, con el fin de asegurar que la estructura del pavimento se comporte adecuadamente durante su período de diseño.

La desviación estándar es la desviación de la población de valores obtenidos por AASHTO que involucra la variabilidad inherente a los materiales y a su proceso constructivo. En la tabla 1.2 se muestran valores para la desviación estándar.

Tabla 1.2 Valores para la desviación estándar*

CONDICIÓN DE DISEÑO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S_0)	
	Pav. rígido	Pav. flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34	0.44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39	0.49

*Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”.

El número de ESALs de diseño para una confiabilidad dada es:

$$\text{Log}(\text{ESALs}_{\text{diseño}}) = \log N_T + Z_R \times S_0$$

Donde Z_R es el área bajo la curva de distribución, correspondiente a la curva estandarizada. Por ejemplo para $R = 90\%$, $Z_R = 1.28$.

Sea $N_T = 1 \times 10^6$ $R = 90\%$ $Z_R = 1.28$

$$\text{Log}(\text{ESALs}_{\text{diseño}}) = \log 1 \times 10^6 + 1.28 \times 0.49 = 6.6272 \longrightarrow \text{ESALs}_{\text{diseño}} = 4.238 \times 10^6$$

Esto significa que el pavimento va a diseñarse para 4.238×10^6 ESALs en lugar de los 1×10^6 . La diferencia entre estos valores es un coeficiente de seguridad cuyo propósito es tener en cuenta la incertidumbre y variabilidad en el diseño, la construcción y distribución de cargas.

Para la selección del nivel de confiabilidad debe tenerse en cuenta dos aspectos:

a) Grado de importancia de la carretera

Tiene que ver con el uso esperado de la carretera. Así, para carreteras principales el nivel de confiabilidad es alto, ya que un subdimensionamiento del espesor del pavimento traerá como consecuencia que éste alcance los niveles mínimos de serviciabilidad antes de lo previsto, debido al rápido deterioro que experimentará la estructura. En la tabla 1.3 se dan niveles de confiabilidad aconsejados por la AASHTO.

Tabla 1.3 Niveles de Confiabilidad*

Tipo de camino	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

b) Optimizar el espesor de pavimento

Se debe determinar el nivel de confiabilidad óptimo que me asegure el costo total más bajo, es decir, que balancee apropiadamente el costo inicial y los costos de mantenimiento como se muestra en la figura 1.11. Si el espesor es mayor de lo necesario, el pavimento prestará un buen servicio, con bajos costos de mantenimiento, pero el costo de inversión inicial será alto. Todo lo contrario sucede cuando el espesor es menor de lo necesario.

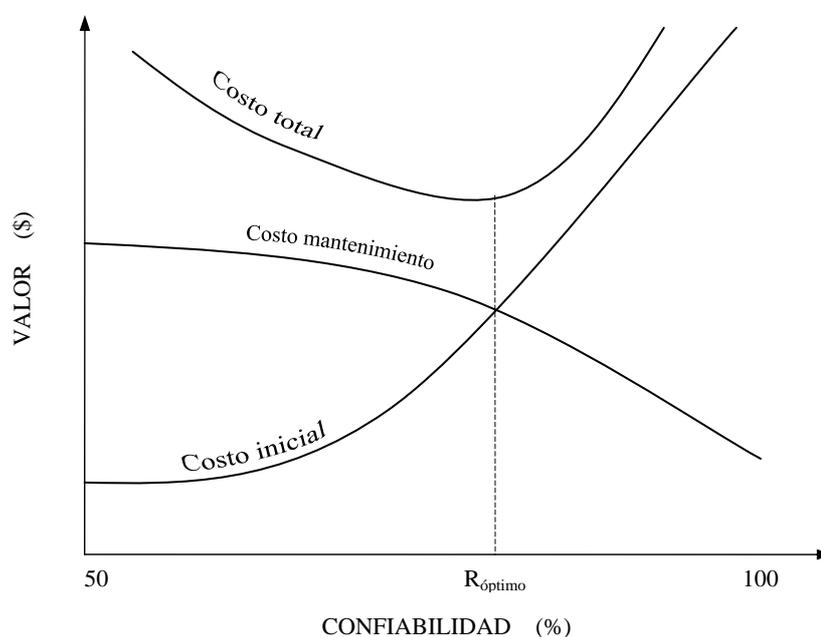


Figura 1.11 Nivel óptimo de confiabilidad*

*Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".

1.3.2 CRITERIOS DE COMPORTAMIENTO

1.3.2.1 SERVICIABILIDAD

La serviciabilidad se usa como una medida del comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario (comportamiento funcional), cuando éste circula por la vialidad. También se relaciona con las características físicas que puede presentar el pavimento como grietas, fallas, peladuras, etc, que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural).

El concepto de serviciabilidad está basado en cinco aspectos fundamentales resumidos como sigue:

1. Las carreteras están hechas para el confort y conveniencia del público usuario.
2. El confort, o calidad de la transitabilidad, es materia de una respuesta subjetiva de la opinión del usuario.
3. La serviciabilidad puede ser expresada por medio de la calificación hecha por los usuarios de la carretera y se denomina la calificación de la serviciabilidad.
4. Existen características físicas de un pavimento que pueden ser medidas objetivamente y que pueden relacionarse a las evaluaciones subjetivas. Este procedimiento produce un índice de serviciabilidad objetivo.
5. El comportamiento puede representarse por la historia de la serviciabilidad del pavimento.

Cuando el conductor circula por primera vez o en repetidas ocasiones sobre una vialidad, experimenta la sensación de seguridad o inseguridad dependiendo de lo que ve y del grado de dificultad para controlar el vehículo. El principal factor asociado a la seguridad y comodidad del usuario es la calidad de rodamiento que depende de la regularidad o rugosidad superficial. del pavimento. La valoración de este parámetro define el concepto de Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, por sus siglas en ingles).

El PSI califica a la superficie del pavimento de acuerdo a una escala de valores de 0 a 5. Claro está, que si el usuario observa agrietamientos o deterioros sobre la superficie del camino aún sin apreciar deformaciones, la clasificación decrece.

El diseño estructural basado en la serviciabilidad, considera necesario determinar el índice de serviciabilidad inicial (P_0) y el índice de serviciabilidad final (P_1), para la vida útil o de diseño del pavimento.

a) Índice de serviciabilidad inicial (P_0)

El índice de serviciabilidad inicial (P_0) se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. AASHTO estableció para pavimentos rígidos un valor inicial deseable de 4.5, si es que no se tiene información disponible para el diseño.

b) Índice de serviciabilidad final (P_t)

El índice de serviciabilidad final (P_t), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario. Dependiendo de la importancia de la vialidad, pueden considerarse los valores P_t indicados en la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Índice de serviciabilidad final*

Pt	Clasificación
3.00	Autopistas
2.50	Colectores
2.25	Calles comerciales e industriales
2.00	Calles residenciales y estacionamientos

La pérdida de serviciabilidad se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

Los factores que influyen mayormente en la pérdida de serviciabilidad de un pavimento son: tráfico, medio ambiente y edad del pavimento. Los efectos que causan éstos factores en el comportamiento del pavimento han sido considerados en este método. El factor edad (tiempo) no está claramente definido. Sin embargo, en la mayoría de los casos es un factor negativo neto que contribuye a la reducción de la serviciabilidad. El efecto del medio ambiente considera situaciones donde se encuentran arcillas expansivas o levantamientos por helada. Así, el cambio total en el PSI en cualquier momento puede ser obtenido sumando los efectos dañinos del tráfico, arcillas expansivas y/o levantamientos por helada, como se muestra en la figura 1.12.

1.3.3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

1.3.3.1 MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (K)

Este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci).

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte california (CBR) o las pruebas de valores R. El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento. Las relaciones de la figura 1.13 son satisfactorias para propósitos de diseño.

*Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".

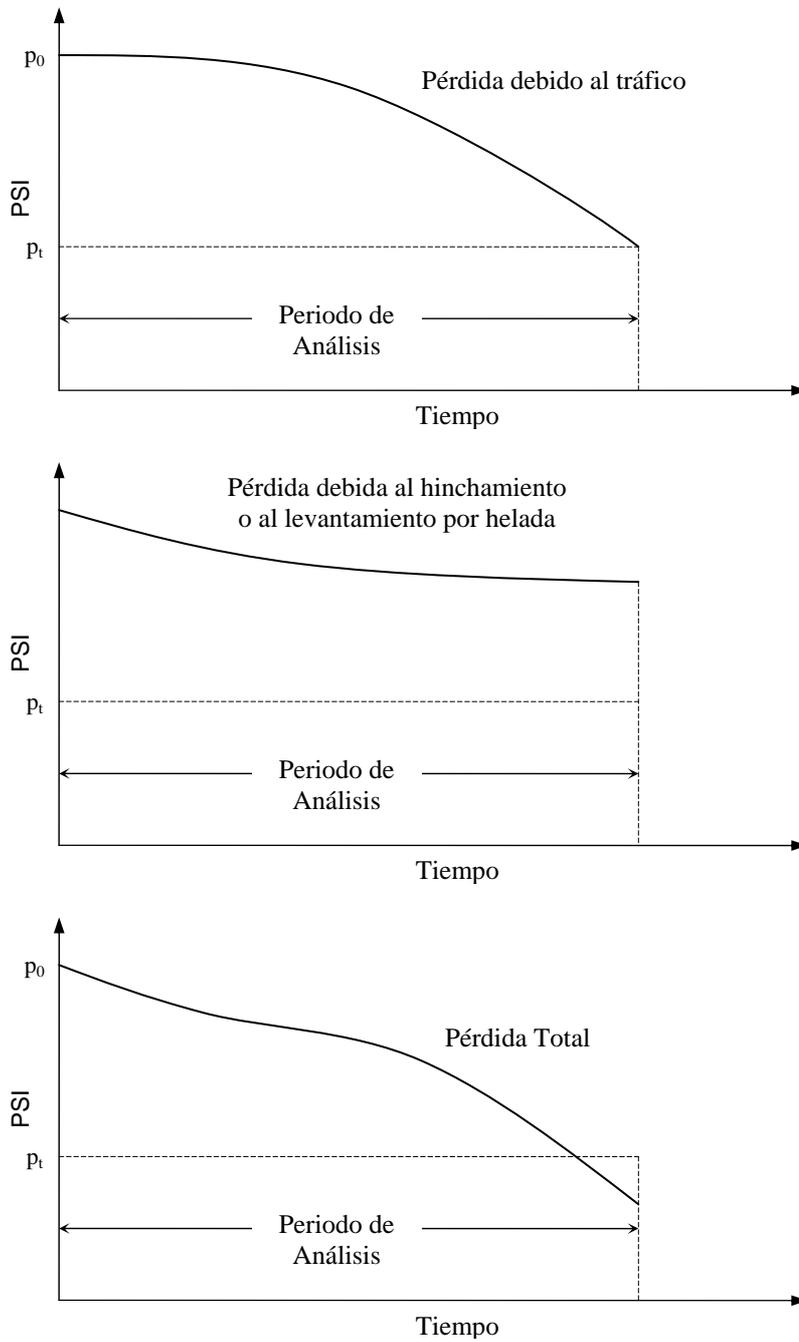


Figura 1.12 Tendencia en el comportamiento de los pavimentos*

* Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".

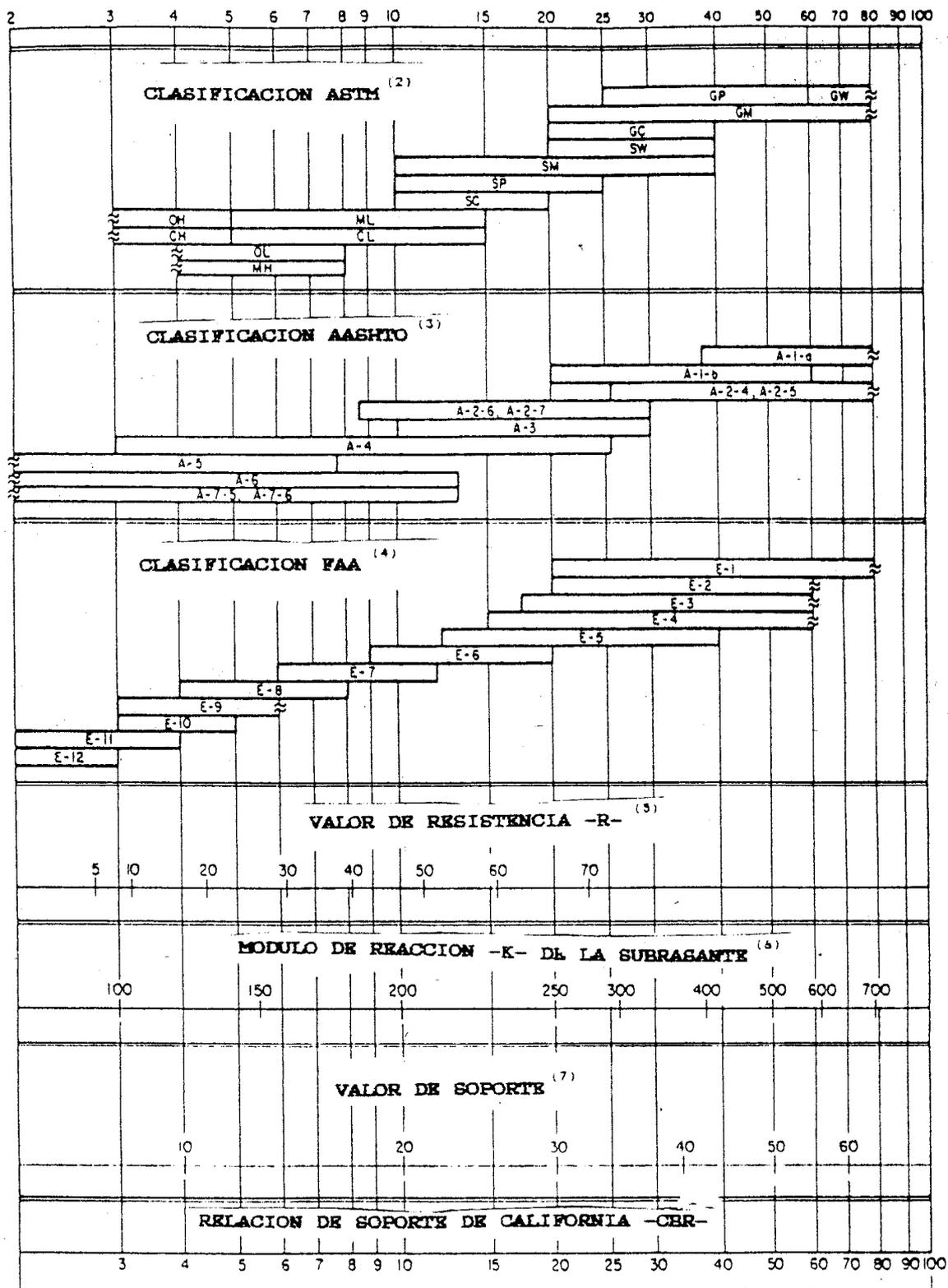


Figura 1.13 Relación aproximada entre los valores k y otras propiedades del suelo*

*Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".

1.3.3.2 MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

El módulo de rotura requerido por el procedimiento de diseño es el valor medio determinado después de 28 días utilizando el ensayo de carga en los tercios. De esta manera, se obtiene en el tercio medio una zona sometida a un momento flector constante igual a $PL/3$ y la rotura se producirá en cualquier punto de este tercio medio con la única condición que exista allí una debilidad. Este ensayo es recomendable frente al ensayo de carga en el punto medio, en el cuál la rotura se producirá indefectiblemente en dicho punto (punto de aplicación de la carga) donde el momento flector es máximo.

El módulo de rotura también se puede determinar a través de las siguientes correlaciones:

1. Estimación a través de la resistencia a compresión del concreto.

$$S'_c = k (f'_c)^{0.5} \quad 7 < k < 12$$

Donde:

f'_c = Resistencia a compresión del concreto en psi.

2. Estimación a través de la resistencia a la tracción indirecta.

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

Donde:

IT = Tracción indirecta medida en las probetas en psi.

Los valores del módulo de rotura varían entre 2.8 MPa (400 psi) y 4.8 MPa (700 psi), llegando incluso a valores de 8.2 MPa (1200 psi), en concretos con alta resistencia inicial.

1.3.3.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura. Para concreto de peso normal, el Instituto del Concreto Americano sugirió:

$$E_c = 57000 (f'_c)^{0.5}$$

Donde E_c y f'_c están dados en psi

1.3.4 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

1.3.4.1 DRENAJE

El proceso mediante el cual el agua de infiltración superficial o agua de filtración subterránea es removida de los suelos y rocas por medios naturales o artificiales, se llama drenaje. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de pavimentos.

El agua es el causante principal del deterioro de la estructura del pavimento, porque origina muchos efectos devastadores en él; siendo el peor, la pérdida de soporte del pavimento.

Para minimizar los efectos del agua sobre los pavimentos se debe:

- Prevenir el ingreso del agua al pavimento (drenaje superficial).
- Proveer de un drenaje para remover el agua rápidamente (drenaje subterráneo).
- Construir un pavimento suficientemente fuerte para resistir el efecto combinado de carga y agua.

Como es imposible impedir el ingreso del agua a la estructura del pavimento; es necesario la construcción de un sistema de subdrenaje que permita remover rápidamente esta agua. En la actualidad se están utilizando subbases altamente permeables y drenes laterales para evacuar rápidamente el agua. La sección típica de una subbase permeable con diferentes tipos de berma se muestra en la figura 1.14a y 1.14b.

Los materiales de drenaje incluyen: agregados, geotextiles y tuberías. Los agregados se usan como capas de drenaje y drenes franceses o como material de filtro para sus protecciones. Los geotextiles son usados para reemplazar agregados como filtros. Las tuberías pueden ser perforadas, ranuradas o de junta abierta, siendo colocadas dentro de los drenes franceses para recolectar agua.

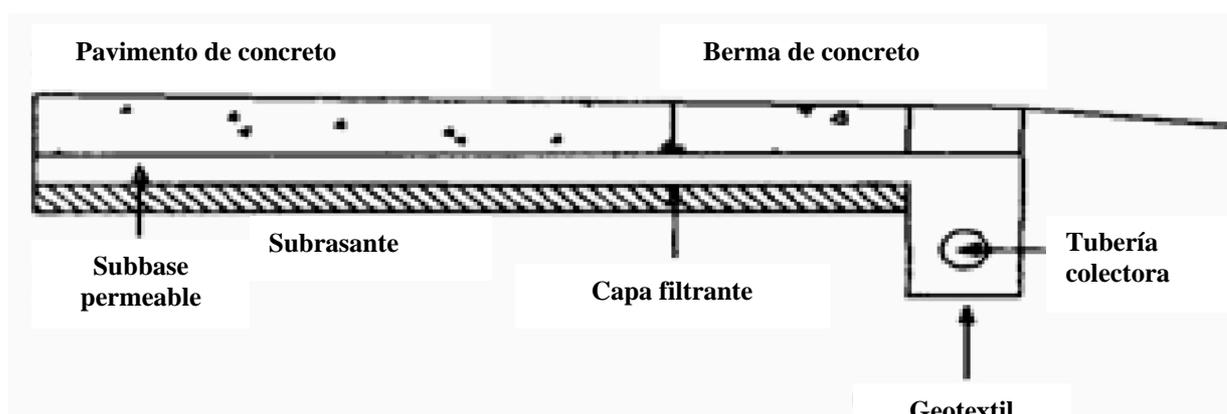


Figura 1.14a Sección de una base permeable con una berma de concreto*

*Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".

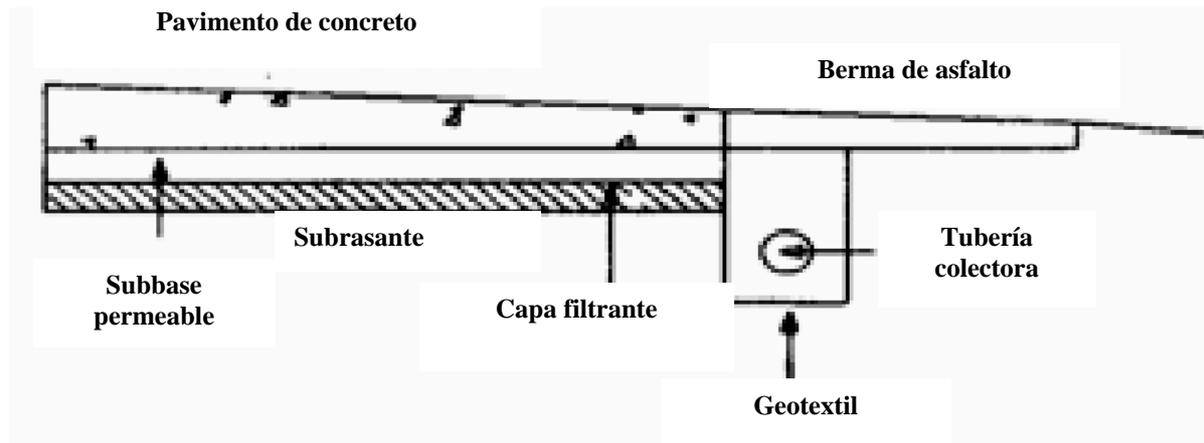


Figura 1.14b Sección de una base permeable con una berma de asfalto *

Los efectos del drenaje sobre el comportamiento del pavimento han sido considerados en el método AASHTO 93 por medio de un coeficiente de drenaje (C_d). El drenaje es tratado considerando el efecto del agua sobre las propiedades de las capas del pavimento y sus consecuencias sobre la capacidad estructural de éste; y además el efecto que tiene sobre el coeficiente de transferencia de carga en pavimentos rígidos.

La tabla 1.5 proporciona los valores recomendados por la AASHTO para el coeficiente de drenaje C_d , que depende de la propiedad con que cuentan las capas que constituyen la estructura del pavimento para liberar el agua libre entre sus granos, en función del tiempo durante el cual la estructura del pavimento está normalmente expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 1.5 Valores recomendados del coeficiente de drenaje (C_d) para el diseño *

C_d	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50 % de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Calificación					
Excelente	2 horas	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1 mes	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	Nunca	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

* Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”.

Para elegir cualquiera de los coeficientes de la tabla anterior, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Calcular el tiempo de drenaje de la subbase, para lo cual hay dos requerimientos de diseño. El primero, la capacidad del estado permanente debe ser mayor que la tasa de flujo interior y el segundo, la capacidad del estado no permanente debe ser tal que el agua pueda ser drenada rápidamente después de cada evento de precipitación. La figura 1.15 muestra las dimensiones de la capa de drenaje.

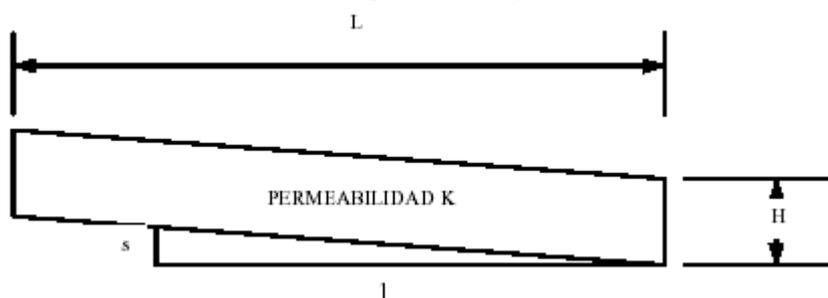


Figura 1.15 Dimensión de la capa de drenaje*

Para el caso del flujo de estado no permanente, Casagrande y Shanon (1952) mostraron que el tiempo para que el suelo drene el 50 % de su agua libre, puede ser calculada por la siguiente ecuación.

$$t_{50} = \frac{n_e L^2}{2k(H + SL)}$$

Donde:

- t_{50} = tiempo para 50 % de drenaje.
- n_e = porosidad efectiva, la cual es la porosidad ocupada por el agua drenable.
- k = permeabilidad de la capa de drenaje.
- S = pendiente de la capa de drenaje.
- H = espesor de la capa de drenaje.
- L = longitud de la capa de drenaje.

Para un drenaje excelente, la AASHTO exige que el agua sea removida dentro de 2 hr.

2. Seleccionar una calidad de drenaje en función del tiempo de drenaje calculado.
3. Estimar el tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.
4. Con la calidad drenaje y el porcentaje de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, se elige el coeficiente de drenaje C_d según sea el caso.

*Obtenido del artículo "Diseño del subdrenaje de pavimentos en el Norte Peruano", publicado en la página web www.construcción.org.pe.

1.3.4.2 TRANSFERENCIA DE CARGA

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa a la siguiente para minimizar las deflexiones en las juntas. Las deflexiones excesivas producen bombeo de la subbase y posteriormente rotura de la losa de concreto.

El mecanismo de transferencia de carga en la junta transversal entre losa y losa se lleva a efecto de las siguientes maneras:

- Junta con dispositivos de transferencia de carga (pasadores de varilla lisa de acero) con o sin malla de refuerzo por temperatura.
- Losa vaciada monolíticamente con refuerzo continuo, (acero de refuerzo de varilla corrugada armada en ambas direcciones) no se establece virtualmente la junta transversal, tomándose en cuenta para el cálculo del acero estructural la remota aparición de grietas transversales.
- Junta transversal provocada por aserrado cuya transferencia de carga se lleva a efecto a través de la trabazón entre los agregados.

La transferencia de cargas se puede definir usando deflexiones o tensiones en la junta. La transferencia de cargas por deformaciones es:

$$LT_{\delta} = \frac{(\delta_{\text{no cargada}})}{\delta_{\text{cargada}}}$$

Donde:

- LT_{δ} = transferencia de cargas por deformaciones.
 $\delta_{\text{no cargada}}$ = deflexión de la losa adyacente no cargada.
 δ_{cargada} = deflexión de la losa cargada.

En la figura 1.16 se observa que una transferencia de cargas es nula, cuando la losa no cargada no experimenta ninguna deflexión, todo lo contrario sucede cuando hay una transferencia de cargas perfecta donde la deflexión de la losa no cargada es igual a la de la losa cargada.

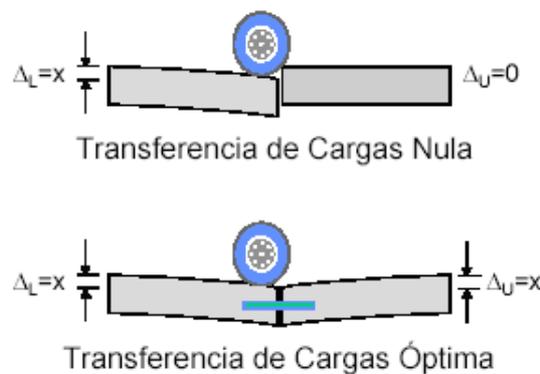


Figura 1.16 Transferencia de carga*

*Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".

La capacidad de una estructura de pavimento de concreto para transferir (distribuir) cargas a través de juntas o grietas es tomado en cuenta en el método AASHTO 93 por medio del coeficiente de transferencia de carga J. Los dispositivos de transferencia de carga, trabazón de agregados y la presencia de bermas de concreto tienen efecto sobre éste valor.

La tabla 1.6 establece rangos de los coeficientes de transferencia de carga para diferentes condiciones desarrolladas a partir de la experiencia y del análisis mecanístico de esfuerzos. Como se puede apreciar en esta tabla el valor de J se incrementa a medida que aumentan las cargas de tráfico, esto se debe a que la transferencia de carga disminuye con las repeticiones de carga

Tabla 1.6 Coeficiente de transferencia de carga (J)*

Soporte lateral	Si	No	Si	No	Si	No	Tipo
ESALs en millones	Con pasadores con o sin refuerzo de temperatura		Con refuerzo continuo		Sin pasadores (fricción entre agregados)		
Hasta 0.3	2.7	3.2	2.8	3.2	-	-	Calles y caminos vecinales
0.3 – 1	2.7	3.2	3.0	3.4	-	-	
1 – 3	2.7	3.2	3.1	3.6	-	-	
3 – 10	2.7	3.2	3.2	3.8	2.5	2.9	Caminos principales y autopistas
10 – 30	2.7	3.2	3.4	4.1	2.6	3.0	
más de 30	2.7	3.2	3.6	4.3	2.6	3.1	

El uso de bermas de concreto unidas o losas ensanchadas reducen las tensiones y deformaciones en una losa. Es por eso que se usan valores menores de J. La razón para tomar J menores en pavimentos con bermas de concreto unida es porque se supone que los vehículos no transitarán por la misma. Es necesario tener en cuenta que la zona crítica de la losa es la esquina y con esta premisa las cargas se alejan de ella, permitiendo una reducción de espesores.

1.2.4.3 PÉRDIDA DE SOPORTE

Este factor, LS (loss of support = pérdida de soporte) es incluido en el diseño de pavimentos rígidos para tomar en cuenta la pérdida potencial de soporte proveniente de la erosión de la subbase y/o movimientos diferenciales verticales del suelo. Deberá también considerarse este factor en términos de los movimientos verticales del suelo que pueden resultar de vacíos bajo el pavimento. Aún cuando se utilice una subbase no erosionable, pueden desarrollarse vacíos, reduciendo la vida del pavimento.

*Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”.

La tabla 1.7 proporciona algunos rangos sugeridos por las AASHTO para la pérdida de soporte, dependiendo del tipo de material (específicamente su rigidez o módulo elástico).

Tabla 1.7 Valores de LS*

TIPO DE MATERIAL	PÉRDIDA DE SOPORTE
Base granular tratada con cemento (E = 1,000,000 a 2,000,000 psi)	0.0 – 1.0
Mezclas de agregados con cemento (E = 500,000 a 1,000,000 psi)	0.0 – 1.0
Bases tratadas con asfalto (E = 350,000 a 1,000,000 psi)	0.0 – 1.0
Mezclas bituminosas estabilizadas (E = 40,000 a 300,000 psi)	0.0 – 1.0
Estabilizados con cal (E = 20,000 a 70,000 psi)	1.0 – 3.0
Materiales granulares sin ligante (E = 15,000 a 45,000 psi)	1.0 – 3.0
Materiales granulares finos o subrasante natural (E = 3,000 a 40,000 psi)	2.0 – 3.0

*Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”.

CAPITULO II

COMPORTAMIENTO Y EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO DE CONCRETO

2.1 RESUMEN

En este capítulo se describe, en forma breve, el comportamiento funcional y estructural del pavimento de concreto. Con la finalidad de tener en cuenta que los datos relacionados con la condición del pavimento tienen un efecto diferente en la calidad del mismo, particularmente desde el punto de vista del usuario, de tal manera que nos de una idea clara a la hora de evaluar la funcionalidad de la carretera y determinar el método más adecuado para su rehabilitación. Asimismo, trataremos de una manera breve los principales factores que afectan o influyen el comportamiento del pavimento.

La decisión más difícil que ha de tomar el ingeniero es cómo y cuándo rehabilitar el pavimento de una manera rentable. Una decisión de esta naturaleza no se puede realizar sin una información a tiempo y precisa sobre su estado actual. Es por esto, que conociendo el comportamiento del pavimento, se mencionarán las principales formas de evaluar su condición presente, para lo cuál se ha considerado tres formas de evaluación: evaluación funcional, evaluación estructural y evaluación visual.

Finalmente se hace mención a una tabla con las fallas más comunes que ocurren en los pavimentos rígidos o de concreto, sus causas y posibles tratamientos correctivos; asimismo se muestran fotografías de algunas fallas típicas.

2.2 COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO DE CONCRETO

2.2.1 COMPORTAMIENTO FUNCIONAL

El comportamiento funcional de un pavimento de concreto está asociado a la capacidad funcional que tiene para brindar una superficie segura y cómoda al usuario. En este contexto la regularidad o rugosidad superficial es la característica predominante, entre otras características tenemos:

- Textura.
- Adecuada fricción superficial.
- Trazado de la carretera, incluyendo peralte y radio de curvatura.
- Fisuras.

La regularidad o rugosidad superficial es la característica más percibida por el usuario ya que afecta la calidad de la rodadura. Se relaciona con los efectos de las vibraciones, tales como niveles de deterioros, probabilidad de dañar a las mercancías transportadas, desgaste de los vehículos y consumo de energía. La comodidad depende principalmente del vehículo y del perfil longitudinal de la carretera.

La textura de un pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y seguridad de los usuarios y necesario para la conservación de carreteras, este parámetro influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interfase rueda-pavimento y de forma indirecta en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, que tiene gran importancia para la adecuada adherencia entre la rueda y el pavimento.

La fricción superficial de un pavimento es la fuerza desarrollada en la interfase rueda-pavimento que resiste el deslizamiento cuando se aplican las fuerzas de frenado. La fricción o resistencia al deslizamiento también es un valor crítico en la seguridad, ya que cuando los pavimentos están mojados el agua actúa como lubricante y reduce el contacto entre la rueda y pavimento. Si la película de agua es gruesa y al vehículo circula a gran velocidad, las ruedas pierden contacto con el pavimento, creando el peligroso fenómeno de hidroplaneo.

El trazado de la carretera se relaciona con los cambios angulares vertical y horizontal del pavimento. Una curva de radio demasiado pequeño, para la velocidad del proyecto, puede requerir reducciones de velocidad y además causar accidentes, especialmente cuando se combina con peraltes elevados o incluso contraperaltes. Carreteras con pendientes longitudinales extremas son antieconómicas y peligrosas.

La aparición de fisuras es el primer aviso de una carretera con problemas. Es señal de tensiones, debidas a condiciones climáticas o de cargas de tráfico que han sobrepasado los límites de la resistencia del pavimento. Es la señal para el ingeniero de que los costos de conservación van a aumentar sino se actúa con prontitud.

2.2.1 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

El comportamiento estructural del pavimento de concreto está asociado a la capacidad estructural que tiene para soportar o resistir las solicitaciones de carga al que estará sometido durante su período de vida útil; ya que las cargas de los vehículos pesados producen una pérdida lenta y progresiva de la capacidad de soporte de la estructura del pavimento.

Los pavimentos de concreto de cemento portland, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, distribuye las cargas de tránsito sobre áreas relativamente extensas del suelo subyacente, por lo que la mayor parte de la capacidad estructural es provista por la misma losa. Cabe resaltar que el comportamiento de las losas depende estrechamente de las condiciones de contorno como son el apoyo sobre la subbase y las restricciones en los bordes que le imponen las losas adyacentes.

La principal característica estructural de los pavimentos de concreto es la transmisión de cargas a través de juntas o grietas. Por lo tanto, la forma más frecuente de establecer la capacidad estructural de un pavimento de concreto es determinando la deflexión o desplazamiento vertical a lo largo de las juntas y borde del pavimento, bajo una carga normalizada de referencia, ya que deflexiones excesivas producen bombeo de la subbase y posteriormente pérdida de soporte de la estructura del pavimento, lo que origina la rotura de la losa de concreto.

La otra variable básica que interviene en el estudio de la capacidad estructural del pavimento es la cuantificación adecuada de las solicitaciones. En esta cuestión se descubre la interrelación entre características superficiales y estructurales.

La capacidad estructural y funcional están íntimamente relacionadas. En efecto un deterioro estructural de un pavimento se manifiesta por una disminución de su capacidad funcional ya que hay un incremento en rugosidad, ruido, y aún riesgo para los ocupantes que lo transiten. No obstante hay otro tipo de fallas estructurales que pueden progresar sin que los usuarios lo noten hasta etapas muy avanzadas. También puede haber una pérdida de la capacidad funcional sin que esto implique una pérdida de la capacidad estructural (ej. pérdida de fricción).

Por otro lado, el efecto de superposición más conocido, aunque difícil de cuantificar, es el crecimiento exponencial del daño en el pavimento debido a que las cargas dinámicas se incrementan con la mala regularidad superficial. Es decir, un mismo eje de 13 tn es mucho más “agresivo” para el pavimento en un tramo de mala regularidad que en otro en buen estado. La inversa también suele ser cierta, un tramo de mala regularidad presenta, muy probablemente, un estado estructural deficiente.

En general, el comportamiento estructural de un pavimento se relaciona con su condición física, esto es, con la ocurrencia de agrietamientos, fallas, peladuras, u otras situaciones que podrían afectar exclusivamente la capacidad de soporte de la estructura del pavimento o en todo caso requerir mantenimiento.

2.3 FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO DE CONCRETO

El pavimento de concreto es una estructura de gran superficie expuesta en relación a su volumen, y en tal sentido pasa gran parte del tiempo solicitado a la acción del medio ambiente a través de los gradientes térmicos (de ciclo diario) y de los gradientes de humedad (de ciclo estacional). Asimismo, a las solicitaciones propias del tránsito. Tales factores (clima y tránsito) tienen una acción preponderante y temporal sobre el comportamiento del pavimento como veremos mas adelante.

Cabe resaltar que estos factores son simultáneamente causa y efecto de los deterioros en los pavimentos, es decir, que de algunos deterioros existentes pueden devenir nuevos deterioros. Esto será un desarrollo continuado de daños si no se toma las medidas y precauciones convenientes.

Al desarrollarse deterioros en el pavimento se produce una pérdida de serviciabilidad lo que origina una reducción en la vida de servicio prevista del pavimento. Es por esto, que es necesario cuantificar el valor de su influencia de cada uno de estos factores en el comportamiento del pavimento.

En la figura 2.1, se puede apreciar como el clima, en especial las lluvias afectan los materiales que conforman la estructura del pavimento modificando sus propiedades físicas y mecánicas, que pueden tener cierto efecto sobre la resistencia, estabilidad, durabilidad y capacidad de carga del pavimento y de los suelos de la subrasante. De igual manera el tráfico, en especial los ejes de carga pesada, ayudan a contribuir a un rápido deterioro de la estructura del pavimento. A medida que pasa el tiempo, el daño causado por estos factores va aumentando, lo que origina fallas a lo largo de la superficie del pavimento, que si no son tratadas o corregidas a tiempo pueden traer como consecuencia el colapso total de éste.

2.3.1 TRÁFICO

Cuando los ejes cargados transitan sobre el pavimento pasando de una losa a otra producen dos grandes efectos: esfuerzos de flexión en la losa de concreto y deflexiones en juntas, grietas, esquinas y borde del pavimento.

En el primero se inducen esfuerzos internos y deformaciones que acumulan fatiga en cada pasada, dichos esfuerzos son críticos cuando la losa presenta una deformación de alabeo cóncavo, tal como lo muestra el isograma de tensiones de la figura 2.2, donde los esfuerzos son máximos en el centro de la cara superior de la losa y en la zona central de los bordes superiores. Al cabo de muchas repeticiones de carga, el material alcanza un fatigamiento que se manifiesta en la aparición de fisuras en dichos puntos, los que luego se propagan hacia abajo afectando todo el espesor de la losa, como se ilustra en la figura 2.3. Es claro que si en los sectores de altos esfuerzos de flexo-tracción preexisten fisuramientos iniciados por retracción plástica en el concreto fresco, la propagación de las fisuras se facilita grandemente y el fatigamiento se acelera.

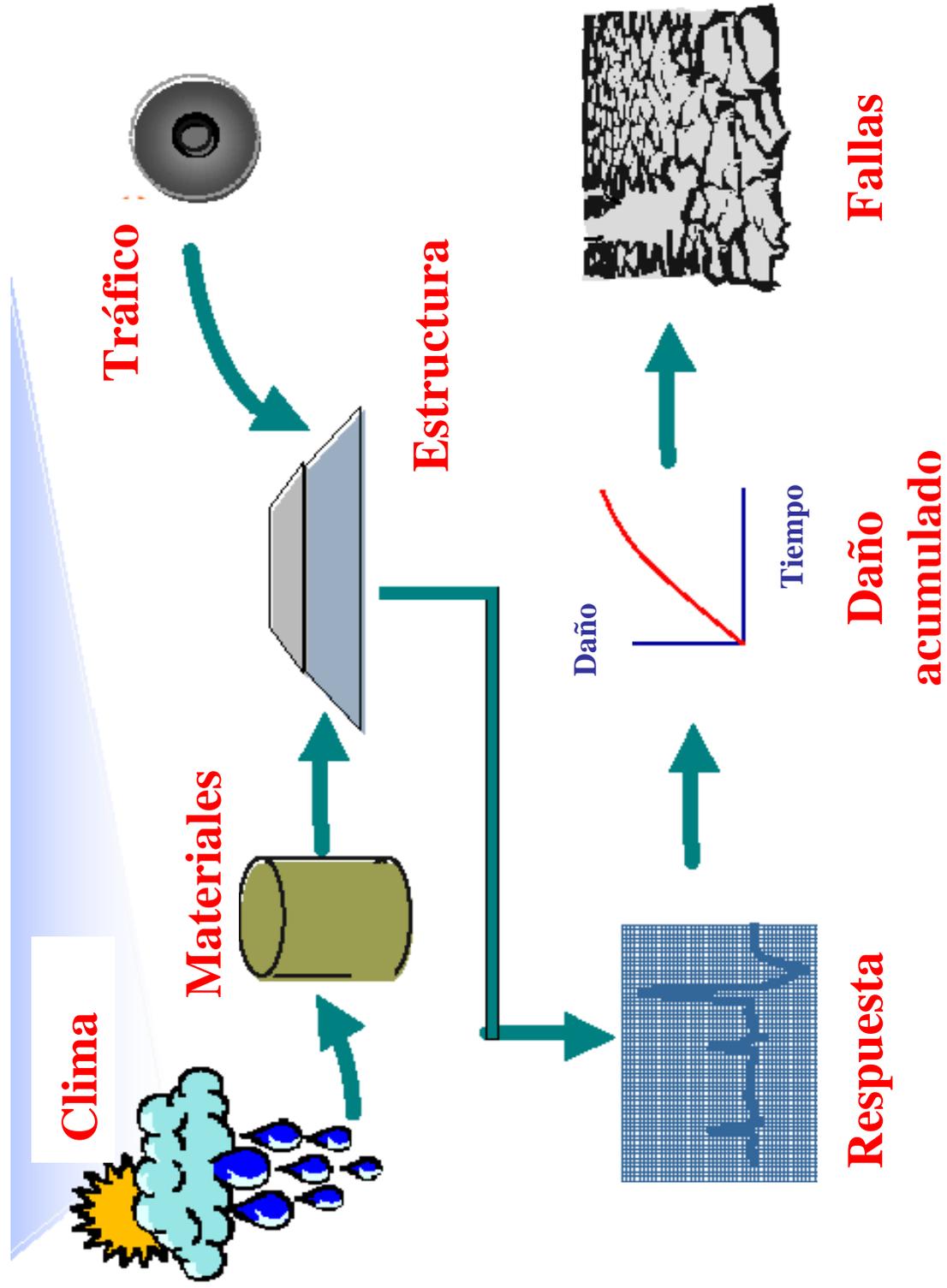


Figura 2.1 Efecto del clima y el tráfico en el comportamiento del pavimento*

*Tomado de la publicación de la Transportation Research Board (TRB), Washintong D.C del 12/01/2003

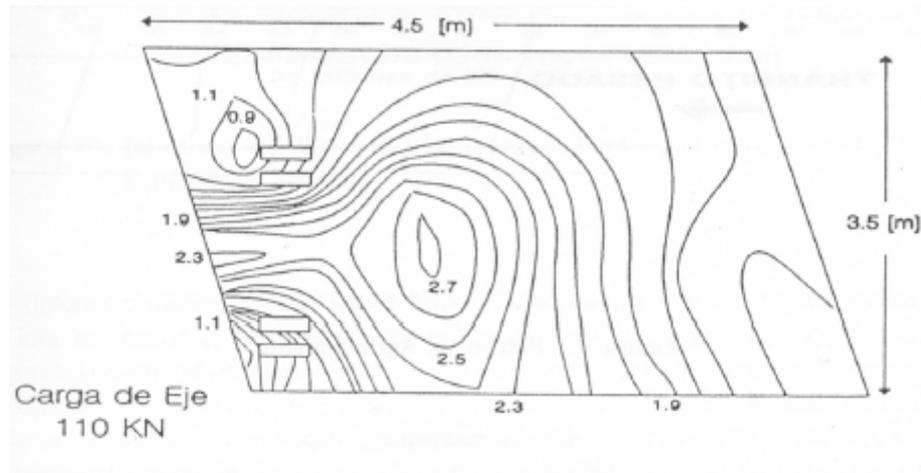


Figura 2.2 Curvas de Isoesfuerzos (Mpa) de tracción en la cara superior de una losa de alabeo cóncavo*

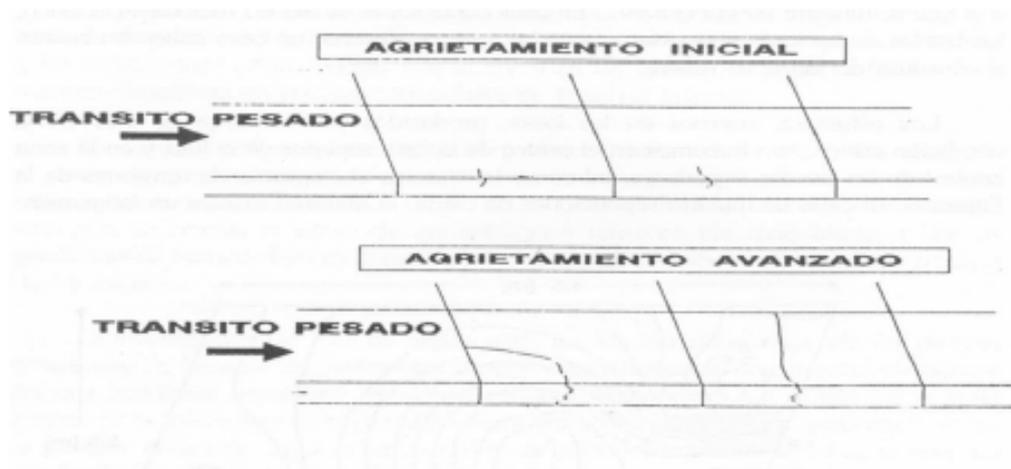


Figura 2.3 Patrón de agrietamiento*

El segundo efecto y el más perjudicial, es cuando las cargas del camión se ubican en el borde exterior del pavimento, lo cual origina las deflexiones más críticas que cualquier otra posición de carga.

Muchas repeticiones de carga por eje pesado en las esquinas y borde de la losa causan bombeo; erosión de los materiales de la subrasante, subbase, y berma de concreto; vacíos debajo y al lado de la losa; y la falla de las juntas del pavimento, especialmente en pavimentos con juntas sin pasadores.

Desde un principio los resultados del ensayo AASHTO han demostrado que la evolución de las deformaciones y de las fisuras en un pavimento están ligadas a la magnitud y ubicación de la carga por eje y a la duración de su aplicación, así como al número de pasadas.

*Obtenido del artículo "Nuevos conceptos a considerar en el diseño, construcción y conservación de pavimentos de concreto", publicado por la ASOCCEM.

2.3.2 MEDIO AMBIENTE

El medio ambiente puede afectar el comportamiento del pavimento en varias formas. Los cambios de temperatura y humedad pueden tener cierto efecto sobre la resistencia, durabilidad y capacidad de carga del pavimento y de los suelos de la subrasante. Asimismo, estos gradientes deforman las losas de pavimento produciéndole alabeos que modifican continuamente las condiciones de apoyo y de contorno. Con propiedad puede decirse que el pavimento de concreto es una estructura viva que se mueve al compás de la naturaleza.

La infiltración de agua a través de la superficie, juntas, grietas, o como agua subterránea proveniente de un alto nivel freático, acuíferos interrumpidos y manantiales localizados contribuyen al desarrollo de fallas en los pavimentos de concreto como son: inestabilidad de la subrasante, bombeo con la consecuente pérdida de soporte y deterioro del concreto debido a fisuras de durabilidad.

El agua libre en la interfase subrasante- pavimento es la responsable de muchos problemas. Cerdegreen demostró que las cargas dinámicas producen incrementos más importantes de la presión de poros justo en el momento del pesaje de la carga y en consecuencia, hay una reducción notable de la capacidad de carga.

En adición al efecto perjudicial del agua, las losas de concreto están sometidas al alabeo y curvado. El alabeo es la deformación cóncava hacia arriba de la losa debido a variaciones de su contenido de humedad con la profundidad. El efecto de alabeo es doble: pérdida de soporte a lo largo de los bordes de la losa y restricción de los esfuerzos a la compresión en el fondo de la losa. El curvado se refiere al comportamiento de la losa debido a las variaciones de temperatura. Durante el día, cuando la cara superior esta más caliente que la parte inferior, se desarrollan esfuerzos restringidos de tensión en el fondo de la losa. Durante la noche, la distribución de temperatura es a la inversa y los esfuerzos restringidos de tensión se desarrollan en la superficie de la losa.

2.4 EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO EXISTENTE

Un requerimiento importante en el diseño de refuerzo, es la condición del pavimento existente. La evaluación de éste consiste de tres elementos principales³: evaluación de la serviciabilidad (condición funcional), evaluación de la capacidad estructural y por último la observación visual del pavimento existente. Cualquiera de las tres, o en combinación, contribuye a tomar una decisión acerca del tipo de refuerzo más indicado para el proyecto.

En general, la evaluación de un pavimento consiste en determinar los daños existentes en éste, así como las causas de origen. Asimismo, tiene por objeto establecer un diagnóstico que permita seleccionar y proyectar la solución de mantenimiento o rehabilitación más adecuada para cada uno de los tramos homogéneos en que puede dividirse la carretera en estudio.

En la evaluación se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

³ Sobrecapas de refuerzo de concreto de cemento Pórtland de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, N° 204

- Debe ser sistemática y permanente, a fin de detectar los daños tan pronto como se presentan y tomar de inmediato las medidas preventivas o correctivas más adecuadas.
- No se debe asumir determinadas condiciones o propiedades de los materiales, dado que esto puede impedir que se obtengan los resultados deseados.
- Se debe distinguir entre los daños que influyen en la calidad del tránsito, y aquellos que se refieren al deterioro y reducción de la capacidad de carga del pavimento.
- Condición de drenaje. La presencia de bombeo en juntas y grietas me indica que hay deficiencias en el drenaje.

2.4.1 EVALUACIÓN FUNCIONAL

Se entiende por evaluación funcional la inspección superficial realizada en una vialidad con el objeto de determinar los deterioros que afectan al usuario, pero que no comprometen la capacidad estructural del pavimento.

Existen diferentes indicadores para establecer el estado superficial de un pavimento. Cada indicador generalmente es expresado a través de fórmulas, en las que se recoge una serie de parámetros del pavimento. Para cada indicador existen tablas en las cuales se dan valores que indican en que condición se encuentra el pavimento, generalmente cada país en su norma de pavimentos establece estos límites.

En el caso de nuestro país no existe una norma respecto a estos indicadores, solo existe un reglamento de especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras, aprobado con R.D.N 1146 – 2000 – MTC / 15.17 del 27 de diciembre del 2000. En este reglamento, en lo referente al tema de rehabilitación sólo se hace mención de algunas técnicas de rehabilitación superficial para pavimentos asfálticos.

Los diversos organismos internacionales que investigan los pavimentos han creado diversos índices que permiten evaluar en que estado se encuentra, esto con la finalidad de recomendar una rehabilitación oportuna.

Entre los principales indicadores del estado superficial del pavimento tenemos:

- Índice de serviciabilidad presente (PSI).
- Índice de regularidad internacional (IRI).
- Índice de estado (IE).

Cada uno de estos indicadores establece rangos para evaluar el pavimento. Su finalidad principal es definir en que estado se encuentra superficialmente el pavimento, pero también puede ser un indicador de la necesidad de realizar una evaluación estructural.

Existen otros indicadores como el IFI (Índice de Fricción Internacional), que nace a mediados de la década de los noventa. La importancia de este indicador radica en que un pavimento con un IFI determinado, éste donde éste, presenta las mismas características de adherencia y textura, con independencia del tipo de pavimento que sea y del equipo de medida que se haya empleado para obtenerlo. Para mayor información se puede consultar la página web www.aepo.es.

2.4.1.1 ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE (PSI)

Es un índice de la comodidad y seguridad que percibe el usuario al transitar en el pavimento, este método fue desarrollado por los años sesenta por AASHO.

La forma de medición de este índice ha variado, en un principio se realizaba en forma subjetiva a través de cinco conductores, quienes transitaban en el pavimento varias veces evaluando su confort en una escala de 0 (pésimo) – 5 (excelente). Al ser esta medición subjetiva podía reflejar un panorama inexacto del estado del pavimento, por lo que el proceso de medición fue objeto de modificaciones. Para reflejar mejor el estado del pavimento se incorporaron parámetros medibles tales como: rugosidad, agrietamientos, ahuellamientos, baches, los cuales se correlacionaron con las opiniones de los usuarios para finalmente, a través de métodos estadísticos, obtener el PSI.

Para el caso de los pavimentos rígidos, el índice de serviciabilidad presente responde a la siguiente expresión.

$$PSI = 5.41 - 1.78 * \log(1 + SV) - 0.09 * (C + P)^{0.50}$$

Donde:

PSI : Índice de Serviabilidad Presente.

SV : Varianza de la pendiente longitudinal x 10² (pulg/pie), representa la rugosidad del pavimento medida con Perfilómetro u otro instrumento.

C : Cantidad de agrietamientos tipo “fracturación múltiple” (pie²/1000pie²).

P : Área bacheada (pie²/1000pie²).

Los rangos de evaluación que se deberán tener en cuenta en la calificación del estado del pavimento a través del PSI se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Escala de calificación de la serviciabilidad*

0 – 1	Muy pobre
1 – 2	Pobre
2 – 3	Regular
3 – 4	Buena
4 – 5	Muy buena

La rugosidad es el parámetro que gobierna el valor del PSI, dado que es el factor que tiene más en cuenta el usuario para juzgar la calidad del pavimento. Así, es importante emplear un instrumento confiable para medir la rugosidad al monitorear la historia del comportamiento del pavimento.

*Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”.

Existen diferentes equipos para medir la rugosidad o pendiente longitudinal desde los más tradicionales como el rugosímetro, perfilómetro hasta instrumentos modernos de última generación como el perfilógrafo láser, el analizador de perfil longitudinal (APL), etc.

Perfilógrafo láser de alto rendimiento

El perfilógrafo láser es un equipo preparado para registrar los perfiles longitudinales y transversales de las carreteras, así como la textura de las mismas. Está montado en un vehículo Volkswagen modelo Transporter Kombi, como se muestra en la figura 2.4.

La parte frontal consta de una barra provista de 15 cámaras láser para medida de la regularidad superficial. En dicha barra va también situada otra cámara láser para medida de la textura. Los extremos de la barra de medida son retráctiles con el fin de que el ancho no supere el del propio vehículo durante el transporte.

Dada la elevada velocidad de medida (entre 25 y 120 km/h, dependiendo de la separación entre perfiles consecutivos), el ensayo se puede realizar sin que la medición afecte al desarrollo normal del tráfico.

Aplicaciones

- Medida y registro del perfil longitudinal en 15 líneas de perfil.
- Medida y registro de perfiles transversales.
- Cálculo de índices de regularidad superficial (PSI; IRI; APL).
- Medida y registro de la textura de los pavimentos.



Figura 2.4 Perfilógrafo de alto rendimiento*

*Obtenido de la página web www.cedex.es

2.4.1.2 ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI)

Este índice como su propio nombre lo indica evalúa el estado de la superficie del pavimento, en que condiciones se encuentra, por lo tanto al igual que el PSI está relacionado con el confort del usuario al transitar en el pavimento.

El IRI es el número de irregularidades (desplazamientos verticales) obtenido, por medio de una simulación matemática, con un "cuarto de coche" que circula a 80 km/h, dividido por la longitud del intervalo (m/km). En la actualidad hay diversos instrumentos que permiten obtener el IRI de una manera rápida y precisa, como el perfilómetro pivotante, el SCRIM, etc.

Perfilómetro pivotante (Dipstick)

El Dipstick (Digital Incremental Profiler) es un equipo electrónico de alta precisión, como se muestra en la figura 2.5. Sirve para la evaluación de la regularidad superficial de los pavimentos.

Mide y graba, automáticamente, en la memoria del microordenador incorporado, la diferencia de cotas entre puntos separados secuencialmente 250 mm, pivotando alternativamente alrededor de sus dos patas de apoyo. Los datos de elevación registrados son procesados mediante un programa para obtener el Índice de Regularidad Internacional (IRI). El empleo es manual y por un solo operador, y su rendimiento es de 200 m/día.

Aplicaciones

- Medida y registro de la regularidad superficial de un pavimento.
- Obtención del perfil del mismo.



Figura 2.5 Perfilómetro pivotante *

*Obtenido de la página web www.cedex.es

El IRI no solamente se usa para evaluar pavimentos antiguos. En algunos países como España, se usa para la recepción de obras nuevas. Se ha especificado que el IRI no debe superar determinados valores para realizar la recepción de carreteras.

En lo referente a las escalas de clasificación existen diferentes, en cada país de acuerdo a su experiencia se pueden establecer estos límites. En la tabla 2.2 se muestran valores de IRI para algunos países.

Tabla 2.2 Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente *

País	Bueno	Regular	Malo	Rechazo	Recepción
EE.UU.	< 2.4	2.4 – 4.7	> 4.7		
España	0 – 2.5	2.5 – 4.0	> 4	2.5	1.85
Chile	0 – 3	3.0 – 6.0	> 4	2.5	2.5
Honduras	< 3.5	3.5 – 6.0	> 6		
Uruguay	< 3.9	4.0 – 6.0	> 4.6		

Los valores de IRI presentados en la tabla 2.2 son casi parecidos, siendo Honduras el país que da mayor rango para el IRI y España el país con menores rangos. Cada país de acuerdo a su experiencia establece estos límites. En el caso de nuestro país aún no existe una normalización al respecto y generalmente se basan en los de otros países. Esto es muy subjetivo ya que los índices de otros países no reflejan las características de los pavimentos del país.

El PSI y el IRI están relacionados con el estado de la superficie del pavimento y con la perspectiva de confort que el usuario tendrá del mismo. Esto ha llevado a los investigadores a establecer relaciones entre ambos indicadores. Esto es muy importante ya que permitirá realizar las pruebas solamente para uno de ellos, obteniéndose el otro de una de las siguientes relaciones:

Según D. Dujisin y A. Arroyo (1995)

$$\text{PSI} = 7.10 - 2.19 \text{IRI}^{0.5} \text{ (Rígidos)}$$

En la tabla 2.3 se muestran algunos valores de relación de PSI- IRI.

Tabla 2.3 Valores límites de IRI y PSI en los que se requiere rehabilitación *

Volumen de tráfico en TMDA (Tráfico Medio Diario Anual)	PSI Crítico	IRI Crítico (m/km)
Alto (> 10000 TMDA)	3.0 – 3.5	1.97 – 1.38
Medio (3000 – 10000 ADT)	2.5 – 3.0	2.68 – 1.97
Bajo (< 3000 ADT)	2.0 – 2.5	3.55 – 2.68

*Obtenido de la publicación “Índices de medición de la regularidad de un pavimento”, 2002, Edwing Alvarenga

2.4.1.3 INDICE DE ESTADO (IE)

Facilita el manejo de la información en un nivel general, agrupa en una sola fórmula las fallas más significativas que afectan a un pavimento. Se han desarrollado diferentes ecuaciones según el tipo de pavimento.

La fórmula general es:

$$IE = 10 \times e^{(-\sum a_i \times D_i)}$$

Donde a_i es el coeficiente de peso, que depende del tipo de la capa de rodadura del pavimento evaluado, según sea flexible con capa de rodadura de concreto asfáltico, flexible con tratamiento bituminoso superficial, o rígido adoptan valores entre 0.04 y 0.08. D_i es el coeficiente que valoriza el grado de falla, adopta valores correspondientes entre 0 y 10, correspondiendo los mayores valores a situaciones más desfavorables.

Para el caso de los pavimentos rígidos, el índice de estado responde a la siguiente expresión:

$$IE = 10 \times e^{-(0.05 D_1 + 0.09 D_3)}$$

Donde:

D_1 : Deformación longitudinal

D_3 : Fisuras

El rango establecido para evaluar un pavimento a través del IE está entre 1 y 10, correspondiendo los mayores a los mejores estados de los pavimentos. En la tabla 2.4 se dan los rangos correspondientes a cada uno.

Tabla 2.4 Rangos de IE según el estado del pavimento*

Rango de IE	Estado del pavimento	Recomendación
7 – 10	Bueno	Mantenimiento preventivo
5 – 7	Regular	Estudio para determinar la conveniencia de encarar oportunamente las fallas con tareas de mantenimiento
< 5	Deteriorado	Requiere atención urgente (rehabilitación)

D_1 : Deformación longitudinal

La determinación del coeficiente D_1 se efectúa mediante la aplicación de un rugosímetro analizador de perfil longitudinal, equipo especialmente concebido para el registro de las deformaciones longitudinales de la calzada.

*Obtenido de la publicación “Índices de medición de la regularidad de un pavimento”, 2002, Edwing Alvarenga

En la figura 2.6 se muestra el equipo utilizado (rugosímetro), consiste básicamente en una rueda de ensayo que se encuentra montada dentro de un bastidor rectangular mediante dispositivos de suspensión y amortiguación adecuados. Al ser remolcado el conjunto a lo largo del camino, la rueda de ensayo oscila verticalmente con respecto al bastidor horizontal, en proporción a las deformaciones de la calzada, lo cual es medido y registrado en el aparato.

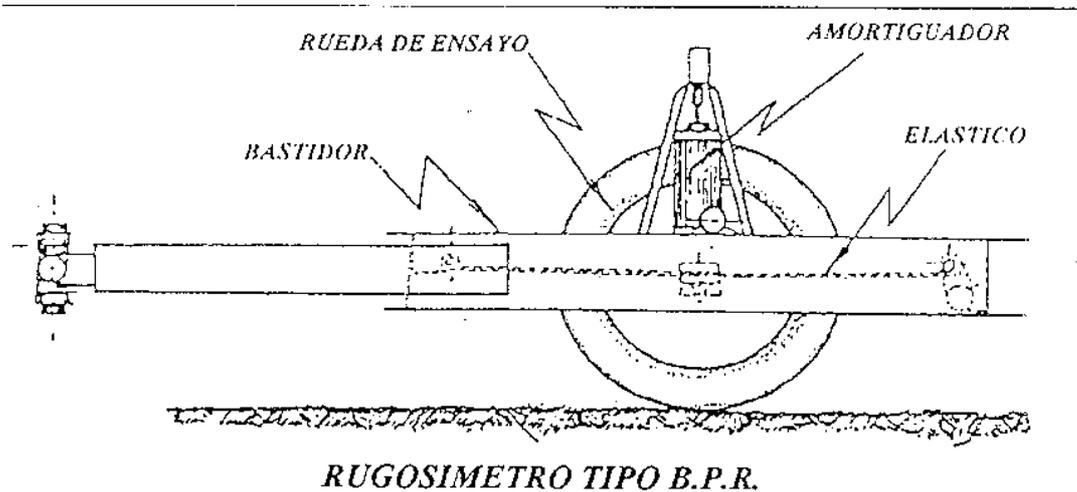


Figura 2.6 Rugosímetro utilizado para obtener coeficiente D1*

A la información registrada por el rugosímetro se le da salida bajo la forma final de un número de uniformidad del perfil longitudinal. Este número indica el total del movimiento vertical descendente efectuado por las rueda del ensayo, en metros por kilómetros de camino.

Con la rugosidad se define el coeficiente D1 basándose en los datos de la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Valor de D1 en función de la rugosidad para pavimentos rígidos*

Rugosidad (m/km)	Coficiente D1 correspondiente
0 – 1.8	0
1.9 – 2.1	1
2.2 – 2.5	2
2.6 – 2.9	3
3.0 – 3.3	4
3.4 – 3.6	5
3.7 – 4.0	6
4.1 – 4.5	7
4.6 – 5.0	8
5.1 – 5.5	9
> 5.5	10

*Obtenido de la publicación realizada por la Dirección Nacional de Vialidad de Argentina, 1981.

D3: Fisuración

Para la determinación del coeficiente D3 el procedimiento a utilizar consiste en efectuar una inspección visual, comparando la clase de fisuramiento presente en el pavimento con un catálogo de fallas para ese fin.

En el catálogo tipo se indican valores absolutos 2, 4, 6, 8, 10 del coeficiente D3 equivalente a grados de fisuración característicos, reflejados en las fotografías.

De la información obtenida referente a estos tres indicadores del estado de un pavimento se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Para la obtención de los tres indicadores se necesitan instrumentos, que van desde los más tradicionales como son el rugosímetro hasta equipos sofisticados como el perfilógrafo láser. La desventaja de éstos equipos es que son escasos y costosos para el caso de nuestro país.
2. El IRI y el PSI se basan en la rugosidad superficial como elemento para juzgar la calidad de un pavimento.
3. El IRI a diferencia de los otros, tiene la gran ventaja de permitir la comparación entre los pavimentos empleados en cualquier país del mundo.
4. De los tres indicadores el Índice de Estado (IE) es el que agrupa en una sola fórmula las fallas más significativas que afectan a un pavimento. Es decir, el más completo, otra ventaja de éste, es la simplicidad de su metodología que puede ser fácilmente aplicada. Este es el indicador que podría aplicarse a la ciudad de Piura para evaluar los pavimentos.
5. Los tres indicadores pueden ser usados para los dos tipos de pavimentos más comunes (flexibles y rígidos).
6. El IRI tiene la ventaja de poder aplicarse a pavimentos nuevos y antiguos. En efecto, en países como España, este índice se utiliza como una prueba final al momento de realizar la recepción de una obra de pavimentación.

2.4.2 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

La evaluación estructural se refiere a una apreciación de los tramos cuyo estado de deterioro ha decaído hasta un nivel en el cuál el pavimento ha reducido su capacidad de resistir cargas; y cualquier programa de mantenimiento tradicional ya no es factible. Por lo tanto, dichos tramos deben ser rehabilitados para que vuelvan a ser transitables.

El principal objetivo de la evaluación estructural es determinar la capacidad estructural efectiva del pavimento existente, ya que de ella va depender que el refuerzo sea correctamente diseñado.

Hay tres maneras de determinar la capacidad estructural del pavimento existente:

- Capacidad estructural basada en la observación visual y ensayo de materiales.
- Capacidad estructural basada en ensayos no destructivos (NDT, por sus siglas en inglés).
- Capacidad estructural basada en la vida remanente.

De los tres, el método que vamos a tratar es el de ensayos no destructivos, ya que es el más utilizado en la actualidad por su precisión y rapidez en obtener las propiedades o características del pavimento sin afectar su estructura o comportamiento. Aunque, en nuestro país este método no está muy difundido por lo costoso que resulta adquirirlo.

Para mayor información sobre los otros métodos se puede consultar la Guía AASHTO “Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993”.

2.4.2.1 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL BASADA EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (NDT POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)

Las modernas técnicas de control no destructivos de pavimentos es un paso adelante en el mejoramiento de la construcción en cuanto posibilitan la determinación de la calidad por, la auscultación de la estructura misma y durante todo el tiempo de su construcción y puesta en servicio; superándose así los factores que impiden conocer la resistencia de un elemento de acuerdo a testigos y probetas y más aún la imposibilidad de seguir su evolución.

Los procedimientos no destructivos, que en ingeniería civil son objeto de búsqueda desde hace más de cincuenta años, han cobrado en la actualidad gran impulso gracias al vertiginoso desarrollo de la física moderna en los campos de la electrónica y la radiactividad.

Para la evaluación estructural del pavimento existente, el NDT es un método de mucho valor y rápido de ejecutar. Si está correctamente aplicado, éste proporciona mucha información y análisis en forma rápida y económica. El análisis, sin embargo, puede ser muy sensible a condiciones desconocidas. Por lo tanto, deben ser ejecutados por personal que conozca el tema y tenga experiencia en esta metodología.

La evaluación estructural con el NDT depende del tipo de pavimento. Para la evaluación de pavimentos rígidos, el NDT sirve para evaluar tres aspectos principales:

- Eficiencia de transferencia de carga en juntas y fisuras.
- Estimación del módulo efectivo de reacción de la subrasante (valor K).
- Estimar el módulo de elasticidad del concreto (la resistencia del mismo es función del módulo de elasticidad).

La eficiencia de transferencia de carga en juntas y fisuras se mide a través de ensayos de deflexión. Las pruebas de deflexión tienen como objetivo medir la respuesta de un pavimento a una carga específica. Las mediciones se hacen a lo largo de la losa de concreto, usando equipos como la viga Benkelman, el dynaflect, el road rater, o el deflectómetro de impacto (FWD – Falling Weight Deflectometer).

Para carreteras de dos carriles, las mediciones de las deflexiones se hacen sobre el borde exterior, a ambos lados de la línea central. Para carreteras divididas, las deflexiones sólo se

deben medir en el borde más exterior, tomando adicionalmente medidas de las deflexiones en las esquinas, juntas, grietas y en áreas de pavimento deterioradas, para determinar la capacidad de transferencia de carga.

Deflectómetro de impacto (FWD, por sus siglas en inglés)

Equipo constituido por una masa que se deja caer por gravedad, desde una altura determinada, sobre una placa, provista de un sistema de distribución, que transmite la carga de manera uniforme a la superficie sobre la que se apoya. Esto produce un impulso dinámico que simula el paso de una rueda de vehículo.

El deflectómetro de impacto de 150 kN, se muestra en la figura 2.7, y presenta las siguientes características técnicas:

- La onda de carga simula la producida por un vehículo circulando a 70 km/h. El tiempo de carga puede ser de 40 ó 60 milisegundos y la carga máxima equivalente es de 150 kN.
- La deflexión debida a la carga se mide a través de siete sismómetros situados uno en el centro de la placa, y los otros a distancias de 30, 45, 60, 90, 120 y 150 cm.
- Dispone de un sensor de infrarrojos para medir la temperatura de la superficie del pavimento.
- El rendimiento del equipo (suponiendo una distancia entre puntos de medida de 25 m) es de aproximadamente 2 km/h.

Aplicaciones

- Evaluación de la capacidad estructural de pavimentos flexibles y rígidos.
- Evaluación de la transferencia de cargas en juntas de pavimentos de concreto.
- Permite obtener in situ el módulo resiliente de la subrasante.



Figura 2.7 Distribución del plato de carga y de los sismómetros*

*Obtenido de la página web www.cedex.es

2.4.3 EVALUACIÓN VISUAL

La evaluación visual de un pavimento puede ser definida como la observación periódica del mismo, con el fin de determinar la naturaleza y extensión de los deterioros en el pavimento existente. Para el caso en que se va a proyectar una sobrecapa de refuerzo, tales datos son extremadamente importantes debido al impacto directo que tienen sobre el comportamiento del refuerzo, ya que si estos deterioros no son reparados, pueden desencadenar fallas como por ejemplo reflexión de fisuras. Este tipo de evaluación es también importante porque permite determinar el tratamiento más adecuado que requiere la superficie del pavimento antes de colocar la sobrecapa de refuerzo.

Se debe analizar también el drenaje y correlacionar sus deficiencias con las fallas presentes. Asimismo, se recomienda el muestreo y ensayo de materiales. Esto permitirá conocer los espesores reales de cada capa y el estado de deterioro en que se encuentran.

La metodología de la evaluación visual comprende los siguientes pasos:

- Identificar las fallas y las posibles causas de las mismas.
- Se ubican las fallas en una hoja de evaluación adoptada al efecto.
- Se determina el grado de severidad y la extensión de las fallas.
- Se cuantifica en gabinete la información recogida en el campo.
- Se emite un dictamen respecto del tramo evaluado.

La evaluación visual de los pavimentos de concreto exige definir una terminología uniforme que permita identificar los diferentes tipos de daños, sus causas, su grado de severidad y la extensión de los mismos. Esta uniformidad en la terminología es fundamental si se considera que la estimación de las condiciones de un pavimento admite un componente subjetivo. En efecto, el tipo de daño puede ser descrito de diferente forma, o con distinto énfasis por ingenieros de diferente experiencia.

2.4.3.1 CLASIFICACIÓN DE FALLAS

Las fallas típicas en los parámetros de concreto se clasifican en:

- **Fallas de regularidad y superficie:** Se consideran como fallas de regularidad aquellas que corresponden a defectos de forma, originados generalmente por diversas causas durante la construcción y afectan principalmente a la textura.
- **Grietas:** Son fallas que se extienden a la superficie de la losa de concreto y tienen mucha incidencia en el comportamiento del pavimento. Las grietas en general se relacionan con la integridad de la superficie de rodamiento y su evolución en el mediano plazo.
- **Deterioros en juntas y grietas:** Son fallas que aparecen a nivel de juntas y grietas.

En la tabla 2.6 se muestran las principales fallas típicas de acuerdo a la clasificación antes mencionada. Asimismo, se presentan las principales causas que las originan y las posibles soluciones para corregir dichas fallas. Para la elaboración de esta tabla se ha tenido en cuenta la clasificación hecha por el artículo técnico “Guía para el reconocimiento de fallas en pavimentos rígidos” de la Asociación de Productores de Cemento del Perú (ASOCEM)

y se ha complementado con el documento “Catálogo de deterioros de pavimentos rígidos” del Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica (Cedex).

En la figuras 2.8, 2.9 y 2.10 se muestran las fallas más comunes de regularidad y superficie, grietas y deterioros en juntas, respectivamente.

En la figura 2.11 se muestra un formato para evaluar la condición del pavimento rígido.

CUANTIFICACIÓN DE FALLAS

Las fallas visibles deben ser cuantificadas de acuerdo a los siguientes parámetros: tipo, severidad y extensión. El tipo se refiere a que si son fallas funcionales o estructurales, la severidad queda definida por la apariencia de la falla expresada en porcentaje, en unidades de longitud por una descripción comparativa, o por una combinación de ellas, puede ser alta, media o baja. La extensión se expresa en orden de magnitud o en porcentaje de la junta, del número de paños o de la longitud de la vía afectada.

Fallas funcionales

Son leves relativamente, cuando un pavimento ha perdido su función inicial o asignada de antemano, se acepta que tiene falla funcional; generalmente está localizada en la capa superficial del pavimento y causa cierta incomodidad en los pasajeros que transitan la vialidad.

Pueden detectarse por simple observación visual. Entre las principales fallas funcionales tenemos: escalonamiento que es la principal causa de la rugosidad, superficie pulida, baches pequeños, fisuramiento por retracción, desintegración, etc.

Fallas estructurales

Pueden originarse en una o varias capas del pavimento, son graves, consisten en el rompimiento del pavimento por la falla estructural de alguna o varias de sus capas o por la incapacidad del suelo que lo soporta. Estos deterioros cuando están muy avanzados, imposibilitan al pavimento para resistir las cargas que se le imponen en la superficie. Aunque estas fallas pueden detectarse por observación visual, siempre es necesario auxiliarse con ensayos destructivos y/o no destructivos para cuantificar la magnitud de los daños para poder proponer soluciones técnicas racionales y económicas.

Entre las principales fallas estructurales tenemos: grietas (longitudinal, transversal, de esquina), punzonados, levantamientos, agrietamiento por durabilidad, etc. Muchas de estas fallas no son provocadas por la acción del tránsito sino por otras causas como son: malas técnicas de construcción, agrietamiento por baja temperatura, etc. No obstante esto, la acción del tráfico acelera el proceso de deterioro.

Tabla 2.6 Fallas en Pavimentos Rígidos

Tipo de Falla	Denominación de la manifestación	Definición	Causas	Posible tratamiento correctivo
Fallas de regularidad y superficie	Asentamientos	Desviación longitudinal de la superficie del pavimento con relación a su perfil original	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de soporte de la subrasante. - Cambio volumétrico de la subrasante por modificación de su estado de humedad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estabilización de losas. - Reconstrucción localizada.
	Baches	Hoyos en la superficie del pavimento.	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales deleznablees como terrones de arcilla. - Mortero poco homogéneo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Si el deterioro es generalizado, reparar colocando una carpeta asfáltica, siempre que se garantice la adherencia entre capas.
	Bombeo	Expulsión de agua con finos, a través de juntas, grietas y borde externo del pavimento, al pasar un vehículo pesado.	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de agua debajo de la losa. - Material de apoyo erosionable - Tráfico pesado y frecuente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resellar juntas y grietas. - Instalar drenes de borde. - Estabilización de losas.
	Escalonamiento	Desplazamiento vertical diferencial de losas adyacentes, en juntas o grietas.	<ul style="list-style-type: none"> - Erosión de la base en las inmediaciones de la junta. - Deficiencia en el traspaso de cargas entre las losas. - Drenaje insuficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar el sistema de drenaje. - Severidad baja y media: cepillado de la superficie. - Severidad alta: estabilización de losas y mejorar transferencia de cargas.
	Fisuramiento por retracción	Fisuras delgadas en forma de mapa que afectan solo la superficie de la losa.	<ul style="list-style-type: none"> - Contracción plástica del concreto, que aparece antes de la fragua final, por secado prematuro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Para cualquier nivel de deterioro: reparación de espesor parcial. - Colocar un parche asfáltico.
	Desintegración	Desintegración progresiva de la superficie perdiéndose primero la textura y luego el mortero, quedando el árido grueso expuesto.	<ul style="list-style-type: none"> - Concreto con exceso de mortero o mal dosificado. - Curado inapropiado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reparación de espesor parcial. - Recubrir con una mezcla asfáltica y garantizar la adherencia entre capas.

Tipo de Falla	Denominación de la manifestación	Definición	Causas	Posible tratamiento correctivo
Fallas de regularidad y superficie	Textura inadecuada	La superficie del pavimento parece pulida, sin la textura superficial original, haciéndolo resbaladizo.	<ul style="list-style-type: none"> - Mala calidad del agregado. - Acabado inadecuado. - Contaminación de la superficie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cepillado de la superficie. - Colocar un sello de fricción, garantizando la adherencia con el pavimento. - Construir un micropavimento.
	Arietamiento por durabilidad.	Grietas finas muy cercanas y con forma de un cuarto de luna y se inicia en las esquinas de las losas.	<ul style="list-style-type: none"> - Reactividad álcali- sílice de los agregados que conforman el concreto, cuando estos se congelan y expanden. 	<ul style="list-style-type: none"> - Severidad baja y media: reparación de espesor parcial. - Severidad alta: reparación en todo el espesor.
	Descascaramientos, despostillamientos, saltaduras en juntas y grietas.	Son roturas o desprendimientos del concreto a nivel de juntas o grietas.	<ul style="list-style-type: none"> - Infiltración de materiales incompresibles dentro de la junta o grieta. - Debilitamiento de las juntas y bordes debido al tránsito intenso y pesado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Severidad baja: sellado de juntas y grietas. - Severidad media y alta: reparación de espesor parcial.
	Punzonados	Es cuando una sección de losa situada entre dos grietas de contracción se rompe y desciende bajo la acción de cargas repetidas.	<ul style="list-style-type: none"> - Altas deflexiones en el borde del pavimento. - Bombeo de la subbase y pérdida de soporte. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estabilización de losas. - Reparación en todo el espesor
	Parches deteriorados	Área de una losa que ha sido removida o reemplazada por un material (concreto o asfalto), y que se encuentra deteriorada.	<ul style="list-style-type: none"> - En parches asfálticos: capacidad insuficiente. - En parches de concreto: insuficiente traspaso de cargas en las juntas 	<ul style="list-style-type: none"> - En parches asfálticos: remover y reemplazar este material. - En parches de concreto: rehacer el parche colocando pasadores.
	Levantamientos localizados	Levantamiento de parte de la losa , localizado a ambos lados de una junta transversal o grieta Habitualmente el concreto afectado se quiebra en varios trozos.	<ul style="list-style-type: none"> - Losas de longitud excesiva. - Mala colocación de pasadores - Presencia de suelos expansivos a poca profundidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reparar en todo el espesor. - Reconstruir la junta de contracción cuando corresponda.

Tipo de Falla	Denominación de la manifestación	Definición	Causas	Posible tratamiento correctivo
Grietas	Longitudinales	Son líneas de rotura que se presentan en el sentido del eje del pavimento, de modo que separa la losa en dos partes.	<ul style="list-style-type: none"> - Asentamiento de la cimentación. - Fatiga de la losa. - Losa de ancho excesivo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Severidad media y baja: sellado de juntas y grietas. - Severidad alta: reparación en todo el espesor. - Colocación de barras en cruz.
	Transversales	Son líneas de rotura que se presentan en sentido normal al eje del pavimento, de modo que separa la losa en dos partes	<ul style="list-style-type: none"> - Asentamiento de la cimentación. - Espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones. - Cimentación no nivelada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Severidad media y baja: sellado de juntas y grietas. - Severidad alta: reparación en todo el espesor. - Colocación de barras de traspaso de carga o pasadores.
	Esquina	Grieta que origina un trozo de losa de forma triangular, al interceptar la juntas transversal y longitudinal.	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecarga en las esquinas. - Deficiente transmisión de cargas entre las juntas. - Falta de apoyo de la losa, originado por la erosión de la base o alabeo térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Severidad media y baja: sellado de juntas y grietas. - Severidad alta: reparación en todo el espesor.
	Diagonales	Son aquellas que siguen un curso casi diagonal a la línea central de la vía.	<ul style="list-style-type: none"> - Puede deberse a falta de soporte de la subrasante o calidades diferentes de subrasantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Severidad media y baja: sellado de juntas y grietas. - Severidad alta: reparación en todo el espesor. - Colocación de barras de traspaso de carga o pasadores.
	Fracturación Múltiple	Son grietas que se encuentran interconectadas entre sí y forman grandes o pequeños polígonos que dan origen a numerosos trozos separados.	Fatiga de la losa debido al tránsito intenso y pesado.	<ul style="list-style-type: none"> - Reparación en todo el espesor, reemplazando longitudinal y transversalmente toda la zona afectada.

Tabla 4



a) Escalonamiento



b) Punzonados



c) Descascaramientos

Figura 2.8 Fallas de Regularidad y Superficie*

*Tomado del artículo "catálogo de deterioros de pavimentos rígidos"



a) Longitudinal



b) Transversal



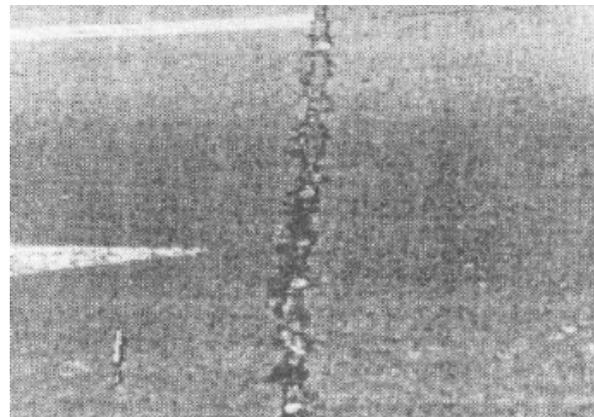
c) Esquina

Figura 2.9 Grietas *

*Tomado del artículo “catálogo de deterioros de pavimentos rígidos”



Extrusión del material de sello



Sello contaminado con material extraño



Pérdida del material de sello

Figura 2.10 Deficiencias o fallas en juntas*

*Tomado del artículo “catálogo de deterioros de pavimentos rígidos”

FORMATO PARA EVALUAR PAVIMENTOS RÍGIDOS		
PROYECTO N° _____	LOCALIZACIÓN _____	
CÓDIGO DEL PROYECTO _____	DIRECCIÓN _____	
DATOS DEL PAVIMENTO EXISTENTE		
SUBRASANTE (AASHTO)	CONDICIÓN DE BERMA	
BASE (TIPO/ESPELOR)	(BUENA, REGULAR, POBRE)	
ESPELOR DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL SELLO DE JUNTA	
RESISTENCIA DEL SUELO (R/M _R)	(BUENA, REGULAR, POBRE)	
SUELO EXPANSIVO (SI/NO)	SEPARACIÓN CARRIL – BERMA	
CONDICIÓN DE DRENAJE (BUENA, REGULAR, POBRE)	(BUENA, REGULAR, POBRE)	
EVALUACIÓN VISUAL DE FALLAS		
TIPO	SEVERIDAD	EXTENSIÓN
LEVANTAMIENTOS		
ROTURA DE ESQUINA		
ASENTAMIENTOS		
ESCALONAMIENTOS		
PUNZONAMIENTOS		
AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL		
BOMBEO		
AGRIETAMIENTO POR DURABILIDAD		
DESCASCARAMIENTOS		
AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL DIAGONAL	Y	

Figura 2.11 Formato para evaluar la condición del pavimento rígido según la provincia de Colorado (EEUU)*.

*Tomado de la Oficina del Departamento de Transportes de Colorado (CDOT, por sus siglas en inglés)

2.5 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DEL PAVIMENTO

Después de haber analizado toda la información referente al estado del pavimento, se procede a determinar el tipo de trabajo que requiere la estructura, para lo cual tenemos dos alternativas:

- **Mantenimiento:** Se refiere a todos los trabajos que tienden a resguardar la obra en su condición presente o mantenerla en su nivel actual, y generalmente se limita a bacheos, riegos de sellado, lechadas asfálticas, mantenimiento de bermas, limpieza de cauces.
- **Rehabilitación:** Los trabajos de rehabilitación de pavimentos según su finalidad se clasificarán en estructurales y superficiales. Las primeras tendrán por objeto aumentar significativamente la capacidad estructural del pavimento existente, adecuándola a las acciones del tráfico previsto durante su período de servicio. El objeto de las segundas será conservar o mejorar sus características funcionales (seguridad, comodidad, etc) y la protección del pavimento en su conjunto (aumento de la durabilidad, impermeabilidad, uniformidad, aspecto, etc).

Los trabajos de rehabilitación estructural, adecuadamente proyectados y construidos, darán solución a ambos tipos de rehabilitación, ya que supondrá la mejora de la regularidad longitudinal, transversal y de la textura superficial.

Las soluciones a aplicar en una rehabilitación estructural podrán ser de los siguientes tipos:

- Eliminación parcial y reposición de la capa del pavimento existente, incluyendo un eventual reciclado de los materiales.
- Sobrecapa aplicada sobre el pavimento existente.
- Combinación de los dos tipos anteriores.
- Reconstrucción total del pavimento, utilizando materiales nuevos o aprovechando los materiales del pavimento antiguo (reciclado), en este caso los costos se reducen.

El trabajo a que esta referido la presente tesis es al uso de sobrecapas de refuerzo. Como hemos visto, los indicadores de serviciabilidad (PSI, IRI, IE) nos ayudan a determinar el estado en que se encuentra el pavimento y si es necesario una rehabilitación; la evaluación estructural del pavimento existente a través de ensayos no destructivos permite conocer cierto parámetros de éste como son: coeficiente de transferencia de carga (J), módulo elástico del concreto (E_c), módulo resiliente (M_R) y módulo de reacción (K) de la subrasante, todos estos factores son muy importantes en el diseño del refuerzo como veremos en el capítulo IV; la observación visual del pavimento existente permite definir el tipo de reparación previa antes de la colocación de la sobrecapa de refuerzo.

CAPITULO III

PRINCIPALES CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA SOBRECAPA DE REFUERZO

3.1 RESUMEN

En este capítulo se desarrollarán las principales consideraciones que hay que tener en cuenta al momento de diseñar una sobrecapa de refuerzo, las cuales son: reparaciones previas al refuerzo (estabilización de losas, reparación en todo el espesor, reparación de juntas y grietas, etc.), control de reflexión de fisuras y ensanche de pavimentos.

Todas estas tareas son muy importantes en el diseño de las sobrecapas de refuerzo porque de ellas va a depender el tipo de refuerzo a colocar. Por lo tanto, el proyectista debe considerar el costo de cada uno de estos ítems, su factibilidad y en base al mismo diseñar el tipo de refuerzo más adecuado. Asimismo, se buscará colocar el refuerzo que requiera reparaciones previas más baratas y sencillas, de tal manera que se adapte bien al grado de deterioro existente.

3.2 REPARACIONES PREVIAS

Antes de proceder a la colocación del refuerzo, deberán repararse todos los desperfectos graves, tales como grietas de trabajo (aquellas que experimentan desplazamientos verticales entre sí), losas inestables, asentamientos, punzonamientos de pavimentos de concreto armado continuo y en especial todos los problemas derivados de un mal funcionamiento del sistema de drenaje o de la falta de capacidad de soporte de las capas subyacentes, con el fin de proporcionar al refuerzo una superficie de apoyo estable, uniforme, no erosionable y sin problemas de drenaje.

Todas estas medidas de reparación deberán tenerse en cuenta en el proyecto, sin que sea admisible sustituirlas por el dimensionamiento de un refuerzo de mayor espesor.

Cada técnica está diseñada específicamente para reparar o prevenir la recurrencia de ciertas fallas que puedan afectar el comportamiento de la sobrecapa de refuerzo. Aún cuando cada una de las técnicas puede ser empleada individualmente, son típicamente más efectivas cuando se emplea una combinación de varias de ellas.

Entre las principales técnicas de reparación tenemos:

- Estabilización de losas.
- Reparación en todo el espesor.
- Reparación de espesor parcial.
- Colocación de barras de traspaso de carga.
- Colocación de barras en cruz.
- Cepillado de la superficie.
- Reparación de juntas y grietas.
- Instalación de drenes de borde.

Estas técnicas, por sí solas, no necesariamente aumentan la capacidad estructural del pavimento; lo que hacen es incrementar la vida útil de éste. Por el contrario, si el pavimento necesita aumentar su capacidad para soportar más cargas será necesario colocar un refuerzo estructural.

3.2.1 ESTABILIZACIÓN DE LOSAS

Uno de los problemas que causa mayores daños y disminuye enormemente la serviciabilidad de un pavimento de concreto, es la pérdida de apoyo de las losas debido a vacíos bajo ellas. Estos vacíos son producto principalmente del bombeo de finos a través de las juntas o berma abierta, de la consolidación de la base causada por el tránsito repetido de camiones pesados, por una falla de la subrasante a causa de las sobrecargas cerca de las juntas o bien debido a la pérdida de la capacidad de resistencia a las cargas producto de la saturación de la subrasante. Las cargas de tránsito pesado inducen las mayores deflexiones de las losas cerca de las juntas transversales y grietas de trabajo. Sin apoyo por debajo de la losa, las tensiones en el concreto se incrementan y pueden ocasionar escalonamiento, rotura de esquinas y extenso agrietamiento.

La estabilización de losas, es un proceso correctivo que llena los vacíos y restaura el apoyo de la losa sin levantar el pavimento de concreto. Por lo general, la estabilización de la losa va acompañada de otras técnicas como la reparación de espesor completo o parcial y cepillado.

Los pasos a seguir en el procedimiento de estabilización de losas son:

- Detección de vacíos en forma precisa.
- Selección de materiales aceptables de estabilización.
- Estimación correcta de la cantidad de material.
- Ejecutar pruebas posteriores.

En la actualidad existen métodos, materiales y equipos disponibles para llevar a cabo el proceso de forma más rápida y eficiente que en el pasado. El proceso consiste en el bombeo de una lechada de cemento a través de agujeros perforados en la losa, como se puede observar en las figuras 3.1 y 3.2. La mezcla de lechada deberá ser capaz de formar una masa dura e insoluble, la cual llenará los vacíos que se encuentran por debajo de la losa.



Figura 3.1 Proceso de inyección de lechada*



Figura 3.2 Perforación para inyección*

*Tomado del artículo “Nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto”, publicado en la página web www.moptt.gov.cl.

3.2.2 REPARACIÓN EN TODO EL ESPESOR

La reparación de espesor completo implica la remoción y reemplazo de una porción de la losa en todo su espesor, con el propósito de restaurar áreas con un alto grado de deterioro o preparar el pavimento para una sobrecapa. Las reparaciones de espesor completo pueden mejorar las condiciones del rodado y de integridad estructural, así como extender la vida útil del pavimento.

Las reparaciones en todo el espesor para el caso de pavimentos de concreto simple o concreto armado con juntas, deben ser de concreto y deberán preverse pasadores o barras de unión a los efectos de asegurar una buena transferencia de cargas a través de la junta reparada. Para el caso de pavimentos de concreto armado continuo, las reparaciones en todo el espesor del mismo deben de ser de tal manera que aseguren la continuidad en la armadura mediante la soldadura o empalme con la armadura existente.

En algunos casos se han hecho reparaciones en todo el espesor en concreto asfáltico en lugar de concreto de cemento portland. Según la experiencia AASHTO⁴, esto no ha dado buenos resultados puesto que aparecen manchas en el refuerzo, apertura de juntas, fisuras y rápido deterioro en las inmediaciones del parche de concreto asfáltico, es por esto que no deben hacerse reparaciones con este material previo a la colocación del refuerzo. En el caso de haber parches de concreto asfáltico éstos deberán ser demolidos y reemplazos por concreto de cemento portland.

Las reparaciones de espesor completo deben tener una longitud suficiente para que el equipo de perforación de las barras de transferencia de carga (pasadores) trabaje sin dificultades. Ello garantiza que las barras queden suficientemente separadas para evitar concentración de tensiones excesivas, por lo tanto se recomienda extenderlas a todo el ancho de la losa que se está reparando. Además, se recomienda que éstas sean de un largo de 1.80 m como mínimo.

La ejecución considera los siguientes pasos:

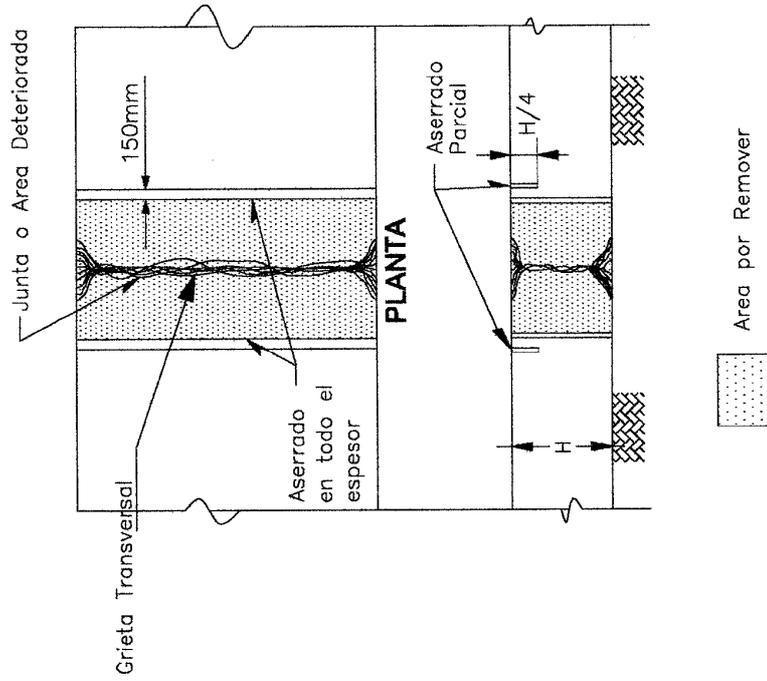
- Corte de espesor completo mediante aserrado alrededor del área dañada.
- Extracción de la losa de concreto en mal estado por medio de pequeñas grúas, con el fin de evitar dañar la subbase o el pavimento adyacente.
- Colocación de las barras de transferencia de carga, perfectamente alineadas.
- En la colocación debe utilizarse un concreto premezclado, que alcance la resistencia adecuada antes de la apertura al tránsito.
- El concreto debe ser vibrado y curado en la misma manera que al construir un pavimento nuevo. Un curado deficiente puede ser la causa de problemas de durabilidad.

Una consideración que hay que tener en cuenta es que si dentro de la zona deteriorada existiera una junta de contracción se procede de la misma forma, pero se debe formar la nueva junta en el mismo lugar que estaba la antigua. El procedimiento de la reparación en todo el espesor se puede apreciar en la figura 3.3.

⁴ Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos 1993”

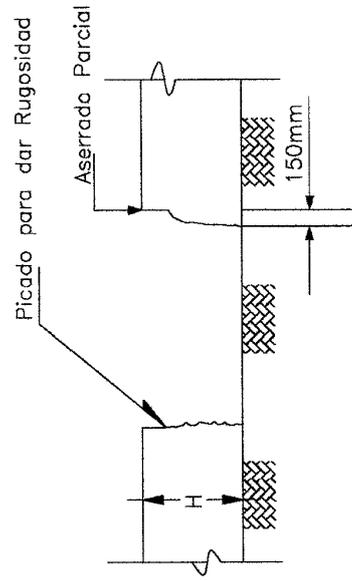
VISTA LATERAL

a) Remoción del Area por Reparar.-



VISTA LATERAL

b) Preparación de las Caras Aserradas.-



VISTA LATERAL

c) Barras de Amarre.-

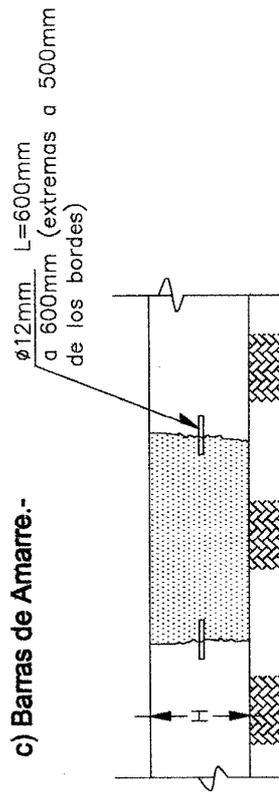


Figura 3.3 Reparación en todo el espesor*

* Obtenido de la página web www.cedex.es.

3.2.3 REPARACIÓN DE ESPESOR PARCIAL

La causa más frecuentes de los descascamientos es el aprisionamiento de materiales incompresibles en la junta abierta cuando el pavimento está frío. Estos incompresibles provocan tensiones al expandirse el pavimento en presencia de mayores temperaturas. Un descascamiento es objeto de una reparación de espesor parcial, si el concreto dañado puede ser removido hasta una profundidad menor a un tercio de la losa. Típicamente los descascamientos mayores de 3 cm de ancho o de 8 cm de largo deben ser parchados ya que crean una superficie muy irregular y aceleran el proceso de deterioro general en el pavimento.

La ejecución considera los siguientes pasos:

- Aserrado del perímetro de la zona a reparar, con una profundidad de corte apropiada (no puede ser mayor a un tercio del espesor de la losa), prolongando los cortes más allá del encuentro con el otro borde para que en las aristas se obtenga toda la profundidad del corte. Estos sobrecortes deben rellenarse con lechada o con epóxico. Los límites del parche incluyen todo el concreto deteriorado y que siempre esté rodeado de concreto sano.
- Remoción del concreto a reemplazar con martillos neumáticos livianos.
- Limpieza del área preparada mediante barrido a presión.
- Colocación de un formador de juntas flexible (separador compresible).
- Relleno del parche con mortero premezclado de alta resistencia. Debe evaluarse el uso de puentes de adherencia (figura 3.4), según instrucciones del proveedor del material de relleno.
- Puesto que normalmente los parches presentan una gran superficie en relación al volumen por rellenar, la humedad se pierde con rapidez, por lo que el sistema de curado por utilizar debe ser el adecuado para esta situación.

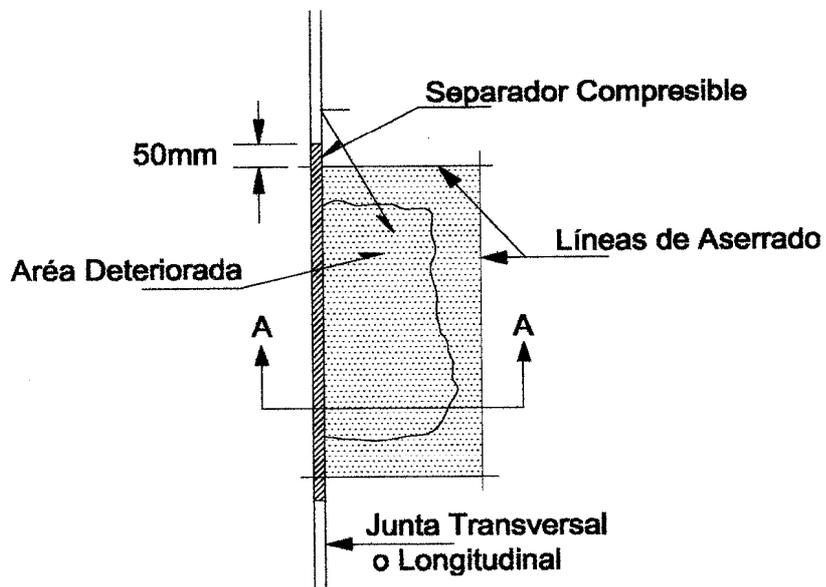
La causa más común de fallas de la reparación de espesor parcial es el descascamiento causado por la falta de un formador de junta flexible (separador compresible). Cuando no se emplea un formador de junta flexible, el parche mismo se convierte en incompresible, la falla se produce en el punto de apoyo y resulta de las fuerzas generadas por la expansión del concreto a temperaturas mayores que aquellas existentes en el momento de la instalación del parche. El procedimiento de la reparación de espesor parcial se puede apreciar en la figura 3.5.



Figura 3.4 Aplicación de puente de adherencia en reparación *

*Tomado del artículo “Nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto”, publicado en la página web www.moppt.gov.cl.

PLANTA



SECCION A - A

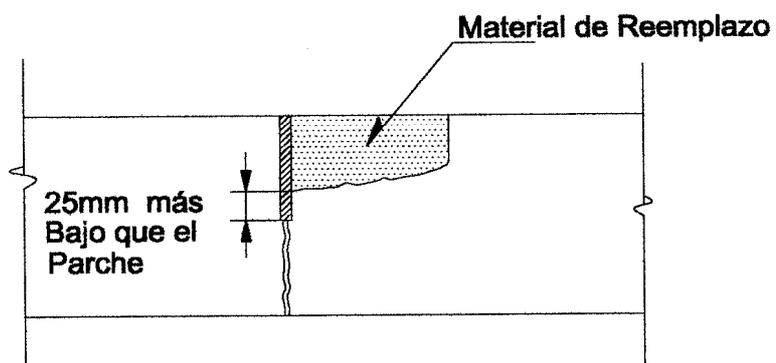


Figura 3.5 Reparación de espesor parcial

*Obtenido de la página web www.cedex.es.

3.2.4 COLOCACIÓN DE BARRAS DE TRANSFERENCIA DE CARGA

La colocación de pasadores, aumenta la eficiencia de la transferencia de carga en las grietas y juntas transversales en los pavimentos, al enlazar los trozos contiguos de modo tal que se distribuya la carga uniformemente. Se colocan en juntas o grietas transversales (ver figura 3.6) en las que se haya observado y medido una deficiente transferencia de carga entre la losa de aproximación y alejamiento de una junta, es decir, un movimiento diferencial entre estas losas debido a las cargas de tránsito. El mejoramiento de la transferencia de cargas incrementa la capacidad estructural del pavimento y reduce el potencial de escalonamiento, debido a la disminución de las tensiones y deflexiones en el pavimento.

Su configuración geométrica, el número de barras a colocar por junta y el tipo de acero a utilizar se determinan principalmente en función a las cargas de tránsito a las que estará sometido el pavimento. Su colocación se efectúa de acuerdo a la siguiente secuencia:

- Corte de ranuras a través de la junta o grieta para almacenar a los pasadores.
- Demolición, remoción del concreto de las ranuras y arenado de las caras internas de la ranura.
- Limpieza de las ranuras mediante hidrolavado.
- Colocación y alineación de las barras de transferencia con su respectivo separador de poliestireno expandido alineado con la grieta o junta.
- Relleno con ranuras con nuevo concreto.



Figura 3.6 Colocación de pasadores*

3.2.5 COLOCACIÓN DE BARRAS EN CRUZ

La colocación de barras en cruz es una técnica para grietas y juntas longitudinales que se hallan relativamente en buenas condiciones. El propósito de las barras en cruz es el de mantener entrelazado el conjunto y proveer refuerzo y resistencia adicional a la grieta o junta.

*Tomado del artículo “Nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto”, publicado en la página web www.moptt.gov.cl.

Las barras de amarre que se emplean en la reparación en cruz evitan que la grieta se ensanche o que se mueva vertical u horizontalmente.

La reparación en cruz emplea barras de amarre deformadas, que se insertan en agujeros perforados a través de una grieta, en ángulo de 35 a 45 grados, dependiendo del espesor de la losa, como se puede apreciar en la figura 3.7. Una barra de diámetro igual a 18 mm es suficiente para mantener una junta estrechamente unida con el fin de mejorar la transferencia de carga entre trozos o dos losas contiguas. Las barras se encuentran espaciadas de 0.60 m a 0.90 m, de centro a centro, y se alternan a cada lado de la grieta. Para la reparación de autopistas y calles el espaciamiento recomendado es de 0.90 m. Si existe tránsito de camiones pesados o de aviones, se requiere un espaciamiento de 0.60 m, a fin de obtener una resistencia adicional.



Figura 3.7 Barras insertadas en las perforaciones conteniendo epóxico*

3.2.6 CEPILLADO

Los tipos de textura superficiales que se pueden encontrar en pavimentos de concreto viejos, pueden variar desde una textura pulida a una textura gruesa. Esto influye en su habilidad para la adherencia o unión entre capas.

Una manera de alisar y dar textura al pavimento de concreto es mediante el cepillado superficial. Este proceso tiene por finalidad eliminar las imperfecciones superficiales, mediante el desbaste de los escalonamientos, alabeos y rugosidades otorgándole extrema suavidad, confort y seguridad para el usuario. Se realiza mediante maquinaria especializada con un cabezal de corte en que van montados en paralelo alrededor de 150 discos diamantados, los que le dan una textura acanalada. Este procedimiento no aumenta la capacidad estructural del pavimento.

Como resultado del cepillado, más las técnicas anteriores, se genera un importante incremento de la vida útil del pavimento como se ilustra en la figura 3.8.

*Tomado del artículo “Nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto”, publicado en la página web www.moptt.gov.cl.

Esto se debe a que hay una disminución de las cargas dinámicas o de impacto, que son producto del rebote o de los vehículos al rodar por sobre los resaltes y depresiones del pavimento; lo que permite que la estructura soporte un mayor número de solicitaciones durante el resto de su vida útil, que las que aceptaría si no se hubiera cepillado.

Por otra parte, se logra un mejoramiento del índice de regularidad superficial (IRI), parámetro que refleja el grado de serviciabilidad del pavimento. Además, como se le otorga textura al pavimento, se mejora la capacidad de adherencia de los neumáticos, que sumado al mejoramiento del drenaje del agua superficial, disminuye el hidroplaneo, lo que se traduce en un número menor de accidentes en la ruta.

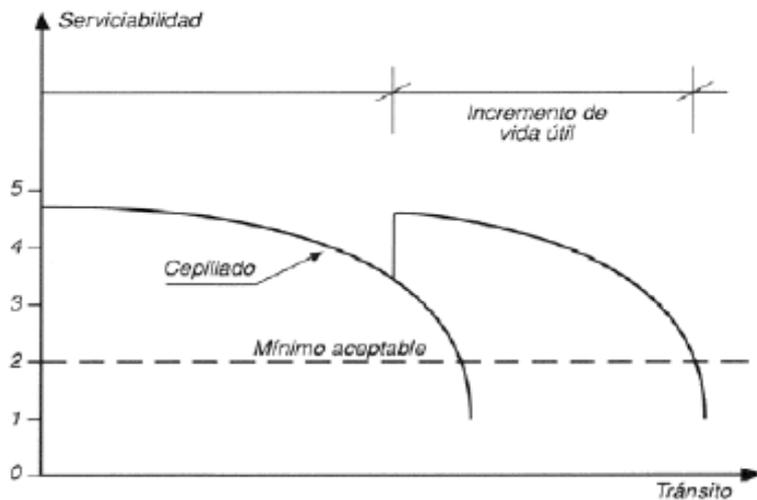


Figura 3.8 Incremento de la vida útil*

3.2.7 REPARACIÓN DE JUNTAS Y GRIETAS

Este tipo de trabajo se aplica a juntas y grietas que no experimenten desplazamientos verticales significativos entre sí, es decir, que no trabajen. Si las juntas o grietas son de trabajo deben repararse a través de la colocación de barras de traspaso de carga o reparando todo el espesor.

La experiencia en la construcción de sobrecapas de concreto asfáltico sobre pavimentos de concreto, indica que se tiene problemas adicionales si las juntas existentes no son limpiadas y preparadas adecuadamente para el sobrecapado. Las juntas empozan agua o proveen un canal desde el cual el agua será expulsada desde debajo de la junta. Esta acción se ve reflejada por un resoplido de la junta inmediatamente después del rodillazo de la sobrecapa. Cuando estas fuerzas están presentes, la sobrecapa comúnmente mostrará una grieta refleja al final del día.

Por lo mencionado anteriormente, se debe remover cualquier material contaminante que este presente en la junta o grieta; esto se logra empleando cualquiera de los siguientes métodos:

*Tomado del artículo "Nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto", publicado en la página web www.mopptt.gov.cl.

- **Limpieza de chorro de arena (sandblasting).** Consiste en la aplicación de arena a presión para eliminar cualquier residuo del sello antiguo, aceite u otro material extraño depositado en las juntas que impida la adherencia del nuevo material de sellado.
- **Chorro de agua a alta presión (waterblasting).** Consiste en la aplicación de agua a alta presión. Una vez limpia la junta, se le aplicará aire comprimido. Este proceso se repetirá hasta que la junta o grieta esté libre de cualquier material extraño y quede expuesta una cara de concreto nueva y limpia.

Una vez removido el material antiguo y limpiado la junta o grieta se procede a la instalación del cordón de respaldo y finalmente la instalación del sello.

3.2.8 INSTALACIÓN DE DRENES DE BORDE

Esta tarea se refiere a la colocación de drenes longitudinales al borde de un pavimento de concreto, con el propósito de evacuar rápidamente las aguas que llegan a la subbase. Los drenes de pavimento se instalan cuando se detecta surgencia de finos (pumping) por las juntas, grietas y/o bordes del pavimento, fenómeno provocado por el tránsito pesado al circular sobre una subbase saturada. Si el origen de esas aguas se encuentra en el afloramiento de napas subterráneas, que pueden estar localizadas en la zona misma del problema o a cierta distancia de ella, la colocación de drenes longitudinales al borde del pavimento y a una profundidad equivalente al sello de la subbase, es un muy buen sistema para evitar un colapso prematuro de las losas de pavimento.

Un tipo de drenaje longitudinal consiste en una tubería perforada (ver figura 3.9) que capta el flujo subsuperficial y que está rodeada de un material grueso por lo general grava o cantos pequeños para facilitar el flujo hacia la tubería. La tubería atrapa flujos pequeños y los elimina de la subbase de la vía. La importancia radica en que impide la acumulación de grandes volúmenes de agua que mantengan saturada la base y/o subbase del pavimento. Este tipo de drenaje deben funcionar como canales abiertos, es decir el tirante debe ser menor al diámetro de la tubería en todo momento. Se debe usar una protección a la salida, si existe material que pueda erosionarse fácilmente.



Figura 3.9 Tubería perforada*

Tomado del artículo “Nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto”, publicado en la página web www.moptt.gov.cl.

3.3 CONTROL DE REFLEXIÓN DE FISURAS

3.3.1 DEFINICIÓN

La reflexión de fisuras o agrietamiento reflejo es aquel mecanismo que refleja el patrón de agrietamiento del pavimento existente sobre la superficie del refuerzo, como se ilustra en la figura 3.10. Se origina por la concentración de deformaciones en la sobrecapa, causado por el movimiento de juntas y grietas del pavimento existente. Este tipo de agrietamiento puede ocurrir en casi todos los tipos de refuerzo, pero es más común en los refuerzos de concreto asfáltico sobre pavimentos rígidos.

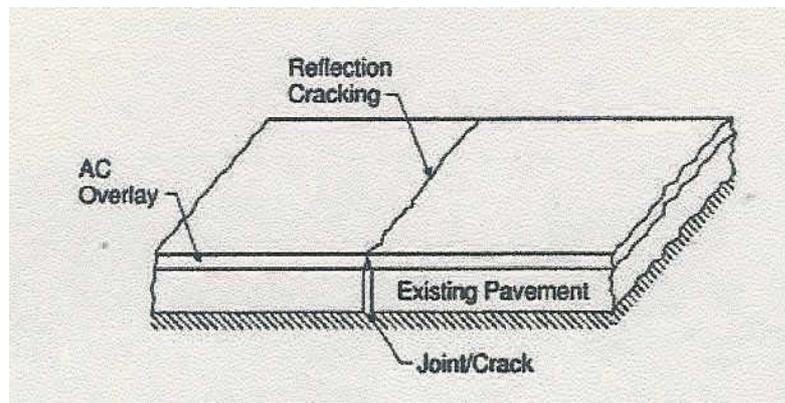


Figura 3.10 Reflexión de fisuras en una sobrecapa de concreto asfáltico*

En la figura 3.11 se observan los tres tipos de movimiento que se presentan en las juntas o grietas, los cuales son: horizontal, vertical y paralelo. El movimiento horizontal, el más común, es inducido por el cambio de temperatura; el movimiento vertical es inducido por la acción de las cargas de tránsito y causan esfuerzos de flexión o de corte en el refuerzo. El movimiento paralelo, el menos común, ocurre solamente bajo condiciones lateralmente inestables.

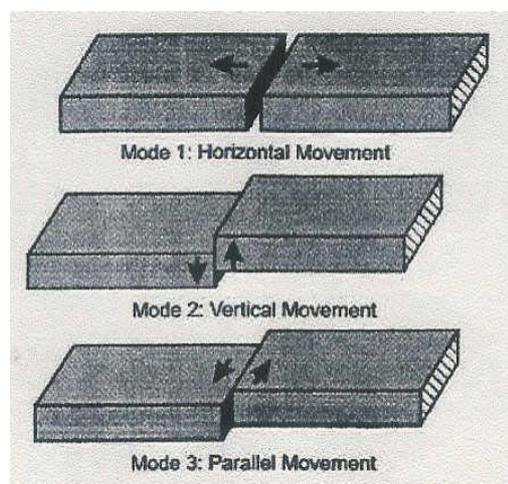


Figura 3.11 Movimientos de juntas o grietas*

*Tomado del Reporte Final N° 260 del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Illinois

Las variaciones térmicas diarias y estacionales son los principales factores que influyen en el movimiento horizontal del pavimento existente. Las bajas temperaturas causan las aberturas de grietas y juntas existentes que generan esfuerzos de tensión en el refuerzo, exactamente arriba de la junta o grieta. Como se puede apreciar en la figura 3.12a, el mayor esfuerzo de tensión se presenta en la parte inferior del refuerzo, debido a que está en contacto directo con la junta o grieta. Este esfuerzo inducido es proporcional al movimiento que se da en la junta o grieta, y a la vez este movimiento es proporcional a la longitud de la losa, a variaciones térmicas, al coeficiente de expansión térmico de la losa de concreto y al espaciamiento entre juntas y grietas.

En la figura 3.12.b se observa que las bajas temperaturas también generan esfuerzos de tensión en el refuerzo debido a la contracción de éste. Este esfuerzo es mayor en la parte superior, debido a que la superficie se enfría más rápido que el resto del refuerzo. La contracción es directamente proporcional a los cambios de temperatura estacionales, a la longitud de la losa, y al coeficiente de contracción térmica del refuerzo. Finalmente, hay una relajación de esfuerzos que ayuda a reducir los esfuerzos de tensión. Este esfuerzo es directamente proporcional a la longitud de la losa que está arriba de la junta o grieta e inversamente proporcional al módulo de rigidez del concreto asfáltico. El efecto combinado de las tres condiciones de esfuerzo, generan un esfuerzo de tensión en el refuerzo que si excede a la resistencia a tensión del mismo se originará la fisura.

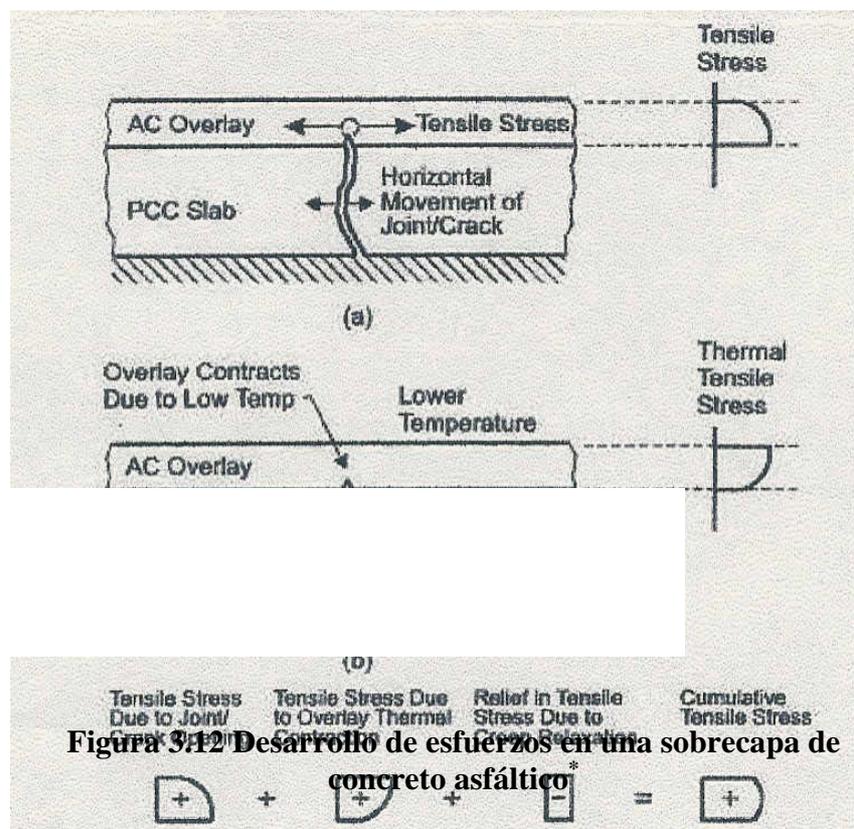


Figura 3.12 Desarrollo de esfuerzos en una sobrecapa de concreto asfáltico*

*Tomado del Reporte Final N° 260 del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Illinois

3.3.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL

En la construcción de refuerzos, sobretodo los de concreto asfáltico, debe considerarse el problema de agrietamiento reflejo. El no tomar en cuenta este factor puede afectar adversamente la estructura del pavimento y disminuir la serviciabilidad del refuerzo. Es por esta razón que deben considerarse medidas para controlar la reflexión de fisuras, entre las cuales tenemos:

- Incremento del espesor de refuerzo. En este caso la reflexión tardará más tiempo en desarrollarse, además no es una alternativa económicamente factible.
- Modificación de las propiedades del asfalto.
- Rotura y asentamiento.
- Capa absorbente de esfuerzos.
- Capa compuesta absorbente de esfuerzos.

A continuación desarrollaremos brevemente las tres últimas medidas por ser las que más se utilizan actualmente.

3.3.2.1 ROTURA Y ASENTAMIENTO

Este procedimiento es una manera efectiva de minimizar el agrietamiento reflejo. Se aplica en pavimentos de concreto que tienen deterioros generalizados, o en losas inestables que presentan bombeo.

Esta técnica consiste en romper la losa de concreto en piezas más pequeñas, de tal manera que se pierda la continuidad en ella y luego asentarlas firmemente en su fundación con varias pasadas de rodillo neumático de 35 a 50 tn de peso.

El objetivo de quebrar las losas en pedazos más pequeños es disminuir los movimientos diferenciales en grietas de trabajo y juntas, de tal manera de reducir los movimientos horizontales inducidos por temperatura y los movimientos verticales que contribuyen al asentamiento reflejo.

3.3.2.2 CAPA INHIBIDORA DEL AGRIETAMIENTO

Típicamente, la estructura inhibidora de grietas⁵, es una capa gruesa de mezcla asfáltica en caliente, de gradación abierta, de 90 mm (3.5 pulg), conteniendo 25 a 35 % de vacíos interconectados y hecha de material 100 % triturado. Se diseña específicamente para minimizar la reflexión de grietas desde el antiguo pavimento de concreto a la nueva sobrecapa asfáltica.

Debido a la gran cantidad de vacíos interconectados, la capa inhibidora del agrietamiento, proporciona un medio a través del cual, los movimientos diferenciales (causantes del agrietamiento) de la losa subyacente, no son fácilmente transmitidos. Se coloca como la primera capa de un sistema de sobrecapa.

⁵ Instituto del Asfalto "Asphalt overlays for highway and street rehabilitation", Manual serie N° 17

Para lograr la mitigación del agrietamiento se requiere de la combinación adecuada de tres capas que pueden tener el siguiente orden: en primer lugar se coloca, la capa inhibidora del agrietamiento, seguida por una capa inmediata bien graduada (capa nivelante), luego una capa superficial de gradación densa.

Cuando se usa una capa de mitigación del agrietamiento de 90 mm (3.5 pulg), el espesor total de la sobrecapa incluyendo las capas de nivelación y de superficie, será de 175 a 225 mm (de 7 a 9 pulg). En la figura 3.13 se presenta este procedimiento.

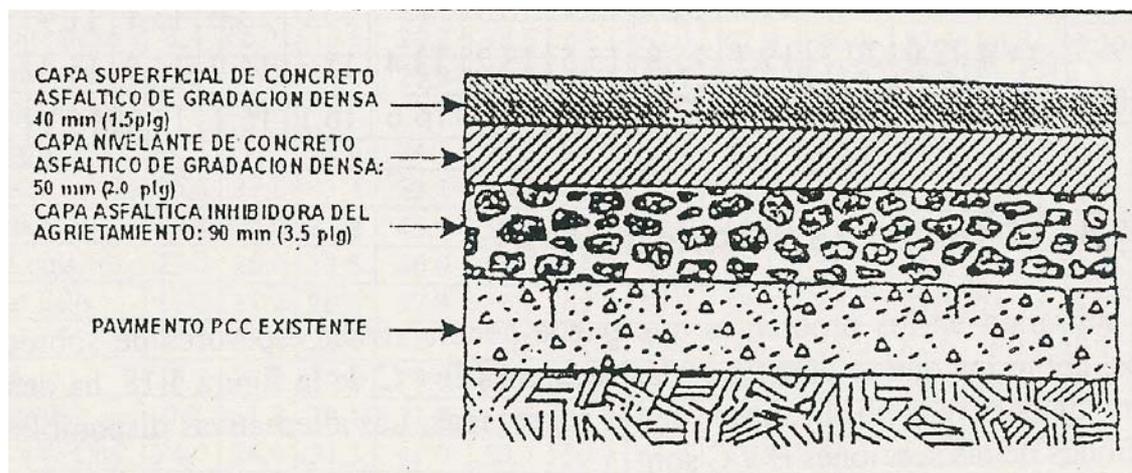


Figura 3.13 Sección transversal de la capa inhibidora del agrietamiento*

Es muy importante considerar una adecuada gradación de los agregados a utilizarse en la capa inhibidora del agrietamiento.

En la tabla 3.1 se proporciona los límites de gradación para la capa inhibidora de agrietamientos recomendados en el manual N^o 17 (MS – 17), del Instituto del Asfalto.

La selección de los límites de gradación dependerá inicialmente de la disponibilidad del tamaño del agregado en la zona donde se ejecutará el proyecto. Pavimentos de concreto altamente expansivos ó con espaciamientos de juntas que excedan los 6 m (20 pies), requieren de capas inhibidoras de agrietamiento con agregados del mayor tamaño máximo posible (gradaciones A o B de la tabla 3.1).

Pavimentos de concreto menos expansivos pueden ser sobrecapados con la gradación tipo C de la tabla 3.1.

*Instituto del Asfalto "Asphalt overlays for highway and street rehabilitation", Manual serie N^o 17

Tabla 3.1 Límites recomendados de gradación para la capa inhibidora del Agrietamiento*

Malla	Porcentaje que pasa		
	A	B	C
75 mm (3 pulg)	100	-----	-----
63 mm (2 ½ pulg)	95 – 100	100	-----
50 mm (2 pulg)	-----	-----	100
37.5 mm (1 ½ pulg)	30 – 70	35 – 70	75 – 90
19.0 mm (¾ pulg)	3 – 20	5 – 20	50 – 70
9.5 mm (3/8 pulg)	0 – 5	-----	-----
4.75 mm (N° 4)	-----	-----	8 – 20
2.36 mm (N° 8)	-----	0 – 5	-----
150 um (N° 100)	-----	-----	0 – 5
75 um (N° 200)	-----	0 – 3	-----
Contenido de Cemento Asfáltico (AC-40, PEN 40-50, o A5R – 16000)		1.5 – 3 %	
Agregado requerido: Piedra chancada, angular grava chancada o escoria chancada			
Textura Superficial : Muy abierta y porosa (requiere cobertura)			
Limitaciones del tráfico : Todo el tráfico deberá ser evitado en esta capa hasta que la capa intermedia se coloque sobre ella.			
Tiempo de mezclado : 30 segundos máximo			
Temperatura de mezclado: 93° - 121° (200° - 250 °F)			
Rodillado : Rodillo tandem de ruedas de acero, (4 – 10 tn)			
Densidad : No es requerimiento			
Diseño de mezcla : Dentro del rango de gradación Maestro			

*Instituto del Asfalto “Asphalt overlays for highway and street rehabilitation”, Manual serie N° 17

3.3.2.3 CAPA COMPUESTA ABSORBENTE DE ESFUERZOS

A través de una serie de estudios, Mukhtar y Dempsey⁶, desarrollaron un método para controlar efectivamente la reflexión de fisuras. Este sistema alivia o disipa el esfuerzo en el extremo de la grieta y al mismo tiempo provee un refuerzo a la sobrecapa al detener la propagación ascendente de la grieta.

Una capa compuesta absorbente de esfuerzos esta formada por un geotextil de baja rigidez, una membrana viscoelástica y un geotextil de alta rigidez, como se muestra en la figura 3.14.

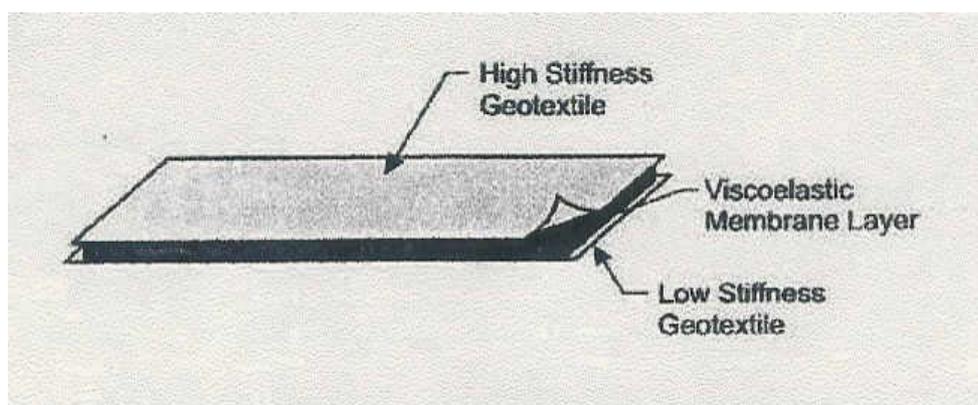


Figura 3.14 Capa compuesta absorbente de esfuerzos

El geotextil de bajo módulo de rigidez se encuentra en la parte inferior de la capa y presenta las siguientes características:

- Contiene a la membrana viscoelástica.
- Se encuentra completamente adherida al pavimento existente con la ayuda de un riego de liga.
- Permite el movimiento horizontal del pavimento existente sin romper la adherencia con la losa.

La membrana viscoelástica se encuentra entre los dos geotextiles y presenta las siguientes características:

- Provee flexibilidad entre los dos geotextiles.
- Actúa como una capa absorbente de esfuerzos ya que permite el movimiento horizontal relativo entre los geotextiles y entre la sobrecapa y el pavimento existente.
- Previene la entrada de agua dentro de la estructura del pavimento.

El geotextil de alto módulo de rigidez se encuentra en la parte superior y presenta las siguientes características:

⁶ Mukht, M.T y B. J. Dempsey, Capa Compuesta Absorbente de Esfuerzos (ISAC - Interlayer Stress Absorbing Composite), Reporte Final N° 260 del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Illinois.

- Contiene a la membrana viscoelástica.
- Se encuentra completamente adherida a la sobrecapa de refuerzo con la ayuda de un riego de liga.
- Provee alta rigidez y refuerzo a la sobrecapa

En la Figura 3.15 se muestra la capa compuesta absorbente de esfuerzos colocada sobre un pavimento de concreto con juntas.

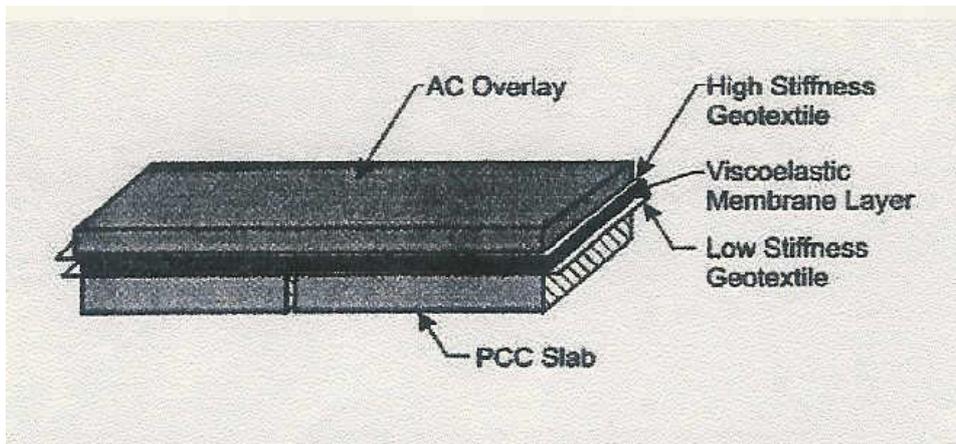


Figura 3.15 Capa compuesta absorbente de esfuerzos colocada sobre una estructura de pavimento*

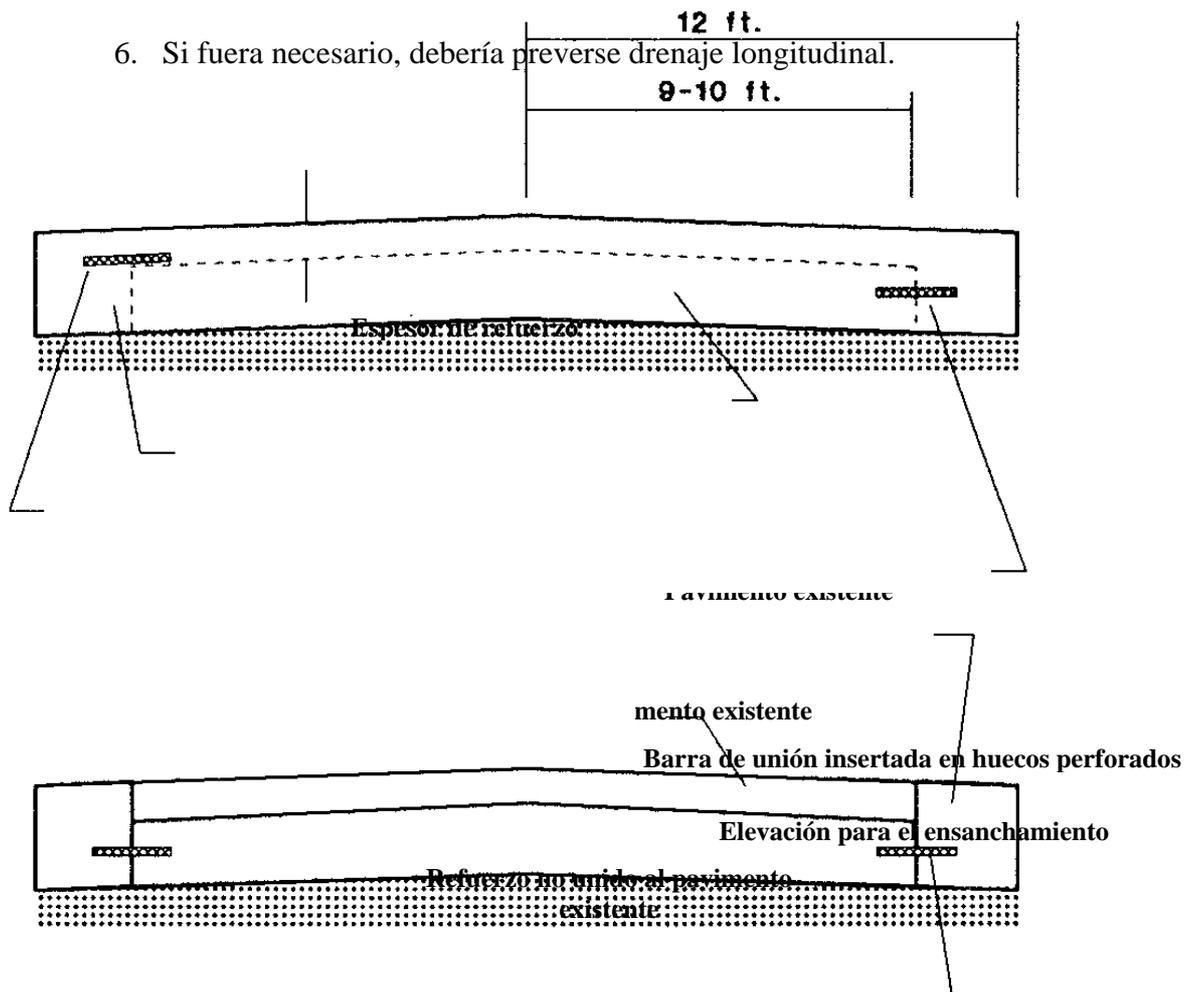
3.4 ENSANCHE DE PAVIMENTOS

Muchos refuerzos de concreto asfáltico están realizados sobre pavimentos de concreto, y como tarea adicional, se ensancha la calzada. Se debe asegurar que las secciones existentes y ensanchadas funcionen bien desde el punto de vista estructural. Muchas veces se han presentado problemas a lo largo de la línea que marcaba el borde externo de la calzada primitiva. Se recomienda para evitar esto, hacer lo siguiente:

1. La vida útil del refuerzo y del ensanche debe ser la misma para evitar reparaciones en distintos momentos.
2. La sección transversal del ensanche debe igualar a la del pavimento existente en lo que concierne al tipo de material, espesor, armaduras y espaciamiento entre juntas. No obstante esto último, puede usarse un espaciamiento menor.
3. Una sección ensanchada de concreto debe estar unida a la losa existente con barras de unión. Este ensanchamiento puede ser de dos maneras: unido en forma monolítica al pavimento existente o construido separadamente de éste, como se puede apreciar en la figura 3.16. Asimismo, las barras de unión deben estar fijadas o ancladas al pavimento existente y deben ser del mismo tipo que las empleadas en un pavimento nuevo.
4. A lo largo de esta junta longitudinal se debe disponer algún dispositivo que evite la reflexión de fisuras.

*Tomado del Reporte Final N° 260 del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Illinois

5. El espesor de refuerzo debe ser el mismo en el ensanche que en el pavimento existente.
6. Si fuera necesario, debería preverse drenaje longitudinal.



Barra de unión insertada en huecos perforados

Figura 3.16 Tipos de ensanchamiento de pavimentos *

*Tomado de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, N° 204

CAPITULO IV

DISEÑO DE SOBRECAPAS DE REFUERZO SOBRE PAVIMENTOS RÍGIDOS

4.1 RESUMEN

En este capítulo se desarrollarán los procedimientos de diseño propuestos por el método AASHTO 93, para el cálculo del espesor de refuerzo necesario para la rehabilitación estructural de pavimentos rígidos o de concreto. Asimismo, se describirá de manera breve los diferentes tipos de refuerzos que se pueden aplicar sobre éstos, los cuales pueden ser flexibles o rígidos.

Los procedimientos de diseño presentados aquí están basados en el concepto de que el tiempo y las cargas de tránsito reducen la capacidad del pavimento para resistir cargas y el refuerzo será diseñado para lograr que el pavimento vuelva a ser capaz de soportar cargas en un nuevo período de diseño.

De igual manera, cada procediendo de cálculo se complementa con ejemplos prácticos para su mejor entendimiento. Para el diseño utilizaremos el P.A.S (Pavement Analisis Software), programa que permite el diseño de sobrecapas de refuerzo.

Finalmente, se desarrolla el tema referente a las acciones previas que se deben tener en cuenta antes de colocar la sobrecapa de refuerzo, esto referido al tema constructivo.

4.2 CONCEPTOS GENERALES ACERCA DE SOBRECAPAS DE REFUERZO

Una sobrecapa de refuerzo se define como un tipo de rehabilitación estructural que permitirá al pavimento antiguo recuperar la capacidad estructural perdida por los años de servicio, o en todo caso mejorar la capacidad inicial de diseño.

Conforme aumenta el número de aplicaciones de carga sobre el pavimento, la serviciabilidad inicial (P_1) de éste va disminuyendo hasta alcanzar un punto de serviciabilidad mínimo (P_2), en el cual es necesario colocar un refuerzo, de tal manera que el número de cargas actuales (N_p) no superen al número de cargas que producen la rotura del pavimento ($N_{1.5}$). Asimismo, se produce una reducción de la capacidad estructural del mismo, ya que al momento de colocar el refuerzo ésta ha pasado de SC_o (capacidad estructural original) a SC_{ef} (capacidad estructural efectiva). Supongamos que para el tránsito futuro esperado (N_f), se requiera una capacidad estructural SC_f , la diferencia entre SC_f y SC_{ef} debe ser dada por el refuerzo (SC_{ol}), como se puede apreciar en la figura 4.1. Este criterio de diseñar el refuerzo se llama **aproximación por deficiencia estructural**.

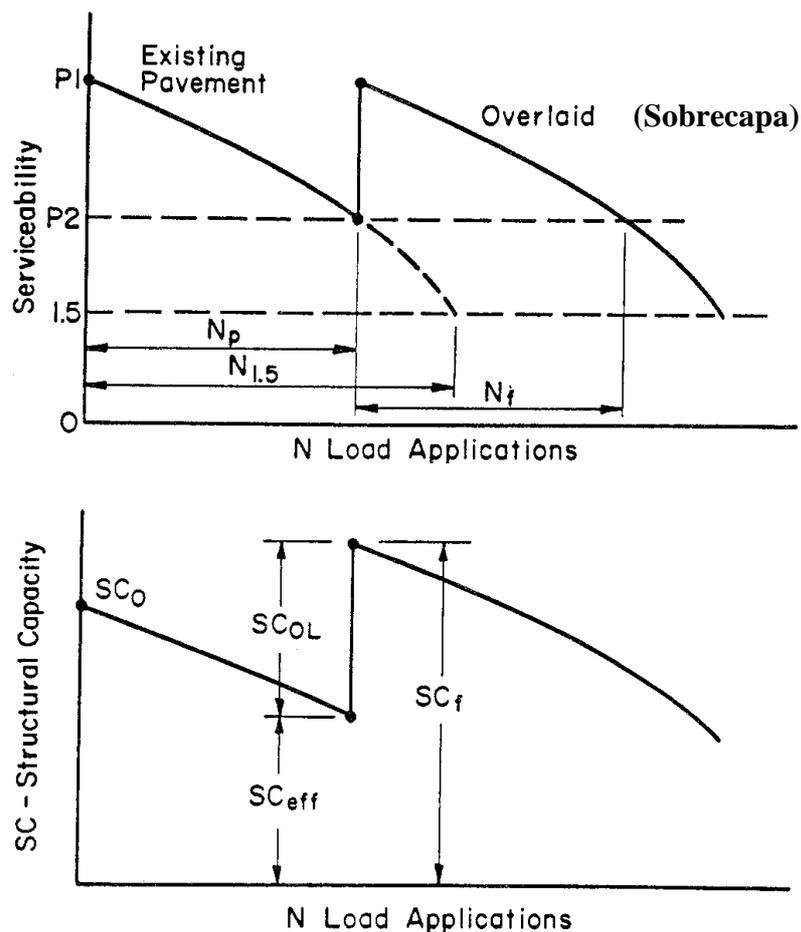


Figura 4.1 Variación de la capacidad estructural de un pavimento en el tiempo*

*Tomado de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, N° 204

4.2.1 FACTORES BASICOS PARA EL ESTUDIO DE REFUERZOS

El refuerzo debe ser capaz de brindar al pavimento reforzado resistencia (capacidad para soportar la acción del tráfico) y durabilidad (capacidad para resistir la acción del medio ambiente), durante el período para el cuál ha sido diseñado. Todo esto, en condiciones de vialidad adecuados y con gastos de conservación (mantenimiento) normales para el tipo de carretera que se este rehabilitando.

En la concepción de un refuerzo intervienen fundamentalmente los siguientes factores:

a) Factores internos

- El estado superficial del pavimento que se pretende reforzar.
- La estructura del pavimento existente, naturaleza y estado de cada una de sus capas componentes.
- La capacidad resistente del pavimento existente, esta puede ser determinada mediante la medida de deflexiones.
- El tipo de material a emplear en el refuerzo.

b) Factores externos

- Disponibilidad de fondos adecuados para realizar el refuerzo.
- Disponibilidad de materiales y equipos.
- Como se manejará el tránsito de la vía durante la ejecución de las obras de refuerzo y el costo de la demora del usuario.
- Problemas constructivos como: ruido, contaminación, instalaciones subterráneas, gálibo bajo puentes, espesor de bermas.
- El estado del sistema de drenaje de la carretera antes del refuerzo y posibilidades de mejora del mismo.
- Cargas de tránsito futuras.
- Clima local.

4.2.2 ESTUDIOS PRELIMINARES

Antes de proceder al cálculo del espesor de refuerzo, es necesario dividir la carretera a reforzar en tramos, ya que el deterioro del pavimento no es igual a lo largo de la vía a rehabilitar. Este cambio puede ser en el aspecto superficial, aspecto estructural (resistencia de las capas componentes del pavimento) y en las condiciones externas el pavimento (berma, condiciones de drenaje). Esto permitirá identificar zonas con características similares (homogéneas) a las que puede dársele un tratamiento especial.

En consecuencia, se puede decir que en este tipo de proyectos es importante realizar una división en secciones de características homogéneas, con la finalidad de diseñar un espesor de sobrecapa adecuado para cada caso y no incurrir en un sobrediseño que traería como consecuencia el encarecimiento del proyecto.

Entre los principales criterios a tener en cuenta para realizar una tramificación se pueden mencionar:

- Variaciones sensibles en las solicitaciones de tránsito pesado (causadas, por ejemplo, por la existencia de intersecciones).
- Variaciones en las condiciones climáticas, que pueden influir sensiblemente en la temperatura del pavimento y en el grado de humedad de la subrasante.
- Cambios importantes en el tipo de suelo de la subrasante.
- Cambios importantes en la sección transversal.
- Cambios importantes en el tipo o espesor del pavimento existente o alguna de sus capas.
- Variación en el estado del pavimento.
- Variación de las condiciones de drenaje.

Esta tramificación previa es de gran importancia sobretodo en proyectos de gran longitud y en aquellos en que, por falta de tiempo o de medios, no sea posible efectuar la medida de la deflexión en toda la longitud a reforzar, puesto que permite seleccionar secciones representativas de cada uno de los tramos cuyo comportamiento sea previsiblemente distinto.

4.2.3 FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO DE UNA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL

4.2.3.1 ANÁLISIS DEL TRÁNSITO

Este factor es el más importante, por lo que debe reflejar correctamente el tipo de tráfico que recibirá la vía a reforzar durante su nuevo periodo de diseño. En todo análisis de tránsito se deben coleccionar al menos dos datos:

- Tráfico medio diario en ambas direcciones, de todos los vehículos (ADT- average daily traffic)
- Tráfico promedio diario de camiones en ambas direcciones (ADTT- average daily truck traffic)

Estos datos pueden ser obtenidos a partir de censos de tránsito en el lugar de la futura construcción (si existe la vía y va a ser rehabilitada) o si es totalmente nueva mediante censos de tránsito en lugares próximos. Hay mapas de volúmenes de tránsito que muestran en determinados lugares el número de vehículos diarios, pero esto es menos exacto que hacer el censo en un determinado lugar. El tránsito puede cambiar según el día de la semana o en forma estacional y el proyectista debe tenerlo en cuenta.

De igual manera, es necesario conocer las tasas de crecimiento del tránsito, así como también la distribución por dirección y si se trata de un camino multitrocha, la distribución por trocha. También es necesario conocer el porcentaje de camiones presentes en el volumen de tránsito a estudiar, como así también la clasificación de estos camiones.

A continuación se presenta el procedimiento estándar para el cálculo de los ESALs de diseño.

1. Se determina el volumen promedio diario para cada tipo de vehículo en el carril de diseño. En el caso del Perú existen estaciones de pesaje ubicadas en las principales carreteras del país donde se registran datos de tránsito de estas carreteras como es tipo de vehículos y pesos que llevan.
2. Se calcula el factor de crecimiento (FCR), este factor depende de la tasa de crecimiento y del período de diseño y se selecciona de la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Factor de crecimiento (FCR) *

Período de diseño (Años)	Tasa de Crecimiento Anual, porcentaje (r)							
	Sin Crecimiento	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.34	172.32	271.02

$$*FCR = \frac{(1+r)^n - 1}{r}, \text{ donde } r = \text{tasa}/100$$

Si el crecimiento anual es cero, Factor de Crecimiento = Período de diseño

3. Se calcula el tránsito de diseño multiplicando el volumen promedio diario de cada vehículo por el factor de crecimiento de éste y por 365 días.

4. Se calcula el factor camión (Número de aplicaciones de cargas por eje simple equivalente a 80 kN, en una pasada de un vehículo). Esto se realiza para cada vehículo.

Para entender mejor el procedimiento para determinar el factor camión, escogemos un vehículo, en este caso un T2S2, del reglamento de peso y dimensión vehicular para la circulación en la red vial nacional vigente desde el año 1998.

Las características de este camión se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Características del camión T2S2

Tipo de vehículo	Longitud Total (m)	Carga por eje (TN)		
		Eje Delantero	Carga por eje posterior	
			1° eje	2° eje
T2S2	20.50	7	11	18

Se determina el factor equivalente de carga (Fec) individual para cada eje del vehículo utilizando la tabla 4.4. Cabe resaltar, que este factor depende del espesor de losa y el nivel de serviciabilidad final adoptado.

Para el ejemplo se considera un espesor de losa igual a 10 pulg y una serviciabilidad final igual a 2.5. Luego los Fec se suman para obtener el FC del vehículo. Los resultados del cálculo se muestran en la tabla 4.3

Tabla 4.3 Cálculo del Factor Camión (FC)

Camión tipo T2S2			
Ejes	Delantero	1° eje	2° eje
Tipos de eje	Simple	Simple	Doble
Factor equivalente de carga por eje (Fec)	0.53	3.15	2.02
Σ Fec	5.70		

5. Finalmente, se multiplica el tránsito de diseño por el factor camión para cada tipo de vehículo, para obtener el número de ESALs de diseño.

Tabla 4.4 Factores de equivalencia de carga para pavimentos rígidos⁷

Carga por eje		D = 10 pulg		P _t = 2.5
kN	lb	Eje Simple	Eje Doble	Eje Triple
8.90	2,000	0.0002	0.0001	0.0001
17.80	4,000	0.002	0.0005	0.0003
26.70	6,000	0.010	0.002	0.001
35.60	8,000	0.032	0.005	0.002
44.50	10,000	0.081	0.012	0.005
53.40	12,000	0.175	0.025	0.009
62.30	14,000	0.338	0.047	0.016
71.20	16,000	0.601	0.081	0.027
80.00	18,000	1.00	0.132	0.044
89.00	20,000	1.58	0.204	0.066
97.90	22,000	2.38	0.305	0.098
106.80	24,000	3.45	0.441	0.139
115.60	26,000	4.85	0.620	0.194
124.50	28,000	6.61	0.850	0.263
133.40	30,000	8.79	1.14	0.351
142.30	32,000	11.4	1.50	0.460
151.20	34,000	14.6	1.95	0.594
160.10	36,000	18.3	2.48	0.756
169.00	38,000	22.7	3.12	0.950
178.00	40,000	27.9	3.87	1.18
187.00	42,000	34.0	4.74	1.45
195.70	44,000	41.0	5.75	1.77
204.50	46,000	49.2	6.90	2.13
213.50	48,000	58.7	8.21	2.55
222.40	50,000	69.6	9.68	3.02
231.30	52,000		11.3	3.56
240.20	54,000		13.2	4.16
249.00	56,000		15.2	4.84
258.00	58,000		17.5	5.59
267.00	60,000		20.0	6.42
275.80	62,000		22.8	7.33
284.50	64,000		25.8	8.33
293.50	66,000		29.2	9.42
302.50	68,000		32.9	10.6
311.50	70,000		37.0	11.9
320.00	72,000		41.5	13.3
329.00	74,000		46.4	14.8
338.00	76,000		51.8	16.5
347.00	78,000		57.7	18.2
356.00	80,000		64.2	20.2
364.70	82,000		71.2	22.2
373.60	84,000		78.9	24.5
382.50	86,000		87.0	26.9
391.40	88,000		96.0	29.4
400.3	90,000		106.0	32.2

⁷ Apéndice D de la guía AASHTO para diseño de pavimentos, año 1986.

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación del método.

Los datos de vehículos corresponden a la carretera panamericana, se considera un solo factor de crecimiento en este caso 2 %. Se considera un período de diseño $n = 20$ años.

1. El volumen promedio diario para cada tipo de vehículo es:

Autos	2200
Camionetas	680
Camiones C2	06
Camiones T2S2	11
Camiones T3S2	10
Camiones C3R3	06

2. El factor de crecimiento para una tasa de 2 % y un período de diseño igual a 20 años, le corresponde el valor de 24.30 de acuerdo a la tabla 4.1.

3. El tránsito de diseño es:

Autos	$2200 \times 24.30 \times 365 = 19'512,900$
Camionetas	$680 \times 24.30 \times 365 = 6'031,260$
Camiones C2	$06 \times 24.30 \times 365 = 53,874$
Camiones T2S2	$11 \times 24.30 \times 365 = 97,565$
Camiones T3S2	$10 \times 24.30 \times 365 = 87,600$
Camiones C3R3	$06 \times 24.30 \times 365 = 53,874$

4. El factor camión se calcula para cada vehículo, de acuerdo a lo dicho anteriormente.

5. En la tabla 4.5 se muestra un resumen del procedimiento seguido para el cálculo de ESALs de diseño. Para el cálculo se desprecia el número de autos, debido a su poca incidencia en éste.

Tabla 4.5 Planilla para cálculo de ESALs*

Ubicación: Carretera Panamericana				Período de diseño: 20 años	
Tipo de vehículo	Volumen Diario *	Factor de crecimiento	Tránsito de diseño	Factor camión	Número de ESALs para diseño
Camionetas	680	24.30	6'031,260	0.003	18,093.78
Camiones C2	6	24.30	53,874	4.156	223,900.344
Camiones T2S2	11	24.30	97,565	7.906	771,348.89
Camiones T3S2	10	24.30	87,600	8.026	703,077.6
Camiones C3R3	6	24.30	53,874	11.656	627,955.34
ESALs de diseño total					2'344,375.95

*Se obtiene del trabajo de campo, registros estadísticos de paso diario de vehículos en la vía a evaluar.

4.2.3.2 ANÁLISIS DE LA SUBRASANTE

Para diseñar el espesor de una sobrecapa de refuerzo utilizando el método AASHTO 93, es necesario conocer las propiedades de la subrasante. Aún cuando se disponga de los registros de los diseños originales, es recomendable efectuar algunas pruebas de carácter limitado, para asegurar al Ingeniero de diseño que no ha habido ningún cambio en las condiciones del suelo durante la vida de la vialidad existente. Cuando no se disponga de los datos de diseño originales, deberá establecerse la resistencia del suelo de la subrasante.

Por este motivo, uno de los primeros pasos en el procedimiento de dicho método es recolectar especímenes de suelo para verificar o determinar los valores de resistencia sobre el cual basar el diseño del espesor total requerido. Se deberá seleccionar especímenes aleatoriamente por cada tipo de suelo encontrado, los cuales pueden clasificarse de la siguiente manera:

a) Suelos pobres, los que se vuelven blandos y plásticos cuando se humedecen. Incluye los suelos que tienen cantidades apreciables de arcilla y limo fino. Propiedades típicas: Módulo resiliente = 30 MPa (4500 psi), CBR = 3%.

b) Suelos medios, son los que retienen un moderado grado de resistencia bajo condiciones adversas de humedad. Incluye suelos tales como: arenas arcillosas, arenas limosas y gravas arenosas. Módulo resiliente = 80 MPa (12000 psi), CBR = 8%.

c) Suelos buenos, son los que retienen una cantidad sustancial de su capacidad de soportar cargas cuando se humedecen. Están incluidas las arenas limpias, gravas arenosas y angulosas, particularmente las que son bien graduadas, y suelos libres de cantidades perjudiciales de materiales plásticos. Módulo resiliente = 170 MPa (25 000 psi), CBR = 17 %.

Las muestras del suelo de la subrasante son ensayadas en el laboratorio para determinar sus valores de resistencia. Los ensayos requeridos son:

- Módulo resiliente (M_R): Es un ensayo triaxial cíclico que intenta reproducir los esfuerzos en las capas de un pavimento cuando está sometido a cargas móviles del tránsito.
- Valor soporte california (CBR): Este ensayo valora la capacidad o resistencia al corte del suelo. Es utilizado para analizar la resistencia de la subrasante, subbase y base en pavimentos flexibles.
- Módulo k de reacción de la subrasante: Se determina en un ensayo de placa, igual que el CBR se utiliza para valorar la capacidad o resistencia al corte del suelo. Es utilizado para analizar la resistencia de la subrasante o subbase en pavimentos rígidos.

Para propósitos de diseño, AASHTO propone actualmente el uso del módulo resiliente (M_R) para una mejor caracterización de los suelos de la subrasante. El módulo resiliente puede definirse como la relación entre el esfuerzo dinámico y la deformación, y puede determinarse de las siguientes maneras: ensayos de laboratorio, ensayos no destructivos y correlaciones.

Ante la ausencia de equipos, o de tiempo para la ejecución de estos ensayos, se utilizan ecuaciones de correlación entre los valores de CBR y M_R para obtener el valor requerido en el diseño de pavimentos. Así por ejemplo, el método AASHTO propone la siguiente ecuación de correlación:

$$M_R = 1500 \times \text{CBR} \quad \text{para CBR} < 10 \%$$

En otros países de Latinoamérica, como Venezuela, se han utilizado las siguientes ecuaciones de correlación:

$$\begin{aligned} M_R &= 1500 \times \text{CBR} && \text{para CBR} < 7.2 \\ M_R &= 3000 \times \text{CBR}^{0.65} && \text{para } 7.2 < \text{CBR} < 20 \end{aligned}$$

En el Perú se utilizan estas ecuaciones de correlación entre el módulo de resiliencia M_R y el valor de CBR para obtener el parámetro solicitado por los procedimientos de diseño como el método AASHTO. En la figura 4.3 se observa la variabilidad de los valores de M_R y su interdependencia con la ecuación de correlación utilizada.

Cabe destacar, que en la determinación del M_R con ecuaciones de correlación, sigue siendo limitante la variabilidad de los valores de CBR debido a las condiciones del estado del suelo. El valor de CBR es diferente si se realiza el ensayo para un estado de suelo húmedo, saturado o seco-saturado que representaría las posibles condiciones del suelo a través de un período cíclico estacional de comportamiento del suelo.

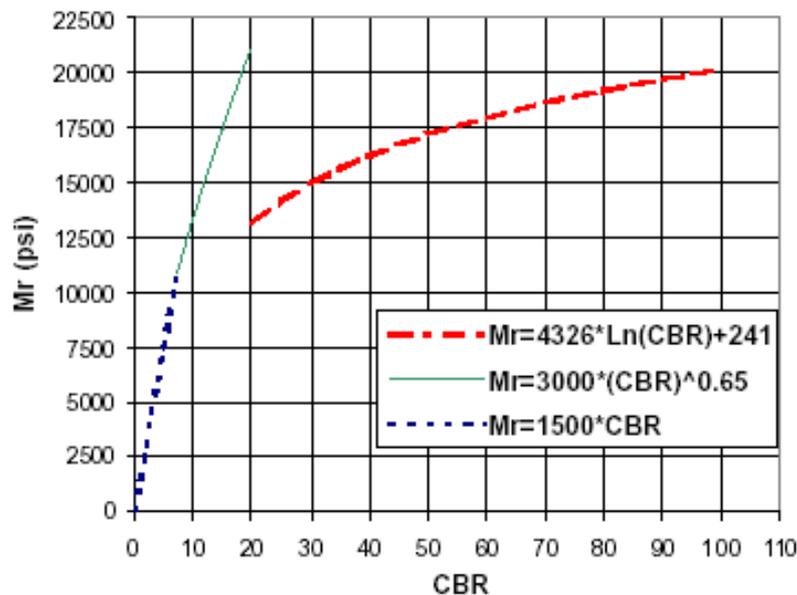


Figura 4.2 Módulo Resiliente vs CBR*

En la figura 4.3 hay correlaciones entre el M_R y otros ensayos. Como precaución es necesario aclarar que estas correlaciones son empíricas y permiten relacionarlas con el M_R , pero de ninguna manera entre sí.

*Obtenido del artículo "Modelaje y caracterización del comportamiento de los materiales con fines de diseño de pavimentos", publicado por el Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG).

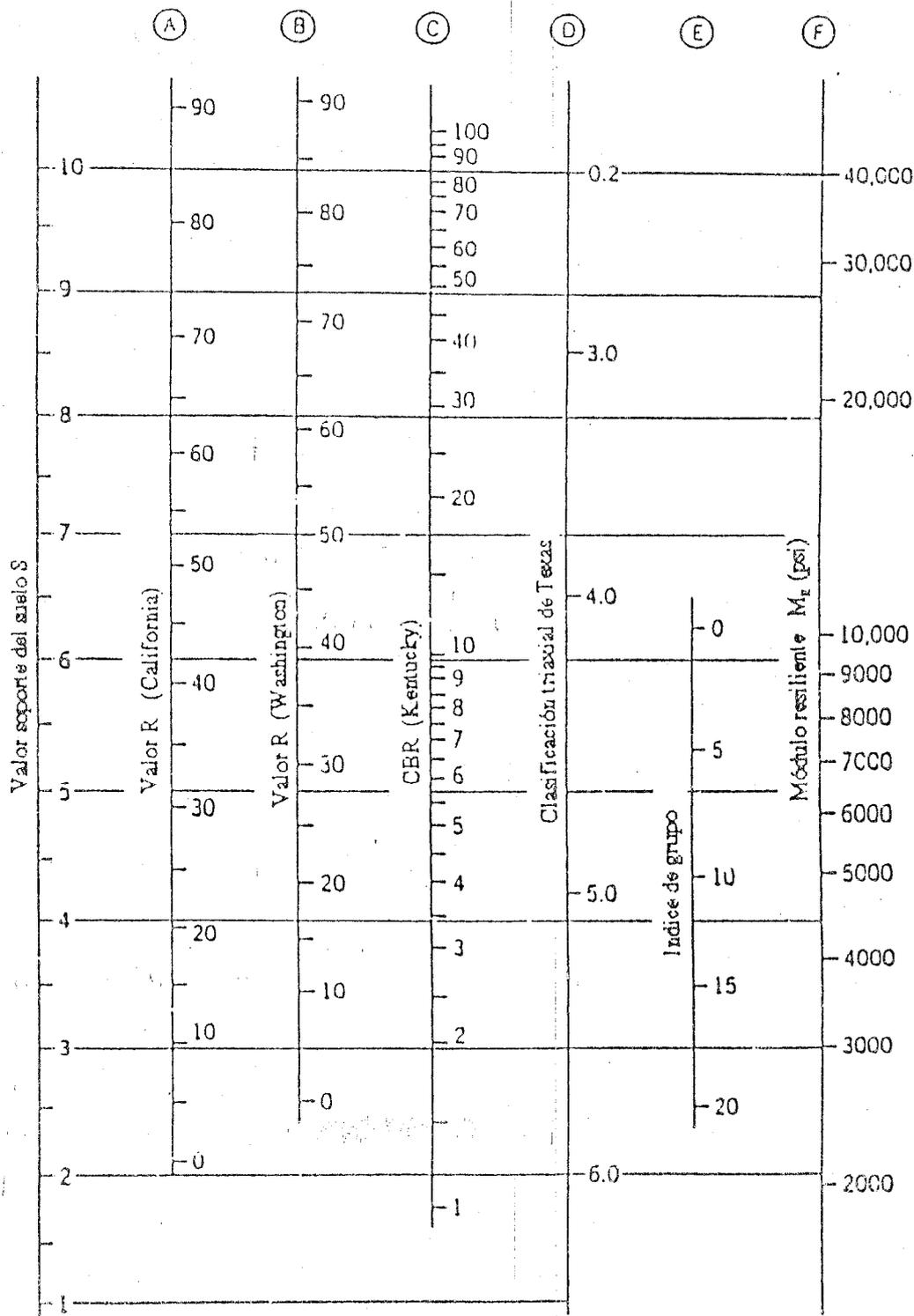


Figura 4.3 Correlaciones con el Módulo Resiliente*

*Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

4.3 RERUERZOS FLEXIBLES

4.3.1 CONCRETO ASFÁLTICO COMO MATERIAL DE REFUERZO

El método mas común para rehabilitar pavimentos existentes de concreto de cemento portland, es utilizando capas de concreto asfáltico en caliente o hot-mix asphalt concrete (HMAC, por sus siglas en ingles).

El concreto asfáltico es la mezcla de agregados pétreos, cemento asfáltico y filler. Los agregados aportan resistencia a la mezcla debido a su rozamiento interno; el cemento asfáltico es el material que se encarga de ligar la mezcla, es decir de formar un aglomerado; el filler es un modificador del asfalto que aumenta la cohesión interna del ligante y mejora el comportamiento a fatiga del mismo. Asimismo, el concreto asfáltico debe poseer una cantidad de ligante asfáltico, que conforme a un huso granulométrico se cumplan las condiciones requeridas para el diseño.

Los cementos asfálticos se clasifican de acuerdo a su grado de viscosidad (cuanto mas fluido sea un cemento asfáltico, menos viscoso será) y más no a su grado de penetración (dureza) ya que éste ensayo es de origen empírico y no mide la consistencia del cemento asfáltico en unidades fundamentales, como es el caso de la viscosidad. Asimismo, no mide la calidad de un asfalto, solo establece un valor de referencia y también porque dentro de un mismo grado de penetración hay muchos tipos de concreto asfáltico que cumplen con dicha característica.

El grado de viscosidad a utilizar en cada área debe ser seleccionado en función del clima. Para climas fríos, se deben usar cementos asfálticos de bajo grado de viscosidad para resistir la fisuración por baja temperatura. En climas cálidos se deben usar cementos asfálticos de alto grado de viscosidad para evitar el ahuellamiento.

A diferencia del concreto de cemento portland, en el cual el módulo elástico no varía con la temperatura, el módulo resiliente del concreto asfáltico depende de la temperatura, a mayor temperatura el M_R disminuye y por lo tanto el concreto asfáltico se vuelve mas deformable, a menor temperatura el M_R aumenta y la mezcla se torna más rígida lo que produce fisuras transversales.

Los espesores mínimos necesarios para rehabilitar estructuralmente un pavimento de concreto con refuerzos de concreto asfáltico, según la Dirección General de Carreteras de España, se indican en la tabla 4.6, en el Perú no hay una norma al respecto. Los valores correspondientes a las categorías de tráfico pesado T32 y T4, pueden no ser suficientes para evitar la reflexión de fisuras durante la vida útil prevista; sin embargo, la reflexión de fisuras puede ser aceptable en este tipo de vías, en las que no es previsible un deterioro importante y acelerado del refuerzo de concreto asfáltico, debido a la reducida intensidad del tráfico pesado.

Tabla 4.6 Espesores de refuerzos de concreto asfáltico (cm)⁸

Tipo de tratamiento del pavimento existente	Categoría de tráfico pesado					
	T00	T0	T1	T2 – T31	T32	T4
Rotura controlada y asentamiento del pavimento existente	25	20	16	12	9	6
Interposición de un dispositivo de control de reflexión de fisuras*	20	15	12	10	7	4

* El dispositivo de control de reflexión de fisuras utilizado no formará parte del espesor de refuerzo

La categoría de tráfico pesado presentada en la tabla anterior, se muestra a continuación, donde TMDA es el Tráfico Medio Diario Anual.

- T00 : TMDA \geq 4000
 T0 : 2000 \leq TMDA < 4000
 T1 : 800 \leq TMDA < 2000
 T2 : 200 \leq TMDA < 800
 T31 : 100 \leq TMDA < 200
 T32 : 50 \leq TMDA < 100
 T4 : TMDA < 50

El refuerzo de concreto asfáltico presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- Es de fácil y rápida aplicación.
- La interrupción del tráfico es mínima.
- Tiene un costo muy competitivo en comparación con otras técnicas de rehabilitación.

Desventajas

- Ahuellamientos en la superficie del pavimento.
- Presenta reflexión de fisuras, si es que no se ha colocado un dispositivo de control de éstas.
- No se utiliza en vías de alto volumen de tráfico pesado, porque se requiere un refuerzo de gran espesor, lo cual no es económico.
- En pasos a bajo nivel cuando las condiciones de gálibo no permiten colocar el refuerzo.

⁸ Manual de rehabilitación de pavimentos, publicado en la página web www.carreteros.org.

4.3.2 REFUERZO SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO PREVIAMENTE FRACTURADOS

4.3.2.1 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE REFUERZO

El espesor de refuerzo a colocar es función de la capacidad estructural requerida para el tránsito futuro y la capacidad estructural del pavimento de concreto fracturado. El espesor se determina con la siguiente ecuación:

$$D_{ol} = \frac{SN_{ol}}{a_{ol}} = \frac{SN_f - SN_{ef}}{a_{ol}}$$

Donde:

SN_{ol} = Número estructural requerido para el refuerzo.

a_{ol} = Coeficiente estructural para el refuerzo de concreto asfáltico.

D_{ol} = Espesor requerido del refuerzo.

SN_f = Número estructural requerido para soportar el tránsito futuro.

SN_{ef} = Número estructural efectivo del pavimento luego del fracturado.

Este tipo de refuerzo sólo es aplicable en casos que el pavimento de concreto se encuentre muy deteriorado, ya que las técnicas de fracturado están más justificadas en éste tipo de pavimentos que en los poco deteriorados, dado que es más fácil lograr un buen fracturado en un pavimento muy roto.

Para calcular el espesor de refuerzo se debe determinar el número estructural requerido para el tránsito futuro, así como también el número estructural efectivo del pavimento existente como veremos a continuación.

A. Determinación del número estructural requerido para el tránsito futuro (SN_f).

Para calcular el número estructural requerido para el tránsito futuro, el refuerzo se diseña como si se tratará de un pavimento flexible, donde la losa de concreto fracturada actúa como una “base granular”. Los pasos para determinar SN_f se indican a continuación.

1. Determinar la cantidad de ESALs previstos durante el período de diseño. Se deben usar factores equivalentes de carga correspondientes a pavimentos flexibles. Si el tránsito futuro fue previsto para un pavimento rígido, el número de ESALs debe ser convertido en un número para pavimentos flexibles dividiendo por 1.5.
2. Determinar el módulo resiliente de la subrasante por cualquiera de los siguientes métodos:
 - Ensayos de laboratorio.
 - Ensayos no destructivos (NDT, por sus siglas en ingles).
 - Estimación mediante correlación (figura 4.3)

3. Seleccionar la pérdida de serviciabilidad de diseño, que es la diferencia entre la serviciabilidad inmediatamente después de colocar el refuerzo y la serviciabilidad en el momento de la próxima rehabilitación.

En el diseño del refuerzo, al igual que en el diseño de pavimentos, se deben elegir la serviciabilidad inicial y final, de acuerdo a los criterios vistos en la sección 1.3.2.1.

4. Seleccionar la confiabilidad R de diseño de la tabla 1.3, de acuerdo a los criterios vistos en la sección 1.3.1.3.
5. Seleccionar la desviación estándar (S_0). Para el caso de pavimentos flexibles los valores de S_0 varían entre 0.44 y 0.49.

Con estos datos se puede determinar SN_f por cualquiera de los siguientes métodos:

- Empleo de la fórmula de diseño, procedimiento algo tedioso por lo complicado de la misma.
- Por el uso de ábacos de diseño (figura 4.4), procedimiento no muy exacto.
- Mediante programas de computación, como es el caso del software P.A.S (Pavement Analisis Software), que es el programa que vamos a utilizar en la presente tesis para el cálculo del espesor de refuerzo.

La ecuación fundamental AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles es:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 * \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log M_R - 8.07$$

Donde:

W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.

Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

S_0 = Desvío estándar de todas las variables.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

M_R = Módulo resiliente de la subrasante en psi.

SN = Número estructural indicativo del espesor total de pavimento requerido.

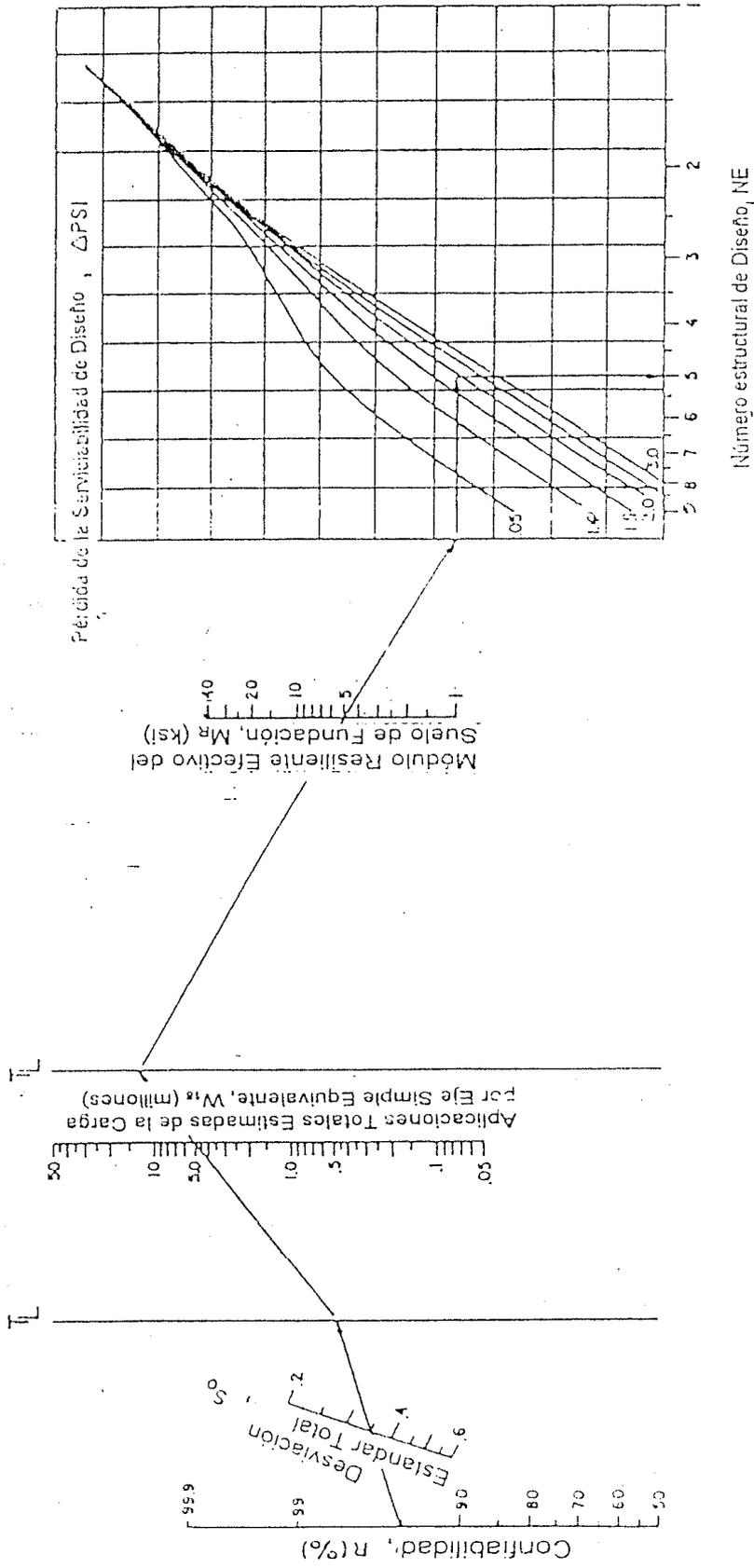


Figura 4.4 Ábaco de diseño para pavimentos flexibles*

* Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

B. B. Determinación del número estructural efectivo del pavimento existente (SN_{ef}).

SN_{ef} se determina con la ecuación del número estructural:

$$SN_{ef} = a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Donde:

D_2 = Espesor de la losa fracturada.

D_3 = Espesor de la subbase.

a_2 = Coeficiente estructural para la losa fracturada. Se recomienda los valores sugeridos en la tabla 4.7, que dependen de la técnica de fracturado utilizada.

a_3 = Coeficiente estructural de la subbase. Se determina mediante correlación con otros parámetros resistentes (figura 4.5), como son: CBR, módulo resiliente, etc.

m_2 = Coeficiente de drenaje. Para m_2 AASHTO recomienda un valor igual a 1.0 debido a la falta de información de las características de drenaje de la losa fracturada.

m_3 = Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles (tabla 4.8). Los valores se seleccionan de acuerdo a los criterios vistos en la sección 1.3.4.1.

Tabla 4.7 Valores sugeridos para coeficientes estructurales para losas fracturadas.*

MATERIAL	ESTADO DE LA LOSA	COEFICIENTE
C°A° (concreto armado) con juntas Rotura y asentamiento	Trozos mayores de 0.30 m (1 pie) con armadura rota o por lo menos sin adherencia con el concreto	0.20 – 0.35
C°S° (concreto simple) Fisurado y asentamiento	Trozos entre 0.3 y 1.0 m (1 a 3 pie)	0.20 – 0.35
Triturado y compactado (válido para C°S°, C°A° c/juntas, C°A° continuo)	Losa completamente fracturada con trozos menores de 0.3 m (1 pie)	0.14 – 0.30
Base o subbase granular o estabilizada	Sin evidencia de degradación o intrusión de finos	0.10 – 0.14
	Alguna evidencia de degradación o intrusión de finos	0.00 – 0.14

*Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

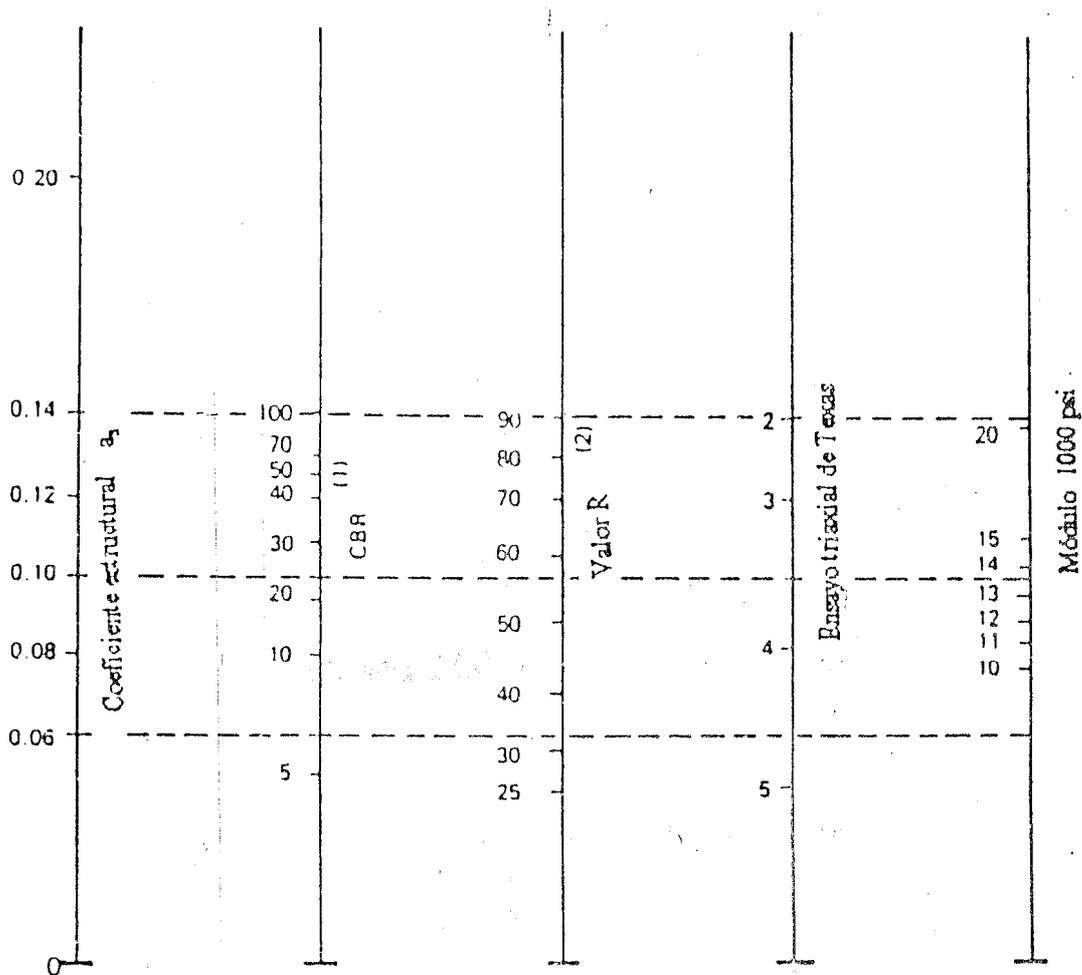


Figura 4.5 Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes*

Tabla 4.8 Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles*

Coeficiente de drenaje	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50 % de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	2 horas	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1 día	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	Nunca	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

* Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”

La figura 4.6 muestra una carta que puede utilizarse para estimar el coeficiente estructural para capas de concreto asfáltico (a_{01}) de gradación densa en función del módulo de resiliencia.

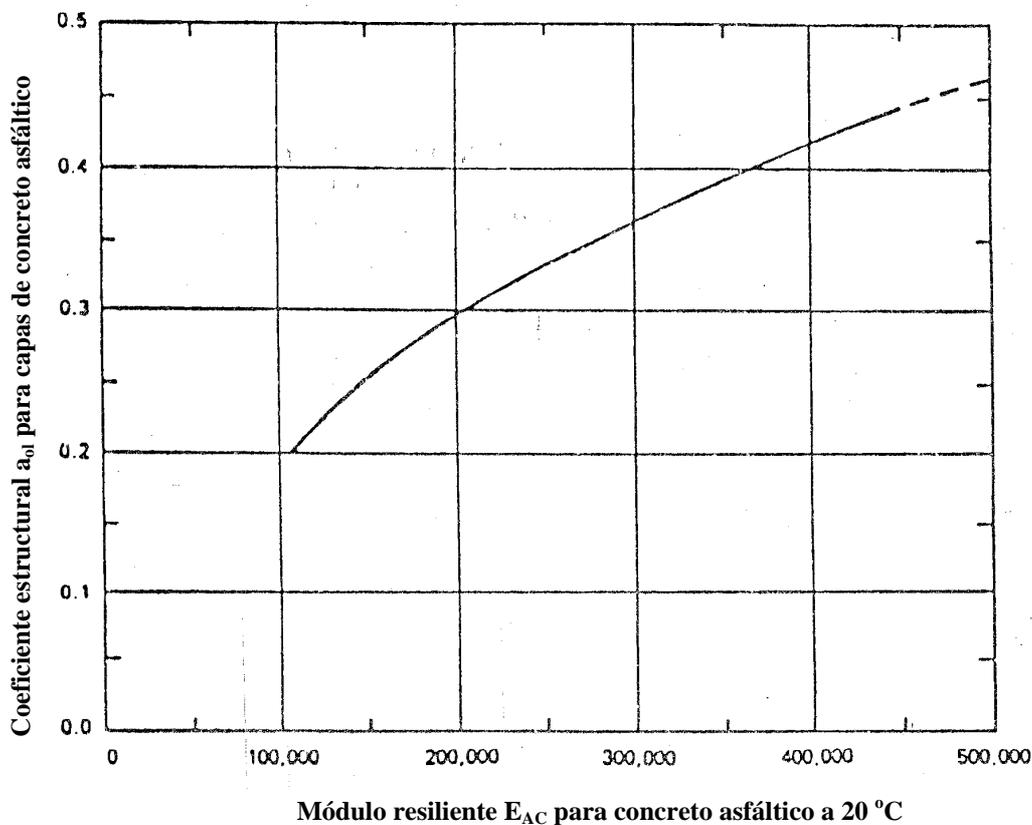


Figura 4.6 Carta para determinar el coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente *

Para entender mejor el procedimiento de diseño, se presenta a continuación ejemplos prácticos en los cuales se va utilizar el P.A.S (Pavement Analisis Software), programa que permite el diseño de sobrecapas de refuerzo.

Ejemplo 4.1

Calcular el espesor de refuerzo de concreto asfáltico para un pavimento conformado por una losa de concreto de cemento portland (losas con juntas) de 200 mm (8 pulg) y una subbase granular de 100 mm (4pulg). El pavimento rígido está apreciablemente deteriorado y escalonado, pero los fragmentos de losa han sido fracturados y asentados sobre la subbase por un rodillo neumático, previo a la sobrecapa.

Los datos de entrada son:

*Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

- Del análisis del tránsito se ha llegado a un ESALs de diseño

$$W_{18} = 2 \times 10^6 \text{ ESALs}$$

- El módulo resiliente de la subrasante se ha calculado en:

$$M_R = 62.1 \text{ MPa (9000 psi)}$$

- Como el refuerzo es para rehabilitar una calle o arteria principal ubicada en una zona urbana, de la tabla 1.3 seleccionamos un nivel de confiabilidad igual a 95 % con un desviación estándar de 0.45.
- La serviciabilidad inicial se ha considerado 4.2 y una serviciabilidad final de 2.5 por tratarse de una vía principal (tabla 1.4).
- La losa ha sido fracturada en trozos mayores a 0.30 m, por lo cual le corresponde un coeficiente estructural aproximadamente de 0.25 de acuerdo a la tabla 4.7.
- El coeficiente de drenaje de la losa fracturada se ha considerado igual a 1 (valor recomendado por AASHTO)
- Para propósitos de diseño, se ha considerado que la subbase tiene características de drenaje pobre y está saturada el 25 % del tiempo, correspondiéndole un coeficiente de drenaje de 0.75 de acuerdo a la tabla 4.8.
- La subbase tiene un $M_R = 13500$ psi, por lo cual le corresponde un coeficiente estructural aproximadamente de 0.10 de acuerdo a la figura 4.5.
- Se considera una capa de concreto asfáltico con un $M_R = 300000$ psi, cuyo coeficiente estructural, de acuerdo a la figura 4.6, es aproximadamente 0.36.

Finalmente, con todos estos datos, el espesor de refuerzo de concreto asfáltico requerido es de 4.33 pulg, aproximadamente 11 cm. El resultado se muestra en la figura 4.7.

Structural Number for Future Traffic		Effective Structural Number	
Future Structural Number	3.86	Fractured PCC Slab:	
Future E 18's	2,000,000	Thickness	8.00
Overlay Reliability	95.00	Layer Coefficient	0.25
Overall Deviation	0.45	Drainage Coefficient	1.00
Effective Soil		Subbase:	
Resilient Modulus	9,000	Thickness	4.00
Initial Serviceability	4.20	Layer Coefficient	0.10
Terminal Serviceability	2.50	Drainage Coefficient	0.75
Solve For		Effective Structural Number	2.30
Future Structural Number	3.86	Layer Coefficient	0.36
UNITS		AC OVERLAY THICKNESS	
No Units		4.33 inches	

Figura 4.7 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado final

Ejemplo 4.2

Calcular el espesor de refuerzo de concreto asfáltico para un pavimento conformado por una losa de concreto de cemento portland reforzado con juntas de 200 mm (7 pulg) y una subbase granular de 150 mm (6 pulg). El pavimento rígido está completamente deteriorado y escalonado, mientras que la base presenta problemas de intrusión de finos. Los fragmentos de losa han sido fracturados y asentados sobre la subbase por un rodillo neumático, previo a la sobrecapa.

Los datos de entrada son:

- Del análisis del tránsito se ha llegado a un ESALs de diseño

$$W_{18} = 2.67 \times 10^6 \text{ ESALs}$$

- El módulo resiliente de la subrasante se ha calculado en:

$$M_R = 69 \text{ MPa (10000 psi)}$$

- Como el refuerzo es para rehabilitar una calle o arteria principal ubicada en una zona urbana, de la tabla 1.3 seleccionamos un nivel de confiabilidad igual a 95 % con un desviación estándar de 0.45.
- La serviciabilidad inicial y final se ha considerado 4.2 y 2.5 respectivamente.
- La losa esta completamente deteriorada y la subbase presenta intrusión de finos, por lo cual le corresponde un coeficiente estructural aproximadamente de 0.12 de acuerdo a la tabla 4.7.
- El coeficiente de drenaje de la losa fracturada se ha considerado igual a 1.
- Para propósitos de diseño, se considera que la subbase tiene características de drenaje pobre y está saturada el 25 % del tiempo, correspondiéndole un coeficiente de drenaje de 0.75 de acuerdo a la tabla 4.8.
- La subbase tiene un $M_R = 13500 \text{ psi}$, por lo cual le corresponde un coeficiente estructural aproximadamente de 0.10 de acuerdo a la figura 4.5.

Se considera, en primer lugar, una capa de concreto asfáltico con módulo de resiliencia igual a 200000 psi, cuyo coeficiente estructural, de acuerdo a la figura 4.6, es aproximadamente 0.3, lo que nos da un espesor de refuerzo de 8.65 pulg (22 cm). Los resultados se muestran en la figura 4.8

En la figura 4.9 se muestran los resultados, pero para un concreto asfáltico con $M_R = 400000$, cuyo coeficiente estructural, de acuerdo a la figura 4.6, es aproximadamente 0.42, lo que nos da un espesor de refuerzo de 6.18 pulg (16 cm). Como se puede observar, al emplear un concreto asfáltico de mayor módulo de resiliencia, para las mismas condiciones, el espesor de refuerzo se reduce considerablemente, en comparación con el refuerzo de menor módulo de resiliencia. En nuestro caso, el espesor se reduce en aproximadamente un 27 %. Cabe resaltar, que cuando se emplean concretos asfálticos con módulos altos, éstos son más rígidos y más resistentes a la flexión, pero a la vez son también más susceptibles a los agrietamientos por temperatura y fatiga. Por lo tanto hay que tener cuenta todas estas condiciones a la hora de seleccionar el tipo de refuerzo más adecuado.

Structural Number for Future Traffic		Effective Structural Number	
Future Structural Number	3.89	Fractured PCC Slab:	
Future E 18's	2,670,000	Thickness	7.00
Overlay Reliability	95.00	Layer Coefficient	0.12
Overall Deviation	0.45	Drainage Coefficient	1.00
Effective Soil		Subbase:	
Resilient Modulus	10,000	Thickness	6.00
Initial Serviceability	4.20	Layer Coefficient	0.10
Terminal Serviceability	2.50	Drainage Coefficient	0.75
Solve For		Effective Structural Number	1.29
Future Structural Number	3.89	Layer Coefficient	0.30
UNITS		AC OVERLAY THICKNESS	
No Units		8.65 inches	

Figura 4.8 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado final

Structural Number for Future Traffic		Effective Structural Number	
Future Structural Number	3.89	Fractured PCC Slab:	
Future E 18's	2,670,000	Thickness	7.00
Overlay Reliability	95.00	Layer Coefficient	0.12
Overall Deviation	0.45	Drainage Coefficient	1.00
Effective Soil		Subbase:	
Resilient Modulus	10,000	Thickness	6.00
Initial Serviceability	4.20	Layer Coefficient	0.10
Terminal Serviceability	2.50	Drainage Coefficient	0.75
Solve For		Effective Structural Number	1.29
Future Structural Number	3.89	Layer Coefficient	0.42
UNITS		AC OVERLAY THICKNESS	
No Units		6.18 inches	

Figura 4.9 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado final

4.3.2.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Antes de colocar el refuerzo de concreto asfáltico, se procede al fracturamiento de la losa de concreto. Esta técnica está más justificada en pavimentos muy deteriorados, que en aquellos con escaso nivel de deterioro, dado que es más fácil lograr un buen fracturado en un pavimento muy roto, y por otro lado en este tipo de pavimentos será más costoso reparar fisuras antes de colocar el refuerzo.

Las técnicas de fracturado son: triturado y compactado, fisurado y asentamiento, rotura y asentamiento; y tienen por objeto reducir el tamaño de los trozos de concreto y así minimizar los movimientos horizontales inducidos por la temperatura y los movimientos verticales que tendrían lugar en las fisuras y juntas existentes, con el fin de minimizar la ocurrencia y severidad de reflexión de fisuras en el refuerzo. A continuación se describirá someramente cada una de estas técnicas.

a) Triturado y compactado.

Consiste en fracturar completamente cualquier tipo de losa de concreto (concreto simple, armado con juntas o continuo), con el fin de convertir éste en un material “granular”. Luego del fracturado se compacta el material resultante con dos o más pasadas de un rodillo vibratorio de 10 tn de peso para transformarlo en una base granular de gran resistencia, como se puede apreciar en la figura 4.10.

b) Fisurado y asentamiento.

Consiste en fisurar un pavimento de concreto simple en trozos de 1 a 3 pies (30 a 90 cm), y asentar luego los trozos firmemente en su fundación, como se puede apreciar en la figura 4.11. Para evitar problemas de reflexión de fisuras se recomienda que no más del 5 % de los trozos resultantes tengan un módulo de resiliencia mayor a 1×10^6 psi (7000 MPa).

c) Rotura y asentamiento.

Consiste en romper un pavimento de concreto armado con juntas en trozos mayores de 1 pie (30 cm), cuidando de romper también la armadura o por lo menos su adherencia y asentar luego los trozos firmemente en su fundación. Si no se logra esto, habrá movimientos diferenciales en las juntas de trabajo y en las fisuras; y como consecuencia reflexión de fisuras.

Lo más recomendable para los pavimentos de concreto armado con juntas se aconseja el uso de triturado y compactado para asegurar la rotura total de la continuidad de la losa. Para romper las armaduras o su adherencia con el concreto, es necesario el uso de potentes equipos, como el martillo de caída libre (drop hammer). Esto debe ser verificado en el campo con ensayos de deflexión para determinar que se ha perdido el efecto de losa por el proceso de rotura. El asentamiento se hace con varias pasadas de rodillo neumático de 35 a 50 tn de peso.

Después del fracturado, es conveniente reparar todo aquello que no brinde un soporte uniforme, y en general no será necesario implementar un dispositivo de control de

reflexión de fisuras. Finalmente se colocará un riego de liga para asegurar una completa adherencia con el refuerzo.



Figura 4.10 Losa de concreto después de ser triturada *



Figura 4.11 Losa de concreto después de ser fisurada *

*Obtenido de la página web www.virginia.dot.org

4.3.3 REFUERZO SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO SIN FRACTURAR

4.3.3.1 DISEÑO DEL ESPESOR DE REFUERZO

El espesor de refuerzo de concreto asfáltico se obtiene a partir del siguiente análisis. Se considera que el refuerzo y la losa existente actúan como un solo elemento y son del mismo material. De acuerdo a la figura 4.12, los momentos máximos absorbidos por el refuerzo y la losa existente son, respectivamente, por metro de ancho de losa, en una dirección dada:

$$M_r = \frac{D_{ol}^2}{6} \sigma_{r_{adm}} \qquad M_{losa} = \frac{D_{ef}^2}{6} \sigma_{l_{adm}}$$

El diagrama ilustra un sistema de refuerzo sobre una losa existente. A la izquierda, se muestran dos momentos flectores: M_r para el refuerzo y M_{losa} para la losa existente, ambos representados por flechas curvas que apuntan hacia la izquierda. El refuerzo es una capa superior de espesor D_{ol} , y la losa existente es una capa inferior de espesor D_{ef} . Las flechas de espesor D_{ol} y D_{ef} están a la derecha del diagrama, indicando la altura de cada capa.

Figura 4.12 Pavimento existente y refuerzo

Donde, σ_{radm} y σ_{ladm} son las tensiones admisibles a flexión del refuerzo y la losa respectivamente.

Si D_f es el espesor de un pavimento de concreto monolítico requerido para soportar las cargas de tránsito futuras, con resistencia a la flexión equivalente a la del conjunto de refuerzo y losa, y M es el momento que es capaz de absorber ese pavimento por metro de ancho, sin sobrepasar su tensión admisible σ_{adm} , la condición de equivalencia antes mencionada exige que:

$$M_r + M_{losa} = M$$

$$\frac{D_{ol}^2}{6} \sigma_{r_{adm}} + \frac{D_{ef}^2}{6} \sigma_{l_{adm}} = \frac{D_f^2}{6} \sigma_{adm}$$

Si las tensiones admisibles a flexión son las mismas para el refuerzo, la losa y el pavimento equivalente; y ambas capas se comportan solidariamente frente al momento flector, la expresión resultante es:

$$\frac{(D_{ol} + D_{ef})^2}{6} \sigma_{adm} = \frac{D_f^2}{6} \sigma_{adm}$$

de donde resulta

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

Pero éste resultado hay que afectarlo por un factor (A), que convierte la deficiencia en espesor del pavimento de concreto ($D_f - D_{ef}$) en un espesor de refuerzo de concreto asfáltico, quedando la ecuación de diseño de la siguiente manera:

$$D_{ol} = A(D_f - D_{ef})$$

Si se trabaja en pulgadas, A responde a la siguiente ecuación o puede obtenerse de la figura 4.13.

$$A = 2.2233 + 0.0099 (D_f - D_{ef})^2 - 0.1534 (D_f - D_{ef})$$

Para calcular el espesor del refuerzo se debe determinar el espesor de losa requerido para el tránsito futuro (D_f), así como también el espesor efectivo de la losa existente (D_{ef}). Este valor fuera igual al espesor de la losa existente, si ésta estuviera estructuralmente en buenas condiciones, es decir, sin fisuras importantes, pero si la losa existente estuviera fisurada o agrietada, su capacidad para absorber esfuerzos de flexión estará disminuida y, por lo tanto, su contribución a la absorción del momento causado por las cargas de tránsito sería menor. Esta circunstancia se tiene en cuenta afectando dicho valor por unos factores de ajuste como se verá más adelante.

Cabe resaltar que si el refuerzo se coloca a los efectos de satisfacer condiciones funcionales de la calzada bastará colocar un espesor mínimo.

A. Determinación del espesor requerido de losa para el tránsito futuro (D_f).

Los datos para determinar D_f son función del pavimento existente y de las propiedades de la subrasante. Es necesario recalcar que las propiedades del pavimento existente de concreto (módulo elástico, módulo de rotura y transferencia de cargas) van a controlar el comportamiento del refuerzo de concreto asfáltico. Los datos para determinar D_f son:

1. Determinar la cantidad de ESALs previstos durante el período de diseño, o en todo caso, determinar el número de ESALs acumulados en el carril de diseño (N_p), si se desea calcular D_f por el método de la vida remanente.

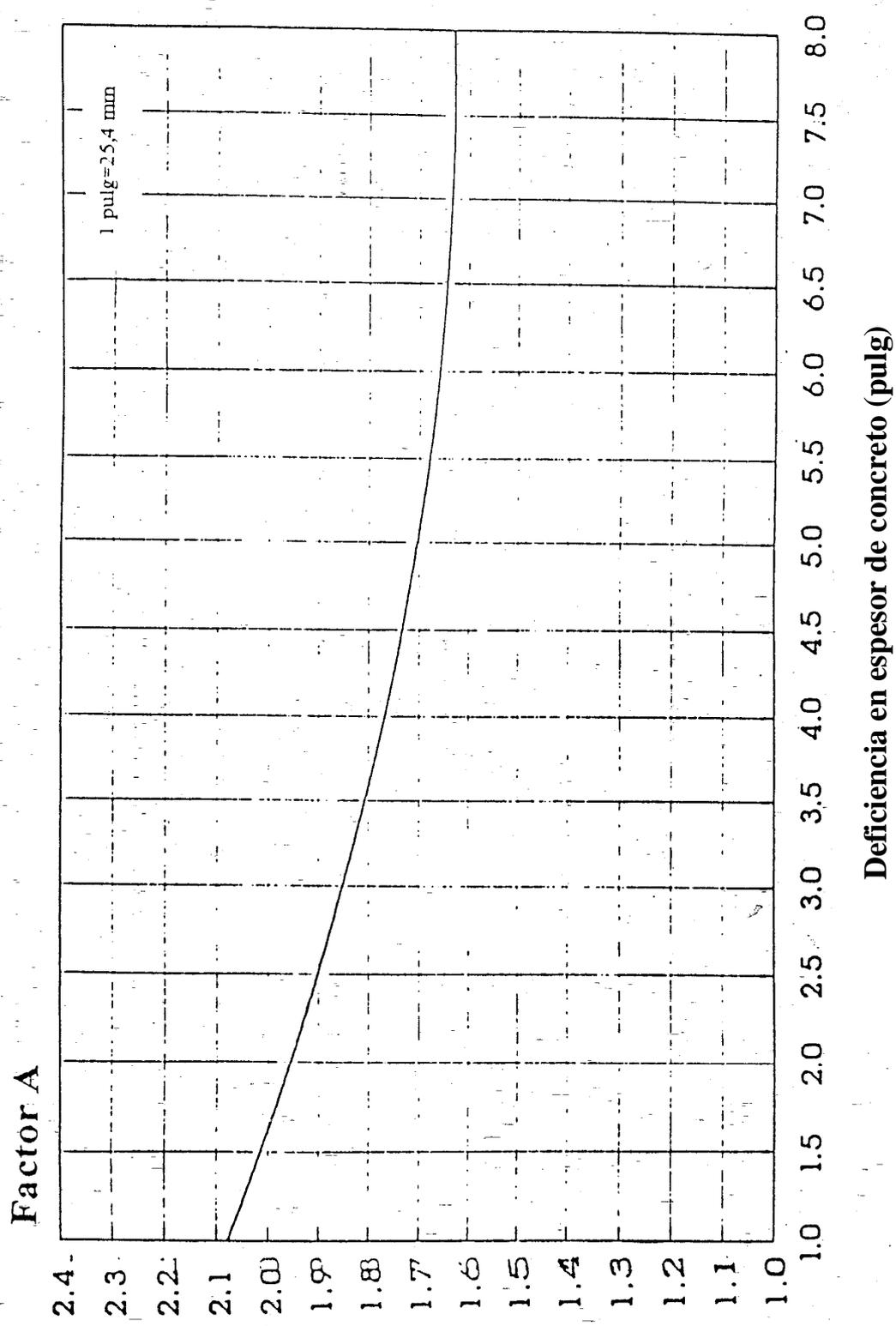


Figura 4.13 Factor que convierte la deficiencia en espesor del pavimento de concreto en un espesor de refuerzo de concreto asfáltico*

* Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

2. Determinar el módulo de reacción de la subrasante (k) por cualquiera de los siguientes métodos:
 - Ensayo de plato de carga.
 - Ensayos no destructivos (NDT, por sus siglas en ingles).
 - Estimación mediante correlación (figura 1.12).
3. Determinar el coeficiente de transferencia de carga, a través de pruebas o ensayos de deflexión. Éstas tienen como objetivo medir la respuesta de un pavimento a una carga específica. Las mediciones se hacen a lo largo del borde de la losa de concreto, usando equipos tales como la viga Benkelman, el dynaflect, el road rater o el Fallin Weight Deflectometer (FWD).

Para carreteras de dos carriles, las mediciones de las deflexiones se hacen sobre el borde exterior, a ambos lados de la línea central. Para carreteras divididas, las deflexiones solo deben medir en el borde más exterior, tomando adicionalmente medidas de las deflexiones en las esquinas, juntas, grietas y en áreas de pavimento deterioradas, para determinar la capacidad de transferencia de carga.

En el caso que se emplee el FWD, es conveniente hacer las mediciones a temperatura ambiente menor a 27 °C, para obtener los resultados correctos. Para determinar la deflexión, el plato de carga se ubica , de tal manera que uno de sus bordes se encuentre tocando la junta. Se mide la deflexión en el centro de la carga y a 12 pulg. (30 cm) del centro. El porcentaje de transferencia de cargas por deflexión es:

$$\Delta LT = 100 \frac{\Delta u_l}{\Delta l} B$$

Donde:

Δu_l = Deflexión del lado no cargado (pulg).

Δl = Deflexión del lado cargado (pulg).

B = Factor correctivo por flexión de losa.

Se aplica el factor correctivo B porque la deflexión en el centro de la carga (d_0) y la deflexión a 12 pulg del centro (d_{12}) no serían las mismas que se medirían en el centro de la losa. B puede determinarse así:

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

B varía entre 1.05 y 1.15.

En base al porcentaje de transferencia de cargas puede determinarse el coeficiente de transferencia de cargas como se indica en la tabla 4.9.

Tabla 4.9 Valores de J de acuerdo al porcentaje de transferencia de carga *

Porcentaje de transferencia de cargas	Coficiente J
> 70	3.2
50 – 70	3.5
< 50	4.0

*Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos,1993”

Para pavimentos de concreto armado continuo J varía entre 2.2 y 2.6.

4. Módulo elástico del pavimento de concreto existente. Para ello puede usarse alguno de estos métodos:
- Cálculo a partir de medidas de deflexiones.
 - A partir de la resistencia a compresión simple del concreto (f_c').

$$E = 57,000 (f_c')^{0.5}$$

5. Módulo de rotura del pavimento existente de hormigón. Este puede ser determinado por alguno de los siguientes métodos:
- Estimación a través de la resistencia a la tracción indirecta .
 - A partir de la resistencia a compresión simple del concreto (f_c').

$$S_c' = k (f_c')^{0.5} \quad 7 < k < 12$$

6. Pérdida de soporte de la losa existente. Las juntas de esquina que tienen una pérdida importante de soporte pueden ser identificadas mediante ensayos FWD. Las pérdidas de soporte en pavimentos de concreto armado continuo pueden ser determinados graficando la deflexión del borde de la losa o de la zona usada por las ruedas de los vehículos e identificando puntos con deflexiones excesivas. Toda falta de soporte debe ser corregida con estabilización de la losa. Para el diseño del espesor del refuerzo se debe considerar $LS=1$.
7. Seleccionar la pérdida de serviciabilidad de diseño, que es la diferencia entre la serviciabilidad inmediatamente después de colocar el refuerzo y la serviciabilidad en el momento de la próxima rehabilitación.

En el diseño del refuerzo, al igual que en el diseño de pavimentos, se deben elegir la serviciabilidad inicial y final, de acuerdo a los criterios vistos en la sección 1.3.2.1.

8. Seleccionar la confiabilidad R de diseño de la tabla 1.3, de acuerdo a los criterios vistos en la sección 1.3.1.3.
9. Seleccionar la desviación estándar (S_0). Para el caso de pavimentos rígidos los valores se muestran en la tabla 1.2.

Con estos datos se puede determinar D_f por cualquiera de los siguientes métodos:

- Empleo de la fórmula de diseño para pavimentos rígidos, vista en la sección 1.2.
- Por el uso de ábacos de diseño (figura 4.14), procedimiento no muy exacto.
- Mediante programas de computación.

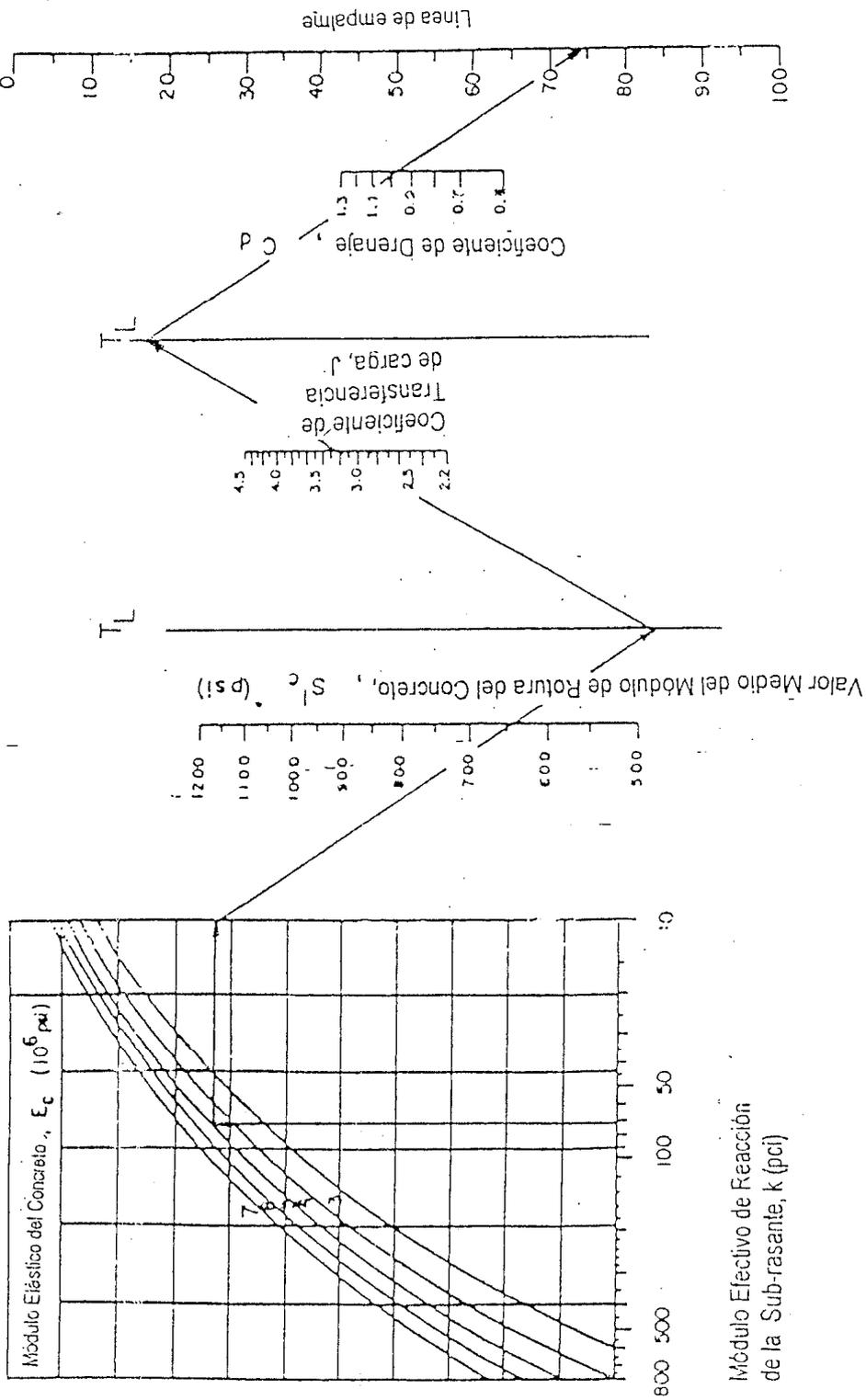


Figura 4.14 a. Ábaco para el diseño de pavimentos rígidos*

* Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

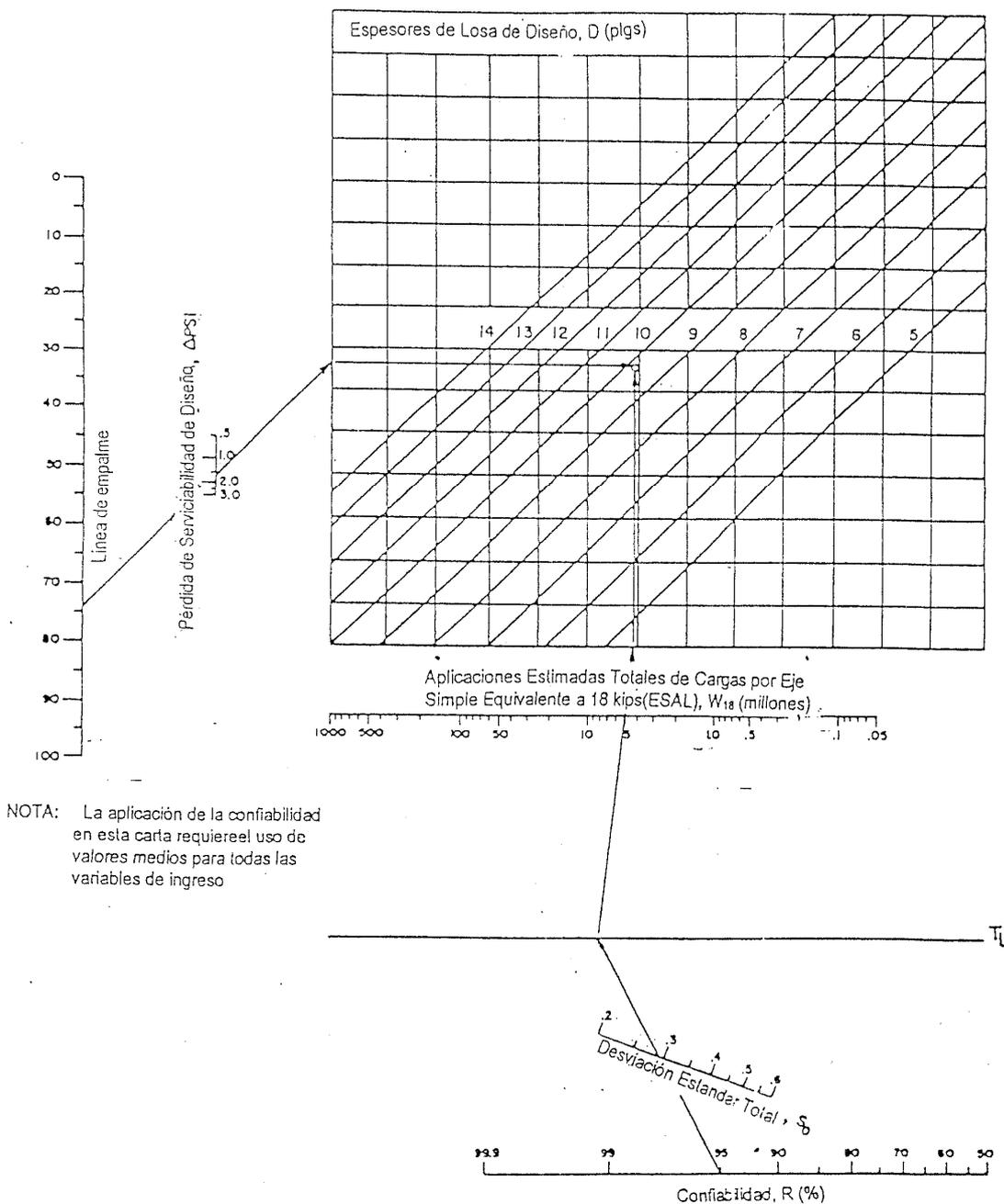


Figura 4.14 b. Continuación del ábaco para el diseño de pavimentos rígidos*

* Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

B. Determinación del espesor efectivo de losa del pavimento existente (D_{ef}).

Hay dos métodos para encarar el cálculo de D_{ef} :

1. Observación del estado del pavimento existente.

El espesor efectivo de la losa existente es:

$$D_{ef} = F_{jc} F_{dur} F_{fat} D$$

Siendo:

D = Espesor de la losa existente de concreto

Los factores F son factores de ajuste.

a) Factor de ajuste por juntas y fisuras F_{jc} . Este factor hace un ajuste por una pérdida extra de serviciabilidad causada por fisuras reflejadas y deterioradas en el refuerzo que son el resultado de juntas o fisuras no reparadas y otros tipos de discontinuidades en el pavimento existente previo al refuerzo. Una junta deteriorada o una fisura se reflejarán rápidamente en el refuerzo con la consecuente pérdida de serviciabilidad. Es por eso que se recomienda que todas las juntas deterioradas, fisuras y cualquier otro tipo de discontinuidades en la losa existente sean reparadas en todo su espesor con concreto vinculado (pasadores y barras de unión) al pavimento existente.

Si no es posible reparar todas las áreas deterioradas, con la siguiente información se puede determinar F_{jc} :

Pavimentos con ausencia de fisuras de durabilidad y ausencia de problemas de reacción álcali-agregado.

- Número de juntas deterioradas no reparadas por milla.
- Número de fisuras deterioradas no reparadas por milla.
- Número de punzonados no reparados por milla.
- Número de juntas de expansión, excepcionalmente juntas anchas (>2,5 mm) y parches de concreto asfáltico en todo el espesor, por milla.
-

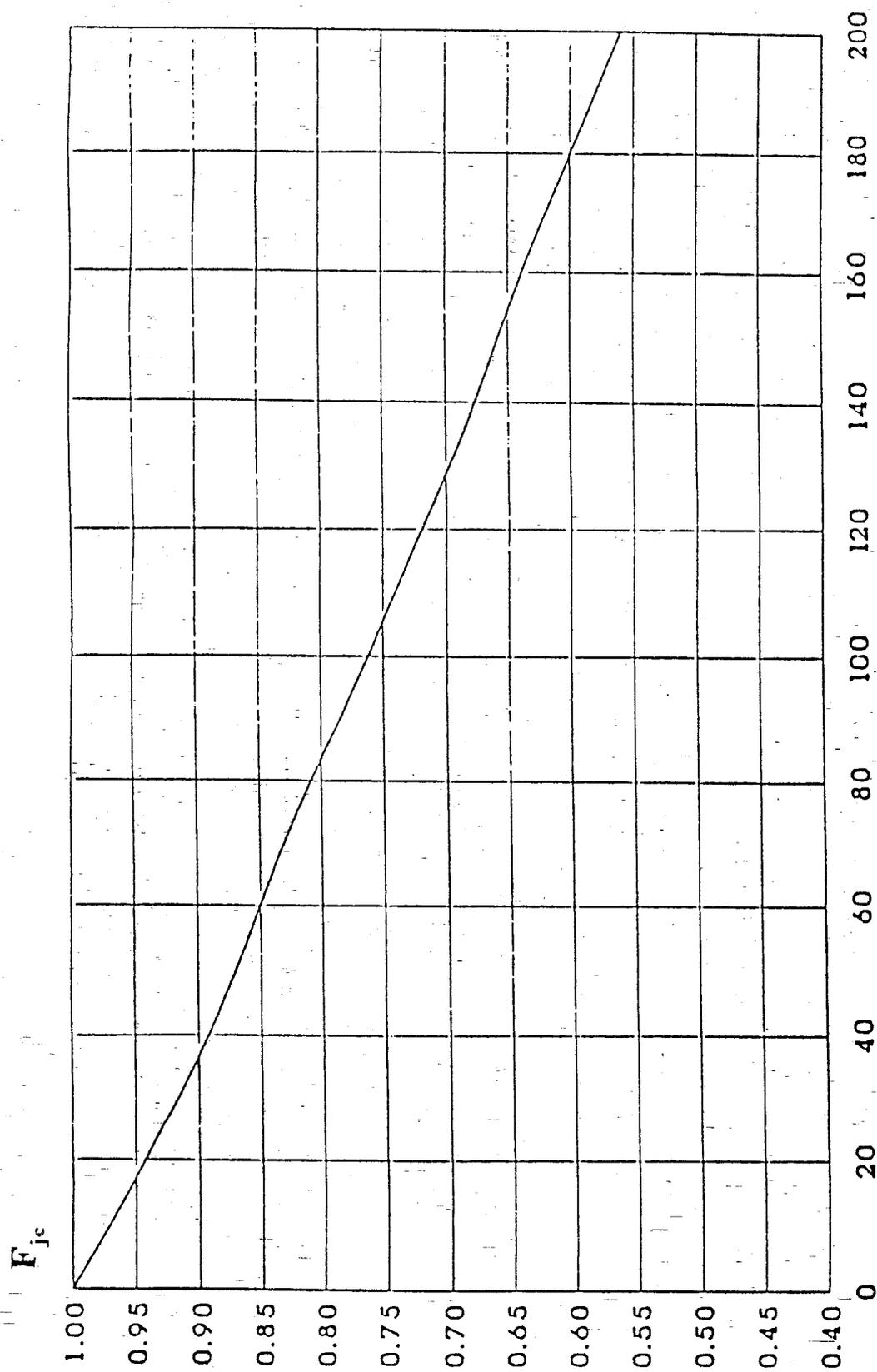
En función del número de juntas deterioradas no reparadas, fisuras, baches, etc., se determina el F_{jc} mediante el gráfico de la figura 4.15.

b) Factor de ajuste por durabilidad. Este factor tiene en cuenta la pérdida de serviciabilidad que puede tener el pavimento existente cuando hay fisuras de durabilidad o fallas debidas a reacción álcali-agregado. Los valores a adoptar para F_{dur} son mostrados en la tabla 4.10.

Tabla 4.10 Valores para F_{dur} *

1.00	No hay problemas de durabilidad
0.96 – 0.99	Hay fisuras de durabilidad, pero sin descascaramiento
0.88 – 0.95	Fisuras importantes y algo de descascaramiento
0.80 – 0.88	Gran extensión de fisuras y descascaramiento severo

* Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos 1993”



Juntas transversales deterioradas y fisuras/milla

Figura 4.15 Factor de ajuste por juntas y fisuras*

* Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

c) Factor de ajuste por fatiga. Este factor considera un ajuste por daños de fatiga que pueden existir en la losa. Se determina observando la extensión de fisuras transversales (en pavimentos de C°S° o C°A° con juntas) o punzonados (C°A° continuo) que pueden haber sido causados por repetición de cargas. Como guía se dan los valores que puede adoptar F_{fat} en la tabla 4.11.

Tabla 4.11 Valores para F_{fat} *

0,97 – 1,00	Pocas juntas transversales/punzonados (ninguna causada por problemas de durabilidad) C°S°: > 5% de losas fisuradas C°A° con juntas: < 25% de fisuras de trabajo, por milla C°A° continuo : < 4% de punzonados, por milla
0,94 – 0,96	Hay un número significativo de juntas transversales/punzonados (ninguna causada por problemas de durabilidad) C°S°: 5-15 % de losas fisuradas C°A° con juntas: 25-75 % de fisuras de trabajo, por milla C°A° continuo : 4-12 % de punzonados, por milla
0,90 – 0,93	Hay un número significativo de juntas transversales/punzonados (ninguna causada por problemas de durabilidad) C°S°: 5-15 % de losas fisuradas C°A° con juntas: 25-75 % de fisuras de trabajo, por milla C°A° continuo : 4-12 % de punzonados, por milla

*Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”

2. A partir de la vida remanente

La vida remanente del pavimento responde a esta ecuación:

$$RL = 100 \left(1 - \frac{N_p}{N_{1.5}} \right)$$

Donde:

N_p = Número de ESALs hasta la fecha

$N_{1.5}$ = Número de ESALs para llevar el pavimento a la rotura

$N_{1.5}$ se puede obtener a partir de la ecuación de diseño o mediante ábacos, suponiendo una serviciabilidad final $P_t=1.5$ y una confiabilidad $R=50\%$.

D_{ef} se determina con la ecuación:

$$D_{ef} = C F D$$

CF es el factor de condición, función de RL como se puede apreciar en la figura 4.16.

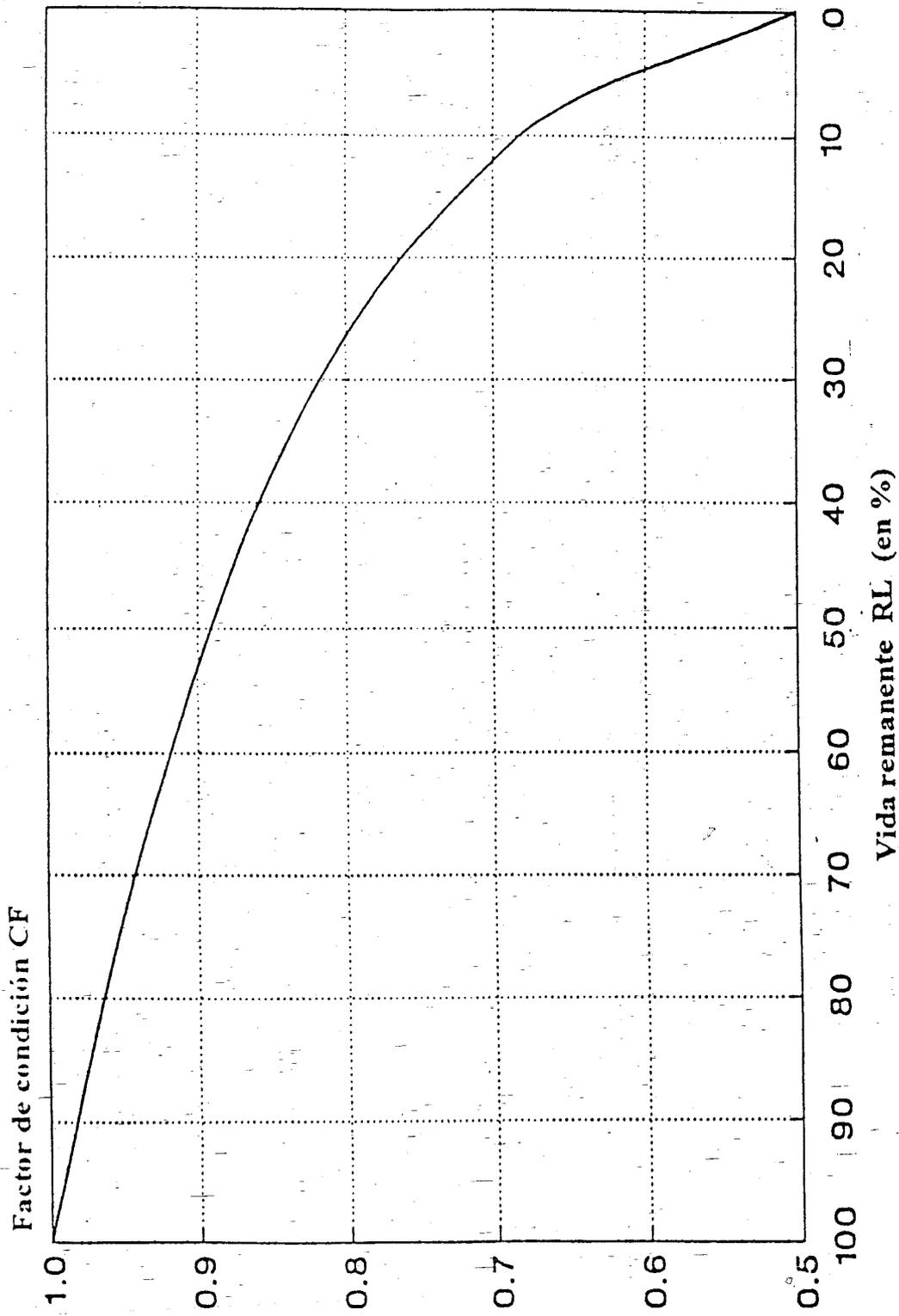


Figura 4.16 Relación entre el factor de condición y la vida remanente*

* Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

Ejemplo 4.3

Calcular el espesor de refuerzo de concreto asfáltico para un pavimento conformado por una losa de concreto de cemento portland (losas con juntas) de 175 mm (7 pulg) y una subbase granular de 100 mm (4pulg). El pavimento rígido presenta algunas fisuras de durabilidad y se encuentra parcialmente deteriorado.

Los datos de entrada son:

- Del análisis del tránsito se ha llegado a un ESALs de diseño

$$W_{18} = 6 \times 10^6 \text{ ESALs}$$
- El módulo de reacción de la subrasante se ha calculado en:

$$K = 200 \text{ pci}$$
- Como el refuerzo es para rehabilitar una calle o autopista ubicada en una zona urbana, de la tabla 1.3 seleccionamos un nivel de confiabilidad igual a 85 % con un desviación estándar de 0.35.
- Para propósitos de diseño, se ha considerado una serviciabilidad inicial y final de 4.5 y 2.5 respectivamente.
- El módulo de rotura de la losa de concreto es 700 psi y su módulo elástico 4×10^6 psi.
- El coeficiente de transferencia de carga se ha considerado igual a 3.2.
- La subbase tiene características de drenaje pobre y está saturada el 30 % del tiempo, correspondiéndole un coeficiente de drenaje de 0.80 de acuerdo a la tabla 1.5.
- Las fisuras serán reparadas por lo que el $F_{jc} = 1$.
- El pavimento presenta fisuras importantes y algo de descascaramiento, por lo que le corresponde un $F_{dur} = 0.90$ de acuerdo a la tabla 4.10.
- De igual manera, el 50 % de fisuras por milla son de trabajo, correspondiéndole un $F_{fat} = 0.95$ (tabla 4.11).

Finalmente, con todos estos datos, el espesor de refuerzo de concreto asfáltico requerido es de 6.47 pulg, aproximadamente 17 cm. El resultado se muestra en la figura 4.17.

Thickness for Future Traffic		Effective Thickness	
Future Thickness	9.58	Existing PCC Thickness	7.00
Future E 18's	6,000,000	Joints and Cracks Adjustment Factor	1.00
Reliability	85.00	Durability Adj. Factor	0.90
Overall Deviation	0.35	Fatigue Adj. Factor	0.95
Modulus of Rupture	700	Effective Thickness, inches	5.98
Modulus of Elasticity	4,000,000		
Load Transfer, J	3.20		
Mod. Subgrade Reaction, k	200		
Drainage Coefficient	0.80		
Initial Serviceability	4.50		
Terminal Serviceability	2.50		
Solve For		AC OVERLAY THICKNESS	
Future Thickness	9.58	6.47 inches	
		UNITS	
		Inches	

Figura 4.17 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado final

Cabe resaltar que el módulo de rotura, el coeficiente de drenaje y el coeficiente de transferencia de carga tienen gran incidencia en el espesor de refuerzo, por lo tanto deben ser determinados adecuadamente. Por ejemplo, si el módulo de rotura es 400 pci, para las mismas condiciones, el espesor de refuerzo es 11.34 pulg (29 cm). Esto se debe a que el módulo de rotura mide la resistencia a la flexión lo cual es muy importante en una losa de concreto para evitar las fisuras o grietas por fatiga. El resultado se muestra en la figura 4.18.

Thickness for Future Traffic		Effective Thickness	
Future Thickness	12.92	Existing PCC Thickness	7.00
Future E 18's	6,000,000	Joints and Cracks Adjustment Factor	1.00
Reliability	85.00	Durability Adj. Factor	0.90
Overall Deviation	0.35	Fatigue Adj. Factor	0.95
Modulus of Rupture	400	Effective Thickness, inches	5.98
Modulus of Elasticity	4,000,000		
Load Transfer, J	3.20		
Mod. Subgrade Reaction, k	200		
Drainage Coefficient	0.80		
Initial Serviceability	4.50		
Terminal Serviceability	2.50		
Solve For		AC OVERLAY THICKNESS	
Future Thickness	12.92	11.34 inches	
		UNITS	
		Inches	

Figura 4.18 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado

4.3.3.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Esta técnica de rehabilitación es factible en los casos en que el pavimento de concreto existente no se encuentre muy deteriorado o presente problemas serios de durabilidad.

Antes de proceder a la colocación del refuerzo es necesario reparar todas aquellas zonas que no brinden un adecuado soporte, como se vio en la sección 3.2.

Algunas consideraciones generales a tener en cuenta son:

a) En lo referente a preparación de juntas.

Las juntas deben ser limpiadas y preparadas adecuadamente para el sobrecapado, ya que éstas empujan agua o proveen un canal desde el cual el agua será expulsada desde debajo de la junta. Esta acción se ve reflejada por un resoplido de la junta inmediatamente después del rodillado de la sobrecapa. Cuando estas fuerzas están presentes, el refuerzo comúnmente mostrará una grieta que refleja al final del día.

Otra situación crítica se encuentra en las juntas sobrellenadas con materiales de sello y en las juntas selladas con dos componentes, frecuentemente usadas en pavimentos de concreto para aeropuertos. Estas situaciones pueden ocasionar un deslizamiento del refuerzo de asfalto en caliente y resultar en marcas que frecuentemente se confunden con el agrietamiento reflejo.

b) Cuando se presentan superficies acanaladas o pulidas

Los tipos de texturas superficiales que se pueden encontrar en pavimentos de concreto antiguos, pueden variar desde una textura pulida a una textura gruesa. Esto influye en su habilidad para la adherencia o unión entre capas. Las superficies pulidas pueden ser retexturadas para mejorar su adherencia con el refuerzo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el uso apropiado de un riego de liga, la selección del tipo de mezcla y espesor adecuado, conjuntamente con un procedimiento apropiado de construcción, han probado ser el método más económico para asegurar una buena adherencia.

c) Losas inestables

Es probable que los pavimentos de concreto que están sueltos, movedizos con el tráfico o que han bombeado, continúen moviéndose después de haber sido sobrecapados con asfalto. Para evitar esto, se deben estabilizar las losas asentándolas firmemente para proporcionarles el apoyo necesario.

Finalmente, una vez que el pavimento ha quedado tan uniforme y estable como sea posible, debe limpiarse completamente la superficie; y si es necesario, colocar un dispositivo de control de reflexión de fisuras antes del refuerzo. Luego se procede a la aplicación del riego de liga.

4.4 REFUERZOS RÍGIDOS

4.4.1 CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND COMO MATERIAL DE REFUERZO

El concreto es un material formado por materiales granulares (piedra partida o grava y arena) embebidos en una pasta de cemento que hace de ligante. Los materiales granulares son obtenidos de fuentes naturales y deben cumplir con determinadas condiciones de granulometría. El cemento se obtiene a partir de la cocción de piedra caliza y arcilla que forma el clinker, el cual es finamente molido agregándole un 5 % de yeso para formar el cemento.

El refuerzo de concreto de cemento portland es usado primordialmente para aumentar la capacidad estructural del pavimento existente, o bien para renovar sus características superficiales (aumenta la calidad de rodadura). Esta técnica esta siendo muy utilizada actualmente, sobretodo en pavimentos flexibles (whitetopping).

El principal problema de ésta técnica de rehabilitación es calcular el espesor adecuado del refuerzo; es por esto, que la mayoría de fallas que se dan en este tipo de rehabilitación se originan por el inadecuado espesor del refuerzo.

Dependiendo del tipo de interfase utilizado pueden ser: adheridas y no adheridas. De igual manera, si presentan un tipo de refuerzo, éstas se clasifican en: refuerzo de concreto simple, refuerzo de concreto reforzado con juntas y refuerzo de concreto continuamente reforzado.

4.4.2 REFUERZO ADHERIDO AL PAVIMENTO EXISTENTE

Este tipo de refuerzo es usualmente delgado y por lo tanto su capacidad estructural depende del pavimento existente. Esto significa que éste debe estar libre de fallas si se quiere un buen comportamiento del refuerzo.

En esta técnica de rehabilitación, el refuerzo pasa a formar un todo con la losa existente, resistiendo ambos solidariamente la acción de las cargas de tránsito; es por eso la necesidad de lograr una buena adherencia entre el refuerzo y el pavimento existente.

Un refuerzo de concreto adherido, adecuadamente construido, proporciona una mayor vida útil al pavimento rehabilitado, de igual manera aumenta su capacidad estructural y disminuye los costos del ciclo de vida del pavimento en comparación con otras técnicas de rehabilitación. Aunque el costo inicial de este tipo de refuerzo puede ser elevado en comparación con el refuerzo de concreto asfáltico, los beneficios a largo plazo son mayores, por lo tanto se presenta como una alternativa viable de rehabilitación.

En general, los espesores de refuerzo de concreto adherido varían entre 2 y 6 pulg (5 a 15 cm), siendo lo más común adoptar espesores de 3 a 4 pulg (7.5 a 10 cm). También se han utilizado satisfactoriamente refuerzos de 1 pulg (2.5 cm) sobre pavimentos de concreto sano.

El refuerzo de concreto adherido presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- Al utilizar este tipo de refuerzo se disminuyen las operaciones de mantenimiento y por ende hay una reducción en los costos, lo cual es muy ventajoso en áreas urbanas ya que no hay una interrupción frecuente del tráfico.
- En comparación con otros tipo de refuerzo; un refuerzo de concreto no adherido de 25 mm (1 pulg) brinda el mismo beneficio estructural que un refuerzo de concreto asfáltico de 62.5 mm (2.5 pulg). De la misma manera, si el espesor efectivo de la losa es incrementado por este tipo de refuerzo la deflexión vertical y el esfuerzo en la subrasante decrecen significativamente.
- Si la obra tiene que habilitarse enseguida, se podrá construir el refuerzo con cemento portland de alta resistencia inicial (fast-track); sin que esto signifique un costo adverso al proyecto, debido al poco espesor de este tipo de refuerzo.

Desventajas

- Este tipo de refuerzo no es aplicable cuando el grado de fisuración del pavimento existente es alto o cuando la losa presenta deterioros serios debido a problemas de durabilidad. Solamente es aplicable en pavimentos sanos, libres de fallas.
- El refuerzo a colocar debe ser del mismo tipo del pavimento existente, es decir, si el pavimento existente es un pavimento de concreto armado con juntas el refuerzo debe ser de concreto armado con juntas.
- Todas las juntas del pavimento original deben ser reproducidas en el refuerzo en lo que respecta a ubicación y tipo.
- En pasos a bajo nivel cuando las condiciones de gálibo no permiten colocar un refuerzo. Es poco probable que ocurra esto, ya que este tipo de refuerzo es de poco espeso.
- En lo que respecta al procedimiento constructivo, la preparación de la superficie para lograr la completa adherencia con el refuerzo, es la etapa más crítica.

4.4.2.1 DISEÑO DEL ESPESOR DE REFUERZO

El espesor de refuerzo de concreto de cemento portland se obtiene siguiendo el mismo análisis que se hizo para el refuerzo de concreto asfáltico. Por lo tanto, el espesor requerido de refuerzo debe responder a la siguiente ecuación:

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

Donde:

D_{ol} = Espesor requerido del refuerzo de concreto.

D_f = Espesor de losa necesario para soportar el tránsito futuro.

D_{ef} = Espesor efectivo de la losa existente.

Aquí si hay una diferencia con la expresión para determinar el espesor de refuerzo de concreto asfáltico, dado que no aparece el factor A, puesto que el pavimento existente y el refuerzo son de concreto.

El procedimiento para determinar el espesor requerido de losa para el tránsito futuro (D_f) y el espesor efectivo de la losa existente (D_{ef}) es el mismo que se utilizó para el diseño de refuerzo de concreto asfáltico sobre pavimentos de concreto sin fracturar.

Cabe resaltar que si el refuerzo se coloca a los efectos de satisfacer condiciones funcionales de la calzada bastará colocar un espesor mínimo.

Ejemplo 4.4

Se van a emplear los mismos datos del ejemplo 4.3. El resultado se muestra en la figura 4.19

Thickness For Future Traffic		Effective Thickness	
Future Thickness	9.58	Existing PCC Thickness	7.00
Future E 18's	6,000,000	Joint and Cracks Adj. Factor	
Reliability	85.00	Adjustment Factor	1.00
Overall Deviation	0.35	Durability Adj. Factor	0.90
Modulus of Rupture	700	Fatigue Adj. Factor	0.95
Modulus of Elasticity	4,000,000	Effective Thickness, inches	5.98
Load Transfer, J	3.20		
Mod. Subgrade Reaction	200		
Drainage Coefficient	0.80		
Initial Servicability	4.50		
Terminal Servicability	2.50		
Solve For		BONDED PCC OVERLAY THICKNESS	
Future Thickness	9.58	3.60 inches	
		UNITS	
		Inches	

Figura 4.19 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado

Como se puede observar el espesor requerido de concreto adherido es 3.6 pulg (9 cm) casi la mitad del espesor de concreto asfáltico que fue de 6.47 pulg (17 cm). Esto nos demuestra la gran ventaja de este tipo de refuerzo en comparación con el refuerzo de concreto asfáltico que para las mismas condiciones, se requiere un refuerzo de menor espesor, con mayores ventajas estructurales y funcionales.

Del mismo modo que para el refuerzo de concreto asfáltico, el módulo de rotura, el coeficiente de drenaje y el coeficiente de transferencia de carga tienen gran incidencia en el espesor de refuerzo, por lo tanto deben ser determinados adecuadamente. Por ejemplo, si el coeficiente de transferencia de cargas es 3.6, para las mismas condiciones, el espesor de refuerzo es 4.23 pulg (11 cm). El resultado se muestra en al figura 4.20.

Todo lo contrario sucede si se aumenta el modulo elástico del concreto, por ejemplo de 4 a 8×10^6 psi, la incidencia de éste es muy baja en el espesor del refuerzo, debido a que las losas rígidas son más fuertes, pero a la vez son más frágiles, y por lo tanto se fisuran más pronto que una losa flexible. El resultado se muestra en al figura 4.21.

Thickness For Future Traffic		Effective Thickness	
Future Thickness	10.22	Existing PCC Thickness	7.00
Future E 18's	6,000,000	Joint and Cracks Adj. Factor	1.00
Reliability	85.00	Adjustment Factor	1.00
Overall Deviation	0.35	Durability Adj. Factor	0.90
Modulus of Rupture	700	Fatigue Adj. Factor	0.95
Modulus of Elasticity	4,000,000	Effective Thickness, inches	5.98
Load Transfer, J	3.60		
Mod. Subgrade Reaction	200	BONDED PCC OVERLAY THICKNESS	
Drainage Coefficient	0.80	4.23 inches	
Initial Servicability	4.50	UNITS	
Terminal Servicability	2.50	Inches	
Solve For			
Future Thickness	10.22		

Figura 4.20 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado

Thickness For Future Traffic		Effective Thickness	
Future Thickness	9.69	Existing PCC Thickness	7.00
Future E 18's	6,000,000	Joint and Cracks Adj. Factor	1.00
Reliability	85.00	Adjustment Factor	1.00
Overall Deviation	0.35	Durability Adj. Factor	0.90
Modulus of Rupture	700	Fatigue Adj. Factor	0.95
Modulus of Elasticity	5,000,000	Effective Thickness, inches	5.98
Load Transfer, J	3.20		
Mod. Subgrade Reaction	200	BONDED PCC OVERLAY THICKNESS	
Drainage Coefficient	0.80	3.71 inches	
Initial Servicability	4.50	UNITS	
Terminal Servicability	2.50	Inches	
Solve For			
Future Thickness	9.69		

Figura 4.21 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado

4.4.2.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO

Cuando se va a construir un refuerzo adherido se debe poner especial atención al estado de las juntas o grietas existentes. Para el caso de juntas descascaradas levemente, es decir, con depresiones menores a 50 mm (2 pulg) de profundidad, se pueden llenar con el concreto del refuerzo durante la construcción de éste. Depresiones mayores a 50 mm de profundidad deben ser llenadas con concreto antes de la colocación del refuerzo para asegurar una adecuada consolidación de la reparación. Juntas muy deterioradas como rotura de esquina, descascamientos severos, inadecuada transferencia de carga y levantamientos requieren reparación en todo el espesor. Para grietas muy anchas se pueden reparar utilizando dispositivos de transferencia de carga como pasadores (dowels). Todas estas técnicas se han visto con mayor detalle en la sección 3.2.

El escalonamiento de juntas mayores a 5 mm (0.2 pulg) indican bombeo de la subbase y una posible pérdida de soporte de la subrasante, un posible tratamiento correctivo sería la estabilización de losas. Para el caso de escalonamientos menores, éstos pueden ser tratados por medio del cepillado de la superficie para asegurar una superficie aceptable antes de colocar el refuerzo.

El agrietamiento aleatorio transversal o longitudinal requiere de especial atención en la preparación de la superficie para un refuerzo adherido. Las grietas transversales que no trabajan no deben ser tratadas. Aquellas que si trabajan requieren reparación en todo el espesor. Para grietas de severidad media, se pueden tratar a través del uso de un acero de refuerzo que controle el agrietamiento aleatorio, éste se puede colocar directamente sobre la superficie del pavimento o apoyado sobre abrazaderas, como se muestra en la figura 4.22. Este procedimiento requiere el fresado del pavimento existente para proveer un lugar al acero de refuerzo. El recubrimiento mínimo es de 50 mm (2 pulg), para proteger al acero de la corrosión. La barra utilizada es la N° 4 ó 5, cuya longitud es 0.6 m (24 pulg), espaciadas entre centros cada 0.76 m (30 pulg).

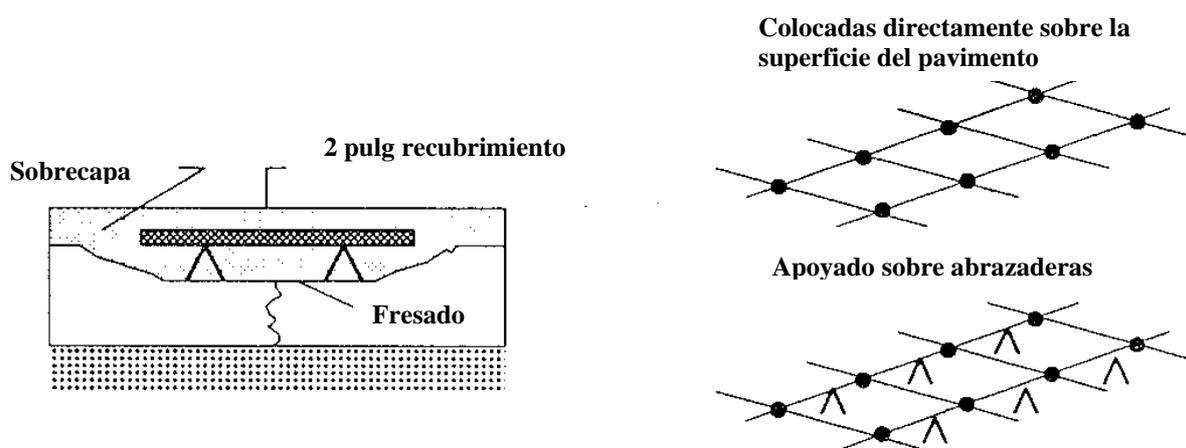


Figura 4.22 Control de agrietamiento aleatorio*

*Tomado de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, N° 204

La reparación de grietas longitudinales depende de su ubicación, por ejemplo para el caso en que se encuentren en la mitad de la losa no necesitan reparación (aunque se espera su reflexión en el refuerzo); en cambio, si están en el camino por donde van a pasar las ruedas necesitan ser reparadas y el procedimiento para estos casos es el uso de barras en cruz como se vio en la sección 3.2.5.

4.4.2.3 CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFASE (CAPA DE ADHERENCIA)

Después de la preparación de la superficie, el próximo paso es la construcción de la interfase de adherencia o capa de adherencia (Figura 4.23). Para esto, se deben tener en cuentas los siguientes pasos:

1. Primero, se deben remover los materiales contaminantes presentes en la superficie del pavimento como residuos de aceite o petróleo con cepillos de alambre de fierro (wire brushing) para lograr una superficie limpia que permita la adecuada adherencia con el refuerzo.
2. Luego la superficie debe ser sometida a un aumento de rugosidad a través de la remoción de una fina capa de concreto, de tal manera que no fisure la superficie. Se recomienda el uso de arena a presión (sandblasting) o granalla a presión (shotblasting) o la combinación de las dos. La Asociación Americana de Pavimentos de Concreto (ACPA, por sus siglas en ingles), recomienda que la remoción de esta capa debe estar entre los 3 y 6 mm.

Hay que tener en cuenta que los residuos de grasa o aceite de los camiones concreteros u otros elementos contaminantes propios de la construcción pueden impedir la adecuada adherencia, por lo tanto deben removerse inmediatamente.

3. Finalmente, se recomienda el uso de un agente adherente, sobre la superficie limpia y rugosa, para lograr una mejor adherencia. Para ello se puede usar una lechada (grout) de cemento o una resina epóxica de baja viscosidad. Cuando se emplee grout hay que tener en cuenta que éste no debe secarse ni hidratarse completamente antes de colocar el refuerzo.

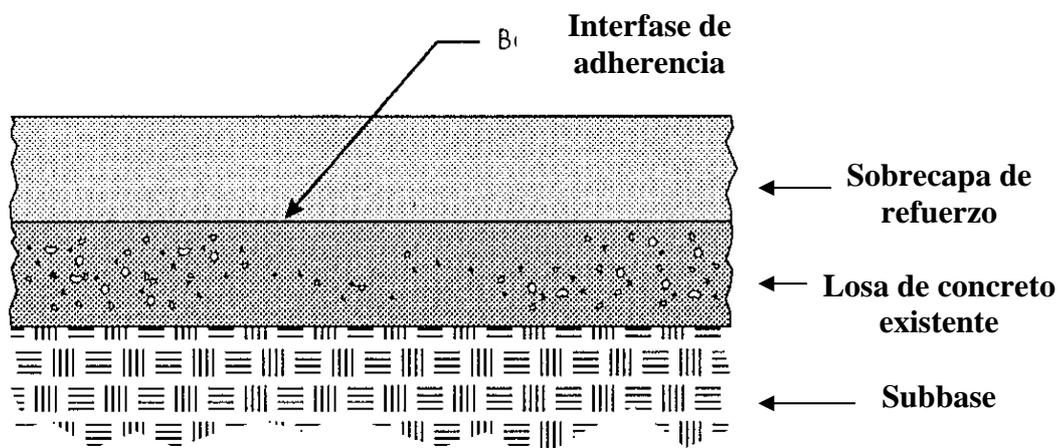


Figura 4.23 Refuerzo adherido*

*Tomado de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, N° 204

4.4.2.3 ASERRADO Y SELLADO DE JUNTAS

Antes del aserrado y sellado de juntas, es necesario hacer coincidir las juntas del pavimento existente con las juntas del refuerzo que son del mismo o mayor ancho que las juntas originales, con el fin de evitar la concentración de tensiones en el refuerzo, las cuales pueden causar daño en el refuerzo, durante la época de máximas temperaturas.

La localización de las juntas en el pavimento existente se deben marcar antes de colocar el refuerzo. Se puede emplear estacas, clavos, marcas de pintura sobre las bermas u otros accesorios como instrumentos de precisión que ayuden a la ubicación de éstas.

La ubicación de juntas transversales rectas en el refuerzo se realiza de la siguiente manera. Primero se ubican las juntas en el pavimento existente, con cualquiera de los instrumentos mencionados anteriormente. Luego, teniendo los puntos como base, se une con un cordel y se determina la ubicación de éstas en el refuerzo. Para el caso de grietas sinuosas, se utilizan dos o mas líneas guías, como se aprecia en la figura 4.24.

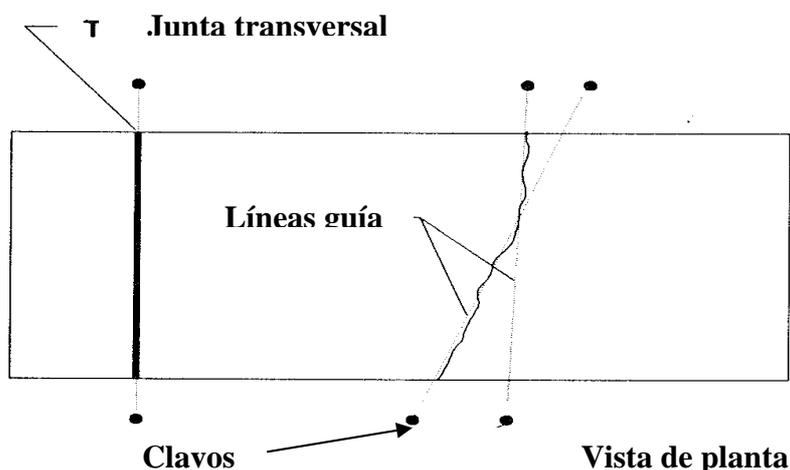


Figura 4.24 Ubicación de juntas en el refuerzo*

Las juntas longitudinales en el refuerzo son fáciles de localizar si éstas se encuentran a una distancia uniforme del borde del pavimento.

Una vez que se han ubicado las juntas y grietas en el refuerzo, se procede al aserrado de juntas, para lo cual se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. El aserrado debe comenzar apenas el concreto ha endurecido lo suficiente como para permitir el corte sin que se produzcan descascaramientos, astillamientos o roturas.
2. Si se retrasa el aserrado puede aparecer agrietamiento aleatorio.

*Tomado de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, N° 204

3. Varios factores pueden reducir la longitud de la ventana (intervalo) de aserrado. Si la ventana se vuelve muy corta, pueden desarrollarse fisuras aleatorias. En la figura 4.25 se muestra la ventana de aserrado de juntas.

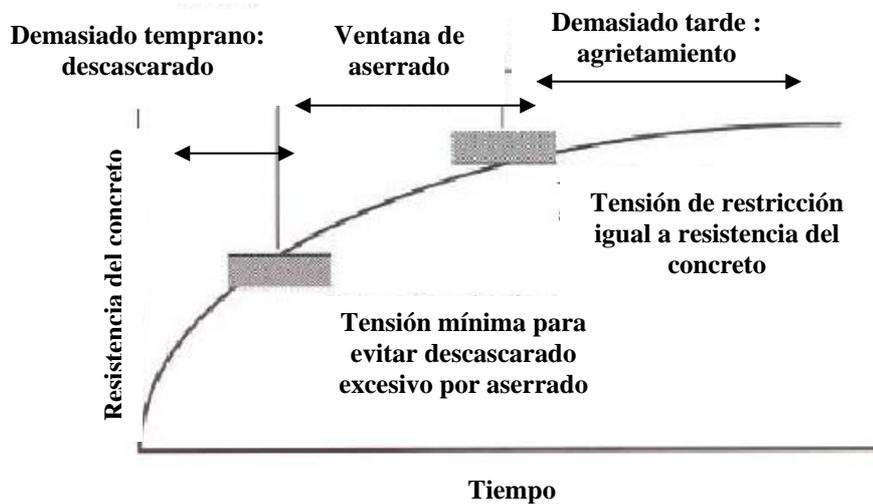


Figura 4.25 Ventana de oportunidad para el aserrado de juntas*

*Tomado de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, N° 204

4. Cuando el aserrado se efectúa sobre concreto, éste debe ser capaz de soportar el peso del equipo del aserrado y el personal involucrado en la tarea.
5. Durante el aserrado, si se producen astillamientos a lo largo del corte, o si la sierra arranca el agregado de la superficie en lugar de cortarlo, es señal que el concreto no ha endurecido lo suficiente.

Para serrado de juntas lo normal es un proceso de dos pasos. En el primer paso, se hace el corte inicial para liberar las tensiones por restricción y permitir que el agrietamiento ocurra en los lugares planificados. Se efectúa un segundo corte para conformar el reservorio del sellador luego de completado el proceso de hidratación. Este segundo corte no es función del tipo de refuerzo, por lo tanto se deben seguir con las mismas especificaciones para un pavimento nuevo.

AASHTO recomienda que en refuerzos menores a 100 mm (4pulg), el corte inicial se debe hacer a lo largo de todo el espesor de refuerzo más una parte del pavimento existente aproximadamente 13 mm (0.5 pulg). Este tipo de corte libera las tensiones por restricción y evita el agrietamiento secundario causado por la propagación de una grieta o junta existente, como se puede apreciar en la figura 4.26.

Para el caso de refuerzos mayores a 100 mm, el corte inicial para juntas transversales debe ser la tercera parte del espesor del refuerzo. En juntas longitudinales, el primer corte debe ser la mitad del espesor del refuerzo. Todos los valores recomendados para el aserrado de juntas en refuerzos adheridos se muestran en la tabla 4.12.

Finalmente, para el sellado de juntas de refuerzo se deben ejecutar de la misma manera que para un pavimento nuevo.

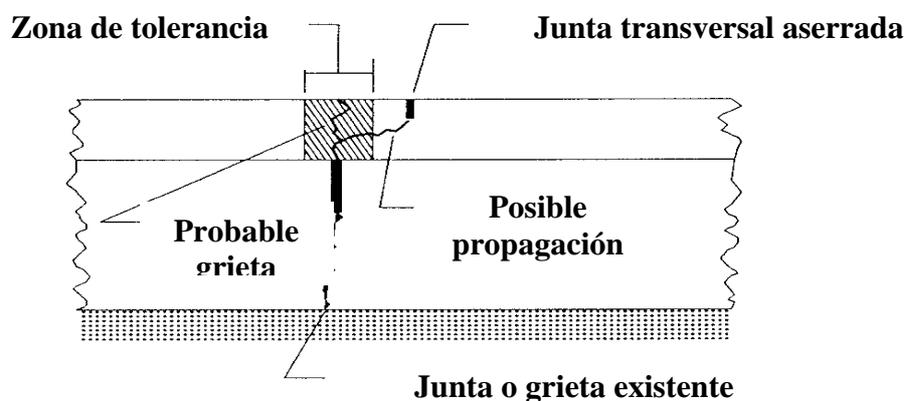


Figura 4.26 Propagación de una grieta secundaria *

Tabla 4.12 Valores recomendados por AASHTO para el aserrado de juntas en refuerzos adheridos *

Tipo de junta	Espesor de refuerzo (D)	
	≤ 4 pulg	> 4 pulg
Transversal	$D + \frac{1}{2}$ pulg	$\frac{1}{3} D$
Longitudinal	$\frac{1}{2} D$	$\frac{1}{2} D$
Expansión	$D + \frac{1}{2}$ pulg	$D + \frac{1}{2}$ pulg

4.4.3 REFUERZO NO ADHERIDO AL PAVIMENTO EXISTENTE

En este tipo de rehabilitación, el refuerzo y la losa existente se comportan estructuralmente como dos capas independientes. El refuerzo no adherido se diseña con una capa de separación entre el refuerzo y la losa existente, con el fin de evitar la adherencia entre ambos y aislar al refuerzo de grietas y otros deterioros de la losa existente.

Este tipo de refuerzo se ha utilizado satisfactoriamente tanto en pavimentos rígidos como flexibles muy deteriorados. También se puede utilizar cualquier técnica de fracturado, previa a la colocación de la capa de separación.

La Asociación de Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés), recomienda los siguientes espesores mínimos para el refuerzo de concreto no adherido, los cuales están en función del tránsito. Los valores se muestran en la tabla 4.13.

*Tomado de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, N° 204

Tabla 4.13 Valores de espesores mínimos para refuerzos no adheridos*

Tránsito	Ejes pesados (ESALs en millones) en 20 años	Espesor	
		Refuerzo con pasadores y barras de unión	Refuerzo sin elementos de unión
Moderado	< 1	12.5cm (5 pulg)	15 cm (6pulg)
Pesado	1 – 10	15 cm (6pulg)	17.5 cm (7 pulg)
Muy pesado	> 10	17.5 cm (7 pulg)	20 cm (8 pulg)

El refuerzo de concreto no adherido presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- Es una alternativa factible para todos los tipos de concreto.
- Tiene una gran ventaja en comparación con el refuerzo adherido , ya que no se necesita hacer coincidir las juntas o grietas del pavimento existente con las juntas del refuerzo.
- Es más efectivo, desde el punto de vista de los costos, cuando el pavimento existente está muy deteriorado ya que hay una menor necesidad de reparaciones previas.
- Se utiliza mayormente para rehabilitar zonas con alto volumen de tránsito pesado.
- La preparación de la superficie solo consiste en limpiar y sellar las juntas y grietas existentes. Sin embargo, es necesario reparar fallas estructurales que pueden afectar el comportamiento del refuerzo
- No requiere de técnicas especiales para su construcción.

Desventajas

- No es aplicable en los casos en que los deterioros en losas y descascamientos en juntas son poco importantes ya que aparecen otras alternativas de rehabilitación más económicas.
- La gran desventaja de este tipo de refuerzo, es el gran espesor que se requiere y por ende una gran inversión inicial, que muchas veces no se dispone.
- No es aplicable cuando el gálibo bajo puentes puede quedar reducido por el refuerzo.
- No es aplicable cuando el pavimento existente es susceptible de sufrir grandes hinchamientos y descascamientos.

*Manual de rehabilitación de pavimentos, publicado en la página web www.carreteros.org

4.4.3.1 DISEÑO DEL ESPESOR DE REFUERZO

El espesor de refuerzo de concreto de cemento portland no adherido se obtiene siguiendo el mismo análisis que se hizo para el refuerzo de concreto asfáltico, salvo en lo siguiente. Como cada capa trabaja independientemente a la flexión, absorbiendo una parte del momento producido por las cargas exteriores, de la condición de equivalencia se tiene:

$$M_r + M_{\text{losa}} = M$$

$$\frac{D_{\text{ol}}^2}{6} \sigma_{r_{\text{adm}}} + \frac{D_{\text{ef}}^2}{6} \sigma_{l_{\text{adm}}} = \frac{D_f^2}{6} \sigma_{\text{adm}}$$

Ahora, si las tensiones admisibles son las mismas para el refuerzo, la losa existente y el pavimento equivalente, se llega a que:

$$D_{\text{ol}}^2 + D_{\text{ef}}^2 = D_f^2$$

Por lo tanto, el espesor requerido se determina con la siguiente ecuación:

$$D_{\text{ol}} = \sqrt{D_f^2 - D_{\text{ef}}^2}$$

El procedimiento para determinar D_f es el mismo que se utilizó para el caso anterior. Los pasos para determinar el espesor efectivo de la losa existente D_{ef} se indican a continuación.

Determinación del espesor efectivo de la losa existente (D_{ef}).

El cálculo de D_f tiene una pequeña variación con respecto a los casos anteriores, ya que no se consideran los factores de ajuste F_{fat} y F_{dur} , debido a que los ensayos de campo realizados sobre este tipo de refuerzo mostraron muy poca evidencia de reflexión de fisuras y junta. Por lo tanto la ecuación de diseño es:

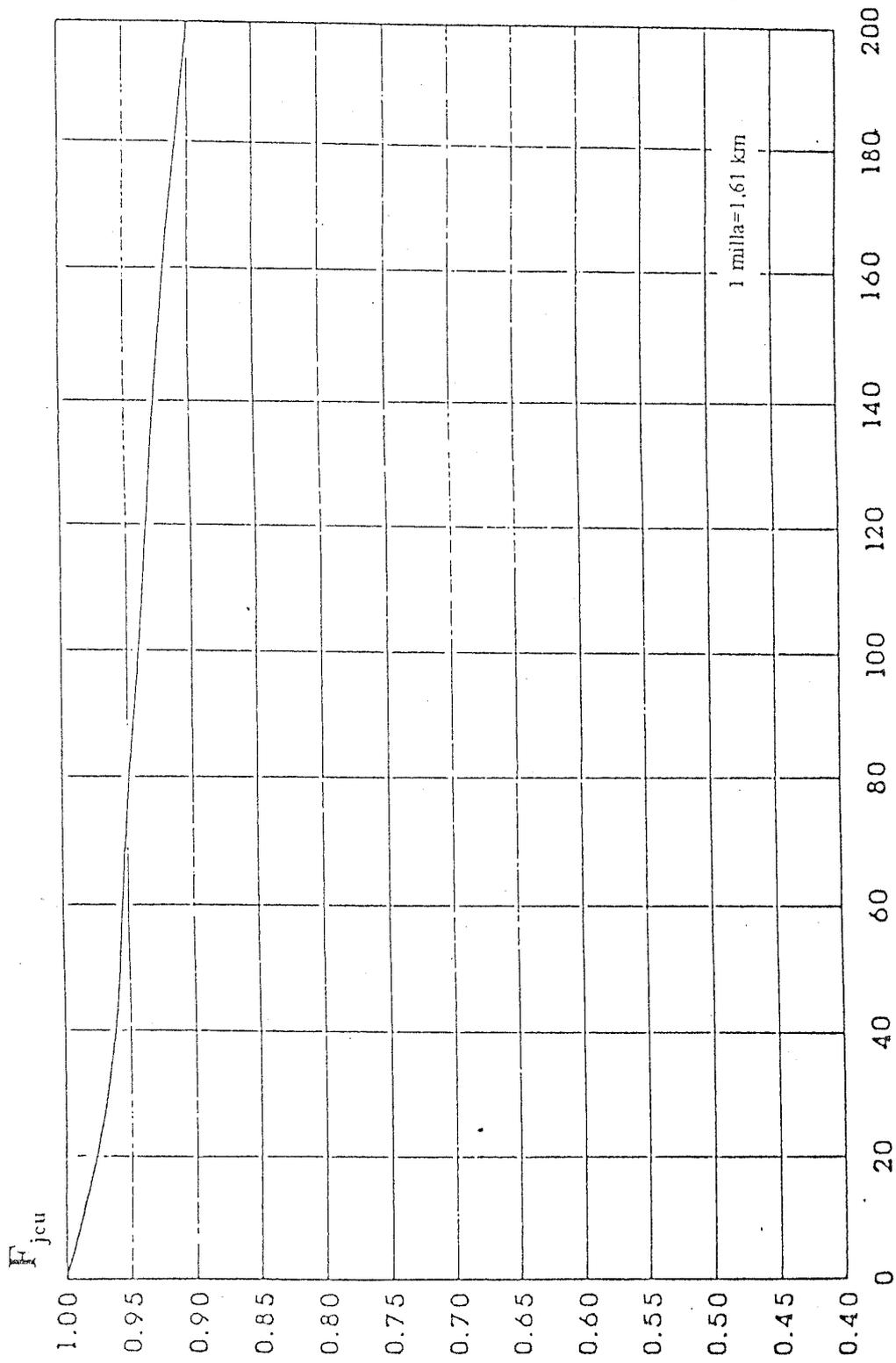
$$D_{\text{ef}} = F_{\text{jcu}} D$$

Donde:

D = Espesor de la losa existente. D debe ser menor de 10 pulg (2.5 cm), si es mayor se debe usar 10 pulg.

F_{jcu} = Factor de ajuste por juntas y fisuras. Este es un valor válido para refuerzos no adheridos de concreto. No confundir con F_{jc} .

El factor F_{jcu} se determina conociendo el número de juntas o fisuras no reparadas por milla. Los valores de F_{jcu} se muestran en la figura 4.27. Cabe resaltar que cuando se utiliza una capa de concreto asfáltico entre el refuerzo y la losa existente, se eliminan todos los problemas de reflexión y F_{jcu} es igual a 1.



Juntas transversales deterioradas y fisuras/milla

Figura 4.27 Factor de ajuste F_{jcu} *

* Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

Ejemplo 4.5

Diseñar una sobrecapa de concreto continuamente reforzado no adherido sobre una losa de concreto de 7 pulg que se encuentra completamente deteriorada.

Las datos de entrada son:

- Del análisis del tránsito se ha llegado a un ESALs de diseño
 $W_{18} = 15 \times 10^6$ ESALs
- Como el refuerzo es para rehabilitar una calle o autopista ubicada en una zona rural, de la tabla 1.3 seleccionamos un nivel de confiabilidad igual a 95 % con un desviación estándar de 0.40.
- El módulo de rotura es 650 psi
- El módulo elástico es 3×10^6
- El coeficiente de transferencia de carga, de acuerdo a las características del refuerzo (sin soporte lateral), se escoge el valor de 4.1, de acuerdo a la tabla 1.6.
- El coeficiente de drenaje para un pavimento con tiempo de drenaje de un día y con niveles próximos a la saturación en un 25 % , escogemos el valor 1 de la tabla 1.5.
- La serviciabilidad inicial y final serán 4.5 y 2.5 respectivamente.
- Como se va a colocar una capa de concreto asfáltico entre el refuerzo y la losa existente $F_{jcu}=1$.

Los información que se necesita acerca del pavimento existente es:

- Módulo de reacción de la subrasante $k = 200$ pci
- Espesor de la losa existente (7 pulg).

Finalmente, el espesor es 10.72 pulg (27 cm). Los resultados se muestran en la figura 4.28.

Thickness For Future Traffic		Effective Thickness	
Future Thickness	12.80	Existing PCC Thickness	7.00
Future E 18's	15,000,000	Joint and Cracks Adj. Factor	1.00
Reliability	95.00	Adjustment Factor	1.00
Overall Deviation	0.40		
Modulus of Rupture	650	Effective Thickness, inches	7.00
Modulus of Elasticity	3,000,000		
Load Transfer, J	4.10		
Mod. Subgrade Reaction	200		
Drainage Coefficient	1.00		
Initial Serviciability	4.50		
Terminal Serviciability	2.50		
Solve For		UNBONDED PCC OVERLAY THICKNESS	
Future Thickness	12.80	10.72 inches	
		UNITS	
		Inches	

Figura 4.28 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado

Como se puede apreciar este tipo de refuerzo se diseña como un pavimento nuevo, donde el módulo de rotura, el módulo elástico y el coeficiente de transferencia de carga corresponden al refuerzo y más no al pavimento existente. Por lo tanto, estas características son innatas del refuerzo y corresponde al diseñador seleccionar el refuerzo más adecuado para el proyecto. De igual manera, estas características tienen gran incidencia en el espesor del refuerzo. Por ejemplo si utilizamos el mismo refuerzo pero ahora con soporte lateral, el coeficiente de transferencia de carga es 3.4 de acuerdo a la tabla 1.6. El espesor requerido es 9.24 pulg (23 cm). Esto se debe, a que las deflexiones en el borde del pavimento disminuyen cuando se utiliza un soporte lateral. El resultado se muestra en la figura 4.29.

Thickness For Future Traffic		Effective Thickness	
Future Thickness	11.59	Existing PCC Thickness	7.00
Future E 18's	15,000,000	Joint and Cracks Adj. Factor	1.00
Reliability	95.00	Adjustment Factor	1.00
Overall Deviation	0.40		
Modulus of Rupture	650	Effective Thickness, inches	7.00
Modulus of Elasticity	3,000,000		
Load Transfer, J	3.40		
Mod. Subgrade Reaction	200		
Drainage Coefficient	1.00		
Initial Servicability	4.50		
Terminal Servicability	2.50		
Solve For		UNBONDED PCC OVERLAY THICKNESS	
Future Thickness	11.59	9.24 inches	
		UNITS	
		Inches	

Figura 4.29 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado

4.4.3.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO

Cuando se va a construir un refuerzo no adherido, las reparaciones previas son menores que en el caso de un refuerzo adherido. Sin embargo, aquellas juntas que se encuentren muy deterioradas deben ser reparadas y el tratamiento más aconsejable para estos casos es la reparación en todo el espesor. Para juntas con descascamientos leves, pueden ser tratadas con reparación de espesor parcial o rellenadas con el material de la interfase.

Las juntas escalonas mayores a 6 mm (05 pulg) requieren especial atención, para el caso en que el escalonamiento sea inferior a 6mm se puede cepillar la superficie para eliminar estas irregularidades o en todo caso utilizar tratamientos superficiales como lechada asfáltica (slurry seal) para nivelar la superficie. En todos los casos de escalonamiento, se debe investigar la causa de la misma, para ver si es factible realizar la estabilización de losas o mejorar las condiciones de drenaje.

4.4.3.3 CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFASE (CAPA SEPARADORA)

Después de la preparación de la superficie, el próximo paso es la construcción de la interfase o capa separadora o capa rompedora de adherencia (figura 4.30). Ésta capa tiene como función aislar al refuerzo de las grietas u otros deterioros de la losa existente, con el fin de evitar la reflexión de fisuras en el refuerzo.

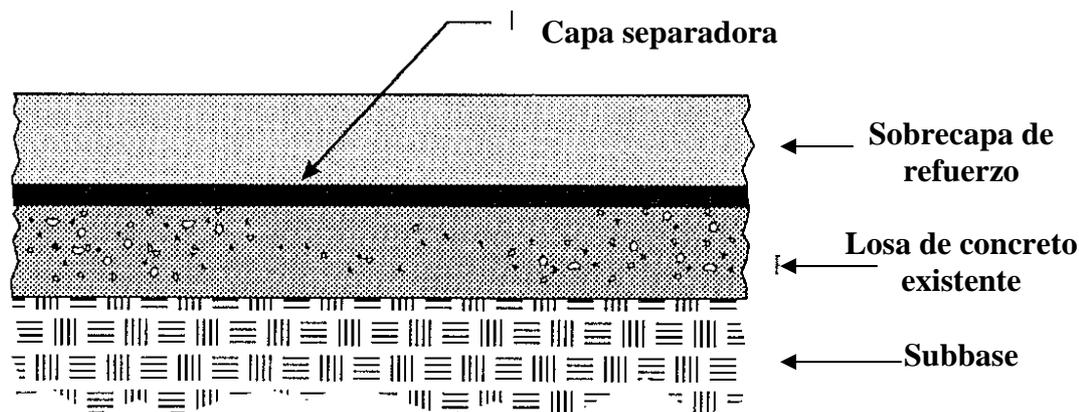


Figura 4.30 Refuerzo no adherido*

Las capas separadoras más utilizadas son:

- Capas delgadas, siendo los tratamientos superficiales como lechada asfáltica (slurry seal) y arena-asfalto los más utilizados. Este tipo de capa se emplea siempre y cuando el pavimento existente no se encuentre muy deteriorado o las juntas no presenten grandes desplazamientos verticales diferenciales.
- Capa de concreto asfáltico, es la capa separadora más común y exitosa. También sirve como capa niveladora de la superficie existente.
- Otros materiales: cuando sólo sea necesario un efecto separador, podrán emplearse láminas de polietileno u otros productos que impidan la adherencia del pavimento existente con el refuerzo.

Para el uso adecuado de las capas, AASHTO propone las siguientes recomendaciones:

1. Donde el escalonamiento en juntas y grietas es más grande que 6 mm (0.25 pulg), el descascaramiento es evidente y las losas están muy deterioradas, se recomienda construir una capa de concreto asfáltico de 25 mm (1 pulg) como mínimo.
2. Donde el escalonamiento y el descascaramiento no son severos, es suficiente una capa delgada de 13 mm (0.5 pulg) o un sellado slurry de 3 mm (0.125 pulg). Ésta capa debe ser capaz de cubrir el deterioro presente y evitar que este en contacto con el refuerzo.

*Tomado de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, N° 204

3. Donde el escalonamiento en juntas y grietas es inexistente un sellado slurry de 3mm es suficiente.

Para caminos de tránsito intenso se debe considerar el problema potencial de erosión de la capa separadora. Un tratamiento superficial delgado se erosionará más fácil que un concreto asfáltico. Una solución interesante es usar como capa separadora una capa permeable de granulometría abierta que servirá como sistema de drenaje para captar las aguas. Este tipo de capa proveerá un excelente control de reflexión de fisuras, así como prevención de bombeo y erosión de la capa separadora.

4.4.3.4 ASERRADO Y SELLADO DE JUNTAS

A diferencia del refuerzo adherido, en el cual las juntas del refuerzo deben coincidir con las juntas del pavimento existente, en este tipo de refuerzo esta consideración no es válida. De hecho, AASHTO recomienda que las juntas transversales del refuerzo deben ser colocadas en desfase con las juntas originales aproximadamente 0.9 m (3 pies), como se indica en la figura 4.31. Esta disposición permite reducir las deflexiones excesivas en la losa y el refuerzo, cuando la rueda se aleja de la junta, como se puede apreciar en la figura 4.32.

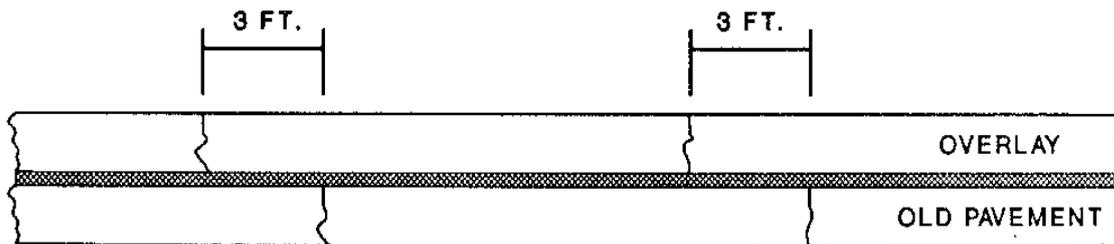


Figura 4.31 Disposición de las juntas transversales en el refuerzo*

Las juntas transversales y longitudinales deben ser ejecutadas de la misma manera que para un pavimento nuevo, excepto en lo concerniente al espaciamiento de juntas para refuerzos no adheridos de concreto simple. Debido a la alta rigidez del soporte debajo de la losa de refuerzo, se aconseja limitar el espaciamiento entre juntas para controlar las tensiones de pandeo por gradiente térmico, como se muestra en la figura 4.33.

Como en toda construcción de concreto, las juntas deben ser aserradas tan pronto como sea posible para evitar el agrietamiento aleatorio. Los valores recomendados por AASHTO para el aserrado de juntas transversales y longitudinales es que el corte sea por lo menos la tercera parte del espesor del refuerzo.

*Tomado de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, N° 204

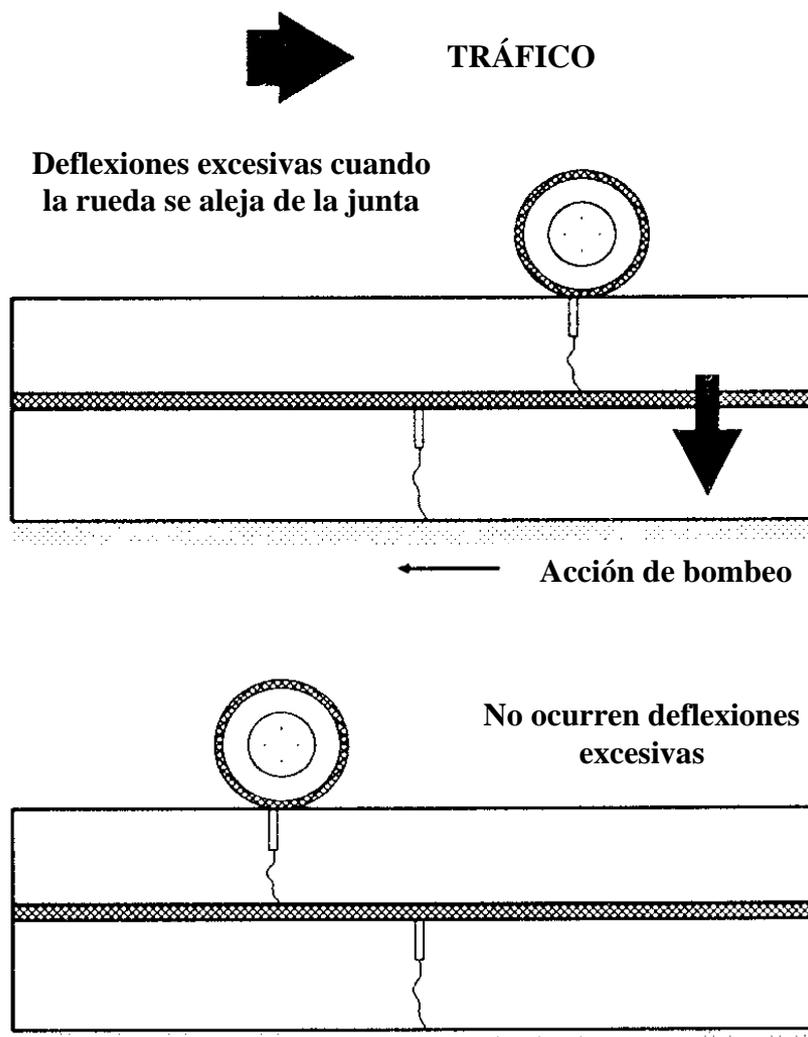


Figura 4.32 Efecto del paso de una carga *

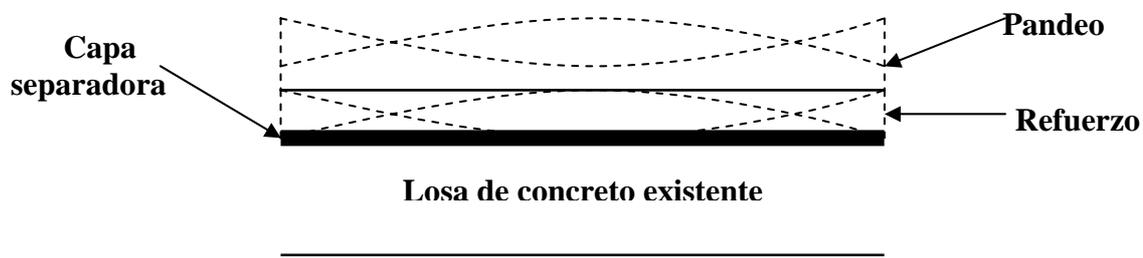


Figura 4.33 Deformaciones de pandeo por gradiente térmico *

*Tomado de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, N° 204

CAPITULO V

EJEMPLO DE APLICACIÓN A UN PROBLEMA ESPECÍFICO DE LA CIUDAD DE PIURA

5.1 RESUMEN

En el presente capítulo se tratará de manera breve el estado actual de los pavimentos de concreto en nuestra ciudad. Asimismo, se mencionarán los principales problemas que afectan a dichas estructuras.

También se hará una breve descripción de las principales fallas que presenta los pavimentos de concreto de la ciudad de Piura, que se complementará con una galería de fotos de las mismas. Asimismo, se tratará el caso de la Avenida Loreto como una oportunidad donde se aplicó capas de refuerzo para su rehabilitación.

Finalmente, se desarrollará un ejemplo de cálculo de refuerzo estructural aplicado a un problema específico de la ciudad de Piura.

5.2 ESTADO ACTUAL DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE PIURA

5.2.1 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA LOCAL

En Piura y en general en todo el Perú, es práctica común que los pavimentos de concreto o de cualquier tipo, una vez construidos son olvidados y abandonados a su suerte. Basta con recorrer el centro de la ciudad para darnos cuenta que dichas estructuras se encuentran totalmente agrietadas, sin que las autoridades hagan algo al respecto; y si lo hacen, ejecutan mal la reparación sin ningún tipo de criterio técnico, o en el peor de los casos,

dejan los trabajos inconclusos, lo cual origina un deterioro más rápido en dicha zona por el paso de los vehículos y por la presencia de lluvias que originan el bombeo de la subbase.

Los principales problemas que afectan a los pavimentos de concreto en nuestra ciudad son:

5.2.1.1 LLUVIAS

Las lluvias causadas por el Fenómeno del Niño, que son frecuentes durante la época de verano en nuestra ciudad, originan grandes deterioros en la estructura del pavimento como:

- Eleva el nivel freático del suelo, por lo tanto satura la estructura del pavimento que sumado al hecho de que el suelo de Piura es granular, la acción de las cargas de tránsito causan el asentamiento de la losa, debido a la consolidación de la subrasante.
- Bombeo de la subbase con la consecuente pérdida de soporte de la losa, lo que origina la rotura de ésta.
- Otro aspecto importante a tener en cuenta, es la colmatación del sistema de agua y desagüe producto de estas lluvias. Al colapsar las tuberías las pistas sufren mucho, debido a que el sistema de alcantarillado pasa por debajo de ellas y cuando se rompen el agua se infiltra por la base y subbase de las pistas provocando el debilitamiento de éstas y por consiguiente su hundimiento y fisuración.
- Finalmente, con las lluvias aparecen en la ciudad las famosas “cuencas ciegas” que es el empozamiento de agua en una zona con bajo nivel topográfico, que origina que la estructura del pavimento se encuentre totalmente sumergida en agua, lo cual trae como consecuencia una drástica disminución de la resistencia del suelo.

5.2.1.2 CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES

Estableciendo un balance de los diferentes tipos de degradaciones encontrados, se constata que en la mayoría de los casos, las fallas son producto del uso de materiales de mala calidad, concreto mal dosificado, exceso de mortero, agregados con granulometría incorrecta, porcentaje elevado de elementos redondeados y de mayor diámetro que el exigido por las especificaciones, subbases erosionables, mala distribución de juntas, sellos de mala calidad y en general un deficiente procedimiento constructivo.

5.2.1.3 INADECUADO PLAN DE MANTENIMIENTO

Piura, al igual que el resto del Perú, no cuenta con un plan de mantenimiento vial, lo que se manifiesta cuando recorremos la ciudad y observamos deterioros que no son reparados, más bien se deja que el pavimento continúe deteriorándose.

Este problema se agrava por la falta de presupuesto que permita a las autoridades municipales tomar de inmediato las acciones preventivas o correctivas más adecuadas.

También es cierto que en los gobiernos locales, como la Municipalidad de Piura, se carece de archivos que permitan hacer un seguimiento detallado del estado del pavimento, mucho menos informes acerca del deterioro de éstos a causa del fenómeno del niño.

5.2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS FALLAS MÁS COMUNES QUE PRESENTA LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO DE LA CIUDAD DE PIURA

En nuestro recorrido por las diferentes zonas de Piura, las fallas que más predominan son:

- Bombeo
- Asentamientos
- Agrietamientos
- Escalonamientos
- Descascaramientos o astillamientos
- Desintegración
- Parches deteriorados
- Reflexión de fisuras.

En la figura 5.1 podemos apreciar como la losa de concreto está completamente agrietada debido a un problema de asentamiento originado por el colapso del sistema de alcantarillado, muy frecuente en esta zona (Calle Huancavelica). De igual manera pasa en la figura 5.2 (Calle Tacna).

En la figura 5.3 podemos apreciar una falla de esquina, bien definida, originada por una deficiente transmisión de cargas entre las juntas. En la figura 5.4 se aprecia una falla longitudinal.

En la figura 5.5 se puede apreciar un hueco profundo (Calle Arequipa), originado por la falta de soporte de la subrasante, el cuál constituye una vía de entrada de agua a la estructura del pavimento que podría traer serios problemas al paquete estructural.

En la figura 5.6 se puede apreciar un falla por desintegración, debido al exceso de mortero o concreto mal dosificado. Esta falla se caracteriza por quedar el agregado grueso expuesto en la superficie (Calle Lima).

En la figura 5.7 se muestra un parche de concreto asfáltico que se encuentra totalmente deteriorado, debido a la mala calidad de la mezcla y de los agregados. Todo lo contrario sucede con los parches de concreto que se conservan mejor, como se aprecia en la figura 5.8.

En las figuras 5.9 y 5.10 se puede apreciar el astillamiento de juntas originado por la intrusión de materiales incompresibles dentro de ellas, que se encuentran sin sello producto de la mala calidad de éstos.



Figura 5.1 Asentamiento de la losa de concreto



Figura 5.2 Hundimiento de la losa y colapso del sistema de alcantarillado



Figura 5.3 Grieta en esquina



Figura 5.4 Grieta longitudinal



Figura 5.5 Hueco profundo en la losa de concreto



Figura 5.6 Desintegración de la superficie de concreto



Figura 5.7 Parche de concreto asfáltico deteriorado



Figura 5.8 Parche de concreto de cemento portland en buen estado



Figura 5.9 Astillamiento de juntas



Figura 5.10 Pérdida del material de sello

5.2.3 SOBRECAPA ASFÁLTICA DE REFUERZO (AVENIDA LORETO, CUADRAS 1 A 5)

5.2.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto está ubicado en la Avenida Loreto (cuadras 1 a 5) de la ciudad de Piura. La estructura existente fue un pavimento de concreto simple con juntas, sobre el cuál se aplicó una sobrecapa de refuerzo de concreto asfáltico en caliente, como una técnica de rehabilitación estructural del mismo. Los datos del proyecto se muestran en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Datos del proyecto

Espesor de la sobrecapa asfáltica	1 pulg con bombeo de 2 %
Espesor de la base granular	20 cm
Espesor de la subbase granular	20 cm
CBR	9 %
Espesor de la losa de concreto	20 cm
Período de diseño	10 años

Cabe resaltar que en el expediente técnico de fecha Mayo de 1998 con título “Pistas, veredas y enrejado de la Avenida Loreto, cuadras 1 a 5 Piura”, no consta los estudios previos de evaluación del pavimento que permitieron recomendar el uso de sobrecapas de refuerzo, mucho menos se hace mención de los trabajos previos a la colocación de éste, como son sellado de juntas , reparación de zonas dañadas, etc.

5.2.3.2 ESTADO ACTUAL DE LA OBRA EJECUTADA

a) Cuadras 1 a 3

Estas cuadras presentan grietas reflejas transversales que siguen el patrón de agrietamiento del pavimento existente, como se muestra en la figuras 5.11 y 5.12, producto del inadecuado espesor del refuerzo y el mal sellado de las juntas del pavimento de concreto.

También es cierto, que no se ha tomado ninguna medida para controlar o disipar ésta reflexión de grietas, muy necesaria para este tipo de refuerzos, como se vio en la sección 3.3.

En lo referente a la calidad de la mezcla se observa que la superficie de rodadura presenta peladuras, desprendimientos del agregado fino, como se muestra en la figura 5.13.

Finalmente, se puede observar en la figura 5.14, como el refuerzo se ha desprendido de la superficie de concreto, producto de la inadecuada adherencia entre ellos, lo que puede ocasionar desniveles que afecten la calidad de rodadura de la vía.



Figura 5.11 Reflexión de fisuras



Figura 5.12 Reflexión de fisuras

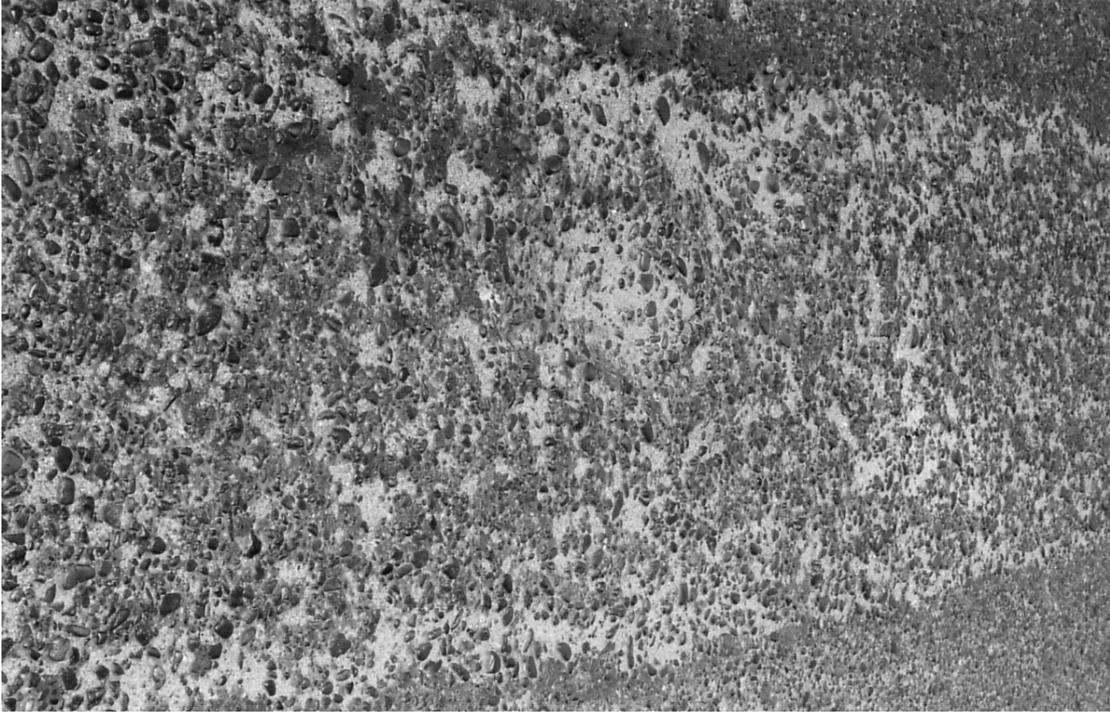


Figura 5.13 Superficie desgastada

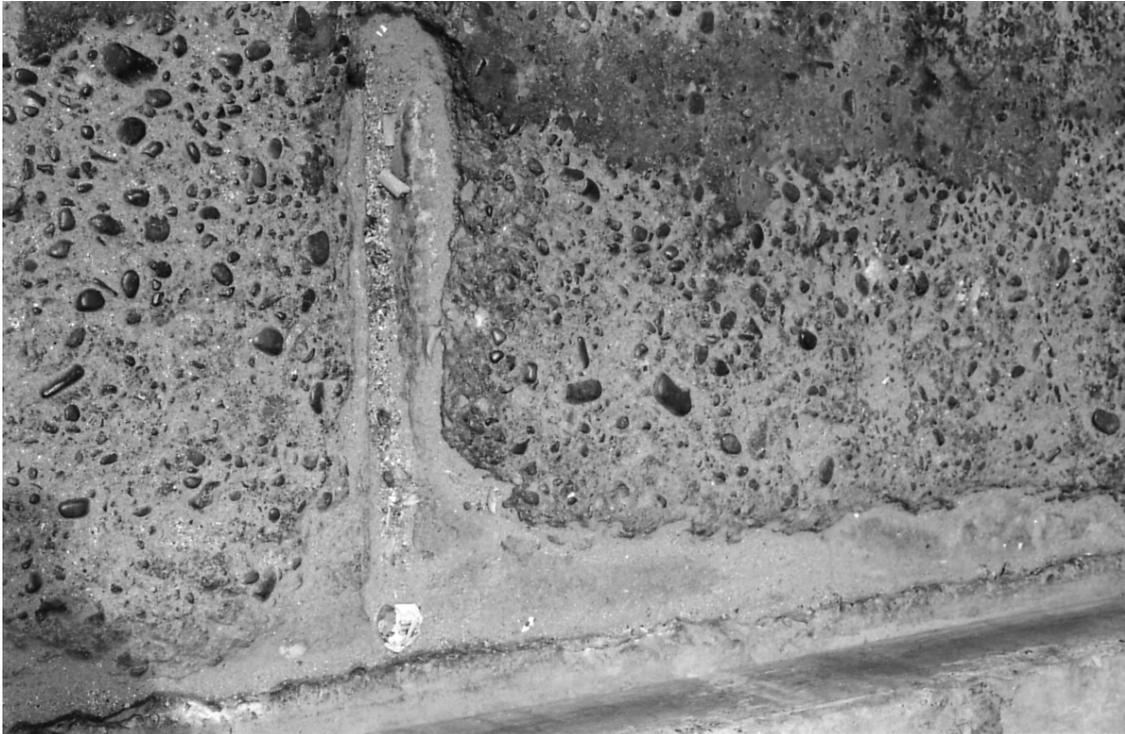


Figura 5.14 Desprendimientos de la capa de asfalto

b) Cuadras 4 y 5

Estas cuadras presentan mayor daño, además de grietas longitudinales y transversales se observa pequeños baches, producto de la mala compactación de la mezcla asfáltica, que con el tiempo pueden ir incrementando su área lo cual podría dificultar la transitabilidad de la vía.

Las zonas con mayor deterioro se encuentran en la parte central de la avenida producto de una inadecuada reparación de la losa de concreto, como se puede apreciar en la figura 5.15.

En la figura 5.16 se observa la transición inadecuada entre un parche de concreto de cemento portland y la sobrecapa de refuerzo.



Figura 5.15 Parche mal ejecutado



Figura 5.16 Transición inadecuada entre un parche de concreto y la sobrecapa de refuerzo

En general, entre las principales causas que han originado la baja performance de la sobrecapa asfáltica de refuerzo aplicada en la Avenida Loreto se encuentran las siguientes:

- No se ha realizado una preparación adecuada de la superficie del pavimento como son: limpieza y sellado de juntas, reparación de zonas deterioradas.
- Espesor inadecuado de la sobrecapa de refuerzo.
- Carencia de un dispositivo de control de agrietamiento.
- Inadecuada selección de materiales para el diseño de la mezcla asfáltica. Mala dosificación de la misma.

Todos estos factores afectan el comportamiento del refuerzo acortando su vida útil. En este sentido la presente tesis pretende dar a conocer la metodología adecuada para el diseño de una sobrecapa de refuerzo (flexible o rígida), con el fin de evitar los problemas antes mencionados y así el refuerzo cumpla adecuadamente su período de diseño.

5.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN

5.3.1 INTRODUCCIÓN

El estudio que se presenta a continuación se realizó en la Panamericana Norte a la altura del Asentamiento Humano “La Primavera”, ubicada en el distrito de Castilla, provincia de Piura. La importancia de esta vía radica en que constituye el acceso a la ciudad de vehículos interprovinciales procedentes de Chulucanas, Huancabamba y en general de todo el Alto Piura.

El presente trabajo tiene por objetivo: determinar el espesor de refuerzo estructural, utilizando el método AASHTO 93.

5.3.2 METODOLOGÍA

5.3.2.1 ESTUDIO DE CARGAS

Se hizo una evaluación local del tráfico, en la vía a rehabilitar, en función de Ejes Simples de Carga Equivalente (ESALs), de acuerdo al método AASHTO, vista en la sección 4.2.3.1.

El levantamiento de la información ha sido realizado en horas punta y durante 7 días, y se concluyó que el volumen promedio diario para cada tipo de vehículo es el siguiente:

C2	25
C3	16
C4	6
T2S2	8
T3S3	10
B2	20
B3	6

Para el cálculo de los ESALs, se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se consideró una tasa de crecimiento de 2 % y un período de diseño igual a 15 años, con lo cuál le corresponde un factor de crecimiento igual a 17.29, de acuerdo a la tabla 4.1.
- El factor camión se calculó de acuerdo a la tabla 5.2, para una losa de 8 pulgadas de espesor y una serviciabilidad final igual a 2.5.
- En la tabla 5.3 se muestra un resumen del procedimiento seguido para el cálculo de ESALs de diseño, en el tramo considerado.

Tabla 5.2 Factores de equivalencia de carga para pavimentos rígidos

Carga por eje		D = 8 pulg		P _t = 2.5
KN	lb	Eje Simple	Eje Doble	Eje Triple
8.90	2,000	0.0002	0.0001	0.0001
17.80	4,000	0.002	0.0005	0.0003
26.70	6,000	0.010	0.002	0.001
35.60	8,000	0.033	0.006	0.002
44.50	10,000	0.084	0.013	0.005
53.40	12,000	0.181	0.026	0.010
62.30	14,000	0.347	0.049	0.017
71.20	16,000	0.610	0.084	0.029
80.00	18,000	1	0.136	0.045
89.00	20,000	1.55	0.211	0.069
97.90	22,000	2.228	0.313	0.101
106.80	24,000	3.22	0.45	0.144
115.60	26,000	4.42	0.627	0.200
124.50	28,000	5.92	0.852	0.271
133.40	30,000	7.79	1.13	0.359
142.30	32,000	10.1	1.47	0.468
151.20	34,000	12.9	1.87	0.601
160.10	36,000	16.4	2.35	0.759
169.00	38,000	20.6	2.91	0.946
178.00	40,000	25.7	3.55	1.16
187.00	42,000	31.7	4.3	1.41
195.70	44,000	38.8	5.16	1.70
204.50	46,000	47.1	6.14	2.03
213.50	48,000	56.9	7.27	2.40
222.40	50,000	68.2	8.55	2.81
231.30	52,000		10.0	3.27
240.20	54,000		11.7	3.79
249.00	56,000		13.6	4.37
258.00	58,000		15.7	5.00
267.00	60,000		18.1	5.71
275.80	62,000		20.8	6.5
284.50	64,000		23.8	7.37
293.50	66,000		27.1	8.33
302.50	68,000		30.9	9.4
311.50	70,000		35.0	10.6
320.00	72,000		39.6	11.8
329.00	74,000		44.6	13.2
338.00	76,000		50.2	14.8
347.00	78,000		56.3	16.5
356.00	80,000		62.9	18.3
364.70	82,000		70.2	20.3
373.60	84,000		78.1	22.5
382.50	86,000		87	24.9
391.40	88,000		96	27.5
400.3	90,000		106	30.3

Tabla 5.3 Plantilla para cálculo de ESALs

Panamericana Norte		Período de diseño: 15 años				
Tipo de vehículo		Volumen Diario	Factor de crecimiento	Tránsito de diseño	Factor camión	Número de ESALs para diseño
Camiones	C2	25	17.29	157,771.25	3.9066	616,349.16
	C3	16	17.29	100,973.6	3.9843	402,309.11
	C4	6	17.29	37,865.1	4.658	176,375.63
	T2S2	8	17.29	50,486.8	7.3557	371,365.75
	T3S3	10	17.29	63,108.5	8.1071	511,626.92
Ómnibus	B2	20	17.29	126,217	3.9066	493,079.33
	B3	6	17.29	37,865.1	3.9843	150,865.91
ESALs de diseño total						2'721,971.6

5.3.2.2 EVALUACIÓN SUPERFICIAL

Ante la falta de equipos para medir la regularidad o rugosidad superficial; el método que hemos empleado para evaluar la condición superficial del pavimento existente, es el de la observación visual.

El tramo considerado presenta deterioros a nivel de juntas y grietas (astillamientos) y desprendimientos de concreto en la superficie.

En las figuras 5.17 y 5.18 se pueden apreciar desprendimientos del concreto (baches) de la superficie del pavimento, originado por la mala dosificación de la mezcla, mortero poco homogéneo y el uso de materiales de mala calidad en el interior del concreto.

En las figuras 5.19 y 5.20 se observa que las juntas han perdido el material de sello, debido a la mala calidad de éste. En su lugar hay partículas incompresibles que han originado el astillamiento de las juntas con pérdida de trozos de concreto.

En general estas fallas no son estructurales, pero si no son tratadas oportunamente pueden causar grandes problemas a la estructura del pavimento. En sí, solo se necesitaría de un refuerzo de concreto asfáltico de espesor mínimo (1pulg), para corregir las fallas funcionales. Sin embargo, debido al incremento de ómnibus y camiones que cubren esta ruta, las cargas de tránsito han aumentado considerablemente. Por lo tanto, es necesario un refuerzo estructural que se adecue a las condiciones de tránsito actuales.

Este tipo de evaluación admite un componente subjetivo, ya que cada tipo de deterioro puede ser descrito de diferente forma o con distinto énfasis según el criterio del ingeniero. La evaluación estructural no se ha considerado por no contar con los instrumentos necesarios para dicho trabajo.



Figura 5.17 Desprendimientos de trozos de concreto (baches)



Figura 5.18 Desprendimientos de trozos de concreto (baches)



Figura 5.19 Juntas astilladas sin sello



Figura 5.20 Juntas astilladas sin sello

5.3.2.3 POSIBLES ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

De acuerdo a la evaluación visual realizada, se determina que el pavimento no se encuentra muy deteriorado. Por lo tanto, las técnicas de fracturado y el refuerzo de concreto de cemento portland no adherido no son aplicables en este caso, ya que son más útiles en estructuras completamente dañadas, tal como se mencionó en la sección 4.3.2.2 y 4.4.3 respectivamente. Con lo cuál, las posibles alternativas de solución para éste caso en particular serán:

- Refuerzo de concreto asfáltico en caliente.
- Refuerzo de concreto de cemento portland adherido.

Los datos del pavimento existente son:

- Espesor de losa igual a 8 pulgadas y CBR = 8 % = 288 pci.
- Pavimento de concreto simple con malla de temperatura sin soporte lateral (bermas). De acuerdo a éstas características consideramos un coeficiente de transferencia de carga igual a 3.2 (tabla 1.6), por no contar con equipos para evaluar dicha propiedad.
- Resistencia a compresión del concreto: 3000 psi (210 kg/cm²).
- El módulo de rotura del concreto se determina a partir de la resistencia a compresión del mismo, utilizando la fórmula propuesta por la ACI: $S'_c = 10 \times (3000)^{0.5} = 548$ psi.
- De igual manera, el módulo elástico del concreto se determina a partir de la resistencia a compresión de éste, utilizando la fórmula propuesta por la ACI: $E_c = 57000 \times (3000)^{0.5} = 3122018.5$ psi.
- Se considera un drenaje de buena calidad, porque no hay problemas de bombeo. Por lo tanto, de acuerdo a la tabla 1.5, el coeficiente de drenaje $C_d = 1$.
- Factor de ajuste por juntas y fisuras (F_{jc}) igual a 1, porque se considera que todas las fisuras se van a reparar antes de colocar el refuerzo.
- Se considera un factor de ajuste por durabilidad (F_{dur}) igual a 1, porque el pavimento de concreto no presenta fisuras de durabilidad.
- Se considera un factor de ajuste por fatiga (F_{fat}) igual a 0.97 (tabla 4.11), porque hay pocas grietas transversales.
- Se considera una confiabilidad de 95 % por tratarse de una vía principal, ubicada en una zona urbana (tabla 1.3), y una desviación estándar igual a 0.35.
- Se considera una serviciabilidad inicial de 4.5, suponiendo una buena calidad de construcción del refuerzo y una serviciabilidad final de 2.5 (tabla 1.4) por tratarse de una vía principal.

Finalmente, con todos estos datos, el espesor de refuerzo de concreto asfáltico requerido es 2.27 pulg (60 mm). El resultado se muestra en la figura 5.21.

Overlay Design and Evaluation		Ready	07-02-1999
AC OVERLAY OF PCC PAVEMENT			
Thickness for Future Traffic		Effective Thickness	
Future Thickness	8.86	Existing PCC Thickness	8.00
Future E 18's	2,721,972	Joints and Cracks	
Reliability	95.00	Adjustment Factor	1.00
Overall Deviation	0.35	Durability Adj. Factor	1.00
Modulus of Rupture	548	Fatigue Adj. Factor	0.97
Modulus of Elasticity	3,122,019	Effective Thickness, inches	7.76
Load Transfer, J	3.20		
Mod. Subgrade Reaction, k	288		
Drainage Coefficient	1.00		
Initial Serviceability	4.50		
Terminal Serviceability	2.50		
Solve For		AC OVERLAY THICKNESS	
Future Thickness	8.86	2.27 inches	
		UNITS	
		Inches	

Figura 5.21 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado

Para el caso de refuerzo de concreto de cemento portland adherido, el espesor requerido es de 2 pulg (50 mm). El resultado se muestra en la figura 5.22.

Overlay Design and Evaluation		Ready	07-02-1999
BONDED PCC OVERLAY			
Thickness For Future Traffic		Effective Thickness	
Future Thickness	8.86	Existing PCC Thickness	8.00
Future E 18's	2,721,972	Joint and Cracks Adj. Factor	
Reliability	95.00	Adjustment Factor	1.00
Overall Deviation	0.35	Durability Adj. Factor	1.00
Modulus of Rupture	548	Fatigue Adj. Factor	0.97
Modulus of Elasticity	3,122,019	Effective Thickness, inches	7.76
Load Transfer, J	3.20		
Mod. Subgrade Reaction	288		
Drainage Coefficient	1.00		
Initial Servicability	4.50		
Terminal Servicability	2.50		
Solve For		BONDED PCC OVERLAY THICKNESS	
Future Thickness	8.86	2.00 inches	
		UNITS	
		No Units	

Figura 5.22 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado

5.3.2.4 EVALUACIÓN TÉCNICO - ECONÓMICA

El tramo a evaluar tiene una longitud de 300 m aproximadamente por 7.2 m de ancho, es una vía de dos carriles de 3.6 m de ancho cada uno.

Para la evaluación económica se ha realizado una estimación de costos para las dos alternativas propuestas (tabla 5.4). Para el caso del refuerzo flexible se ha considerado un riego de liga (asfalto diluido), como material adherente previo a la colocación de éste, mientras que para el refuerzo rígido se ha considerado como material adherente una resina epóxica (EUCO 452).

Tabla 5.4 Estimación de costos*

Refuerzo flexible					Refuerzo rígido				
Partida	U	Metrado	Precio Unit	Parcial	Partida	U	Metrado	Precio Unit	Parcial
Riego asfáltico	m ²	2160	2.29	4,946.4	Resina epóxica	m ²	2160	14.75	31,860
Mezcla asfáltica en caliente de 2 ½"	m ²	2160	19.98	43,156.8	Concreto F' _c =210 kg/cm ²	m ³	108	355.46	38,389.68
Total		48,103.2			Total		70,249.68		

*Datos obtenidos de los expedientes técnicos de la Municipalidad de Piura a Octubre del 2004

De los datos obtenidos en la tabla anterior, el costo/m² para cada una de las alternativas es:

- Refuerzo flexible: $\text{costo/m}^2 = 48,103.2/2160 = 22.27$ soles
- Refuerzo rígido: $\text{costo/m}^2 = 70,249.68/2160 = 32.52$ soles

Como se puede observar en el gráfico de la figura 5.23, la alternativa que resulta más económica es el refuerzo flexible. Sin embargo, el refuerzo rígido puede soportar mayor cantidad de tráfico (5'000,000 ESALs) para las mismas condiciones iniciales, manteniendo casi el mismo espesor (de 2 a 2.06 pulg). El resultado se muestra en la figura 5.24. Todo lo contrario sucede con el refuerzo flexible que para poder soportar la misma cantidad de tráfico, el espesor aumenta a 4 pulg (figura 5.25), es decir, el doble del espesor de refuerzo rígido.

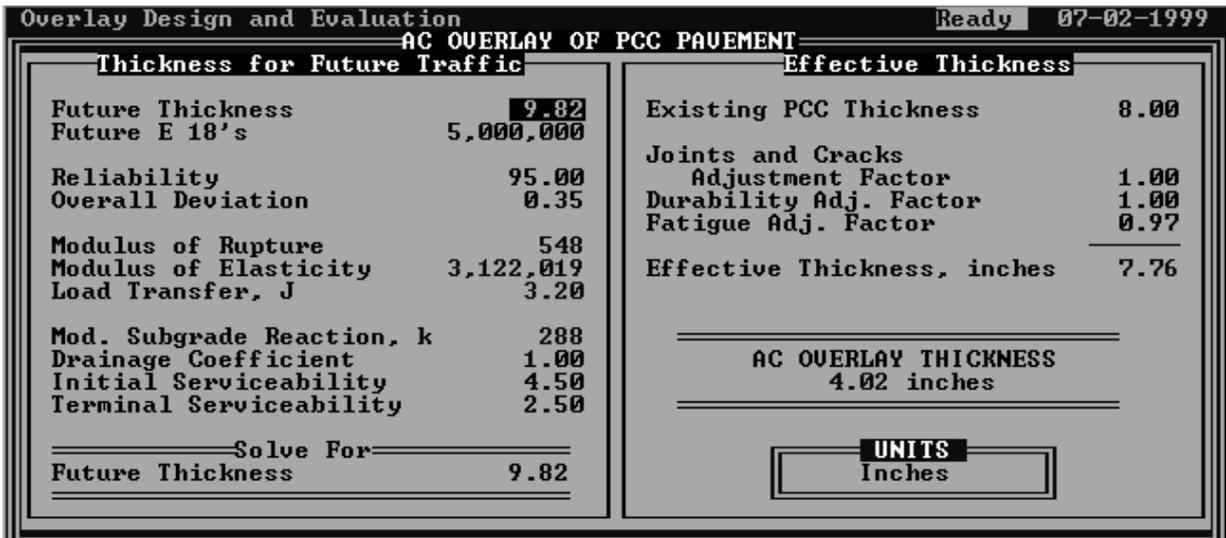


Figura 5.25 Pantalla del programa P.A.S con los datos de entrada y resultado

Al soportar más repeticiones de carga , el refuerzo rígido tiene un período de servicio más largo que el refuerzo flexible, es decir, es más durable en el tiempo. Si el tránsito lo calculamos para un período de 25 años en vez de 15 años considerados inicialmente obtenemos aproximadamente 5'000,000 ESALs. Esto quiere decir que el refuerzo rígido tiene 10 años más de servicio en comparación con el refuerzo flexible (figura 5.26).

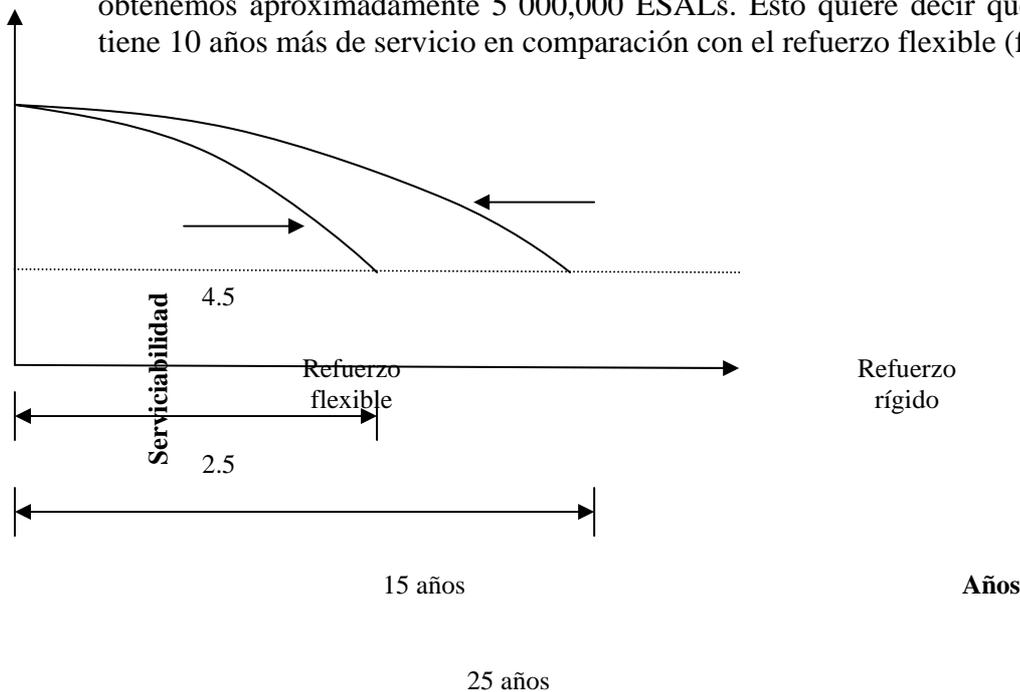


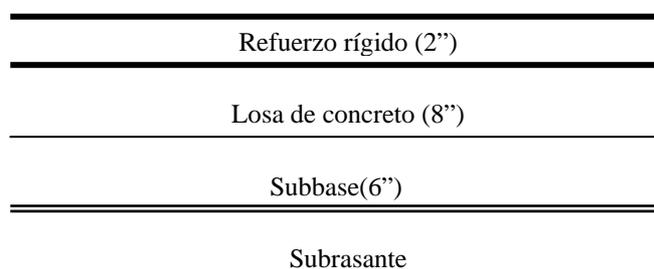
Figura 5.26 Período de servicio de los refuerzos

Tabla 5.5 Cuadro resumen de alternativas propuestas

Tramo	Alternativa	Tipo	Confiabilidad (%)	Espesor (mm)	Costo/m ² (soles)	Período de servicio
Panamericana Norte (altura de A.H. La Primavera)	1	Refuerzo estructural de concreto asfáltico	95	60	22.27	15 años
	2	Refuerzo estructural de concreto de cemento portland adherido	95	50	32.52	25 años

La tabla 5.5 muestra un resumen de las alternativas propuestas. Como se puede apreciar en dicha tabla, la alternativa que más conviene es la 2 (figura 5.27), por las siguientes razones:

- Es más durable en el tiempo.
- Interrupción del tráfico mínimo por ser de rápida aplicación. Se puede emplear cemento de alta resistencia inicial (fast-track).
- Costos de mantenimiento bajos o casi nulos. Esto es una gran ventaja porque no hay una interrupción frecuente del tráfico que ocasione un aumento en los gastos de operación de los vehículos.
- Aumenta las condiciones de seguridad porque mejora la atracción entre las llantas del vehículo y el pavimento.
- El procedimiento de construcción no contamina el medio ambiente, como sí sucede con las mezclas asfálticas en caliente.

**Figura 5.27 Alternativa 2**

5.3.3 CONCLUSIONES

1. El costo/m² del refuerzo flexible representa el 68 % del costo/m² del refuerzo rígido, lo que indica un menor costo inicial.
2. En la estimación de costos la resina epóxica representa el 45 % del costo/m² del refuerzo rígido, lo que indica que tiene una incidencia muy alta en el presupuesto del mismo.
3. El refuerzo rígido al soportar mayores repeticiones de carga, tiene un período de servicio más largo en comparación con el refuerzo flexible.
4. El refuerzo rígido requiere un mayor costo inicial que el refuerzo flexible, pero a diferencia de éste los costos de mantenimiento son casi nulos.
5. El caso de la Avenida Loreto, representa un caso práctico de ésta metodología la cuál no ha tenido un desempeño aceptable, producto de las deficiencias en la construcción y diseño de la misma.
6. Finalmente , la metodología propuesta en la presente tesis , es aplicable a los pavimentos de Piura pese a que no se cuenta con el equipo necesario para realizar las evaluaciones pertinentes , las cuales se pueden reemplazar con equipos menos sofisticados como son: el rugosímetro (evaluación superficial) y el Deflectómetro Viga Benkelman simple (evaluación estructural) que se encuentran disponibles en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

5.3.4 RECOMENDACIONES

1. Los pavimentos de concreto de la ciudad de Piura deben tener un adecuado sistema de drenaje que permita evacuar rápidamente el agua, en condiciones extremas como es el caso del Fenómeno del Niño, que es muy frecuente en nuestra ciudad durante los meses de verano.

El sistema de drenaje más apropiado para la ciudad de Piura se muestra en la figura 5.28⁹. Como podemos ver esta opción permite un drenaje bastante aceptable, ya que al tener un filtro grueso permite mejorar el tiempo de drenaje (menos de una hora), evitando la saturación de la subbase y eliminando cualquier posibilidad de bombeo que pueda ocurrir; mientras que el filtro fino evita la erosión del material de la subbase hacia el filtro.

La capa de drenaje es usualmente conectada a drenes longitudinales con tuberías colectoras, aunque extendiéndola con inclinación hacia la cara del talud en todo el ancho también puede utilizarse. Para mayor información del tema se puede consultar la tesis “Diseño del subdrenaje de pavimentos y su aplicación a 2 zonas de Piura” del ingeniero Carlos Alberto Chuyes Gutierrez.

⁹ Carlos Alberto Chuyes. Tesis “Diseño del subdrenaje de pavimentos y su aplicación a dos zonas de Piura”

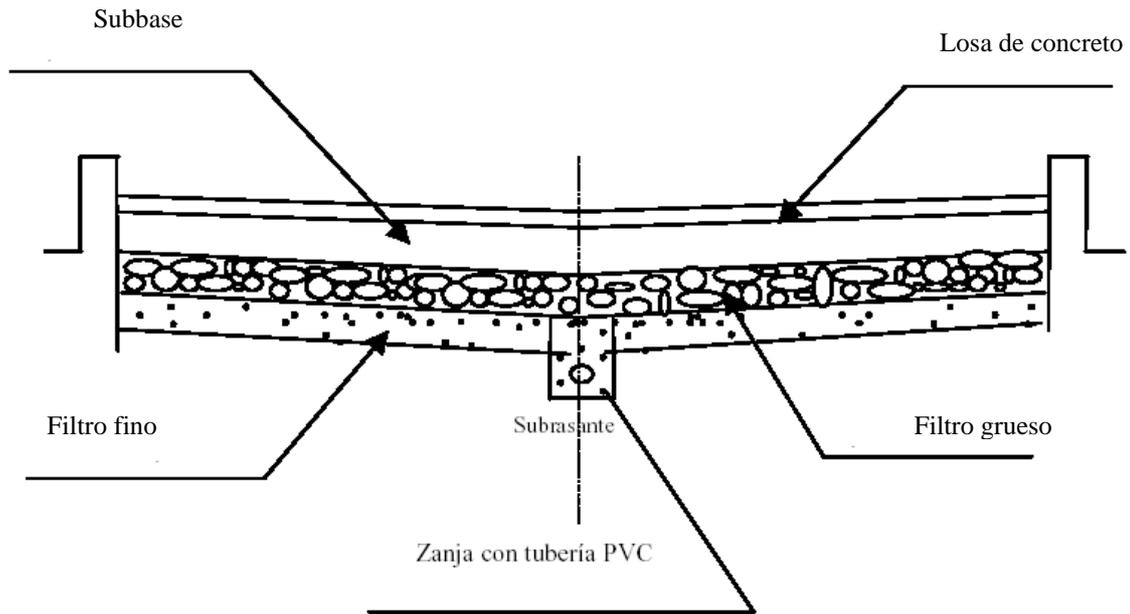


Figura 5.28 Sistema de drenaje

2. El tránsito al ser el factor de diseño más importante es recomendable que se haga una evaluación local de éste en la vía que se va a rehabilitar.

En general, en el Perú no se cuenta con un método específico para llevar a cabo un adecuado registro de volumen de tráfico. Esta evaluación debería comprender los siguientes aspectos¹⁰:

- El registro de los volúmenes de tráfico pueden hacerse en períodos cortos (5, 10, 15 minutos). Estas mediciones se expanden a tráfico horario y tráfico medio diario anual (TMDA) para analizar las tasas de flujo máximo, la variación de flujos dentro de horas punta y los límites de capacidad en el flujo de tráfico.
- Para poder realizar esta expansión de toma de registros de períodos cortos a tráfico medio diario anual es necesario establecer algún tipo de relación entre las tomas de períodos cortos y el TMDA, ya que el flujo vehicular no es constante a través del tiempo, sino que varía en función de la hora, día de la semana y mes del año en que se efectúe la toma.

En la actualidad existen diferentes tablas elaboradas por países como Argentina, México que relacionan el TMDA de una intersección con el tráfico horario obtenido a partir de tomas de períodos cortos. Para esto es necesario definir primero que tipo de toma se ha efectuado (5, 10, 15 minutos), además de la hora, día de la semana y mes que se realizó la toma de datos. Después podemos expandir las tomas de períodos

¹⁰ Rafael Feria Torres. Tesis “Técnicas de análisis de accidentes de tránsito con alguna aplicación en la ciudad de Piura”

cortos a tráfico horario. Luego de realizado el cálculo del tráfico horario se procede al cálculo del TMDA.

Es conveniente mantener un programa de registro de volúmenes, con la finalidad de mantener una base de datos actuales de las condiciones del volumen de tráfico en un determinado sistema de calles o carreteras. Estos datos son importantes para el diseño y planificación de carreteras y resultan muy económicos. Los registros se pueden agrupar de acuerdo a sus características, sea rural o urbanas, ya que manifiestan diferentes patrones de tráfico.

Finalmente, es importante señalar la necesidad de contar con un adecuado registro de volúmenes de tráfico para nuestra ciudad, el cual no sólo será útil para evaluar el flujo de tráfico actual en una zona determinada, sino que además puede ser utilizado en otros tipos de aplicaciones como para el caso de análisis de accidentes, etc. Actualmente la ciudad de Piura no cuenta con un registro de volúmenes de tráfico lo cual limita de manera significativa la posibilidad de desarrollar adecuados estudios de volumen de tráfico. Esto se debe principalmente a la falta de presupuesto de la Municipalidad de Piura para contratar personas que se dediquen a la recolección de datos.

3. Se recomienda, para el caso de los pavimentos de concreto deteriorados en el centro de la ciudad, aplicar una capa de asfalto en caliente, de espesor mínimo (1 pulg), con el fin de lograr uniformidad en las pistas y una mejor presentación estética. De esta manera se aprovecharía para rellenar algunos desniveles que empozan el agua de lluvia.
4. Finalmente, sobre la problemática que involucra el tema de rehabilitación de pavimentos se puede decir que es necesario implementar en todo el país una política de mantenimiento de carreteras, con el fin de preservar los pavimentos en buenas condiciones y recuperar aquellos que aún conservan algo de vida remanente.

BIBLIOGRAFÍA

1. AASHTO, “Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos”, 1993.
2. American Concrete Pavement Association (acpa), “Boletín Técnico - Pavement Rehabilitation Strategy Selection”.
3. American Concrete Pavement Association (acpa), “Boletín Técnico - Subgrades and Subbases for Concrete Pavements”.
4. Asociación de Productores del Cemento del Perú (Asocem), “Guía para el reconocimiento de fallas en pavimentos rígidos”.
5. Asociación de Productores del Cemento del Perú (Asocem), “Boletín Técnico N° 81- Tipos de Pavimento de Concreto”.
6. Carlos Alberto Chuyes. Tesis “Diseño del subdrenaje de pavimentos y su aplicación a dos zonas de Piura”, 1998.
7. Catálogo de Deterioros de Pavimentos Rígidos, publicado en la página web www.cedex.es.
8. German Vivar Romero, “Diseño y Construcción de Pavimentos”, 1995.
9. Instituto del Asfalto, “Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation”, Manual Series N° 17 (Ms – 17), 1983.
10. Javier Llorach Vargas, “Manual de Diseño Estructural de Pavimentos”, 1992.
11. José Andrés Bermeo Romero. Tesis “Diseño de sobrecapas asfálticas de refuerzo en pavimentos usando el método del Instituto del Asfalto”, 2003.
12. Manual de rehabilitación de pavimentos, publicado en la página web www.carreros.org.
13. Manual para la elaboración del Inventario del Estado Funcional de Pavimentos, tomo VI, publicado por la secretaria de Desarrollo Social de México (SEDESOL) en la página web www.sedesol.gob.mx.
14. Mukht, M.T y B. J. Dempsey, “Capa Compuesta Absorbente de Esfuerzos”, (ISAC - Interlayer Stress Absorbing Composite), Reporte Final N° 260 del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Illinois.
15. Rafael Feria Torres. Tesis “Técnicas de análisis de accidentes de tránsito con alguna aplicación en la ciudad de Piura”, 2000.

16. Reglamento de peso y dimensión vehicular para la circulación e la red vial nacional.

17. Transportation Research Board (TRB), "Portland Cement Concrete Resurfacing", N° 204, 1994.