



UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE PUEBLA

---

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.

**METODOLOGÍA DE DISEÑO  
PARA SOBRECARPETAS DE CONCRETO  
HIDRÁULICO WHITETOPPING. (AASHTO).**

Trabajo de investigación  
que para obtener el título de

**INGENIERO CIVIL**

Presenta:

Victor Soriano Jiménez

Puebla, Pue. México

Enero del 2000



**UPAEP – Secretaría General**

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

**Tesis Digitales Restricciones de uso:**

**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Puebla, Puebla a 8 de Octubre de 1999

**Ing. Mario Jiménez Suárez.**

Director de la Facultad de Ingeniería Civil

de la U.P.A.E.P.

Presente

Estimado Ingeniero.

Por medio de la presente certifico que se llevó a cabo la asesoría y revisión del trabajo de tesis profesional **“METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA SOBRECARPETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO WHITETOPPING. (AASHTO)”**, del alumno Victor Soriano Jiménez, cumpliendo con el objetivo planteado al inicio del mismo.

Se extiende la presente para los fines que el interesado juzgue convenientes.

ATENTAMENTE

Ing. Marco Antonio Zago Merlo.

## **DEDICATORIA**

A todos los que de alguna u otra manera hicieron posible este trabajo, a Prefabricados,  
A mis abuelas y toda mi familia, a mi hermano, a mis grandes amigos Steve, Robert y  
Peter ( ellos saben quienes son ), pero muy en especial, este trabajo está dedicado a mis  
PADRES.....

“ Cada día es como un Domingo.....”

S. P. Morrissey

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
I 1 Antecedentes .....	3
1 I 1 Tipo de fallas en los Pavimentos Asfálticos .....	3
1.1.2 Evaluación de un Pavimento Asfáltico Existente .....	4
1.1.3 Sobrecarpetas de Concreto Hidráulico .....	8
114 Conceptos Generales de la Sobrecarpeta de Concreto Hidráulico Whitetopping .....	10
<b>2. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA SOBRECARPETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO WHITETOPPING.(AASHTO)</b>	<b>14</b>
2.1. Descripción del Método AASHTO .....	14
2.2. Variables de diseño .....	20
22 1 Serviciabilidad .....	20
2.2 2 Tráfico .....	23
2.2.2 1 Ejes Sencillos Equivalentes Acumulados de Diseño .....	23
2.2.2.2. Obtención de los Ejes Sencillos Equivalentes Acumulados de Diseño .....	24
2 2 3. Propiedades del Concreto .....	55
2 2 4. Transferencia de Carga .....	59
2.2.5. Coeficiente de Drenaje .....	62
2.2 6. Contabilidad .....	66
2.2.7. Resistencia de la Subrasante .....	70
2.2.8. Módulo de Apoyo de Cimentación para el diseño de la Sobrecarpeta .....	77
2.2.9. Espesor .....	81
2.3. Otras Consideraciones de diseño .....	81

<b>3. EJEMPLO PRÁCTICO DE APLICACIÓN DEL DISEÑO DE UNA SOBRECARPETA DE CONCRETO HIDRÁULICO WHITETOPPING</b>	<b>83</b>
3 1. Antecedentes del camino.....	84
3.2. Evaluación actual del camino.....	85
3 3. Elección del subtramo del camino a rehabilitar.....	86
3.4. Parámetros de diseño para la Sobrecarpeta de Concreto Hidráulico Whitetopping.....	86
3.5. Diseño de la Sobrecarpeta de Concreto Hidráulico Whitetopping para rehabilitar el subtramo elegido del camino.....	94
3.6. Observaciones.....	96
 <b>4. CONCLUSIONES</b> .....	 <b>98</b>
 Referencias.....	 101
 <b>ANEXO 1. FORMA PARA DATOS OBTENIDOS DE LA     EVALUACIÓN DEL CAMINO</b>	 <b>103</b>
<b>ANEXO 2. EQUIVALENCIA DE UNIDADES</b>	<b>106</b>
<b>ANEX03. TABLAS, FORMULAS Y FIGURAS</b>	<b>107</b>

## **1. INTRODUCCIÓN.**

En el nuevo orden económico mundial denominado globalización, los países que prosperarán serán aquellos con una mano de obra altamente calificada y educada para fabricar productos de muy buena calidad a costos competitivos. Aquellos que cuenten con sistemas y comunicación avanzados y sobre todo los que construyan, mantengan y operen una infraestructura de carreteras altamente eficiente.

Siendo las carreteras la columna vertebral de la infraestructura del transporte, su construcción y mantenimiento se vuelven estratégicas.

En nuestro país, el constante crecimiento de la población trae consigo un incremento en la construcción de carreteras. Una gran parte de éstas, sobre todo las de mayor antigüedad, presentan ya un marcado deterioro, que en ocasiones es excesivo, esto es algo que repercute en la economía de los usuarios en cuanto al mantenimiento y compostura de sus vehículos, además de la incomodidad e inseguridad que representa transitar por un camino deteriorado. Estas son algunas de las razones por las que la rehabilitación de un camino pavimentado es importante y de hecho una necesidad primordial.

De la rehabilitación depende disminuir los costos de mantenimiento al mismo tiempo de incrementar la vida útil del camino.

En México, la mayoría de los caminos son del tipo asfáltico. Son diversos los métodos tradicionales que han sido usados para rehabilitarlos, métodos que van desde el bacheo y riego de sello, el reencarpetado asfáltico y hasta la reconstrucción de la estructura del pavimento, reiniciándose con ello el ciclo de mantenimiento. Es un hecho conocido y comprobado empíricamente que éstos métodos tradicionales de mantenimiento proporcionan una limitada vida útil a los pavimentos flexibles y no resuelven el problema de los altos costos requeridos para su mantenimiento.

Por lo anterior resulta obvia la necesidad de buscar y aplicar nuevos métodos de rehabilitación que proporcionen una solución para resolver los problemas mencionados.

La construcción de una carpeta de concreto hidráulico, como refuerzo, sobre un pavimento asfáltico es una técnica de rehabilitación que ofrece beneficios a largo plazo en todos los aspectos; Una superficie de concreto hidráulico es durable, y sus costos de mantenimiento son casi nulos.

Una sobrecarpeta de concreto hidráulico usada para dichos fines es conocida con el nombre de Whitetopping (Sobrecarpeta blanca).

El auge que en la actualidad o en un futuro el Whitetopping, como técnica de rehabilitación de pavimentos asfálticos, pueda tener en nuestro país hace necesario el conocimiento de sus aspectos más importantes, aspectos tan importantes como el de su diseño.

El Método de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) es uno de los de mayor aceptación en la práctica ingenieril de diseño de pavimentos en muchos países, nuestro país no es la excepción, pues se cuenta ya con amplia experiencia en la aplicación de éste método.

Por todo lo anterior descrito, y debido a la ausencia en mucha de la bibliografía referente al tema, es objetivo de éste trabajo de tesis profesional presentar una descripción precisa, clara y detallada del Método AASHTO (Capítulo 2) para pavimentos rígidos y su derivación para diseño de un Whitetopping, desarrollando además un ejemplo práctico de aplicación (Capítulo 3).

Respecto al Whitetopping, es importante señalar que no se profundizará en lo que respecta al tema (Procedimientos constructivos, costos, etc.) y más bien presentar conceptos generales que introduzcan a la descripción de su diseño. El diseño de todo pavimento rígido consiste principalmente en la determinación del espesor de la losa de concreto hidráulico; Para el Método AASHTO, la diferencia entre el diseño de un pavimento rígido nuevo y una sobrecarpeta Whitetopping, radica en que para éste último no solo se requiere conocer la resistencia del terreno de desplante (subrasante) sino que será necesario conocer la resistencia actual que ofrece toda la estructura del pavimento asfáltico por rehabilitar.

Es importante también señalar que el Whitetopping al que se hace mención es el Whitetopping Convencional. Existe una novedosa variedad de Whitetopping, conocido como Whitetopping Ultradelgado, pero esto es un tema aparte que puede ser interesante desarrollar en posteriores trabajos de investigación.

## **1.1. ANTECEDENTES.**

Antes de entrar al contenido principal que cumpla con el mencionado objetivo del trabajo, es necesario asentar en éste primer capítulo de forma breve, pero clara, los conceptos más importantes en cuanto al entorno de la rehabilitación de los pavimentos asfálticos con el fin de ubicar al lector interesado.

### **1.1.1. Tipo de fallas en los Pavimentos Asfálticos.**

Los pavimentos flexibles o asfálticos exhiben una limitada vida útil al ser sometidos a la acción combinada de tráfico y escurrimientos pluviales.

Como puede suponerse, el primer paso para evaluar el comportamiento de un pavimento consiste en observar si éste ha sufrido algún deterioro que afecte de alguna manera su funcionamiento, esto es, si existen fallas. Al respecto conviene comentar que el concepto de falla en pavimentos no está bien definido ya que es común que la palabra falla se aplique lo mismo a una estructura colapsada que a un pavimento que presenta deterioros leves o en zonas que a simple vista no manifiesten síntomas pero en los cuales se espera un comportamiento desfavorable.

En un pavimento asfáltico se pueden distinguir dos tipos de fallas. El primer tipo es la *Falla Estructural*, la cual consiste en el deterioro tal de uno o más de sus componentes (capas) que no le permite soportar debidamente las cargas aplicadas en la superficie. El segundo tipo de falla es la llamada *Falla Funcional o Superficial*, que puede o no estar asociada a una falla estructural, pero que su magnitud es tal que el circular sobre el pavimento provoca incomodidad de los usuarios y/o esfuerzos de consideración a los vehículos debido a lo inadecuado de su superficie.

La falla estructural de un pavimento flexible puede ser el resultado de la fatiga, consolidación o falta de resistencia al esfuerzo cortante en las capas del pavimento.

Algunos de los deterioros más comunes que se presentan en un pavimento flexible, debidos a una falla estructural y/o funcional son: pérdida de agregado grueso, exudación de asfalto, pulimiento de agregados, superficie ondulada, roderas, agrietamientos longitudinales y transversales, agrietamientos tipo piel de cocodrilo, baches. ( Ref. 6).

Obviamente el grado de deterioro en un pavimento asfáltico puede recorrer una gran gama de magnitudes, y la severidad de dicho deterioro está relacionada en gran medida a la opinión del observador. Sin embargo la diferencia entre los tipos de falla es importante y el evaluador de pavimentos debe poder distinguirlos.

### **1.1.2. Evaluación de un Pavimento Asfáltico existente.**

Entre las funciones más importantes de un ingeniero de pavimentos está sin duda, la evaluación de un pavimento en servicio. Uno de los mayores problemas a que se enfrenta un evaluador es la pregunta “¿Que es un pavimento estable?”, desde luego que la respuesta es cualitativa, y depende totalmente de la opinión del evaluador.

Como es bien sabido, el objetivo principal de un pavimento es proporcionar una superficie adecuada para el tránsito de vehículos, pero dentro de los límites de costo adecuados. Así desde el punto de vista económico puede no ser necesario que un camino de poco tránsito tenga una superficie perfectamente uniforme, ya que una simplemente aceptable puede ser la más adecuada.

Es necesario conocer la condición en la que se encuentra el pavimento para establecer programas de mantenimiento o rehabilitación adecuados a las condiciones de tránsito y estructurales existentes.

La evaluación, es por tanto, una tarea ingenieril necesaria para conocer el estado actual de un pavimento, con el fin de determinar las estrategias de mantenimiento o rehabilitación a seguir para hacerle recobrar su serviciabilidad.

Es posible que al realizar una evaluación de la superficie del pavimento se llegue a la conclusión de que es necesario reforzar la estructura, o bien tenerse el caso, que aparentemente no se requiera una reparación pero que una vez hecha la revisión estructural resulte que ésta necesita ser reforzada.

Por lo tanto existen dos tipos de evaluación de un pavimento: *Evaluación funcional o superficial y Evaluación Estructural.*

Es importante señalar que ambas evaluaciones se complementan, sin embargo, generalmente si al realizar la primera se considera que el estado superficial es satisfactorio, la segunda no se lleva a cabo con el fin de ahorrar recursos, aunque el no hacerlo puede ser la causa de falta de oportunidad en las acciones de conservación.

A continuación se describen cada una de las evaluaciones mencionadas.

### **Evaluación Superficial o Funcional**

Esta evaluación consiste en calificar, ya sea por medio de la observación directa (Evaluación Superficial Subjetiva) o por medio de aparatos (Evaluación Superficial Objetiva), el estado que presenta la superficie de rodamiento del pavimento existente.

El sistema para calificar las condiciones superficiales del pavimento está basado en el concepto de Serviabilidad. La Serviabilidad de un pavimento existente se mide con el Índice de Servicio Actual (I.S.A) cuyos valores van de 0 (cero) a 5 (cinco), correspondiendo valores altos a condiciones más satisfactorias. La experiencia indica que un I.S.A de 2 a 2.5 sea fijado como un valor que indique la necesidad de llevar a cabo un mejoramiento más profundo del camino (rehabilitación con sobrecarpetas). Puede decirse que un valor de I.S.A= 2.5 es el valor de rechazo del pavimento existente.

El concepto de Serviabilidad es muy importante, no solo en la evaluación de pavimentos asfálticos existentes, sino también para el diseño del Whitetopping que podría rehabilitarle, como se verá más adelante en el capítulo 2.

La *Evaluación Superficial Subjetiva* consiste en calificar el estado superficial del pavimento mediante un I.S.A derivado de la opinión de un grupo de personas instruidas que recorran el camino bajo estudio. La Calificación final del camino será el I.S.A promedio de cada uno de los I.S.A otorgados por los participantes, recordando que el valor de 0 (cero) corresponde a un camino intransitable, entre 0 y 1 muy malo, de 1 a 2 malo, 2 a 3 regular, 3 a 4 bueno, entre 4 y 5 muy bueno y 5 corresponde a una superficie de camino perfecta. Es importante mencionar que los valores de I.S.A de 0 y 5 son difíciles de presentarse.

Los datos obtenidos de toda evaluación son vaciados en formas especiales (Anexo 1).

Por otra parte, la *Evaluación Superficial Objetiva* se lleva a cabo por medio de aparatos que son capaces de medir las deformaciones y rugosidad de la superficie del pavimento al efectuar un recorrido a lo largo de ésta. De acuerdo al deterioro superficial existente (en pulgadas/milla) puede tenerse un valor de I.S.A, correspondiendo valores altos a deterioros superficiales menores y viceversa, correspondiendo valores de I.S.A bajos a deterioros superficiales mayores.

Entre éstos aparatos podemos encontrar el Perfilómetro de Plano Horizontal Fijo, Perfilógrafos (de pendiente, de ruedas múltiples, GMR) y el Rugómetro. ( Refs. 2,3).

### **Evaluación Estructural**

Es aquella que se lleva a cabo para conocer las condiciones actuales que un pavimento asfáltico existente presenta en cuanto a su estructura.

La evaluación estructural puede ser de dos formas: *Evaluación Estructural con pruebas destructivas (PD)* y *Evaluación Estructural con pruebas no destructivas (PND)*.

La evaluación estructural basada en PD requiere de la extracción de muestras de las capas del pavimento, con el fin de conocer sus espesores y calidades de los materiales que las conforman ensayándolos in situ o en laboratorio.

La evaluación estructural basada en PND por otra parte, está basada en la medición de las deformaciones elásticas (deflexiones) producidas en el pavimento al aplicarle una carga determinada. Este procedimiento es aplicable solamente a caminos cuya superficie de rodamiento esté constituida por una mezcla asfáltica.

El propósito principal de la medición de deflexiones es el de obtener datos acerca de la relación esfuerzo-deformación del pavimento. La magnitud de la deflexión en un pavimento es

un indicativo de su capacidad actual para soportar cargas, esto es, que si las deflexiones medidas son pequeñas, el pavimento presenta aún soporte estructural, pero si las deflexiones son grandes, el pavimento presenta deterioro estructural, deterioro que le impedirá seguir soportando adecuadamente las cargas.

Existen algunos factores que influyen en la medición de las deflexiones inducidas en el pavimento, tales como la temperatura sobre su superficie, el contenido de agua de las capas del pavimento y la rigidez relativa del pavimento, sobre todo en las capas superiores.

Son diversos los medios o aparatos mediante los cuales es posible conocer las deflexiones del pavimento, entre éstos tenemos: Equipos que aplican cargas dinámicas (Dynalect, Road Rater), equipos que aplican carga ante impactos (Dynatest, Kuab, Phonix). ( Ref. 5).

El dispositivo de mayor uso en nuestro país para dichos fines es la Viga Benkelman. (Refs. 2,3).

Puede concluirse que tanto la evaluación superficial como la estructural de un pavimento asfáltico existente son acciones necesarias que deben llevarse a cabo para conocer la condición actual en que éste se encuentre.

Ambas evaluaciones se complementan, de tal forma que si la estimación del pavimento hecha a través de la Evaluación Superficial indica que son necesarias medidas correctivas de mayor trascendencia, se hará una evaluación de las condiciones estructurales del pavimento.

Las estrategias de mantenimiento o rehabilitación a seguir para hacer nuevamente servicial a un pavimento asfáltico deteriorado, provienen de los resultados obtenidos en ambas evaluaciones. Así tenemos que para valores altos de I.S.A (4.9 a 3) será recomendable llevar a cabo mantenimientos que van de rutinarios (sellado de grietas, parchados superficiales, bacheo) hasta preventivos (riegos de taponamiento, tratamientos superficiales, sobrecarpetas delgadas).

Cuando los valores de I.S.A son menores (3 a 2, 2.5 como valor de rechazo) es de esperarse que el estado estructural del pavimento no sea óptimo por lo que la estrategia a seguir será el de la rehabilitación, la cual puede ser a base de reencarpetado mediante asfalto o bien mediante concreto hidráulico (Whitetopping).

Para fines particulares del presente trabajo puede decirse que un pavimento asfáltico deteriorado puede y/o debe ser rehabilitado mediante Whitetopping cuando:

- El valor de su I.S.A oscila entre 3 y 2. (Evaluación Funcional o Superficial).
- Cuando las deflexiones medidas en él sean mayores a 1 mm. (0.040 pulgadas). (Evaluación Estructural)

Un valor de I.S.A menor a 2 indica un grave deterioro superficial del pavimento, y es de esperarse que su condición estructural sea mala, es decir, seguramente las deflexiones medidas serán mucho mayores a 1 mm, por lo que el uso de un Whitetopping podría ya no ser tan rentable, y entonces la estrategia a seguir sería la reconstrucción del pavimento existente, la cual consiste en la remoción completa y el remplazo de la estructura del pavimento.

### **1.1.3. Sobrecarpetas de Concreto Hidráulico.**

Existen cuatro formas básicas de construir una sobrecarpeta de concreto hidráulico:

- 1) Adheridas o ligadas al pavimento existente.
- 2) Colocadas directamente sin reparación.
- 3) Desligada del pavimento existente.
- 4) Sobrecarpeta de concreto hidráulico en pavimentos asfálticos ya deteriorados.

A continuación se describen brevemente cada una de ellas.

**1) Adheridas o ligadas al pavimento existente:** Una de las condiciones para utilizar una sobrecarpeta totalmente ligada es que el pavimento existente posea todavía una capacidad estructural aceptable. Para el caso de pavimento flexible, éste solo debe presentar pequeñas fallas por baches o daños menores en la estructura.

La preparación del pavimento existente ya deteriorado puede incluir: remoción y posterior restitución de piezas de pavimento ya desprendidas o muy deterioradas. En superficies relativamente sanas, después del fresado para uniformizar superficies dañadas por restaurar, se procede a la limpieza de partículas extrañas y polvo, aceite, etc. mediante chifloneo con arena y/o agua.

Una vez concluida la preparación de la superficie, antes de colocar la nueva carpeta es necesario colocar un riego de liga (grout) cementante.

**2) Colocadas directamente sin preparación:** Este caso particularmente utiliza la estructura del pavimento anterior por lo que el pavimento puede estar dañado sin que se afecte a las capas inferiores; la estructura debe ser evaluada. El nivel de tránsito esperado influye como en cualquier otro diseño en el espesor.

En la colocación directa la superficie no es tratada y las roderas son rellenas por el concreto de la losa. No son necesarios el fresado, rasante de finos y otros procedimientos. La colocación directa es recomendada para todos los casos donde las roderas no excedan de 5 cm. Es de costo muy eficaz. No son necesarios procedimientos de preparación para la construcción. Se incurre en el costo de ingeniería (topografía) al tomar secciones transversales, pero generalmente no es tan grande como el costo de nivelar superficies existentes.

**3) Desligada del pavimento existente:** En una sobrecarpeta no ligada se busca que el comportamiento de la nueva capa superficial trabaje de manera independiente al pavimento existente, buscándose sólo que éste último sirva como capa de apoyo de la nueva carpeta.

La separación entre las dos capas se logra normalmente mediante aplicaciones de productos asfálticos rebajados solos o mezclados con arena (grouts). Esto se hace para aislar la carpeta dañada de la nueva, además de evitar la reflexión de las grietas existentes hacia arriba, en la carpeta nueva el patrón de juntas para la nueva capa de concreto podrá y debe preverse en forma directa al anterior.

**4) Sobrecarpeta de concreto hidráulico en pavimentos asfálticos deteriorados:** Son en sí la rehabilitación de pavimentos asfálticos que se conoce con el nombre de Whitetopping.

Desde el punto de vista técnico éste procedimiento podría ser parte de los procedimientos anteriormente mencionados, es decir, el Whitetopping puede ser alguno de éstos casos.

La sobrecarpeta de concreto hidráulico o Whitetopping sobre un pavimento asfáltico por rehabilitar, a su vez puede ser:

- Pavimento de concreto con pasajuntas..

- Pavimento de concreto sin pasajuntas.
- Pavimento de concreto con pasajuntas y refuerzo.
- Pavimento de concreto continuamente reforzado.

#### 1.1.4. Conceptos Generales de la Sobrecarpeta de Concreto Hidráulico Whitetopping.

Las sobrecarpetas de concreto hidráulico se han colocado sobre todo tipo de vías terrestres desde 1981.

Las aeropistas, carreteras interestatales, caminos primarios e inclusive caminos secundarios, calles urbanas y áreas de estacionamiento se han podido mejorar considerablemente a base de una sobrecarpeta de concreto sobre el pavimento de asfalto.

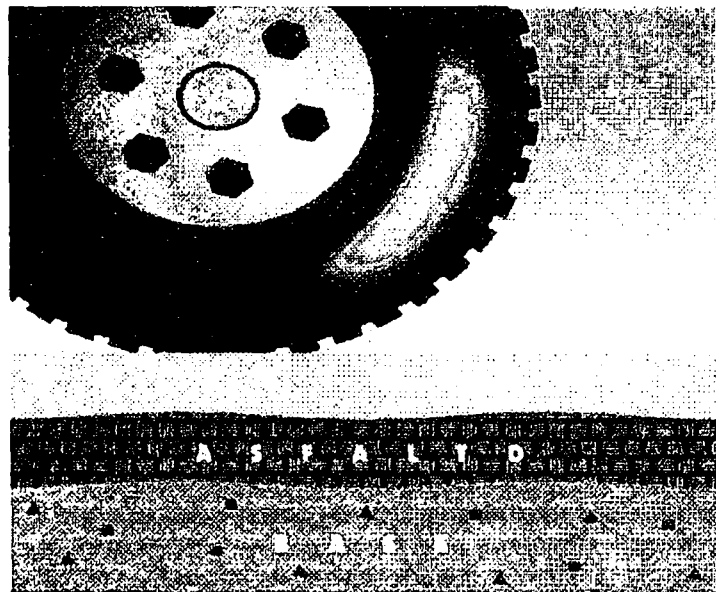


Figura 1.1 Corte esquemático de un Whitetopping

El pavimento de concreto proporciona una superficie más resistente y más durable que el asfalto. El concreto también mejora las características de drenaje superficial al eliminar desviaciones inseguras tales como las roderas y dislocamientos en los pavimentos de asfalto.

Las sobrecarpetas de concreto colocadas encima del asfalto, proporcionan una superficie segura que dará muchos años de servicio a bajo costo y con mantenimiento mínimo.

La sobrecarpeta de concreto proporciona ventajas a largo plazo para los usuarios de caminos y para los encargados de carreteras y aeropuertos. La superficie de concreto reduce drásticamente el tiempo y los retrasos, que generalmente acompañan al mantenimiento constante de una superficie de asfalto. Las roderas, dislocamientos, agrietamientos tipo piel de

cocodrilo (fatiga) y el intemperismo, implican un tratamiento frecuente a base de selladores de grietas y de recubrimientos superficiales. Una superficie de concreto es durable, resistente y requiere mucho menos tiempo y dinero para su mantenimiento. Las sobrecarpetas de concreto son particularmente efectivas, en proyectos donde las restricciones en el presupuesto anual y altos niveles de tráfico, hacen que las interrupciones frecuentes en la circulación y los costos de mantenimiento sean intolerables.

También se puede colocar una sobrecarpeta de concreto para aumentar la seguridad de una superficie de asfalto. Las cargas pesadas producen roderas y dislocamientos en el asfalto y son un peligro potencial para los usuarios. Esto constituye un serio problema en intersecciones, casetas de cobro de cuotas de peaje, rampas y áreas de estacionamiento de aeronaves, donde el tráfico está constantemente frenando y arrancando. Las roderas llenas de agua de lluvia en éstas zonas, pueden causar derrapamientos, pérdida de control del vehículo y por lo tanto, dar lugar a accidentes y lesiones personales.

Las sobrecarpetas de concreto no desarrollan las fallas típicas presentes en los reencarpetados de asfalto. Una vez que se han formado roderas en un pavimento de asfalto, la experiencia ha demostrado, que la colocación de una sobrecarpeta de asfalto sobre ese pavimento no evitará que se vuelva a presentar. Las roderas reaparecen ante la incapacidad de lograr una compactación adecuada en las roderas que dejan las ruedas y/o ante la imposibilidad del asfalto de resistir las presiones actuales de los neumáticos y los volúmenes de tráfico de hoy en día. El concreto puede cubrir uniformemente las roderas en el asfalto y corregir el perfil de la superficie. La reflexión de grietas es otra forma de falla de sobrecarpetas de asfalto, que puede reducir apreciablemente la vida útil esperada. Debido a la capacidad que tiene la losa de concreto para puentear los problemas subyacentes, no ocurrirá tal reflexión.

También se han usado sobrecarpetas de concreto sobre pavimentos de asfalto existentes, como una alternativa a la "construcción por etapas" de pavimentos flexibles. En la mayor parte de los casos, el asfalto subdiseñado de la primera etapa se deteriora antes de poder colocar el primer reencarpetado proyectado. Las sobrecarpetas delgadas subsecuentes no se comportaron bien porque la falla original del asfalto, se refleja rápidamente a través del citado reencarpetado asfáltico. Aún cuando se especifique una sobrecarpeta de asfalto más gruesa, los resultados no mejoran apreciablemente. Se ha demostrado que en las sobrecarpetas más gruesas, se forman más roderas que en recubrimientos delgados. Los análisis de los costos de

rehabilitación y mantenimiento a largo plazo correspondiente a la "construcción por etapas", en comparación con las sobrecarpetas de concreto demuestran que, para la dependencia encargada de las especificaciones una sobrecarpeta de concreto, representa la solución más duradera de bajo riesgo.

La colocación de una sobrecarpeta de concreto directamente sobre un pavimento de asfalto, también puede ahorrar costos de construcción cuando hay mal tiempo. Después de una lluvia fuerte, la construcción de nuevos pavimentos se puede retrasar varios días, mientras la subrasante se seca hasta alcanzar una condición adecuada. Con la sobrecarpeta de concreto el contratista usa una barredora mecánica, para eliminar el agua en exceso acumulada en las roderas dejadas por las ruedas. Por lo tanto, en muchos casos la construcción de pavimentos de concreto sobre el asfalto se puede reanudar inmediatamente después de que deja de llover.

Las sobrecarpetas de concreto mejoran la capacidad estructural. La capa de refuerzo reacciona estructuralmente, como si se hubiera construido sobre una capa de base resistente. Esto evita las fallas del tipo estructural tales como pérdida de apoyo, efecto de bombeo de finos, agrietamiento y despostillamiento de las esquinas.

Un reencarpetao de concreto actuará como puente para librar los problemas aislados que pudieran reflejarse a través de uno de asfalto. Una sobrecarpeta de asfalto sobre un pavimento antiguo de asfalto necesita trabajos de reparación de consideración. Esto se debe a que en cualquier sistema flexible las capas subyacentes necesitan repartir una parte importante de la carga.

En vista de que una sobrecarpeta de concreto toma el lugar de los riegos de asfalto para soportar las cargas por encima del asfalto en malas condiciones, se necesitarán menos reparaciones.

Una sobrecarpeta Whitetopping es como un pavimento rígido nuevo, y como tal se siguen similares procesos constructivos tales como el cimbrado, la colocación del acero (pasajuntas, barras de amarre, refuerzo), tendido y vibrado del concreto, acabado del concreto, texturizado, curado y el corte, limpieza y sellado de juntas.

La sobrecarpeta se construye directamente sobre la superficie del pavimento asfáltico.

Las sobrecarpetas de concreto sobre pavimento asfáltico se pueden unir entre sí con juntas simples (con o sin pasajuntas), esto cuando la vía está sometida a un bajo volumen vehicular,

pero cuando dicho volúmen es alto (> 5 millones de Ejes Sencillos Equivalentes Acumulados) debe considerarse el refuerzo continuo de la losa.

El diseño de la sobrecarpeta consiste esencialmente en el cálculo de su espesor. El procedimiento debe ser capaz de caracterizar la capacidad de carga estructural que el pavimento existente impartirá a la sobrecarpeta Whitetopping. Al igual que sucede con todos los pavimentos de concreto, se necesita especificar una separación adecuada entre juntas, la transferencia de carga, una estimación del volumen del tráfico y las condiciones de drenaje, con el fin de garantizar una larga vida. Un diseño confiable, aquel que toma en cuenta éstos factores, permitirá una calidad de servicio excelente a lo largo de toda la vida útil esperada (20 a 30 años o más).

El nivel de tráfico esperado afecta el espesor de diseño. El espesor se puede determinar por medio de los mismos procedimientos usados en los pavimentos rígidos nuevos.

El espesor generalmente varía entre 20 y 30 cm en el caso de carreteras primarias e interestatales. En las redes secundarias, la mayoría de las sobrecarpetas de concreto tienen un espesor comprendido entre 13 y 18 cm.

En resumen puede decirse, que el espesor requerido de la sobrecarpeta Whitetopping es una función de la capacidad estructural requerida para hacer frente a la demanda futura del tránsito y al soporte proporcionado por el pavimento asfáltico subyacente. El espesor requerido de la sobrecarpeta para incrementar la capacidad estructural para soportar el tráfico futuro está dado por la siguiente igualdad:

$$D_{sc} = D \quad (1.1)$$

Donde:

$D_{sc}$  es el espesor requerido de la sobrecarpeta de concreto Whitetopping, (cm. ó pulg.) y  $D$  es el espesor de la losa para soportar el tránsito futuro, (cm. ó pulg.).

El Método de Diseño AASHTO toma en cuenta todos los factores mencionados que influyen en la obtención del espesor de diseño ( $D$ ) de la sobrecarpeta de concreto hidráulico Whitetopping. Para obtener información más profunda sobre el Whitetopping pueden consultarse las referencias bibliográficas (7,8) del presente trabajo.

## **2. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA SOBRECARPETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO WHITETOPPING. (AASHTO).**

### **2.1. DESCRIPCION DEL METODO AASHTO.**

El diseño de un pavimento es un proceso a priori. Se construirá en el futuro, sobre subrasantes aún no disponibles (en el caso de un pavimento nuevo) o sobre un pavimento existente evaluado o por evaluar (en el caso de una sobrecarpeta). El proyecto se llevará a cabo por un contratista elegido, por ser el más bajo postor, usando personal desconocido y materiales aún no producidos, de bancos no identificados y bajo condiciones ambientales que normalmente son más críticas que las ideales.

En el presente trabajo se describirá, para el diseño de la sobrecarpeta de concreto hidráulico Whitetopping, el método AASHTO para pavimentos rígidos, que es el método de diseño de mayor uso, siendo ampliamente conocido y aplicado en diferentes países.

El método AASHTO para pavimentos rígidos se basa en los resultados experimentales obtenidos vía tramos de prueba en Ottawa, E.U.A.

La planeación de este proyecto data de 1951 y la construcción de los diferentes tramos comenzó en 1956. El objetivo principal de los tramos de prueba fue el de obtener relaciones y correlaciones confiables entre el comportamiento de los pavimentos diseñados con los mismos criterios apoyados en suelos similares y en condiciones de tránsito exactamente iguales. Las superficies de rodamiento construidas fueron:

- Carpetas asfálticas
- Losas de concreto hidráulico sin reforzar
- Losas de concreto reforzadas de manera continua

Se construyeron seis circuitos de prueba cerrados en sus extremos; cuatro de ellos alcanzaron una longitud de cinco kilómetros, mientras que uno los dos restantes fueron más cortos. De estos últimos, uno se planeó para estar sin tránsito y poder estudiar el impacto de las condiciones ambientales en las diferentes secciones de pavimento de prueba.

En todos los circuitos se establecieron pasadas de camiones con características y geometrías conocidas.

Estos materiales se dispusieron sobre bases y sub-bases de materiales bien controlados y espesores preestablecidos. En el caso de los pavimentos flexibles, éstas dos capas fueron variables. En los rígidos se colocaron losas directamente en el terreno natural y en espesores variables de la capa sub-base granular. El control del tránsito sobre los pavimentos ya terminados se registró desde octubre de 1958 hasta noviembre de 1960.

Para la medición del comportamiento de las secciones de prueba construidas, se desarrolló el concepto de serviciabilidad del pavimento:

**Serviciabilidad presente** : Es la habilidad de una sección específica del pavimento de servir al tráfico en su condición actual.

Sabemos ya que la escala de serviciabilidad expresada por el índice de servicio actual (I.S.A) va de 0 a 5. En la prueba efectuada por la AASHTO, la serviciabilidad de los tramos era calificada una vez a la semana y después de cada lluvia. La calificación dependía de la rugosidad y las distorsiones presentes en cada sección.

Si la serviciabilidad medida era inferior a 1.5 se consideraba que el pavimento había fallado.

Al concluir la prueba AASHTO en 1960 se habían aplicado 1'114'000 veces las cargas.

Al revisar los informes de la prueba nos percatamos que para iguales arreglos de ejes y pesos de los mismos, las secciones de pavimento flexible a diferentes espesores de la capas de base y sub-base no soportaron dicha aplicación de carga. Se observa, por ejemplo, como el pavimento asfáltico falló aún para secciones más gruesas entre repeticiones de cargas comprendidas entre 141 y 624 mil, para espesores de la base de 7.5 cm y 20 cm, respectivamente. En caso de las secciones de concreto solo fallaron las secciones de (20 cm) independientemente del espesor de la sub-base de apoyo. Algunas de ellas se comportaron aceptablemente con un I.S.A. entre 3.4 y 4.1 con el espesor ya indicado.

Con base en estos tramos de prueba, se propuso la ecuación de diseño para pavimentos rígidos la cual ha sido modificada desde el inicio de los años sesenta de acuerdo con las observaciones experimentales que han permitido eliminar algunos parámetros de diseño e introducir otros, a fin de tomar en cuenta propiedades del concreto, las condiciones de apoyo y del tipo ambiental. Dicha ecuación se presenta a continuación tal y como apareció en la última versión de la Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento presentada en 1993.

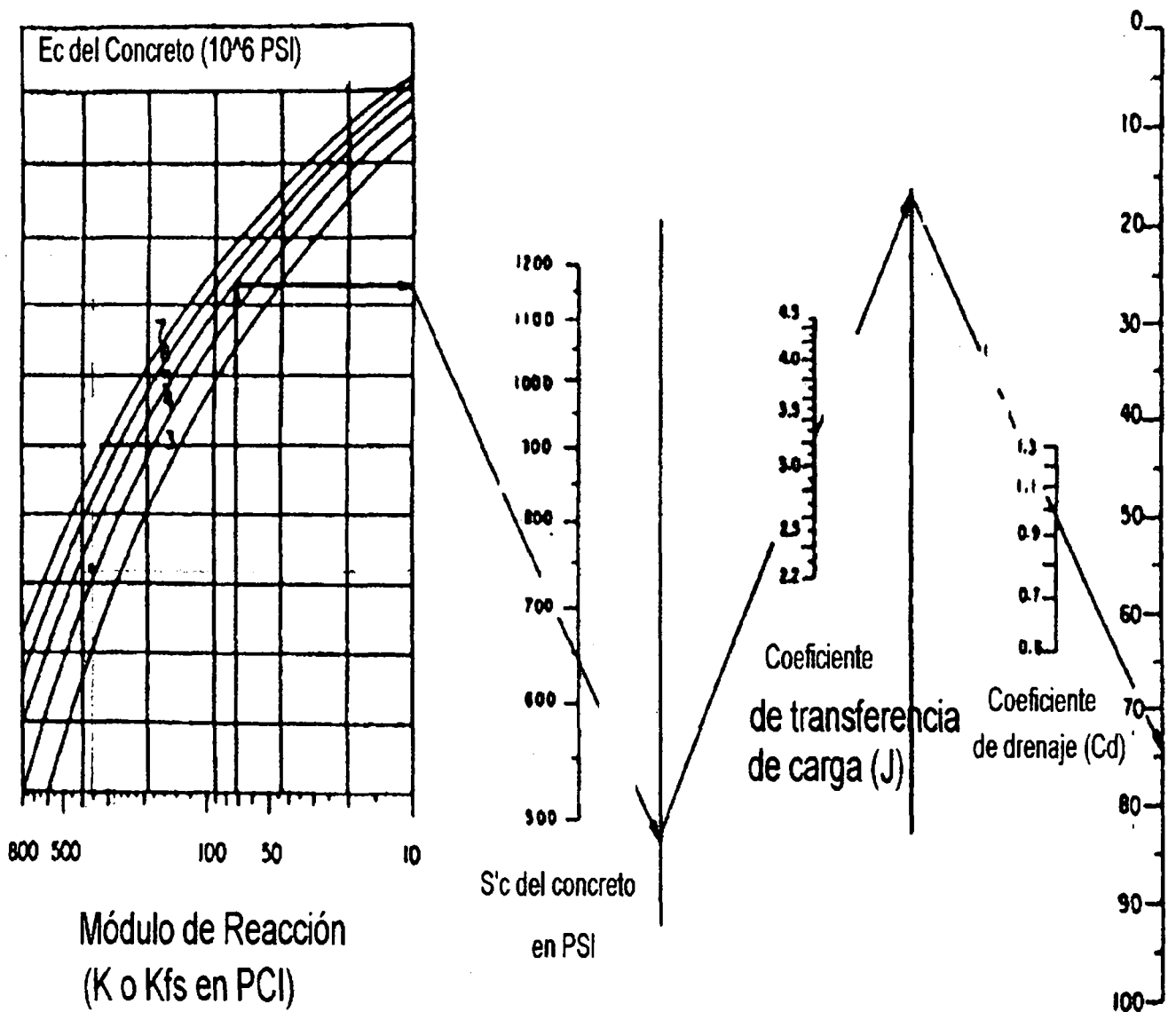
$$\text{Log}_{10}(\Sigma\text{ESAL's}) = \left\{ (Z_r \times S_o) + (7.35 \times \log_{10}(D+1) - 0.06) + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta\text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} \right\} + \left\{ (4.22 - 0.32 \times \text{XPt}) \times \log_{10} \left[ \frac{S'_{c} \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{\left( \frac{E_c}{K} \right)^{0.25}} \right]} \right] \right\} \quad (2.1)$$

En ésta ecuación la variable desconocida es el espesor de la losa de concreto hidráulico (D). La igualdad de la ecuación indica que el espesor requerido de la losa es aquel que va a soportar el tránsito equivalente acumulado para un periodo de diseño (n), entendiendo por periodo de diseño, aquel durante el cual se espera que las fallas producidas por el tráfico en el pavimento que se proyecta no alcanzan un grado superior con la comodidad del usuario. La siguiente tabla muestra los periodos de diseño (n), recomendados para diferentes tipos de vialidad, de acuerdo al volumen de tráfico al que estén sometidos:

Condiciones de la vialidad	Periodos de diseño (años)
Alto volumen urbano	30 – 50
Alto volumen rural	20 – 50
Pavimentos de bajo volumen	15 – 25
Calles residenciales	10 – 20

Tabla 2.1 Periodo de diseño. (Ref. 2)

Por tanto, el proceso de solución para la ecuación 2.1 es un proceso iterativo en el que se proponen diversos valores de espesor (D) hasta cumplir la igualdad. Esta ecuación puede solucionarse también mediante el nomograma que se muestra en la siguiente figura (fig. 2.1) que involucra todas las variables de diseño de la ecuación:



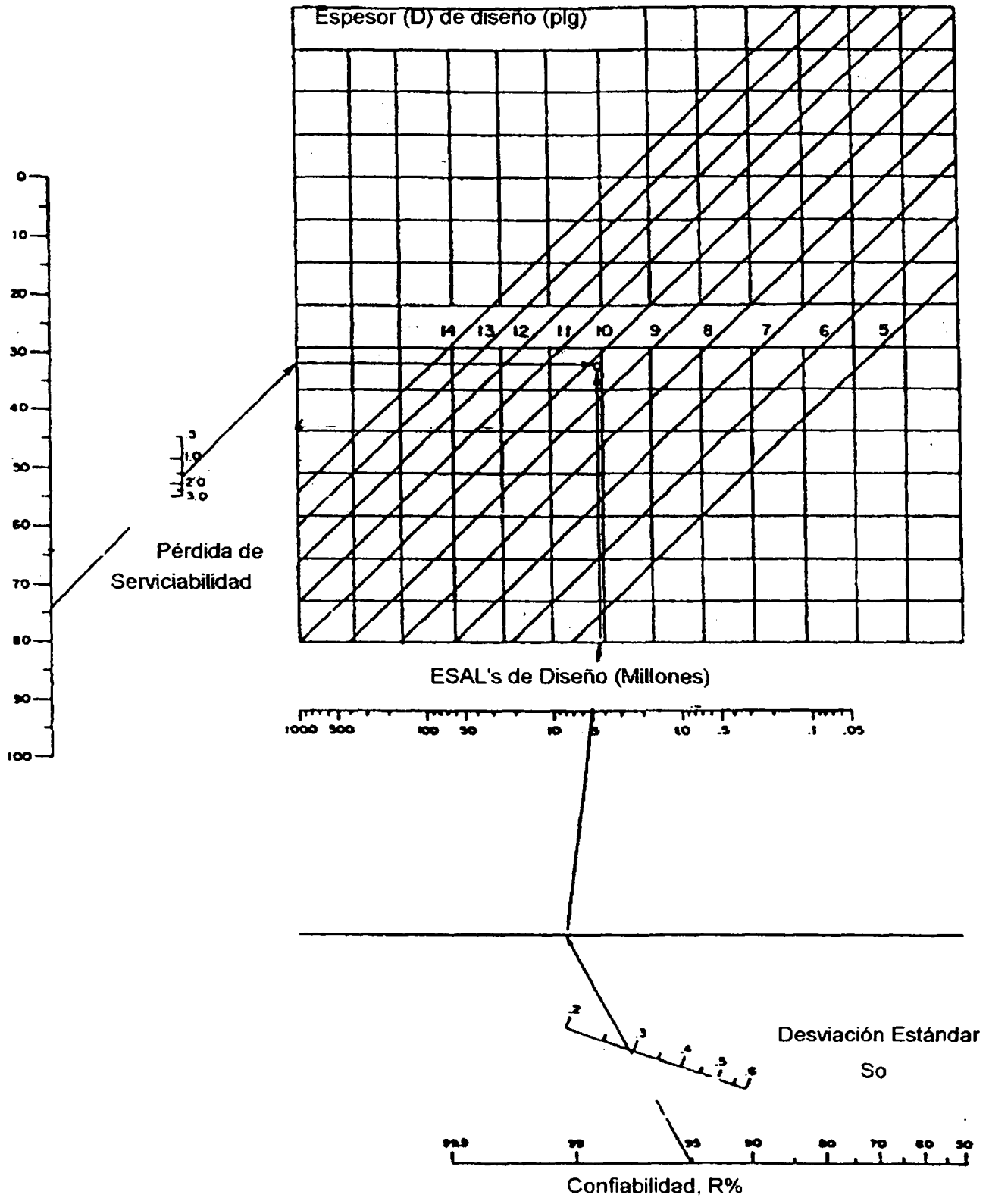


Figura 2.1 Nomograma para diseño de pavimento Rígido (Refs. 2, 9).

En cuanto al diseño de la sobrecarpeta de concreto hidráulico Whitetopping, el procedimiento de diseño debe ser usado también para establecer el espesor de la losa. Son los mismos principios de diseño y construcción que se siguen para un pavimento rígido nuevo, excepto por la evaluación, preparación y utilización de la estructura del pavimento asfáltico existente. El procedimiento de diseño de la sobrecarpeta debe ser capaz de caracterizar el soporte estructural o resistencia que el pavimento existente le proporcionará.

Por lo tanto para el diseño de la sobrecarpeta la única variación que existe en cuanto al diseño de un pavimento rígido nuevo es que en vez de utilizar el módulo de reacción de la subrasante (K), se utiliza la resistencia de toda la estructura del pavimento existente, resistencia a la que llamaremos módulo de apoyo de la cimentación o módulo de soporte de la estructura (Kfs). Esto es porque el pavimento flexible es en si visto como el soporte o cimentación para la sobrecarpeta de concreto hidráulico Whitetopping que le reforzará (rehabilitación).

Entonces, en la ecuación 2.1, para diseñar la sobrecarpeta se utilizará Kfs en vez de K. Mas adelante en el presente capítulo serán explicados ambos parámetros.

## **2.2. VARIABLES DE DISEÑO.**

A continuación se explicarán cada uno de los factores o variables que intervienen en el diseño de un pavimento rígido, de acuerdo a la ecuación AASHTO de diseño (2.1).

El lector deberá poner especial atención a la diferencia, ya mencionada, entre el diseño de un pavimento rígido nuevo y el de la sobrecarpeta Whitetopping.

### **2.2.1. Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI, Pt)**

La serviciabilidad es la habilidad de un pavimento de servir al tipo de tráfico (automóviles y/o camiones) que circulan la vía.

#### **Índice de serviciabilidad presente (PSI)**

La AASHTO llama índice de serviciabilidad presente (PSI) a lo que nosotros describimos en el capítulo 1 como el índice de servicio actual (I.S.A.), que es el mismo concepto, es decir, es una estimación de la serviciabilidad que tendrá el pavimento. Su rango va de 0 a 5, dependiendo del grado de deterioro que tendrá el pavimento. Para proseguir con el método

AASHTO, usaremos PSI como nomenclatura para la calificación de la serviciabilidad del pavimento a diseñar.

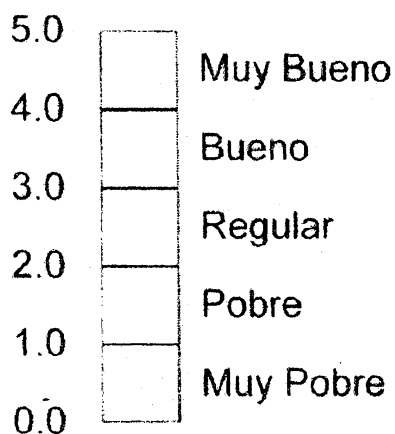


Figura 2.2. Escala PSI. (Refs. 2,9)

La estimación del PSI puede ser obtenida como se describió en la parte 1.2 del presente trabajo. Hay que mencionar que en la práctica, no existen pavimentos con  $PSI=0$  ó  $5$ .

### PSI Inicial ( $P_o$ )

Representa la condición inmediata después de la construcción. En la prueba AASHTO las Serviciabilidades iniciales ( $P_o$ ) promedio fueron:

Tipo de pavimento	$P_o$
Flexibles	4.20
Rígidos	4.50

Tabla 2.2.  $P_o$  para cada tipo de pavimento. (Refs. 2,9).

Cuando se carece de información suficiente, es muy adecuado utilizar un  $P_o = 4.5$ . Usando buenas técnicas de construcción y especificaciones adecuadas, pueden alcanzarse  $P_o$  de 4.7 ó 4.8 en los pavimentos de concreto.

### PSI Final (Pt)

Representa la condición en la cual el pavimento se considera que falló, y se necesitará de algún tipo de rehabilitación para poder seguir en servicio. Para el caso de diseño de un pavimento nuevo o una sobrecarpeta, la Serviciabilidad Final (Pt) es la condición para la cual se espera dicho pavimento alcance la falla durante su ciclo de vida o vida útil.

La Pt depende de las características y del tipo de tráfico que este sometido el pavimento.

Pt	Tipo de vialidad
2.50	Autopistas y avenidas principales
2.25	Caminos primarios, calles comerciales e industriales.
2.00	Caminos secundarios, calles residenciales y estacionamientos

Tabla 2.3. Valores recomendados de Pt dependiendo del tipo de camino o vialidad .

(Refs. 2,9)

### Pérdida de la serviciabilidad ( $\Delta$ PSI)

La ecuación de diseño AASHTO (2.1), describe una familia de curvas que predicen la pérdida de serviciabilidad del pavimento ( $\Delta$ PSI) bajo varios niveles de tráfico y de cargas de ejes. Esta  $\Delta$ PSI es la diferencia entre  $P_o$  y  $P_t$ .

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t \quad (2.2)$$

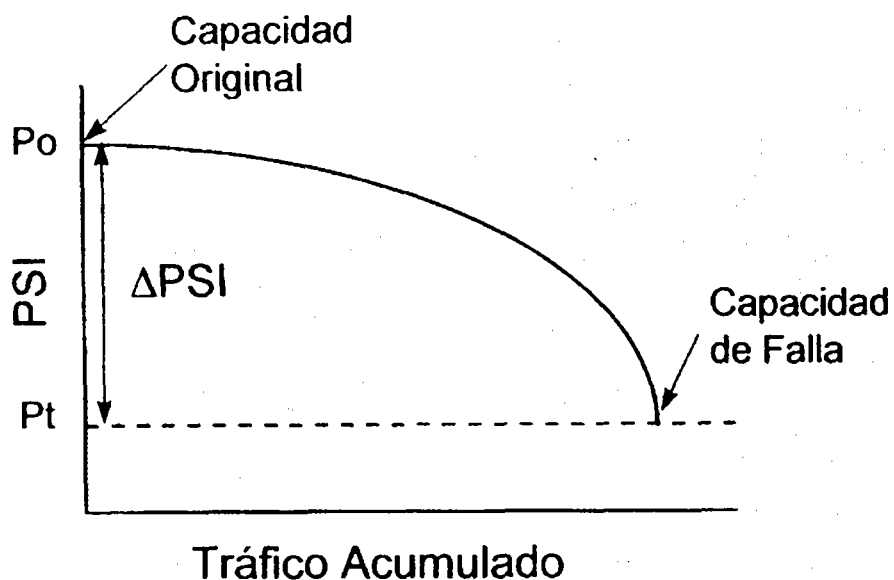


Figura 2.3 Gráfica que muestra la Pérdida de Serviabilidad del pavimento de acuerdo al tráfico acumulado. (Refs. 2,9).

Entre mayor sea la Pérdida de Serviabilidad  $\Delta PSI$ , mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar.

### 2.2.2. Tráfico ( $\Sigma ESAL$ 's)

El tráfico que circula por una vialidad, está compuesto por una gran variedad de vehículos, con diferentes configuraciones de ejes y cargas.

El método de diseño AASHTO considera este tráfico mezclado transformándolo a ejes sencillos equivalentes acumulados (ESAL por sus siglas en inglés: Equal Single Axle Loads).

#### 2.2.2.1. Ejes Sencillos Equivalentes Acumulados de diseño.

Para el diseño del espesor del nuevo pavimento se deberá conocer el número peso de todos los ejes esperados durante su vida de diseño, convertidos a ejes equivalentes de 18 kips (8.2 ton).

El espesor del pavimento viene regido por el número de repeticiones de carga de un vehículo estándar o de carga por eje de peso nominal, usualmente de 8.2 ton. Así, toda la distribución de vehículos o de ejes sencillos, tandem, o triples, se transforman a los citados ejes nominales

de 8.2 ton. (18 kips) mediante los factores de carga por eje equivalente, FCEE. A tales ejes ya normalizados se les denomina comúnmente ESAL's.

Las repeticiones de una carga por ejes cualquiera, sencilla, o cargas de ejes múltiples (tandem, tridem), se multiplica por los FCEE correspondientes para obtener los efectos de los ejes reales en términos de ejes normalizados o ESAL's. Es este valor de tráfico el que se utiliza en el diseño. Evidentemente, dada la gran variedad en configuración e intensidades de carga que representa la gran diversidad de vehículos en nuestros días, este método de análisis se ha vuelto muy popular. Resultados experimentales obtenidos desde los años cincuenta en los Estados Unidos sugirieron que el efecto de daño provocado por una masa cualquiera (usualmente denominada carga) puede ser representado por un número de ejes de peso conocido. Esta es la razón por la cual se introduce el concepto de FCEE, el cual define el daño causado en un pavimento por el paso de un eje sencillo en relación con el daño causado por el paso de una carga por un eje estándar de peso conocido. Por ejemplo, una aplicación de un eje sencillo de 6 ton provoca un daño igual a 0.23 aplicaciones de un eje de 8.2 ton (18 kips). El tramo experimental AASHTO, por ejemplo, indica que fueron necesarias 4 pasadas de un eje de 6 ton. para inducir el mismo daño (o reducir el índice de servicio) que el producido por el eje estándar.

#### **2.2.2.2. Obtención de los Ejes Equivalentes Acumulados de Diseño ( $\Sigma$ ESAL's).**

Para el diseño del nuevo pavimento o de la sobrecarpeta se necesita el cálculo de los ejes sencillos equivalentes acumulados ( $\Sigma$ ESAL's) que son esperados para un determinado periodo (n) de análisis de diseño.

Los  $\Sigma$ ESAL's pueden ser obtenidos a partir de la siguiente expresión:

$$\Sigma \text{ESAL's} = (\%C_i \times \text{TPDA} \times 365 \times \text{CT} \times \text{FCEE}) \times F_c \quad (2.3)$$

A continuación se explican cada uno de los parámetros involucrados en la ecuación 2.3:

**%Ci**

Es la proporción (porcentaje) de cada uno de los tipos de vehículos del TPDA evaluado para diseño. De acuerdo a la clasificación de la SCT, los vehículos se agrupan en las siguientes categorías:

<b>Clasificación</b>	<b>Tipo de vehículo</b>
A	Automóviles, pick-ups y 3 ton (camiones ligeros)
B	Autobuses urbanos y foráneos
C	Camiones(incluye tractores de trailers)
C R	Camiones con remolque
T S	Tractor de trailer con semiremolque
T S R	Tractor de trailer con semiremolque y remolque

Tabla 2.4 Clasificación vehicular (SCT)

La clasificación vehicular anterior, es a la vez la nomenclatura con que se designa a cada vehículo, la nomenclatura consiste en la letra seguida del número de los ejes individuales de cada vehículo tenemos así que C3 indica un camión de 3 ejes y que T2 S2 indica un tractor de trailer de 2 ejes con semiremolque de 2 ejes.

En las tablas siguientes (tablas 2.5.i.j) se muestra para cada tipo de vehículo, de acuerdo a la clasificación ya mencionada los valores de su carga tanto máxima como a vehículo vacío para cada uno de sus arreglos o conjunto de ejes que pueden ser: sencillos, tandem o doble, tridem o triples. Los valores anteriores pueden obtenerse para los distintos tipos de caminos: A, para un TPDA mayor de 1500 vehículos, B, para un TPDA de 500 a 1500 vehículos, C, para un TPDA de 50 a 500 vehículos.



**T3-S1-R2**  
 Tractor de tres ejes con  
 semirremolque de un eje y  
 remolque de dos ejes

		PESO DEL VEHICULO				
		CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO
CAMINO A	No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
	1	Sen	5,5	12,1	4,0	8,8
	2	Tan	18,0	39,7	4,0	8,8
	3	Sen	10,0	22,0	2,5	5,5
	4	Sen	10,0	22,0	2,3	5,1
	5	Sen	10,0	22,0	2,2	4,9
	<b>Suma</b>			53,5	117,9	15,0

Tabla 2.5.1.1



**T3-S2-R2**  
 Tractor de tres ejes con  
 Semirremolque de dos ejes y  
 Remolque de dos ejes

		PESO DEL VEHICULO				
		CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO
CAMINO A	No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
	1	Sen	5,5	12,1	4,0	8,8
	2	Tan	18,0	39,7	4,0	8,8
	3	Tan	18,0	39,7	3,5	7,7
	4	Sen	10,0	22,0	2,3	5,1
	5	Sen	10,0	22,0	2,2	4,9
	<b>Suma</b>			61,5	135,6	16,0

Tabla 2.5.1.2

**T3-S2-R3**

**Tractor de tres ejes con  
semirremolque de dos ejes y  
remolque de tres ejes**

		PESO DE VEHICULO				
		CARGA MAXIMA		VACIO		
CAMINO A	CONJUNTO		TON	KIPS	TON	KIPS
	No.	TIPO				
	1	Sen	5,5	12,1	4,0	8,8
	2	Tan	18,0	39,7	4,0	8,8
	3	Tan	18,0	39,7	3,5	7,7
	4	Sen	10,0	22,0	2,3	5,1
	5	Tan	18,0	39,7	3,2	7,1
<b>Suma</b>		<b>69,5</b>	<b>153,2</b>	<b>17,0</b>	<b>37,5</b>	

Tabla 2.5.1.3

**T3-S2-R4**

**Tractor de tres ejes con  
Semirremolque de dos ejes y  
Remolque de cuatro ejes**

		PESO DE VEHICULO				
		CARGA MAXIMA		VACIO		
CAMINO A	CONJUNTO		TON	KIPS	TON	KIPS
	No.	TIPO				
	1	Sen	5,5	12,1	4,0	8,8
	2	Tan	18,0	39,7	4,0	8,8
	3	Tan	18,0	39,7	3,5	7,7
	4	Tan	18,0	39,7	3,3	7,3
	5	Tan	18,0	39,7	3,2	7,1
<b>Suma</b>		<b>77,5</b>	<b>170,9</b>	<b>18,0</b>	<b>39,7</b>	

Tabla 2.5.1.4



**C2-R2**  
Camión de dos ejes con  
Remolque de dos ejes

CONJUNTO		PESO DEL VEHICULO			
		CARGA MAXIMA		VACIO	
No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
1	Sen	5,5	12,1	3,5	7,7
2	Sen	10,0	22,0	3,0	6,6
3	Sen	10,0	22,0	2,0	4,4
4	Sen	10,0	22,0	2,0	4,4
<b>Suma</b>		35,5	78,3	10,5	23,1

Tabla 2.5.2.1



**C3-R2**  
Camión de tres ejes con  
Remolque de dos ejes

CONJUNTO		PESO DEL VEHICULO			
		CARGA MAXIMA		VACIO	
No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
1	Sen	5,5	12,1	4,0	8,8
2	Tan	18,0	39,7	4,5	9,9
3	Sen	10,0	22,0	2,0	4,4
4	Sen	10,0	22,0	2,0	4,4
<b>Suma</b>		43,5	95,9	12,5	27,6

Tabla 2.5.2.2



**C3-R3**  
Camión de tres ejes con  
remolque de tres ejes

CONJUNTO		PESO DEL VEHICULO				
		CARGA MAXIMA		VACIO		
CAMINO A	No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
	1	Sen	5,5	12,1	4,0	8,8
	2	Tan	18,0	39,7	4,5	9,9
	3	Sen	10,0	22,0	2,0	4,4
	4	Tan	18,0	39,7	3,0	6,6
	<b>Suma</b>			51,5	113,5	13,5

Tabla 2.5.2.3



**T2-S1-R2**  
Tractor de dos ejes con  
Semirremolque de un eje y  
Remolque de dos ejes

CONJUNTO		PESO DEL VEHICULO				
		CARGA MAXIMA		VACIO		
CAMINO A	No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
	1	Sen	5,5	12,1	3,2	7,1
	2	Sen	10,0	22,0	3,4	7,5
	3	Sen	10,0	22,0	2,4	5,3
	4	Sen	10,0	22,0	2,3	5,1
	5	Sen	10,0	22,0	2,2	4,9
<b>Suma</b>			45,5	100,3	13,5	29,8

Tabla 2.5.2.4



**T2-S2-R2**  
**Tractor de dos ejes con**  
**Semirremolque de dos ejes y**  
**Remolque de dos ejes**

		PESO DEL VEHICULO				
		CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO
CAMINO A	No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
	1	Sen	5,5	12,1	4	8,8
	2	Sen	10	22	4	8,8
	3	Tan	18	39,7	3,5	7,7
	4	Sen	10	22	2,3	5,1
	5	Sen	10	22	2,2	4,9
	<b>Suma</b>			53,5	117,9	16

Tabla 2.5.2.5



**C3**  
**Camion de tres ejes**

		PESO DEL VEHICULO				
		CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO
CAMINO A	No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
	1	Sen	5,5	12,1	4,0	8,8
	2	Tan	18,0	39,7	4,5	9,9
<b>Suma</b>			23,5	51,8	8,5	18,7
CAMINO B	1	Sen	5,0	11,0	3,8	8,4
	2	Tan	15,0	33,1	4,2	9,3
	<b>Suma</b>			20,0	44,1	8,0
CAMINO C	1	Sen	4,0	8,8	3,5	7,7
	2	Tan	14,0	30,9	4,0	8,8
	<b>Suma</b>			18,0	39,7	7,5

Tabla 2.5.3.1



**C4**  
**Camion de cuatro ejes**

		PESO DEL VEHICULO				
		CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO
CAMINO A	No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
	1	Sen	5,5	12,1	4,5	9,9
	2	Tri	22,5	49,6	8	17,6
	<b>Suma</b>		28	61,7	12,5	27,6

Tabla 2.5.3.2



**T2-S1**  
**Tractor de dos ejes con  
Semirremolque de un eje**

		PESO DEL VEHICULO				
		CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO
CAMINO A	No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
	1	Sen	5,5	12,1	3,2	7,1
	2	Sen	10,0	22,0	3,4	7,5
	3	Sen	10,0	22,0	3,4	7,5
<b>Suma</b>		25,5	56,2	10,0	22,0	
CAMINO B	1	Sen	5,0	11,0	3	6,6
	2	Sen	9,0	19,8	3	6,6
	3	Sen	9,0	19,8	3	6,6
	<b>Suma</b>		23,0	50,7	9,0	19,8

Tabla 2.5.3.3



T2-S2

Tractor de dos ejes con  
Semirremolque de dos  
ejes

		PESO DEL VEHICULO					
		CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO	
		No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
		CAMINO A	1	Sen	5,5	12,1	4,0
2	Sen		10,0	22,0	3,5	7,7	
3	Tan		18,0	39,7	4,0	8,8	
Suma				33,5	73,9	11,5	25,4
CAMINO B	1	Sen	5,0	11,0	3,4	7,5	
	2	Sen	9,0	19,8	3,4	7,5	
	3	Tan	15,0	33,1	3,7	8,2	
	Suma			29,0	63,9	10,5	23,1

Tabla 2.5.3.4



T3-S2

Tractor de tres ejes con  
Semirremolque de dos ejes

		PESO DEL VEHICULO					
		CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO	
		No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
		CAMINO A	1	Sen	5,5	12,1	4,0
2	Tan		18,0	39,7	4,0	8,8	
3	Tan		18,0	39,7	4,0	8,8	
Suma				41,5	91,5	12,0	26,4
CAMINO B	1	Sen	5,0	11,0	3,5	7,7	
	2	Tan	15,0	33,1	4,0	8,8	
	3	Tan	15,0	33,1	4,0	8,8	
	Suma			35,0	77,2	11,5	25,4

Tabla 2.5.3.5



**T3-S3**  
Tractor de tres ejes con  
semirremolque de tres  
ejes

		PESO DEL VEHICULO				
		CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO
		No.	TIPO	TON	KIPS	TON
<b>CAMINO A</b>	1	Sen	5,5	12,1	4,0	8,8
	2	tan	18,0	39,7	4,0	8,8
	3	tri	22,5	49,6	5,0	11
	SUMA		46	101,4	13,0	28,7

Tabla 2.5.3.6



**A2**  
Automóvil

		PESO DEL VEHICULO				
		CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO
		No.	TIPO	TON	KIPS	TON
<b>CAMINO A,B,C</b>	1	Sen	1,0	2,2	0,6	1,3
	2	Sen	1,0	2,2	0,6	1,3
	Suma		2,0	4,4	1,2	2,6

Tabla 2.5.4.1



**A'2**  
**Camión Ligero**

<b>CAMINO A,B,C</b>	<b>PESO DEL VEHICULO</b>					
	<b>CONJUNTO</b>		<b>CARGA MAXIMA</b>		<b>VACIO</b>	
	<b>No.</b>	<b>TIPO</b>	<b>TON</b>	<b>KIPS</b>	<b>TON</b>	<b>KIPS</b>
	1	Sen	1,7	3,7	1,3	2,9
2	Sen	3,8	8,4	1,2	2,6	
<b>Suma</b>		5,5	12,1	2,5	5,5	

Tabla 2.5.4.2



**B2**  
**Autobús de dos ejes**

<b>CAMINO A</b>	<b>PESO DEL VEHICULO</b>					
	<b>CONJUNTO</b>		<b>CARGA MAXIMA</b>		<b>VACIO</b>	
	<b>No.</b>	<b>TIPO</b>	<b>TON</b>	<b>KIPS</b>	<b>TON</b>	<b>KIPS</b>
	1	Sen	5,5	12,1	3,5	7,7
2	Sen	10,0	22,1	7,0	15,4	
<b>Suma</b>		15,5	34,2	10,5	23,1	
<b>CAMINO B</b>						
	1	Sen	5,0	11,0	3,5	7,7
	2	Sen	9,0	19,8	6,5	14,3
	<b>Suma</b>		14,0	30,8	10,0	22,0
<b>CAMINO C</b>						
	1	Sen	4,0	8,8	3,0	6,6
	2	Sen	6,0	13,2	6,0	13,2
	<b>Suma</b>		10,0	22,0	9,0	19,8

Tabla 2.5.4.3



**B3**  
Autobús de tres ejes

CAMINO	PESO DEL VEHICULO					
	CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO	
	No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
CAMINO A	1	Sen	5,5	12,1	4,0	8,8
	2	Tan	14,0	30,9	8,0	17,6
	Suma		19,5	43,0	12,0	26,5
CAMINO B	1	Sen	5,0	11,0	4,0	8,8
	2	Tan	14,0	30,9	7,5	16,5
	Suma		19,0	41,9	11,5	25,4
CAMINO C	1	Sen	4,0	8,8	3,5	7,7
	2	Tan	14,0	30,9	7,5	16,5
	Suma		18,0	39,7	11,0	24,3

Tabla 2.5.4.4



**B4**  
Autobús de cuatro ejes

CAMINO	PESO DEL VEHICULO					
	CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO	
	No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
CAMINO A	1	Tan	7,0	15,4	5,0	11,0
	2	Tan	14,0	30,9	8,0	17,6
	Suma		21,0	46,3	13,0	28,7
CAMINO B	1	Tan	7,0	15,4	5,0	11,0
	2	Tan	14,0	30,9	8,0	17,6
	Suma		21,0	46,3	13,0	28,7
CAMINO C	1	Tan	7	15,4	5	11
	2	Tan	14	30,9	8	17,6
	Suma		21	46,3	13	28,7

Tabla 2.5.4.5



**C2**  
**Camión de dos ejes**

CAMINO	A	PESO DEL VEHICULO					
		CONJUNTO		CARGA MAXIMA		VACIO	
		No.	TIPO	TON	KIPS	TON	KIPS
	1	Sen	5,5	12,1	3,5	7,7	
	2	Sen	10,0	22,0	3,0	6,6	
	<b>Suma</b>		15,5	34,2	6,5	14,3	
CAMINO	B						
		1	Sen	5,0	11,0	3,0	6,6
		2	Sen	9,0	19,8	3,0	6,6
		<b>Suma</b>		14,0	30,9	6,0	13,2
CAMINO	C						
		1	Sen	4,0	8,8	2,5	5,5
		2	Sen	8,0	17,6	2,5	5,5
		<b>Suma</b>		12,0	26,5	5,0	11,0

Tabla 2.5.4.6

En algunos proyectos de diseño es conveniente separar el porcentaje total de cada uno de los tipos de los vehículos del TPDA evaluado, en una porción en que se les considere, vacíos y otra del mismo porcentaje total en el que se les considere con la carga máxima. Con estas consideraciones se hacen los cálculos para obtener los  $\Sigma$ ESAL's.

#### **TPDA.**

Es el tránsito promedio diario anual evaluado para el diseño y representa el promedio de vehículos que circulan por una vialidad durante un día. Para el conteo de los vehículos el método más empleado es el automático, que consiste en un tubo de hule cerrado en un extremo por una membrana. El tubo se coloca transversalmente a la vía y al paso de cada eje de un vehículo sobre el tubo de aire sobre la membrana que establece un contacto eléctrico con un aparato que va sumando el número de impulsos recibidos. Los contadores automáticos tienen la desventaja de que no pueden clasificarse los vehículos por tipo, cosa que si es

factible cuando el conteo se hace manual. Sin embargo, el conteo manual es caro ya que se necesita alrededor de una persona por cada mil vehículos por hora en la vía. (Ref. 10).

### 365.

Al multiplicar  $365 \times \text{TPDA}$  se obtiene el número de vehículos que circulan en el primer año.

### CT.

Es el coeficiente de acumulación del tráfico para una tasa del crecimiento ( $g$ ) en el periodo de diseño ( $n$ ). Puede calcularse como se muestra a continuación:

$$CT = \frac{(1+g)^n - 1}{g} \quad (2.4)$$

Donde:

$g$  = factor de crecimiento

$n$  = periodo de análisis o de diseño (años).

El factor ( $g$ ) o tasa de crecimiento, es un valor porcentual que indica el aumento que sufre o ha sufrido el tráfico en una vialidad determinada de acuerdo a los estudios de tránsito hechos después de un determinado lapso de tiempo. El tráfico puede mantenerse constante, incrementar linealmente o exponencialmente de acuerdo a la clasificación del camino como se muestra en la siguiente tabla:

<b>Clasificación del camino</b>	<b>Tipo de crecimiento</b>
Vía de acceso controlado	Exponencial, lineal
Arteria	Exponencial, lineal
Arteria menor	Lineal
Colector	Lineal
Calle local	Cero crecimiento

Tabla 2.6 Crecimiento del tráfico de acuerdo al tipo de camino. (Ref. 9)

El valor de la tasa de crecimiento ( $g$ ), varía típicamente con valores de 0 a 10%. Si  $g=0$ , significa que no hay crecimiento, entonces el valor del coeficiente de acumulación del tráfico CT será igual al periodo de diseño ( $CT=n$ ).

Por otra parte el coeficiente de acumulación del tráfico (CT) puede ser obtenido también a partir de la tabla (2.7).

FACTORES DE CRECIMIENTO DEL TRAFICO								
Periodo de Análisis n (años)	Crecimiento Anual Estimado, g(%)							
	0%	2%	4%	5%	6%	7%	8%	10%
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	2,00	2,02	2,04	2,05	2,06	2,07	2,08	2,10
3	3,00	3,06	3,12	3,15	3,18	3,21	3,25	3,31
4	4,00	4,12	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,64
5	5,00	5,20	5,42	5,53	5,64	5,75	5,87	6,11
15	15,00	17,29	20,02	21,58	23,28	25,13	27,15	31,77
16	16,00	18,64	21,82	23,66	25,67	27,89	30,32	35,95
17	17,00	20,01	23,70	25,64	28,21	30,84	33,75	40,54
18	18,00	21,41	25,65	28,13	30,91	34,00	37,45	45,60
19	19,00	22,84	27,67	30,54	33,76	37,38	41,45	51,16
20	20,00	24,30	29,78	33,07	36,79	41,00	45,76	57,27
21	21,00	25,78	31,97	35,72	39,99	44,87	50,42	64,00
22	22,00	27,30	34,25	38,51	43,39	49,01	55,46	71,40
23	23,00	28,84	36,62	41,43	47,00	53,44	60,89	79,54
24	24,00	30,42	39,08	44,50	50,82	58,18	66,76	88,50
25	25,00	32,03	41,65	47,73	54,86	63,25	73,11	98,35

Tabla 2.7 Valores del coeficiente de acumulación del tráfico (CT). (Ref. 11)

### FCEE.

Son los factores de carga de ejes equivalentes descritos ya en este capítulo. De manera breve podemos decir que los factores de equivalencia se basan en el daño relativo que produce cierto eje en el pavimento, comparado contra el daño que produce un eje de 18 kips (8.2ton).

Los FCEE dependen de:

- Tipo de pavimento: si es flexible o rígido.
- Espesor del pavimento(D): Es el que corresponde al pavimento a diseñar. Se propone por tanteos.
- Tipo de arreglo de ejes de cada tipo de vehículo: Sencillo, tandem o tridem.
- Carga del arreglo de eje: Carga máxima o vacía.(Tablas 2.5.i.j)
- Serviciabilidad final del pavimento (a diseñar).

De acuerdo con las anteriores consideraciones los FCEE pueden ser obtenidos a través de tablas según la guía AASHTO (1993). Se muestran a continuación las tablas (Tablas 2.8.i) correspondientes a los FCEE para pavimentos rígidos ya que son los que se usan para el diseño de la sobrecarpeta.

Ejes Triples

Pt= 3.0

Carga en eje (kips)	Espesor de Pavimento, D (plg)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
4	.0004	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003
6	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	.003	.003	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
10	.007	.006	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005
12	.013	.011	.010	.009	.009	.009	.009	.009	.009
14	.023	.020	.018	.017	.017	.016	.016	.016	.016
16	.039	.033	.030	.028	.028	.027	.027	.027	.027
18	.061	.052	.047	.045	.044	.044	.043	.043	.043
20	.091	.078	.071	.068	.067	.066	.066	.066	.066
22	.132	.114	.104	.100	.098	.097	.097	.097	.097
24	.183	.161	.148	.143	.140	.139	.139	.138	.138
26	.246	.221	.205	.198	.195	.193	.193	.192	.192
28	.322	.296	.277	.268	.265	.263	.262	.262	.262
30	.411	.387	.367	.357	.353	.351	.350	.349	.349
32	.515	.495	.476	.466	.462	.460	.459	.458	.458
34	.634	.622	.607	.599	.595	.594	.593	.592	.592
36	.772	.768	.762	.758	.756	.756	.755	.755	.755
38	.930	.934	.942	.947	.949	.950	.951	.951	.951
40	1.11	1.12	1.15	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
42	1.32	1.33	1.38	1.42	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46
44	1.56	1.56	1.64	1.71	1.75	1.77	1.78	1.78	1.78
46	1.84	1.83	1.94	2.04	2.10	2.14	2.15	2.16	2.16
48	2.16	2.12	2.26	2.41	2.51	2.56	2.58	2.59	2.60
50	2.53	2.45	2.61	2.82	2.96	3.03	3.07	3.09	3.10
52	2.95	2.82	3.01	3.27	3.47	3.58	3.63	3.66	3.68
54	3.43	3.23	3.43	3.77	4.03	4.18	4.27	4.31	4.33
56	3.98	3.70	3.90	4.31	4.65	4.86	4.98	5.04	5.07
58	4.59	4.22	4.42	4.90	5.34	5.62	5.78	5.86	5.90
60	5.28	4.80	4.99	5.54	6.08	6.45	6.66	6.78	6.84
62	6.06	5.45	5.61	6.23	6.89	7.36	7.6	7.80	7.88
64	6.92	6.18	6.29	6.98	7.76	8.36	8.72	8.93	9.04
66	7.89	6.98	7.05	7.78	8.70	9.44	9.91	10.18	10.33
68	8.96	7.88	7.87	8.66	9.71	10.61	11.20	11.55	11.75
70	10.2	8.9	8.8	9.6	10.8	11.9	12.6	13.1	13.3
72	11.5	10.0	9.8	10.6	12.0	13.2	14.1	14.7	15.0
74	12.9	11.2	10.9	11.7	13.2	14.7	15.8	16.5	16.9
76	14.5	12.5	12.1	12.9	14.5	16.2	17.5	18.4	18.9
78	16.2	13.9	13.4	14.2	15.9	17.8	19.4	20.5	21.1
80	18.2	15.5	14.8	15.6	17.4	19.6	21.4	22.7	23.5
82	20.2	17.2	16.4	17.2	19.1	21.4	23.5	25.1	26.1
84	22.5	19.1	18.1	18.8	20.8	23.4	25.8	27.6	28.8
86	25.0	21.2	19.9	20.6	22.6	25.5	28.2	30.4	31.8
88	27.6	23.4	21.9	22.5	24.6	27.7	30.7	33.2	35.0
90	30.5	25.8	24.1	24.6	26.8	30.0	33.4	36.3	38.3

TABLA 2.8.1 FCEE

Eje Tandem Pt= 3.0

Carga en eje (Kips)	Espesor de Pavimento, D (plg)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
4	.0007	.0006	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005
6	.003	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
8	.008	.006	.006	.006	.005	.005	.005	.005	.005
10	.018	.015	.013	.013	.013	.012	.012	.012	.012
12	.036	.030	.027	.026	.026	.025	.025	.025	.025
14	.066	.056	.050	.048	.047	.047	.047	.047	.047
16	.111	.095	.087	.083	.081	.081	.081	.080	.080
18	.174	.153	.140	.135	.132	.131	.131	.131	.131
20	.260	.234	.217	.209	.205	.204	.203	.203	.203
22	.368	.341	.321	.311	.307	.305	.304	.303	.303
24	.502	.479	.458	.447	.443	.440	.440	.439	.439
26	.664	.651	.634	.625	.621	.619	.618	.618	.618
28	.859	.857	.853	.851	.850	.850	.850	.849	.849
30	1.09	1.10	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.38	1.38	1.44	1.47	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51
34	1.72	1.71	1.80	1.88	1.93	1.95	1.96	1.97	1.97
36	2.13	2.10	2.23	2.36	2.45	2.49	2.51	2.52	2.52
38	2.62	2.54	2.71	2.92	3.06	3.13	3.17	3.19	3.20
40	3.21	3.05	3.26	3.55	3.76	3.89	3.95	3.98	4.00
42	3.90	3.65	3.87	4.26	4.58	4.77	4.87	4.92	4.95
44	4.72	4.35	4.57	5.06	5.50	5.78	5.94	6.02	6.06
46	5.68	5.16	5.36	5.95	6.54	6.94	7.17	7.29	7.36
48	6.80	6.10	6.25	6.93	7.69	8.24	8.57	8.76	8.86
50	8.09	7.17	7.26	8.03	8.96	9.70	10.17	10.43	10.58
52	9.57	8.41	8.40	9.24	10.36	11.32	11.96	12.33	12.54
54	11.3	9.8	9.7	10.6	11.9	13.1	14.0	14.5	14.8
56	13.2	11.4	11.2	12.1	13.6	15.1	16.2	16.9	17.3
58	15.4	13.2	12.8	13.7	15.4	17.2	18.6	19.5	20.1
60	17.9	15.3	14.7	15.6	17.4	19.5	21.3	22.5	23.2
62	20.6	17.6	16.8	17.6	19.6	22.0	24.1	25.7	26.6
64	23.7	20.2	19.1	19.9	22.0	24.7	27.3	29.2	30.4
66	27.2	23.1	21.7	22.4	24.6	27.6	30.6	33.0	34.6
68	31.1	26.3	24.6	25.2	27.4	30.8	34.3	37.1	39.2
70	35.4	29.8	27.8	28.2	30.6	34.2	38.2	41.6	44.1
72	40.1	33.8	31.3	31.6	34.0	37.9	42.3	46.4	49.4
74	45.3	38.1	35.2	35.4	37.7	41.8	46.8	51.5	55.2
76	51.1	42.9	39.5	39.5	41.8	46.1	51.5	56.9	61.3
78	57.4	48.2	44.3	44.0	46.3	50.7	56.6	62.7	67.9
80	64.3	53.9	49.4	48.9	51.1	55.8	62.1	68.9	74.9
82	71.8	60.2	55.1	54.3	56.5	61.2	67.9	75.5	82.4
84	80.0	67.0	61.2	60.2	62.2	67.0	74.2	82.4	90.3
86	89.0	74.5	67.9	66.5	68.5	73.4	80.8	89.8	98.7
88	98.7	82.5	75.2	73.5	75.3	80.2	88.0	97.7	107.5
90	109.	91.	83.	81.	83.	88.	96.	106.	117.

TABLA 2.8.2 FCEE

Ejes Sencillos

Pt= 3.0

Carga en eje (Kips)	Espesor de Pavimento, D (plg)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	.0003	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	.003	.003	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
6	.014	.012	.011	.010	.010	.010	.010	.010	.010
8	.045	.038	.034	.033	.032	.032	.032	.032	.032
10	.111	.095	.087	.083	.081	.081	.080	.080	.080
12	.228	.202	.186	.179	.176	.174	.174	.174	.173
14	.408	.378	.355	.344	.340	.337	.337	.336	.336
16	.660	.640	.619	.608	.603	.600	.599	.599	.599
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.46	1.47	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59
22	2.07	2.06	2.18	2.29	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41
24	2.90	2.81	3.00	3.23	3.38	3.47	3.51	3.53	3.54
26	4.00	3.77	4.01	4.40	4.70	4.87	4.96	5.01	5.04
28	5.43	4.99	5.23	5.80	6.31	6.65	6.83	6.93	6.98
30	7.27	6.53	6.72	7.46	8.25	8.83	9.17	9.36	9.46
32	9.59	8.47	8.53	9.42	10.54	11.44	12.03	12.37	12.56
34	12.5	10.9	10.7	11.7	13.2	14.5	15.5	16.0	16.4
36	16.0	13.8	13.4	14.4	16.2	18.1	19.5	20.4	21.0
38	20.4	17.4	16.7	17.7	19.8	22.2	24.2	25.6	26.4
40	25.6	21.8	20.6	21.5	23.8	26.8	29.5	31.5	32.9
42	31.8	26.9	25.3	26.0	28.5	32.0	35.5	38.4	40.3
44	39.2	33.1	30.8	31.3	33.9	37.9	42.3	46.1	48.8
46	47.8	40.3	37.2	37.5	40.1	44.5	49.8	54.7	58.5
48	57.9	48.6	44.8	44.7	47.3	52.1	58.2	64.3	69.4
50	69.6	58.4	53.6	53.1	55.6	60.6	67.6	75.0	81.4

TABLA 2.8.3 FCEE

Eje Triple

Pt= 2.5

Carga en eje (Klips)	Espesor de Pavimento, D (plg)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
4	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003
6	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	.003	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
10	.006	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005
12	.011	.010	.010	.009	.009	.009	.009	.009	.009
14	.020	.018	.017	.017	.016	.016	.016	.016	.016
16	.033	.030	.029	.028	.027	.027	.027	.027	.027
18	.053	.048	.045	.044	.044	.043	.043	.043	.043
20	.080	.073	.069	.067	.066	.066	.066	.066	.066
22	.116	.107	.101	.099	.098	.097	.097	.097	.097
24	.163	.151	.144	.141	.139	.139	.138	.138	.138
26	.222	.209	.200	.195	.194	.193	.192	.192	.192
28	.295	.281	.271	.265	.263	.262	.262	.262	.262
30	.384	.371	.359	.354	.351	.350	.349	.349	.349
32	.490	.480	.468	.463	.460	.459	.458	.458	.458
34	.616	.609	.601	.596	.594	.593	.592	.592	.592
36	.765	.762	.759	.757	.756	.755	.755	.755	.755
38	.939	.941	.946	.948	.950	.951	.951	.951	.951
40	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
42	1.38	1.38	1.41	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46
44	1.65	1.65	1.70	1.74	1.77	1.78	1.78	1.78	1.79
46	1.97	1.96	2.03	2.09	2.13	2.15	2.16	2.16	2.16
48	2.34	2.31	2.40	2.49	2.55	2.58	2.59	2.60	2.60
50	2.76	2.71	2.81	2.94	3.02	3.07	3.09	3.10	3.11
52	3.24	3.15	3.27	3.44	3.56	3.62	3.66	3.68	3.68
54	3.79	3.66	3.79	4.00	4.16	4.26	4.30	4.33	4.34
56	4.41	4.23	4.37	4.63	4.84	4.97	5.03	5.07	5.09
58	5.12	4.87	5.00	5.32	5.59	5.76	5.85	5.90	5.93
60	5.91	5.59	5.71	6.08	6.42	6.64	6.77	6.84	6.87
62	6.80	6.39	6.50	6.9	7.33	7.62	7.79	7.88	7.93
64	7.79	7.29	7.37	7.82	8.33	8.70	8.92	9.04	9.11
66	8.90	8.28	8.33	8.83	9.42	9.88	10.17	10.33	10.42
68	10.1	9.4	9.4	9.9	10.6	11.2	11.5	11.7	11.9
70	11.5	10.6	10.6	11.1	11.9	12.6	13.0	13.3	13.5
72	13.0	12.0	11.8	12.4	13.3	14.1	14.7	15.0	15.2
74	14.6	13.5	13.2	13.8	14.8	15.8	16.5	16.9	17.1
76	16.5	15.1	14.8	15.4	16.5	17.6	18.4	18.9	19.2
78	18.5	16.9	16.5	17.1	18.2	19.5	20.5	21.1	21.5
80	20.6	18.8	18.3	18.9	20.2	21.6	22.7	23.5	24.0
82	23.0	21.0	20.3	20.9	22.2	23.8	25.2	26.1	26.7
84	25.6	23.3	22.5	23.1	24.5	26.2	27.8	28.9	29.6
86	28.4	25.8	24.9	25.4	26.9	28.8	30.5	31.9	32.8
88	31.5	28.6	27.5	27.9	29.4	31.5	33.5	35.1	36.1
90	34.8	31.5	30.3	30.7	32.2	34.4	36.7	38.5	39.8

TABLA 2.8.4 FCEE

Ejes Tandem Pt= 2.5

Carga en eje (Kips)	Espesor de Pavimento, D (plg)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
4	.0006	.0006	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005
6	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
8	.007	.006	.006	.005	.005	.005	.005	.005	.005
10	.015	.014	.013	.013	.012	.012	.012	.012	.012
12	.031	.028	.026	.026	.025	.025	.025	.025	.025
14	.057	.052	.049	.048	.047	.047	.047	.047	.047
16	.097	.089	.084	.082	.081	.081	.080	.080	.080
18	.155	.143	.136	.133	.132	.131	.131	.131	.131
20	.234	.220	.211	.206	.204	.203	.203	.203	.203
22	.340	.325	.313	.308	.305	.304	.303	.303	.303
24	.475	.462	.450	.444	.441	.440	.439	.439	.439
26	.644	.637	.627	.622	.620	.619	.618	.618	.618
28	.855	.854	.852	.850	.850	.850	.849	.849	.849
30	1.11	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.43	1.44	1.47	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.82	1.82	1.87	1.92	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97
36	2.29	2.27	2.35	2.43	2.48	2.51	2.52	2.52	2.53
38	2.85	2.80	2.91	3.03	3.12	3.16	3.18	3.20	3.20
40	3.52	3.42	3.55	3.74	3.87	3.94	3.98	4.00	4.01
42	4.32	4.16	4.30	4.55	4.74	4.86	4.91	4.95	4.96
44	5.26	5.01	5.16	5.48	5.75	5.92	6.01	6.06	6.09
46	6.36	6.01	6.14	6.53	6.90	7.14	7.28	7.36	7.40
48	7.64	7.16	7.27	7.73	8.21	8.55	8.75	8.86	8.92
50	9.11	8.50	8.55	9.07	9.68	10.14	10.42	10.58	10.66
52	10.8	10.0	10.0	10.6	11.3	11.9	12.3	12.5	12.7
54	12.8	11.8	11.7	12.3	13.2	13.9	14.5	14.8	14.9
56	15.0	13.8	13.6	14.2	15.2	16.2	16.8	17.3	17.5
58	17.5	16.0	15.7	16.3	17.5	18.6	19.5	20.1	20.4
60	20.3	18.5	18.1	18.7	20.0	21.4	22.5	23.2	23.6
62	23.5	21.4	20.8	21.4	22.8	24.4	25.7	26.7	27.3
64	27.0	24.6	23.8	24.4	25.8	27.7	29.3	30.5	31.3
66	31.0	28.1	27.1	27.6	29.2	31.3	33.2	34.7	35.7
68	35.4	32.1	30.9	31.3	32.9	35.2	37.5	39.3	40.5
70	40.3	36.5	35.0	35.3	37.0	39.5	42.1	44.3	45.9
72	45.7	41.4	39.6	39.8	41.5	44.2	47.2	49.8	51.7
74	51.7	46.7	44.6	44.7	46.4	49.3	52.7	55.7	58.0
76	58.3	52.6	50.2	50.1	51.8	54.9	58.6	62.1	64.8
78	65.5	59.1	56.3	56.1	57.7	60.9	65.0	69.0	72.3
80	73.4	66.2	62.9	62.5	64.2	67.5	71.9	76.4	80.2
82	82.0	73.9	70.2	69.6	71.2	74.7	79.4	84.4	88.8
84	91.4	82.4	78.1	77.3	78.9	82.4	87.4	93.0	98.1
86	102.	92.	87.	86.	87.	91.	96.	102.	108.
88	113.	102.	96.	95.	96.	100.	105.	112.	119.
90	125.	112.	106.	105.	106.	110.	115.	123.	130.

TABLA 2.8.5 FCEE

## Eje Sencillo Pt=2.5

Carga en eje (kips)	Espesor de pavimento, D (plg)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	.003	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
6	.012	.011	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010
8	.039	.035	.033	.032	.032	.032	.032	.032	.032
10	.097	.089	.084	.082	.081	.080	.080	.080	.080
12	.203	.189	.181	.176	.175	.174	.174	.173	.173
14	.376	.360	.347	.341	.338	.337	.336	.336	.336
16	.634	.623	.610	.604	.601	.559	.599	.599	.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.51	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59
22	2.21	2.20	2.28	2.34	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41
24	3.16	3.10	3.22	3.36	3.45	3.50	3.53	3.54	3.55
26	4.41	4.26	4.42	4.67	4.85	4.95	5.01	5.04	5.05
28	6.05	5.76	5.92	6.29	6.61	6.81	6.92	6.98	7.01
30	8.16	7.67	7.79	8.28	8.79	9.14	9.35	9.46	9.52
32	10.8	10.1	10.1	10.7	11.4	12.0	12.3	12.6	12.7
24	14.1	13.0	12.9	13.6	14.6	15.4	16.0	16.4	16.5
26	18.2	16.7	16.4	17.1	18.3	19.5	20.4	21.0	21.3
28	23.1	21.1	20.6	21.3	22.7	24.3	25.6	26.4	27.0
40	29.1	26.5	25.7	26.3	27.9	29.9	31.6	32.9	33.7
42	36.2	32.9	31.7	32.2	34.0	36.3	38.7	40.4	41.6
44	44.6	40.4	38.8	39.2	41.0	43.8	46.7	49.1	50.8
46	54.5	49.3	47.1	47.3	49.2	52.3	55.9	59.0	61.4
48	66.1	59.7	56.9	56.8	58.7	62.1	66.3	70.3	73.4
50	79.4	71.7	68.2	67.8	69.6	73.3	78.1	83.0	87.1

TABLA 2.8.6 FCEE

Eje Triple

Pt= 2.0

Carga en eje (Kips)	Espesor de Pavimento, D(plg)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
4	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003
6	.0010	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009
8	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
10	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005
12	.010	.010	.009	.009	.009	.009	.009	.009	.009
14	.018	.017	.017	.016	.016	.016	.016	.016	.016
16	.030	.029	.028	.027	.027	.027	.027	.027	.027
18	.047	.045	.044	.044	.043	.043	.043	.043	.043
20	.072	.069	.067	.066	.066	.066	.066	.066	.066
22	.105	.101	.099	.098	.097	.097	.097	.097	.097
24	.149	.144	.141	.139	.139	.138	.138	.138	.138
26	.205	.199	.195	.194	.193	.192	.192	.192	.192
28	.276	.270	.265	.263	.262	.262	.262	.262	.261
30	.364	.359	.354	.351	.350	.349	.349	.349	.349
32	.472	.468	.463	.460	.459	.458	.458	.458	.458
34	.603	.600	.596	.594	.593	.592	.592	.592	.592
36	.759	.758	.757	.756	.755	.755	.755	.755	.755
38	.946	.947	.949	.950	.951	.951	.951	.951	.951
40	1.17	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.19
42	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
44	1.73	1.73	1.75	1.77	1.78	1.78	1.79	1.79	1.79
46	2.08	2.07	2.10	2.13	2.15	2.16	2.16	2.16	2.17
48	2.48	2.47	2.51	2.55	2.58	2.59	2.60	2.60	2.61
50	2.95	2.92	2.97	3.03	3.07	3.09	3.10	3.11	3.11
52	3.48	3.44	3.50	3.58	3.63	3.66	3.68	3.69	3.69
54	4.09	4.03	4.09	4.20	4.27	4.31	4.33	4.35	4.35
56	4.78	4.69	4.76	4.89	4.99	5.05	5.08	5.09	5.10
58	5.57	5.44	5.51	5.66	5.79	5.87	5.91	5.94	5.95
60	6.45	6.29	6.35	6.53	6.69	6.79	6.85	6.88	6.90
62	7.43	7.23	7.28	7.49	7.69	7.82	7.90	7.94	7.97
64	8.54	8.28	8.32	8.55	8.80	8.97	9.07	9.13	9.16
66	9.76	9.46	9.48	9.73	10.02	10.24	10.37	10.44	10.48
68	11.1	10.8	10.8	11.0	11.4	11.6	11.8	11.9	12.0
70	12.6	12.2	12.2	12.5	12.8	13.2	13.4	13.5	13.6
72	14.3	13.8	13.7	14.0	14.5	14.9	15.1	15.3	15.4
74	16.1	15.5	15.4	15.7	16.2	16.7	17.0	17.2	17.3
76	18.2	17.5	17.3	17.6	18.2	18.7	19.1	19.3	19.5
78	20.4	19.6	19.4	19.7	20.3	20.9	21.4	21.7	21.8
80	22.8	21.9	21.6	21.9	22.6	23.3	23.8	24.2	24.4
82	25.4	24.4	24.1	24.4	25.0	25.8	26.5	26.9	27.2
84	28.3	27.1	26.7	27.0	27.7	28.6	29.4	29.9	30.2
86	31.4	30.1	29.6	29.9	30.7	31.6	32.5	33.1	33.5
88	34.8	33.3	32.8	33.0	33.8	34.8	35.8	36.6	37.1
90	38.5	36.8	36.2	36.4	37.2	38.3	39.4	40.3	40.9

TABLA 2.8.7 FCEE

Eje Tandem

Pt= 2.0

Carga en eje (Kips)	Espesor de Pavimento, D (plg)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
4	.0006	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005	.0005
6	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
8	.006	.006	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005
10	.014	.013	.013	.012	.012	.012	.012	.012	.012
12	.028	.026	.026	.025	.025	.025	.025	.025	.025
14	.051	.049	.048	.047	.047	.047	.047	.047	.047
16	.087	.084	.082	.081	.081	.080	.080	.080	.080
18	.141	.136	.133	.132	.131	.131	.131	.131	.131
20	.216	.210	.206	.204	.203	.203	.203	.203	.203
22	.319	.313	.307	.305	.304	.303	.303	.303	.303
24	.454	.449	.444	.441	.440	.439	.439	.439	.439
26	.629	.626	.622	.620	.618	.618	.618	.618	.618
28	.852	.851	.850	.850	.850	.849	.849	.849	.849
30	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.48	1.48	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.90	1.90	1.93	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97	1.97
36	2.42	2.41	2.45	2.49	2.51	2.52	2.53	2.53	2.53
38	3.04	3.02	3.07	3.13	3.17	3.19	3.20	3.20	3.21
40	3.79	3.74	3.80	3.89	3.95	3.98	4.00	4.01	4.01
42	4.67	4.59	4.66	4.78	4.87	4.93	4.95	4.97	4.97
44	5.72	5.59	5.67	5.82	5.95	6.03	6.07	6.09	6.10
46	6.94	6.76	6.83	7.02	7.20	7.31	7.37	7.41	7.43
48	8.36	8.12	8.17	8.40	8.63	8.79	8.88	8.93	8.96
50	10.00	9.69	9.72	9.98	10.27	10.49	10.62	10.69	10.73
52	11.9	11.5	11.5	11.8	12.1	12.4	12.6	12.7	12.8
54	14.0	13.5	13.5	13.8	14.2	14.6	14.9	15.0	15.1
56	16.5	15.9	15.8	16.1	16.6	17.1	17.4	17.6	17.7
58	19.3	18.5	18.4	18.7	19.3	19.8	20.3	20.5	20.7
60	22.4	21.5	21.3	21.6	22.3	22.9	23.5	23.8	24.0
62	25.9	24.9	24.6	24.9	25.6	26.4	27.0	27.5	27.7
64	29.9	28.6	28.2	28.5	29.3	30.2	31.0	31.6	31.9
66	34.3	32.8	32.3	32.6	33.4	34.4	35.4	36.1	36.5
68	39.2	37.5	36.8	37.1	37.9	39.1	40.2	41.1	41.6
70	44.6	42.7	41.9	42.1	42.9	44.2	45.5	46.6	47.3
72	50.6	48.4	47.5	47.6	48.5	49.9	51.4	52.6	53.5
74	57.3	54.7	53.6	53.6	54.6	56.1	57.7	59.2	60.3
76	64.6	61.7	60.4	60.3	61.2	62.8	64.7	66.4	67.7
78	72.5	69.3	67.8	67.7	68.6	70.2	72.3	74.3	75.8
80	81.3	77.6	75.9	75.7	76.6	78.3	80.6	82.8	84.7
82	90.9	86.7	84.7	84.4	85.3	87.1	89.6	92.1	94.2
84	101.	97.	94.	94.	95.	97.	99.	102.	105.
86	113.	107.	105.	104.	105.	107.	110.	113.	116.
88	125.	119.	116.	116.	116.	118.	121.	125.	128.
90	138.	132.	129.	128.	129.	131.	134.	137.	141.

TABLA 2.8.8 FCEE

Eje Sencillo

Pt= 2.0

Carga en eje (Kips)	Espesor de Pavimento, D (plg)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
6	.011	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010
8	.035	.033	.032	.032	.032	.032	.032	.032	.032
10	.087	.084	.082	.081	.080	.080	.080	.080	.080
12	.186	.180	.176	.175	.174	.174	.173	.173	.173
14	.353	.346	.341	.338	.337	.336	.336	.336	.336
16	.614	.609	.604	.601	.599	.599	.598	.598	.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.59
22	2.32	2.32	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41	2.42
24	3.37	3.34	3.40	3.47	3.51	3.53	3.54	3.55	3.55
26	4.76	4.69	4.77	4.88	4.97	5.02	5.04	5.06	5.06
28	6.58	6.44	6.52	6.70	6.85	6.94	7.00	7.02	7.04
30	8.92	8.68	8.74	8.98	9.23	9.39	9.48	9.54	9.56
32	11.9	11.5	11.5	11.8	12.2	12.4	12.6	12.7	12.7
34	15.5	15.0	14.9	15.3	15.8	16.2	16.4	16.6	16.7
36	20.1	19.3	19.2	19.5	20.1	20.7	21.1	21.4	21.5
38	25.6	24.5	24.3	24.6	25.4	26.1	26.7	27.1	27.4
40	32.2	30.8	30.4	30.7	31.6	32.6	33.4	34.0	34.4
42	40.1	38.4	37.7	38.0	38.9	40.1	41.3	42.1	42.7
44	49.4	47.3	46.4	46.6	47.6	49.0	50.4	51.6	52.4
46	60.4	57.7	56.6	56.7	57.7	59.3	61.1	62.6	63.7
48	73.2	69.9	68.4	68.4	69.4	71.2	73.3	75.3	76.8
50	88.0	84.1	82.2	82.0	83.0	84.9	87.4	89.8	91.7

TABLA 2.8.9 FCEE

Carga en eje (Kips)	Espesor de Pavimento, D (plg)									
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
2	0.00006	0.000059	0.000058	0.000057	0.000057	0.000057	0.000057	0.000057	0.000057	0.000057
4	0.000286	0.000278	0.000274	0.000272	0.000271	0.00027	0.00027	0.00027	0.00027	0.00027
6	0.000913	0.000888	0.000874	0.000867	0.000865	0.000864	0.000863	0.000863	0.000863	0.000863
8	0.002307	0.002243	0.002208	0.002192	0.002186	0.002183	0.002181	0.002181	0.002181	0.002181
10	0.004991	0.004854	0.004777	0.004743	0.004729	0.004722	0.00472	0.00472	0.00472	0.004717
12	0.009663	0.0094	0.009253	0.009187	0.009159	0.009147	0.009142	0.009142	0.009142	0.009137
14	0.017217	0.016756	0.016495	0.016379	0.01633	0.016309	0.016299	0.016299	0.016299	0.016291
16	0.02875	0.028002	0.027572	0.027381	0.027299	0.027263	0.027247	0.027247	0.027247	0.027235
18	0.045577	0.044438	0.043772	0.043473	0.043345	0.043289	0.043264	0.043264	0.043264	0.043245
20	0.069224	0.067598	0.066618	0.066175	0.065985	0.065902	0.065864	0.065864	0.065864	0.065836
22	0.101431	0.099251	0.097882	0.097256	0.096987	0.096869	0.096814	0.096814	0.096814	0.096774
24	0.144141	0.141408	0.139591	0.138747	0.138382	0.138222	0.138148	0.138148	0.138148	0.138094
26	0.199501	0.196317	0.194035	0.192953	0.192483	0.192275	0.192179	0.192179	0.192179	0.192109
28	0.269867	0.266459	0.263771	0.262462	0.261887	0.261633	0.261515	0.261515	0.261515	0.261429
30	0.357826	0.354543	0.351622	0.350149	0.349495	0.349204	0.349069	0.349069	0.349069	0.34897
32	0.466238	0.4635	0.460671	0.459183	0.458513	0.458212	0.458073	0.458073	0.458073	0.45797
34	0.598285	0.59649	0.594262	0.593028	0.592461	0.592205	0.592086	0.592086	0.592086	0.591998
36	0.757515	0.756917	0.755987	0.755439	0.755182	0.755065	0.75501	0.75501	0.75501	0.754969
38	0.947872	0.948461	0.949688	0.950463	0.950838	0.951011	0.951092	0.951092	0.951092	0.951153
40	1.173718	1.17511	1.179456	1.18243	1.183916	1.184611	1.18494	1.18494	1.18494	1.185185
42	1.439833	1.441213	1.449639	1.455949	1.459224	1.460782	1.461525	1.461525	1.461525	1.46208
44	1.75141	1.751517	1.764862	1.775904	1.78189	1.784791	1.786189	1.786189	1.786189	1.787238
46	2.114054	2.111199	2.130058	2.147452	2.157352	2.162261	2.16465	2.16465	2.16465	2.166453
48	2.533777	2.525892	2.550497	2.576027	2.59136	2.599163	2.603006	2.603006	2.603006	2.605927
50	3.016997	3.001695	3.031835	3.067349	3.089967	3.101816	3.107737	3.107737	3.107737	3.11227
52	3.570548	3.545169	3.580149	3.627442	3.659523	3.676886	3.685701	3.685701	3.685701	3.692517
54	4.201679	4.16334	4.201974	4.262663	4.306683	4.331376	4.344144	4.344144	4.344144	4.354121
56	4.918071	4.863694	4.904331	4.979731	5.038399	5.072623	5.090683	5.090683	5.090683	5.104968
58	5.727842	5.654167	5.694746	5.785761	5.861942	5.908295	5.933315	5.933315	5.933315	5.953381
60	6.639557	6.54315	6.581258	6.688312	6.784909	6.846384	6.880405	6.880405	6.880405	6.908118
62	7.662242	7.539488	7.572424	7.695416	7.815247	7.895213	7.940688	7.940688	7.940688	7.978378
64	8.805391	8.652483	8.677316	8.815607	8.961284	9.063429	9.123254	9.123254	9.123254	9.173801
66	10.078979	9.891899	9.90552	10.057964	10.231756	10.360023	10.437555	10.437555	10.437555	10.504469
68	11.49347	11.267973	11.267122	11.432108	11.635848	11.794333	11.893398	11.893398	11.893398	11.980903
70	13.059828	12.791422	12.772721	12.94823	13.183222	13.376061	13.500938	13.500938	13.500938	13.614056
72	14.789523	14.47345	14.433404	14.617091	14.884071	15.115304	15.270685	15.270685	15.270685	15.415328
74	16.694554	16.325753	16.260775	16.450022	16.749124	17.022578	17.213518	17.213518	17.213518	17.396541
76	18.78743	18.360542	18.266931	18.458924	18.789689	19.108848	19.340679	19.340679	19.340679	19.569951
78	21.081212	20.590547	20.46448	20.656259	21.017679	21.385563	21.663798	21.663798	21.663798	21.948225
80	23.589498	23.029009	22.866547	23.05506	23.445609	23.864688	24.194908	24.194908	24.194908	24.544461
82	26.326448	25.689722	25.486787	25.668907	26.086614	26.558746	26.946466	26.946466	26.946466	27.372157
84	29.306769	28.587005	28.339362	28.511931	28.954475	29.480834	29.931367	29.931367	29.931367	30.445242
86	32.545771	31.735741	31.43899	31.59882	32.063568	32.644663	33.163012	33.163012	33.163012	33.778029
88	36.059303	35.151374	34.800927	34.944826	35.428938	36.064579	36.655297	36.655297	36.655297	37.385268
90	39.863819	38.849923	38.440976	38.56575	39.0662	39.755595	40.422678	40.422678	40.422678	41.282075

TABLA 2.8.10 FCEE

Carga en eje (Kips)	Espesor de Pavimento, D (plg)									Eje Tandem		Pt= 1.8	
	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
2	0.000081	0.000079	0.000078	0.000077	0.000077	0.000077	0.000077	0.000077	0.000077	0.000077	0.000077	0.000077	0.000077
4	0.00053	0.000516	0.000507	0.000504	0.000502	0.000502	0.000502	0.000501	0.000501	0.000501	0.000501	0.000501	0.000501
6	0.002003	0.001948	0.001917	0.001903	0.001898	0.001895	0.001895	0.001894	0.001893	0.001893	0.001893	0.001893	0.001893
8	0.005614	0.00546	0.005374	0.005336	0.00532	0.00532	0.005313	0.00531	0.005308	0.005308	0.005308	0.005308	0.005308
10	0.013028	0.012675	0.012477	0.012389	0.012351	0.012335	0.012335	0.012328	0.012324	0.012324	0.012324	0.012324	0.012324
12	0.026525	0.025828	0.02543	0.025252	0.025177	0.025144	0.025144	0.025129	0.025121	0.025121	0.025121	0.025121	0.025121
14	0.049055	0.047831	0.047114	0.046793	0.046656	0.046595	0.046595	0.046568	0.046554	0.046554	0.046554	0.046554	0.046554
16	0.084252	0.082326	0.08115	0.080617	0.080388	0.080288	0.080288	0.080242	0.080219	0.080219	0.080219	0.080219	0.080219
18	0.136423	0.13371	0.131945	0.13113	0.130779	0.130624	0.130624	0.130553	0.130518	0.130518	0.130518	0.130518	0.130518
20	0.210524	0.207146	0.204731	0.203587	0.203089	0.20287	0.20287	0.202768	0.202719	0.202719	0.202719	0.202719	0.202719
22	0.312172	0.308543	0.305586	0.304132	0.303493	0.303209	0.303209	0.303077	0.303013	0.303013	0.303013	0.303013	0.303013
24	0.447731	0.444535	0.441433	0.439831	0.439113	0.438793	0.438793	0.438644	0.438571	0.438571	0.438571	0.438571	0.438571
26	0.624476	0.622475	0.62003	0.618683	0.618065	0.617786	0.617786	0.617656	0.617592	0.617592	0.617592	0.617592	0.617592
28	0.850796	0.850475	0.849942	0.849623	0.849473	0.849404	0.849404	0.849371	0.849356	0.849356	0.849356	0.849356	0.849356
30	1.136337	1.137514	1.140527	1.142513	1.14349	1.143945	1.143945	1.144159	1.144264	1.144264	1.144264	1.144264	1.144264
32	1.492068	1.493605	1.501945	1.508115	1.5113	1.512812	1.512812	1.513532	1.513888	1.513888	1.513888	1.513888	1.513888
34	1.93029	1.929969	1.945214	1.958074	1.965105	1.968528	1.968528	1.970179	1.970998	1.970998	1.970998	1.970998	1.970998
36	2.464611	2.459192	2.482312	2.504908	2.51811	2.52474	2.52474	2.527985	2.529605	2.529605	2.529605	2.529605	2.529605
38	3.10994	3.095311	3.126336	3.162022	3.1845	3.19621	3.19621	3.202044	3.204983	3.204983	3.204983	3.204983	3.204983
40	3.882494	3.85385	3.891662	3.943768	3.979422	3.998807	3.998807	4.008671	4.01369	4.01369	4.01369	4.01369	4.01369
42	4.799824	4.751806	4.794105	4.865535	4.918982	4.949482	4.949482	4.965393	4.973589	4.973589	4.973589	4.973589	4.973589
44	5.880851	5.807637	5.851039	5.943886	6.020256	6.066252	6.066252	6.090942	6.103851	6.103851	6.103851	6.103851	6.103851
46	7.145906	7.041249	7.081457	7.196714	7.301345	7.36818	7.36818	7.405245	7.424959	7.424959	7.424959	7.424959	7.424959
48	8.616781	8.47399	8.506002	8.643399	8.781447	8.87537	8.87537	8.929394	8.9587	8.9587	8.9587	8.9587	8.9587
50	10.316761	10.128675	10.146955	10.304942	10.480982	10.60898	10.60898	10.685633	10.728162	10.728162	10.728162	10.728162	10.728162
52	12.27068	12.029601	12.028224	12.204077	12.421718	12.591266	12.591266	12.697345	12.757707	12.757707	12.757707	12.757707	12.757707
54	14.504952	14.202591	14.175324	14.365322	14.626941	14.845631	14.845631	14.989037	15.072953	15.072953	15.072953	15.072953	15.072953
56	17.047618	16.675021	16.615374	16.815011	17.121581	17.396741	17.396741	17.58635	17.700775	17.700775	17.700775	17.700775	17.700775
58	19.928379	19.475866	19.377084	19.581299	19.932351	20.270619	20.270619	20.516089	20.669247	20.669247	20.669247	20.669247	20.669247
60	23.178642	22.635736	22.490805	22.694154	23.087839	23.494803	23.494803	23.806269	24.007689	24.007689	24.007689	24.007689	24.007689
62	26.831548	26.186918	25.9885	26.185315	26.6186	27.098478	27.098478	27.486192	27.746615	27.746615	27.746615	27.746615	27.746615
64	30.922013	30.163415	29.903824	30.088314	30.557154	31.112613	31.112613	31.586532	31.917775	31.917775	31.917775	31.917775	31.917775
66	35.48677	34.600978	34.272128	34.438429	34.938036	35.570093	35.570093	36.139456	36.554198	36.554198	36.554198	36.554198	36.554198
68	40.564406	39.53714	39.130485	39.272727	39.797781	40.505814	40.505814	41.178782	41.890223	41.890223	41.890223	41.890223	41.890223
70	46.195359	45.01127	44.517764	44.830033	45.174839	45.956792	45.956792	46.740051	47.381574	47.381574	47.381574	47.381574	47.381574
72	52.422023	51.064592	50.474644	50.550986	51.109746	51.962155	51.962155	52.860736	53.605494	53.605494	53.605494	53.605494	53.605494
74	59.288708	57.740203	57.043608	57.078035	57.64487	58.56324	58.56324	59.580323	60.460798	60.460798	60.460798	60.460798	60.460798
76	66.841719	65.083134	64.269085	64.255502	64.824576	65.803517	65.803517	66.940427	67.968017	67.968017	67.968017	67.968017	67.968017
78	75.129398	73.140398	72.197344	72.129541	72.695142	73.728677	73.728677	74.984893	76.169583	76.169583	76.169583	76.169583	76.169583
80	84.202117	81.960998	80.876682	80.748269	81.304824	82.386536	82.386536	83.759821	85.109845	85.109845	85.109845	85.109845	85.109845
82	94.112303	91.5959	90.357302	90.161726	90.70383	91.827097	91.827097	93.313679	94.835286	94.835286	94.835286	94.835286	94.835286
84	104.914587	102.098167	100.691458	100.4219	100.944283	102.102427	102.102427	103.697273	105.39485	105.39485	105.39485	105.39485	105.39485
86	116.66563	113.522972	111.933532	111.582901	112.080369	113.266807	113.266807	114.963755	116.839006	116.839006	116.839006	116.839006	116.839006
88	129.42427	125.927628	124.139769	123.700706	124.168259	125.376544	125.376544	127.16874	129.221649	129.221649	129.221649	129.221649	129.221649
90	143.251783	139.371464	137.368753	136.833539	137.26623	138.490013	138.490013	140.369986	142.598658	142.598658	142.598658	142.598658	142.598658

TABLA 2.8.11 FCEE

Carga en eje (kips)	Espesor de Pavimento, D (plg)									
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
2	0.000209	0.000204	0.0002	0.000199	0.000199	0.000198	0.000198	0.000198	0.000198	0.000198
4	0.002218	0.002157	0.002123	0.002108	0.002108	0.002099	0.002097	0.002097	0.002096	0.002096
6	0.010493	0.010207	0.010047	0.009976	0.009976	0.009932	0.009926	0.009923	0.009922	0.009922
8	0.033449	0.032577	0.032077	0.031854	0.031854	0.031717	0.031698	0.031689	0.031684	0.031684
10	0.084175	0.082208	0.08102	0.080482	0.080482	0.080151	0.080104	0.080082	0.08007	0.08007
12	0.180679	0.177341	0.175097	0.17405	0.17405	0.1734	0.173308	0.173263	0.17324	0.17324
14	0.34576	0.341725	0.338442	0.336829	0.336829	0.335804	0.335659	0.335588	0.335552	0.335552
16	0.607335	0.604472	0.601314	0.599623	0.599623	0.59851	0.59835	0.598271	0.598231	0.598231
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1.566975	1.568764	1.57661	1.582265	1.582265	1.586517	1.587165	1.587485	1.587649	1.587649
22	2.361029	2.358973	2.379215	2.397253	2.397253	2.412337	2.41475	2.41595	2.416568	2.416568
24	3.444478	3.42842	3.462773	3.50218	3.50218	3.539876	3.546305	3.549542	3.551221	3.551221
26	4.889116	4.845483	4.890814	4.960909	4.960909	5.03962	5.054181	5.061643	5.065548	5.065548
28	6.776443	6.689245	6.737226	6.844913	6.844913	6.989928	7.019543	7.035072	7.043296	7.043296
30	9.198085	9.049341	9.087435	9.234854	9.234854	9.476824	9.532237	9.56216	9.578255	9.578255
32	12.256303	12.025946	12.038781	12.222344	12.222344	12.593938	12.690585	12.744704	12.774386	12.774386
34	16.064485	15.730012	15.700421	15.911319	15.911319	16.442809	16.601187	16.693803	16.745856	16.745856
36	20.747639	20.283626	20.193182	20.41875	20.41875	21.133657	21.378866	21.52967	21.616937	21.616937
38	26.442832	25.820479	25.649559	25.874791	25.874791	26.786674	27.146922	27.3814	27.521856	27.521856
40	33.299654	32.486302	32.21389	32.422624	32.422624	33.533561	34.037759	34.386968	34.604587	34.604587
42	41.480626	40.439314	40.042676	40.218338	40.218338	41.519174	42.194	42.693339	43.018646	43.018646
44	51.16161	49.850649	49.304991	49.430825	49.430825	50.902788	51.769846	52.457015	52.927044	52.927044
46	62.53227	60.9048	60.182877	60.241997	60.241997	61.859023	62.932671	63.844897	64.502353	64.502353
48	75.796356	73.799928	72.87175	72.846971	72.846971	74.578238	75.864503	77.035491	77.927049	77.927049
50	91.172208	88.748399	87.58085	87.454419	87.454419	89.266568	90.763155	92.220387	93.394294	93.394294

TABLA 2.8.12 FCEE

**Fc.**

Fc es el factor de distribución por carril. Fc es la proporción de vehículos en el carril de diseño con respecto al total. Depende del número de sentidos de la vialidad y del número de carriles por sentido. Si la vialidad es de dos sentidos se supone que circularán la mitad de los vehículos en cada dirección.

A continuación se muestran algunos valores recomendados para Fc:

No. de carriles en cada sentido	Vehículos en el carril de diseño	
	1 Sentido	2 Sentidos
1	100%	50%
2	80 – 100%	40 – 50%
3	60 – 80%	30 – 40%
4	50 – 75%	25 – 37.5%

Tabla 2.9 Valores de Fc. (Refs. 2,9)

**Procedimiento de calculo de  $\Sigma$ ESAL's.**

Para el procedimiento de cálculo de  $\Sigma$ ESAL's deberá contarse con los parámetros anteriormente mencionados y para obtener cada uno de éstos es necesario contar con cierta información como ya hemos visto. La tabla siguiente resume los parámetros necesarios de cálculo.

Parámetro	Información necesaria
TPDA	<p>*Evaluación del tránsito promedio diario anual mediante proceso automático o manual.</p> <p>*Clasificación por tipo de vehículo.</p>
%Ci	<p>*Cantidad porcentual de cada tipo de vehículo correspondiente al TPDA evaluado.</p> <p>*Para algunos proyectos esta cantidad puede a su vez separarse tomando en cuenta la carga máxima y vacía para cada tipo de vehículos, tenemos así:  <math>\%Ci_{max}</math>- Cantidad porcentual de vehículo con carga máxima.  <math>\%Ci_v</math>. Cantidad porcentual de vehículo considerado vacío.</p>
CT	<p>*Factor o tasa de crecimiento(g).</p> <p>*Periodo de diseño o de análisis (n). También conocido como vida de proyecto en años.</p>
FCEE	<p>*Tipo de pavimento: rígido o flexible.</p> <p>*Espesor propuesto (D) del pavimento a diseñar.</p> <p>*Arreglo, configuración o conjunto de ejes del vehículo: Sencillo, Tandem o Tridem.</p> <p>*Carga de eje: Máximo o vacía.</p> <p>*Pt: serviciabilidad final del pavimento a diseñar.</p>

Fc	*Número de sentidos de la vialidad. *Número de carriles en cada sentido.
----	---

Tabla 2.10 Parámetros de cálculo de  $\Sigma$ ESAL's.

Para el procedimiento de cálculo de los  $\Sigma$ ESAL's puede armarse una tabla de cálculo. Los cálculos se harán por cada tipo de vehículo (clasificación vehicular) siguiendo un proceso similar al que a continuación se describe:

- Deberá obtenerse el *tráfico presente* multiplicando el porcentaje (%Ci) de cada tipo de vehículo por el TPDA total evaluado.
- Este tráfico presente se multiplica por 365 y se obtiene el *Tráfico anual* por cada tipo de vehículo.
- A éste tráfico anual se le multiplica por el factor de crecimiento(CT) (que es constante para todo el cálculo), para así obtener el número total de vehículos de cada tipo que circularán la vía durante todo el periodo de diseño, a este tráfico le llamaremos *tráfico total*.
- El tráfico total multiplicado por los FCEE da como resultado lo que llamaremos  $\Sigma$ ESAL's de diseño. Los FCEE se obtienen a partir de las tablas 2.8 conociendo los parámetros ya mencionados. El FCEE total por vehículo es la suma de los FCEE de cada uno de sus arreglos o conjunto de ejes considerando la carga máxima y/o vacía. Estas cargas se obtienen de las tablas 2.5.
- Obtenidos así los  $\Sigma$ ESAL's de diseño para cada tipo de vehículo, se hace la sumatoria total, que multiplicada por Fc, da como resultado el número de vehículos que circularán por el carril de diseño en el periodo (n) definido. Este último valor es el que se usará para el diseño del pavimento nuevo o de la sobrecarpeta de concreto hidráulico Whitetopping.

### 2.2.3. Propiedades del concreto ( $S'c$ , $E_c$ )

Para el diseño de un nuevo pavimento rígido o de una sobrecarga de concreto hidráulico es importante tomar en cuenta las propiedades del concreto. Hay dos propiedades del concreto que influyen en el comportamiento del pavimento a diseñar:

- Módulo de ruptura ( $S'c$  o  $M_r$ )
- Módulo de elasticidad ( $E_c$ )

#### Módulo de ruptura ( $S'c$ ).

La caracterización del concreto a emplear será a través de la resistencia a la flexión o módulo de ruptura.

En el diseño AASHTO se utiliza la resistencia a la flexión del concreto determinado a 28 días utilizando una viga simple, cargada a los tercios del claro y usando PSI ( $lb/plg^2$ ) como unidad (ASTM C78). El  $S'c$  en la prueba AASHTO fue de 690 PSI ( $49\text{ kg/cm}^2$ ).

La siguiente figura esquematiza la forma en que es obtenida la resistencia a la flexión con carga a los tercios.

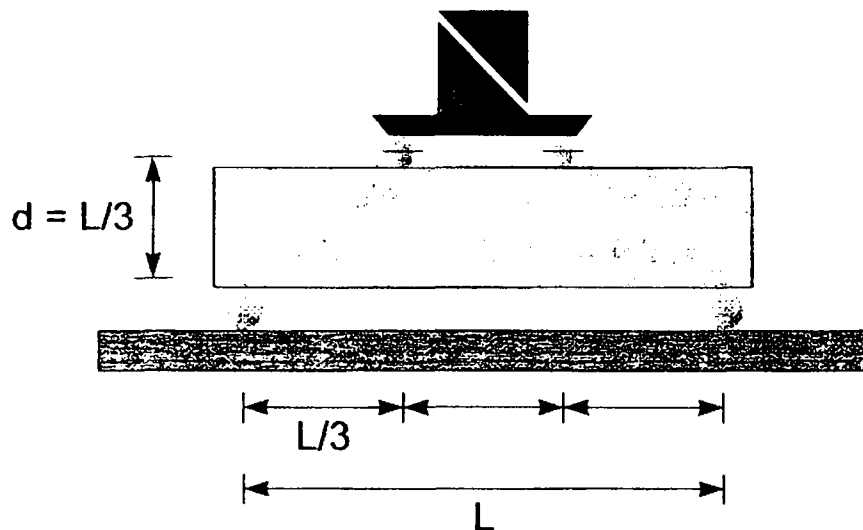


Figura 2.4. Obtención del módulo de ruptura  $S'c$  del concreto mediante el ensayo de una viga simple cargada a los tercios del claro .

Las resistencias obtenidas utilizando otras pruebas, deberán ser convertidas a  $S'c$  a los 28 días con carga al centro. Es importante recordar que los valores obtenidos a partir de éstas correlaciones, son aproximadas, incurriéndose en cierto margen de error.

El módulo de ruptura ( $S'c$ ) obtenido con un ensaye similar pero aplicando la carga al centro (fig. 2.5) del claro (ASTMC293) da como resultado valores mayores al módulo de ruptura obtenido con carga al tercio.

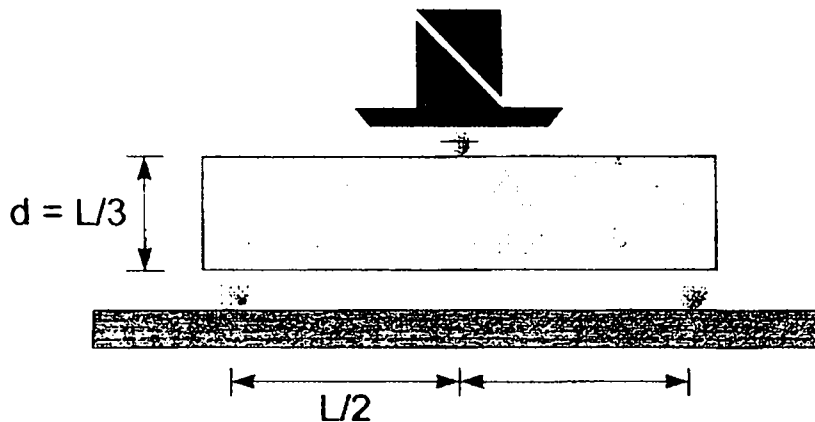


Figura 2.5. Obtención del  $S'c$  del concreto mediante el ensaye de una viga simple cargada al centro.

La siguiente expresión muestra el valor del  $S'c$  al tercio a partir del valor del  $S'c$  obtenido al centro de la viga:

$$S'c \text{ al tercio} = 0.85 \times S'c \text{ al centro} \quad (2.5)$$

A partir del conocimiento de la resistencia a la compresión del concreto ( $f'c$ ), es posible obtener los valores del  $S'c$  utilizando la siguiente expresión:

$$S'c = 7a10\sqrt{f'c} \quad (2.6)$$

En donde  $S'c$  y  $f'c$  están dados en PSI. La siguiente tabla muestra la comparación entre los valores de  $f'c$ ,  $S'c$  al tercio del claro y  $S'c$  al centro del claro:

<b>Esfuerzo a la compresión (PSI)</b>	<b>Modulo de ruptura (S'c) tercio del claro (PSI)</b>	<b>Modulo de ruptura (S'c) centro del claro (PSI)</b>
3000	492	579
3500	532	626
4000	569	669
4500	603	710
5000	636	748
5500	667	785
6000	697	820

Tabla 2.11 Comparación de los valores de  $F'c$ ,  $S'c$  al tercio del claro y  $S'c$  al centro del claro.

(Ref. 11).

Por otra parte, debido al carácter estadístico de la ecuación (2.1), y a que se introduce en esta el término confiabilidad, la AASHTO recomienda que no se utilice como dato de entrada al valor indicado en el proyecto del módulo de ruptura,  $S'c$ . Esto se debe a que en el campo se deben tener resistencias iguales o mayores a la especificada. Sólo un pequeño porcentaje quedará por debajo de éste valor.

Así las cosas, en su lugar se debe emplear un valor ajustado que tome en cuenta las desviaciones estándar y los porcentajes típicos de valores inferiores de  $S'c$  que se estime se vayan a obtener en la realidad. Para este propósito se deberán contar con datos y registros de otras obras a fin de que estos ajustes sean lo más representativos posible. Para obtener el valor medio de  $S'c$  utilizado en la ecuación de diseño 2.1 se debe emplear la siguiente ecuación:

$$S'c_{\text{promedio}} = S'c + z(\text{SoDs}) \quad (2.7)$$

Donde:

$S'c_{\text{promedio}}$  = valor medio del módulo de ruptura del concreto,  $\text{kg}/\text{cm}^2$

$S'c$  = resistencia a la flexión a módulo de ruptura especificada en el proyecto (obtenida como ya se ha mencionado),  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

SoDs = valor estimado de la desviación estándar de  $S'c$  en  $\text{kg}/\text{cm}^2$

SoDs pueden tener los siguientes valores:

\* Concreto premezclado:  $(7 \text{ a } 13\%) \times S'c$

\* Concreto de mezclado central: (5 a 12%)x S'c.

z = desviación estándar normal correspondiente al porcentaje de resultados que pueden ser menores a la resistencia especificada.

En la tabla siguiente se presentan algunos valores típicos de Z:

<b>% permisible de especímenes de prueba debajo de lo especificado</b>	<b>Z desviación estándar normal</b>
20	0.841
15	1.037
10	1.282
5	1.645
1	2.327

Tabla 2.12 Valores de la desviación estándar normal (z) para cálculo de módulo de ruptura promedio (S'c promedio). (Ref.1).

### **Módulo de elasticidad (Ec).**

El módulo de elasticidad del concreto (Ec) es un indicativo de la rigidez del pavimento, y por lo tanto de cuanto se comprimirá bajo las cargas vehiculares.

El módulo de elasticidad es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación obtenida en un ensaye de concreto (ASTMC469). Este ensaye rara vez se hace, entónces al ser el Ec una variable poco sensitiva, se puede obtener un valor adecuado correlacionándolo con F'c o S'c:

$$E_c = 57000 \sqrt{f'_c} \quad (2.8)$$

O bien:

$$E_c = 6750 S'c \quad (2.9)$$

Las expresiones anteriores son según el ACI (American Concrete Institute) y en las cuales Ec, F'c y S'c están dadas en PSI.

Los valores típicos de Ec van de 2 a 6 millones de PSI ( $1.3 \times 10^5$  a  $4.1 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>).

En la prueba AASHTO el  $E_c$  obtenido fue de  $4.2 \times 10^6$  PSI, el cual es un valor adecuado para diseño.

La siguiente tabla muestra la relación existente entre algunos valores típicos del módulo de ruptura  $S'_c$  y el módulo de elasticidad del concreto  $E_c$ :

Modulo de ruptura ( $S'_c$ )	Modulo de elasticidad
600 psi	3 900 000 psi
650 psi	4 200 000 psi
700 psi	4 600 000 psi

Tabla 2.13 Valores típicos del módulo de ruptura ( $S'_c$ ) relacionados con los valores del módulo de elasticidad ( $E_c$ ). (Ref. 11)

#### 2.2.4. Transferencia de carga (J)

El coeficiente de transferencia de carga (J) considera el efecto de la transferencia de las cargas de un lado de la junta o grieta al otro lado del pavimento. En otras palabras este coeficiente considera la eficiencia de la transferencia de carga entre las losas adyacentes del pavimento separadas por las juntas de éste. Entre más eficiente sea la junta, el valor de J será menor, dando como resultado menores espesores de pavimento. En la figura 2.6 se esquematiza lo referente a la eficiencia de transferencia de carga en las juntas.

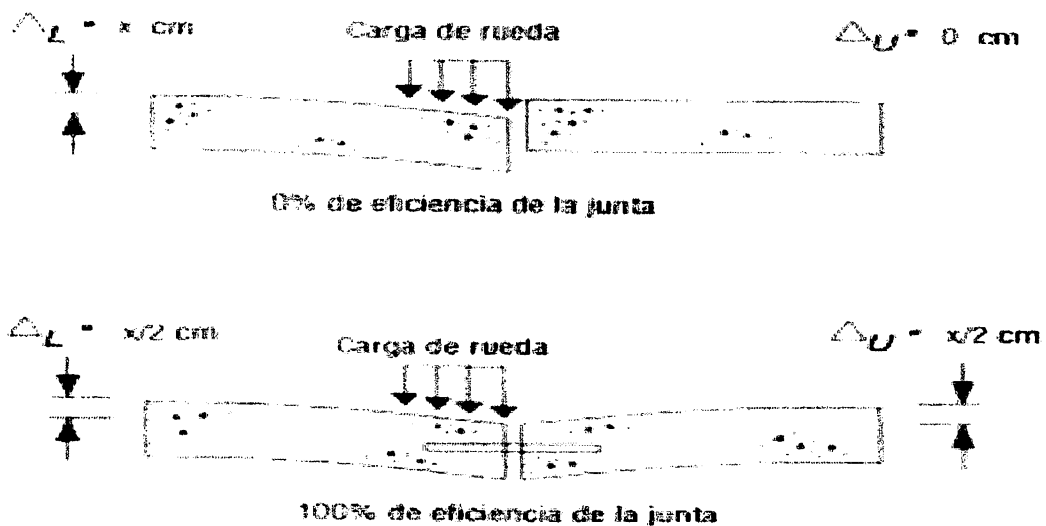


Figura 2.6 Eficiencia en la transferencia de carga.

La transferencia adecuada de carga disminuye las deflexiones, y reduce la falla, el despostillamiento y la rotura de las esquinas. Se considera adecuada una eficiencia de la junta de 75% o mayor, para el caso de cargas de camiones mediana y pesadas.

El coeficiente de transferencia de carga (J) depende de:

**1. El mecanismo de transferencia:** A través del cual se lleva a cabo la transferencia de carga, que puede ser como se describe a continuación:

- *Trabazón de agregados:* La acción de entrelazado entre las partículas se basa en la interacción por cortante, entre las partículas constitutivas de los agregados a lo largo de las caras de las grietas en la junta, que se forman por debajo de una ranura cortada con un disco. Resulta más efectiva en las losas construidas con juntas muy cercanas entre sí y para bajos volúmenes de tráfico de camiones esto considerando el diseño de una sobrecarpeta Whitetopping, para el diseño de un pavimento rígido nuevo, debe también tomarse en cuenta las sub-bases estabilizadas o permeables no estabilizadas.
- *Transferencia mecánica de carga:* La trabazón de agregados por si misma no proporcionara suficiente transferencia de carga para lograr un buen comportamiento a largo plazo, en la mayoría de los pavimentos para carreteras sometidos a tráfico pesado de camiones.

Por lo tanto deberá tomarse en cuenta la transferencia mecánica de carga. Entre los dispositivos para lograrla se encuentran las pasajuntas, la malla de acero o refuerzo continuo. El más usado es el primero, las pasajuntas.

Se deberán usar pasajuntas para proporcionar una transferencia mecánica adicional de carga, cuando el tráfico de camiones sobrepase los 120 vehículos por día o cuando el tráfico de diseño acumulado exceda los cuatro o cinco millones de unidades  $\Sigma$ ESAL's. Típicamente, este nivel de tráfico de vehículos pesados requerirá una losa de cuando menos 20 cm. de espesor. Para losas de 20 cm o más de espesor se recomienda el uso de pasajuntas en la mayoría de las aplicaciones viales.

Las pasajuntas son varillas redondas lisas que se colocan a través de las juntas para transferir las cargas sin restringir el movimiento horizontal de la junta.

La siguiente figura muestra un esquema en planta, parte de un pavimento con pasajuntas:

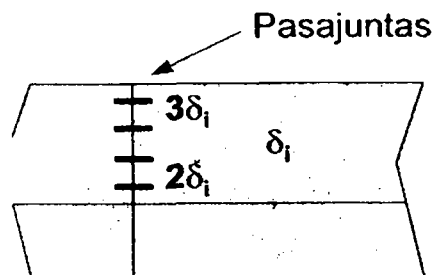


Fig. 2.7 Pavimento con pasajuntas.

La siguiente tabla muestra las dimensiones de las pasajuntas así como su separación de acuerdo al espesor de la losa en pulgadas.

Espesor de la losa (pulgadas)	Diámetro de la barra (pulgadas)	Longitud de la barra (pulgadas)	Separación de las barras (pulgadas)
5 – 6	$\frac{3}{4}$	16	12
7 – 8	1	18	12
9 – 11	$1 \frac{1}{4}$	18	12
12 – 16	$1 \frac{1}{2}$	20	15
17 – 20	$1 \frac{3}{4}$	22	18
21 – 25	2	24	18

Tabla 2.14 Tamaño de las pasajuntas. (Refs. 11,14)

**2. El confinamiento o soporte lateral:** Es otro de los factores del que depende el coeficiente de transferencia de carga ( $J$ ), y supone el mejoramiento de la eficiencia de la junta manteniendo por más tiempo el nivel de transferencia, permitiendo un mejor comportamiento del pavimento.

El confinamiento es proporcionado por:

- Hombros monolíticos.
- Hombros “amarrados” o guarnición.
- Banqueta

**3. El nivel de tráfico:** A consecuencia del paso de tráfico la eficiencia en las juntas disminuye (principalmente en las juntas a base de trabazón de agregados) lo que incrementa el valor de (J).

En la siguiente tabla se indica algunos valores recomendables para (J) de acuerdo a los tres puntos anteriormente descritos:

ESAL X 10 <sup>6</sup>	SOPORTE LATERAL						Tipo de pavimento
	Pasajuntas y/o refuerzo con malla		Trabazón de agregado		Continuamente reforzado		
	No	Si	No	Si	No	Si	
< 0.3	3.2	2.7	3.2	2.8	----	----	Calles y
0.3 – 1	3.2	2.7	3.4	3.0	----	----	Caminos
1 – 3	3.2	2.7	3.6	3.1	----	----	locales
3 – 10	3.2	2.7	3.8	3.2	2.9	2.5	Arterias y
10 – 30	3.2	2.7	4.1	3.4	3.0	2.6	Avenidas
>30	3.2	2.7	4.3	3.6	3.1	2.6	Principales

Tabla 2.15 Valores del coeficiente de carga (J) (Refs. 2,9).

El valor de (J) determinado en la prueba AASHTO fue de 3.2.

### 2.2.5. Coeficiente de drenaje (Cd)

El agua es uno de los principales causantes de las distorsiones en los pavimentos. El agua atrapada en la estructura del pavimento (pavimento asfáltico) produce:

- Roderas
- Desprendimientos.
- Depresiones
- Agrietamientos por fatiga

- Baches
- Pérdida de soporte ocasionada por la saturación de la subrasante o de la subbase, y posteriormente la expulsión de finos por bombeo.
- Levantamientos diferenciales de suelos expansivos.

Como nos interesa el diseño de la sobrecarpeta, enfocaremos el aspecto de drenaje o subdrenaje del pavimento existente por rehabilitar, hacia ésta. La condición del subdrenaje de un pavimento existente generalmente tiene una gran influencia sobre la manera como se comporta una sobrecarpeta. El responsable del proyecto deberá diagnosticar con la mejor precisión posible los problemas relacionados con la presencia de agua para adoptar la mejor medida correctiva, si así se justifica.

El hecho de que no se observen evidencias de daños atribuibles a la erosión por agua no necesariamente descarta el potencial del daño inducido por esta última. Durante la etapa de evaluación e incluso durante los trabajos de rehabilitación, el encargado de los trabajos deberá buscar evidencias de daños potenciales producidos por el agua. El personal de conservación de caminos puede constituir una fuente invaluable de información, de esta manera se podrá emprender un proceso de rehabilitación adecuado para cada situación.

Desde luego será deseable que se cuente en cada caso con los datos de construcción relativa al drenaje; sin embargo, cuando no se disponga de tal información, será recomendable revisar los planos o documentos originales del proyecto, sobretodo lo concerniente a:

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

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

El siguiente paso será examinar las condiciones topográficas. Para ello se considera si existe o no facilidad del agua para salir de la estructura del pavimento, si existen o no planicies de inundación. Se analizará si existen lagos, arroyos o zonas inundables estacionales por encima del nivel del pavimento. Asimismo se analizarán los mapas con la información geológica de los lugares, para ver los niveles freáticos posibles, incluyendo sus variaciones; se estudiarán los tipos de suelo presentes para ver sus aportaciones de agua o sus permeabilidades según el caso.

El estudio de las condiciones de drenaje para un sitio dado se ejecutará, de preferencia, durante las estaciones más húmedas del año. Finalmente, se deberá incluir un monitoreo regular de las condiciones de drenaje:

- Hacia donde se mueve el agua en la superficie del pavimento.
- Zona puntual en donde se acumula el agua dentro o en las dimensiones del pavimento
- Que altura alcanza el agua en las cunetas (en días lluviosos).
- ¿Se estanca el agua en los acotamientos?
- ¿Las plantas crecen y florecen a lo largo de las inmediaciones del camino?
- ¿Existen evidencias del fenómeno de “bombeo” o socavaciones (“respiraderos”) en las orillas de los pavimentos
- ¿Se presentan taponamientos o acumulaciones de finos o escombros en las entradas de los subdrenes o tuberías de desalajo de agua?

Otro aspecto que se debe contemplar es si realmente las obras complementarias para el drenaje fueron planeadas en la etapa del proyecto y si realmente se llevaron a cabo.

Se recomienda inspeccionar si se ha realizado mantenimiento a las instalaciones de drenaje, para así poder establecer un programa racional de mantenimiento o limpieza.

Para tomar en cuenta los efectos del drenaje o subdrenaje, el método AASHTO propone un coeficiente, el coeficiente de drenaje (Cd). Hay que aclarar que el término de drenaje al que se

alude, es aquel con el que cuentan las capas para liberar el agua libre entre sus granos, por eso se le llama también subdrenaje, y no se trata del “bombeo” superficial de la carretera.

El coeficiente de drenaje (Cd) afecta en la medida en que el drenaje de nuestro pavimento nuevo o sobrecarpeta a diseñar, es de menor o peor calidad que el utilizado en la prueba AASHTO. Para seleccionar un valor adecuado de Cd, se debe considerar la calidad del drenaje, y la posibilidad de saturación de la subbase y/o subrasante.

La calidad del drenaje se califica de acuerdo al tiempo en que tardaría en drenarse (liberar agua) el suelo saturado al 50%, la tabla 2.16 muestra la calidad del drenaje por este criterio.

<b>Calidad del drenaje</b>	<b>Tiempo de drenado</b>
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	7 días
Pobre	1 mes
Muy pobre	No drena

Tabla 2.16 Calidad del drenaje o subdrenaje. (Ref. 2).

De acuerdo a la calidad del drenaje ya mencionada, y al porcentaje del tiempo en que la estructura esta expuesta a niveles cercanos a la saturación se tabulan a continuación en la tabla 2.17 los valores recomendados por la AASHTO para Cd aplicables para el diseño de pavimentos rígidos.

Calidad del Drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura esta expuesta a niveles cercanos a la saturación			
	< 1%	1 – 25%	5 – 25%	>25%
<b>Excelente</b>	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
<b>Bueno</b>	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
<b>Regular</b>	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
<b>Pobre</b>	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
<b>Muy pobre</b>	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Tabla 2.17 Valores recomendables del coeficiente de drenaje Cd. (Refs. 2,9)

El coeficiente de drenaje que se emplea en el diseño, Cd, para el caso de los tramos de prueba a que se hizo referencia fue de 1.00 y no tiene impacto en los espesores del pavimento. Valores mayores de tal coeficiente indican buen drenaje y reducen el espesor del pavimento o aumenta el número de ejes equivalentes acumulados,  $\Sigma$ ESAL's, que el pavimento puede soportarse en condiciones satisfactorias.

### 2.2.6. Confiabilidad (R, Zr, So)

De todos los parámetros de diseño, quizá este sea el que tiene mayor impacto en el dimensionamiento de los pavimentos flexibles y rígidos. La confiabilidad (R) en este criterio de diseño se define como la probabilidad de que el sistema de pavimento se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto (periodo de diseño) bajo las solicitaciones de carga e intemperismo. Otra manera de interpretar este concepto sería aquella que la probabilidad de que los problemas de deformación y resistencia estén por debajo de los permisibles durante la vida de diseño del pavimento.

El valor usado en el diseño se tendrá que elegir tomando en cuenta la importancia del camino, la confiabilidad de todos los parámetros de resistencia de cada una de las capas así como la predicción del tránsito de diseño.

En la figura 2.8 se presenta una esquematización del comportamiento real de un pavimento y la curva de diseño propuesta por la AASHTO según los resultados obtenidos en los tramos experimentales. Se relacionan los índices de servicio para los correspondientes tránsitos

(número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton, o ESAL's). La curva de diseño representa un nivel de confianza de 50%, o dicho en otros términos un nivel de confianza de 1.

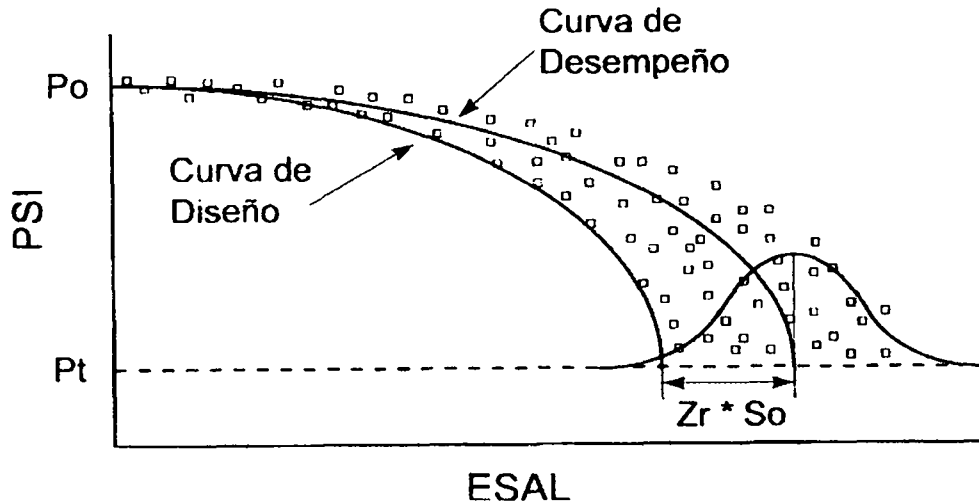


Fig. 2.8 Comparación entre la curva de desempeño o comportamiento y la de diseño para un pavimento en particular como función del tráfico y del índice de servicio (Refs. 2,9,11).

Se observa que las dos curvas no tiene necesariamente que coincidir, salvo en la forma. La razón de esa falta de coincidencia se debe a los errores asociados a la ecuación de comportamiento propuesta y a los errores o dispersión de la información con que se cálculo el dimensionamiento del pavimento. Por esta razón, la AASHTO decidió adoptar criterios estadísticos, específicamente un enfoque regresional, para ajustar las dos curvas. De esta forma, tales errores se representan mediante una desviación estándar,  $S_o$ , para conciliar los dos comportamientos.

El factor de ajuste entre las dos curvas se define como el producto de la desviación normal,  $Z_r$ , por la desviación estándar,  $S_o$ . De esta manera  $Z_r$  representa la cantidad de ajuste, tal como se indica en la figura 2.9, se pueden utilizar las curvas de desviación normales para obtener  $Z_r$  representativo, de manera que los porcentajes especificados del área sean cubiertos por las curvas. Los porcentajes de área cubierta hacia la parte derecha del valor de ajuste es por definición el nivel de confianza.

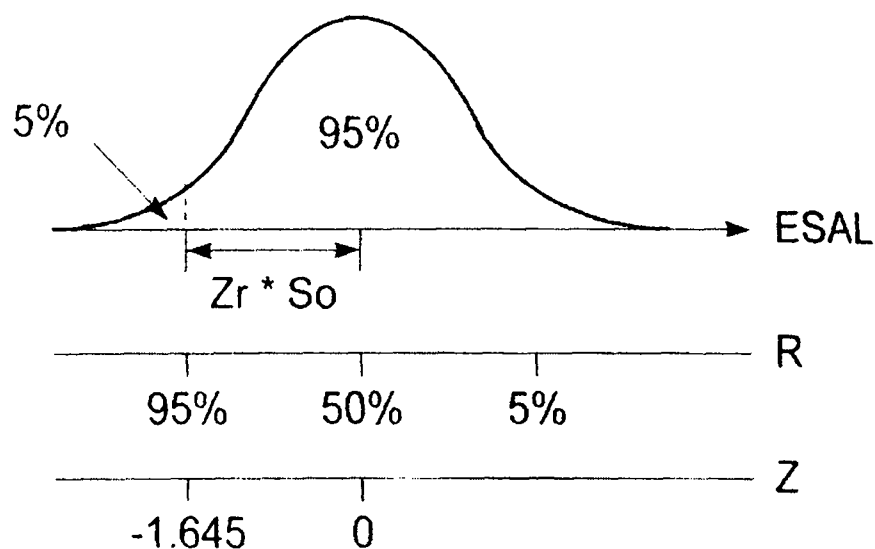


Figura 2.9. Concepto del índice de Confianza (R), o Confiabilidad.

Por ejemplo, para un valor de  $Z_r = 0.0$  se tiene que el nivel de confianza es de 50%, ya que para tal valor el porcentaje del área a la derecha del valor medio,  $X_m$ , es justamente el 50%. Para los valores mayores de los niveles de confianza, por ejemplo el 90%, entonces se escogerá un valor de  $Z_r$  de forma tal que el 90% de áreas de distribución normal quede a la derecha de tal valor  $Z_r$ .

La tabla 2.18 muestra valores de  $Z_r$  de acuerdo al nivel de confianza R.

<b>Confiabilidad</b>	<b>Z<sub>R</sub></b>
50	0.0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Tabla 2.18 Valores de la desviación estándar normal Z<sub>r</sub> para valores de confiabilidad, o nivel de confianza R. (Refs. 9,11)

Dada la dificultad de estimar la desviación estándar (S<sub>o</sub>) de cada parámetro (S'c, E<sub>c</sub>, K, etc.) y partiendo de ellas estimar la S<sub>o</sub> de diseño, la guía AASHTO recomienda utilizar los siguientes valores:

	<b>Rígidos</b>	<b>Flexibles</b>
<b>Rango</b>	0.30 - 0.40	0.40 - 0.50
<b>Pavimento nuevo</b>	0.35	0.45
<b>Sobrecarpetas</b>	0.39	0.49

Tabla 2.19 Valores recomendados para la desviación estándar de diseño (S<sub>o</sub>) (Refs).

La tabla que se muestra a continuación presenta los valores de R recomendados para diseño de acuerdo al tipo de camino:

Clasificación funcional	Nivel de Confiabilidad	
	Autopista	85 – 99.9%
Arterias principales	80 – 99%	75 – 99%
Colectores	80 – 95%	75 – 95%
Locales	50 – 80%	50 – 80%

Tabla 2.20 Valores de confiabilidad o nivel de confianza (R) recomendados para diseño

(Refs. 2,9).

### 2.2.7. Resistencia de la Subrasante (K, Kc)

Para un pavimento nuevo de concreto, el requerimiento principal de la subrasante, es que sea uniforme. La subrasante es la capa de apoyo para todo pavimento nuevo. En el diseño de un pavimento rígido nuevo, la resistencia del suelo es un parámetro que debe de conocerse y esta expresada por lo que se conoce con el nombre de módulo de reacción (K).

Hay dos maneras de obtener el módulo de reacción K de la subrasante, una es en forma directa, y la segunda es en forma indirecta.

#### Forma directa de obtener K

La resistencia de la subrasante o Módulo de Reacción (K) se obtiene a partir de una prueba de placa.

En esta prueba, se utiliza una placa rígida colocada sobre la subrasante, para distribuir en el suelo una carga aplicada. El Módulo de Reacción (K) se obtiene bajo una carga conocida, dividiendo la presión que ejerce la placa entre su desplazamiento (deflexión de la placa).

En la figura (2.10) se esquematiza el conjunto o dispositivo que componen la prueba de la placa.

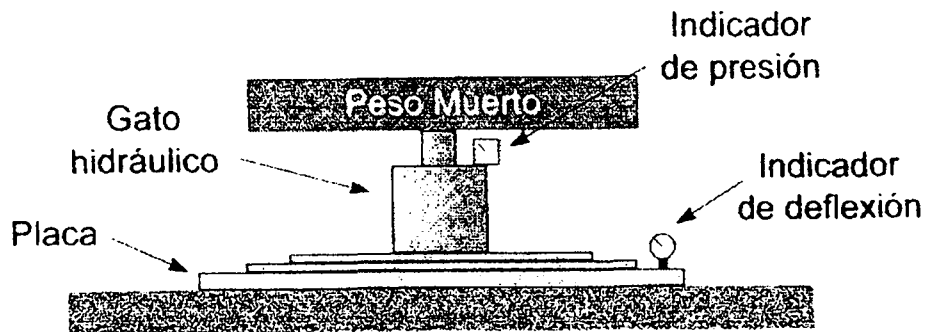


Figura 2.10 Prueba de la placa para la obtención del Módulo de Reacción (K) de la subrasante.

Por lo anterior mencionado K estará expresada en unidades de presión ( $\text{PSI} = \text{lb/plg}^2$ ) por unidad de desplazamiento o de deflexión (plg) unidades designadas con el nombre de PCI ( $\text{lb/plg}^3 = \text{lb/plg}^2/\text{plg}$ ), o bien, K puede estar expresada en  $\text{Kg/cm}^2/\text{cm}$ .

La prueba de placa puede, modelarse considerando la subrasante como una cama de resortes, con una “constante de resorte” igual al que se muestra en la figura 2.11.

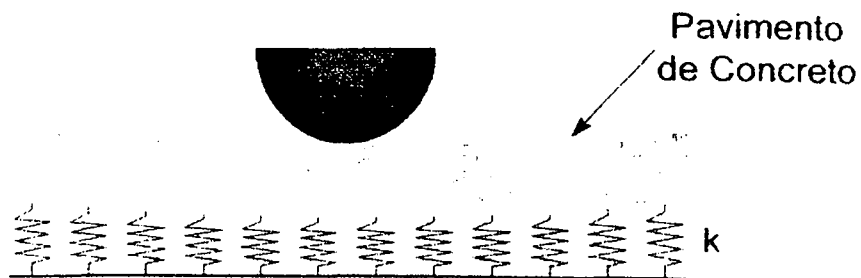


Figura 2.11 Modelo de la subrasante ante la prueba de placa para obtención de K.

### Forma indirecta de obtener K.

Debido a que la variable K tiene muy poco impacto en el cálculo del espesor del pavimento, se hace posible poder estimar su valor a partir de correlaciones con otros valores de resistencia del suelo.

Entre estas formas pueden mencionarse:

- *A partir del módulo de resiliencia (MR) del suelo:*

El módulo de resiliencia o resiliente del suelo, MR, se emplea para caracterizar a las capas de apoyo del pavimento (terreno natural y capas subrasantes). Este módulo es la medida de las propiedades elásticas de los suelos, considerando también sus propiedades o respuestas no lineales. Este parámetro se puede utilizar directamente en el diseño de los pavimentos flexibles, no así en los de tipo rígido, en donde como ya se mencionó se requiere del valor de K.

El MR puede correlacionarse con el CBR o VRS (valor relativo de soporte del suelo) a partir de la siguiente expresión, según la guía de diseño de la AASHTO, 1993:

$$MR = 1500 \times CBR \quad (2.10)$$

Dónde MR está dado en PSI, CBR es el valor relativo de soporte de acuerdo con el cuerpo de ingenieros de E.U.A. Esta correlación se considera aceptable para los suelos finos saturados de CBR < 10%.

El MR puede también estimarse a partir de pruebas no destructivas PND, normalmente en base a pruebas con deflectómetros.

Se calcula como:

$$MR = C \left[ \frac{0.24 \times P}{d_r \times r} \right] \quad (2.11)$$

Donde:

MR = Módulo de resiliencia del terreno de apoyo (en kg/cm<sup>2</sup>).

P = Carga aplicada (Kg).

d<sub>r</sub> = Deflexiones medidas a una distancia radial r (en cm).

r = distancia radial a la cual la deflexión se mide en cm.

C = factor de ajuste para hacer que el factor MR sea congruente para los empleados para la formulación correspondiente a la capa de apoyo que caracterizó el tramo de prueba AASHTO.

Se recomienda usar un valor no mayor a C=0.33.

La ecuación anterior se fundamenta en que las mediciones más retiradas del lugar de la carga en realidad miden las deflexiones que sufre la capa de apoyo o subrasante, y es independiente del radio del área que configura la carga.

Una vez conocido el valor de MR éste se correlaciona con el módulo de reacción de la subrasante K, que es el parámetro de diseño de pavimento rígido que nos interesa, a partir de la siguiente expresión:

$$K = \frac{MR}{19.4} \quad (2.12)$$

Donde K y MR están dados en PCI y PSI. respectivamente.

- *A partir del %CBR del suelo:*

Puede bien no obtenerse el valor de MR, pero conociendo el tipo de suelo de la subrasante, así como el valor relativo de soporte de éste (%CBR), puede entonces obtenerse el valor de K. La figura 2.12 muestra la forma de obtener K en PCI a partir del conocimiento del suelo de la subrasante o terreno natural, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), o bien de acuerdo a la clasificación de suelos de la AASHTO, así como del conocimiento del %CBR que dicho suelo presente.

En la tabla 2.21 se muestra de acuerdo al tipo de suelo, la calidad de soporte que éste ofrece, así como el rango de valores de MR, %CBR y de K.

TIPO DE SUELO	SOPORTE	K(PCI)	MR(PSI)	CBR(%)
Limos y Arcillas	Muy bajo	50-100	1000-1900	< 3
Granular fino	Bajo	100-150	1900-2900	3-5.5
Arenas	Medio	150-220	2900-4300	5.5-12
Gravas	Alto	220-250+	4300-4850	> 12

Tabla 2.21 Calidad de soporte, K, MR, %CBR de acuerdo al tipo de suelo de la subrasante.(Ref. 2).

La tabla anterior idealiza al tipo de suelo como puro, es decir 100% arena, 100% grava etc., y esto en la naturaleza es muy difícil que se dé, pues cada tipo de suelo se encuentra en combinación con otros modificando así sus características. Por lo que los valores cuantitativos tanto del módulo de resiliencia (MR) como del valor relativo de soporte (CBR) en la tabla anterior son tan sólo un parámetro de referencia para idealizar las características del material en la subrasante. Es conveniente obtener tanto el MR como el CBR a partir de ensayos de laboratorio o pruebas in situ.

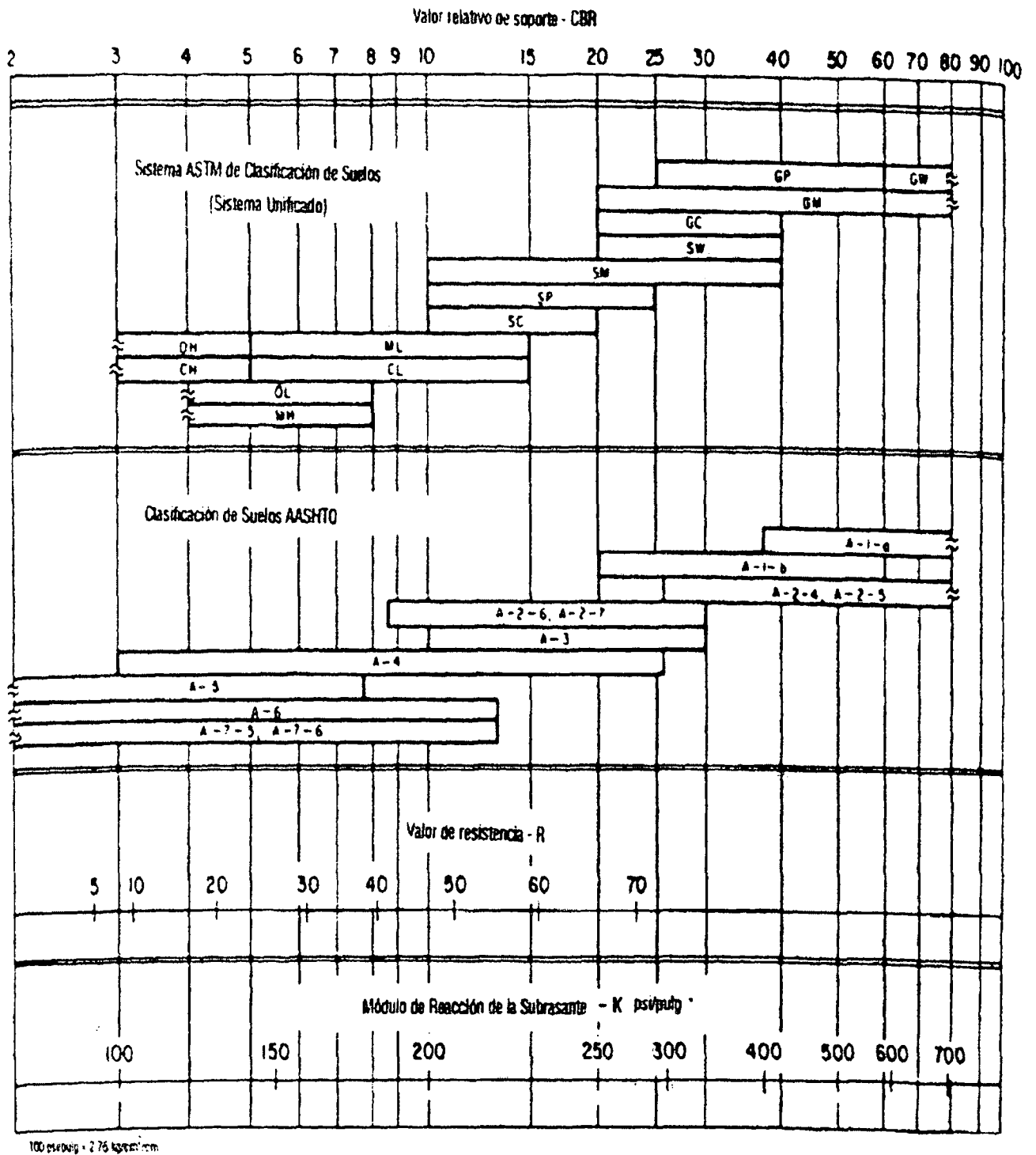


Figura 2.12 Obtención del Módulo de reacción de K, a partir del %CBR y del tipo de suelo (clasificación unificada y/o clasificación AASHTO) (Refs. 11,14).

Hasta aquí llega la mención de las formas indirectas de obtener K. En resumen podemos decir que los valores históricos de K se han presentado entre 150 y 250 PCI.

Por otra parte hay que hacer la observación de que la mayoría de los pavimentos no se colocan directamente sobre la subrasante, sino sobre una sub-base o sobre el terreno natural pero estabilizado con cal o cemento. Tales sub-bases pueden estar formadas por materiales granulares no ligados o tratados con cal, asfalto o cemento.

Por lo anterior, el módulo de reacción de K se verá afectado, en la forma en que su valor aumenta, es decir, la presencia de una sub-base o una subrasante estabilizada representa una cimentación más resistente para el pavimento rígido a diseñar. En estos casos se debe determinar una "K compuesta" a la que llamaremos  $K_c$ , cuyo valor parte de la resistencia original de la subrasante (K).

Para determinar el valor de  $K_c$  es necesario considerar:

**1. Efectos del clima:** Los cuales suponen cambios temporales en K debido a las variaciones climáticas entre las estaciones del año. En la mayor parte de México estos efectos son despreciables ya que tales variaciones no son severas.

**2. Resistencia de la sub-base:** Debido a la presencia de ésta debe obtenerse un valor de  $K_c$ . La siguiente tabla tabula valores de  $K_c$  de acuerdo al módulo de reacción de la subrasante K y al espesor de la sub-base no tratada.

K (pci)	Espesor de la subbase no tratada (in) vs kc (pci)			
	4''	6''	8''	10''
50	63	73	84	94
100	114	128	142	156
150	162	177	195	212
200	208	271	244	264
250	253	271	291	312

Tabla 2.22 valores del módulo de reacción modificado  $K_c$ , por la presencia de la sub-base.

### 3. Proximidad del manto rocoso.

**4. Pérdida de soporte (LS, por sus siglas en inglés Low Support):** El cual supone una disminución de  $K$  o  $K_c$  debido al problema de drenaje. Un  $LS = 0$  reproduce las condiciones de la prueba AASHTO. El bombeo fue la principal causa de falla en las secciones de concreto. Por tanto la pérdida de soporte está implícita en la ecuación de diseño (2.1). Es recomendable usar un  $LS = 0$  en todos los diseños y donde se anticipen problemas de este tipo, mejorar los materiales de la sub-base o el drenaje.

#### 2.2.8. Obtención del módulo de apoyo de la cimentación ( $K_{fs}$ ) para el diseño de la sobrecarpeta.

Hasta lo anterior hemos descrito los factores o variables que intervienen en el diseño de un pavimento rígido según el método AASHTO. En todas las descripciones no se ha dejado de mencionar la aplicación de cada uno de los parámetros en el diseño de la sobrecarpeta Whitetopping, exceptuando en la descripción que se hizo del módulo de reacción  $K$  de la subrasante ó de  $K$  modificado  $K_c$ . Es precisamente en esto último donde varía el diseño de un pavimento nuevo de concreto y el de la sobrecarpeta Whitetopping, ya que para el diseño de la sobrecarpeta deberá utilizarse el módulo de reacción de toda la estructura del pavimento existente, al que llamaremos módulo de apoyo de la cimentación ( $K_{fs}$ ).

El  $K_{fs}$  no es más que la modificación de  $K$  de acuerdo a las capas de la estructura del pavimento existente hasta tomar en cuenta el apoyo superficial o carpeta asfáltica, por lo que el valor de  $K_{fs}$  es mayor, es decir, la estructura del pavimento presenta mayor resistencia que la simple subrasante, resistencia que debe tomarse en cuenta para diseño de toda sobrecarpeta, pues al final de cuentas ésta se cimentará sobre el pavimento existente. Es obvio entonces, que deberá contarse con la información necesaria del pavimento existente, en cuanto a las capas que le conforman, su calidad, así como sus espesores.

Como ya se mencionó el valor de  $K_{fs}$  parte del valor conocido de  $K$ . La obtención de  $K_{fs}$  se hace de modo gráfico. Las gráficas mostradas en las figuras 2.13 y 2.14 se pueden usar para obtener el soporte efectivo de materiales de base típicos granulares. La figura 2.13 se usa para materiales de base de arena natural y grava. La figura 2.14 corresponde a materiales de base formados por roca triturada bien graduada. Entonces una vez conocida la calidad de base del

pavimento asfáltico existente, así como de su espesor (en plg.); y conociendo también el valor del módulo de reacción de la subrasante  $K$  (en PCI), puede obtenerse gráficamente el valor de soporte efectivo de la base  $K_{\text{efectivo}}$  (en PCI).

El procedimiento es sencillo se entra en la gráfica con el valor del espesor de la base trazando una línea hasta alcanzar la curva que representa el valor conocido del módulo de reacción de la subrasante  $K$  (en PCI). Por último se traza una línea horizontal para llegar a soporte efectivo  $K_{\text{efectivo}}$  (en PCI) de la base.  $K_{\text{efectivo}}$  representa el valor de la resistencia que tiene el pavimento existente desde la subrasante al nivel superior de la base.

Lo que interesa para el diseño de la sobrecarpeta es la resistencia de toda la estructura del pavimento, por tanto aun falta por tomarse en cuenta la capa asfáltica. Para esto se utiliza la gráfica que se muestra en la figura 2.15, a la cual se entra con el valor ya obtenido de  $K_{\text{efectivo}}$  (en PCI) trazando una línea hasta interceptar la curva que corresponda al espesor “ $t$ ” (en pulgadas) de la carpeta asfáltica del pavimento existente, después a partir de ahí se traza una línea horizontal para llegar al valor que nos interesa que es el módulo de apoyo de la cimentación  $K_{fs}$  (en PCI). Es éste valor el que deberá utilizarse en la ecuación 2.1 para el diseño de la sobrecarpeta.

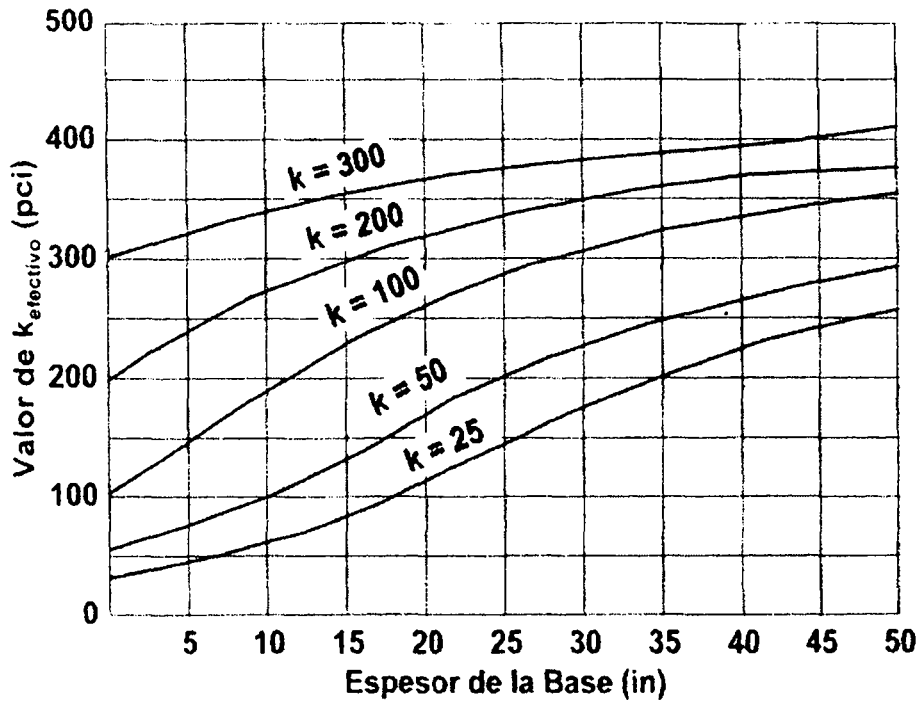


Figura 2.13 Gráfica para determinar  $K_{\text{efectivo}}$  de bases de arena natural y grava.

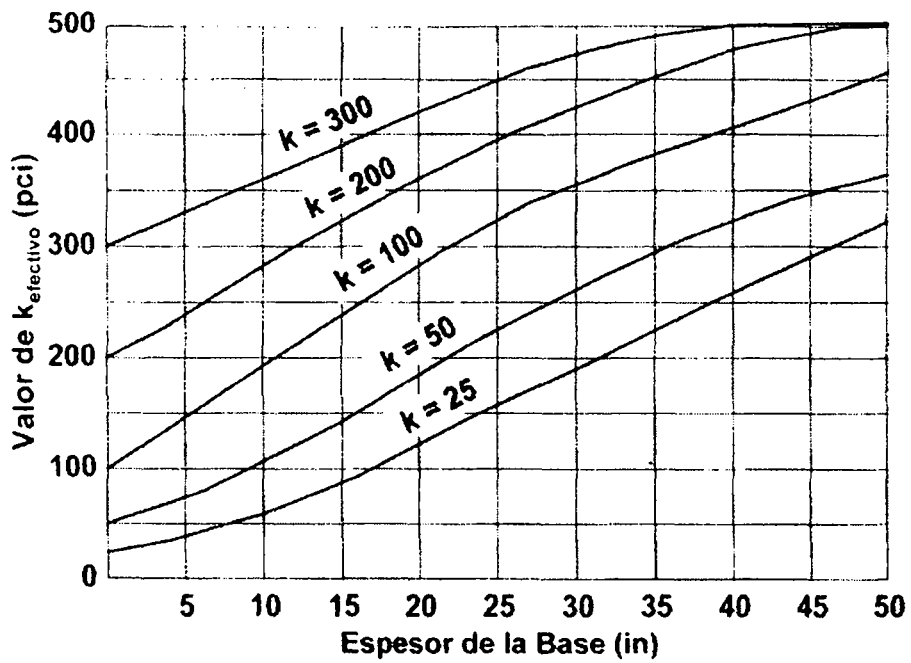


Figura 2.14 Gráfica para determinar  $K_{\text{efectivo}}$  de bases de roca triturada bien graduada

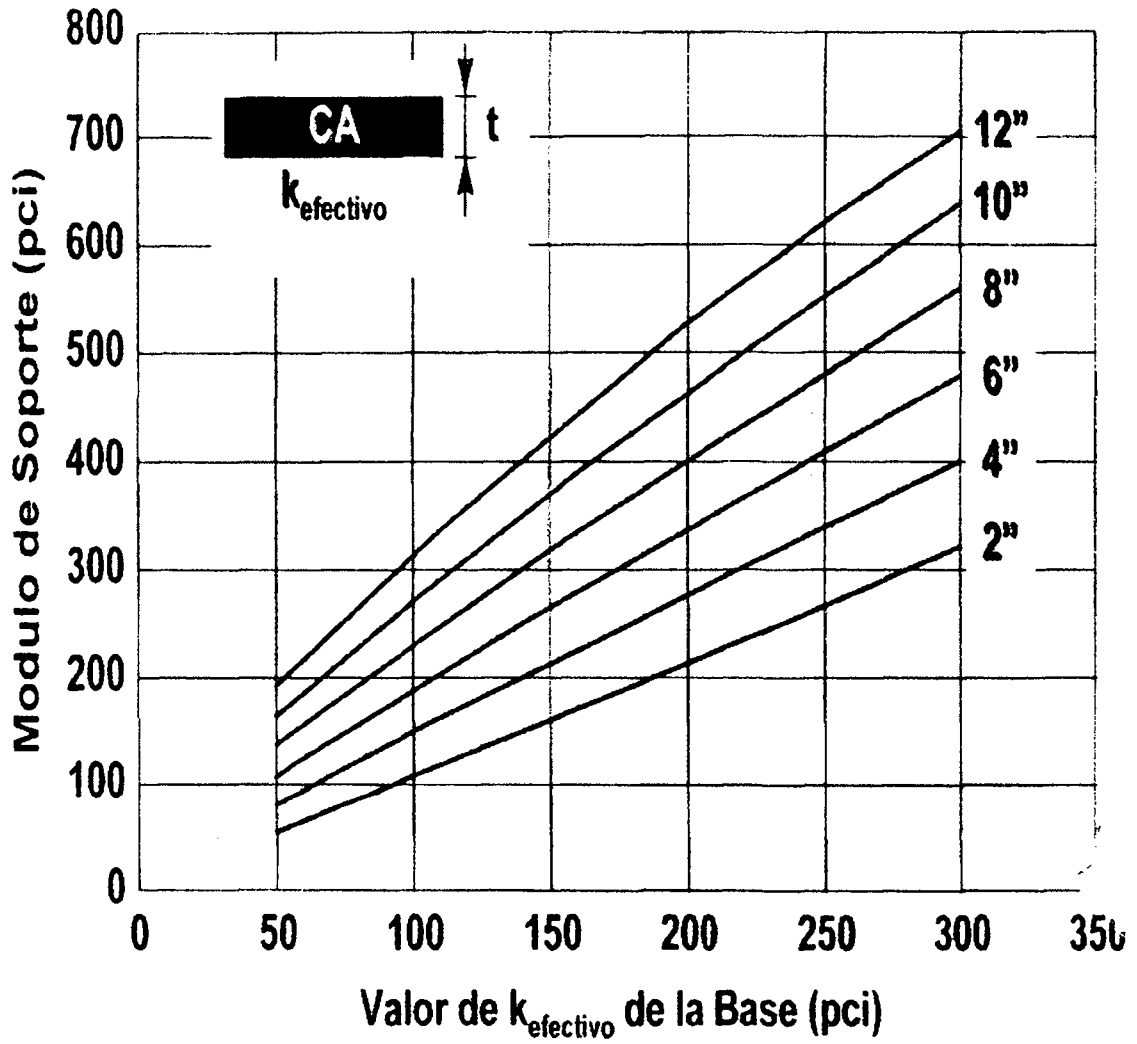


Figura 2.15 Gráfica para determinar el módulo de apoyo de la cimentación (Kfs)

### 2.2.9. Espesor (D)

El espesor del pavimento encontrado en el diseño, es aquel que para las condiciones dadas, al aplicarse los  $\Sigma$ ESAL's, la serviciabilidad del pavimento será la Serviciabilidad Final (Pt) definida. El rango de aplicación de ésta ecuación de diseño va de 2.5 a 12.5 pulgadas (6 a 32 cm.), que es el rango utilizado en la prueba AASHTO.

En otras palabras, el espesor (D) del pavimento nuevo o de la sobrecarpeta a diseñar es la incógnita en la ecuación de diseño 2.1, cuya igualdad indica que el valor encontrado para el espesor deberá ser aquel que sea capaz de soportar el número de ESAL's acumulados para un periodo de diseño determinado cuando el pavimento llegue a un valor de Pt también especificado para su diseño.

Es éste espesor (D) el que satisface la igualdad en la ecuación 1.1, para el espesor requerido de la sobrecarpeta Whitetopping.

## 2.3. OTRAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

Hasta aquí se ha descrito el método AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos enfocado al diseño de una sobrecarpeta Whitetopping. La parte más importante del diseño de un pavimento rígido nuevo de una sobrecarpeta de concreto hidráulico es la determinación de su espesor, pero debe también tomarse en cuenta otros aspectos como son la modulación de losas, pasajuntas, barras de amarre.

- **Modulación de losas:** La modulación de las losas hace referencia a la separación de las juntas transversales, como longitudinales. La separación de las juntas transversales (SJT) se calcula mediante la expresión:

$$SJT = \text{Espesor losa (cm.)} \times 24 \quad (2.13)$$

Será importante tomar en cuenta, para la separación de las juntas transversales, el tipo de pavimento por construir (Simple o con Refuerzo), de acuerdo a los requerimientos de carga, pues a mayor cantidad de refuerzo mayor será la separación de las juntas.

Por otra parte, en lo más posible, debe buscarse que la separación de las juntas longitudinales (SJL) coincidan con los anchos del carril, y que los tableros sean lo más cuadrados posibles.

- **Pasajuntas:** (Consultar parte 2.2.4 del presente trabajo para información al respecto).
- **Barras de amarre:** Las barras de amarre evitan que el pavimento se abra en las zonas de las juntas longitudinales, especialmente en los pavimentos no confinados. La cantidad de acero y longitud de las varillas se calcula con las siguientes expresiones:

$$AS = \frac{w \times h \times SJL \times fa}{fs} \quad (2.14)$$

Donde:

AS = Acero por unidad de longitud.

w = peso volumétrico del concreto (150 lbs/ft<sup>3</sup>)

h = espesor de la losa (ft)

SJL = separación de las juntas longitudinales (ft)

fa = fricción (1.5)

fs = Esfuerzo permisible del concreto (27000lb/plg<sup>2</sup>)

$$L = \frac{0.5 \times (fs \times d)}{350} + 3 \quad (2.15)$$

Donde:

L = longitud de la barra de amarre.

d = diámetro de la barra de amarre.

fs = esfuerzo permisible del concreto (27000lbs/plg<sup>2</sup>)

### **3. EJEMPLO PRACTICO DE APLICACIÓN DEL DISEÑO DE UNA SOBRECARPETA DE CONCRETO HIDRÁULICO WHITETOPPING.**

En esta parte del trabajo se presenta un ejemplo práctico para el diseño de una sobrecarpeta de concreto hidráulico Whitetopping.

El diseño será mediante el Método AASHTO ya descrito en el capítulo 2.

Para fines de trabajo de tesis consideraremos lo siguiente:

Se hará de cuenta que una dependencia gubernamental, correspondiente a la conservación de los caminos, ha llevado a cabo la evaluación de un tramo carretero de pavimento asfáltico, y ha llegado a la conclusión de que dicho tramo presenta deterioros tales que hacen necesaria su rehabilitación por reencarpetado.

Dicha dependencia nos ha contratado para llevar a cabo el proyecto de rehabilitación de un subtramo del tramo carretero evaluado. Este subtramo a rehabilitar será el que presenta mayores deterioros tanto superficiales, como estructurales.

Nosotros como contratistas, al analizar el reporte de las evaluaciones llevadas a cabo sobre el pavimento existente (ANEXO 1), desechamos las posibilidades de llevar a cabo un tratamiento somero sobre la superficie del pavimento a rehabilitar, y más bien contemplamos

hacer una rehabilitación por reencarpetado. Tenemos entonces dos opciones, reencarpetar con asfalto o con concreto hidráulico que sería el caso del Whitetopping.

Después de un análisis de los reportes, y de haber hecho un análisis económico a largo plazo, llegamos a la conclusión de que el uso de un Whitetopping será la opción más factible para llevar a cabo la rehabilitación del subtramo carretero por definir.

Es importante mencionar que el objetivo de éste ejemplo práctico de aplicación no es presentar procedimientos constructivos o costos y más bien presentar detalladamente la aplicación del Método AASHTO para el diseño de la sobrecarpeta de concreto hidráulico Whitetopping. Esto se hará mediante la solución de la ecuación 2.1.

El análisis del pavimento evaluado que aquí se presenta no será tan profundo, pues consideraremos que para fines de tesis y de éste ejemplo sólo nos serán útiles aquellos datos del pavimento que intervendrán directamente en el diseño para la sobrecarpeta.

Para tomar datos reales de la evaluación hecha sobre un pavimento, fue necesario el apoyo del Departamento de Servicios Técnicos de la S.C.T en Puebla, en donde amablemente se proporcionó información acerca de un tramo carretero evaluado.

Dicho tramo carretero corresponde a la carretera Puebla-Jalapa. A continuación se detallan todos los datos necesarios para cumplir con el objetivo mencionado.

## **ESTUDIO DE REHABILITACIÓN MEDIANTE WHITETOPPING DE UN SUBTRAMO DE:**

**Carretera: Puebla-Jalapa.**

**Tramo: Acatzingo-Zacatepec**

**(Km. 8+400 al Km. 54+000)**

**Origen: San Hipólito, Puebla.**

### **3.1. ANTECEDENTES DEL CAMINO.**

El tramo en estudio fue construido hace más de 50 años, se desarrolla prácticamente en terreno plano, constituido principalmente por suelos aluviales, generando alturas de corte y terraplén no mayores de 2m; consta de un solo cuerpo con ancho de corona que varía de 6.2 a 7m,

durante su operación se le han efectuado diversos trabajos de conservación rutinarios, siendo los más recientes en el año de 1993.

La carretera es de 2 carriles, uno en cada sentido, puede decirse que esta carretera es una vialidad del tipo troncal rural.

Se considera, de acuerdo a los estudios correspondientes, que sobre el camino actual circula un TPDA en ambos sentidos de 4968 vehículos, de acuerdo a esto el camino es primario o del tipo A.

### **3.2. EVALUACIÓN ACTUAL DEL CAMINO.**

#### **Evaluación Superficial.**

Con la finalidad de conocer el estado superficial del tramo, se llevó a cabo una evaluación del tipo subjetiva en la cual cinco operadores se encargaron de calificar el I.S.A o PSI (AASHTO) del pavimento existente. Dicha calificación varió de 3 a 2. El valor de 2 está por debajo del nivel de rechazo de un pavimento considerado igual a 2.5.

Los daños que se observan sobre el pavimento van de moderados a severos y son principalmente: roderas, deformaciones transversales, agrietamientos en forma de piel de cocodrilo, pérdida de agregado grueso, baches y exudación de asfalto.

#### **Evaluación Estructural.**

La evaluación estructural llevada a cabo fue de ambos tipos: Con pruebas destructivas (PD) y no destructivas (PND).

La evaluación estructural destructiva fue a partir de sondeos hechos sobre el pavimento, con el fin de conocer las características de cada una de las capas que lo conforman. Se llevaron a cabo 41 sondeos en cada kilómetro a partir del Km 11+500 hasta el Km 53+000 estos sondeos iban intercalados en cada uno de los dos carriles.

La estructura encontrada del pavimento fue la siguiente: Carpeta asfáltica con un espesor promedio de 8 cm, Una base, con calidad similar a la de una subbase, con espesor promedio de 12 cm, y la subrasante con espesor promedio de 30 cm.

Las características de dichas capas son como siguen:

La base encontrada es una base hidráulica de arenas limosas con arcilla y arenas mal graduadas. Esta base no tiene una calidad como tal, y más bien presenta características de subbase.

La subrasante está constituida por arenas limosas de buena calidad, con límites líquidos e índice plástico bastante aceptables. El valor relativo de soporte (%CBR) varía del 22 al 50%.

La evaluación estructural con PND tuvo como objetivo conocer la capacidad de carga que presentaba el camino, mediante la obtención de deflexiones. El dispositivo mecánico para dicho fin fue la Viga Benkelman.

Esta evaluación se llevó a cabo a cada 3 Km en tramos de prueba de 500 m que a su vez estaban divididos en estaciones a cada 20 m en cada una de las cuales eran medidas las deflexiones.

Las deflexiones características obtenidas en el tramo van de 30 a 60 milésimas de pulgada. Este último valor es mayor al considerado como límite para determinar que un pavimento está en buenas condiciones; dicho valor como ya se mencionó es de 1 mm. (40 milésimas de pulgada).

### **3.3. ELECCIÓN DEL SUBTRAMO DEL CAMINO A REHABILITAR.**

De acuerdo con el deterioro superficial y a las condiciones estructurales presentes, se ha decidido rehabilitar el subtramo limitado por los kilómetros 11+750 a 15+000. Este subtramo presenta un I.S.A promedio de 2.2 y deflexiones medidas de 0.060 pulgadas, es decir, dicho subtramo cumple con los “requisitos” necesarios para su rehabilitación mediante Whitetopping.

La calidad de la base y la subrasante en éste subtramo es igual a la ya descrita para todo el tramo evaluado. La subrasante presenta un CBR promedio del 25%.

### **3.4. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LA SOBRECARPETA DE CONCRETO HIDRÁULICO WHITETOPPING.**

A continuación se determinan los valores de cada uno de los parámetros, que de acuerdo al método AASHTO en la ecuación 2.1 intervienen en el diseño de un pavimento rígido, en éste

caso, en el diseño del Whitetopping.

Por tanto, en base a lo expuesto en el capítulo 2 del presente trabajo tendremos:

### **Periodo de diseño (n)**

La tabla 2.1 nos muestra el periodo de diseño recomendable para determinado tipo de vialidad. El camino en estudio es un camino rural de alto volumen vehicular (Tipo A) por lo que el rango para su periodo de diseño va de 20 a 50 años. Nosotros tomaremos un valor de periodo de diseño de **n = 20**.

### **Serviciabilidad (Po, Pt, ΔPSI)**

Los parámetros de serviciabilidad para sobrecarpetas de concreto hidráulico según la AASHTO son:

- Serviciabilidad inicial **Po = 4.5** (Tabla 2.2)
- Serviciabilidad final Pt, se determina considerando que la vialidad bajo estudio es del tipo primaria. De la tabla 2.3 determinamos un valor de Pt igual al nivel de rechazo es decir: **Pt= 2.5**.
- Pérdida de Serviciabilidad ΔPSI: De la ecuación 2.2 tenemos:  $\Delta PSI = 4.5 - 2.5$  teniendo así **ΔPSI = 2**.

### **Tráfico (ΣESAL's)**

Se definirán, de acuerdo a la vialidad en estudio, cada uno de los parámetros necesarios para el cálculo de los Ejes Sencillos Equivalentes acumulados ( ΣESAL's) de diseño para el periodo n=20 años ya definido.

El cálculo de los ΣESAL's se hará con la fórmula 2.3 como se ha descrito en el capítulo 2, (2.2.2.2).

Formula 2.3:

$$\Sigma ESAL's = (\%Ci \times TPDA \times 365 \times CT \times FCEE) \times Fc$$

- TPDA

Para esta carretera se estimó un tránsito promedio diario anual de 4968 vehículos en ambos sentidos.

- %Ci

La clasificación vehicular para el TPDA es como sigue:

Tipo de Vehículo (Ci)	%
A2	36
A'2	16
B2	6
C2	27
T2 - S1	6
T3 - S2	4
T3 - S3	5
	100%

Tabla 3.1. Clasificación Vehicular del Camino.

- CT

El periodo de diseño para la sobrecarpeta se definió como  $n = 20$  años, y de acuerdo a estudios llevados a cabo la tasa de crecimiento del tráfico en la presente carretera se considera como  $g = 5\%$ . Con estos datos podemos hacer el cálculo del coeficiente de acumulación del tráfico (CT) a partir de la fórmula 2.4:

$$CT = \frac{(1 + 0.05)^{20} - 1}{0.05}$$

Obteniendo así  $CT = 33.06$

Recordemos que CT puede también ser obtenido a partir de la tabla 2.7, siendo esto, obtenemos un  $CT = 33.07$ .

El coeficiente de acumulación del tráfico que tomaremos será :  $CT = 33.07$

- FCEE

Para la obtención de los Factores de Carga de Ejes Equivalentes (FCEE), es necesario conocer los siguientes datos:

\* Tipo de Pavimento: La sobrecarpeta de concreto hidráulico Whitetopping a diseñar es un pavimento rígido, por tanto los FCEE a usar serán los correspondientes a éste tipo de pavimentos (tablas 2.8).

\* Cargas Vehiculares : Estas se obtienen para cada tipo de vehículo de acuerdo a su conjunto de ejes (sencillo, tandem o tridem), al tipo de camino (A,B,C), y a la condición de carga del vehículo (vacío y/o máxima).

Para el caso que estamos analizando tenemos 7 tipos de vehículos evaluados en el TPDA: A2, A'2, B2, C2, T2 – S1, T3 – S2, T3 – S3. Para cada uno de éstos obtendremos, de las correspondientes tablas 2.5 (2.5.4.1, 2.5.4.2, 2.5.4.3, 2.5.4.6, 2.5.3.3, 2.5.3.5, 2.5.3.6), la carga del vehículo por cada uno de sus conjuntos o arreglo de ejes. Para el caso que estamos estudiando tomaremos las siguientes consideraciones: Se tomara la carga máxima (en Kips) de cada vehículo, el tipo de camino es A.

\* Serviciabilidad Final (Pt): Para el diseño de la sobrecarpeta se tomo un valor de  $Pt=2.5$ .

Obtención de los FCEE :

Una vez conocidos los anteriores datos, se busca la correspondiente tabla 2.8 (2.8.4, 2.8.5, 2.8.6), cada una de estas tablas contienen los valores de FCEE para un valor determinado de Pt, al tipo de eje analizado por vehículo, a la carga de cada uno de éstos conjuntos de ejes y al espesor (D) del pavimento nuevo o de sobrecarpeta por diseñar. Dicho espesor (D) es la incógnita en la ecuación 2.1, pero tiene que ser supuesto inicialmente por tanteo.

El FCEE para un determinado conjunto de ejes es la intersección, en la matriz de valores de la correspondiente tabla 2.8, entre el valor de carga para dicho conjunto de ejes y el espesor (D) supuesto. El FCEE de diseño para cada vehículo es la suma de todos los FCEE, obtenidos como se ha descrito, para cada uno de sus conjuntos o arreglos de ejes.

- Fc

El factor de carril se obtiene de la tabla 2.9. La carretera analizada es de dos carriles, uno en cada sentido, por lo que de la tabla mencionada obtenemos un  $Fc = 0.5$

Se muestra a continuación el cálculo de los  $\Sigma ESAL$ 's de acuerdo a los parámetros definidos para la carretera que estamos estudiando.

**CALCULO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES ACUMULADOS PARA EL DISEÑO DE LA  
SOBRECARPETA DE CONCRETO HIDRAULICO WHITETOPPING.**

(Tabla de Cálculo 1)

**Carretera: Puebla- Jalapa Tipo camino: A**

**Tramo: Acatzingo- Zacatepec (Km 8+400 – Km 54+000)**

**Subtramo a Rehabilitar: Km 11+750 – Km 15+000**

**n=20 g= 5% CT= 33.07**

**TPDA= 4,968 Fc= 0.5**

**Espesor de la sobrecarpeta= 12 pulgadas (supuesto).**

Tipo de Vehículo	%Ci (2)	Tráfico presente (TPDA X (2)) = (3)	Tráfico anual (365 x (3)) = (4)	Tráfico total (CT x (4)) = (5)	FCEE			FCEE Total (6)	ESAL's ((5) x (6) x Fc)
					Sencillo	Tandem	Tridem		
A2	36	1,788	652,620	21,582,143	0.0002 x2	-	-	0.0004	4,316
A'2	16	795	290,175	9,596,087	0.002+0.032	-	-	0.034	163,133
B2	6	298	108,770	3,597,023	0.174+2.41	-	-	2.584	4,647,353
C2	27	1,341	489,465	16,186,607	0.174+2.41	-	-	2.584	20,913,096
T2 - S1	6	298	108,770	3,597,023	0.174+2.41x2	-	-	4.994	8,981,766
T3 - S2	4	199	71,640	2,369,134	0.174	3.98 x 2	-	8.134	9,635,268
T3 - S3	5	248	89,280	2,952,489	0.174	3.98	3.09	7.244	10,693,915
	100%							ΣESAL's=	55,038,847

3.2. TABLA 1. Cálculo de ΣESAL's.

**CALCULO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES ACUMULADOS PARA EL DISEÑO DE LA  
SOBRECARPETA DE CONCRETO HIDRAULICO WHITETOPPING.**

(Tabla de Cálculo 2)

Carretera: Puebla- Jalapa Tipo camino: A

Tramo: Acatzingo- Zacatepec (Km 8+400 – Km 54+000)

Subtramo a Rehabilitar: Km 11+750 – Km 15+000

n=20 g= 5% CT= 33.07

TPDA= 4,968 Fc= 0.5

Espesor de la sobrecarpeta= 12.5 pulgadas (supuesto).

Tipo de Vehículo	%Ci (2)	Tráfico presente (TPDA X (2)) = (3)	Tráfico anual (365 x (3)) =(4)	Tráfico total (CT x (4))=(5)	FCEE			FCEE Total (6)	ESAL's ((5) x (6) x Fc)
					Sencillo	Tandem	Tridem		
A2	36	1,788	652,620	21,582,143	0.0002 x2	-	-	0.0004	4,316
A'2	16	795	290,175	9,596,087	0.002+0.032	-	-	0.034	163,133
B2	6	298	108,770	3,597,023	0.1735+2.41	-	-	2.5835	4,646,454
C2	27	1,341	489,465	16,186,607	0.1735+2.41	-	-	2.5835	20,909,049
T2 S1	6	298	108,770	3,597,023	0.1735- 2.41x2	-	-	4.9935	8,980,867
T3 S2	4	199	71,640	2,369,134	0.1735	3.99 x 2	-	8.1535	9,658,367
T3 S3	5	248	89,280	2,952,489	0.1735	3.99	3.0995	7.263	10,721,963
	100%							<b>ΣESAL's=</b> <b>55,084,149</b>	

3.3. TABLA 2. Cálculo de ΣESAL's.

**Nota:** Para la obtención de los FCEE correspondientes a un espesor 12.5 pulgadas, se hizo interpolación lineal entre los espesores de 12 y 13 pulgadas en la tabla correspondiente. Los FCEE son practicamente los mismos que para el espesor de 12 pulgadas.

### **Propiedades del Concreto (S'c, Ec)**

Para elegir la resistencia del concreto a utilizar en la sobrecarpeta, de acuerdo a los bancos de agregados disponibles en la zona, se realizaron dosificaciones teóricas y de laboratorio.

Se llevaron a cabo varios ensayos de resistencia que incluyeron la prueba de flexión en vigas a los tercios del claro (fig. 2.4), así como pruebas de compresión de cilindros.

Se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de  $f'c = 380 \text{ Kg/cm}^2$ , dicha resistencia medida a los 28 días de edad.

- Módulo de ruptura (S'c).

El Módulo de Ruptura (S'c) Del concreto o resistencia a la flexión, obtenido con el ensaye de vigas cargadas a los tercios, fué de  $S'c = 646.87 \text{ PSI} = 45 \text{ kg/cm}^2$  como valor medio medido a los 28 días.

- Módulo de Elasticidad (Ec).

El Módulo de Elasticidad del concreto (Ec) fue calculado a través de la relación empírica con la Resistencia a la compresión del concreto ( $f'c = 380 \text{ Kg/cm}^2 = 5463 \text{ PSI}$ ). Aplicando la fórmula 2.8 tenemos:

$$Ec = 57,000\sqrt{5463}$$

$$Ec = 4,212,990.27 \text{ PSI} = 2.9 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

### **Coefficiente de Transferencia de Carga (J).**

El número de  $\Sigma$ ESAL's que son esperados, para el periodo de diseño definido, es un valor alto ( $> 30 \times 10^6$ ), por lo que el mecanismo de transferencia de carga en las juntas de la sobrecarpeta de concreto hidráulico por diseñar será a base de pasajuntas.

La losa será colada monolíticamente (cimbra deslizante), por lo que se considera existe soporte lateral. El camino se ha considerado primario.

Con las anteriores consideraciones, de la tabla 2.15 se obtiene un valor para diseño de:  $J=2.7$

### **Coefficiente de Drenaje (Cd)**

El drenaje o subdrenaje presente en las capas del pavimento en estudio, es un drenaje de regular a pobre debido a la presencia de suelos finos.

Se considera que son 3 meses el lapso de tiempo en que la estructura de dicho pavimento está expuesta a niveles cercanos a la saturación. Estos 3 meses representan el 25% de un año (12 meses).

Con las anteriores consideraciones, se obtiene a partir de la tabla 2.17 un valor aproximado para diseño: **Cd= 0.9**

### **Confiabilidad (R, Zr, So)**

- Confiabilidad (R)

El camino bajo estudio puede considerarse como una arteria principal. De la tabla 2.20 se considerará para diseño de la sobrecarpeta, un valor de **R= 90%**

- Desviación estándar (So)

El Método AASHTO recomienda utilizar un valor de So para sobrecarpetas de **So = 0.39** (Tabla 2.19).

- Desviación Normal (Zr)

Para la confiabilidad R= 90% que fue elegida para diseño, corresponde un valor de desviación normal **Zr= -1.282** (Tabla 2.18).

### **Resistencia de la Subrasante (K).**

Como se mencionó, el Valor Relativo de Soporte (%CBR) de la subrasante en el subtramo por rehabilitar tiene un valor aproximado del 25%. La subrasante en el subtramo, como en todo el tramo evaluado tiene una calidad de Arenas Limosas (SM, nomenclatura según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

Con estas consideraciones, usando la figura 2.12 se obtiene un valor de **K=290 PCI**.

Para diseño se considerará un valor de pérdida de soporte **LS=0**.

### **Módulo de Apoyo de la Cimentación (Kfs)**

Como ya se mencionó este valor es la resistencia de toda la estructura del pavimento, desde la subrasante hasta la carpeta asfáltica. Kfs es el valor usado para el diseño de la sobrecarpeta Whitetopping.

La resistencia  $K_{fs}$  puede ser obtenida gráficamente (figuras 2.13, 2.14) como ya ha sido descrito.

Primeramente se obtendrá la resistencia del pavimento desde la subrasante, hasta la capa de base. Debido a las características que esta última presenta, se usará la figura 2.13.

A partir del valor de resistencia de la subrasante  $K = 290 \text{ PCI}$  y el espesor de la capa de base de 12 cm (5 pulgadas) de la figura 2.13 se obtiene un valor aproximado de resistencia efectiva de la base  $K_{\text{efectivo}} = 305 \text{ PCI}$ .

Para obtener la resistencia de toda la estructura del pavimento ( Módulo de Apoyo de la Cimentación  $K_{fs}$ ) se utilizará como se ha descrito, la figura 2.15. Para un valor de  $K_{\text{efectivo}} = 305 \text{ PCI}$  y un espesor de carpeta asfáltica de 8 cm (3 pulgadas) se obtiene para diseño de la sobrecarpeta un valor de  $K_{fs} = 360 \text{ PCI}$ .

#### **Espesor de la Sobrecarpeta (D)**

El espesor de la sobrecarpeta, que es a final de cuentas el valor que nos interesa en el diseño de la sobrecarpeta, es la incógnita en la ecuación 2.1 Deberá encontrarse el espesor necesario para soportar las cargas estimadas ( $\Sigma \text{ESAL}'s$ ) en el periodo de diseño  $n = 20$  años definido.

El espesor deberá suponerse por tanteo par así obtener los  $\Sigma \text{ESAL}'s$  , con ese mismo valor de espesor supuesto se trabajará en la ecuación de diseño 2.1 hasta cumplir la igualdad.

### **3.5. DISEÑO DE LA SOBRECARPETA DE CONCRETO HIDRAULICO WHITETOPPING PARA REAHABILITAR EL SUBTRAMO ELEGIDO DEL CAMINO.**

En resumen, los parámetros definidos para el diseño de la sobrecarpeta fueron:

**Periodo de diseño (años)  $n = 20$**

**Serviciabilidad:**

$\Delta \text{PSI} = 2$

$P_o = 4.5$

$P_t = 2.5$

**Propiedades Del Concreto:**

$S'_c = 646.87 \text{ PSI}$  (45  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

$$E_c = 4,212,990.27 \text{ PSI} \quad (2.9 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2)$$

**Coefficiente de Transferencia de Carga**

$$J = 2.7$$

**Coefficiente de Drenaje**

$$C_d = 0.9$$

**Confiabilidad:**

$$R = 90\%$$

$$S_o = 0.39$$

$$Z_r = -1.282$$

**Módulo de Apoyo de la Cimentación**

$$K_{fs} = 360 \text{ PCI.}$$

Con los anteriores parámetros se llevará a cabo el diseño de la sobrecarpeta de concreto hidráulico Whitetopping.

### **Diseño A**

Para un primer espesor (D) supuesto de 12 pulgadas se obtuvo, como lo muestra la Tabla de Cálculo 1 (3.2), un número de  $\Sigma$ ESAL's = 55, 038, 847

Con este espesor, al solucionar la ecuación de diseño 2.1 se obtiene  $\Sigma$ ESAL's = 43,954,161.

### **Diseño B**

Para un segundo espesor supuesto de 12.5 pulgadas se obtiene, como se muestra en la Tabla de Cálculo 2, un número de  $\Sigma$ ESAL's = 55,084,149.

Con este espesor, al solucionar la ecuación de diseño 2.1, se obtiene:

$$\text{Log}_{10}(\Sigma\text{ESAL's}) = \left\{ \underbrace{(-1.282 \times 0.39)}_1 + \underbrace{(7.35 \times \log_{10}(12.5 + 1) - 0.06)}_2 + \frac{\underbrace{\log_{10} \left[ \frac{2}{4.5 - 1.5} \right]}_3}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(12.5 + 1)^{8.46}}} \right\}$$

$$+ \left[ \underbrace{(4.22 - 0.32(2.5)) \times \log_{10}}_4 \left[ \frac{\underbrace{646.87 \times 0.9 \times (12.5^{0.75} - 1.132)}_5}{215.63 \times 2.7 \times \left[ 12.5^{0.75} - \frac{18.42}{\left( \frac{4212990.27}{360} \right)^{0.25}} \right]} \right] \right]$$

$$\text{Log}_{10}(\Sigma\text{ESAL's}) = \underbrace{-0.499}_1 + \underbrace{8.247}_2 - \underbrace{0.1752}_3 + \underbrace{(3.42 \times 0.0534)}_4 \underbrace{0.0534}_5$$

$$\text{Log}_{10}(\Sigma\text{ESAL's}) = 7.7554$$

Despejando  $\Sigma\text{ESAL's}$  tenemos:

$$\Sigma\text{ESAL's} = 56,937,710$$

### 3.6. OBSERVACIONES.

Para la solución del diseño de la sobrecarpeta se supusieron dos valores de espesor (D) con los que se hizo el cálculo correspondiente a los  $\Sigma\text{ESAL's}$ .

Con ambos espesores (12 y 12.5 pulgadas) se obtuvieron alrededor de 55 millones de ESAL's. Es decir, que para soportar ésta cantidad de ejes acumulados en el periodo de diseño de 20 años, es necesario que la sobrecarpeta a diseñar tenga de 12 a 12.5 pulgadas de espesor.

El proceso de solución con la ecuación de diseño 2.1, es un proceso iterativo, en el que deberá forzarse la igualdad de dicha ecuación con la suposición de espesores de la sobrecarpeta. El

espesor con el que se cumpla la igualdad, será el espesor de diseño (definitivo) de la sobrecarpeta de concreto hidráulico Whitetopping.

Con el primer espesor  $D=12$  pulgadas, se obtuvo de la ecuación de diseño una cantidad de  $\Sigma ESAL's = 43,954,161$ , valor por debajo de los aproximadamente 55 millones de  $ESAL's$  esperados para éste espesor, por lo cual se desecha como el valor de diseño de la sobrecarpeta.

Había que suponer un nuevo valor de espesor. Este nuevo valor sería ligeramente mayor al anterior, por lo que se optó por un valor de  $D= 12.5$ , que es el valor límite del rango de diseño de la ecuación 2.1.

Con este valor de espesor, de la ecuación 2.1, se obtuvieron  $\Sigma ESAL's= 56,937,710$ , valor ligeramente por encima de los aproximadamente 55 millones de  $ESAL's$  que un espesor de 12.5 pulgadas puede soportar bajo las condiciones mencionadas. Con este valor de espesor no puede decirse que la igualdad de la ecuación se cumple exactamente, más sin embargo existe congruencia en los valores:

$$\text{Log}_{10}(\Sigma ESAL's) = 7.7554$$

$$\text{Log}_{10}(55,084,149) = 7.7554$$

$$7.7410 \approx 7.7554$$

Por lo tanto  **$D= 12.5$  pulgadas** (32 cm) se acepta como valor de diseño de la sobrecarpeta de concreto hidráulico Whitetopping con la cual se rehabilitará el subtramo comprendido entre los Km. 11+750 y 15+000 de la carretera Puebla-Jalapa en el tramo evaluado Acatzingo-Zacatepec (Km 8+400 al Km 54+000) en la localidad de Sn. Hipólito, Puebla.

Puede obtenerse un valor de espesor exacto para soportar las cargas de tráfico futuras. Esto implica el uso de herramientas modernas como es el caso de la computadora.

Existen softwares especializados, que facilitan el cálculo por iteraciones del espesor de diseño de un pavimento, de hecho, la AASHTO tiene un software de diseño de pavimentos en el que se incluye el diseño del Whitetopping.

## **4. CONCLUSIONES.**

El mantenimiento de los caminos es una tarea estratégica necesaria para promover el pleno desarrollo de cualquier país.

Cuando las labores de mantenimiento rutinario no logran hacer duradera, segura y económica una superficie de rodamiento, es cuando se piensa en la ejecución de un reencarpetao o sobrecarpeta de refuerzo.

Las sobrecarpetas de refuerzo se utilizan para corregir deficiencias funcionales y/o estructurales de los pavimentos. Para llegar a una solución adecuada en cuanto a que tipo de sobrecarpeta usar, es necesario contar con una evaluación confiable del estado actual del pavimento.

Una sobrecarpeta puede ser asfáltica o de concreto hidráulico (Whitetopping).

El Whitetopping es una opción competitiva a largo plazo, ya que los costos de mantenimiento y de operación son mínimos durante su vida útil, la cual es mayor a la de una sobrecarpeta asfáltica.

Por tanto ante un proyecto de rehabilitación de un pavimento asfáltico será conveniente no basarse solamente en el costo inicial para elegir la mejor opción (aparentemente el asfalto sobre el concreto), y más bien hacer un estudio de los costos a largo plazo, situación que se dificulta en nuestro país debido a los presupuestos restringidos con que cuentan las

dependencias encargadas de la conservación de caminos. Sin embargo contemplar la posibilidad de llevar a cabo una rehabilitación con Whitetopping deberá estar siempre presente.

Debido a esto, el auge que en el presente y en un futuro los pavimentos de concreto hidráulico puedan llegar a tener en México, cobra suma importancia, por lo tanto el conocimiento de todos los aspectos que les rodean será esencial. Entre éstos aspectos está el de su diseño.

Existen algunos métodos para el diseño de pavimentos de concreto tales como el de la P.C.A, pero sin duda el método de la AASHTO cuenta con mayor aceptación, y por consiguiente con mayor aplicación en la práctica ingenieril de pavimentos de muchos países, incluyendo el nuestro, México.

Los parámetros de diseño que utiliza el Método AASHTO toman en cuenta todos los factores de influencia en un pavimento por diseñar tales como las cargas a las que estará sometido (tránsito), condiciones de drenaje, transferencia de carga, propiedades del concreto. El método además introduce el concepto de Nivel de Confianza, concepto que toma en cuenta la confiabilidad de los parámetros de diseño de entrada, por consiguiente de la propia ecuación de diseño (2.1).

Por lo anterior, el Método AASHTO, es un método de diseño confiable y de sencilla aplicación.

En el AASHTO, la diferencia entre el diseño de un pavimento rígido nuevo y el de una sobrecarpeta Whitetopping, radica esencialmente en que para el pavimento nuevo interesa conocer la resistencia de la subrasante (K) o terreno de apoyo, mientras que para la sobrecarpeta deberá conocerse la resistencia de toda la estructura del pavimento asfáltico existente a rehabilitar, parámetro conocido como Módulo de apoyo de la Cimentación (Kfs). Por tanto en la ecuación de diseño (2.1) deberá de usarse el parámetro Kfs en vez de K, para así poder obtener el espesor de diseño de la sobrecarpeta Whitetopping. Los parámetros de diseño restantes son los mismos tanto para la sobrecarpeta, como para el pavimento rígido nuevo.

Los parámetros son obtenidos de la metodología AASHTO a partir de las condiciones que el proyecto presente. El diseñador deberá tener suficiente criterio para determinar el valor de cada uno de éstos. El diseño de un pavimento consiste principalmente en la determinación de su espesor. El espesor de diseño (D) de una sobrecarpeta Whitetopping es aquel que será capaz

de soportar las cargas de tránsito esperadas ( $\Sigma$ ESAL's) para un periodo de diseño (n) bajo condiciones previamente estudiadas.

Por consiguiente, el espesor de diseño (D), es la incógnita en la ecuación de diseño 2.1. El proceso de solución de ésta, es un proceso iterativo, en el que se proponen espesores hasta cumplir la igualdad con el tráfico esperado con dicho espesor. En la actualidad el cálculo se facilita con el uso de herramientas tales como la computadora.

El ejemplo práctico de aplicación de diseño de un Whitetopping, desarrollado mediante la aplicación del Método AASHTO, no pretende influenciar a nadie, pues cada diseñador tendrá su propio criterio en base a su experiencia, pero una vez que se consulte el presente trabajo, la persona interesada podrá tener más clara la idea del diseño de un Whitetopping, y entonces el acceso a un software especializado será una tarea más fácil y segura.

## REFERENCIAS

1. Salazar, A. (1988), *Guía para el diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos*, IMCYC.
2. “ Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos”, *Seminario para la Certificación de Ventas (CEMEX), México, Marzo de 1999.*
3. *Instructivo de Lineamientos Generales para el Diseño de Sobrecarpetas y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles y Rígidos*, Instituto del Asfalto de los E.U.A. (Manual Series 17 MS-17).
4. “ Identificación de fallas en pavimentos y técnicas para su rehabilitación “, *Curso Técnico Regional (S.C.T)*, Mérida Yucatán, México, 9, 10, 11 de Julio de 1997.
5. Padilla, E.(1994), *Métodos Modernos para la Evaluación Estructural de Pavimentos*, Continental.
6. *Catálogo de Deterioro de Pavimentos*, (1989), Tecnología de Carreteras Mopo, España.

7. Eres, Inc. (1987), *Techniques for Pavement Rehabilitation*, Instituto Nacional de Caminos/Administración Federal de Caminos, E.U.A.
8. Grisi, A. (1985), *Portland Cement Pavement Concrete Pavement Overlay Over A Bituminous Pavement*, Washington D.C.
9. *AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES*, Washington D.C. , 1993.
10. Crespo C., *Vías de Comunicación*, Limusa.
11. *Tipos de Pavimentos de Concreto Hidráulico*, (1998), Manual de Cemex, México.
12. “ Sobrecarpetas de Concreto “, *Construcción y Tecnología, Volumen VII, Número 83 (páginas 6 a 16), Abril de 1995.*
13. “ Whitetopping: Sobrecapas Ultradelgadas de Concreto “, *Construcción y Tecnología, Volumen IX, Número 108 (Páginas 6 a 11), Mayo de 1997.*
14. Avitia, R. (1995), *Pavimentos de Concreto*, IMCYC.

## **ANEXO 1. FORMAS PARA DATOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN DEL CAMINO.**

En éste Anexo se presentan las formas que pueden usarse para recibir los datos obtenidos de las evaluaciones tanto Superficial, como Estructural de un camino. En éste caso, se presentan las formas con los datos correspondientes al camino evaluado, a partir del cual se desarrolló el ejemplo práctico presentado en el capítulo 3.

## FORMA PARA EVALUACIÓN SUPERFICIAL O FUNCIONAL.

<b>Carretera:</b> Puebla-Jalapa
<b>Tramo:</b> Acatzingo-Zacatepec.
<b>Kilometraje:</b> 8+400 a 54+000
<b>Origen:</b> Sn. Hipólito, Puebla

<b>Fecha de Evaluación:</b> 14 de Enero de 1993
<b>Tipo de pavimento Evaluado:</b> Asfáltico
<b>Número de Evaluadores:</b> 5

<b>I.S.A</b>	
<b>0-1</b>	<b>Muy Malo</b>
<b>1- 2</b>	<b>Malo</b>
<b>2- 3</b>	<b>Regular</b>
<b>3- 4</b>	<b>Bueno</b>
<b>4- 5</b>	<b>Muy Bueno</b>

<b>Evaluador</b>	<b>8+450 A</b>	<b>11+750 A</b>	<b>15+000 A</b>	<b>23+400 A</b>	<b>30+800 A</b>	<b>34+500 A</b>	<b>37+000 A</b>
	<b>11+750</b>	<b>15+000</b>	<b>23+400</b>	<b>30+800</b>	<b>34+500</b>	<b>37+000</b>	<b>54+000</b>
<b>1</b>	3	2.5	3	2.8	3	3	3
<b>2</b>	3	2	3	2.8	2.8	3	2.5
<b>3</b>	2.8	2	3	3	2.8	3	3
<b>4</b>	3	2	3	3	2.5	2.8	3
<b>5</b>	3	2.5	3	3	2.8	3	2.8
<b>Promedio</b>	2.96	2.2	3	2.92	2.78	2.96	2.86

**Observaciones:** La evaluación de la superficie de la carretera se llevó a cabo en toda su extensión, bajo condiciones climáticas normales. Esta evaluación se realizó tanto de ida como de vuelta. Se nota que el subtramo que presenta mayor deterioro superficial es el 11+750 a 15+000.

**FORMA PARA EVALUACION ESTRUCTURAL (VIGA BENKELMAN).**

<b>Carretera:</b> Puebla-Jalapa.	<b>Origen:</b> Sn. Hipólito, Puebla.
<b>Tramo:</b> Acatzingo-Zacatepec.	<b>Fecha:</b> 16 de Enero de 1993
<b>Kilometraje:</b> 11+500 a 53+000	

Estación (Km)	Temperatura (°C)	Lecturas en 0.001"			Corrección	
		Inicial	Final	Deflexión	Factor	Deflexión Corregida
11+500 a 15+750	34	256	190	66	0.92	61
15+750 a 18+750	37	112	59	53	0.67	36
18+750 a 21+750	40	146	130	16	0.64	10
21+750 a 24+750	38	138	98	40	0.66	26
24+750 a 27+750	40	120	83	37	0.64	24
27+750 a 30+750	39	136	87	49	0.65	32
30+750 a 33+750	35	43	38	5	0.68	3
33+750 a 36+750	37	67	13	54	0.67	36
36+750 a 39+750	38	132	92	40	0.66	26
39+750 a 42+750	40	96	70	26	0.64	17
42+750 a 45+750	40	119	79	40	0.64	26
45+750 a 48+750	35	70	36	34	0.68	23
48+750 a 51+750	35	100	64	36	0.68	24
51+750 a 53+000	38	122	74	48	0.66	32

**Observaciones:** En éste reporte se presentan los valores promedio tanto de temperatura, como de deflexión para cada subtramo evaluado. La deflexión definitiva ha sido corregida por el factor de temperatura. El subtramo que presenta mayor deterioro estructural es el comprendido entre los kilómetros 11+500 a 15+750.

## ANEXO 2. EQUIVALENCIA DE UNIDADES.

Sistema Inglés	Sistema Internacional
* 1 pie	0.3048 m
* 1 pulgada	2.54 cm
* 1 Kip=1000lb	
* 2.2 Kips	1 tonelada
* 1 PSI= 1 Lb/plg <sup>2</sup>	
* 1 PCI= 1 PSI/plg	
* 14.375 PSI	1 Kg/cm <sup>2</sup>
* 100 PCI	2.76 Kg/cm <sup>2</sup> /cm
<p><b>Todos los parámetros que involucra la ecuación 2.1 deben de estar en el mismo sistema de unidades.</b></p>	

## **ANEXO 3. TABLAS, FORMULAS Y FIGURAS**

### **1. INTRODUCCION**

#### **Fórmulas**

1.1. Espesor de diseño de la sobrecarpeta de concreto Hidráulico Whitetopping----- pag. 13

#### **Figuras**

1.1. Corte esquemático de un Whitetopping -----10

## **2. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA SOBRECARPETAS DE CONCRETO HIDRAULICO WHITETOPPING. (AASHTO).**

#### **Tablas**

2.1. Periodo de diseño (n)----- 17

2.2. Serviciabilidad inicial (Po) para cada tipo de pavimento-----21

2.3. Valores recomendados de Serviciabilidad final (Pt) dependiendo del tipo de camino o vialidad. -----22

2.4. Clasificación vehicular (SCT). -----25

2.5. Carga para arreglos de ejes en cada tipo de vehículos ----- 26-36

2.6. Tipo de crecimiento del tráfico de acuerdo al tipo de camino. ----- 37

2.7. Valores del coeficiente de acumulación de tráfico (CT).----- 38

2.8. Factores de carga ejes equivalentes (FCEE) para pavimentos rigidos. ----- 40-51

2.9. Valores de factor de carril (Fc).-----52

2.10. Parámetros de cálculo de ESAL's.-----	53
2.11. Comparación de valores de $f'c$ , $S'c$ al tercio del claro y $S'c$ al centro del claro-----	57
2.12. Valores típicos de la desviación estándar normal ( $z$ ) para cálculo de módulo de ruptura ( $s'c$ ) promedio. -----	58
2.13. Valores típicos del módulo de ruptura ( $S'c$ ) comparados con valores del módulo de elasticidad ( $E_c$ ). -----	59
2.14. Tamaño de las pasajuntas. -----	61
2.15. Valores del coeficiente de carga ( $J$ ). -----	62
2.16. Calidad del drenaje o subdrenaje. -----	65
2.17. Valores recomendados del coeficiente de drenaje ( $C_d$ ). -----	66
2.18. Valores de la desviación normal ( $Z_r$ ) para valores de confiabilidad o nivel de confianza $R$ . -----	69
2.19. Valores recomendados para la desviación estándar de diseño ( $S_o$ ).-----	69
2.20. Valores de confiabilidad o nivel de confianza ( $R$ ) recomendados para diseño. -----	70
2.21. Calidad de soporte $K$ , $MR$ , $\%CBR$ , de acuerdo al tipo de suelo de la subrasante.-----	74
2.22. Valores del módulo de reacción modificado, $K_c$ , por la presencia de subbase.-----	76

## Fórmulas

2.1. Ecuación de diseño para pavimentos rígidos (AASHTO).-----	17
2.2. Pérdida de la serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ).-----	22
2.3. Cálculo de los ejes sencillos equivalentes acumulados (ESAL's). -----	24
2.4. Cálculo del coeficiente de acumulación de tráfico (CT). -----	37
2.5. Cálculo $S'c$ al tercio a partir de $S'c$ al centro. -----	56
2.6. Cálculo $S'c$ a partir de $F'c$ . -----	56
2.7. Cálculo $S'c$ promedio. -----	57
2.8. Cálculo de $E_c$ a partir de $f'c$ . -----	58
2.9. Cálculo de $E_c$ a partir de $S'c$ . -----	58
2.10. Cálculo del módulo de resiliencia $M_r$ (a partir de $\%CBR$ ). -----	72
2.11. Cálculo del módulo de resiliencia a partir de PND.-----	72
2.12. Cálculo del módulo de reacción de Subrasante ( $K$ ) a partir de $MR$ .-----	73
2.13. Separación juntas transversales (SJT). -----	81

2.14. Area de acero para las barras de amarre(As). -----	82
2.15. Longitud de barras de amarre (L). -----	82

## Figuras

2.1. Nomograma para diseño de pavimento rígido (AASHTO). -----	18-19
2.2. Escala de índice de serviciabilidad presente (PSI).-----	21
2.3. Gráfico que muestra la pérdida de serviciabilidad de un pavimento de acuerdo al tráfico acumulado. -----	23
2.4. Obtención del módulo de ruptura del concreto (S'c) mediante el ensaye de una viga simple cargada a los tercios del claro.-----	55
2.5. Obtención de S'c del concreto mediante el ensaye de una viga simple cargada al centro del claro. -----	56
2.6. Eficiencia en la transferencia de carga .-----	59
2.7. Pavimento con pasajuntas.-----	61
2.8. Comparación entre la curva de desempeño o comportamiento y la de diseño para un pavimento en particular como función del tráfico y del índice de servicio.-----	67
2.9. Concepto del índice de confianza (R) o confiabilidad. -----	68
2.10. Prueba de placa para la obtención del módulo de reacción de la subrasante (K)-----	71
2.11. Modelo de la subrasante ante la prueba de placa para obtención de (K). -----	71
2.12. Obtención del módulo de reacción de la subrasante (K) a partir del %CBR y del tipo de suelo (Clasificación unificada y/o clasificación AASHTO).-----	75
2.13. Gráfica para determinar K efectivo de bases de arena natural y grava. -----	79
2.14. Gráfica para determinar K efectivo de bases de roca triturada bien graduada. -----	79
2.15. Gráfica para determinar el módulo de apoyo de la cimentación (Kfs). -----	80

## 3.1. EJEMPLO PRACTICO DE APLICACIÓN DEL DISEÑO DE UNA SOBRECARPETA DE CONCRETO HIDRAULICO WHITETOPPING.

### Tablas

3.1. Clasificación vehicular del camino. -----	88
3.2. Tabla 1. Cálculo de $\Sigma$ ESAL's. -----	90
3.3. Tabla 2. Cálculo de $\Sigma$ ESAL's. -----	91