



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

Tesis de Licenciatura

Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos

Director de Tesis

M.I Margarita Puebla

Autor

Nancy Francia Arroyo Hilton

México D.F. 2010





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

Introducción.....	2
I. Antecedentes y Generalidades.....	2
I.1 La conservación	5
II. Factores que interviene en el diseño de pavimentos	7
II.1 Efectos de tránsito	7
II.1.1 Tipos de vehículos	8
II.1.2 Configuración y número de llantas por eje	11
II.1.3 Número de repeticiones de carga por cada punto en la superficie de rodamiento.....	12
II.2 La influencia de la plasticidad, resistencia, deformación de los materiales y los efectos del medio ambiente.....	12
III. Diseño de pavimentos rígidos	15
III.1 Procedimiento de diseño.....	17
III.2 Definición, función y tipo de juntas	41
III.3 Diseño de pasajuntas.....	45
IV. Clasificación de los daños del pavimento	49
V. Métodos de reparación y su proceso constructivo.....	56
VI. Algunos casos de estudio en vías primarias	58
VII. Conclusiones.....	63
Bibliografía	65

Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos

Introducción:

El presente trabajo se ha dividido en los siguientes temas: el **tema I** cuyo título es **“Antecedentes y Generalidades”** trata de los tipos de pavimento existente y de las diferencias que existen entre éstos, así como también de las actividades que deben de realizarse para la conservación de los pavimentos. El **tema II** denominado **“Factores que interviene en el diseño de pavimentos”**, como su nombre lo indica, trata de agentes que se deben de tomar en cuenta para que el diseño de un pavimento sea el adecuado; de los efectos del tránsito, considerando el tipo de vehículo y el número de ejes y de la influencia que tiene el medio ambiente en la resistencia del suelo donde se desplantará la sección estructural. El **tema III** titulado **“Diseño de pavimentos”**, describe detalladamente las capas que conforman un pavimento rígido, sus características y funcionamiento; explica el procedimiento a seguir para el cálculo del espesor del pavimento mediante el método *American Association of State and Transportation Officials (AASHTO)*, explicando cada una de las variables de diseño que se consideran para el diseño del espesor del pavimento, como son: espesor, serviciabilidad, tránsito, transferencia de carga, propiedades del concreto, resistencia a la subrasante, drenaje y la confiabilidad, para ello se presenta un ejemplo utilizando éste método. El diseño de las pasajuntas también se describe en este capítulo e inherentemente la función y tipo de juntas. El **tema IV y V**, **“Clasificación de los daños del pavimento”** y **“Métodos de reparación y su proceso constructivo”** respectivamente, detallan las fallas y las causas que se pueden presentar en el pavimento y la reparación para las falla más comunes. Por último, el **tema VI** llamado **“Algunos Casos de Estudio en vías primarias”** se mencionan las fallas, la forma de medición así como también el proceso de reparación para algunos casos en particular.

I. Antecedentes y Generalidades

Un pavimento es el conjunto de capas entre la subrasante y la superficie de rodamiento que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Dependiendo del tipo de pavimento se clasifica en pavimento asfáltico o flexible y de concreto hidráulico o rígido. Este último en ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa generalmente en las juntas de las losas.

La principal diferencia entre el pavimento asfáltico y el hidráulico es la forma como reparten las cargas como se observa en la Figura 1.1. Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema de capas. Los rígidos tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen las cargas sobre un área grande.

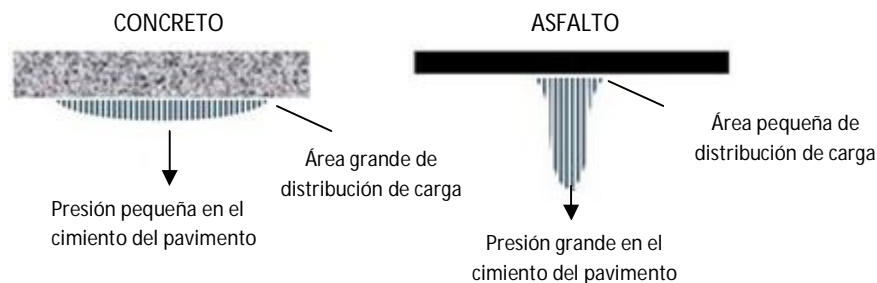


Figura 1.1. Esquema de comportamiento de un pavimento flexible y rígido.

En un pavimento rígido, debido a la rigidez de la losa de concreto se produce una buena distribución de las cargas de las ruedas de los vehículos, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. En un pavimento flexible, el concreto asfáltico, al tener menor rigidez, se deforma y transmite tensiones mayores en la subrasante.

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil.

Un pavimento rígido, además de cumplir con resistir los esfuerzos, debe tener el espesor suficiente que permita introducir en los casos más desfavorables solo deflexiones pequeñas a nivel del suelo del terreno de cimentación y cada nivel estructural apto para resistir los esfuerzos a los que está sometido. Debe cumplir con satisfacer también las *características principales* del Pavimento de Concreto hidráulico.

- Estar previstas para un período de servicio largo y,
- Prever un bajo mantenimiento.

En términos generales, un elemento estructural o una estructura, deja de prestar servicio porque:

- Pierde resistencia: como consecuencia de la acción de las cargas por degradación del medio.
- Sufre deformaciones incompatibles con la función del elemento (por acción de cargas o por problemas internos de estabilidad).

La capacidad de un material depende de su:

- RESISTENCIA: Capacidad de soportar las cargas en servicio.
- DURABILIDAD: Capacidad de soportar la acción del medio ambiente.
- APTITUD EN SERVICIO: Capacidad de experimentar deformaciones compatibles con las condiciones de servicio.

Como esta capacidad de los materiales está relacionada con la frecuencia en el tiempo del estado de sollicitaciones y a sus características propias que hacen a la durabilidad, es fundamental desarrollar **“Políticas de Conservación y Mantenimiento”** que redundan en un mejor aprovechamiento de los recursos, ya que los materiales han sido colocados y es primordial mantenerlos, procurando de esta forma, óptimas condiciones durante su vida útil y mejorando las condiciones de circulación del usuario.

Además, la calidad final de una obra vial dependerá de:

- Las consideraciones al momento del cálculo, es en esta etapa cuando se plantean todas las condicionantes que involucra a la obra en cuestión,
- De los controles, que garanticen la calidad de los materiales a utilizar y de las capas que conforman la estructura,
- De las tareas de mantenimiento durante su vida útil y su excelente estado de conservación durante la misma.

I.1 La Conservación.

Desde un punto de vista general las actividades de conservación han de cubrir dos grupos de objetivos generales:

El primero se relaciona con el servicio a prestar a los usuarios (circulación segura, fluida y cómoda), llevando los costos del transporte a un mínimo posible.

El segundo incluye la preservación patrimonial de la carretera que forma parte de la riqueza (capital fijo) de una Nación o de un particular.

Plantear una **conservación normal**, es hablar del conjunto de trabajos constantes o periódicos a ejecutar para evitar el deterioro o destrucción prematuro de una obra, que la mantenga en su calidad y valor. Estos trabajos deben tender a ejecutarse en forma de ciclos, para fijar los mismos se debe tener en cuenta la intensidad del tránsito, las estaciones meteorológicas del año, limpieza de cunetas y taludes; necesitando para esto un calendario de operaciones en el que deberán figurar, en forma general, algunas de las siguientes actividades:

- Programas y presupuestos anuales de conservación y mejoramiento.
- Limpieza de drenajes. Sistemas pluviales.
- Desyerbe.

- Acondicionamiento de taludes.
- Inspección y reparación de estructuras.
- Bacheos reconfiguración superficial.
- Pinturas de marcas viales y señales de tránsito.
- Reparación de defensas y contenciones.
- Reparación de equipos.
- Informe de costos.

Los objetivos particulares de las tareas de conservación son tendientes a lograr:

- Una adecuada resistencia al deslizamiento relacionada ésta con la seguridad de los vehículos.
- Una regularidad superficial acorde a los trazos y velocidades, logrando así comodidad en la circulación, factor que influye en la seguridad.
- Una resistencia estructural suficiente para el tráfico a circular por la carretera, de no ser así se caería en una disminución del valor patrimonial.

II. Factores que intervienen en el diseño de pavimentos

Agentes de intemperismo, tanto de la naturaleza como del hombre, cargas de los vehículos, calidad de los materiales y procedimiento de construcción, topografía, drenaje, incluso políticas del Sector de Comunicaciones y Transportes intervienen en el comportamiento y diseño de una sección estructural. Sin embargo los principales factores que intervienen en el diseño de un pavimento se consideran:

II.1 Efectos de tránsito.

II.2 La influencia de la plasticidad, resistencia, deformación de los materiales y los efectos con medio ambiente.

II.1 Efectos de tránsito

La técnica más utilizada para el diseño de estructuras de pavimento con capas finales de rodadura tanto asfálticas como de concreto hidráulico, siempre se refiere a la AASHTO, en este método la información requerida en las ecuaciones de diseño incluye:

- Carga por eje y configuración del mismo.
- Número de aplicaciones o paso de éste sobre la superficie del pavimento.

Un tránsito mixto esta compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes y que para efectos de cálculo se les transforma en un **número de ejes equivalentes** de 80kN o 18kips¹, que se les denomina "*Equivalent simple axial load*" o ESAL (ejes equivalentes).

El tránsito debe subdividirse en un cierto número de grupos, cada uno con diferentes configuraciones:

II.1.1 Tipos de vehículos.

II.1.2 Configuración y número de llantas por eje.

II.1.3 Número de repeticiones de carga por cada punto en la superficie de rodamiento.

¹ Kip=1000kgf =10kN

II.1.1 Tipos de vehículos.

Existen tres formas diferentes para poder clasificar los vehículos; **la primera** es por medio del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) el cual se define como el número de vehículos que pasan por un lugar durante un año, dividido entre el número de días del año, Es decir:

$$TDPA = \frac{No. \text{vehículos}}{365 \text{ días}}$$




La segunda, es de acuerdo a la clase y **la tercera** por medio del número de ejes. En la Tabla 2.1 y Tabla 2.2 se muestra esta clasificación respectivamente.

CLASE	NOMENCLATURA
Automóvil	A
Autobús	B
Camión	C
Tractor	T
Semiremolque	S
Remolque	R





Tabla 2.1. Clasificación de los vehículos de acuerdo a la clase.





La clasificación de ejes será como sigue:







Tabla 2.2. Clasificación de los vehículos de acuerdo al número de ejes.

AUTOBÚS (B)		
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
B ₂	2	
B ₃	3	
B ₄	4	

CAMIÓN (C)		
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
C ₂	2	
C ₃	3	

CAMIÓN -REMOLQUE (C - R)		
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
C ₂ - R ₂	4	
C ₃ - R ₂	5	
C ₂ - R ₃	5	
C ₃ - R ₃	6	

TRACTOR SEMIREMOLQUE (T - S)		Ó Tractocamión articulado
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T ₂ - S ₁	3	
T ₂ - S ₂	4	
T ₃ - S ₂	5	
T ₃ - S ₃	6	

TRACTOCAMIÓN DOBLEMENTE ARTICULADO (T - S - R)		
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T ₂ - S ₁ - R ₂	5	
T ₃ - S ₁ - R ₂	6	
T ₃ - S ₂ - R ₂	7	
T ₃ - S ₂ - R ₃	8	
T ₃ - S ₂ - R ₄	9	
T ₃ - S ₃ - R ₂	8	



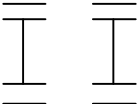
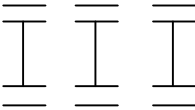
Más del 50% de los vehículos que pasan por un lugar corresponden a Tipo A, es decir, vehículos con capacidad de hasta 3 toneladas y sigue incrementando conforme la población aumenta, lo que repercute en el comportamiento de la sección estructural, así como también en el volumen máximo de tránsito que puede admitir un camino sin congestionarse. La construcción de carriles adicionales y el incremento de repeticiones de carga ligera propician un envejecimiento acelerado del pavimento.

Ante esta problemática se puede optar por implementar transporte masivo cómodo, seguro y económico para descongestionar la sección estructural e incrementar la vida útil de la sección.

II.1.2 Configuración y número de llantas por eje.

La configuración autorizada de los ejes para los diferentes vehículos se presenta en la Tabla 2.3

Tabla 2.3. Configuración y número de llantas por eje.

Eje sencillo con llantas sencillas.	
Eje sencillo con llantas dobles.	
Eje doble con llantas dobles.	
Eje triple con 12 llantas	

PESO AUTORIZADO (TONELADAS) EN VEHÍCULOS POR TIPO DE EJE

Tabla 2.4. Peso autorizado por tipo de eje.

TIPO DE EJE	PESO AUTORIZADO (TONELADAS) para camino tipo A
UN EJE SENCILLO	
Con 2 llantas.	5.5
Con 4 llantas	10.0
CON DOS EJES SENCILLOS EN TANDEM	
Con 2 llantas en cada eje.	4.5/eje
Con 4 llantas en cada eje	9.0/eje
TRES EJES SENCILLOS EN TANDEM	
Con 4 llantas en cada eje	7.5/eje

II.1.3 Número de repeticiones de carga por cada punto en la superficie de rodamiento.

Para el diseño de estructuras de pavimento es necesario conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado, por lo que se deben de realizar estudios de volumen de tránsito, los cuales pueden variar desde los más amplios en un sistema de caminos, hasta el recuento en lugares específicos tales como: puentes, túneles o intersecciones de carreteras.

Estos aforos se realizan con el objeto de:

- Determinar la composición y volumen de tránsito.
- Evaluar índices de accidentes.
- Datos útiles para planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos.
- Elaborar sistemas de mantenimiento.
- Establecer prioridades y técnicas de construcción.
- Determinar el tránsito futuro.

La fatiga producida por más de 3000 vehículos pesados por efecto de la repetición constante de cargas dadas por el tránsito, deteriora la sección estructural, es decir, que se produce una falla de la estructura derivado de las excesivas repeticiones de carga.

II.2 La influencia de la plasticidad, resistencia, deformación de los materiales y los efectos con medio ambiente.

Existen diversos factores que propician la variación de las características de resistencia y deformación en los materiales que conforman una sección estructural, como son:

- Lluvia.
- Cambio en el nivel de aguas freáticas.
- Intemperismo por cambios de clima.

Cuando el terreno natural está formado por materiales finos es probable que los cambios de humedad a los cuales está sujeto, modifiquen el volumen, la resistencia y la deformabilidad o variación volumétrica de la sección estructural.

Los cambios en los contenidos de agua pueden ser producidos por alguna de las siguientes causas:

- Infiltraciones propiciadas por agua de lluvia.
- Ascensión capilar del nivel de aguas freáticas.
- Flujo interno en la masa del suelo o roca por un drenaje o subdrenaje inadecuado.

El agua sobre la superficie de rodamiento tiene un efecto denominado de **bombeo**, el cual se produce a través de agrietamiento de la carpeta. Al estar una grieta llena de agua, la presión de las llantas de los vehículos se transmite a las capas inferiores como la base y la subbase; si estas contienen finos, al ejercer la presión, se arrastran dichos finos, junto con la expulsión de agua creándose un vacío o cavidad que posteriormente se transformará en bache, con una destrucción paulatina de la estructura del pavimento.

Dado que la base y la subbase son capas que están cercanas a la superficie de rodamiento y que deben resistir a la acción del tránsito, éstas deben ser formadas por materiales granulares.

Los materiales pétreos que se utilizan para formar la base y la subbase no deben de estar contaminados con materiales plásticos ya que éstos propician una disminución en el Valor Relativo de Soporte (VRS), entendiéndose por VSR a la resistencia que presenta un suelo al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad. En consecuencia la deformación incrementa, así como también los cambios volumétricos con el aumento de contenido natural de agua.

La elección de los materiales de terracería y de la capa subrasante, son parte fundamental para la construcción de caminos, de forma tal que se pueden usar aquellos que sean poco deformables, tengan estabilidad volumétrica y no disminuyan su resistencia con el incremento de contenido natural de agua.

Los materiales granulares sufren menores variaciones en su resistencia cuando están sujetos a la acción del agua. Su resistencia esta en función de la forma de las partículas, distribución granulométrica, resistencia propia de las partículas y de su compacidad.

A continuación se describen cada una de éstas características:

FORMA DE LAS PARTÍCULAS	DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	RESISTENCIA PROPIA DE LAS PARTÍCULAS	COMPACIDAD
Las partículas angulosas tienen más resistencias que las de forma redondeada.	Un material granular con partículas de diversos tamaños propicia menores huecos o vacíos que aquel que sea bien granulado.	Las partículas duras (trituration del basalto) tienen mayor resistencia que las de tipo piroclástico (tezontles)	A mayor compacidad de los suelos granulares, mayor resistencia. Pues ésta tiene menor relación de vacíos y existe mayor punto de contacto entre partículas.

III. Diseño de Pavimentos Rígidos

Las capas que conforman el pavimento rígido son: subrasante, subbase, y losa o superficie de rodadura como se muestra en la Figura 3.1

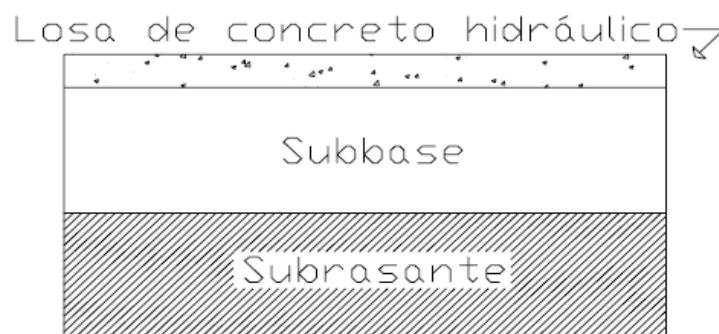


Figura 3.1. Capas del pavimento rígido.

Los elementos y funciones de un pavimento rígido son:

Subrasante.- Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante. Se considera como la cimentación del pavimento y una de sus funciones principales es la de soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, así como evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

Subbase.- Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las

variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Losa (superficie de rodadura).- Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.

III.1 Procedimiento de diseño

Para el diseño del pavimento rígido se seguirá el método AASTHO que se presenta a continuación:

La fórmula general para el diseño de pavimentos rígidos está basada en los resultados obtenidos de la prueba AASTHO. La fórmula es la siguiente:

$$\log_{10}(E18) = \left\{ \begin{array}{l} \text{Desviación normal estándar} \uparrow \\ Z_r \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D + 1) - 0.006 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} \\ \text{Error estándar combinado} \uparrow \\ \text{Espesor} \uparrow \\ \text{Serviciabilidad final} \leftarrow \\ + (4.22 - 0.32 \times Pt) \times \log_{10} \left[\frac{S'c \times Cd \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{Ec}{k} \right)^{0.25}} \right]} \right] \\ \text{Módulo de ruptura} \uparrow \quad \text{Coeficiente de drenaje} \uparrow \\ \text{Módulo de transferencia de carga} \quad \text{Módulo de elasticidad} \quad \text{Módulo de reacción} \end{array} \right\}$$

Tráfico ↓
Serviciabilidad ↑

El procedimiento de diseño normal es **suponer un espesor de pavimento** e iniciar a realizar tanteos, con el espesor supuesto **calcular los ejes equivalentes** y posteriormente evaluar todos los factores adicionales de diseño, si se cumple en equilibrio en la ecuación el espesor supuesto es resultado del problema, de lo contrario de debe de seguir haciendo tanteos.

Las variables de diseño de un pavimento rígido son:

- a) Espesor.
- b) Serviciabilidad
- c) Tránsito
- d) Transferencia de carga
- e) Propiedades del concreto
- f) Resistencia a la subrasante
- g) Drenaje
- h) Confiabilidad

a) ESPESOR

El espesor del pavimento de concreto es la variable que se pretende determinar al realizar un diseño, el resultado del espesor se ve afectado por todas las demás variables que interviene en los cálculos.

b) SERVICIABILIDAD

La serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de **servir al tipo de tráfico** (autos y camiones) que circulan en la vía, se mide en una escala del 0 al 5 en donde 0 (cero) significa una calificación para pavimento intransitable y 5 (cinco) para un pavimento excelente. La serviciabilidad es una medida subjetiva de la calificación del pavimento, sin embargo la tendencia es poder definirla con parámetros medibles.

Índice de servicio	Calificación
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

El **índice de serviciabilidad inicial (Po)** es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo, para su elección es necesario considerar los métodos de construcción, ya que de esto depende la calidad del pavimento.

Usando buenas técnicas de construcción, el pavimento de concreto puede tener una serviciabilidad $P_o = 4.7$ ó 4.8 .

En la Figura 3.2 se puede observar que mientras mejor se construya inicialmente un pavimento, o bien, mientras mejor índice de serviciabilidad inicial tenga mayor será su vida útil.

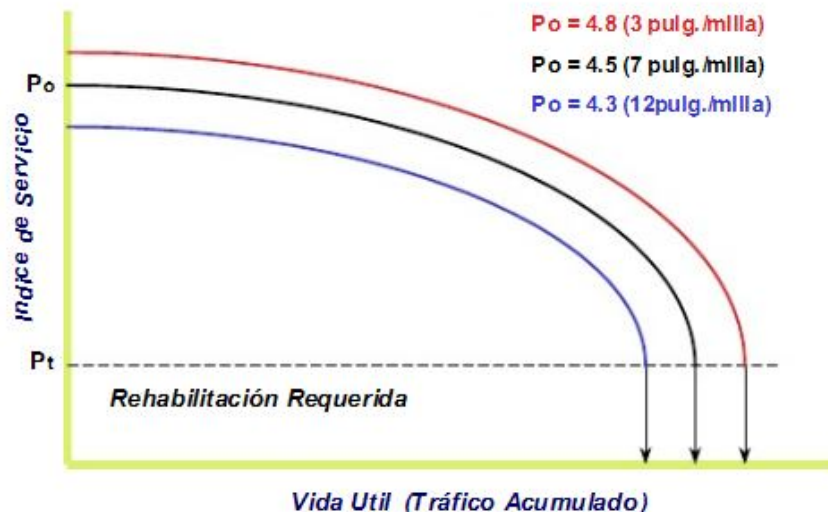


Figura 3.2. Comportamiento del pavimento de acuerdo al índice de serviciabilidad inicial (P_o).

El **índice de serviciabilidad final (Pt)** tiene que ver con la **calificación que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil**, o bien, el valor más bajo que pueda ser admitido, antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación, un refuerzo o la reconstrucción del pavimento.

Los valores recomendados de serviciabilidad final Pt para el caso de México se pueden observar en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Valores de serviciabilidad final (Pt) en función del tipo de camino.

Tipo de camino	Serviciabilidad final (Pt)
Autopistas	2.5
Carreteras	2.0
Zonas industriales	1.8
Pavimentos urbanos Principales	1.8
Pavimentos urbanos secundarios	1.5

La diferencia entre ambos índices es: $\Delta PSI = P_o - P_t$, que se define como **pérdida de serviciabilidad**.

c) TRÁNSITO

El tránsito es una de las variables más significativas del diseño del pavimento y sin embargo es una de las que más incertidumbre presenta al momento de estimarse. **Es importante hacer notar que debemos contar con la información más precisa posible del tráfico para el diseño, ya que de no ser así podríamos tener diseños inseguros o con un grado importante de sobre diseño, debido a esto, en este trabajo se tratará de manera sencilla esta parte.**

La metodología AASHTO considera la vida útil de un pavimento relacionada al número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final predeterminadas para el camino. El método AASHTO utiliza en su formulación el número de repeticiones esperadas de carga de **Ejes Equivalentes**, es decir, que antes de entrar a las fórmulas de diseño, debemos transformar los **Ejes de**

Pesos Normales de los vehículos que circulan por el camino, en **Ejes Sencillos Equivalentes** de 18 kips (8.2Ton) también conocidos como ESAL's.

Lo conducente es realizar los cálculos para el carril de diseño, seleccionado para estos fines por ser el que mejor representa las condiciones críticas de servicio de la calle o camino. Existen algunos factores que nos ayudan a determinar con precisión el tráfico que circula en el carril de diseño, estos factores se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 3.2. Porcentaje de ejes equivalentes

Número de carriles en una dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 82kN en el carril de diseño
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

AASTHO diseña los pavimentos por fatiga. La fatiga se entiende como el **número de repeticiones ó ciclos de carga y descarga que actúan sobre un elemento**. En realidad al establecer una vida útil de diseño, lo que estamos haciendo es tratar de estimar, en un periodo de tiempo, el número de repeticiones de carga a las que estará sometido el pavimento.

La vida útil mínima con la que se debe diseñar un pavimento rígido es de 20 años, es común realizar diseños para 30, 40 ó más de 50 años. Otro factor que hay que tomar en cuenta es la **tasa de crecimiento anual**, que depende del desarrollo económico – social, de la capacidad de la vía, tipo de vehículo que pueden ser más de un tipo que de otro.

Es conveniente prever este crecimiento del tráfico, tomando en consideración una tasa de crecimiento anual con la que se calcula un **factor de crecimiento de tráfico**.

Es importante investigar adecuadamente la tasa de crecimiento apropiada para el caso en particular que se este considerando. A continuación se presentan algunos valores típicos de tasas de crecimiento, sin embargo estos pueden variar según el caso.

Tabla 3.3. Valores comunes de tasa de crecimiento.

Caso	Tasa de crecimiento
Crecimiento normal	1% a 3%
Vías completamente saturadas	0% a 1%
Con tráfico inducido*	4% a 5%
Alto crecimiento*	mayor al 5%

*solamente durante 3 a 5 años

El **Factor de Crecimiento del Tráfico** considera los años de vida útil más un número de años adicionales debidos al crecimiento propio de la vía.

$$FCT = \frac{(1 + g)^n - 1}{g}$$

Donde:

g = tasa de crecimiento

n= años de vida útil

d) TRANSFERENCIA DE CARGA

También se conoce como **coeficiente de transmisión de carga (J)** y es **la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir las fuerzas cortantes con sus losas adyacentes**, con el objetivo de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento. Mientras mejor sea la transferencia de cargas, mejor será el comportamiento de las losas del pavimento.

La efectividad de la transferencia de carga entre las losas adyacentes depende de varios factores:

- Cantidad de tráfico
- Utilización de pasajuntas
- Soporte lateral de las losas

La utilización de pasajuntas es la manera más conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas, por lo que se recomienda su utilización cuando:

- El tráfico pesado sea mayor al 25% del tráfico total.
- El número de ejes equivalentes de diseño sea mayor de 5.0 millones de ESAL's.

Esta transferencia de cargas se realiza a través de los extremos de las losas (juntas o grietas) y su valor depende del tipo de pavimento, del tipo de borde u hombro y de la colocación de los elementos de transmisión de carga.

En la siguiente tabla se muestran los valores del coeficiente de transmisión de carga en función de estos parámetros:

Tabla 3.5. Valores de coeficiente de transmisión de carga J.

Tipo de pavimento	Hombro Elementos de transmisión de carga Concreto hidráulico	
	si	no
No reforzado o armado con juntas	2.5 - 3.2	3.6 - 4.2
Armado continuo	2.3 - 2.9	-

Fuente: Guía para el Diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993

El coeficiente de transmisión de carga considera el esfuerzo de transferencia a través de la junta o grieta como se observa en las siguientes figuras.

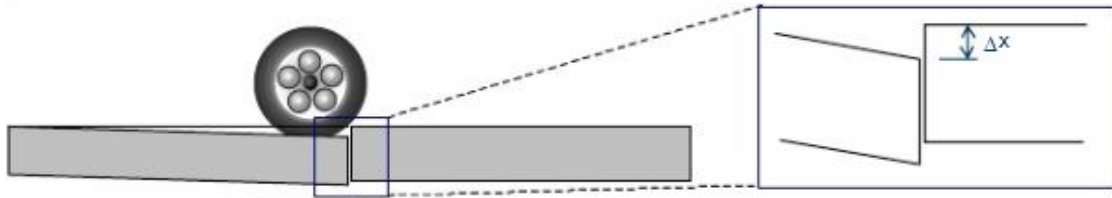


Figura 3.3. Junta 0% efectiva. La carga la soporta una sola losa.

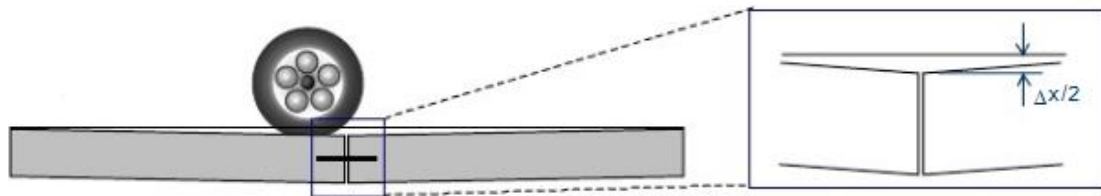
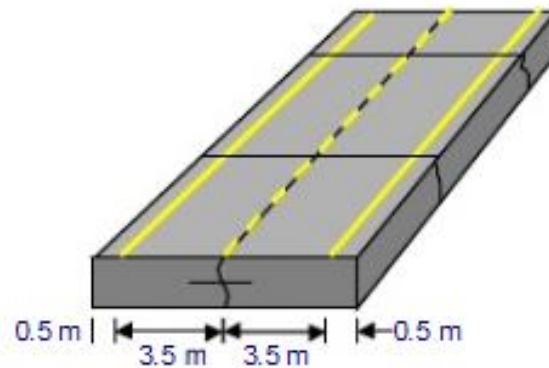


Figura 3.4. Junta 100% efectiva. La carga la soportan entre las dos losas.

Soporte lateral es el confinamiento que produce el soporte lateral y contribuye a reducir los esfuerzos máximos que se generan en el concreto por efecto de las cargas. Un pavimento de concreto puede considerarse **lateralmente soportado** cuando tenga algunas de las siguientes características en su sección:

- Carril ancho $\geq 4.0m$



- Confinamiento con guarniciones o banquetas



- Con acotamientos laterales

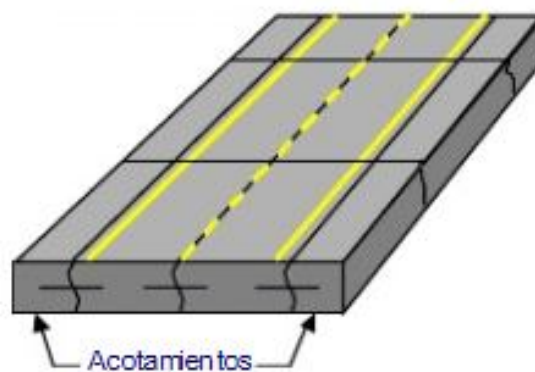


Figura 3.5. Pavimento lateralmente soportado.

Las **pasajuntas** son **barras de acero redondo liso** con un $f_y = 4,200\text{kg/cm}^2$, la cual no se debe adherir al concreto permitiendo el libre movimiento de las losas longitudinalmente, pero si debe de transferir verticalmente parte de la carga aplicada en una losa adyacente. Se colocan perfectamente alineadas a la mitad del espesor de la losa.

e) PROPIEDADES DEL CONCRETO

Son dos las propiedades del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil.

- Resistencia a la tensión por flexión o Módulo de Ruptura (MR)
- Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera resistencia del concreto trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a la flexión por tensión ($S'c$) o **Módulo de ruptura (MR)** normalmente especificada a los 28 días.

Existe una prueba normalizada por la ASTM C78 para la obtención del módulo de ruptura la cual consiste en aplicar carga a la viga de concreto en los tercios de su claro de apoyo (Figura 3.6). Se puede realizar otra prueba similar aplicándole carga el centro del claro; los resultados obtenidos son diferentes aproximadamente entre 15% a 20% mayores.

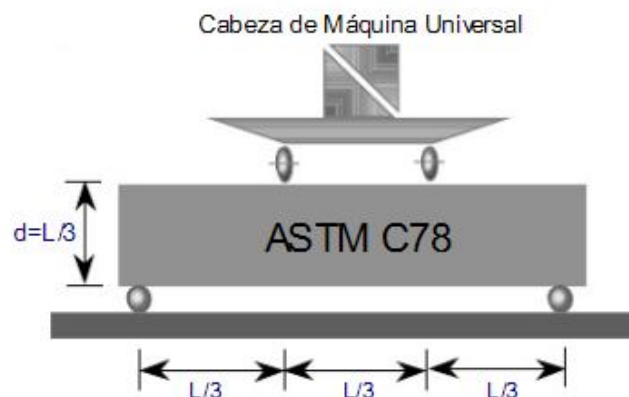


Figura 3.6 Prueba para la obtención de módulo de ruptura.

En la siguiente tabla se muestra el Módulo de Ruptura (MR) recomendado.

Tabla 3.6. Módulo de ruptura

Tipo de pavimento	MR recomendado	
	kg/cm ²	psi
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas industriales	45.0	640.1
Urbanas principales	45.0	640.1
Urbanas secundarias	42.0	597.4

AASHTO permite utilizar la resistencia a la flexión promedio que se haya obtenido del resultado de ensayos a flexión de las mezclas diseñadas para cumplir la resistencia especificada del proyecto.

$$MR \text{ promedio} = MR \text{ especificado} + Z_r \times (\text{desviación estándar del MR})$$



Desviación normal estándar

Los valores típicos utilizados para la **desviación estándar** son:

Tabla 3.7. Valores típicos de desviación estándar.

		Promedio
Concreto premezclado	6% a 12%	9.0%
Mezclado central	5% a 10%	7.5%

La **desviación normal estándar (Zr)** define que, para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, etc.) que intervienen en un pavimento, el **tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un periodo de diseño**. A continuación se muestra en la Tabla III.8 la desviación normal estándar en función de la confiabilidad (R).

Tabla 3.8. Valores para Zr en función de la Confiabilidad R.

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar ,Zr	Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar ,Zr
50	-0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.881
80	-0.841	97	-2.054
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	--1.340	99.9	-3.090
92	--1.405	99.99	-3.750

Fuente: Guía para el Diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

El **módulo de elasticidad del concreto (Ec)** esta relacionado con su módulo de ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. En su defecto correlacionarlo con otras características del material como puede ser su **resistencia a la compresión (f'c)**. Esto es:

$$E_c = 21000 \times f'c^{1/2}$$

f) RESISTENCIA A LA SUBRASANTE

La resistencia a la subrasante se obtiene mediante el **módulo de reacción del suelo (K)** por medio de la prueba de placa.

El **módulo de reacción del suelo** corresponde a la **capacidad portante que tiene el terreno natural en donde se soportará el cuerpo del pavimento.**

El valor del módulo de reacción se puede obtener directamente del terreno mediante la prueba de placa ASTM D1195 Y D1196 (Figura 3.7). El resultado de la prueba indica la característica de resistencia que implica la elasticidad del suelo. Esto es igual al coeficiente del esfuerzo aplicado por una placa entre las deformaciones correspondientes, producida por este esfuerzo. Dado que la prueba de placa es tardada y cara, el valor de k, es usualmente estimado por correlación a una prueba simple, tal como la **Relación de Soporte de California (CBR)**. El resultado es válido ya que no se requiere una determinación exacta del valor de k; las variaciones normales de un valor

estimado no afectan apreciablemente los requerimientos del espesor del espesor del pavimento.

Cuando se diseña un pavimento es probable que tenga diferentes valores de K a lo largo del tramo por diseñar, por lo que se recomienda utilizar el valor promedio de los módulos K para el diseño.

Si no se cuenta con información geotécnica del sitio, la Tabla 3.9 proporciona órdenes de magnitud en los módulos de reacción de las capas de apoyo.

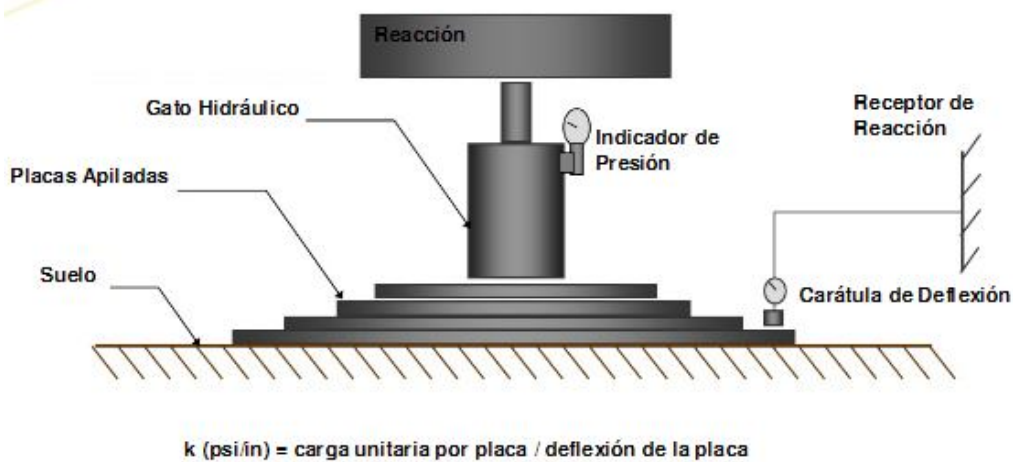


Figura 3.7. Esquema de la prueba de placa ASTM D1195 Y D1196

Tabla 3.9. Tipos de suelo de subrasante y valores aproximados de k.

TIPOS DE SUELO	SOPORTE	RANGO DE VALORES DE K (PCI)
Suelo de grano fino en el cual el tamaño de las partículas de limo y arcilla predominan	Bajo	75 – 120
Arenas y mezclas de arena con gravas, con una cantidad considerable de limo y arcilla	Medio	130 – 170
Arenas y mezclas de arena con grava, relativamente libre de finos.	Alto	180 – 220
Subbase tratada con cemento	Muy alto	250 - 400

Fuente: Salazar Rodríguez Aurelio. Guía para diseño y construcción de pavimentos rígidos

g) DRENAJE

En cualquier tipo de pavimento, el drenaje es un factor importante en el comportamiento de la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil y por lo tanto en el diseño del mismo. Se puede evaluar mediante el **coeficiente de drenaje (Cd)** el cual depende de:

- **Calidad del drenaje.**

Viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento

- **Exposición a la saturación.**

Porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento esta expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. Este valor depende de la precipitación media anual y de las condiciones del drenaje. Para el caso se definen varias condiciones del drenaje:

Tabla 3.10. Calidad del drenaje.

Calidad de drenaje	Tiempo en que tarde el agua en ser evacuada
Excelente	El suelo libera el 50% de agua en 2 horas
Bueno	El suelo libera el 50% de agua en 1 día
Mediano	El suelo libera el 50% de agua libre en 7 días
Malo	El suelo libera el 50% de agua libre en 1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: Guía para el Diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

Combinando todas las variables que interviene para llegar a determinar el coeficiente de drenaje Cd, se llega a los valores de la siguiente Tabla:

Tabla 3.11. Valores para el Coeficiente de drenaje Cd

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1% - 5%	5% - 25%	más del 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Mediano	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Mala	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Fuente: Guía para el Diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

Es importante evitar que exista presencia de agua, dado que en caso de presentarse afectará en gran medida a la respuesta estructural del pavimento. El agua atrapada puede producir efectos nocivos como:

- Reducción de la resistencia de materiales granulares.
- Reducción de la resistencia de la subrasante.
- Expulsión de finos.
- Levantamientos diferenciales de suelos expansivos.
- Expansión por congelamiento del suelo.

h) CONFIABILIDAD

Los factores estadísticos que influyen en el comportamiento de los pavimentos son:

- Confiabilidad R
- Desviación estándar

La **confiabilidad** esta definida como la **probabilidad de que el sistema de pavimento se comporte de manera satisfactoria durante su vida útil** en condiciones adecuadas para su operación. 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.

En la Tabla 3.12 se observa la confiabilidad recomendada en función del tipo de camino:

Tabla 3.12. Valores recomendados del nivel de confianza atendiendo al tipo de camino.

Clasificación del camino	Urbano	Rural
Autopistas	85% - 99.9%	80% - 99.9%
Arterias principales	80% - 99%	75% - 99%
Colectoras	80% - 95%	75% - 95%
Locales	50% - 80%	50% - 80%

La confiabilidad recomendado para México se muestra a continuación:

Tabla 3.13. Valores de Confiabilidad para el tipo de pavimento en México.

Tipo de pavimento	Confiabilidad R
Autopistas	95%
Carreteras	80%
Rurales	70%
Zonas industriales	65%
Urbanas principales	60%
Urbanas secundarias	50%

La confiabilidad puede relacionarse con un **Factor de Seguridad** y va asociada con la **desviación estándar (So)** ó también llamado **error estándar**. Este último representa el **número de ejes que puede soportar el pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado índice de servicio final (Pt)**

La desviación estándar (So) relacionada con la confiabilidad (R) se muestra a continuación:

Tabla 3.14. Desviación estándar y confiabilidad.

Desviación estándar (So)	Confiabilidad (R)					
	50%	60%	70%	80%	90%	95%
0.30	1.00	1.19	1.44	1.79	2.42	3.12
0.35	1.00	1.23	1.53	1.97	2.81	3.76
0.39	1.00	1.26	1.60	2.13	3.16	4.38
0.40	1.00	1.26	1.62	2.17	3.26	4.55

Para una mejor claridad se presenta enseguida un ejemplo para el cálculo del espesor de la losa utilizando el método AASTHO.

EJEMPLO USANDO EL MÉTODO AASTHO

El desarrollo del problema se realizará a partir de los siguientes datos:

- *Módulo de reacción del suelo (K)* = $\frac{10kg}{cm^3}$

Para poder entrar al nomograma se tendrá que convertir a PCI (*libra/pulgada³*)

$$\frac{10kg}{cm^3} \left(\frac{2.2046lb}{1kg} \right) \left(\frac{1cm^3}{6.1024 \times 10^{-2}pulg^3} \right) = 360.65 lb/pulg^3 = 360.65PCI$$

- *Resistencia a la compresión del concreto f'c* = 300kg/cm²
- *Módulo de elasticidad del concreto Ec*

$$Ec = 21000f'c^{1/2}$$

$$Ec = 21000(300)^{1/2} = 3.6 \times 10^5 kg/cm^2$$

$$\frac{3.6 \times 10^5 kg}{cm^2} \left(\frac{2.2046lb}{1kg} \right) \left(\frac{1cm^2}{0.155pulg^2} \right) = 51.20 \times 10^5 lb/pulg^2 = 5 \times 10^6 psi$$

O bien:

$$Ec = 3.6 \times 10^5 (14.223)$$

$$Ec = 5 \times 10^6 psi$$

- *Módulo de ruptura MR o S'c* = 650psi
- *Coefficiente de transmisión de carga J* = 2.5

Pavimento de concreto en masa con pasadores en las juntas y acotamientos de concreto.

- *Coefficiente de drenaje Cd* = 1.20

Corresponde a un drenaje de calidad buena y un 1% de porcentaje de tiempo en el que la estructura esta expuesta a niveles próximos a la saturación.

- *Desviación estándar So* = 0.30

- *Indice de serviciabilidad inicial Po* = 4.5
 - *Indice de serviciabilidad final Po* = 2.5
- $$\left. \begin{array}{l} Po = 4.5 \\ Po = 2.5 \end{array} \right\} \Delta PSI = 4.5 - 2.5 = 2.0$$

El número total de ejes equivalentes se obtiene a partir del resultado del aforo del tránsito.

Tabla 3.15. Aforo del tránsito

TIPO DE VEHÍCULOS	PORCENTAJE	VPD
A	50	20500
A ₁	25	10250
B	10	4100
C ₂	6	2460
C ₃	4	1640
T ₂ - S ₂	3	1230
T ₃ - S ₂	2	820

El volumen de tránsito real (TDPA) se convierte en tránsito equivalente de ejes sencillos de 8.2ton, mediante la aplicación de los **coeficientes de daño por tránsito por vehículos típicos**. Se considerará tránsito en ambas direcciones.

DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO EQUIVALENTE

Para transformar el tránsito mezclado al correspondiente tránsito equivalente a ejes sencillos de 8.2ton, referido al carril de diseño y considerando que los vehículos transitan en ambas direcciones se explica a continuación:

El coeficiente de distribución es del 30%.

Tabla 3.16. Cálculo de número de ejes equivalentes.

1	2	3	4	5
TIPO DE VEHÍCULOS	TDPA DOS DIRECCIONES	NÚMERO DE VEHÍCULOS CARRIL DE DISEÑO	COEFICIENTE DE DAÑO	NÚM. DE EJES EQUIVALENTES
A	20500	6150	0.0046	28.29
A ₁	10250	3075	0.34	1045.5
B	4100	1230	2.0	2460
C ₂	2460	738	0.88	649.44
C ₃	1640	492	0.88	432.96
T ₂ - S ₂	1230	369	4.0	1476
T ₃ - S ₂	820	246	5.0	1230
			TOTALES (T ₀) =	7322.19

De la Tabla 3.16, el número de vehículos del carril de diseño (columna 3) se obtiene multiplicando el TDPA (columna 2) por el coeficiente de distribución de 30% el cual fue seleccionado en función del número de carriles (8 en este caso).

El coeficiente de distribución se obtiene según la siguiente tabla y de acuerdo al número de carriles que se esté diseñando.

Tabla 3.17. Coeficiente de distribución.

NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DEL PROYECTO
2	50%
4	40 – 50%
6 o más	30 – 40%

Recomendaciones dadas por el Instituto de Ingeniería

Regresando a la Tabla 3.16, el número de ejes equivalentes (columna 5) para cada renglón se determina multiplicando el número de vehículos del carril de diseño (columna 3) por el coeficiente de daño (columna 4) que se obtiene a partir de la tabla 3.18. La suma de estos resultados parciales se tiene al final de la columna 5. Cada una de estas sumas representa el tránsito equivalente en ejes simples de 8.2ton, referido a un canal de diseño y a un día medio del año.

Tabla 3.18. Coeficiente de daño por tránsito para vehículos típicos.

NOTA
 k_1 : Coeficiente de equivalencia para el vehículo vacío
 k_2 : Coeficiente de equivalencia para el vehículo cargado

Eje	CARACTERÍSTICAS			COEFICIENTES DE DAÑO				COEFICIENTES DE DAÑO				
	Peso, ton	P _v	Kg/cm ²	CARGADO, F				VACÍO, F ^a				
				z=0	z=15	z=22.5	z=30	z=0	z=15	z=22.5	z=30	
Ap 	1	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000	0.0023	0.000	0.000	0.000
	2	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000	0.0023	0.000	0.000	0.000
	3											
	Σ	2.0	1.6	-	0.0046	0.000	0.000	0.000	0.0046	0.000	0.000	0.000
Ac 	1	1.6	1.2	4.2	0.17	0.002	0.001	0.000	0.17	0.001	0.000	0.000
	2	3.3	1.2	4.2	0.17	0.040	0.010	0.010	0.17	0.000	0.000	0.000
	3											
	Σ	4.9	2.4	-	0.34	0.042	0.011	0.010	0.34	0.001	0.000	0.000
B 	1	4.2	3.0	5.8	1.0	0.150	0.080	0.050	1.0	0.040	0.015	0.007
	2	8.3	7.0	5.8	1.0	1.000	1.020	1.050	1.0	0.600	0.500	0.500
	3											
	Σ	12.5	10.0	-	2.0	1.150	1.100	1.100	2.0	0.640	0.515	0.507
C2 	1	2.5	1.5	5.0	0.44	0.025	0.008	0.002	0.44	0.002	0.000	0.000
	2	6.8	2.7	5.0	0.44	0.440	0.440	0.440	0.44	0.025	0.008	0.003
	3											
	Σ	9.3	4.2	-	0.88	0.465	0.448	0.442	0.88	0.027	0.008	0.003
C3 	1	2.6	1.7	5.0	0.44	0.025	0.008	0.003	0.44	0.004	0.001	0.000
	2	14.0	5.2	5.0	0.44	0.650	0.650	0.650	0.44	0.040	0.010	0.006
	3											
	Σ	16.6	6.9	-	0.88	0.675	0.658	0.653	0.88	0.044	0.011	0.006
T2-S1 	1	3.0	2.5	5.8	1.0	0.040	0.015	0.007	1.0	0.020	0.006	0.002
	2	8.0	3.6	5.8	1.0	0.900	0.900	0.900	1.0	0.080	0.030	0.020
	3	7.8	3.0	5.8	1.0	0.800	0.800	0.800	1.0	0.040	0.015	0.007
	Σ	18.8	9.1	-	3.0	1.740	1.715	1.707	3.0	0.140	0.051	0.029
T2-S2 	1	4.0	3.5	5.8	1.0	0.120	0.060	0.030	1.0	0.080	0.030	0.020
	2	8.5	4.0	5.8	1.0	1.000	1.020	1.050	1.0	0.120	0.060	0.030
	3	12.1	3.8	5.8	2.0	0.450	0.400	0.400	2.0	0.010	0.002	0.001
	Σ	24.6	11.3	-	4.0	1.570	1.480	1.480	4.0	0.210	0.092	0.051
T3-S2 	1	3.9	3.5	5.8	1.0	0.100	0.050	0.025	1.0	0.080	0.030	0.020
	2	13.0	5.4	5.8	2.0	0.600	0.500	0.500	2.0	0.040	0.015	0.007
	3	13.0	5.0	5.8	2.0	0.600	0.500	0.500	2.0	0.030	0.010	0.005
	Σ	29.9	13.9	-	5.0	1.300	1.050	1.025	5.0	0.150	0.055	0.032

CÁLCULO DEL TRÁNSITO EQUIVALENTE ACUMULADO

El tránsito acumulado de ejes equivalentes de 8.2ton durante un periodo de n años de servicio se calcula mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$\Sigma In = C' \times To$$

Donde:

ΣIn = tránsito acumulado durante n años de servicio y tasa de crecimiento r, en ejes equivalentes de 8.2ton.

To = tránsito medio diario en el primer año de servicio para el carril de diseño, en ejes equivalentes de 8.2ton.

C' = coeficiente de acumulación de tránsito para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r, que se puede obtener mediante la ecuación siguiente:

$$C' = 365 \left[\frac{(1 + r)^n - 1}{r} \right]$$

Considerando un periodo de diseño para 15 años y una tasa de crecimiento anual de 4% se determina el coeficiente de acumulación de tránsito:

$$C' = 365 \left[\frac{(1 + 0.04)^{15} - 1}{0.04} \right] \quad C' = 7308.61$$

Por lo tanto:

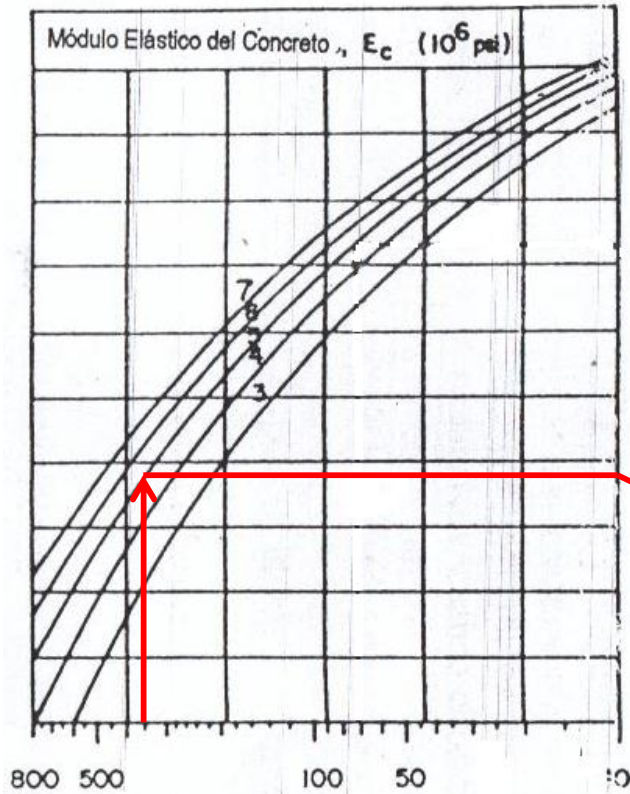
$$\Sigma In = 7308.61 \times 7322.19 = \mathbf{53515027.31}$$

Es decir; que el número total de ejes equivalentes de 18kips (8.2ton) es de 53 515 027.31.

En la siguiente tabla se concentran los datos calculados de las diferentes variables para poder entrar al nomograma y obtener el espesor de la losa.

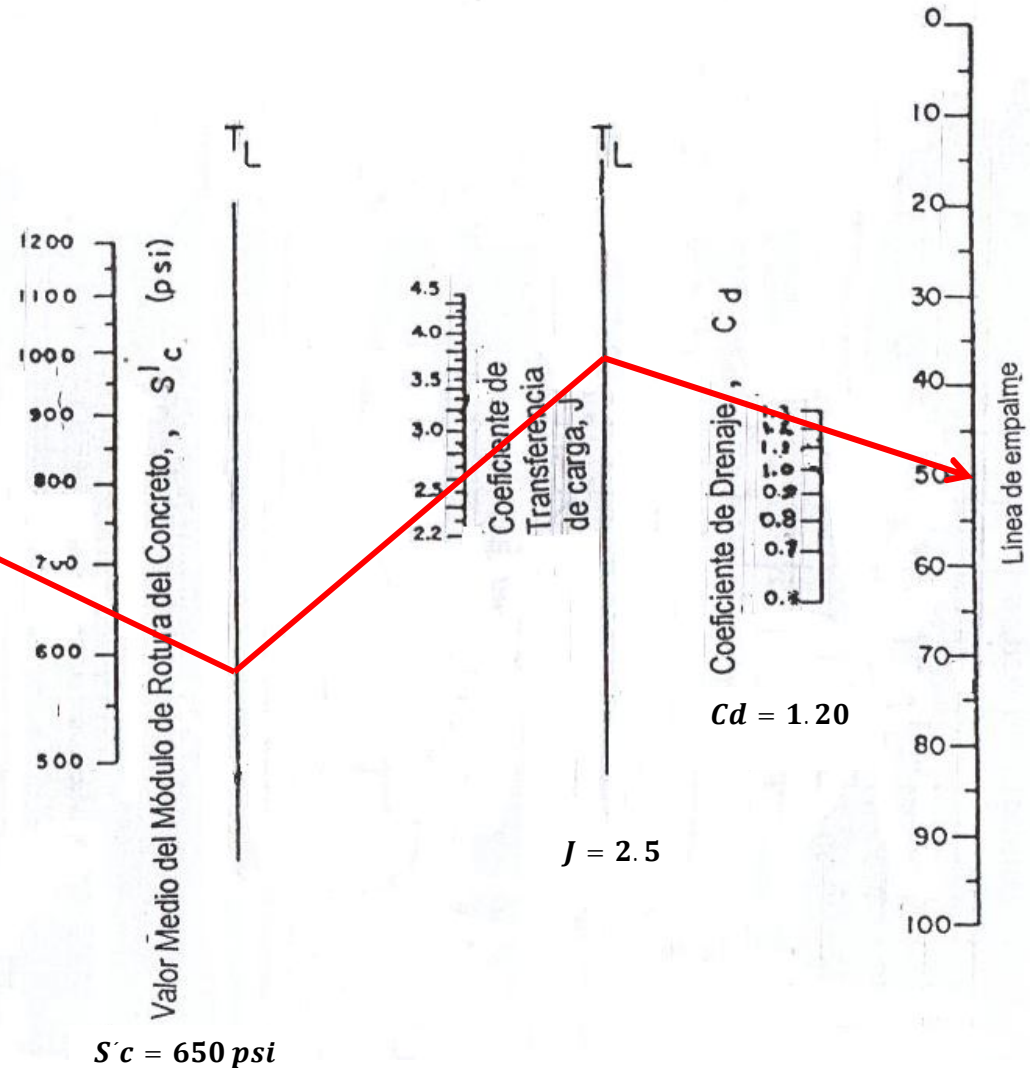
NOMBRE DE LA VARIABLE	VARIABLE (UNIDADES)	VALOR DE LA VARIABLE
Módulo de reacción del suelo	$K = \text{PCI}$	360.36
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = \text{PSI}$	5×10^6
Módulo de ruptura	$MR = \text{PSI}$	650
Coefficiente de transferencia de carga	$J = \text{Adim.}$	2.5
Coefficiente de drenaje	$C_d = \text{Adim.}$	1.20
Pérdida de serviciabilidad	$\Delta\text{PSI} = \text{Adim.}$	2.0
Confiability	$R = \%$	90
Desviación estándar	$S_o = \text{Adim.}$	0.30
Carga equivalente	$\text{ESAL's} = \text{kip } 10^6$	53 515 027.31

Debajo de cada escala del nomograma se indica el dato de cada variable.



$K = 360.36 \text{ PCI}$

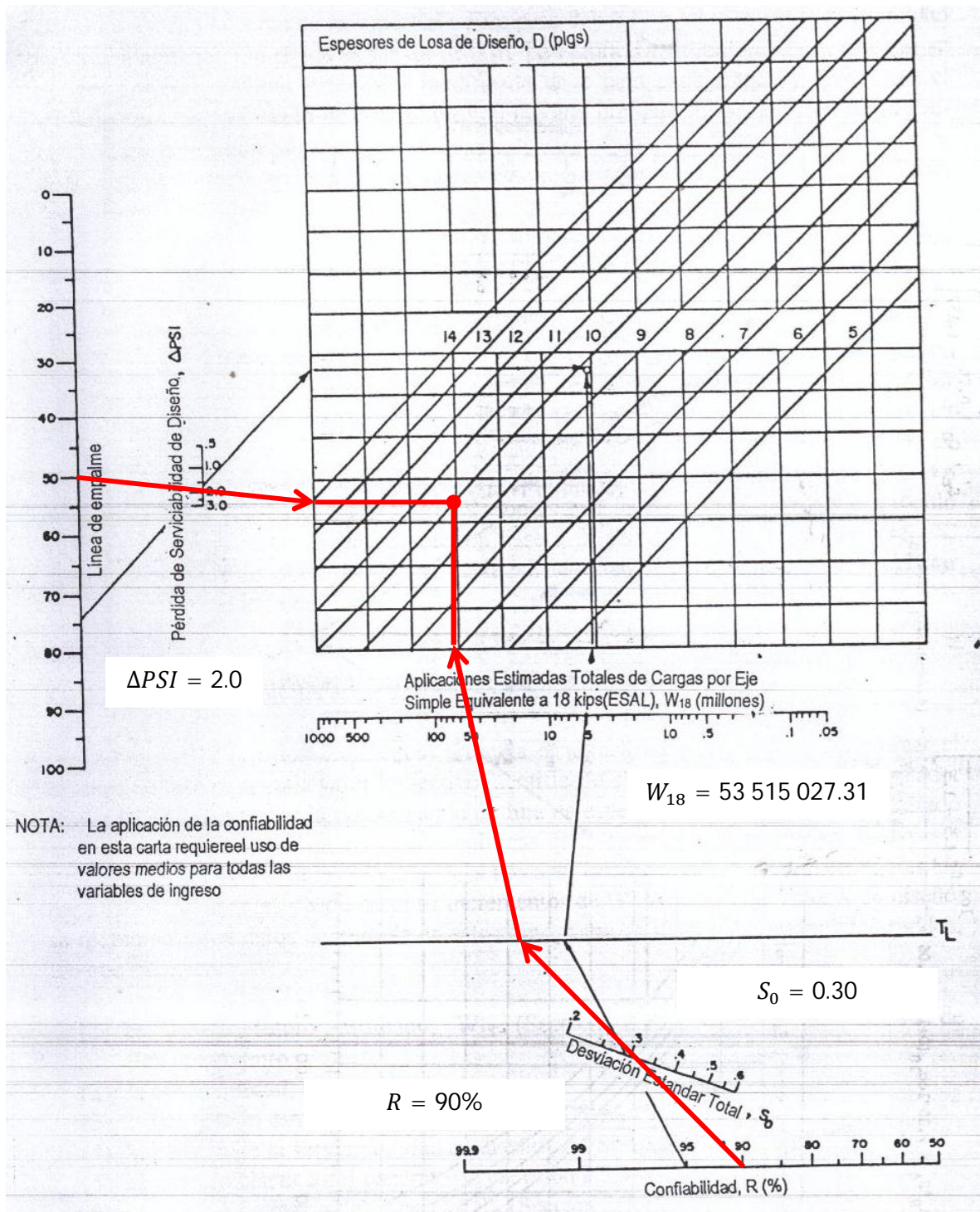
$E_c = 5 \times 10^6 \text{ psi}$



$S_c = 650 \text{ psi}$

$J = 2.5$

$C_d = 1.20$



El espesor del pavimento obtenido es de **10 pulgadas (25cm)**.

III.2 Definición, función y tipo de juntas

Debido a los cambios volumétricos que por su naturaleza experimenta el concreto y a los sistemas constructivos de los pavimentos rígidos, se hace necesaria la construcción de **juntas y/o uniones entre paños o losas de un pavimento**.

La función de las juntas consiste en:

- Mantener las tensiones que se desarrollan en la estructura de un pavimento dentro de los valores admisibles del concreto o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas juntas.
- Controla el agrietamiento transversal y longitudinal.
- Divide al pavimento en secciones adecuadas por efecto de las cargas de tránsito.
- Permite la transferencia de cargas entre losas.

Los tipos de juntas más comunes en los pavimentos rígidos caen dentro de dos clasificaciones: transversales y longitudinales que a su vez se clasifican como de contracción, construcción y de expansión.

Las juntas se pueden clasificar según el siguiente cuadro.



Las juntas longitudinales se utilizan para tender franjas nuevas de la losa sobre tendidos ya existentes, mientras que las juntas transversales se utilizan para controlar el agrietamiento transversal .

En la siguiente tabla se muestran los tipos más comunes de juntas y sus funciones principales.

Tabla 3.19. Tipos de juntas y sus funciones

TIPO DE JUNTA	FUNCIÓN
Juntas transversales de contracción	Son las que se construyen ortogonalmente al eje del trazo del pavimento. Su espaciamiento es para evitar agrietamiento provocado por los esfuerzos debidos a cambios de temperatura, humedad y secado.
Juntas transversales de construcción	Son las ejecutadas al final de cada día de labores o aquéllas realizadas por necesidades de proyecto en instalaciones o estructuras existentes. Ejemplo: cambios de pendiente como los accesos de puentes. Normalmente se planean con oportunidad desde la etapa de planeación. Ver Figura 3.8.
Juntas transversales de expansión/aislantes	Son aquéllas que permiten el movimiento horizontal o los desplazamientos del pavimento respecto a las estructuras existentes como puentes, alcantarillas, en el cruce o unión de dos calles. Estas se colocan para controlar las dilataciones del concreto.
Juntas longitudinales de contracción	Son aquéllas que dividen a los carriles en la dirección longitudinal, o las ejecutadas en donde se construyen dos o más anchos de carriles al mismo tiempo. Influyen en el buen comportamiento de los pavimentos rígidos. Es muy importante el refuerzo ya que reduce el espesor de la losa y aumenta la vida útil del pavimento, así como el espaciamiento de las juntas. El refuerzo es mediante pasajuntas de acero lisas y engrasadas para que no se adhieran al concreto y estén protegidas contra la corrosión y así mismo puedan transmitir contante a losas vecinas.
Juntas longitudinales de construcción	Son aquéllas juntas existentes entre dos carriles contruidos en diferentes etapas. Como su nombre lo dice, se utilizan para controlar las grietas longitudinales de contracción, así mismo para determinar el ancho del carril. Pueden realizarse al colocar las franjas longitudinales del pavimento. Llevan barras de sujeción, colocadas a la mitad del espesor para evitar deslizamientos laterales de las losas. Ver Figura 3.9.

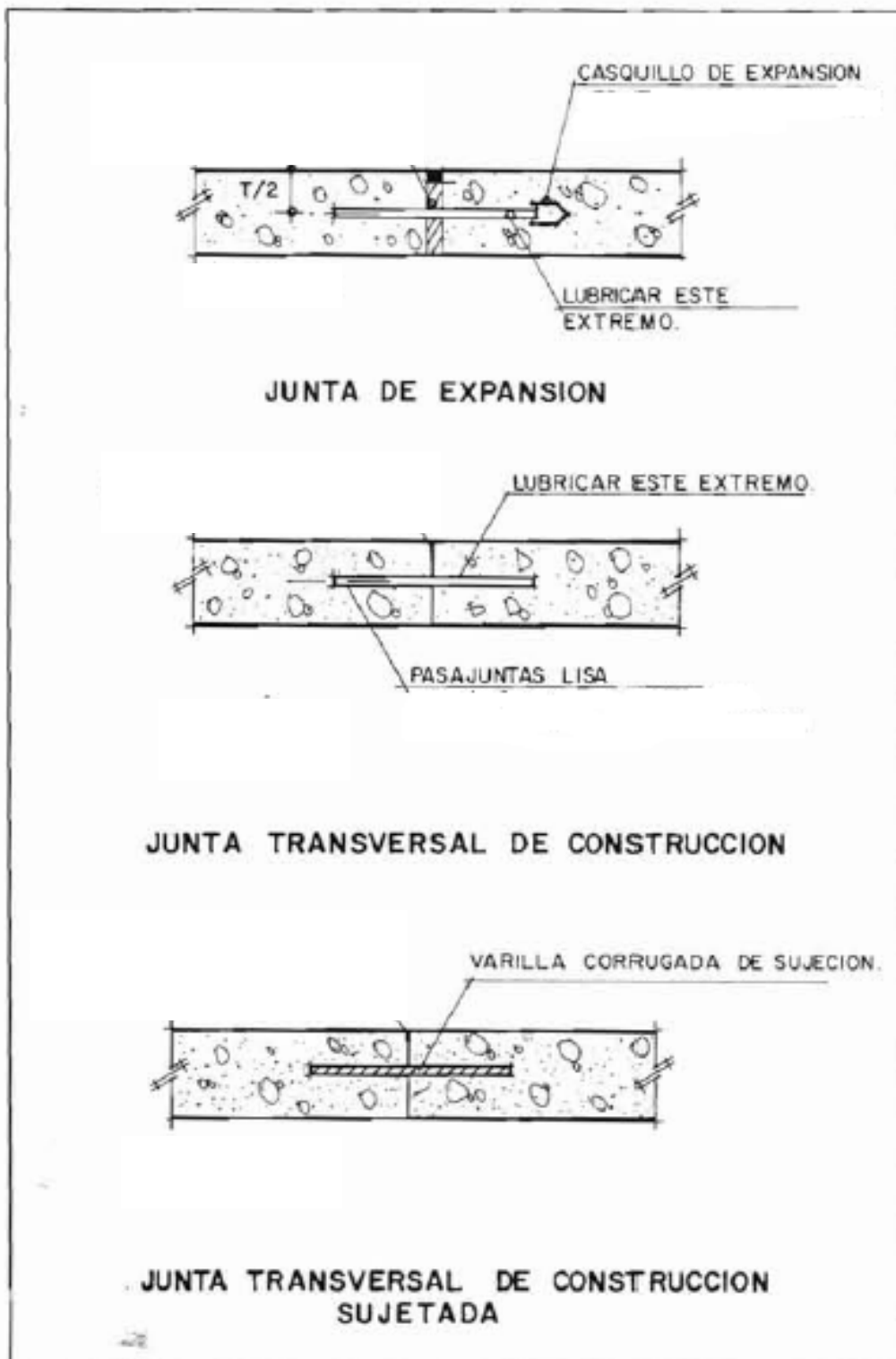


Figura 3.8 Junta transversal de construcción.



Figura 3.9. Junta longitudinal de contracción.

Un pavimento podrá diseñarse con o sin juntas, ello estará en función del tipo de estructura deseada, el tipo de tránsito y de las condiciones ambientales. En general se recomienda el empleo de pasajuntas para tránsitos intensos y pesados.

El factor J representa la cantidad de transferencia de carga que se espera a lo largo de la junta para un periodo de diseño particular del pavimento dicho concepto que se explicó con más detalle en el tema III.1 Diseño de Pavimentos.

Las juntas son muy importantes en la duración de la estructura, siendo una de las pautas para calificar la bondad de un pavimento. En consecuencia la conservación y oportuna reparación de las fallas en las juntas son decisivas para la vida de servicio de un pavimento.

III.3 Diseño de pasajuntas

Las pasajuntas son barras de acero liso y redondo colocadas transversalmente a las juntas para transferir las cargas del tráfico sin restringir los movimientos horizontales de las juntas. Además mantienen a las losas alineadas horizontal y verticalmente.

Las pasajuntas reducen las deflexiones y los esfuerzos en las losas de concreto, así como el potencial de diferencias de elevación en las juntas, bombeo (expulsión de finos a través de las juntas) y rupturas en las esquinas. Por lo que toda esta reducción de deflexiones y esfuerzos en las losas al transmitir efectivamente la carga a lo largo de las juntas se traduce en un incremento en la vida de servicio del pavimento.

Existen formas teóricas para estimar diámetros y longitudes de pasajuntas, sin embargo, es común emplear criterios prácticos para su diseño. La Tabla 3.20 muestra algunos valores recomendados a manera de guía.

Tabla 3.20. Diámetros y longitudes de las pasajuntas de acuerdo al espesor de la losa.

Espesor de la losa(cm)	Diámetro de pasajuntas (pulgadas)	Longitud de pasajunta (cm)
12.5	5/8	30
15	3/4	36
18	7/8	36
20	1	36
23	1 1/8	40
25	1 1/4	46
28	1 3/8	46
31	1 1/2	51

Sin embargo es recomendable emplear pasajuntas de diámetros de 1 ¼" para espesores de losa mayores de 25cm y de 1" para espesores iguales o menores a 25 cm.

Las pasajuntas se colocan para transmitir las cargas de una losa a otra. Dependiendo de las deflexiones que experimenten dos losas ligadas por pasajuntas, al ser solicitadas por el tránsito, se tendrá mayor o menor eficiencia. (ver Figura 3.3 y Figura 3.4 del tema III. Diseño de Pavimentos)

En la Figura 3.3 no se transmite carga de una losa hacia la otra, mientras que en la Figura 3.4 la acción de la pasajunta permite que la carga del vehículo, tanto cuando entra como cuando sale, la distribuya entre las dos losas. Es así que la transferencia de carga puede definirse como la capacidad que tiene dos secciones de losa para transmitir parte de la carga aplicada de una sección otra. Se mide, por lo que se le denomina "Factor de Eficiencia"

$$E = \frac{2(Def.)_{desc}}{(def.)_{cargada} + (def.)_{desc}} \quad Ec. 1$$

$(def.)_{cargada}$ y $(def.)_{desc}$ son las deflexiones de la losa del lado cargado y descargado, respectivamente.

La efectividad de las juntas puede evaluarse en campo, ya sea en términos de desplazamientos o en términos de esfuerzos.

$$J_{es} = \frac{\sigma_u}{\sigma_l} \quad Ec. 2$$

Donde:

J_{es} = eficiencia ante esfuerzos en la junta.

σ_u = esfuerzo en la losa sin carga.

σ_l = esfuerzo en la losa cargada en la zona de la junta .

El tamaño y espaciamiento de las pasajuntas viene regido por el esfuerzo permisible de la pasajunta ante cortante, así como la misma resistencia, pero ahora del concreto.

El esfuerzo portante permisible vendrá entonces definido en la forma:

$$fb = \left[\frac{4 - d}{3} \right] f'c \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

fb = esfuerzo máximo a que la pasajunta puede estar sujeta, en $\frac{kg}{cm^2}$

d = diámetro de la pasajunta.

$f'c$ = resistencia a la compresión del concreto

La máxima deflexión sería.

$$y_o = \frac{Pt[2 + \beta Z]}{4\beta^3 E_d l_d} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

y_o = deflexión de la pasajunta en la cara de la junta.

Pt = carga en una pasajunta.

Z = ancho de la junta.

E_d = módulo de elasticidad de la pasajunta.

l_d = momento de inercia de la pasajunta.

β = rigidez relativa de una pasajunta emportrada en el concreto.

Si se sabe que:

$$l_d = (1/64) \Pi d^4 \quad \beta = \frac{\sqrt{kd}}{4Edl_d} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

k = módulo de reacción del apoyo de la pasajunta la cual varía

entre $8000 \frac{kg}{cm^3}$ y $41520 \frac{kg}{cm^3}$

d = diámetro de la pasajunta.

La ecuación del esfuerzo queda en términos de la deflexión.

$$\sigma = kyo = \frac{kPt(2 + \beta z)}{4\beta^3 Edld} \quad Ec. 6$$

Esta ecuación se deberá comprobar con el valor que proporciona la Ec. 3, o sea, el permisible. Si el esfuerzo debido a Pt es mayor que el calculado por esta última ecuación, entonces se deberá reducir el espaciamiento entre las pasajuntas, o incrementar el diámetro de ésta.

IV. Clasificación de los daños del pavimento

Fallas en pavimentos

- a) Levantamiento de Losas.
- b) Fisuras de esquina.
- c) Desplazamientos verticales diferenciales (escalonamiento).
- d) Daños en el sellado de juntas.
- e) Fisura longitudinal.
- f) Bombeo de Finos.
- g) Fisuración en D.
- h) Fisuras en forma de mapa.
- i) Desportilladuras en juntas y fisuras.
- j) Fisuras transversales y diagonales.
- k) Baches.

a) Levantamiento de Losas.- Sobre-elevación abrupta de la superficie del pavimento, localizada generalmente en zonas contiguas a una junta o fisura transversal. Son causadas por falta de libertad de expansión de las losas de concreto, las mismas que ocurren mayormente en la proximidad de las juntas transversales. La restricción a la expansión de las losas puede originar fuerzas de compresión considerables sobre el plano de la junta. Cuando estas fuerzas no son completamente perpendiculares al plano de la junta o son excéntricas a la sección de la misma, pueden ocasionar el levantamiento de las losas contiguas a las juntas, acompañados generalmente por la rotura de estas losas.



Figura 4.1. Levantamiento de losas.

- b) Fisuras de esquina**.- Es una fisura que intersecta la junta o borde que delimita la losa a una distancia menor de 1.30 m a cada lado medida desde la esquina. Las fisuras de esquina se extienden verticalmente a través de todo el espesor de la losa. Son causadas por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto) combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona el apoyo del cimiento, así como también por una deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que favorece el que se produzcan altas deflexiones de esquina.



Figura 4.2. Fisuras de esquina.

- c) Desplazamientos verticales diferenciales (escalonamiento)**.- Es una falla provocada por el tránsito en la que una losa del pavimento a un lado de una junta presenta un desnivel con respecto a una losa vecina; también puede manifestarse en correspondencia con fisuras. Es el resultado en parte del ascenso a través de la junta o grieta del material suelto proveniente de la capa inferior de la losa (en sentido de la circulación del tránsito) como también por

depresión del extremo de la losa posterior, al disminuir el soporte de la cimentación. Son manifestaciones del fenómeno de bombeo, cambios de volumen que sufren los suelos bajo la losa de concreto y de una deficiente transferencia de carga entre juntas.



Figura 4.3 Desplazamientos verticales diferenciales.

d) Daños en el sellado de juntas.- Se refiere a cualquier condición que posibilite la acumulación de material en las juntas o permita una significativa infiltración de agua. La acumulación de material incompresible impide el movimiento de la losa, posibilitando que se produzcan fallas, como levantamiento o despostillamientos de juntas. Las causas más frecuentes para que el material de sello sea deficiente, son:

- ✓ Endurecimiento por oxidación del material de sello.
- ✓ Pérdida de adherencia con los bordes de las losas.
- ✓ Levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas.
- ✓ Escasez o ausencia del material de sello
- ✓ Material de sello inadecuado



Figura 4.4 Daño en el sellado de juntas

- e) **Fisura longitudinal**. - Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente paralela al eje de la calle, dividiendo la misma en dos planos. Son causadas por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la cimentación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales. Con frecuencia la ausencia de juntas longitudinales y/o losas, con relación ancho / longitud excesiva, conducen también al desarrollo de fisuras longitudinales.



Figura 4.5 Fisura longitudinal

- f) **Bombeo de Finos**. - El bombeo de finos de la subbase o subrasante se origina por movimiento vertical de la losa en juntas y fisuras bajo las cargas pesadas, cuando existe agua en la capa de apoyo, el impacto de la llanta provoca la eyección de materiales y agua a través de juntas y fisuras. El bombeo resulta grave cuando la

cantidad de material eyectado deja partes importantes de la losa, especialmente en esquinas, sin soporte, esto produce incrementos de tensiones, deformaciones y finalmente rotura de losa.

g) Fisuración en "D".- Consiste en una serie de fisuras muy próximas en forma de media luna, que aparecen en la superficie del pavimento en forma adyacente y aproximadamente paralela a las juntas transversales y longitudinales del pavimento y al borde libre. Estas fisuras pueden originarse por el congelamiento y descongelamiento de agregados saturados en el concreto, cuando estos son excesivamente porosos, es entonces un problema más bien de los agregados que forman el concreto que del comportamiento del mismo pavimento.

h) Fisuras en forma de mapa.- Consisten en una red de fisuras poco profundas, y finas que se extienden solo en la parte superior de la losa. Se encuentran en concretos antiguos, en los cuales no se usaron aditivos incorporadores de aire en climas sujetos a congelamiento.

i) Desportilladuras en juntas y fisuras.- Rotura, fracturación o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0.60 metros de una junta o una esquina y generalmente no se extiende más allá de esa distancia. Además no se extiende verticalmente a través de la losa sino que intersectan la junta en ángulo. Los despostillamientos se producen como consecuencia de diversos factores que pueden actuar aislada o combinadamente; excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles; debilidad del concreto en la proximidad de la junta debido a un sobre acabado y excesiva disturbación durante la ejecución de la junta; deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga de la junta; acumulación de agua a nivel de las juntas.



Figura 4.6 Fracturación en los bordes de las losas

j) Fisuras transversales y diagonales.- Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente perpendicular al eje del pavimento, o en forma oblicua a este, dividiendo la misma en dos planos. Son causadas por una combinación de los siguientes factores: excesivas repeticiones de cargas pesadas (fatiga), deficiente apoyo de las losas, asentamientos de la cimentación, excesiva relación longitud / ancho de la losa o deficiencias en la ejecución de éstas. La ausencia de juntas transversales o bien losas con una relación longitud / ancho excesivos, conducen a fisuras transversales o diagonales, regularmente distribuidas o próximas al centro de las losas, respectivamente. Variaciones significativas en el espesor de las losas provocan también fisuras transversales.



Figura 4.7. Fractura de la losa perpendicular al eje del pavimento.

k) Baches. - Descomposición o desintegración de la losa de concreto y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares. Los baches se producen por conjunción de varias causas: cimentaciones y capas inferiores inestables; espesores del pavimento estructuralmente insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras en bloque, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.

V. Métodos de reparación y su proceso constructivo.

Se entenderá por **conservación** de pavimentos rígidos el conjunto de acciones que se llevan a cabo para que un pavimento, construido con anterioridad con losas de concreto hidráulico, continúe en condiciones adecuadas de operación, ofreciendo comodidad y seguridad al usuario.

- Levantamiento de Losas.

Reparación.-

Los levantamientos causados por suelos expansivos pueden ser eliminados por medio de la instalación de un sistema de drenaje adecuado, que evite los flujos de agua hacia la subrasante. En cualquier caso es necesario remover el pavimento para permitir la reparación.

- Fisuras de esquina

Reparación.-

El proceso de reparación recomendado es el sellado de grietas, pero antes debe de limpiarse el área afectada con herramientas manuales adecuadas que permitan la remoción de materiales ajenos a la estructura del pavimento; luego de haber removido todo el material se debe de barrer la fisura con una escobilla de acero para asegurar la eliminación de cualquier material extraño. El espesor del material sellante será como mínimo de 15 mm, y deberá quedar entre 4 y 5 mm, por debajo de la superficie del pavimento. Además de sellar las grietas longitudinales se deberán limpiar las juntas longitudinales de material extraño y una vez removido este material se procederá al sellado con silicón para garantizar que el alabeo de la losa durante los cambios de temperatura no afecten los tableros adyacentes, por efectos de fisuración. Este proceso de reparación deberá efectuarse lo más pronto posible para evitar la reparación parcial y la remoción del concreto.

- *Daños en el sellado de juntas*

Reparación.-

Retirar todo el vestigio de sello antiguo y materiales contaminantes, una vez realizada la limpieza se procede a la remoción de material extraño, removiendo con una escobilla de acero y para terminar la limpieza se debe de realizar un soplado de aire comprimido con una presión mínima de 120 PSI.

- *Fisuras transversales y diagonales*

Reparación.-

El proceso de reparación que se debe utilizar es el sellado de grietas para anchos de 30 mm. Se deberá limpiar el área a reparar a toda la profundidad de la grieta, utilizando herramientas manuales para remover el material que se ha acumulado en la grieta, posteriormente se debe de limpiar con un cepillo de acero, tal que asegure la eliminación de cualquier material extraño o suelto que se encuentre alojado en la grieta. Una vez realizada la limpieza, procedemos al sellado de la junta, con silicón, el espesor de este material será como mínimo 20 mm, el relleno deberá quedar de 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

- *Baches*

Reparación.-

Limpiar muy bien el interior del bache y las paredes del mismo para garantizar la eliminación de material extraño. Luego se rellenará con concreto que contenga un aditivo expansor, y se deberá garantizar la adherencia entre el concreto dejando rugosa las paredes laterales del bache.

VI. Algunos Casos de Estudio en vías primarias.

Fisura de esquina.

Descripción: La fisura de esquina es aquella que intersecta la junta o borde que delimita la losa a una distancia menor de 1.30 metros a cada lado. La fisura de esquina se extiende verticalmente a través de todo el espesor de la losa.

Causas: Producto de la repetición de cargas pesadas.

Forma de medir:

- Número de tableros afectados: 1 tablero.
- Ancho de fisura: 10 milímetros.
- Nivel de severidad: Mediano, catalogado dentro de este rango por ser una fisura de ancho promedio a 10 mm.
- Altura: 1.5 cm

Foto de Deterioro

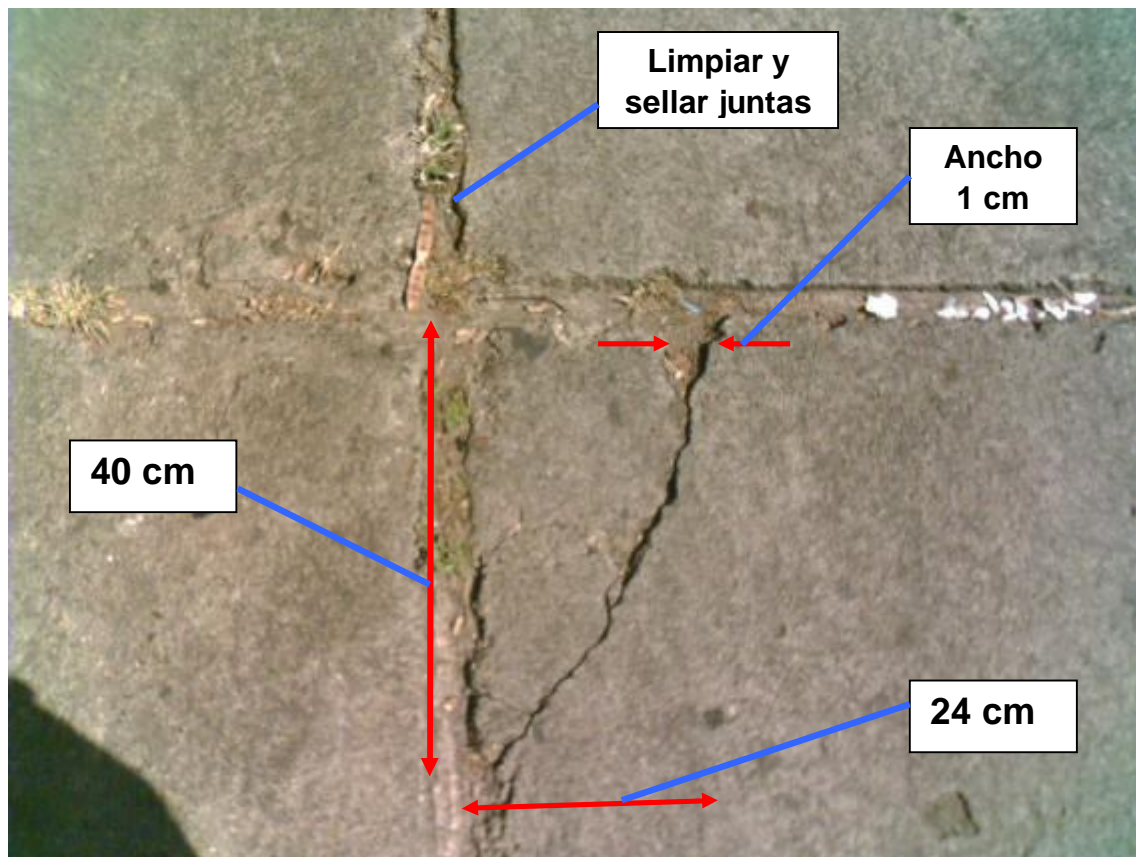


Figura 6.1. Fisura de esquina.

Proceso de reparación.

Se ha catalogado su severidad como medio debido al ancho de la fisura, el proceso de reparación recomendado es el sellado de grietas con material asfáltico, pero antes debe de limpiarse el área afectada con herramientas manuales adecuadas que permitan la remoción de materiales ajenos a la estructura del pavimento; luego de haber removido todo el material se debe de barrer la fisura con una escobilla de acero para asegurar la eliminación de cualquier material extraño. El espesor del material sellante será como mínimo de 15 mm, y deberá quedar entre 4 y 5 mm, por debajo de la superficie del pavimento. Además de sellar las grietas longitudinales se deberán limpiar las juntas longitudinales de material extraño y una vez removido este material se procederá al sellado con silicón para garantizar que el alabeo de la losa durante los cambios de temperatura no afecten los tableros adyacentes, por efectos de fisuración. Este proceso de reparación deberá efectuarse lo más pronto posible para evitar la reparación parcial y la remoción del concreto.

Bache

Descripción: Descomposición o desintegración de la losa de concreto y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares.

Causas:

Una de las causas principales de esta formación es ocasionada por la retención de agua en zonas fisuradas, debe recordarse que estamos en una ciudad donde las precipitación pluvial es alta en temporada de lluvias. Una causa secundaria que afecta el bache una vez que este se forma y que incide en que su deterioro sea mayor es la acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento

Forma de medir:

- Ancho: 65 cm.
- Longitud: 93 cm.

- Altura: 4 cm.
- Nivel de severidad: Mediano, catalogado dentro de este rango por tener una profundidad de 4 cm (entre 2.5 a 5 cm); y un diámetro promedio de 79 cm (entre 70-100 cm)
- Área afectada: 0.6045 m²

Foto de Deterioro.

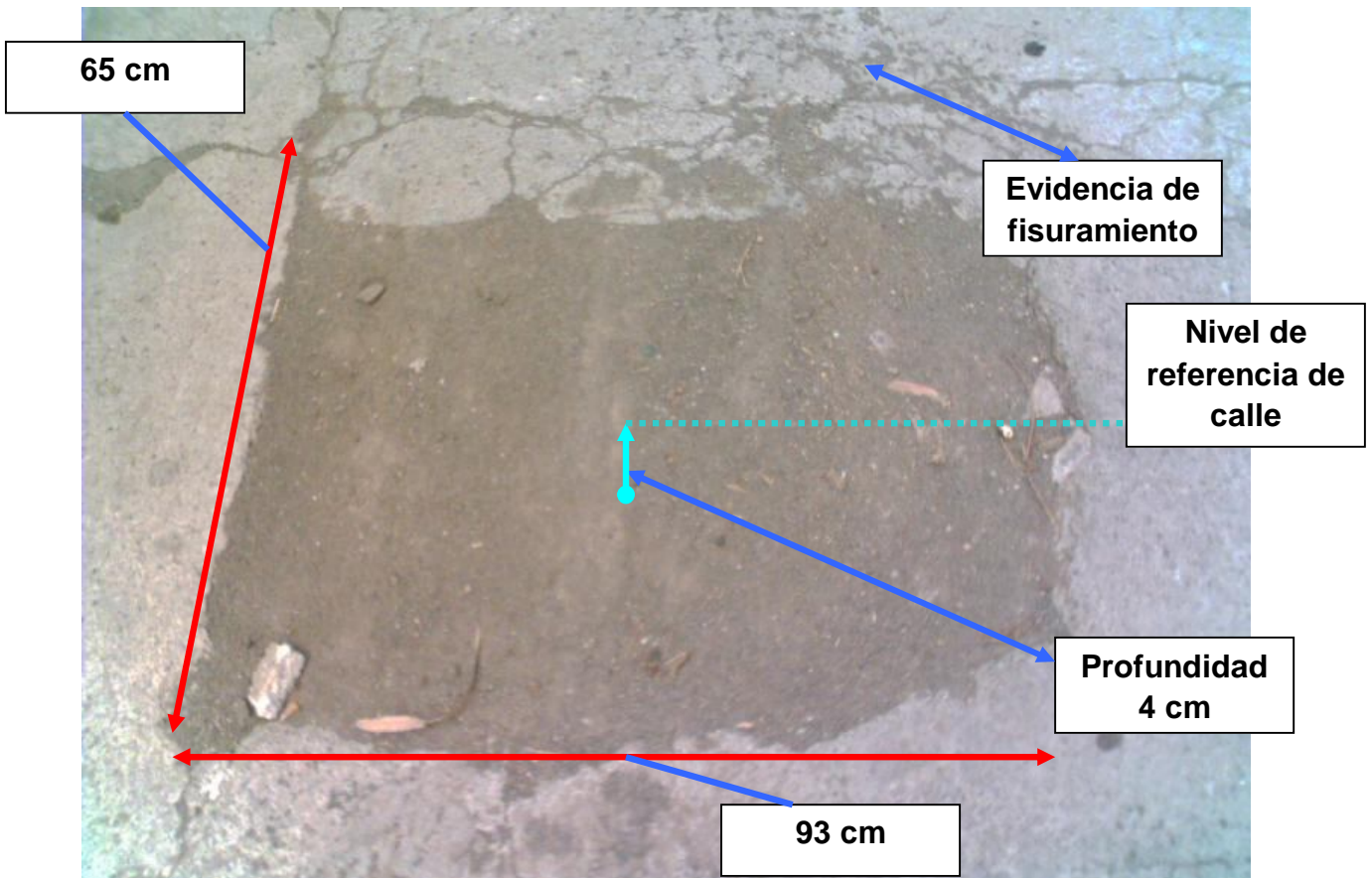


Figura 6.2. Bache.

Proceso de reparación.

Limpiar muy bien el interior del bache y las paredes del mismo para garantizar la eliminación de material extraño. Luego se rellenará con concreto que contenga un aditivo expansor, y se deberá garantizar la adherencia entre el concreto dejando rugosa las paredes laterales del bache.

Fisura en Bloque

Descripción:

Fracturamiento que subdividen generalmente una porción de la losa en planos o bloques pequeños de área inferior a un metro cuadrado.

Causas:

Son causadas por la repetición de cargas de tránsito produciendo la fatiga del concreto y son resultado de la evolución final de la figuración en el tablero de la losa, que inicia con la formación de una malla cerrada que con el tránsito acelera la subdivisión en bloques más pequeños.

Forma de medir:

- Número de tableros afectados: 1 tablero.
- Ancho de fisura: 2 cm.
- Altura de hundimiento: 2.5 cm.
- Nivel de severidad: Mediano, catalogado dentro de este rango por ser una fisura de ancho entre 3 y 10 mm.
- Área afectada: 8.7616 m² (Área del tablero).

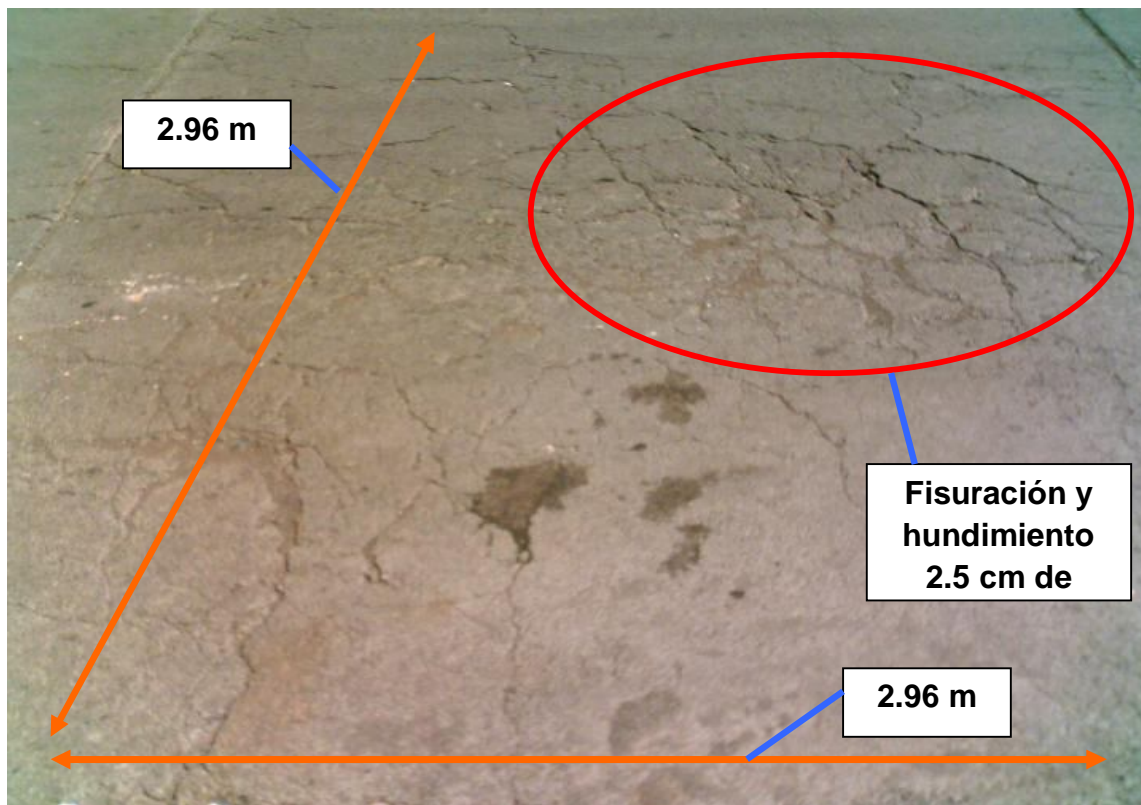


Figura 6.3 Fisura en bloque.

Proceso de reparación.

Como este deterioro se encuentra dentro de un nivel de severidad mediano, pero existe evidencia de un hundimiento, además que afecta todo el tablero de la losa, lo recomendable es realizar una reparación a profundidad total y remover todo el tablero de losa afectado, una vez que se haya realizado esto se deberá evaluar el material de la sub-base y catalogar el tipo de suelo presente, para identificar el mejor método de estabilización del mismo y evitar asentamiento una vez que se complete la etapa de vertido del concreto en el área a reparar. El procedimiento por reparación total, se realizará por demolición por el gran agrietamiento existente y porque en una buena área existe hundimiento del pavimento, no se recomienda el izado del tablero de losa porque al realizar esta operación se puede fracturar todo el concreto y dañar los tableros adyacentes por lo que aumentaría los costos de reparación. Debe recordarse que la reparación total consiste en:

La demolición, en este caso es recomendada por el gran deterioro que presenta el pavimento. La demolición se puede realizar con la ayuda de un martillo neumático, un martillo de caída libre o un ariete hidráulico retirando luego el material mediante el uso de una retroexcavadora o de herramientas manuales.

Para no dañar el pavimento circundante se recomienda realizar cortes de sierra de profundidad total en los bordes, en ubicaciones predeterminada, además se deben de hacer cortes secundarios, de toda la profundidad dentro del área que se va a remover, en forma paralela y aproximadamente a una distancia de 300 mm de cada uno de los cortes periféricos. Esto incluye la junta longitudinal existente.

VII. Conclusiones

Lo primordial del diseño de pavimentos, es contar con una estructura sostenible y económica que permita la circulación de los vehículos de una manera cómoda y segura, durante un periodo fijado por las condiciones de desarrollo, tomando en cuenta todas y cada una de las variables que se consideran en el diseño del mismo, de acuerdo a las características del sitio. Mientras más información se tenga y ésta sea lo más precisa y fidedigna posible, el diseño será más seguro. Evitando deterioros prematuros de la estructura del pavimento. Si existe un mantenimiento inadecuado o no se realiza, el deterioro será mayor.

El método más utilizado para el diseño de pavimentos es el método AASHTO, descrito en este trabajo, por lo que el punto más importante es aproximar las características de los materiales térreos del cimiento del lugar donde se esté diseñando el elemento estructural. No es recomendable que esta metodología se aplique por igual en climas diferentes a aquellos para los cuales fueron desarrollados sin hacerles las adecuaciones necesarias por que se puede incurrir en altos costos innecesarios o en errores.

Las variables de diseño que toma en cuenta el método AASHTO son el espesor, variable que se pretende determinar, la serviciabilidad, el tránsito, que es una de las variables más significativas y sin embargo una es una de las que más incertidumbre presenta en el momento de estimarse, la transferencia de carga, las propiedades del concreto, resistencia a la subrasante, el drenaje y por último la confiabilidad. Cada una de éstas variables se explicaron de forma detallada en el desarrollo del este trabajo.

Otro punto importante para el diseño de pavimentos es tomar en cuenta las juntas que son diseñadas para transferir las cargas del tráfico entre las losas, controlar el agrietamiento longitudinal y transversal, disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas juntas; todo esto con la ayuda de las pasajuntas.

Se desarrolló de manera concreta las fallas de los pavimentos así como también las causas que originan estos daños entre los que destacan: levantamiento de losas, fisuras de esquina, desplazamientos verticales diferenciales, fisuras longitudinales, el bombeo

de finos, punzonamiento, fisuramiento en D, fisuras en forma de mapa, despostillamiento en juntas, fisuras transversales y diagonales y baches. El proceso de reparación que se realiza para algunas de las fallas más comunes y la forma de evaluación.

Es fundamental un correcto diseño del pavimento y de la misma manera la construcción para que los costos de mantenimiento y conservación disminuyan.

BIBLIOGRAFÍA

- **AASHTO 93**, *Guía para el diseño de pavimentos*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- **CEMEX**, Productos y servicios de cemex concretos. Especificaciones de materiales pavimentos de concreto.
- Ing. Aurelio Salazar Rodríguez; *Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos*. **IMCYC**.
- Ing. Luis F. Altamirano Kauffmann; **DETERIORO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS METODOLOGÍA DE MEDICIÓN, POSIBLES CAUSAS DE DETERIORO Y REPARACIONES**.
- *Apuntes de Estructuras de Pavimento*. Universidad Nacional Autónoma de México. División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica.

Páginas Consultadas.

- SEDESOL
<http://sedesol2008.sedesol.gob.mx/archivos/301109/File/Tomo6.PDF>
- Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal.
<http://www.obras.df.gob.mx>
- Instituto Mexicano del Transporte, IMT.
<http://www.imt.mx/>
- CEMEX, S.A.B. de C.V.
www.cemexmexico.com
- IMCYC
<http://www.filestube.com/064e1948bdda733a03e9,g/IMCYC-Pavimentos-Rigidos.html>

Otras páginas:

- <http://www.asfaltogravayterraceras.com.mx/Servicios/Pavimentos/Fallas/tabid/110/Default.aspx>
- <http://ingenieriacivilapuntes.blogspot.com/2009/02/tipos-de-fallas-en-pavimentos-rigidos-y.html>;
- <http://www.biblioteca.uson.mx/digital/tesis/docs/7301/Capitulo2.pdf>
- <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/deterioro-pavimentos-rigidos/deterioro-pavimentos-rigidos.pdf>
- <http://www.angelfire.com/rings/transportes/pavimentos.pdf>
<http://www.scribd.com/doc/20603136/Guia-de-Fallas-de-Pavimento-Rigido-y-Flexible-Soluciones>
- <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt8.pdf>
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/gutierrez_g_f/capitulo4.pdf
- <http://ingenieriacivilapuntes.blogspot.com/2009/05/elementos-que-integran-el-pavimento.html>
- http://www.utp.ac.pa/secciones/vipe/pdf/Diseno_Pavimento_Rigido_AASHTO.pdf
- http://www.sieca.org.gt/publico/Transporte/Manuales/Vulnerabilidad/Especificaciones_Construccion/Especificaciones_para_la_construccion.pdf
- <http://www.scribd.com/doc/24239421/24AASHTO-Pavimentos>