



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES.**

**CAMPUS ARAGÓN**

**“DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA  
INSTALACIONES PETROLERAS”.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A:  
**JEMIMAH ABOITES DÁVILA**

**ASESOR DE TESIS: ING. JOSÉ MARIO ÁVALOS HERNÁNDEZ.**

---

**SAN JUAN DE ARAGÓN, EDO. DE MÉXICO**

**2001**



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.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

DUPLICADO

**JEMIMAH ABOITES DÁVILA  
P R E S E N T E.**

En contestación a la solicitud de fecha 23 de marzo 2000, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSÉ MARIO ÁVALOS HERNÁNDEZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado, "DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA INSTALACIONES PETROLERAS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 20 de septiembre del 2001

LA DIRECTORA

*C. M. Turcott*

ARQ. ~~LILIA~~ TURCOTT GONZÁLEZ



Nota: La aceptación del tema de tesis y asesor de la misma fue registrada en la Secretaría Académica de esta Escuela con fecha 7 de abril del 2000.

- C p Secretaría Académica.
- C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.
- C p Asesor de Tesis.

LTG/AIR/RG/cma\*

*Si Jehová no edificare la casa, en vano trabajan los que la edifican.*

## *AGRADECIMIENTOS:*

*A mis padres Fernando y Adela y a mis hermanas, por todo el apoyo que me brindaron cuando más lo necesité, así como por la confianza que siempre han depositado en mi y en todo lo que hago. Gracias.*

*A mis grandes amigos y compañeros de carrera.*

*A mis profesores, en especial a mi asesor el Ingeniero: José Mario Avalos Hernández.*

*Al Instituto Mexicano del Petróleo, a mi asesor el Ingeniero : Eduardo Giral Mazón y en especial a los Ingenieros de Mecánica de Suelos por su ayuda y apoyo para la realización de este trabajo.*

*Y muy en especial, al hombre que marcó mi vida desde el día en que lo conocí y me ha mostrado lo hermoso que puede llegar a ser la vida. Mi novio y amigo Benito Sandoval.*



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN**



# **DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA INSTALACIONES PETROLERAS**

**AUTOR: JEMIMAH ABOITES DÁVILA**

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPITULO 1</b>	
<b>SISTEMA DE PAVIMENTOS .....</b>	<b>3</b>
1.1 Generalidades	
1.1.1 Funciones	
1.1.2 Comportamiento	
1.1.3 Tipos de fallas	
1.2 Pavimentos Flexibles	
1.2.1 Definición	
1.2.2 Elementos constitutivos de un pavimento flexible	
1.2.3 Materiales empleados en la construcción de subbase y bases	
1.3 Pavimentos Rígidos	
1.3.1 Definición	
1.3.2 Elementos constitutivos	
1.3.3 Normalización	
1.3.4 Procedimiento constructivo y control de calidad	
1.4 Alternativas de Pavimentos	
1.4.1 Whitetopping	
1.4.2 Concreto compactado con rodillos	
1.4.3 Reciclado de pavimentos	
1.5 Diferencias entre pavimentos rígidos y flexibles	
1.5.1 El costo de pavimentos rígidos y flexibles	
1.5.2 Algunos aspectos comparativos entre pavimentos rígidos y flexibles	
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y DISEÑO .....</b>	<b>55</b>
2.1. Esfuerzos y deflexiones en pavimentos rígidos	
2.1.1 Introducción	

- 2.1.2 Flexión en una placa finita
- 2.1.3 Esfuerzos de alabeo en una losa finita
- 2.1.4 Esfuerzos por cargas de tráfico
- 2.1.5 Esfuerzos por fricción
- 2.1.6 Cambios volumétricos en el concreto
- 2.1.7 Movimiento de juntas
- 2.1.8 Esfuerzos en el acero
- 2.1.9 Pasajuntas y distribución de juntas
- 2.1.10 Sellantes
- 2.1.11 Drenaje en el conjunto subbase-acotamiento-losa
  
- 2.2 Aspectos Teóricos y fundamentos de Diseño
  - 2.2.1 Generalidades
  - 2.2.2 Factores a considerar en el proyecto
  - 2.2.3 Conceptos de diseño
  
- 2.3 Método AASHTO
  - 2.3.1 Introducción
  - 2.3.2 Descripción del método
  - 2.3.3 Factores de diseño
  - 2.3.4 Diseño geométrico
  
- 2.4 Método PCA
  - 2.4.1 Introducción
  - 2.4.2 Descripción del método
  - 2.4.3 Tránsito
  - 2.4.4 Factores de seguridad
  - 2.4.5 Resistencia del concreto
  - 2.4.6 Criterio de fatiga
  - 2.4.7 Criterio por erosión
  - 2.4.8 Acotamientos

### **CAPITULO 3**

### **ESTÁNDARES ..... 128**

- 3.1 Junta de contracción
- 3.2 Junta longitudinal
- 3.3 Junta de construcción
- 3.4 Junta de expansión
- 3.5 Junta machimbrada
- 3.6 Juntas sin pasador
- 3.7 Remate de juntas
- 3.8 Armado de losas

- 3.9 Guarniciones con o sin cuneta
- 3.10 Paso de tubería a través del pavimento
- 3.11 Trenes de colado
- 3.12 Especificaciones

## **CAPITULO 4**

### **DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA INSTALACIONES PETROLERAS .....144**

- 4.1 Introducción
  - 4.1.1 Acerca del petróleo
  - 4.1.2 Acerca del diesel y gasolina
  - 4.1.3 Transformación industria
- 4.2 Tipos de instalaciones petroleras
- 4.3 Áreas típicas
  - 4.3.1 Recepción de materia prima
  - 4.3.2 Área de proceso
  - 4.3.3 Almacenamiento
  - 4.3.4 De carga y descarga
  - 4.3.5 Servicios
  - 4.3.6 Suministro eléctrico
  - 4.3.7 Quemadores de campo
  - 4.3.8 Área de control
  - 4.3.9 Laboratorios
  - 4.3.10 Mantenimiento (Talleres)
  - 4.3.11 Área de seguridad (Centrales contra incendio)
  - 4.3.12 Área administrativa
  - 4.3.13 Urbanización

**ANEXO .....174**

**CONCLUSIONES .....191**

**BIBLIOGRAFÍA .....192**

# INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES:

En la Industria Petrolera, existe una importante área de la ingeniería de detalle de una planta industrial, esta es el diseño de pavimentos rígidos, cuyo volumen de obra llega a superar incluso a toda la obra de concreto correspondiente a cimentaciones de equipos y edificios, por lo que el procedimiento cubre aspectos tanto técnicos como administrativos tendientes a cumplir con este propósito.

Dentro de las actividades inherentes a la ingeniería de detalle de una planta industrial, la pavimentación es también una actividad interdisciplinaria realizada por un grupo específico de especialistas, los cuales requieren para la ejecución de su trabajo información proveniente de otros especialistas.

El diseño de un pavimento urbano o carretero consiste básicamente en determinar su espesor total (base, subbase y carpeta) para responder con seguridad a las acciones externas proveniente de los vehículos que circulan por él; este diseño se lleva a cabo bajo consideraciones dinámicas para un cierto periodo de vida útil y es en ese sentido en donde un pavimento de una planta industrial difiere notablemente pues tiene varias funciones, dependiendo de la fase en que ésta se encuentra.

Por ejemplo, durante su fase de construcción el pavimento sirve para mantener limpia el área de trabajo y también para el acarreo de materiales propios de la construcción sobre todo en época de lluvias. Posteriormente, el pavimento sirve para transporte y apoyo de grúas de montaje, y después, durante la fase operativa de la planta el pavimento sirve para recolectar y canalizar aguas de lluvia y contra incendio hasta los registros de drenaje para ser conducidas a través de tubería hasta el exterior de la planta en donde se conecta a la red general; en esta etapa el pavimento sirve también como piso de operación y apoyo directo de equipos de hasta 2 toneladas de peso.

Las áreas en las cuales existe estos pavimentos, son en áreas de proceso, patio de maniobras, vías de acceso y circulación de plantas industriales.

Cabe señalar que por norma esta establecido que los pavimentos deben ser de concreto (rígido) por seguridad, ya que a diferencia de los pavimentos flexibles, estos si resisten altas temperaturas, no presentan desgaste ante los hidrocarburos y no se inflaman con el calor.

Existen casos donde los caminos de acceso a la planta son de pavimentos flexibles, pero no representan peligros en caso de incendios, en su gran mayoría, todos los pavimentos que se encuentran dentro de las instalaciones petroleras, son de concreto.

## OBJETIVO:

Elaborar un manual para el diseño de pavimentos rígidos, bajo los requerimientos de las instalaciones petroleras, así como la comparativa de diversos pavimentos y sus recomendaciones de uso aplicado a las instalaciones petroleras.

## ALCANCES:

Este trabajo solo abarca instalaciones petroleras en tierra, ya que las instalaciones mar adentro, son constituidas casi en su totalidad de acero.

El presente trabajo en su primer capítulo, abarca la descripción de un pavimento, mencionando las funciones que debe cumplir cualquier pavimento, necesitando ser seguro, funcional y económico; de igual forma describe los elementos constitutivos y las normas mínimas que debe cumplir el pavimento. Se describen alternativas de pavimento modernas y por último se hace una comparación entre pavimento rígido y flexible.

Para el segundo capítulo, se menciona la metodología de análisis y diseño para un pavimento, entendiéndolo primeramente como funciona una losa, los esfuerzos que actúan sobre ella, posteriormente se incluyen los métodos más reconocidos a nivel mundial para el diseño de pavimentos, estos son: el método AASHTO y el de la PCA.

Siguiendo con el objetivo del trabajo, para el capítulo tercero, se presentan los estándares bajo los cuales trabaja la industria petrolera.

Una vez presentados los métodos de diseño para pavimentos, se enfoca el trabajo en el diseño de pavimentos rígidos para instalaciones petroleras, mencionando características de los elementos con los cuales se trabaja en dichas instalaciones (materia prima), así como la descripción de las áreas que integran las instalaciones. Se presenta un ejemplo de diseño de pavimentos, este trabajo corresponde a la rehabilitación de las vías de acceso en la refinería de Atzacpozalco, D.F.

Se anexa los trabajos correctivos para cuando se presenten fallas en el pavimento, reconocer el problema y de esta forma atacarlo desde la raíz, para que el mantenimiento o el procedimiento correctivo cumpla con su objetivo.

## CAPITULO 1

# Sistemas de pavimentos

## 1.1 GENERALIDADES

Un pavimento se puede definir, como la superestructura de una obra vial que hace posible el tránsito de vehículos en forma cómoda, segura, y económica. Los pavimentos están constituidos por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales y de varios centímetros de espesor de diferentes materiales, adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan en la capa subrasante, constituida ya sea por el terreno natural o por material seleccionado, y han de soportar las cargas del tránsito durante un periodo de varios años, sin deterioros que afecten la seguridad del transeúnte o la propia integridad del pavimento. Necesariamente, el comportamiento del conjunto estará regido por las características de cada una de las partes componentes, así como por su interacción

El pavimento considerado como un sistema se caracteriza por las propiedades, espesores y disposición de los materiales, de igual forma involucra la calidad de la construcción, en la cual tienen gran importancia las especificaciones, la supervisión de la obra y el control de calidad que se ejerza.

### 1.1.1 FUNCIONES

Dentro de las funciones que debe cumplir un pavimento se encuentra:

1. Proporcionar una superficie de rodamiento expedita, segura, cómoda y con características permanentes bajo las cargas repetidas del tránsito a lo largo de un periodo de tiempo, denominado vida de diseño o ciclo de vida, durante el cual sólo deben ser necesarias algunas acciones esporádicas de conservación, locales o de poca magnitud e importancia, sobre todo en *costo*.
2. Resistir las sollicitaciones del tránsito previstas durante la vida de diseño y distribuir las presiones verticales ejercidas por las cargas, de forma que a la capa subrasante solo llegue una pequeña fracción de aquellas, compatible con su capacidad de soporte. Las deformaciones recuperables que se produzcan tanto en la capa subrasante como en las

diferentes capas del pavimento deberán ser admisibles, teniendo en cuenta la repetición de cargas y la resistencia a la fatiga de los materiales.

3. Constituir una estructura resistente a los factores climatológicos, en especial de la temperatura y del agua por sus efectos adversos en el comportamiento de los materiales del pavimento y de los suelos de cimentación.

## 1.1.2 COMPORTAMIENTO

El comportamiento de un pavimento esta definido por la forma en que evolucionan diferentes parámetros distintivos, así como la forma en que está cumpliendo con su función a través del tiempo, los tres principales parámetros son: Estructurales, Funcionales y Económico.

Dentro de las características que debe poseer un pavimento se encuentran:

### FUNCIONALES

Corresponden prácticamente a las condiciones superficiales del pavimento y que afectan directamente a los usuarios, entre estas destacan:

- Regularidad superficial tanto longitudinal como transversal.
- Resistencia al deslizamiento obtenido mediante una adecuada textura superficial, adaptada a las velocidades previstas de circulación y cuya influencia dentro de la seguridad vial es imprescindible.
- Pendientes adecuadas que conduzcan el agua hacia los dispositivos de drenaje para limitar el espesor de la película de agua, salpicaduras, etc.
- El ruido generado al circular tanto en el interior de los vehículos (usuarios), como en el exterior (entorno) debe ser de bajo nivel.
- Propiedades adecuadas de reflexión luminosa, importantes para la conducción nocturna.
- Posibilidad de pintar marcas viales, siendo igual de importante el color del pavimento para efectos de contrastes con el señalamiento de piso.
- Bajo nivel de desgaste de las llantas de los vehículos.
- *Resistencia al efecto del derrame de combustibles y aceites*
- Condiciones adecuadas de durabilidad de los aspectos anteriores, que incide en el nivel de mantenimiento requerido.

### ESTRUCTURALES

Estas se refieren a la capacidad para transmitir adecuadamente a las capas de apoyo los esfuerzos producidos por el tránsito en el pavimento. Dependen fundamentalmente del espesor de las capas que constituyen la estructura del pavimento, tipo y características de los materiales utilizados, las condiciones de apoyo, en cuanto a la uniformidad y permanencia del soporte. Un análisis mecánico da una idea de los efectos de las cargas del

tránsito en cuanto a estados de esfuerzo, deformaciones unitarias y deflexiones. Por otra parte, si se conocen las leyes de fatiga de los materiales, es posible estimar el número de aplicaciones de cargas que pueden soportar las distintas capas o su durabilidad y por tanto, la del pavimento en su conjunto.

## ECONOMICAS

En este rubro se consideran los costos generados durante la vida de diseño del pavimento (planeación, construcción y mantenimiento), así como los realizados por el usuario y los asignados a la colectividad; de tal forma que se distinguen los siguientes:

- *Costos de construcción*, o también llamado costo inicial, estos son los gastos efectuados para la construcción del pavimento, que incluyen los estudios de factibilidad, diseño, compras de terrenos, movimientos de tierra, construcción de la estructura del pavimento, drenajes, barreras, señalización e iluminación.
- *Costos de mantenimiento*, estos son los gastos que debe realizar el responsable de que la carretera se encuentre funcionando, para que siempre sea transitable la vía durante la vida de diseño. Es importante hacer notar, que en vías construidas con mala calidad, el costo de mantenimiento puede llegar a ser hasta de diez veces el costo inicial. Un ejemplo claro de lo anterior es carretera Del Sol.
- *Costos de operación*, es el costo del usuario (transportador, turista, etc.) para poder transportarse por la vía, durante el ciclo de vida. Incluye el costo de combustible, lubricantes, repuestos, las reparaciones de los vehículos por daños al transitar por la vía, costo generado por cierres o demoras, accidentes, etc. Este costo, puede llegar a ser diez veces superior al costo inicial. (En nuestro país, este costo no se tiene en cuenta, primero porque sería bastante y segundo porque los accidentes se volvieron cosa normal).

En porcentajes, la construcción de la vía en sí, representa en promedio el 15 % del costo inicial, sin embargo a pesar de ser un porcentaje bajo, técnicamente es el más importante, ya que del diseño y la construcción dependen no solo el resto del costo inicial, sino que involucra de una forma directa el costo del mantenimiento y el de operación de la vía.

Es importante mencionar que los puntos antes mencionados deben ser considerados en el proyecto, debiendo establecerse en los planos, especificaciones y lineamientos constructivos, las recomendaciones y acciones que deban ejercerse para satisfacer dichos atributos. Por otra parte, durante la construcción de los pavimentos, la supervisión y el grupo de control de calidad deberán vigilar el cumplimiento de las acciones y recomendaciones prescritas en el proyecto; de esta manera, tanto el proyecto, las

especificaciones, la supervisión y el control de calidad, deben actuar conjuntamente y en la misma dirección para alcanzar un objetivo común, que es el cumplimiento de los atributos antes mencionados.

### 1.1.3 TIPOS DE FALLAS

Los pavimentos son como un sistema estructural, en el que intervienen muchas variables y cuya respuesta final a la acción de tales variables consiste en la falla del propio sistema. No obstante, ha resultado difícil precisar el momento de falla de un pavimento; en muchos casos es materia de opinión, de acuerdo al tipo, extensión y severidad de los daños que exhiba el pavimento y a la exigencia del observador mismo. En realidad los daños que se van generando a lo largo de la vida útil de un pavimento no son sino "avisos" de que la estructura puede fallar si no se les atiende.

Dentro de los pavimentos, se pueden distinguir principalmente dos tipos o modos de falla, estas se clasifican en:

#### FALLA ESTRUCTURAL

Implica el colapso de la estructura por la acumulación de deformaciones permanentes excesivas (falla plástica) o por deformaciones elásticas intolerables en el caso del pavimento asfáltico, o bien por la rotura de una o más de las capas que componen al pavimento de concreto, de tal manera que la estructura es incapaz de seguir soportando las cargas impuestas por el tránsito de los vehículos. En las figuras 1.1.1 y 1.1.2 se muestran fallas estructurales, en la primera, una falla por falta de transferencia de carga, provocando un levantamiento de losa y en la figura 1.1.2, una rotura total del pavimento debida a fallas en la subbase.

FIGURA 1.1.1 FALLA ESTRUCTURAL POR FALTA DE TRANSFERENCIA DE CARGA

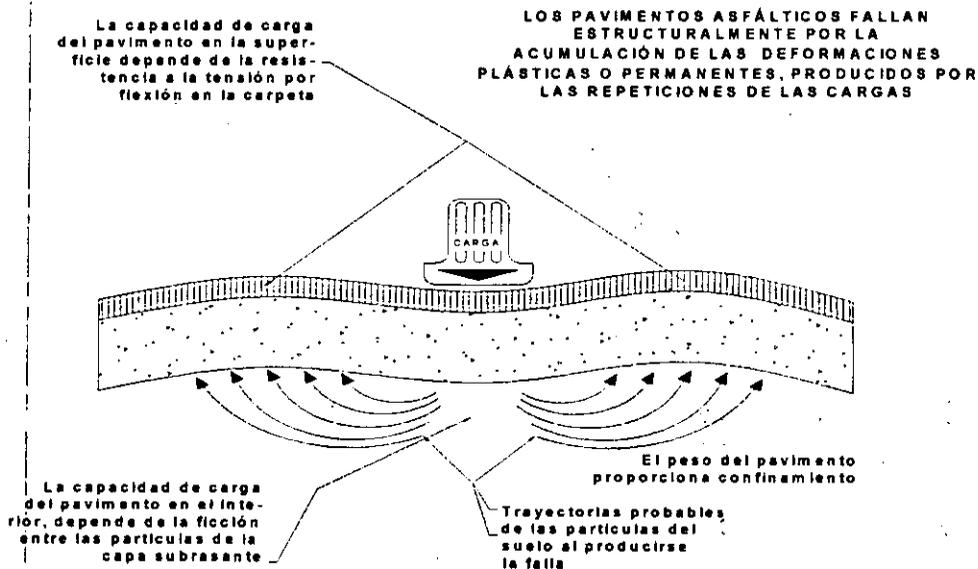


**FIGURA 1.1.2 FALLA ESTRUCTURAL POR FALTA DE SOPORTE DE LA SUBBASE**



En la figura 1.1.3 se muestra el mecanismo de falla estructural para pavimentos asfálticos, propuesto por Hveen. De este modelo se puede ver que la capacidad portante de un pavimento asfáltico se debe a la interacción de la resistencia a la tensión de la carpeta asfáltica y la resistencia al esfuerzo cortante de las capas inferiores.

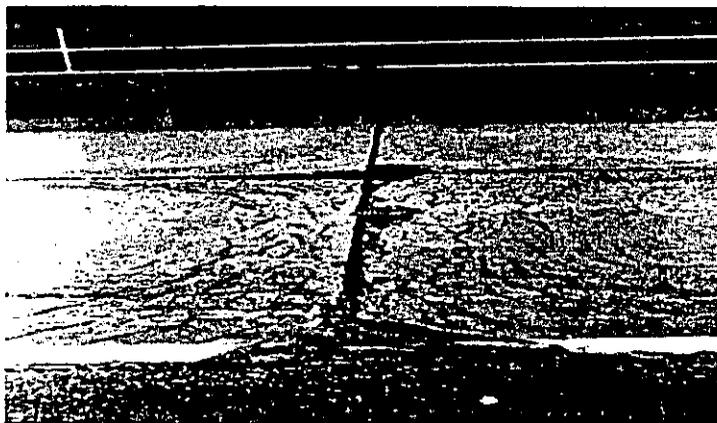
**FIGURA 1.1.3 MODELO DE FALLA ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO**



## FALLA FUNCIONAL

La falla funcional que puede o no ir acompañada de una falla estructural, consiste esencialmente en la incapacidad del pavimento de seguir cumpliendo con las funciones para las que fue proyectado, involucra los aspectos de seguridad y de comodidad de la superficie de rodamiento que debe proporcionar a los vehículos, presentando grietas longitudinales y transversales, baches, agujeros, roderas, erosión del pavimento, vegetación invadiendo el pavimento, efecto de bombeo<sup>1</sup>, etc. (En la figura 1.1.4 se muestra este tipo de falla). Una superficie de rodamiento con un bajo coeficiente de fricción o áreas susceptibles de encharcarse, provocan el fenómeno de acuaplaneo<sup>2</sup>, esto puede resultar muy inseguro para el conductor y presentar una falla funcional seria. Irregularidades severas en la misma superficie pueden causar esfuerzos inconvenientes en los vehículos, o provocar inseguridad en los conductores.

**FIGURA 1.1.4. PAVIMENTO CON FALLA FUNCIONAL EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

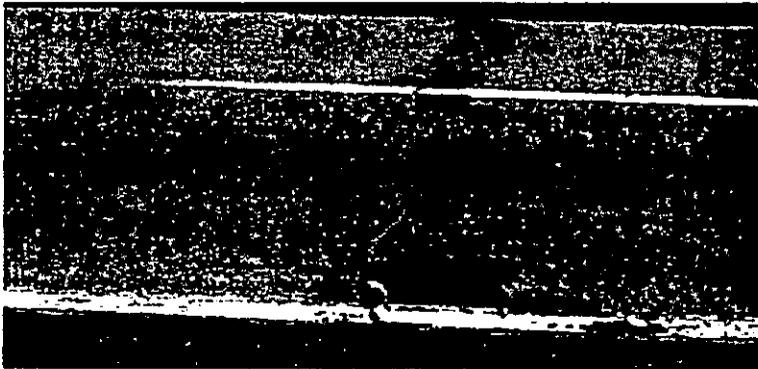


<sup>1</sup> El efecto de "bombeo" consiste en el movimiento de la losa provocado por las cargas del tránsito y que ocasiona la expulsión de mezclas de agua, arena, arcilla y/o limo a través de las juntas longitudinales o transversales, a través de las grietas y/o a través de las orillas del pavimento. El "bombeo" de los materiales finos es debido a la presencia de agua libre en la subrasante o subbase combinada con las cargas pesadas que pasan sobre la superficie del pavimento y que flexionan la losa

*El fenómeno de "acuaplano" ocurre cuando el coeficiente de deslizamiento es afectado por las características superficiales, la velocidad del vehículo y el espesor de la lámina de agua sobre el pavimento. A medida que aumenta la velocidad en pavimento mojado, se reduce el área de las zonas 2 y 3 de la figura 1.1.5 llegando a desaparecer, situación en la que la llanta pierde contacto con el pavimento y se desliza sobre una película de agua, fenómeno denominado acaudalen y que ocurre a velocidades superiores a 75 Km/hr. De ahí la importancia de desalojar rápidamente el agua bajo la llanta con texturas superficiales adecuadas.*

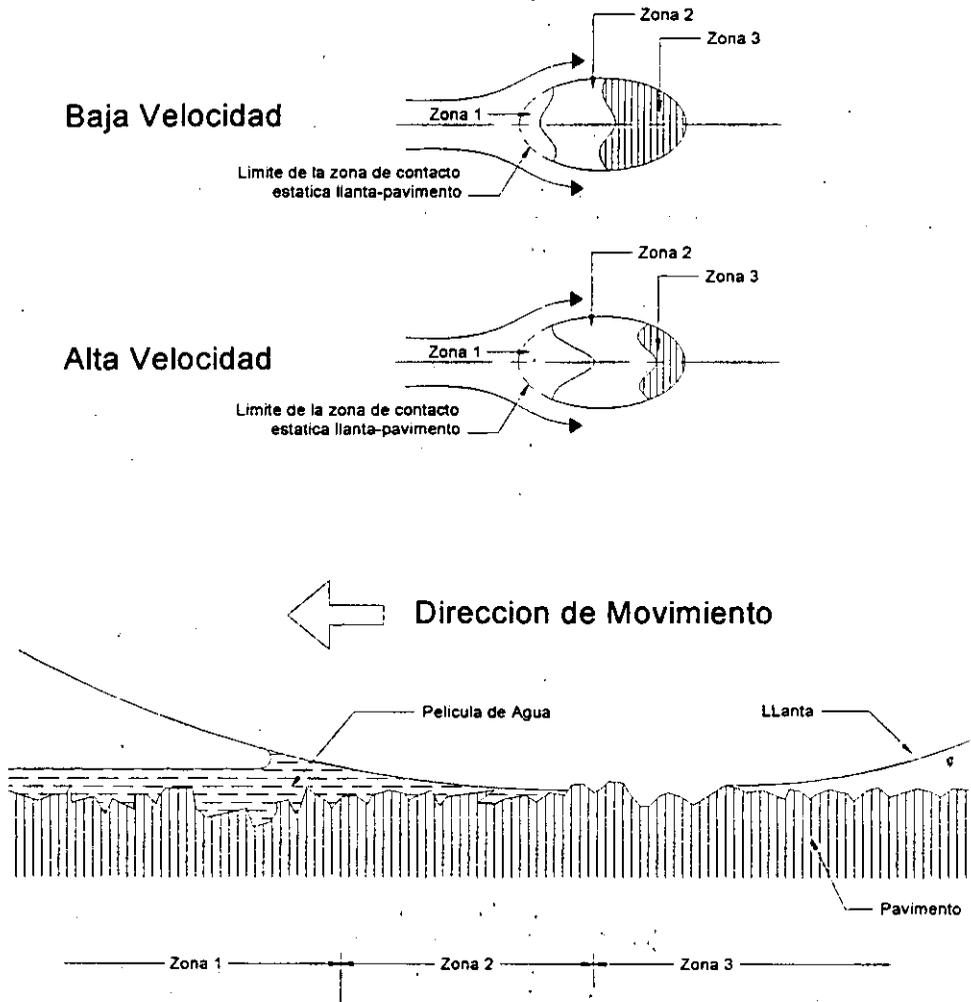
Cabe señalar que los dos tipos de falla que se presentan en los pavimentos, no necesariamente van acompañadas, esto es que se puede presentar una sin que la otra este presente, (Ver figura 1.1.1, el pavimento presenta falla estructural, pero se mantienen en optimas condiciones sus características funcionales), existen casos donde se presentan ambas al mismo tiempo, La figura 1.1.6 muestra los dos tipos de fallas.

**FIGURA 1.1.6 FALLA ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL EN UN PAVIMENTO FLEXIBLE**



Para que se presenten dichas fallas, los factores pueden ser causados por las condiciones: *ambientales* (sol, lluvia, viento, etc.), *de tránsito* (intensidad y frecuencia de cargas) y de *capacidad estructural de las capas* (repetición de esfuerzos y deformaciones – tensión y compresión–, desplazamientos verticales –deflexión, etc.), involucrando de igual forma los *materiales de construcción* y un *mantenimiento defectuoso o nulo*.

**FIGURA 1.1.5 ZONAS DE CONTACTO LLANTA-PAVIMENTO EN CONDICIONES DE PISO MOJADO**



- Zona1: Pelicula de agua continua, Presion Dinamica
- Zona2: Pelicula de Agua Discontinua, Presion Viscosa
- Zona3: contacto seco

En forma general puede establecerse que el principal deterioro del pavimento se divide en primario (deformaciones-ondulamientos-agrietamientos) y secundario (deficiencias superficiales).

### **PRIMARIO**

En el primario deben tomarse en cuenta aspectos como:

- La inestabilidad de taludes en terraplén
- La propagación gradual ascendente de grietas o fisuras
- El envejecimiento prematuro del asfalto
- El enfriamiento brusco e intenso o calentamiento del concreto (asfáltico e hidráulico)
- La inestabilidad volumétrica de los suelos finos arcillosos (expansión y contracción)
- La consolidación irregular de las capas de pavimento que en el caso de las capas rígidas, podría conducir al efecto del "bombeo".
- La incapacidad estructural de las capas del pavimento, que puede inducir a la formación de roderas.
- Los movimientos diferenciales exagerados
- El corrimiento de la carpeta asfáltica.

Al considerar los deterioros producidos por los efectos de clima, los materiales y el tránsito encontramos que:

- a) La inestabilidad volumétrica de los suelos finos arcillosos es generada por las variaciones cíclicas de humedad (fuertes lluvias e intensa evaporación), motivadas por los grandes cambios estacionales de temperatura de la región
- b) La consolidación irregular esta intimamente ligada a la heterogeneidad relativa, al espesor, la compacidad y/o a la humedad iniciales de las capas; cuando se infiltra el agua por las fisuras y/o se tiene un subdrenaje ineficiente, se produce el reblandecimiento de los materiales subyacentes, con o sin pérdida de finos, lo cual da lugar al "bombeo" y la consiguiente ruptura progresiva de las capas rigidizadas superiores.
- c) La incapacidad estructural del pavimento está relacionada con la insuficiencia en los espesores y en las rigideces relativas de las capas, lo cual da lugar al fenómeno de fatiga por la repetición de las cargas del tránsito, sobre todo cuando son de gran intensidad y/o frecuencia.
- d) Los movimientos diferenciales exagerados son motivados por los cambios de rigideces en estructuras u obras inducidas.
- e) El escurrimiento de las carpetas asfálticas normalmente se debe al exceso de asfalto o a la falta de liga entre capas.

## **SECUNDARIO**

Para el deterioro secundario es considerar el alisado y el desgarramiento de la superficie de rodamiento, así como el efecto de acauplano durante las lluvias. Las deficiencias superficiales se engloban en dos grupos.

- 1) El alisado se debe fundamentalmente al desgaste excesivo de los agregados o al alto grado de saturación del cemento asfáltico.
- 2) El desgarramiento se puede deber a la escasa adherencia entre los agregados y el aglutinante o al bajo grado de saturación del cemento asfáltico.

## **1.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES**

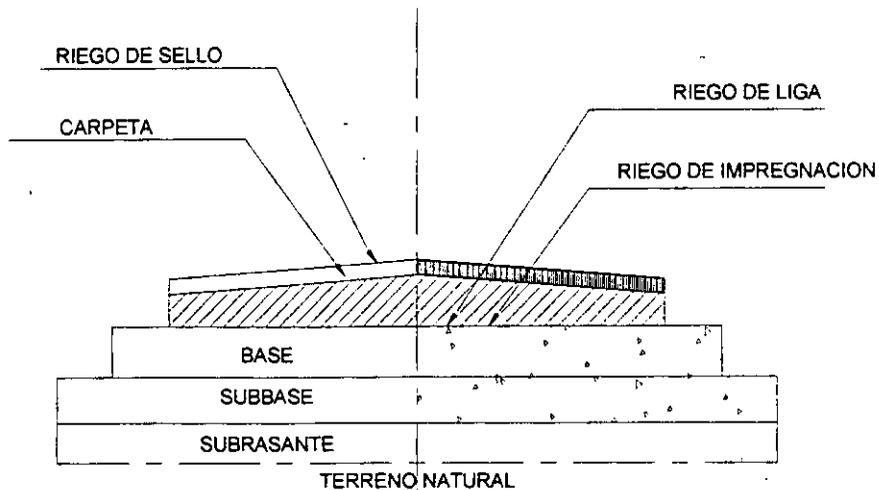
### **1.2.1 DEFINICIÓN**

Los llamados *pavimentos flexibles* son aquellos que aun teniendo la suficiente estabilidad para soportar las cargas conservando la uniformidad en su superficie, son capaces de aceptar pequeñas o medianas deformaciones demandadas ya sea por asentamientos diferenciales en las capas inferiores de suelo sobre las que se apoya, cambios sustanciales de temperatura o alguna otra causa, sin llegar a la ruptura.

Están constituidos normalmente por una carpeta, construida por agregados pétreos aglutinados con un producto asfáltico<sup>3</sup>, una base, subbase y en su mayoría de casos de una subrasante. Las capas subyacentes a la carpeta se constituyen empleando agregados pétreos, debidamente procesados, de calidad adecuada y densificados por medios mecánicos (compactación); en muchos proyectos conviene emplear en estas capas aditivos o cementantes (cal, cemento Portland o asfalto), para mejorar sus características. En la siguiente figura se muestra las partes constitutivas de un pavimento flexible (Figura 1.2.1).

<sup>3</sup>Según la definición del ASTM. El asfalto es una mezcla de hidrocarburos de alto intervalo de temperatura de ebullición, con características de producto pegajoso y consistencia sólida o semisólida. Es un constituyente en proporciones variables del aceite crudo. El asfalto esta constituido según la teoría miscelar por tres grandes fracciones: asfaltenos (contribuyen en el asfalto con propiedades como dureza o solidez, plasticidad, fragilidad y el color negro de éstos), resinas (de naturaleza altamente adhesiva, buena ductibilidad en frío, bajo punto de fusión y quebradizas a muy bajas temperaturas, de color café-pálido) y resinas (son similares a los aceites básicos pesados, con alto o muy bajo índice de viscosidad, alta o bajo viscosidad. El contenido de éstos aceites imparten dureza o suavidad a los asfaltos).

FIGURA 1.2.1 SECCIÓN ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE



- *A alta temperatura: en climas cálidos o bajo cargas sostenidas (auto en movimiento lento), el cemento asfáltico se comporta como un líquido viscoso (tendiendo a deformarse, fluir).*
- *A bajas temperatura: en climas fríos o bajo cargas aplicadas repetidamente, el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico, al aplicarle una carga se deforma y cuando cesa la fuerza recupera su forma original, si se rebasa el límite elástico del material, éste se fractura.*
- *A intermedias temperaturas: el cemento asfáltico presenta características viscoelásticas y su comportamiento dependen de la temperatura y tiempo de carga.*
- *Envejecimiento: debido a su composición de moléculas orgánicas, el asfalto reacciona con el oxígeno ambiental (quebradizo, frágil).*

*El asfalto es un material termoplástico que es sensitivo a la temperatura, tiende a ser duro y quebradizo a bajas temperaturas, mientras que a altas temperaturas es blando y tiende a fluir. Cuando es mezclado con polímeros este rango de temperatura se amplía. Dentro de los aditivos con los cuales se mejoran las características se encuentran los polímeros, azufres, elastómeros, coques, hules, latex, negro humo, cal hidratada, etc.*

## 1.2.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

Están constituidos por varias capas denominadas de abajo hacia arriba como, subbase, base y carpeta.

### SUBRASANTE

Es el terreno de cimentación del pavimento. Puede ser el suelo natural, debidamente recortado y compactado; o puede ser, debido a los requerimientos de diseño geométrico, cuando el suelo natural es deficiente, de un material seleccionado de relleno de buena calidad. En todo caso, el material deberá cumplir con las normas de calidad vigentes.

#### Características de la capa subrasante

La capa subrasante se presentó oficialmente en las especificaciones mexicanas de 1957. Sus características mínimas deben ser:

Espesor de la capa: 30 cm mínimo.

Tamaño máximo: 7.5 cm (3 pulg)

Grado de compactación: 95 % de PVSM (Peso Volumétrico Seco Máximo)

Valor relativo de soporte: 15 % mínimo.

Expansión máxima 5 %.

Estos dos últimos valores se obtienen por medio de la prueba de Porter estándar. Hasta la fecha, las especificaciones para las dos últimas características marcan valores de 5% mínimo y 5% máximo, respectivamente, pero los proyectistas exigen las especificaciones antes citadas.

#### Funciones de la capa subrasante

Las principales funciones de la capa subrasante son:

1. Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas por el pavimento.
2. Transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.

(Estas dos funciones son estructurales y comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.)

3. Evitar que los materiales finos plásticos que formen el cuerpo del terraplén contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas debe estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén y las granulares del pavimento.
4. Evitar que las terracerías, cuando estén formadas principalmente por fragmentos de roca (pedraplenes), absorban el pavimento. En este caso, la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén y los granulares del pavimento (subbase).

5. Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
6. Uniformar los espesores de pavimento, sobre todo cuando varían mucho los materiales de terracería a lo largo del camino.
7. Economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de la terracerías requieren un espesor grande.

### **SUBBASE**

Es la capa situada debajo de la base y sobre la capa subrasante. Esta capa puede no ser necesaria cuando la capa subrasante es de elevada capacidad de soporte. Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su colocación y compactación. Es deseable que cumpla también una función drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales utilizados carezcan de finos y en todo caso suele ser una capa de transición necesaria. Se emplean normalmente subbases granulares constituidas por materiales cribados o de trituración parcial suelos estabilizados con cemento, etc. Esta capa es la que subyace a la capa base, cuando ésta es necesaria, como es el caso de los pavimentos flexibles. Por lo general, la subbase se construye para lograr espesores menores de la capa base, esto es para abaratar el costo de la base.

### **BASE**

Es la capa situada debajo de la carpeta. Su función es eminentemente resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las solicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tráfico pesado. Así, para tránsito medio y ligero se emplean las tradicionales bases granulares, pero para tránsito pesado se emplean ya materiales granulares tratados con un cementante, normalmente bases de mezcla asfáltica o bases de gravacemento.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes, define la subbase y la base como capas sucesivas de materiales seleccionados que se construyen sobre la subrasante y cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en éstas.

### **CARPETA**

Es la parte que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales. Estructuralmente, absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales. En condiciones de alta intensidad de tránsito puede llegar a alcanzar espesores importantes. Se construyen con mezclas asfálticas en frío o en caliente, denominándose en este último caso concretos asfálticos, que pueden tener algún agente modificador para mejorar alguna de sus características. Cuando el espesor total de la

carpeta es superior a 8 cm se construye por capas. Para mejorar sus características superficiales o con fines de conservación, se pueden aplicar a la carpeta tratamientos superficiales, como capas delgadas de mortero y lechadas asfálticas, carpetas drenantes de granulometría abierta, etc.

Los pavimentos flexibles, conocidos también como pavimentos asfálticos (ya que cuentan con una capa de rodamiento constituida por mezcla asfáltica), se empezaron a construir desde finales del siglo pasado, han experimentado importantes avances debidos a las nuevas tecnologías que han permitido cada vez un mejor y más racional uso de los materiales tanto pétreos como asfálticos.

El aumento de las intensidades y número de aplicaciones de cargas llevó en su día a los denominados pavimentos rígidos, con capas tratadas o estabilizadas con cemento o con un espesor muy importante de mezclas asfálticas como las denominadas "full depth", con espesores del orden de 30 cm. Estos pavimentos suelen incluirse también formalmente en el grupo de los flexibles, debido a que tiene un pavimento asfáltico análogo, pero su comportamiento estructural es muy diferente, con capas inferiores de igual o mayor rigidez que las superiores, como en el caso de los pavimentos de sección invertida.

Los pavimentos mixtos o compuestos, están constituidos por una capa de concreto hidráulico, cubierta por una carpeta asfáltica. Se emplean en calles y su justificación se basa entre otras razones en la presencia de redes y servicios bajo la vialidad, que han de protegerse de la acción del tránsito o que su posición impide efectuar excavaciones de mayor profundidad para alojar una estructura de pavimento flexible convencional. Así mismo, pueden tener una mayor capacidad estructural y por tanto, un mejor desempeño.

En la figura 1.2.2 se muestran las características de los principales tipos de carpetas asfálticas.

### **1.2.3 MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE SUBBASES Y BASES**

Los materiales que se emplearán en la construcción de bases y subbases serán limos, arenas y gravas, que cuando se extraen no contienen más del 5% de partículas mayores de cincuenta y un (51) milímetros (2").

- Tezontles y materiales cohesivos como tepetates, caliches, conglomerados, aglomerados y rocas muy alteradas, que deberán ser disgregados, hasta obtener no más del 5% de partículas mayores de cincuenta y un (51) milímetros (2").

### FIGURA 1.2.2 CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS

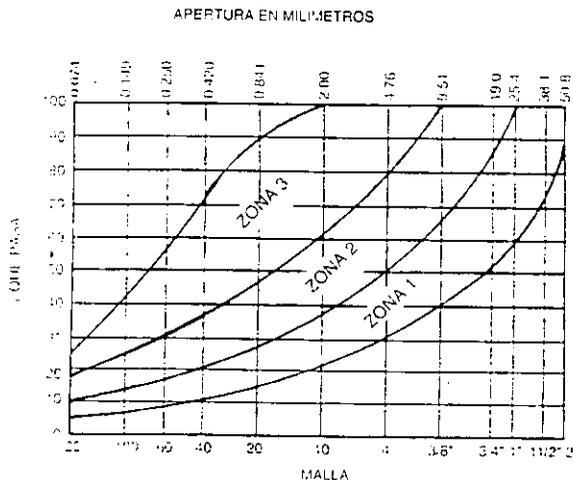
Mezclas de gravas, arenas y limos, esos requieren ser cribados, cuando al extraerlos quedan sueltos y con un contenido entre el 5-25 % de material mayor de 51 milímetros (2"). Para el caso de que más del 25 % de su contenido sea mayor a 51 milímetros, estos deberán ser triturados y cribados por la malla de treinta y ocho (38) milímetros (1 ½").

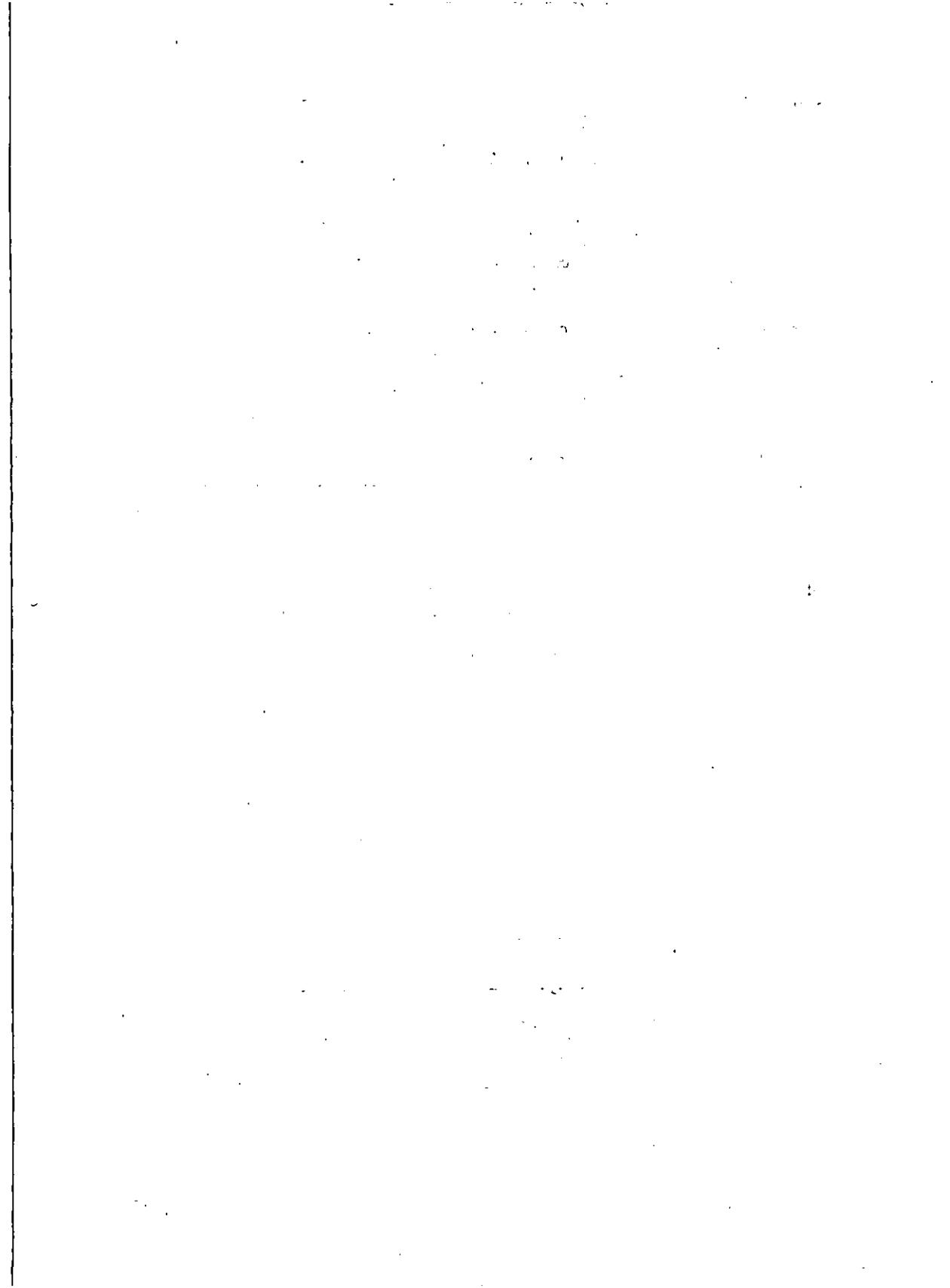
- Tezontles y materiales cohesivos, como tepetates, caliches, conglomerados, aglomerados y rocas alteradas, estas se al extraerse resultan con terrones que pueden disgregarse por la acción del equipo mecánico y que posteriormente a dicho tratamiento contienen más del 5% de partículas mayores de cincuenta y un (51) milímetros (2"), deberán ser trituradas y cribadas por la malla de treinta y ocho (38) milímetros

- Piedra extraída de mantos de roca, piedra pepena, piedra suelta de depósitos naturales o desperdicios, pero deberán ser triturados y cribados a través de la malla treinta y ocho (38) milímetros (1 ½").

La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1, y el límite superior de la zona 3, figura 1.2.3. La curva granulométrica deberá tener una forma semejante a las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente. La relación del por ciento en peso del material que pase la malla No. 200 al que pase la malla No. 40, no deberá ser mayor de 0.65.

### FIGURA 1.2.3 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA BASES Y SUBBASES





**FIGURA 1.2.2 CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS**

TIPO DE CARPETA	ADHERENCIA A VELOCIDAD		REGULARIDAD INICIAL	MITIGACION DE RUIDO	PROPIEDADES OPTICAS		REDUCCION DE PROYECCION DE AGUA	FACILIDAD DE CONSERVACION	IMPERMEABILIDAD	APLICACION PREFERENTE
	LENTA	RAPIDA			SECO	MOJADO				
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	TEXTURA GRUESA	○	(1)	◐	◐	◐	◐	○	◐	CARRETERAS DE ALTA VELOCIDAD
	ESPECIALES CON TEXTURA FINA(2)	○	(1)	◐	◐	◐	●	◐	○	VIALIDADES URBANAS, CARRETERAS
O CARPETAS DE CONCRET ASFALTICO	NORMALES	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	CARRETERAS DE ALTA VELOCIDAD TRANSITO INTENSO Y PESADO, VIALIDADES URBANAS
	POROSAS	○	○	○	○	○	○	◐	●	VIALIDADES URBANAS, CARRETERAS DE ALTA VELOCIDAD, Y TRANSITO PESADO
	INCRUSTACION DE GRAVILLA	○	○	○	◐	◐	◐	◐	○	CARRETERAS DE ALTA VELOCIDAD TRANSITO INTENSO Y PESADO.
	TEXTURAS	◐	(1)	◐	◐	◐	●	◐	○	VIALIDADES URBANAS, CARRETERAS DE BAJA VELOCIDAD, Y TRANSITO LEVISO Y LIGERO
	TEXTURA GRUESA	○	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐	CARRETERAS DE ALTA VELOCIDAD TRANSITO INTENSO Y PESADO.

- (1) DEPENDE DE LA SUPERFICIE DE APOYO
- (2) POR EJEMPLO :LECHADAS CON RESINAS
- (3) MUY BUEN. INCRUSTACION CON GRAVILLAS DE COLOR CLARO

**CLAVE**

- MUY BUENO
- ◐ BUENO
- ◑ REGULAR
- ◒ MALO
- RECHAZABLE EN LO QUE SE REFIERE A ESTA PROPIEDAD

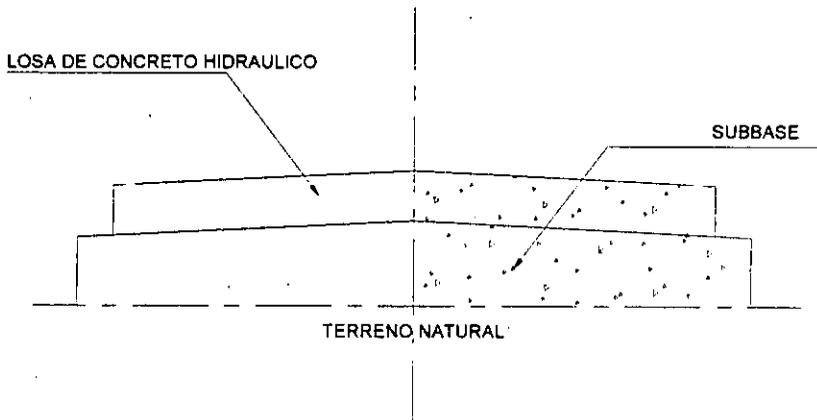
## 1.3 PAVIMENTOS RÍGIDOS

### 1.3.1 DEFINICIÓN

Los pavimentos rígidos: al contrario de los flexibles, su diseño se basa en un elemento que es a la vez estructura y superficie de rodamiento y que se calcula para que soporte las cargas de los vehículos independientemente de la resistencia del terreno sobre el que se apoya y no permite más deformaciones que las elásticas del concreto que se utiliza. Las losas del pavimento rígido hacen una más amplia distribución de las presiones sobre el terreno disminuyendo así los requerimientos de valor relativo de soporte de las capas subyacentes.

La estructuración de estos pavimentos se logra mediante la construcción de losas de concreto Portland, coladas *en situ*, apoyadas sobre una subbase. En esta caso las losas es al mismo tiempo, los elementos resistentes y la superficie de rodamiento Figura 1.3.1.

FIGURA 1.3.1 SECCION ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO DE CONCRETO



La subbase constituye propiamente una capa de transición entre la rigidez de las losas y la de las terracerías, funcionando como capa drenante que controla el fenómeno de bombeo, la acción de las heladas y la contracción o expansión de las terracerías, proporcionando mayor facilidad constructiva. Este tipo de pavimentos puede construirse de concreto simple o reforzado, existiendo también mayor facilidad constructiva, existiendo también, en muy contados casos, pavimentos de concreto presforzado.

Para estos pavimentos es más fácil controlar la textura de la capa de rodamiento, ya que cuando se construye esta se puede dar el acabado deseado, en la figura 1.3.2 se muestra la valoración de las características superficiales de los diferentes tipos de acabado en pavimentos de concreto hidráulico

**FIGURA 1.3.2 VALORACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ACABADO EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

TIPO DE ACABADO SUPERFICIAL	ADHERENCIA A VELOCIDAD		REGULARIDAD SUPERFICIAL	MITIGACION DE RUIDO	PROPIEDADES OPTICAS	
	LENTA	RAPIDA			SECO	MOJADO
SIN TRATAMIENTO	●	●	●	●	●	●
ESTRIADO TRANSVERSAL	○	○	●	●	●	●
ESTRIADO LONGITUDINAL	○	●	●	●	●	●
GRAVILLAS INCRUSTADAS	○	○	●	●	●	●
DENUDDADO	○	○	○	●	○	○

**CLAVE**

- MUY BUENO
- ◐ BUENO
- ◑ REGULAR
- ◒ MALO
- RECHAZABLE EN LO QUE SE REFIERE A ESTA PROPIEDAD

TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

A partir de 1993 se han utilizado dos tipos de pavimento rígido: de concreto con pasajuntas (JRCP) que constituye el 94 % de la longitud total y de concreto simple (JCP) el resto. A continuación se presentan algunas de las características de estos pavimentos:

- a) El espaciamiento de las juntas de contracción sin pasajuntas varia de 3.8 a 4.7 m y cuando se utilizan estos dispositivos, de 4.5 a 6.0 m; la orientación de estas

juntas es perpendicular al eje del camino, en la gran mayoría de los casos; sólo en casos especiales estas juntas se han espaciado en un patrón repetitivo de 3.85 a 4.70 m con un esviamiento de 1.0 m por cada 6.00 m de ancho.

- b) Las juntas longitudinales se han diseñado con una separación de 3.5 a 6.0m, uniéndolas con barras de amarre, formadas por secciones redondas de acero con 12.7 mm (1/2") de diámetro.
- c) Las pasajuntas se han formado con barras redondas lisas de acero, con diámetros de 31.8 mm (1 ¼") a 38.1mm (1 ½"), aproximadamente 1/8 del espesor de las losas donde se colocaron.
- d) Para el sellado de las juntas se ha utilizado un sello preformado plástico y un material a base de silicón a tiras de PVC como alternativa para las juntas longitudinales.
- e) Los acotamientos se han hecho de concreto con el mismo espesor del pavimento e integrados a la losa de rodamiento por medio de barras de amarre y con pasajuntas igual que el resto de la sección, de modo que en tramos de pendientes ascendentes se convierte en carril para tránsito lento.
- f) El drenaje del pavimento se ha resuelto, por una parte con el uso de un buen sellado de las juntas y por la otra con drenes longitudinales, ya sea de zanja en cortes o de geosintéticos en terraplenes, para eliminar el agua que de cualquier fuente se infiltre y minimizar el daño potencial a la subbase y a las terracerías.
- g) El diseño de la mezcla de concreto se ha enfocado a cubrir dos aspectos fundamentales: uno, tener la resistencia suficiente para evitar fallas estructurales y el otro, prevenir el deterioro debido a la acción agresiva de las fuerzas del medio ambiente en el cual el pavimento estará en servicio. La resistencia a la flexión del concreto medida en la prueba de carga en los tercios medios de vigas ha variado de 45 a 55 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

### SELECCIÓN DE TRAMOS

Los criterios para seleccionar los tramos en que se construirán pavimentos de concreto, se enlistan a continuación.

- a) Tránsito, se eligen carreteras con volúmenes grandes de tránsito y porcentaje alto de vehículos pesados, de manera que el tránsito de diseño sea mayor de  $2 \times 10^7$  ejes equivalentes, por lo general estos tramos están localizados sobre los ejes troncales; hasta la fecha sólo hay tres excepciones, para vías de acceso a centros turísticos muy importantes del país, como son 107 Km. entre Cancún y Tulum, 16 Km. entre Ixtapa y el Aeropuerto y 24 Km entre Puerto Vallarta y Cruz de Huanacastle.
- b) Topografía, desde este enfoque se ha preferido tramos en zonas sensiblemente planas o en lomerío suave; aunque se tienen varios kilómetros en terrenos montañosos, los asentamientos que sufren los terraplenes de gran altura (20 a 60m), restringen el buen comportamiento de los pavimentos de concreto
- c) Terreno natural, se ha limitado el colocar este tipo de pavimentos sobre suelos blandos, cuando menos en la primera etapa, debido a que los asentamientos

producidos por la consolidación causan distorsiones muy fuertes en los pavimentos.

- d) Terracerías, debido a las normas vigentes el cuerpo de las terracerías de cualquier carretera de primer orden, se forma con materiales de buena calidad, con resistencia media en la prueba VRS saturada mayor al 15 % y grados de compactación del 90 al 95 % y se corona con una capa de 300 mm de espesor de material seleccionado con resistencia en el ensaye VRS saturado mayor a 20 % y grado de compactación del 100%. Solamente en el libramiento de Nuevo Laredo por la carencia de materiales, se aceptó para la capa subrasante un VRS mínimo de 10 %.

### 1.3.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

Debido a su rigidez, el pavimento de concreto tiene una resistencia a la flexión y una capacidad de carga alta, esto permite que las presiones debajo del mismo sean muy leves y se distribuyan sobre áreas relativamente extensas. Esta cualidad del concreto de distribuir cargas pesadas, hace innecesario construir subrasantes resistentes de gruesas capas de piedra triturada o grava. Por lo anterior se pueden construir pavimentos de concreto económicos, que tendrán un buen comportamiento, en casi todos los suelos. Cabe mencionar que para el caso de pavimentos en vías rápidas o arterias por las que transita una cantidad grande de camiones pesados se necesitan subbases para evitar que el material fino de la subrasante sea extraído por bombeo. Cuando se necesiten subbases, éstas deberán construirse con cuidado.

#### CAPA SUBBASE

Como ya se menciona para el caso de pavimentos flexibles, la subbase es una capa de materiales pétreos de buena calidad, pero a diferencia de los flexibles, donde la subbase se construye para lograr espesores menores de la capa base, para pavimentos rígidos su función principal es la de proporcionar a la carpeta un cimiento uniforme y que tenga una función drenante, esto se logra empleando materiales que carezcan de finos. Se emplean normalmente subbases granulares constituidas por materiales cribados o de trituración parcial suelos estabilizados con cemento, etc. Para pavimentos rígidos, en muchos casos resulta conveniente colocar una capa subbase cuando las especificaciones para pavimento son más exigentes.

#### Funciones de la Subbase

- a) Recibir y resistir las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento (losa).
- b) Transmitir estas cargas, adecuadamente distribuidas, a las terracerías.
- c) Impedir que la humedad de las terracerías ascienda por capilaridad.

- d) En caso de introducirse agua por la parte superior, permitir que el líquido descienda hasta la capa subrasante, donde se desaloja al exterior por el efecto del bombeo o la sobreelevación.

Dada la rigidez comparativa de las losas de concreto y su resistencia, los esfuerzos que se transmiten a la subbase son pequeños, por lo que la resistencia no suele ser un requisito importante. Sin embargo, el correcto trabajo de las losas exige que estén uniformemente apoyadas y que ese apoyo se mantenga en buenas condiciones durante toda la vida del pavimento.

## CARPETA

Superficie de rodamiento constituida por materiales endurecidos para pasar minimizados los esfuerzos hacia los terracerías. El material es concreto hidráulico con o sin refuerzo. Constituye el área propiamente dicha por donde circulan los vehículos y peatones. Para el caso de pavimentos rígidos este elemento es el más importante ya que recibe y soporta los esfuerzos producidos por las cargas distribuyéndolas en áreas relativamente grandes.

## JUNTAS

El concreto experimenta cambios volumétricos debidos a la temperatura y en sus contenidos de agua, variables incluso dentro del espesor del pavimento, esos hacen que las losas que lo constituyen tiendan a sufrir esfuerzos de tensión que en ocasiones rebasan a los que las losas pueden soportar.

Los esfuerzos de tensión resultado de los cambios volumétricos se ven incrementados por los de tipo friccionante o de arrastre, generados en la interfase losa-capa de apoyo, pues está última se opone a que las losas se expandan o sufran contracción producida por los agentes ambientales y por la disminución del agua dentro del concreto al secase. Cuando no se consideran estos esfuerzos, aparecen grietas sin control y de una forma azarosa.

Para evitar estos agrietamientos se planean cortes que alivien los esfuerzos de una manera programada.

Las juntas en los pavimentos de concreto se pueden clasificar de acuerdo a la función que desempeñan, estas pueden ser de contracción, de construcción y de expansión, constituyendo un sistema que tiene los siguientes propósitos:

- Controlar los inevitables agrietamientos del concreto en los sentidos longitudinal y transversal.
- Permitir los movimientos de expansión y contracción del concreto, sin menoscabo de las adecuadas condiciones de transferencia de cargas

- Dividir al pavimento en porciones de dimensiones prácticas para su construcción y convenientes para su correcto desempeño.

Para el diseño deberá tenerse en cuenta las condiciones que aseguren la transferencia de carga deseada, así como permitir la colocación de un material de sello, que impida la infiltración de agua y la penetración de materiales extraños, que restrinjan el libre movimiento de las losas.

### JUNTAS DE CONTRACCIÓN

Para evitar que el agrietamiento del concreto se presente de manera irregular y para asegurar que las losas trabajen en conjunto, se construyen juntas de contracción a distancias predeterminadas. Se construyen a intervalos generalmente regulares, en el sentido normal al eje del colado, para permitir el fenómeno de contracción y dilatación de las losas. Su construcción consiste en fijar al concreto mediante una ranura o inserto, la posición en la que debe originarse la grieta al producirse la precitada contracción. Mientras exista un contacto íntimo entre las superficies de agrietamiento de dos losas adyacentes, puede garantizarse una buena transferencia de carga entre losa y losa (Figura 1.3.3 a). Si esta garantía es dudosa, entonces es necesario proporcionar esta transferencia mediante varillas lisas, de sección relativamente robusta a las que se llama pasajuntas y que deben engrasarse en toda su longitud, preferentemente (Figura 1.3.3 b).

Existen juntas de contracción laterales y longitudinales:

a) *JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCIÓN:*

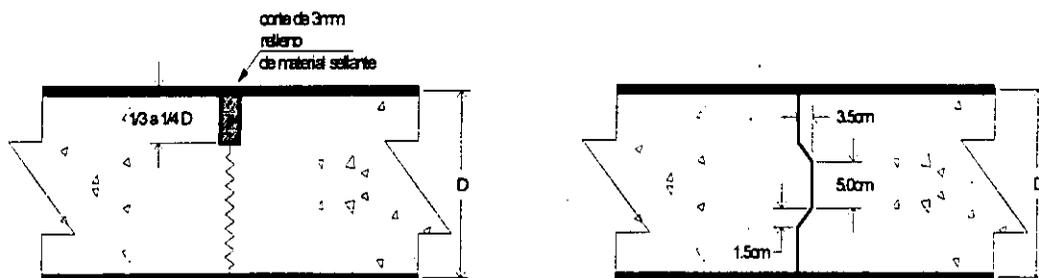
Son las que se construyen ortogonalmente al eje de trazo del pavimento. Su espaciamiento es para evitar agrietamiento provocado por los esfuerzos debidos a cambios de temperatura, humedad y secado.

b) *JUNTAS LONGITUDINALES DE CONTRACCIÓN:*

Son aquellas juntas 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. Estas juntas son paralelas a los carriles de construcción, aprovechando la cimbra lateral que se emplea durante el proceso de colado. Para permitir una eficiente transferencia de carga, a estas juntas se les proporciona un machihembrado, en la propia cimbra, para que la junta se forje integralmente con el concreto.

Para el caso de los pavimentos de concreto simple, es decir aquellos que no presentan ninguna cantidad de acero; para asegurar que las grietas producidas no sean mayores a 3 mm, se tiene una relación de largo a ancho de las losas menor de 1.25 y más usualmente de 1.15; también se recomienda que las losas no excedan los 4.5 m.

FIGURA 1.3.3 JUNTA DE CONTRACCIÓN



Las grietas se pueden inducir efectuando una muesca por aserrado en la parte superior de la losa de 5 cm mínimo de profundidad y de 4 a 6 mm de ancho; para disminuir el costo del aserrado, ya que el disco de diamante o tungsteno se desgasta con facilidad, se puede introducir una lámina delgada a todo lo ancho de la losa cuando el concreto se encuentre aún fresco, se retira de diez a quince minutos después y se rellena la ranura con lechada fresca utilizando las llanas de los operarios, para que el mismo lugar, se efectúen la muesca de aserrado. De esta forma se evitan los cortes en las gravas, desalojadas hacia los lados. De igual forma se puede reducir la profundidad del aserrado si en la parte inferior, sobre la base impregnada y en donde se habrá de aserrar, se colocan pequeñas tiras de madera de sección triangular con una arista hacia arriba.

Cuando la longitud de las losas exceda los 4.5 m (esto es que el ancho de franja sea de 3.6 m), y la relación largo ancho es mayor que 1.25 pero menor que 1.4 (largo menor que 6.5 m), se deben utilizar pasajuntas de sujeción. Estas pasajuntas son varillas corrugadas que se colocan en el sitio de aserrado hacia la mitad del espesor y tienen 40 cm de longitud dentro de cada losa. La separación que guardan entre si está en función del espesor de la losa, de la resistencia, de las capas inferiores y del diámetro de varilla usada.

Estas pasajuntas se colocan antes de comenzar el colado y se fijan mediante silletas triangulares parecidas al armado de castillos en los lugares predeterminados de acuerdo con la relación de largo-ancho. En las figuras 1.3.4 y 1.3.5 se muestra las silletas para la colocación de pasajuntas, así como pasajuntas de transferencia de cargas en pavimento, respectivamente.

Para el caso de que esta relación sea mayor a 1.4, esto es que la losa sea mayor que 6.5 m, se utiliza el concreto hidráulico con armado continuo, para lo cual es posible emplear mallas prefabricadas o armadas en el lugar que deben quedar en el centro del espesor, por lo que en realidad no hay ningún valor estructural. La cantidad que usualmente se coloca de acero longitudinal es de 0.6 % del área transversal de la losa.

**FIGURA 2.3.5 SILLETAS PARA LA COLOCACIÓN DE PASAJUNTAS**

### JUNTAS DE DILATACIÓN

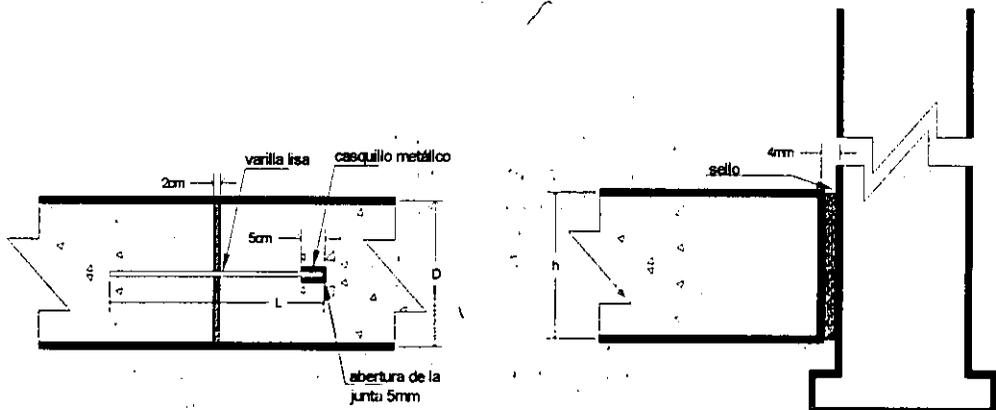
Las losas de concreto se dilatan debido a los cambios de temperatura que experimentan durante el día y las diferentes estaciones del año, dando como resultado grandes esfuerzos de compresión al chocar con algún obstáculo, como las paredes o columnas de una bodega o el pavimento rígido de una avenida principal que intercepte con una secundaria o cuando existan, cambios bruscos en la alineación horizontal, para estos casos es necesario construir las juntas de dilatación o expansión.

Estas juntas se pueden hacer ya sea a tope con alguna estructura existente o con pasajuntas de transferencia de carga. Figura 1.3.6. Las juntas de tope conocidas también como de expansión, se colocan en donde un pavimento rígido se encuentra con algún obstáculo. El espacio que se deja entre estas juntas varía de 2 a 4 cm, éste se rellena con materiales que resistan los esfuerzos de compresión y que se expanden, aunque sea en parte, al cesar los esfuerzos, estos materiales pueden ser cartón o fibras asfálticas. En algunas zonas cercanas al lugar donde hay un obstáculo, es factible colocar una junta de expansión con pasajuntas, esto se recomienda ya que permite reducir la abertura en la junta a tope.

FIGURA 2.3.5 PASAJUNTAS DE TRANSFERENCIA DE CARGAS



FIGURA 1.3.6 JUNTAS DE DILATACIÓN



Un ejemplo de lo anterior se presenta en una calle de rodaje, donde se pueden colocar dos juntas de expansión, una o dos losas y otra a tope, sólo que en aquellas se colocan pasajuntas que aseguren la transmisión de las cargas de una losa a las siguientes; estas se llaman de expansión con pasajuntas de transferencia de cargas. Estas se forman al hacer vertical la sección transversal de las losas (considerando que también pueden ser aserradas) y colocar varillas lisas que quedan embebidas aproximadamente a 40 cm, en un casquillo metálico engrasado en un extremo de las varillas.

### JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Las juntas de construcción se elaboran cuando el colado del concreto fresco se suspende por algún motivo, ya sea fortuito, o por procedimiento de construcción, esto es como que se terminen los agregados, se descomponga la mezcladora, el concreto premezclado no llegue a tiempo o empiece un fuerte aguacero y el colado se tenga que suspender por un espacio mayor de 30 min, pero sin embargo el colado también se puede suspender por procedimiento de construcción, ya sea cuando se termina la jornada de trabajo o simplemente termina el ancho de la franja de colado.

Dentro de los objetivos que debe cumplir una junta de construcción están:

- a) Controlar agrietamiento longitudinal y transversal
- b) Dividir de manera práctica la geometría del pavimento (carriles, acotamientos, transiciones, etc.)
- c) Absorber los movimientos en las losas, ya sea por tráfico, temperatura o por erosión.
- d) Proporcionar transferencia de carga entre las losas
- e) Alojarse el material sellante de carga entre las losas

#### *A) JUNTAS TRANSVERSALES DE CONSTRUCCIÓN*

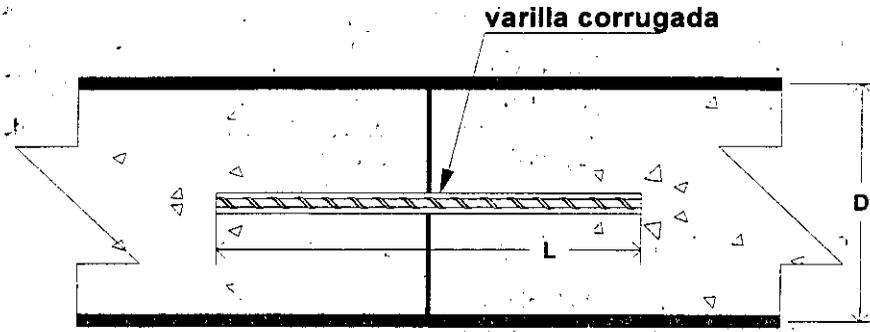
Para los casos en los que no se realiza el colado por una situación de emergencia o porque se terminó la franja de colado o simplemente porque se acabó la jornada laboral, se procura colocar de alguna forma una losa completa, al formar una sección vertical lisa en donde se insertan varillas corrugadas, que a la vez de no permitir la abertura de la grieta, transmiten la carga; la varilla es embebida a 40 cm de la losa ya construida y otros 40 cm queda afuera, para que los cubra el nuevo concreto al reanudarse el colado. Figura 1.3.7 a).

#### *B) JUNTAS LONGITUDINALES DE CONSTRUCCIÓN*

Estas juntas se colocan entre dos carriles construidos en diferentes etapas. Su principal función es la de evitar la formación de agrietamientos.

Además el espesor y el espaciamiento están influenciados por cambios en agregados, diseño de mezcla y métodos de curado. Por lo general el espaciamiento varía entre los rangos de 4 a 6 m, en base a los espesores. Cuando el pavimento cuenta con malla de refuerzo junto con pasajuntas, no se aconsejan espaciamientos mayores a 10 m. Cuando las separaciones son mayores, es fácil esperar movimientos excesivos que reducen la efectividad del material sellante de las juntas.

FIGURA 1.3.7 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN



### JUNTAS DE TRANSICIÓN

Como último tipo de junta, se encuentran las juntas de transición, este tipo de juntas se emplean cuando hay secciones estructurales con carpeta asfáltica que confluyen con secciones de losas de concreto; esto puede ser en aeródromos, cuando hay intersecciones de pistas de pavimento asfáltico y calles de rodaje, estructuradas con losas de concreto; también en entronques entre calles principales y secundarias. Para estos tipos de construcción es necesario proveer a ambos pavimentos una junta especial. La transición se logra en aproximadamente 6 m, variando las rigideces de ambos pavimentos en forma gradual, por medio una losa de sección decreciente, del lado del pavimento de concreto y con una sección asfáltica de espesor equivalente mayor que el diseñado, del lado del pavimento asfáltico.

### **DRENAJE**

El agua es uno de los elementos que causa mayores problemas a los caminos pues en general disminuye la resistencia de los suelos, provocando a su vez fallas en terraplenes, cortes y superficies de rodamiento. Por lo anterior, es parte primordial del pavimento el drenaje, y se diseña de tal forma que el agua se aleje con la mayor brevedad posible de la obra.

#### Clasificación del drenaje

El drenaje artificial es un conjunto de obras que sirven para captar, conducir y alejar del camino el agua que puede causar problemas. Existen dos clasificaciones para el drenaje artificial, el superficial y el subterráneo, dependiendo de si el agua escurre o no por las capas de la corteza terrestre.

El drenaje superficial se considera longitudinal o transversal, según la posición que las obras guarden con respecto al eje del camino. El drenaje longitudinal tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino o permanezcan en él, causando desperfectos. De este tipo de drenaje son las cunetas, contracunetas, bordillos y canales de encauzamiento. El nombre de longitudinal lo toman porque se sitúan más o menos paralelos al eje del camino.

Para el caso del drenaje transversal, este da paso expedito al agua que cruza de un lado a otro del camino, o bien la retira lo más pronto posible de la corona, como tubos, losas, cajones, bóvedas, lavaderos, vados, sifones invertidos, puentes y el bombeo de la corona.

En base a la dimensión del claro de las obras de drenaje transversal, se ha dividido en drenaje mayor y menor. El drenaje mayor requiere obras con un claro superior a 6 m. A las obras del drenaje mayor se les denomina puentes y a las del drenaje menor, alcantarilla.

Para el caso específico de zonas industriales petroleras, el drenaje está clasificado por servicio y por área ya que las sustancias que se manejan son diferentes y peligrosas

### CLASIFICACIÓN DE DRENAJES EN ZONAS INDUSTRIALES

#### 1) POR SERVICIO

##### a) Drenaje aceitoso

Es el que recolecta hidrocarburos no corrosivos y/o tóxico, provenientes de las purgas de equipos y tuberías en los casos de mantenimiento de los mismos. Se emplean tubos de fierro fundido, asbesto cemento, concreto reforzado.

##### b) Drenaje químico

Es el que recolecta y conduce aguas contaminadas con productos tóxicos y/o corrosivos. Se emplean tubos de barro vitrificado, PVC, fibra de vidrio con resinas epóxicas, concreto con aditivos resistentes a los ácidos, PE y fierro fundido recubierto con resinas epóxicas.

##### c) Drenaje pluvial

Es el que recolecta y conduce aguas libres de contaminación por hidrocarburos, productos tóxicos, corrosivos, aguas negras y jabonosas. Se emplean tubos de concreto reforzado, asbesto cemento y PVC.

##### d) Drenaje sanitario

Es el que recolecta y conduce las aguas negras y jabonosas. Se emplean Tubos de asbesto, concreto, concreto reforzado, fierro fundido, PVC y PE, dentro de los edificios.

## 2) POR ÁREAS

### a) De proceso

Las áreas de proceso podrán tener cuatro tipos de drenajes: aceitoso, químico, pluvial y sanitario; los dos primeros dependen de los líquidos que se puedan derramar de las purgas de los equipos y el último de los sanitarios de dicha área.

El área de proceso estará delimitada por parteaguas para confinar escurrimientos, por motivo de seguridad.

### b) Drenajes en áreas de almacenamiento

Esta área comprende los tanques de almacenamiento, de todo tipo, que se localizan dentro de un dique de contención o cualquier otra estructura que impida, en caso de derrames del producto almacenamiento, que éste salga de dicha área.

Las purgas de los tanques, inclusive las de gas licuado, irán a copas colectoras o registros de concreto o de metal, conectados mediante válvulas al drenaje aceitoso o químico, según sea el tipo de producto. Estas copas colectoras y registros deberán contar con un sistema (guarniciones) que evite que se introduzca el agua de lluvia que se pueda coleccionar dentro de los diques.

Las tuberías que reciban purgas de productos negros, deberán ser de acero al carbón y se les diseñará un sistema de venas de calentamiento de vapor o algún sistema equivalente. Estas tuberías deberán ir sobre el nivel del terreno al descubierto y sobre soportes.

Todas las áreas de tanques de almacenamiento tendrán un sistema de drenaje doble, ya sea pluvial -aceitoso o pluvial-químico, con objeto de poder enviar selectivamente las aguas a uno u otro drenaje. Las válvulas deberán instalarse fuera de los diques o muros de contención.

### c) Drenaje en áreas de carga y descarga

Las destinadas a la carga y descarga de auto-tanques, contarán con drenaje aceitoso, confinando el área por medio de un trinchera perimetral con rejilla.

En caso de gases licuados no drenables, el área contará con drenaje pluvial, exclusivamente. En caso de productos químicos tóxicos o corrosivos, el área contará con drenaje químico.

Para las zonas de carga y descarga de carro-tanque de productos pesados, se diseñará un sistema de drenaje aceitoso.

c) Drenaje en área de calderas y plantas de tratamiento de agua

En área de calderas contará con drenaje aceitoso, excepto en la zona donde no se manejen hidrocarburos, lo que contará con drenaje pluvial.

En áreas de plantas de tratamiento de agua a base de desmineralización, se instalará un sistema de drenaje químico, de preferencia un sistema separado ácido y alcalino.

e) Drenaje en torres de enfriamiento

El área de torres de enfriamiento contará con dos sistemas de drenaje: aceitoso y pluvial. Las purgas de las torres de enfriamiento deberán tener la opción, a través de válvulas, de enviarse al drenaje pluvial o al aceitoso.

Los drenajes de las torres de enfriamiento de plantas de proceso, podrán ir al drenaje aceitoso o químico.

Los derrames de las torres de enfriamiento para servicio de turbogeneradores tendrán la opción de enviarse al drenaje pluvial o al aceitoso siempre y cuando no se usen cromatos.

f) Drenaje en áreas de talleres

El área de talleres contará con drenajes pluvial, aceitoso. Los talleres donde se utilicen hidrocarburos para el lavado de equipos, o se derramen aceites, como el mecánico, combustión interna, instrumentos, eléctrico y pintura, contarán con guarnición que limite su área, la que descargará al drenaje aceitoso.

g) Drenaje en área de laboratorios

El área de laboratorios tendrá drenaje químico, el cual se conectará en su extremo a una fosa de neutralización. Contará además, con drenaje pluvial y sanitario.

h) Drenaje en área de centrales de bombeo

El área de centrales de bombeo contará con drenajes aceitoso y sanitario para las casas de cambio de los operadores.

i) Drenaje en área de estaciones de compresión y generación eléctrica

Estas áreas contarán con drenajes aceitoso y sanitario para la casa de cambio de los operadores.

j) Drenaje en área de subestaciones eléctricas

El área de subestaciones eléctricas dispondrá de drenaje aceitoso en el área de transformadores, y de drenaje pluvial en el resto del área.

k) Drenaje en edificios administrativos y zonas habitacionales

Se entenderá por edificios administrativos los siguientes: oficinas, almacenes, casa de cambio, cuartos de control en áreas de proceso, centrales contra incendio y casetas de vigilancia. El área tendrá drenaje pluvial y sanitario.

l) Drenaje en estacionamientos, vías de acceso y áreas libres

Contarán exclusivamente con drenaje pluvial.

m) Drenaje en áreas de quemadores de campo

Las fosas contarán con drenaje pluvial y los tanques de sello con drenaje aceitoso

### *Materiales*

Los materiales utilizados para construir el drenaje de los caminos son los convencionales, esto es, concreto hidráulico, mampostería, lámina de acero estructural y morteros de cal y cemento.

### *Tipos de carga*

Para poder realizar el proyecto estructural de las obras de drenaje, se necesita conocer un vehículo tipo.

## 1.3.3 NORMALIZACIÓN

### SUBRASANTE

Debido a su rigidez, el pavimento de concreto presenta una resistencia a la flexión y una capacidad de carga notables, de tal manera que las presiones debajo del pavimento de concreto son muy pequeñas y se distribuyen sobre áreas relativamente extensas. Esta cualidad del concreto de distribuir cargas pesadas, hace innecesario construir subrasantes resistentes de gruesas capas de piedra triturada o grava. Por lo anterior, se puede construir un pavimento de concreto económicos, que tendrán un buen comportamiento, en casi todos los tipos de suelo. En todo caso, el material deberá cumplir con las normas de calidad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT.

### *Requisitos de la subrasante*

Los materiales que se utilicen como capa subrasante deberán ser de preferencia, del tipo: GW, SW, SM, ML, e incluso SC, siempre que la porción fina (arcilla), no sea de alta plasticidad. Este material deberá ser compactado del 95 - 100% de la prueba de compactación AASHTO T-99 o estándar. Cuando los materiales sean de tipo CL, MH, CH, CL, ML y cuando su límite líquido, LL, esté comprendido entre 50% y 100, se analizará la posibilidad de mejorarlos, con la finalidad de reducir los valores del LL y, en consecuencia del Ip. Cuando el terreno de apoyo sea del tipo MH, CH, y OH con LL= 100%, será desechados como material de apoyo. Para ello se recomienda una sustitución del material es espesores mínimos de 30 cm. En todos los casos en que se encuentren bolsas de material con alto contenido de materia orgánica se deberá proceder a su sustitución total con material limoso mezclado con arena y/o grava. Cuando en el corte de suelos naturales afloran fragmentos de roca, éstos no serán admitidos como lecho de apoyo. De ser así, se deberá proceder a la remoción de estos fragmentos endurecidos.

#### *Construcción de la capa subrasante*

En los procedimientos de construcción, los materiales se deben compactar con el equipo más adecuado, en base a sus características. En general la capa subrasante consta de dos capas de 15 cm de espesor mínimo.

En ocasiones el material extraído de los cortes es adecuado para la capa subrasante y no es necesario acarrear material de préstamos de banco, sino utilizar el que ya existe para no tener salientes en la cama de los cortes y lograr una compactación constante. Para esto se escarifican 15 cm del material, se humedecen en forma homogénea, se extienden dando el bombeo o sobre elevación de proyecto y se compactan a 95 % de su PVS (Peso volumétrico seco máximo).

#### *Control de calidad*

Es importante mencionar que todos los materiales del terreno natural que se pretendan usar como subrasante serán identificados y clasificados de acuerdo a la granulometría para subrasante antes mencionada. Dentro de las prácticas que se recomiendan para su evaluación destacan las siguientes:

- Extracción de muestras para determinar las características de resistencia y deformación, conocido como el VRS. Esta prueba se puede realizar empleando la Prueba Porter estándar, Prueba Porter modificada, Prueba directa, Prueba de Placa (para determinar el calor soporte), Método para determinar los valores R de estabilidad, presión de expansión y de exudación en suelos compactados por el procedimiento de amasado, pero se recomienda realizarla conforme al Método del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.

- Obtención de porcentajes de la compactación lograda en campo, realizándola de manera aleatoria. Este control podrá efectuarse mediante 1) Pruebas destructivas en la capa subrasante, obteniendo pesos volumétricos secos máximos en campo (PVSM), empleándose para esta prueba el método de la trompa y arena, el método de agua y el que se recomienda, el método del cono y arena. 2) Pruebas no destructivas, por ejemplo, con densímetro nuclear. Este método tiene la ventaja de que no se requiere esperar la determinación de los contenidos de agua de las muestras recuperadas como requisito para la obtención del PVSM del sitio. Esto reduce substancialmente el tiempo requerido para la definición de la calidad de compactación de la capa recién tendida, pudiéndose así tomar medidas correctivas de manera oportuna.

### TERRAPLÉN

Los terraplenes constituyen un caso especial de capa subrasante y/o subyacente. En los casos en los que por motivos de requerimiento de elevación de rasante de proyecto se requiera elevar el nivel de terreno, los materiales que se empleen para este propósito nunca presentarán un LL > 60%.

Nunca deberán ser empleados los materiales orgánicos del tipo OH como capa subrasante o de apoyo. En general, cuando el terreno natural está constituido por materiales arcillosos, arenas arcillosas y materiales muy plásticos, se recomienda siempre colocar un material de subbase granular de 10 cm como mínimo, en el caso de calles y patios, y de 15 cm en caminos, colectores, periféricos y carreteras.

#### *Requerimientos del terraplén*

- a) El material para terraplén será una combinación bien graduada de material granular y suelo limoso o arcilloso. Al menos el 60 % de material se retendrá en la malla No. 200, y al menos el 10% pasará por esta malla. Ninguna partícula de grava o piedra será mayor que la tercera parte de la profundidad de la capa en que se coloque. El límite líquido del suelo, determinado por los "Métodos para la Determinación del Límite Líquido de Suelos" (AASHTO T 89), no será mayor de 40, y su índice de plasticidad, determinado por el "Método para Calcular el Índice de Plasticidad de Suelos" (AASHTO T 91) no será mayor de 10. El material que se use estará libre de basura, ladrillo, pedazos de concreto, raíces de árboles, hierba o cenizas.
- b) Pueden usarse materiales diferentes a los especificados si son aprobados por el ingeniero y se alcanzan los pesos volumétricos requeridos.
- c) Se tomará muestras cada vez que, en opinión del ingeniero, la calidad del material pueda haber variado.

## SUBBASE

Dado que la capa de subbase es un elemento muy importante para el comportamiento del pavimento de concreto, en cada caso se ha hecho un análisis cuidadoso para definirla y hasta la fecha, se han utilizado cuatro tipos de subbase, buscando siempre que proporcione un soporte adecuado:

- *Hidráulica*, formada por agregados triturados con tamaños máximos de 30 mm, con una buena distribución granulométrica, textura abierta, permeabilidad alta y resistencia media en prueba VRS saturado mayor al 100 % y con espesores de 150 a 200 mm.
- *Estabilizada*, formada por materiales granulares mezclados con cemento Portland en una porción aproximada de 4 % de cemento en peso y resistencia mínima a la compresión axial simple de 21 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y espesor de capa de 200 mm.
- *Estabilizada*, formada por materiales granulares recuperados mezclados con un 3% de cal hidratada y de 200 mm de espesor.
- *Asfáltica*, compuesta por una capa de 150 mm de mortero asfáltico fabricado en planta y con cemento asfáltico.

Para el tipo de pavimentos que se han construido, el contacto entre la losa y la subbase es muy importante ya que una fricción muy baja entre esas capas, puede generar desniveles entre juntas, mientras que una fricción muy alta puede provocar agrietamientos en las losas.

Los tratamientos intercapa que más se han aplicado han sido a base de riegos de impregnación con emulsiones asfálticas que han funcionado muy bien en subbases hidráulicas, pero que han tenido problemas sobre las capas estabilizadas con cemento debido a lo cerrado de la textura superficial, por lo que se analiza actualmente colocar en algunas ocasiones membranas de geosintéticos, en el caso de las subbases asfálticas no se aplica tratamiento en la interface de las capas.

Cuando se construyen las terracerías y las subbases sobre donde se construirá la losa de concreto, estas tienen que tener un sobre ancho para alojar las zapatas del equipo que coloca el concreto.

### *Granulometría*

El material de la subbase estará bien graduado. Del material que pase la malla No. 10, no más del 25 % debe pasar la malla No. 200. El porcentaje de material que pase la malla No. 200 no deberá ser mayor que las dos terceras partes del que pasa la malla No. 40.

*Características de subbases*

Dentro de las características que una subbase debe cumplir se encuentran, la resistencia (VRS de la Porter estándar), plasticidad (contracción lineal) y valores cementantes, que se muestran en la figura 1.3.8.

Adicionalmente el material deberá cumplir lo siguiente:

Limite liquido:	25 % Máx.
Indice de plasticidad:	6.0 % Máx.
Desgaste Los Angeles: (porción gruesa)	40 % Máx.
Contracción lineal:	4.0 % Máx.
Valor cementante:	3.0 Kg/m <sup>2</sup>
Equivalente de arena:	25 min
Valor Relativo Soporte:	
Menos de 500 vehículos pesados por día:	50 % Mín.
Más de 500 vehículos pesados por día:	60 % Mín.

Las zonas granulométricas que deben cumplir los materiales empleados en subbases son las que se muestran en la figura 1.3.8. Es importante mencionar que, aunque las normas señalan que la granulometría necesita ser similar a la que se marca en las fronteras de las zonas 1, 2 y 3 de la figura 1.2.3, en realidad esto no es de suma importancia si se cumplen las características mencionadas anteriormente; pero, si no se cumplen y se mejora la granulometría, con una estabilización mecánica (como ejemplo), se incrementa la resistencia y la granulometría sirve como un índice para decidir la forma de realizar el mejoramiento.

**FIGURA 1.3.8 MATERIALES DE SUBBASE**

Características	Zonas en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría		
	1	2	3
Contracción lineal en porcentaje (máx.)	6.0	4.5	3.0
Valor cementante, para materiales angulosos en Kg/cm <sup>2</sup> (mín.)	3.5	3.0	2.5
Valor cementante, para materiales redondeados y lisos en Kg/cm <sup>2</sup> (mín.)	5.5	4.5	3.5
Valor relativo de soporte estándar saturado, en porcentaje	60 min.		
Equivalente de arena, en porcentaje	20 mín. (tentativo)		

### *Resistencia al congelamiento*

Cuando sea probable que se congele el agua contenida en el suelo, el material de la subbase será resistente al congelamiento. Los requisitos de graduación de materiales no congelables varían desde un máximo de 8 por ciento menor que 0.2 mm para arenas uniformes, a 3 por ciento menor que 0.02 mm para material granular no uniforme.

### *Compactación*

- a) Equipo.- La compactación se llevará a cabo por medio de rodillos lisos, rodillos neumáticos, pisones, o rodillos de pata de cabra. Cuando la compactación vaya a hacerse en lugares inaccesibles a los rodillos, se usarán pisones mecánicos adecuados para obtener la densidad que se requiera.
- b) Procedimientos.- Sin importar el método empleado para compactar, los suelos y las mezclas de roca y suelo se compactarán a contenidos de humedad cercanos a los establecidos en ensayos de compactación u otros ensayos de laboratorio. Puede usarse un intervalo amplio a cada lado del contenido óptimo de humedad para suelos arcillo-limosos. Sin embargo, los suelos limosos son sumamente sensitivos a cambios en la humedad y deben compactarse a contenidos de humedad que coincidan o estén ligeramente por debajo del contenido óptimo de humedad. Ya que la mayoría de las pizarras se desintegran en ciclos de congelación y deshielo o en condiciones de humedecimiento y secado, deben compactarse en una condición de semidesintegración por lo menos. Los materiales granulares de textura gruesa se compacta mejor por procedimientos de vibración. El empleo de agua durante la compactación de arenas permitirá obtener un material bien compactado sin que se llegue a tener polvo.

Su compactación se deberá realizar por lo menos al 95 % de su peso volumétrico seco máximo, conforme a la prueba AASHTO modificada. La modalidad empleada normalmente será la D, comprendiendo materiales entre las mallas  $\frac{3}{4}$ " y la No. 4.

### CARPETA

En pavimentos de concreto la carpeta es el elemento estructural de secciones diversas, que se construyen de concreto hidráulico, sea simple o armado, para servir como carpeta de rodamiento en caminos.

Los materiales que se empleen en la construcción de carpetas podrán ser los siguientes:

- Cemento Portland, cemento Portland puzolánico, cemento Portland de escorias y cemento de escorias.
- Agregado fino y grueso
- Agua

- Aditivos
- Acero
- Accesorios para juntas
- Material para relleno de juntas

### *Cemento*

El cemento que se empleará para pavimentos de concreto será en su gran mayoría de tipo I, el denominado tipo común, empleado para uso general en construcciones de concreto cuando no se requieran las propiedades especiales. Para casos especiales en donde los pavimentos serán expuestos a acciones moderadas de sulfatos o cuando se requiera un calor de hidratación moderado, se emplearán los cementos de tipo II a V. El cemento que se emplee deberá cumplir la norma de calidad NOM C-1-1980.

Quedará libre la elección de la marca comercial de cemento, siempre y cuando se utilice el cemento producido por la misma fábrica.

El almacenamiento del cemento será de tal forma que se garantice la conservación de sus propiedades originales de fabricación. El cemento cuando sea envasado se almacenará en lugares cubiertos y en conjuntos calzados con piezas de madera, de tal modo que nunca estén en contacto directo con la humedad. Si es cemento a granel se debe almacenar en silos en buenas condiciones.

No es recomendable usar un cemento que cuente con más de 90 días de almacenamiento.

### *Agregados*

Los agregados cumplirán con los requisitos de las "NMX C-111-88" ESPECIFICACIONES INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN- CONCRETO- AGREGADOS- Y LA ASTM C-33. Los agregados gruesos se obtendrán por lo menos en dos tamaños separados, con la separación en la malla de  $\frac{3}{4}$ " cuando se especifique material combinado graduado de la malla No. 4 a la de  $1\frac{1}{2}$ ", y con la separación en la malla de 1" cuando se combine material graduado de las mallas No. 4 a la de 2".

Las principales propiedades que se deben observar tanto en gravas como en arenas son: sanidad, plasticidad, dureza, granulometría y forma de la partícula.

Requisitos adicionales:

#### *1. Grava*

Desgaste Los Angeles	40 % máximo
Materiales que pasa la malla No. 200	0.50 mínimo
Carbón	1.0% máximo
Otras sustancias y fragmentos blandos	5.0% máximo

## 2. Arena

Módulo de finura	2.2 a 3.1
Materiales que pasan la malla No. 200	3 % máximo
Carbón	1.0 %
Partículas deleznable	3 % máximo
Impurezas orgánicas, referidas a color	
Límite según patrón	amarillo claro

Los agregados se almacenarán de tal manera que se evite la contaminación con material extraño. Los agregados nunca se almacenarán sobre las subrasantes terminadas. Los agregados de diferentes clases y tamaños se colocarán en pilas separadas. Para el apilado del agregado grueso se hará en capas sucesivas horizontales de una altura no mayor de 1 m. Cada capa deberá estar terminada antes de empezar la siguiente. En el caso de que ocurra segregación, los agregados se remezclarán hasta que cumplan con los requisitos de graduación.

Los agregados congelados o los agregados que contengan terrones congelados se descongelarán antes de usarlos. Los agregados lavados y los producidos o manipulados por medios hidráulicos se dejarán drenar por lo menos durante 12 horas antes de usarlos. Las pilas y los transportes equipados con agujeros en el fondo, permiten que se realice este drenaje de la mejor manera.

### *El agua*

El Agua deberá estar libre de materia en suspensión; siempre que sea posible deberá usarse agua potable, con un pH entre 6.0 y 9.2, debiendo cumplir con la norma NMX -IC-122-82.

Se estudiarán los contenidos de sales (cloruros y sulfatos solubles). Los límites adecuados dependerá de la agresividad del medio ambiente, pero se recomienda que no superen los siguientes valores:

- 1.2 kg de ion Cl<sup>-</sup> por metro cúbico de concreto reforzado.
- 0.60 kg de ion SO<sub>4</sub> por metro cúbico de concreto mezclado.

### *ADITIVOS*

Los aditivos son sustancias que se pueden agregar al concreto con el fin de modificar algunas de sus propiedades, o para inducir algunas características adicionales: trabajabilidad, reducción de agua de mezclado, incorporación de aire, modificación de los tiempos de fraguado, permitir diferentes grados de impermeabilidad, etc.

Existen tres criterios básicos que deberán tomarse en cuenta

- 1.- La adición de aditivo a la mezcla deberá lograr el objetivo buscado sin alterar su proporcionamiento básico.
- 2.- Su empleo estará justificado desde el punto de vista económico
- 3.- Se investigará que el producto no tenga efectos nocivos en la mezcla, tanto de forma inmediata como a largo plazo.

Entre los aditivos más comunes existen algunos que combinan dos efectos a la vez, plastificante-retardante o plastificante-inclisor de aire.

### MATERIAL SELLANTE PARA JUNTA

El material sellador para juntas cumplirá con los requisitos de "Especificaciones Federales para Selladores, del Tipo de Colado en Caliente, para Juntas de Concreto"; "Selladores del tipo de Emulsiones de Aplicación en Frio, para Juntas de Concreto" o "Selladores, DEL Tipo de Mastique de Aplicación en Frio, para Juntas de concreto".

### ACERO DE REFUERZO Y ACCESORIOS

#### *Varillas*

Las varillas de refuerzo cumplirán con los requisitos para varillas de grado intermedio o grado duro señalados en las Especificaciones para Varillas de Acero de Lingote para Refuerzo de Concreto" (ASTM A 15), o en las "Especificaciones para Varillas de Acero de Riel para Refuerzo de Concreto" (ASTM A 16), o en las "Especificaciones para Varillas de Acero de Eje para Refuerzo de Concreto" (ASTM A 160). Las varillas cuya efectividad dependa de la adherencia, cumplirán con los requisitos de las "Especificaciones para Requisitos Mínimos de Corrugaciones de Varillas de Acero Corrugadas para Refuerzo de Concreto" (ASTM A 305), y estarán libres de oxidación excesiva, escamas, u otras sustancias que eviten la buena adherencia del concreto con el refuerzo.

#### *Barras de sujeción*

Serán varillas corrugadas de acero que cumplan con los requisitos de las especificaciones para varillas de refuerzo excepto que solamente se usarán varillas de acero de grado estructural cuando haya que doblarlas y enderezarlas posteriormente. En lugar de barras de sujeción pueden usarse tornillos de gancho para juntas. Tales pernos tendrán un diámetro no menor de 1.3 cm y tendrán rosca para uniones.

### ***Pasajuntas y casquillos***

Serán varillas redondeadas lisas que cumplan con los requisitos de las especificaciones para varillas de refuerzo. Las varillas para pasajuntas no tendrán rebabas, asperezas o deformaciones que impidan un deslizamiento libre dentro del concreto.

Cuando se usen casquillos de metal, éstos cubrirán los extremos de las pasajuntas en una longitud no menor de 5 cm. Ni mayor de 7.5 cm. El casquillo estará cerrado en un extremo y tendrá un tope adecuado para que el extremo de la varilla se mantenga por lo menos a 2.5 cm del extremo cerrado del casquillo. Los casquillos serán lo suficientemente rígidos para que el extremo cerrado no falle durante la construcción.

### ***Silletas***

Las silletas sirven para conservar las barras de sujeción en su posición correcta mientras se cuele el concreto, serán de metal, de un calibre mínimo del No. 16 (calibre estándar de los fabricantes de hojas de metal), una longitud mínima de 28 cm y un ancho mínimo de 2.9 cm. Este material estará ligeramente redondeado en dirección del lado que mide 2.9 cm y será ligeramente puntiagudo en la parte inferior para que pueda introducirse fácilmente en la subrasante terminada.

## **1.3.4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO Y CONTROL DE CALIDAD**

### **PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS**

De acuerdo a las tendencias del país, las empresas constructoras mexicanas han tomado la decisión de adquirir equipos de alto rendimiento para la pavimentación con losas de concreto lo que ha facilitado el proceso constructivo del cual se enlistan algunas características a continuación:

1. Para la elaboración de concreto fresco, se utilizan plantas estacionarias con capacidad de producción de hasta 3,000 m<sup>3</sup> diarios, aunque el promedio que se ha tenido a la fecha es de 1,500 m<sup>3</sup>; con el uso de estas plantas, se tiene tanto un buen control del proporcionamiento de todos los materiales así como del tiempo de mezclado.
2. Para el transporte del concreto fresco se utilizan camiones no mezcladores, con caja revestida de lámina para evitar pérdidas de humedad o material y mecanismos que depositan la mezcla sin segregaciones, el mejor equipo que se ha usado en el país es el llamado FLOW-BOY, ya que deposita un volumen de concreto en cada posición dependiendo del ancho de franja que se está colocando, dándole al equipo de tendido mayor eficiencia.
3. El colado de las losas se realiza a todo el ancho de la superficie por pavimentar, previo, se hace el perfilado de la superficie de la subbase con equipo de tipo Trimmer y la

colocación de la membrana interface (asfáltica o geosintética) si se requiere. Para el tendido se usan pavimentadoras autopropulsadas de cimbra deslizante (Slip form paver) que cuentan con sensores de nivel e insertan las barras de amarre de las juntas longitudinales. Los pasajuntas se colocan montados en silletas de acero, para evitar su desplazamiento durante el colado. En algunos tramos se está utilizando un equipo esparcidor de concreto fresco para mejorar la operación de la pavimentadora. Esta opción permite el uso de geotextiles como membrana interface. Se está usando también un equipo que inserta automáticamente las pasajuntas lo que da mayor versatilidad al equipo de trabajo que está frente a la terminadora.

4. El acabado superficial se logra con dos acciones: la primera, un texturizado longitudinal con tela de yute y la otra, con un texturizado transversal con un dispositivo tipo peine, integrado al equipo de curado con las características siguientes: separación entre dientes de 20 mm, ancho del diente de 3 mm y profundidad de 3 a 6 mm.
5. El curado de la losa se hace con un equipo irrigador automático que aplica una mezcla de agua y parafina de pigmentación blanca, generalmente en una proporción de un litro por metro cuadrado, en algunas regiones del país el calor a la intensidad del viento ha orillado a tomar otras medidas y utilizar mayor proporción según sea el caso.
6. Para el corte, la limpieza y el sellado de las juntas, se utilizan diferentes equipos menores.

Para la aceptación de la superficie terminada, se hacen evaluaciones parciales por subtramo del perfil longitudinal del pavimento, fijando como un nivel de aceptación para todo el tramo un índice de perfil máximo obtenido con el perfilómetro de California, de 10.0 cm/Km.

Con relación a la textura del pavimento, se exige que la superficie de rodamiento presente una resistencia al rodamiento que, al medirse con el equipo Mu-Meter, arroje un valor igual o mayor de siete décimas (0.7) en condiciones de pavimento mojado y a la velocidad de 75.0 Kph.

### CONTROL DE CALIDAD

Para controlar la calidad en pavimentos rígidos, es necesario realizar en forma continua la prueba de revenimiento. Con ésta se puede tener una idea de la calidad del concreto que se utiliza, pues si se están obteniendo asentamientos aceptables y en un momento dado cambian, ya sea porque aumente o disminuya, es indicio de que no se están efectuando bien las dosificaciones. Una causa de que cambie el revenimiento es que la humedad de los agregados varía al paso del tiempo, por lo que se recomienda tenerlos saturados y húmedos sobre su superficie en forma constante.

Para verificar el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión simple, se elaboran especímenes. Por cada 10 m<sup>3</sup> se elabora un par de cilindros y por cada 50 m<sup>3</sup> un par de vigas. Con los primeros se tienen indicios de la probable resistencia a los 28 días, a los 2 días si se usa curado a vapor o a los 7 días si se curan en cámara húmeda o se saturan en agua. También, es factible conocer la probable resistencia a los 28 días, si se sabe el

consumo de cemento Portland o el contenido de este producto en la mezcla fresca, para la cual se extrae por lavado el cemento utilizado.

Se necesita tener un control de los siguientes elementos geométricos: ancho de la franja, pendientes transversales, profundidad de depresiones y espesor de losa, terminado de la superficie de rodamiento, ejecución del aserrado y sellos de juntas de contracción y dilatación.

## 1.4 ALTERNATIVAS DE PAVIMENTOS

### 1.4.1 CARPETAS ULTRADELGADAS DE CONCRETO (WHITETOPPING)

Recientemente se están empleando con éxito sobrecarpetas de refuerzo, formadas por losas de espesor relativamente pequeño (50 a 130 mm), colocadas sobre pavimentos asfálticos que ya requerían de una reconstrucción.

Siguiendo con el desarrollo tecnológico y científico, se creó el término sobrecapa ultradelgada de concreto (*whitetopping*). Cuando las sobrecapas de concreto se aplican sobre asfalto teniendo un espesor igual o menor a 10 cm, en términos generales se les clasifican como sobrecarpetas ultradelgadas (UTW, por sus siglas en inglés).

De las experiencias que se han tenido hasta la fecha, tanto en nuestro país, como en el extranjero, para lograr éxito con este sistema, se requiere cumplir con dos situaciones fundamentales: una, que la carpeta existente no esté totalmente agrietada y la otra, que la preparación de la superficie de rodamiento en servicio permita lograr una adherencia significativa entre el concreto fresco y la carpeta asfáltica; esta posible adherencia entre ambas capas resulta en un trabajo conjunto que puede reducir esfuerzos de tensión máximos en la losa de concreto hidráulico trabajando básicamente a compresión y la carpeta asfáltica existente a tensión, situaciones que cuando no se consiguen, es decir cuando no existe adherencia entre capas y/o la carpeta asfáltica no resista tensiones, la sobrecarpeta de concreto hidráulico será destruida rápidamente por el tránsito.

Este tipo de refuerzo tiene interesante campo de aplicación, si consideramos que en la red nacional de carreteras se tienen más de 90,00 Km pavimentados con carpetas asfálticas, si bien no debe pensarse de este sistema como una solución de aplicación general sino, como resultado de un análisis particular de cada caso en que las condiciones de la carpeta del tramo en estudio permita esperar un buen comportamiento de una sobrecarpeta delgada de concreto hidráulico.

Las sobrecapas UTW, que constituyen el remedio más reciente para los pavimentos asfálticos llenos de rodadas, combinan las técnicas en boga de adhesión de sobrecapas de concreto en cubiertas de puentes con el aserramiento a edad temprana de juntas de

contracción muy cercanas entre sí. Con esto se logra un pavimento mixto cementado en el que se vuelven mínimos los esfuerzos de tensión en la capa de concreto.

La mayor parte del concreto que se utiliza en los proyectos UTW contiene fibras tales como polipropileno, poliolefina, acero o nylon para mejorar la resistencia al agrietamiento e incrementar las características de tenacidad o ductilidad del concreto. Las fibras de polipropileno han sido las más empleadas.

Aunque todavía no se ha terminado un procedimiento racional de diseño, la ACPA (Asociación Americana de Pavimentos de Concreto) considera que con UTW se puede conseguir una superficie de rodamiento durable que resista las cargas normales en caminos residenciales y de bajo volumen de tránsito. Las sobrecapas UTW también se pueden colocar en carreteras con tránsito muy pesado, aunque su vida útil será más corta. Entre otras aplicaciones, se pueden mencionar las intersecciones con problemas tales como roderas, carriladas y ondulamiento: pistas de rodaje, aeropistas y zonas de estacionamiento para aviación general, y áreas de estacionamiento. La superficie de rodamiento de sobrecapas UTW es semejante a la de pavimentos con sección estructural completa y proporciona las capacidades de reflectancia de la luz y de enfriamiento que se logran con un pavimento normal de concreto.

La UTW es una estructura compuesta que recurre al camino antiguo, dentro de su primer etapa en la preparación de la sobrecapa se extraen núcleos para determinar el espesor del asfalto y las condiciones de la subbase. Se recomienda que por lo menos 7.5 cm de asfalto permanezca después del fresado de la superficie; en caso de que sea menos de 7.5 cm es mejor colocar una sobrecapa convencional de concreto más gruesa; posteriormente se limpia la superficie, ya sea por chorro de aire, chorro de agua o fresado, es importante que la superficie este seca para mejorar la adherencia.

Las mezclas de concreto para cada proyecto deben ser compatibles con el espesor de la sobrecapa, las condiciones de tránsito y las limitaciones relativas al tiempo para abrir la carretera a la circulación vehicular. Su elección se basa en la disponibilidad de materiales locales y las especificaciones locales. Pueden ser necesarias algunas modificaciones a las mezclas para hacerlas más compatibles con la dosificación de las fibras. La relación agua-cemento se mantiene por lo general dentro de 0.35 a 0.40. Los contenidos de concreto son suficientemente altos para alcanzar resistencias a la compresión de 200 kg/cm<sup>2</sup>, o mayores a las 24 horas.

La separación adecuada entre juntas es un punto importante en UTW. La experiencia ha mostrado que las juntas no deben ir separadas a más de 30 a 45 cm por cada 2.5 cm de espesor de la sobrecapa. Si una sobrecapa tiene 7.5 cm de espesor, se obtiene una distribución de las juntas en retículas de 0.9 x 0.9 m ó 1.20 x 1.20 m para el caso típico de un carril de circulación de 3.60 m de ancho.

Hasta la fecha los proyectos realizados de UTW varían de espesores entre 5 y 10 cm y tienen juntas cuya separación que va desde 0.60 a 1.80 m en cada dirección, dependiendo como ya se mencionó del espesor del pavimento.

Si el sistema UTW se sigue comportando con las tendencias actuales, tendrá un efecto importante dentro de la industria de pavimentos, se ampliará el mercado de pavimentos de concreto para permitir que el concreto compita con las mezclas bituminosas en caminos secundarios o en carreteras troncales con flujo vesicular moderado. Aun falta concluir un procedimiento de diseño, además quedan algunas dudas como el saber la proporción en que contribuyen las fibras y cual es su mejor dofinsticación; De cualquier manera las sobrecapas de concreto UTW tienen el potencial para asegurar la larga vida y durabilidad de los pavimentos de concreto de sección geométrica completa a un costo significativamente menor.

En virtud de que cada día surgen nuevos proyectos de prueba, es difícil proporcionar un total actualizado de las obras con sobrecarpetas UTW a nivel mundial. Para 1996 la ACPA (Asociación Americana de Pavimentos de Concreto), informó sobre la existencia de un total de 68 proyectos en Estados Unidos, Suecia y Canadá, México encabezando la lista con 520 000 m<sup>2</sup>; en diferentes proyectos, siendo el proyecto más grande el realizado en Baja California con 191 500 m<sup>2</sup>; la sobrecarpeta UTW es de 6.5 cm de espesor, con juntas en una retícula de 0.90 m por lado.

#### 1.4.2 CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS (CCR)

El concreto compactado con rodillos (CCR) es un material seco de concreto de cemento Portland que se compacta mediante vibración externa con rodillos pesados. Es más seco que el concreto convencional, pues tiene una consistencia seca con cero de revenimiento, después de compactado muestra una apariencia similar a una base estabilizada con cemento, aunque logra una resistencia igual o mayor al concreto convencional, con un consumo de cemento hasta 30 % menor para la misma resistencia a la compresión. Se suele colocar por medio de una pavimentación de asfalto modificada para acomodar la consistencia rígida del CCR y colados de mayor espesor.

El diseño de los pavimentos CCR se basa en técnicas de pavimentos de concreto hidráulico convencional. Cuando se requiere una superficie de rodamiento de mayor calidad, es común tender sobre ella una carpeta de concreto asfáltico de bajo espesor. En estos casos, es posible reducir el espesor de la carpeta de concreto CCR.

Para la construcción de pavimentos CCR se utilizan agregados triturados con tamaños máximos de 16 y 20 mm. La granulometría incluye al cemento con objeto de limitar el contenido de finos que pasan la malla 200 de un 10 a 20%. Los agregados son de origen calizo o silíceo y se recomienda que cuando menos dos terceras partes sean producto de la trituración de rocas.

El contenido usual de cemento en pavimentos CCR fluctúa entre 260 y 330 Kg. por m<sup>3</sup>. Se prefieren cementos con alto contenido de material activo para lograr mayor resistencia, bajo calor de hidratación, disminución de agrietamiento y retraso en el

fraguado, entre otras propiedades deseables. El cemento representa, en promedio, 15% del peso de los agregados secos.

El contenido de humedad de la mezcla varía entre 4.5 y 5.5 veces el peso de los agregados secos, lo que representa 105 a 130 litros por  $m^3$ . Adicionalmente se utiliza un retardante que incrementa el tiempo durante el que se puede trabajar la mezcla.

Hasta la fecha se continúan investigaciones más a profundidad sobre las aplicaciones de los pavimentos CCR en carreteras, parece ser una buena alternativa para ciertos casos específicos, como por ejemplo tramos en los que circulan grandes volúmenes de vehículos pesados.

En España, la comprobación de costos demuestra que el pavimento CCR está siendo la alternativa más económica respecto a pavimentos flexibles y rígidos de concreto hidráulico tradicional, con ahorros que van del 3.6 al 11.7%. En los Estados Unidos un estudio que se hizo de 1977 a 1988 demostró que el pavimento CCR en comparación con el pavimento flexible presenta ahorros que van del 7.4 al 18.7 %.

Sin embargo se han presentado problemas en la construcción del CCR, que afectan notablemente su funcionamiento, porque si bien son más económicos y su resistencia puede llegar a ser mayor que la de un concreto hidráulico convencional, su textura superficial, es excesivamente rugosa y los agrietamientos que en este se producen no se pueden controlar, se ha considerado necesario analizar cuidadosamente esta alternativa para utilizarla como superficie de rodamiento en caminos de tránsito menor o incorporar capas de este producto a la sección estructural de pavimentos asfálticos para carreteras de tránsito intenso.

Hasta la fecha en nuestro país, para el caso de obras viales, la utilización del CCR ha estado limitado a zonas de circulación lenta de vehículos pesados como las explanadas operativas de puertos como el de Altamira Tamaulipas, en algunos caminos modestos o en calles urbanas de bajos volúmenes de tránsito como en Guadalajara.

### **1.4.3 RECICLADO DE PAVIMENTOS**

Cada día es más complicado la obtención de agregados de buena calidad, ya que los bancos se escasean con más frecuencia, por esta razón, se ha visto la necesidad de reciclar los pavimentos para volver a emplear su material en la construcción de nuevos pavimentos rígidos.

Esto se hace cuando el pavimento de concreto ha fallado estructural y funcionalmente, cuando no es conveniente recarpetar con asfalto, ya que necesita una reconstrucción total del pavimento.

El procedimiento para el reciclado se logra mediante la trituración del concreto mediante máquinas especiales, posteriormente se separa el acero y este se vende a fundidoras y el concreto obtenido se tritura al tamaño deseado y se emplea como agregados y resultan ser de muy buena calidad.

## **1.5 DIFERENCIAS ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES**

### **1.5.1 EL COSTO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES**

Para la selección de una estructura de pavimento, el criterio se fundamenta generalmente en el costo inicial de construcción, olvidando muchas veces considerar los costos adicionales durante la vida del pavimento, tales como: conservación, rehabilitación y demora del usuario.

Esta tendencia de considerar sólo el costo inicial de construcción para la selección de alternativas, da como resultado que la alternativa elegida no sea del todo la más favorable, por tal razón es muy importante considerar los costos totales durante la vida del pavimento bajo el concepto de un análisis de costo de ciclo de vida.

Existen tres tipos de costos, que se encuentran interligados unos con otros, y que dependiendo de la calidad con que se construya el primero, depende la cuantía de los otros dos. Durante su vida útil, los costos de un pavimento son:

#### **COSTO INICIAL**

Son los gastos efectuados para la construcción del pavimento, que incluyen los estudios de factibilidad, diseño, compras de terrenos, movimientos de tierra, construcción de la estructura del pavimento, obras de arte, drenajes, barreras, señalización e iluminación.

#### **COSTO DE MANTENIMIENTO**

Son los gastos que debe realizar el responsable de que la carretera esté en funcionamiento, para que la vía siempre sea transitable durante la vida de servicio. Este costo le debe asumir el Estado si la vía depende directamente de él, o el concesionario si la vía es por concesión. En vías construidas con mala calidad, el costo del mantenimiento puede llegar a ser diez veces superior al costo inicial.

#### **COSTO DE OPERACIÓN**

Es el costo que tiene el usuario (transportador, turista, etc.) para poder transportarse por una vía durante la vida útil. Esto incluye el costo del combustible, lubricantes, repuestos, reparaciones de vehículos por daños al transitar por la vía, costo generado

por cierres o demoras, accidentes, etc. El costo de operación de una vía a lo largo de su vida útil puede llegar a ser mil veces superior al costo inicial.

Dentro de la estructura inicial de costos, la construcción de la vía en sí, representa en promedio 15% del costo inicial, dejando el resto a compra de terrenos, obras de arte, etc. Sin embargo, a pesar de ser un porcentaje tan bajo, técnicamente es el más importante, ya que el diseño y la construcción repercuten significativamente, no solo en el resto del costo inicial, sino también en el costo de mantenimiento y en el costo de operación de la vía. Para efectos estadísticos, solamente se tienen en cuenta los costos iniciales y en algunos casos se tienen en cuenta los costos iniciales y en algunos casos los de mantenimiento. Sin embargo, el costo de operación generado por la mala calidad de un pavimento puede ser logarítmicamente superior.

La importancia a futuro que representa el análisis del costo de ciclo de vida como herramienta para la toma de decisiones en la inversión de proyectos de pavimentos fue demostrada en los estudios llevados a cabo a fines de los años 70's. Estos estudios también demostraron de una forma cuantitativa la importancia que reviste el costo de operación de un vehículo por el deterioro de un camino y sus efectos en los niveles de inversión.

Los costos de adquisición de los equipos que componen el tren de pavimentación y los costos horarios de los mismos representan una parte mínima dentro del precio final del pavimento de concreto hidráulico del orden del 5% que junto con el alto rendimiento de los equipos representan una opción económica favorable para el constructor.

Con relación a los precios unitarios, para el caso de un pavimento flexible, se presenta por partidas con lo que se hace difícil la apreciación de su costo total, en ocasiones algunas de estas partidas son a costo fijo y otras como los acarrees, asfaltos y aditivos presentan durante su construcción precios variables, de tal forma que al final, el precio de la carpeta asfáltica se incrementa de su costo inicial de concurso, hasta en un 40 %.

En el caso de los pavimentos rígidos, el precio unitario de la losa de concreto se analiza como una partida de producto terminado, donde los costos que regularmente impactan en el precio son el cemento y los agregados, estos con un cambio poco significativo. Para el caso específico del cemento, regularmente su precio se pacta por el volumen de suministro por lo que no cambia durante la construcción del proyecto.

El precio de la carpeta del pavimento hidráulico por m<sup>3</sup> es mayor que el de la carpeta asfáltica en un 20 % (generalizando)<sup>1</sup>, situación que en un principio favorecería la selección hacia esta última alternativa.

<sup>1</sup> Caso en específico de la Autopista Guadalajara-Tepic, arrojando los resultados de inicio de construcción de Asfalto: 487.30 e Hidráulico: 667.08. (Miles) p/km.

La diferencia que existe en el costo inicial de construcción entre un pavimento flexible y uno rígido, siempre se da a nivel de proyecto, esto se refiere a considerar la longitud total de construcción de una carretera, considerando también las capas que componen la

estructura del pavimento, por consecuencia el impacto del acarreo de material es un factor de importancia.

Por otra parte, el pavimento flexible ó asfáltico se construye en etapas, esto es, mediante la construcción futura de sobrecarpetas, el costo de construcción inicial para este tipo de pavimentos se ve afectado por esta condición. Pero aunado a esto, si consideramos que regularmente estas sobrecarpetas no se construyen en los tiempos, ni en los espesores del proyecto original, la consecuencia será en altos costos en los trabajos de conservación y rehabilitación. Esto no se presenta en los pavimentos rígidos ya que éstos son diseñados para su vida útil con un espesor de losa para las condiciones de México de entre 15 a 30 cm.

De lo anterior se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Las diferencias en el costo inicial de construcción varían del 2% al 24% para periodos de vida de 10 años, de -0.8% a 12% para 20 años y de -3.1% a 17% para periodos de 30 años.
- Si se considera que el costo de los pavimentos dentro del costo total del proyecto vario de entre 18 a 25 %, los diferenciales encontrados representarán un aumento del costo total del proyecto poco significativo dentro de un rango del 0.5 al 4%.
- Considerar además del costo inicial de construcción los costos de conservación y rehabilitación durante la vida de las estructuras, represen5a un ahorro sustancial a favor de los pavimentos rígidos de entre 14 a 40%.
- Se debe considerar un análisis detallado de costos de las dos alternativas para cada proyecto, ya que las variables como materiales, mano de obra, equipos, clima y tránsito pueden afectar sensiblemente la decisión en cuanto ala construcción de un pavimento rígido o uno flexible.

### **1.5.2 ALGUNOS ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES**

La diferencia esencial entre los dos tipos de pavimentos, flexible y rígido, es la manera en que ellos distribuyen la carga sobre la subrasante. El pavimento rígido, por la rigidez del concreto, tiende a distribuir la carga sobre una área relativamente grande de la subrasante. El pavimento flexible, inherentemente construido con el material más débil y menos rígido, no distribuye las cargas como el concreto, por consiguiente los pavimentos flexibles normalmente requieren más capas y los espesores son mayores para poder transmitir la carga de una forma óptima a la subrasante.

Un factor que es más considerado para el diseño de pavimentos rígidos es la resistencia estructural del concreto, por esta razón, las variaciones pequeñas en la resistencia de la subrasante, no presenta influencia para la capacidad estructural del pavimento. En los

pavimentos flexibles, el factor que es más considerado, es la resistencia combinada de las capas.

Otra diferencia entre los pavimentos asfálticos y de concreto, es que el concreto permite manipular el color, la textura y la resistencia, lo que no es posible con un pavimento de asfalto. Estas ventajas permiten hacer al concreto un elemento resistente, duradero, seguro y hasta estético. En promedio los pavimentos de concreto son más duraderos que los de asfalto, alrededor 10 a 15 años, antes de necesitar rehabilitación.

#### **Algunos aspectos comparativos entre pavimentos rígidos y flexibles**

- Los dos tipos de pavimento ofrecen opciones buenas para la construcción de carreteras.
- Para ambos tipos de estructura, se tiene la tendencia a ahorrar en la inversión inicial de construcción, sin su debido balanceo con los costos de conservación y de operación del transporte.
- El pavimento rígido toma ventaja sobre el flexible a medida que los tránsitos van siendo mayores (20 mil vehículos o mayores); en cualquier caso los pavimentos rígidos requieren de acciones de conservación mayor más espaciadas y que esas acciones implican costos no considerados y que se deben dilaciones y molestias del tránsito durante los periodos de reparación.

El concreto ha estado presente durante muchas décadas, pero porque escoger una pavimento de concreto.

#### **SEGURIDAD**

*Mejor visibilidad.*- El concreto refleja la luz, incrementa la visibilidad y disminuye el costo de la iluminación del camino.

*Reduce la acumulación de agua.* En el concreto no se forman surcos, esto hace que el agua no se acumule, evitando así el efecto del acuaplaneo.

*Textura:* Los pavimentos rígidos de concreto, pueden presentar una textura suave, que no incomode al conductor, y esto perdura hasta tiempo después que se construya. El pavimento rígido cuenta con dos tipos de textura, una longitudinal que le permite mayor resistencia al derrape y otra transversal que ayuda a tener un buen drenaje en el pavimento.

Actualmente el colado de losas de concreto se realizan mediante colados monolíticos cortando posteriormente el concreto mediante discos par la formación de losas, dejando juntas de 6 mm de ancho que no son perceptibles al transitar el pavimento, evitando así el molesto ruido del junteo.

*Buena tracción.*- A los pavimentos de concreto, en el momento que se elaboran, se les puede proveer una superficie óptima, para así incrementar la tracción en el pavimento.

## DURABILIDAD

*Rígido de por vida* - Los concretos alcanzan su resistencia óptima relativamente pronto, después del primer mes cuentan con la resistencia de diseño, posteriormente continua incrementándose lentamente su resistencia durante su vida en un porcentaje aproximado de 10 %.

*Constituido de materiales resistentes*.- En promedio, la vida de un concreto es de 30 años. El concreto es la mejor solución para pavimentos, ya que su vida es relativamente grande. El pavimento rígido debido a su mayor rigidez toma un mayor porcentaje de carga que las capas inferiores, de tal forma que la estructura que se requiere para su soporte, es de mucho menor calidad que para un pavimento flexible, aunque se recomienda que sea uniforme.

*Excede las expectativas de vida*.- Los pavimentos de concreto frecuentemente sobrepasan el tiempo de vida de diseño, y por lo tanto de carga. El periodo mínimo que se recomienda dar a un pavimento asfáltico es de 20 años y lo máximo depende del tipo de proyecto que se vaya a realizar.

*Resistencia en todo lo largo de la carretera*.- El concreto puede resistir incluso el tráfico pesado, y no amerita preocupación de rotura, roderas que son muy comunes en los pavimentos asfálticos.

*Ahorro de combustible*.- La resistencia del concreto y su superficie, hacen que la rueda se desplace con mayor facilidad y esto repercute en un ahorro de combustible, así como una mayor eficiencia en el automóvil.

*Ideal para recubrimiento de asfalto*.- Un pavimento de asfalto a pesar de que pueda tener su carpeta deteriorada se puede considerar como una muy buena base para un pavimento rígido. La técnica de rehabilitación de un pavimento flexible con una sobrecarpeta de concreto se conoce como "Whitetopping".

## COSTO

Cuando se realiza un análisis de costo de ciclo de vida, el pavimento rígido, como ya se menciono, requiere una inversión que puede variar de un 10 a un 20 % mayor que el pavimento flexible, sin embargo si se incluye dentro del costo del pavimento el costo de mantenimiento a lo largo de toda la vida útil, el pavimento hidráulico resulta entre un 40 % y un 50% más económico<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Siguiendo con el caso en específico de la Autopista Guadalajara-Tepic, el costo inicial y final del pavimento asfáltico e hidráulico al cabo de 20 años de vida sería el siguiente:

AÑO	ASFALTO (valor presente)	CONCRETO (valor presente)
0	487.30	659.80
20	808.40	698.80

*Costos de mantenimiento considerados de: Interstate Highway Construction, Inc. En el análisis del ciclo de vida.*

Los pavimentos de concreto son de mejor costo a largo plazo, ya que su expectativa de vida es grande y el mantenimiento requerido es mínimo.

*Fácil de reparar.* - La durabilidad del concreto disminuye la necesidad de las reparaciones anuales o del mantenimiento. Cuando existe la necesidad de alguna reparación, esta es pequeña en comparación con una de pavimentos asfálticos. Cuando llega al fin de su vida, existen una gran variedad de metodologías de rehabilitación las cuales pueden ir desde la reposición de losas, hasta una sobrecarpeta de concreto sobre el existente.

*Abertura al tráfico.* - Los pavimentos de concreto pueden ser abiertos al tráfico en un tiempo mínimo de 12 horas.

Los pavimentos de concreto son muy versátiles, pueden ser usados tanto para aceras para el tránsito de personas, carreteras que crucen ciudades enteras, hasta pistas de aterrizaje que apoyan 175 ton. Puede diseñarse para una vida de 5, 10, 20 e incluso 50 años, un rango que esta lejos de ser superado por otro tipo de material empleado para hacer pavimentos.

El avance de la tecnología del concreto hidráulico nos lleva a contemplar comportamientos de este material que hace algunos años parecían imposibles: tal es el caso de los concretos de alta resistencia. Actualmente se realizan investigaciones para mejorar la durabilidad del concreto a través de la aplicación de materiales como fibras de vidrio, carbón o acero, con lo que se podrá mejorar esta característica del orden de mil veces.

Siendo el concreto hidráulico un material muy versátil, dentro de la infraestructura de las carreteras juega un papel muy importante, desde la construcción hasta la rehabilitación. Para el caso de la construcción los avances tecnológicos permiten reducir considerablemente el costo de la construcción inicial y mejorar el comportamiento de los pavimentos a largo plazo con costos de operación y mantenimiento sumamente atractivo si son comparados con otro tipo de tecnologías. En el caso de la rehabilitación en caminos existen diversas técnicas como el concreto rodillazo o las sobrecarpetas whitetopping; estas elaboradas con concretos normales o de resistencia rápida para permitir la apertura pronta al tránsito. De igual forma cabe mencionar las nuevas tecnologías basadas en sobrecarpetas de poco espesor mediante el uso de fibras y las denominadas incrustaciones que son trabajos de rehabilitación en los pavimentos asfálticos en donde se construye una losa de concreto en las fallas conocidas comúnmente como roderas.

Para el caso de los equipos, su grado de desarrollo permite contar con una gran variedad de los mismos para diversas aplicaciones; tal es el caso de las reglas vibratorias con diferentes rendimientos para trabajos de poco volumen, equipos de tendido con cimbre deslizante totalmente automatizados para altas producciones de entre 250 a 350 m<sup>3</sup> por hora, soportados por plantas portátiles de alta producción, complementados con equipos muy eficaces para el texturizados, curado, corte y sellado, permitiendo una alta calidad en los trabajos y rendimientos sumamente atractivos.

**CAPITULO 2**

# Metodología de análisis y diseño

## 2.1 ESFUERZOS Y DEFLEXIONES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

### 2.1.1 INTRODUCCIÓN

Los primeros esfuerzos a los cuales el concreto está sujeto, son de contracción producto de los cambios de temperatura. Un concreto después de ser colocado y al alcanzar el valor máximo de hidratación, así como por las temperaturas más bajas en la primera noche de colada la mezcla. Otro factor que provoca contracciones es la pérdida de volumen por la disminución del contenido de agua del concreto.

Una vez que la mezcla se consolide y endurezca, esta pierde agua debido al sangrado y a la posterior evaporación del volumen total de este líquido. Este fenómeno de sangrado afecta significativamente a los pavimentos, ya que en ocasiones se adiciona agua en exceso para lograr la trabajabilidad de la mezcla y facilitar las labores de acabado de la superficie, sin embargo la superficie se debilita presentándose posteriormente grietas y desquebrajamientos.

Otro esfuerzo al que está sujeto un pavimento, es el esfuerzo de tensión que se generan en la base de la losa provocando agrietamientos como resultado de la resistencia por fricción que se genera en la interfase losa-capa de apoyo, pudiendo ser ésta una base o subbase.

### GRADIENTES TÉRMICOS

Las superficies que están expuestas experimentan importantes variaciones de temperatura, por ejemplo los cambios de temperatura y humedad son menores en las proximidades del fondo de las losas.

Las ondulaciones se presentan por gradientes térmicos a lo largo de la sección transversal de las losas; la cantidad y configuración de estas ondulaciones se dan en función de la hora del día que se considere.

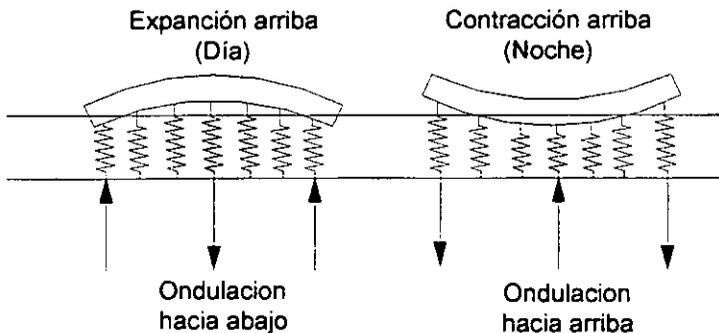
Con respecto de los materiales la aparición de nuevos aditivos y el uso de componentes como las fibras permite obtener un material de alto rendimiento y calidad que actualmente están siendo probado por la NASA en su proyecto del concreto lunar.

Ya estando el pavimento de concreto hidráulico como un producto terminado, este presenta una alternativa sumamente favorable en la construcción de carreteras.

En el día, la parte expuesta de la losa experimenta temperaturas mayores que los lechos interiores de la sección, lo que produce expansiones mayores y en consecuencia se presenta la ondulación.

Sin embargo, la losa tiende a bajar en su parte media arrastrada por su peso propio, acción que se opone a la ondulación hacia arriba causado por la expansión, esto da como resultado esfuerzos de tensión en el lecho interior de la losa, mientras que en su parte superior se generan esfuerzos de tensión se presentan en la parte superior o superficie expuesta de la losa. Ver figura 2.1.1.

**FIGURA 2.1.1 ONDULACIÓN DE LA LOSA DEBIDO A GRADIENTES TÉRMICOS**



El alabeo, producto de los cambios de humedad a lo largo de la sección transversal de la losa, se genera en forma opuesta a la ondulación, de tal forma que tiende a contrarrestarla. Una temperatura alta en la superficie de la losa la reseca, sin embargo conforme se avanza a su lecho inferior, la losa conserva más humedad; se deduce entonces que la losa en esta última parte experimentará expansiones, mientras que en su superficie se presentarán contracciones. De tal manera que hacia el lecho interior se presentan esfuerzos de compresión que de alguna manera contrarrestarán a las de tensión generados durante el día.

Al considerar los efectos combinados, los esfuerzos resultantes son menores a los estimados en las fórmulas existentes, así como los medidos en pavimentos construidos.

## 2.1.2 FLEXIÓN EN UNA PLACA FINITA

Conforme a la teoría de la elasticidad, las deformaciones bidimensionales en una placa se puede obtener mediante la siguiente ecuación.

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde: E = módulo elástico del concreto.

El primer término del lado derecho representa la deformación en la dirección x provocada por un esfuerzo en esa dirección, mientras que el segundo término de la ecuación aparece la deformación causada por el esfuerzo en la dirección y. De forma análoga:

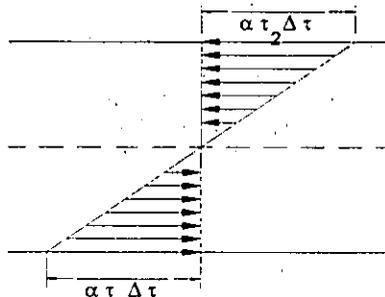
$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_x}{E} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Para el caso en que la placa se deflexione sólo en una dirección, sea x, en la otra dirección  $\varepsilon_y$  es cero, ya que la placa en esta dirección es muy amplia y tiene restricción. De esta manera, a partir de la ec.2.2:  $\sigma_y = \nu\sigma_x$  y sustituyendo este valor en la ec. 2.1:

$$\sigma_x = \frac{E \varepsilon_x}{1 - \nu^2} \quad \text{Ec.2.3}$$

En caso de considerar las deflexiones en ambas direcciones, los esfuerzos deberán ser superpuestos. Los esfuerzos máximos por alabeo en una losa de longitud infinita corresponderán a la condición de restricción total de la losa. Ver figura 2.1.2.

**FIGURA 2.1.2 GRADIENTE TÉRMICO EN UNA LOSA DE CONCRETO**



Llamando  $\Delta t$  al diferencial de temperatura entre el fondo y el lecho superior de la losa, y  $\alpha_t$  el coeficiente de expansión térmica del concreto, si la losa es libre de moverse, y si además en la superficie la temperatura es mayor que en el fondo, entonces en la superficie habrá una expansión  $\alpha_t \Delta t/2$ .

En el fondo, la contracción para comportamiento lineal sería de la misma cantidad.

En el caso en que exista restricción en la losa para deformarse y si la temperatura es mayor en la superficie, entonces las tensiones se presentarán en el fondo y las deformaciones máximas serán:

$$\varepsilon_N = \frac{\varepsilon_T \alpha_T \Delta T}{2} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Luego, el esfuerzo flexionante en la dirección x, en base a la ec. 2.3:

$$\sigma_x = \frac{E \alpha_T \Delta T}{2(1-\nu^2)} \quad \text{Ec. 2.5}$$

La ecuación anterior también representa el esfuerzo en la dirección y debido a la flexión sobre y. El esfuerzo sobre x debido a la acción sobre y. ( $\sigma_y = \nu \sigma_x$ ):

$$\sigma_x = \frac{\nu E \alpha_T \Delta T}{2(1-\nu^2)} \quad \text{Ec. 2.6}$$

El esfuerzo total sería la suma de las ecuaciones 2.5 y 2.6:

$$\sigma_x = \frac{E \alpha_T \Delta T}{2(1-\nu^2)} (1+\nu) = \frac{E \alpha_T \Delta T}{2(1-\nu)} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Lo anterior supone la variación lineal de la temperatura a lo largo de la sección transversal de la losa.

### 2.1.3 ESFUERZOS DE ALABEO EN UNA LOSA FINITA

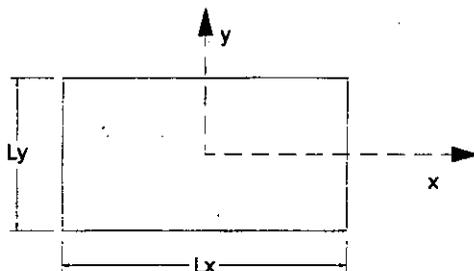
Para una losa cuya geometría sea la presentada en la figura 2.1.3, los esfuerzos totales en la dirección x se expresan como:

$$\sigma_x = \frac{C_x E \alpha_T \Delta T}{2(1-\nu^2)} + \frac{C_y \nu E \alpha_T \Delta T}{2(1-\nu^2)} = \frac{E \alpha_T \Delta T}{2(1-\nu)} (\sigma_x + \nu \sigma_y) \quad \text{Ec.2.8}$$

En donde  $C_x$  y  $C_y$  son factores de corrección para losa finita.

El primer término se debe a la flexión en la dirección x, mientras que el segundo se debe a la flexión actuante en la dirección y.

FIGURA 2.1.3 ESFUERZOS EN UNA LOSA FINITA



La ecuación para el esfuerzo por alabeo en la dirección y tiene la misma forma, sólo variando los subíndices. Los valores de  $C_x$  y de  $C_y$  son función de la geometría y de las rigideces,  $L_y/l$  y  $L_x/l$ , en donde:

$$l = \left[ \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \nu^2)k} \right]^{0.25} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde:

$E$  = módulo de elasticidad del concreto

$h$  = espesor de la losa

$k$  = módulo de reacción de la capa de apoyo

La ecuación anterior es para un esfuerzo en la mitad de la losa; para las orillas, los esfuerzos son:

$$\sigma = \frac{CE\alpha_t \Delta t}{2} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Los esfuerzos adicionales por ondulación de las losas varían con la temperatura. Cuando no se disponga de mediciones de gradientes térmicos, es común suponer para análisis preliminares, dentro de los rangos del orden de  $0.055$  a  $0.077^\circ \text{C}$  para las horas del día, y la mitad de los valores anteriores para las horas nocturnas:

En la prueba AASHTO de 1962, se estudiaron las temperaturas en dos puntos en una losa de 16.5 cm de espesor. Uno de estos puntos estaba situado a 0.65 cm por debajo de la superficie, y otro a 1.27 cm por arriba del lecho extremo inferior. La diferencia de temperatura entre ellos fue definida como el diferencial. El valor máximo de este parámetro fue de  $10.2^{\circ}\text{C}$  para las horas de día (entre junio y julio), mientras que durante la noche, para ondulación hacia arriba de las esquinas de las losas, el diferencial de temperatura fue de  $-5^{\circ}\text{C}$ . Estos valores en los cambios de temperatura en los pavimentos de estos tramos de pruebas demuestran que no existe relación entre los espesores de las losas medidas con la magnitud de los diferenciales térmicos.

La variación de estos diferenciales de temperatura en punto de lecho superior e inferior no fue tan rápida con los incrementos de espesores. Así, en losas delgadas se deberán emplear gradientes térmicos mayores.

## ESFUERZOS COMBINADOS

En prácticamente ningún método se involucra los esfuerzos por temperatura y sólo se consideran inseguros los debidos a cargas. Esto se debe, a:

- El uso de juntas, ya sea con o sin pasajuntas considerando también el acero de refuerzo, que absorbe los esfuerzos por ondulación, producto de la temperatura. Si las grietas o fisuras son pequeñas, la transferencia de carga se llevará de una forma adecuada. Por otro lado, una vez presentadas las grietas, los esfuerzos por ondulación se ven mitigadas.
- Cuando se diseña por fatiga, es impráctico combinar los efectos del tránsito y los de la temperatura. Esto es porque durante la vida útil de un pavimento pasan millones de ejes, y en comparación con los movimientos de la losa por temperatura, estos últimos resultan ser muy pequeños.
- Por lo general se ignoran los efectos de ondulación debido a que los esfuerzos resultados de la temperatura se pueden adicionar o sustraer a los del tránsito, dependiendo de la hora que se considere. Esto es, si se diseña por esfuerzos críticos de orilla, los esfuerzos por temperatura se suman a los de tránsito durante el día, pero se restan a los de tránsito los inducidos durante la noche.

Es importante mencionar que un pavimento, aún sin tránsito, es propenso a sufrir agrietamientos, resultado del efecto de ondulación por temperatura. Para evitar daños importantes a las losas se recomienda considerar en los análisis por fatiga que se realicen, el efecto combinado del tránsito con el de a ondulación por temperatura.

### 2.1.4 ESFUERZOS POR CARGAS DE TRÁFICO

Para resolver este problema, se cuenta con tres formas básicas:

1. Mediante fórmulas de soluciones cerradas (basadas en los trabajos de Westergaard). Se aplican sólo a una carga producida por una rueda, cuya área de contacto puede tener una configuración circular, semicircular, elíptica o semielíptica.
2. Cartas de influencia: estas desarrolladas por Picket y Ray, y con ellas se puede aplicar una configuración de varias llantas. Al igual que en el caso anterior la superficie de apoyo se tipifica como una cimentación "líquida" o elástica, en una losa muy grande.
3. Método de elementos finitos: este método es el más razonable para los casos en que se analice una serie de capas apoyadas en una superficie líquida, con mecanismo de transferencias de carga entre las juntas (pasajuntas en las juntas o fricción entre las paredes de las grietas). Este apoyo líquido de las losas se puede asemejar a una serie de resortes independientes entre si. Las deflexiones en un punto serán solo función directa a esta última, e independiente a las fuerzas aplicadas en otros puntos.

### SOLUCIONES CERRADAS

La primera solución se refiere a la acción de una carga concentrada en una esquina de losa. Según se refiere en la Figura 2.1.4, los esfuerzos respecto a una diagonal son simétricos. Para estas circunstancias, el momento en una sección situada a una distancia  $x$  respecto de la esquina será  $Px$ . El ancho de esta sección de corte es de  $2x$ . Si se desprecia la presencia de la capa de apoyo, el esfuerzo de tensión en la parte superior de la losa sería:

$$\sigma_c = \frac{Px}{1/6 \cdot (2x)h^2} = \frac{3P}{h^2} \quad \text{Ec. 2.11}$$

donde:

- $\sigma_c$  = esfuerzo debido a las cargas
- $P$  = carga concentrada
- $h$  = espesor de la losa.

En estas fórmulas, los esfuerzos son independientes de la distancia  $x$  de la sección en la que se pretenda investigar el esfuerzo en el lecho superior de la losa. Ya que cuando  $x$  tiende a cero, esto quiere decir que cuando se investiga el esfuerzo casi en la esquina, la influencia de la reacción de la capa de apoyo es prácticamente despreciable. Cuando la carga se hace más interior, entonces la reacción hacia arriba toma importancia.

Para el caso de que la carga sea circular, de diámetro  $a$ , como se muestra en la figura 2.1.5 (b):

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right] \quad \text{Ec. 2.12}$$

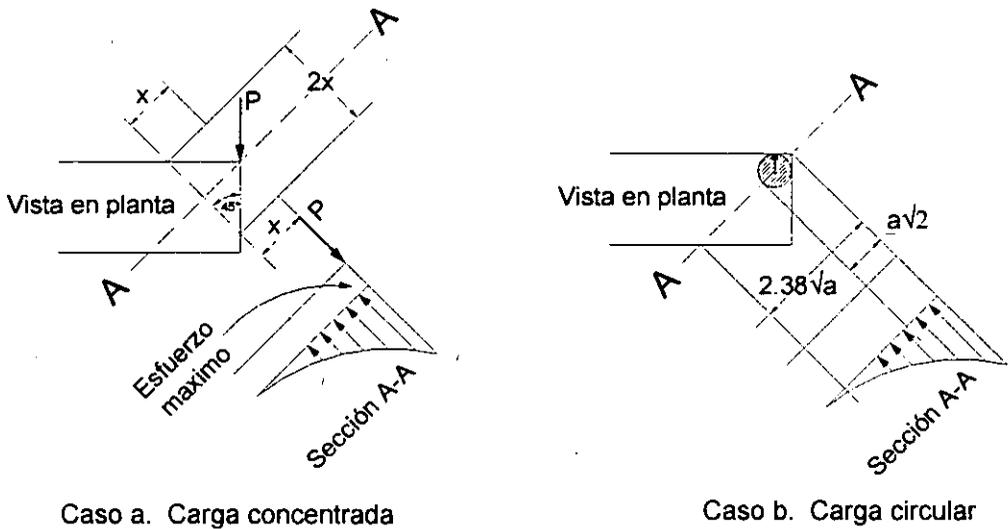
$$\Delta_c = \frac{P}{kt^2} \left[ 1.1 - 0.88 \left( \frac{a\sqrt{2}}{l} \right) \right] \quad \text{Ec. 2.13}$$

donde:

- $\Delta_c$  = deflexión en la esquina
- $l$  = radio de la rigidez relativa
- $a$  = radio del área de contacto que se considerada
- $k$  = módulo de reacción del apoyo de la losa.

Para esta teoría, el momento máximo ocurre a una distancia de la esquina igual a  $2.38 \sqrt{a \cdot l}$ . Las ecuaciones anteriores son iguales para el caso particular de que  $a=0$ , esto es para el caso en que la carga este concentrada.

**FIGURA 2.1.4 CARGAS EN ESQUINAS DE LOSA, SOLUCIONES CLASICAS**



a) CARGA INTERIOR

Westergaard (1926) desarrolló las primeras formulas racionales para determinar los esfuerzos en el interior de las losas debidos a cargas con áreas circulares de radio  $a$ .

$$\sigma_i = \frac{3(1+\nu)P}{2\pi h^2} \left[ \text{Ln} \left( \frac{l}{b} \right) + 0.6159 \right] \quad \text{Ec. 2.14}$$

donde:

$l$  = radio de rigidez relativa

$b = a$  Cuando  $a \geq 1.724 h$

$$b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h \quad \text{cuando } a < 1.724h$$

La deflexión total debido a una carga interior, según el mismo autor es:

$$\Delta_i = \frac{P}{8kl^2} \left[ 1 + \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \frac{a}{2l} - 0.673 \right] \left( \frac{a}{l} \right)^2 \right] \quad \text{Ec. 2.15}$$

### b) CARGA EN ORILLAS

Westergaard propone ecuaciones generales para determinar los esfuerzos y deflexiones producidos por cargas elípticas y semielípticas colocadas en las orillas. Para el caso de áreas circulares, las acotaciones en los ejes mayores y menores de las elipses se hacen equivalentes a cargas de radio  $a$ :

$$\sigma_{a(\text{circular})} = \frac{3(1+\nu)P}{\pi(3+\nu)h^2} \left[ \text{Ln} \left( \frac{Eh^2}{100ka^4} \right) + 1.84 - \frac{4\nu}{3} + \frac{1-\nu}{2} + \frac{1.18(1+2\nu)a}{l} \right] \quad \text{Ec. 2.16}$$

$$\Delta_{e(\text{circular})} = \frac{\sqrt{2+1.2\nu}P}{\sqrt{Eh^3k}} \left[ 1 - \frac{(0.76+0.4\nu)a}{l} \right] \quad \text{Ec. 2.17}$$

$$\sigma_{a(\text{semicircular})} = \frac{3(1+\nu)P}{\pi(3+\nu)h^2} \left[ \text{Ln} \left( \frac{Eh^2}{100ka^4} \right) + 3.84 - \frac{4\nu}{3} + \frac{(1+2\nu)a}{2l} \right] \quad \text{Ec. 2.18}$$

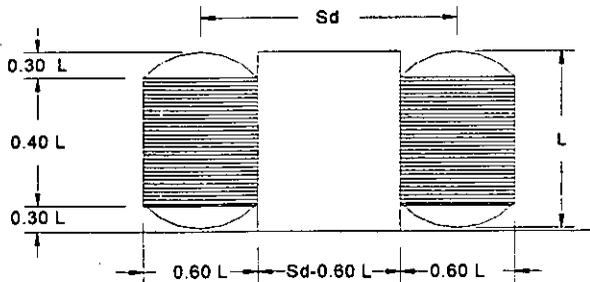
$$\Delta_{e(\text{semicircular})} = \frac{\sqrt{2+1.2\nu}P}{\sqrt{Eh^3k}} \left[ 1 - \frac{(0.323+0.17\nu)a}{l} \right] \quad \text{Ec. 2.19}$$

### c) LLANTAS DOBLES

La mayor parte de las fórmulas se aplica a cargas circulares. Para el caso donde existen ejes dobles, se debe realizar la equivalencia. Por lo general los análisis de pavimentos flexibles se obtienen esfuerzos muy grandes cuando las cargas son iguales, pero no cuando el área de contacto circular se supone igual a la proyectada por las llantas dobles. De esta manera, en pavimentos rígidos el área a considerar deberá ser sensiblemente mayor.

Se presenta en la figura 2.1.5 un esquema de un sistema de llantas dobles. Se han obtenido resultados aceptables cuando se plantea la hipótesis de que el área circular equivalente es igual a la suma del área de las llantas dobles más el área comprendida entre ellas, esto es  $Sd-0.6 L$ , como se muestra en la figura.

**FIGURA 2.1.5 MÉTODO PARA CONVERTIR CARGAS DOBLES EN ÁREAS CIRCULARES**



Si  $Pd$  es la carga sobre una rueda, y si  $q$  es la presión de contacto, el área de cada llanta será:

$$\frac{Pd}{q} = \pi(0.3L)^2 + (0.4L)(0.6L) = 0.5227L^2 \quad \text{Ec. 2.20}$$

Si el área de un círculo equivalente es  $\pi a^2$ , es el radio del área de contacto será:

$$a = \sqrt{\frac{0.8521Pd}{q\pi} + \left(\frac{Sd}{\pi}\right)\left(\frac{Pd}{0.5227q}\right)^{1/2}} \quad \text{Ec. 2.21}$$

## 2.1.5 ESFUERZOS DEBIDOS A FRICCIÓN

Los esfuerzos de fricción en la interfase losa-capa de apoyo afecta al concreto, a las varillas de sujeción, y al acero de refuerzo también cuando existe. Para pavimentos de concreto sin refuerzo, el espaciamiento de juntas deberá proponerse de manera que la fricción no provoca grietas.

La cuantía y distribución del acero entre juntas longitudinales (o las varillas de sujeción) también serán función de los esfuerzos esperados.

### 2.1.6 CAMBIOS VOLUMÉTRICOS EN EL CONCRETO

Los cambios de temperatura y de humedad hacen que las losas experimenten movimientos por cambios de volumen. De esta manera se presentan esfuerzos de compresión y de tensión en el fondo de la losa de manera alternada, dependiendo de la hora del día. Lo anterior si no es considerado y no se toman medidas preventivas, se pueden presentar grietas incontrolables.

Otro efecto es la abertura en juntas, con la consiguiente reducción en la eficiencia de la transferencia de cargas entre las losas contiguas.

#### ESFUERZOS POR FRICCIÓN

Cuando una losa estas sujeta a una reducción de la temperatura. La losa tenderá a moverse de las orillas hacia el centro por simetría; pero la capa de apoyo tenderá a restringir este movimiento, generándose de esta forma los esfuerzos de fricción. Estos esfuerzos hacia el centro serán cero, ya que ahí no existe movimiento. El máximo se presenta a cierta distancia del centro. Para fines prácticos se puede asignar un coeficiente de fricción constante,  $f_a$ , a lo largo de la losa. Para estas circunstancias, el esfuerzo máximo de tensión que se genera en el centro de la losa,  $\sigma_c$ , en términos de fuerza  $\sigma_c \cdot h$ , se puede igualar con la fuerza por unidad de ancho:  $\gamma_c \cdot h \cdot L \cdot f_a / 2$ , de esta forma:

$$\sigma_c = \frac{\gamma_c \cdot L \cdot f_a}{2} \quad \text{Ec. 2.22}$$

$\sigma_c$  es el esfuerzo en el concreto,  $\gamma_c$  es el peso volumétrico del concreto, L es la longitud de la losa,  $f_a$  es el promedio del coeficiente de fricción en la interfase losa-capa de apoyo, normalmente del orden de 1.5.

### 2.1.7 MOVIMIENTOS DE JUNTAS

El movimiento de las losas depende de las características de contracción del concreto. El movimiento de una sección se puede estimar mediante la expresión:

$$\Delta L = f_a \cdot L (\alpha \Delta T + \epsilon) \quad \text{Ec.2.23}$$

donde:

$\Delta L$  = cambio en la longitud de la losa, en cm.

$f_a$  = coeficiente de fricción losa-capa de apoyo (0.65 y 0.80 para materiales estabilizados y granulares sin estabilizar, respectivamente).

$L$  = longitud de la losa, en mm.

$\alpha$  = el coeficiente de expansión térmica

$\Delta T$  = el rango máximo de temperatura esperado. Normalmente la temperatura máxima al colar el concreto menos la temperatura ambiente mínima.

$\epsilon$  = el coeficiente de contracción del concreto.

Los movimientos de losas son aún más significativos en las juntas transversales, mientras que en las juntas a lo largo entre las juntas longitudinales son despreciables. Lo mismo ocurre en las juntas de acotamientos. Para estos casos las carillas de sujeción no permitirán el libre movimiento de las losas.

Será necesario aplicar sellante para evitar la infiltración, a pesar de que se esperan pocos movimientos en las juntas longitudinales, es especial en la zona de acotamientos, en donde se pueden presentar escurrimientos de agua.

## TRANSMISIÓN DEL CORTANTE LOSA-LOSA POR FRICCIÓN

Es la producida por el corte parcial del concreto para fabricar la grieta sin el empleo de pasajuntas. La acción de fricción en las caras de una grieta o junta provocada en una sección del concreto se origina por las caras compuestas del agregado grueso del concreto. En el caso de juntas fabricadas con serrado, normalmente aparecerá una grieta por abajo del corte. Esta región trabajará a fricción, al ser solicitada por las cargas dinámicas de tránsito. Este mecanismo de transferencia de carga funciona mejor en caminos con una subbase estabilizada, o con una que no sea muy susceptible a la erosión. funciona bien en caminos con bajo porcentaje de tránsito pesado.

Se han obtenido buenos resultados con transferencia de carga a fricción cuando los espaciamientos son cortos y el volumen de tránsito pesado es bajo (entre 80 a 120 camiones). Para provocar fallas apreciables en un pavimento sin pasajuntas, se requieren alrededor de 4 a 5 millones de ejes sencillos equivalentes acumulados de 18 Kips. (ver concepto más adelante).

## 2.1.8 ESFUERZOS EN EL ACERO

El acero se utiliza como refuerzo interior en la masa del concreto o como elemento transmisor de carga en las juntas (pasajuntas). El diseño del refuerzo transversal y longitudinal, así como el de las varillas de sujeción se fundamenta en el desarrollo de fricción.

### REFUERZO

Los emparrillados de varillas delgadas y las mallas electrosoldadas no cumplen una función del todo estructural en los pavimentos rígidos, su uso se justifica ya sea para minimizar o controlar los agrietamientos por temperatura, asimismo, cumplen dos propósitos:

1. Incrementar el espaciamiento de juntas
2. Mantener ligadas las diferentes secciones agrietadas de losas, para que de esta forma se obtenga una satisfactoria transferencia de carga entre juntas y grietas.

Generalmente para el diseño de mallas se considera que éstas últimas atraen todos los esfuerzos de tensión y según la ecuación 2.22, tenemos:

$$\sigma_c = \frac{\gamma_c \cdot L \cdot F_a}{2} \quad \text{Si } \sigma_c h = A_s \cdot f_s \Rightarrow A_s = \frac{\gamma_c h \cdot L \cdot f_a}{2 f_s} \quad \text{Ec. 2.24}$$

donde:

$A_s$  = área de acero requerida por unidad de ancho

$f_s$  = es el esfuerzo permisible en el acero.

La cantidad del acero es función de la geometría de la losa. Esta cantidad de acero es para el centro de la losa. Presumiblemente hacia las orillas deberá reducirse dicha cantidad. En la práctica se distribuyen las mallas de armado de manera uniforme.

### BARRAS DE SUJECIÓN

Se emplean en las juntas longitudinales para ligar dos losas contiguas, de modo que se garantice una buena transferencia de carga entre tales elementos. Para este caso, la cantidad de acero se puede estimar también según la fórmula anterior con una ligera modificación:

$$A_s = \gamma_c \cdot h \cdot L \cdot f_a / 2f_s \quad \text{Ahora } A_s = \gamma_c \cdot h \cdot L \cdot f_a / 2f_s \quad \text{Ec.2.25}$$

As nuevamente es el área de acero requerida por unidad de longitud de losa, y  $L'$  es la distancia de la junta longitudinal hasta el extremo libre que no cuente con pasajuntas o barras de sujeción. Para el caso de caminos con dos o más carriles,  $L'$  es el ancho del carril.

La longitud de las barras de sujeción es función del esfuerzo permisible de adherencia. Para varillas corrugadas se puede suponer un esfuerzo de adherencia del orden de  $25 \text{ Kg/cm}^2$ . Es común emplear varillas de No. 4, con una longitud de 90 cm, espaciadas en longitudes que van de 76 a 102 cm.

### 2.1.9 PASAJUNTAS Y DISTRIBUCIÓN DE JUNTAS

Existen formas teóricas de estimar diámetros y longitudes de pasajuntas, pero es común emplear criterios prácticos para su diseño. En la tabla 2.1 (según la PCA) muestra algunos valores recomendados a manera de guía:

TABLA 2.1 DIMENSIONES COMUNES EN PASAJUNTAS

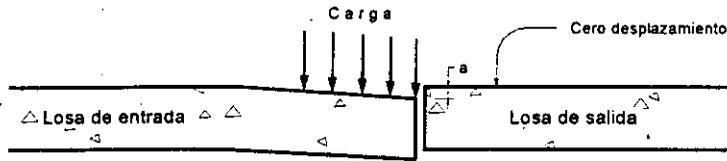
Espesor de losa, cm	Diámetro de pasajunta, pulgadas	Longitud de pasajunta, cm
12.5	5/8	30
15	3/8	36
18	7/8	36
20	1	36
23	1 1/8	40
25	1 1/4	46
28	1 3/8	46
31	1 1/2	51

#### DISEÑO DE PASAJUNTAS

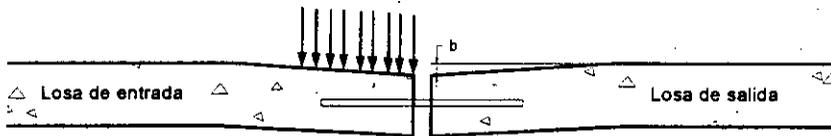
Las pasajuntas se colocan para transmitir las cargas de una losa a otra. Dependiendo de las deflexiones que experimenten dos losas ligadas por pasajuntas, al ser solicitadas por el tránsito, se tendrá mayor o menor eficiencia, tal como se muestra en la figura 2.1.6.

En la primera parte de la figura no se transmite la carga de una losa hacia la otra, mientras que en la segunda parte, la acción de la pasajunta permite que la carga del vehículo, tanto cuando entra como cuando sale, se distribuye entre las dos losas. Por lo tanto, la transferencia de carga puede definirse como la capacidad que tengan dos secciones de losa para transmitir parte de la carga aplicada de una sección a otra.

FIGURA 2.1.6 CONCEPTO DE TRANSFERENCIA DE CARGA



Transferencia de carga pobre =  $0 / a$



Buena transferencia de carga =  $b / b$

El concepto de transferencia de carga es cuantitativa y se denomina "Factor de Eficiencia".

$$E = \frac{2(Def.)_{desc.}}{(def)_{cargada} + (def)_{desc.}} \quad \text{Ec. 2.26}$$

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

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

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, será definido por:

$$fb = \left[ \frac{4 - d}{3} \right] f'c \quad \text{Ec. 2.27}$$

$fb$  es el esfuerzo máximo a que la pasajunta puede estar sujeta, en  $\text{Kg/cm}^2$ ,  $d$  es el diámetro de la pasajunta, y  $f'c$  es la resistencia a la compresión del concreto.

### ACCION DE GRUPO DE LAS PASAJUNTAS

Como se muestra en la figura anterior, si al paso de los vehiculos las losas se deforman igual o casi, se dice que tienen una eficiencia del 100%. En estas circunstancias, las reacciones serían iguales y cada una tendría un valor de  $\frac{1}{2} W$ . Esta fuerza representa la fuerza total transferida por cada grupo de pasajuntas. Cuando no existe eficiencia del 100 %, como en el caso de pavimentos ya de edad, las reacciones debajo de las losas con carga serán mayores a  $0.5 W$ , mientras que en las losas descargadas la reacción será menor a tal valor.

### DISEÑO DE JUNTAS

Las juntas se crean para evitar que las grietas inducidas por secado, temperatura y cambios en los contenidos de agua se presenten de manera desordenada, sin patrones geométricos.

Los tipos de juntas se mencionan a detalle en el capítulo primero de este libro y son las siguientes:

- Juntas transversales de contracción
- Juntas transversales de construcción
- Juntas transversales de expansión/aislantes
- Juntas longitudinales de contracción
- Juntas longitudinales de construcción

El espaciamiento y espesor, están influenciados por cambios en agregados, diseño de las mezclas y método de curado. Normalmente, el espaciamiento varía entre 4 y 6 m, de pendiente de los espesores. En carreteras no son aconsejables separaciones mayores a 6 m. Cuando el pavimento cuenta con malla de refuerzo junto con pasajuntas, no se aconsejan espaciamientos mayores a 10 m. Cuando las separaciones son mayores, se pueden esperar movimientos excesivos que reducen la efectividad del material sellante de las juntas. Como regla, el espaciamiento en pies, en pavimentos sin refuerzo, no debe exceder a dos veces el espesor en pulgadas. La AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), la relación del ancho con su longitud no debe exceder 1.25.

#### Construcción de juntas transversales

En este tipo de juntas, en que la transferencia de carga sea a través de fricción, o mecánica, a base de pasajuntas, el sistema constructivo juega un papel importante. Para el caso de fricción es vital que el concreto cuente con buena resistencia en lo general, y en particular que los agregados sean de dureza satisfactoria. Dado que la resistencia suele monitorearse con regularidad, es común contar con buenas fricción en las juntas.

**Colocación:** Las pasajuntas se sostienen y se ponen en posición sobre la sub-base utilizando silletas o "canastas". Estas son armaduras de alambón o de varilla lisa. La sujeción de las pasajuntas con las silletas puede ser mediante amarre o con soldadura.

La colocación de pasajuntas debe ser cuidadosa en cuanto a sus alineamientos vertical y horizontal, a fin de evitar restricciones en los movimientos de las losas en sus extremos.

Desde el inicio del proyecto se deberá contar con las tolerancias de desviaciones de pasajuntas en ambas direcciones. Las pasajuntas deben colocarse enteramente paralelas a la superficie de apoyo, en planta deberán también ser paralelas al eje del camino. Son comunes tolerancias del orden de 0.6 cm por cada 30 cm de longitud de pasajunta en las direcciones horizontal y vertical o sus combinaciones

### **Requerimientos en pasajuntas:**

De preferencia, las pasajuntas deberán ser lisas y tener engrasada al menos una de sus mitades. Como lubricante se podrá utilizar productos en base a emulsión asfáltica, parafina, aceite del utilizado como aislante en cimbras, etc. Alternativamente, podrán colocarse encamisados de plástico o PVC para lograr buena lubricación, así como protección ante la corrosión.

Los espesores recomendados de la película de lubricante son del orden de 0.013 cm, ya que con este espesor el concreto puede acomodarse alrededor de manera adecuada. Espesores mayores tienden a propiciar que la pasajunta tenga "juego" y no ajuste correctamente dentro del concreto. Por otro lado, la falta de lubricante "rompedor de adherencia" promueve esfuerzos adicionales que provocan daños en la zona de juntas. El contratista deberá lubricar toda la pasajunta, a fin de que la resistencia a la extracción no sea mayor a 90 kg.

Deberán estar libres de irregularidades, de tal manera que las losas puedan moverse libremente. La uniformidad del acero cumplirá con lo dispuesto en la norma ASTM A615. Es importante que el concreto alrededor del acero quede convenientemente compactado y no queden bolsas de aire o segregaciones. Las propiedades anticorrosivas de la pintura a emplear deberá cumplir con la norma AASHTO M254.

Los pasajuntas deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Deben proporcionar una transferencia de carga adecuada a lo largo de la junta.
- Deben ser simples en su diseño, para que la instalación sea correcta y sin dificultad.
- Deben proporcionar poca restricción a la apertura de la junta.
- Deben ser resistentes a la corrosión.

Se ha propuesto diversos dispositivos para transmitir las cargas, pero los más comunes y aceptados son, las barras lisas. Normalmente se ha adoptado como regla el empleo de varillas con diámetro igual a 1/8 del espesor de la losa, con espaciamientos medios de 30 cm.

Se tiene que poner especial cuidado en la colocación de las pasajuntas, para que estén sean colocadas se maneja que estén lo mas paralelas posibles al eje del camino, así como al plano del lecho de las superficies que la recibe. Las desviaciones en alineamientos de pasajuntas eran del orden de hasta 60 % para el caso de inserción automática, mientras que para la colocación manual, la desviación fue del 40 %, es normal que estos valores dependan de los cuidados para su colocación.

### 2.1.10 SELLANTES

La formación de juntas se hace a través de serrados con discos en cuyos dientes se incrusta diamante o carburo de tungsteno. El serrado se efectúa una vez que el concreto haya endurecido lo suficiente para soportar el corte sin astillamientos o desprendimientos, cuidando de que no se prolongue el tiempo demasiado a fin de evitar agrietamientos prematuros. Por lo general el tiempo promedio de corte estará comprendido entre 4 y 12 horas después de colocado el concreto.

El objetivo del sello es evitar la infiltración del agua al cuerpo de pavimento y sus conocidas consecuencias, la otra función es evitar la intromisión de partículas sólidas dentro de la junta.

La grieta se presentará una vez realizado el corte. Acto seguido se efectúa un segundo corte y en algunos casos un tercero, para ensanchar el corte y darle las dimensiones de la caja que alojará el cordón o tira de respaldo y el material sellante. Éste será del plástico, o de silicón. El corte para inducir la grieta puede ser sustituido por la inserción de fajas de fieltro, una tira asfáltica, cartón asfáltico, etc.

En la figura 2.1.7 se muestran dimensiones típicas de proyecto, cabe aclarar que cada proyecto demandará dimensiones particulares.

Los sellantes deben soportar esfuerzos alternados de compresión y de tensión, producidos por los cambios de temperatura y de humedad. En general existen dos tipos de sellantes:

1. Los formados en campo
2. Los premoldeados

En el caso de los primeros, estos son aplicados en estado líquido o semilíquido. Los segundos son hechos por fabricantes, tanto en calidad como en forma. Para que los sellantes líquidos sean aplicados con éxito, es necesario realizar las cajas de sellante o factores de forma adecuados para cada tipo de sello.

Los diferentes tipos de material sellante pueden soportar diferentes niveles de deformación. Las fibras extremas de los sellantes se deforman en función de los factores de forma y de cuánto se deforme el material sellante.

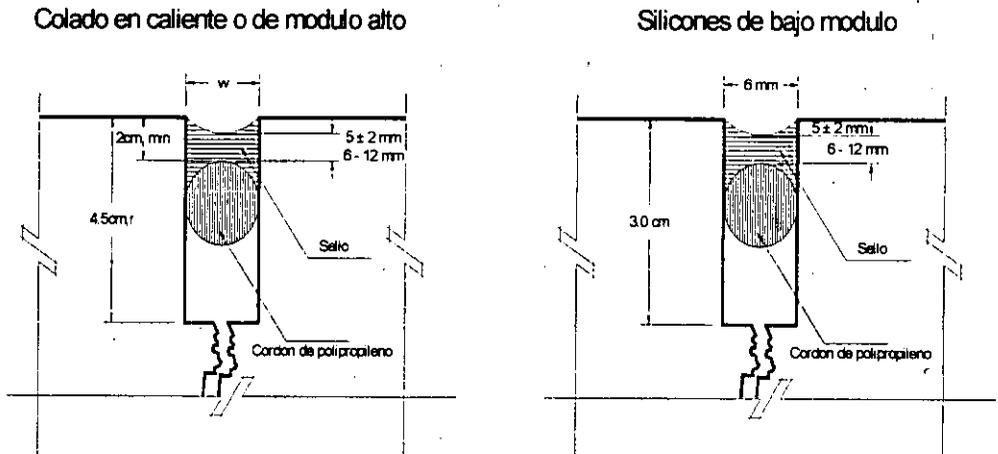
En su gran mayoría el sellante aplicado en caliente se puede deformar hasta en un 20 % del ancho original de la caja. Los silicones y los materiales de bajo módulo elástico en general, pueden deformarse hasta un 100 %. Sin embargo, la mayoría de fabricantes recomiendan no demandar deformaciones en campo superiores al 50 % del valor nominal.

En factores de forma se deberá tomar en cuenta que el material sellante deberá quedar ligeramente abajo del lecho superior de la losa.

Para el caso de la caja receptora de sello prefabricado, será necesario considerar las temperaturas esperadas y, los movimientos de las losas. El sello de compresión deberá trabajar en el rango de 20 a 50 %.

Para el diseño de este tipo de sellante, el primer paso será calcular el movimiento de los extremos de las secciones de la losa (Ec. 2.23); posteriormente se seleccionará el sellante prefabricado que pueda absorber una deformación igual o menor al valor calculado. En el caso de que el movimiento calculado es mayor a la compresión admisible del sellante prefabricado, entonces se deberá escoger un sellante más deformable.

FIGURA 2.1.7 DETALLES DE LA CAJA RECEPTORA DEL SELLANTE



Cargas (mm)	Zona	
	Frio	Templado
w	12	9

## DIFERENCIAS EN COMPORTAMIENTO

Uno de los problemas más observados en el caso de sellos aplicados en caliente, como los productos asfálticos, es que si se aplican con factores de forma muy grandes, esto quiere decir que cuando los cortes no se ensanchan lo suficiente, provocan que se generen esfuerzos de tensión considerables, al tender a separarse las losas por la acción de la temperatura.

Para el caso de juntas profundas y delgadas es común la falla por cohesión del sellante; esto se debe a que no se alcanza a limpiar adecuadamente la ranura hecha por el corte. De igual forma, es importante que al verter el sellante, éste no se sobrecaliente, ya que puede perder sus propiedades elastoméricas. Sin embargo, al enfriarse el material puede ya no lograr la cohesión que se supone tendría, o podría ya no proporcionar la adhesión sobre las paredes que recomienda el fabricante.

Para el caso de sellantes aplicados en frío, tales como los silicones, la limpieza y secado de la ranura, fondo y sus paredes, es crucial. Esto ocurre porque si se encuentra sucia la ranura, no existe completa adherencia entre las paredes del corte y el sellante, y como consecuencia viene un deterioro acelerado que ello implica al ser solicitado el pavimento por tránsito. Muchos problemas de desmoramientos en la zona de juntas se debe a la pérdida de adhesión con la paredes de la ranura.

Para verificar la calidad del sellante ya instalado es mediante una espátula chata. La prueba consiste en insertar la espátula en la junta y efectuar pequeños giros mientras se observa su respuesta. Por lo general es suficiente efectuar de cinco a seis intersecciones de la espátula, distribuidas de manera arbitraria, en una misma junta. Si se observa cierta resistencia a la inserción, ello indicará buena adherencia; de lo contrario, si la espátula penetra sin esfuerzo, esto indica que la adhesión sellante-pared es defectuosa. De igual forma se pueden hacer inspecciones adicionales sobre la presencia de sólidos, contaminantes finos, etc. a los lados y fondo de la caja receptora.

## SELLOS PREFABRICADOS

Este tipo de sellos trabaja exclusivamente a compresión, por lo que se sugiere que nunca estén más allá del 20 al 50 % de su deformación nominal. La profundidad de la caja receptora tiene que ser mayor que el sello ya comprimido.

En general, el ancho del sello debe ser del doble de la caja, para el caso de que el sello premoldeado sea menor que esta última, entonces podemos anticipar que los cambios de temperatura provoquen aberturas en las juntas, y con esto se pierda el efecto de compresión. Para el éxito o el fracaso del sellante premoldeado radica en sus propiedades elásticas, o más específicamente, de su respuesta ante la remoción de carga o rebote elástico. Este tipo de sello a lo largo de su vida útil estará trabajando a tensión.

### INSTALACION DE LA TIRA DE RESPALDO

Después de que la ranura de corte este limpia y seca, así como sus ensanches para formar sus cajas de sello, se procede a la colocación del cordón o tira de respaldo. Este elemento evita que el sellante fluya hacia debajo de la losa y se pierda la trabazón entre las caras de la grieta, de igual forma el factor de forma. Existen tres tipos básicos de estos elementos.

- *Espuma de polietileno*: es moderadamente compresible, y no absorbe agua. Puede fusionarse con sellantes aplicados en caliente, por lo que su uso se restringe a los sellantes colocados en frío.
- *Espuma entrelazada de polietileno*: consiste en una serie de celdas moderadamente compresible y unidas entre sí, que no absorben agua y son compatibles con sellantes aplicados en caliente.
- *Poliuretano*: espuma de celda abierta que absorbe agua. No se mezcla con el material sellante aplicado en caliente, es muy compresible. Se utiliza en la conjunción de sellantes aplicados en caliente.

El tamaño de estos cordones depende de la geometría de las cajas que lo alojarán. Se busca siempre que entren a presión, comprimidos al 25 %, a fin de que penetren adecuadamente en la ranura, pero que al mismo tiempo se garantice contacto permanente con las paredes del corte.

Una clasificación gruesa de los diferentes materiales disponibles para este propósito se muestran en la Tabla 2.2:

Las pruebas que se realizan en los sellantes es para buscar que el material permanezca con sus propiedades elastoméricas durante el mayor tiempo posible, ante diferentes condiciones ambientales. La mayoría de las pruebas incluyen sólo movimientos en una sola dirección

Algunas de las pruebas más comunes son:

- D 224-81 Mide la dureza en la superficie de hules o goma
- D 412-83 Mide la resistencia al rompimiento de un material elástico, tales como el hule, en Kg/cm<sup>2</sup>
- D 412-83 Mide la elongación máxima antes del rompimiento, según la D412
- D 412-83 Mide la cantidad de esfuerzo para producir cierta deformación. Se aplica esfuerzo hasta que la muestra sufre la deformación preestablecida. Se lee entonces el esfuerzo necesario en kg/cm<sup>2</sup>.

Los sellantes en operación no sólo se verán sujetos a acciones horizontales, sino también a esfuerzos cortantes en la dirección vertical. Esto ocurre cuando pasa un vehículo y existe una cavidad bajo la losa en la zona de juntas

TABLA 2.2. CLASIFICACIÓN DE ALGUNOS SELLANTES

Tipo de Material	Riesgo del Índice de efectividad	Promedio de calificación de la efectividad	Comentarios
Cemento asfáltico	Pobre o bueno	3.5	No penetra; la junta debe rellenarse con frecuencia
Emulsiones	Muy pobre a pobre	3.22	Estacional. Debe ser sellada muy seguido
Asfalto ahulado. Aplicado en frío	Bueno	4	Se requiere mucha mano de obra
Asfalto ahulado	Bueno a muy bueno	4.12	Larga duración, relativamente
Emulsión asfáltica ahulada	Buena a muy buena	4.50	Datos limitados. Se ha comportado muy bien
Juntas premoldeadas	Regular a buena	3.50	Hasta esta fecha se han comportado bien. No se tiene mucha información
Silicón Dow 888	Bueno a muy bueno	4.60	
Tiras premoldeadas	Pobre a muy buena	3.60	Es costosa
Otras (PVC, poliuretano, etc.)	Muy pobre a pobre	3.25	
Alquitran	Muy pobre	1	Poca vida útil. Muy rígido
Escala de calificación: 5 Muy buena; 4 Buena; 3 Regular; 2 Pobre; 1 Muy pobre			

### 2.1.11 DRENAJE EN EL CONJUNTO SUBBASE-ACOTAMIENTO-LOSA

El agua que pudiese acumularse en la interfase losa-superficie de apoyo, y en particular el agua que no puede salir fácil en las orillas o extremos del pavimento, ocasiona problemas severos en la estabilidad de este.

En términos de la erosionabilidad de sub-base o acotamientos, podemos decir que existen reglas básicas para evitar fuertes deterioros en la superficie de apoyo de las losas:

- Para fines prácticos, los finos, por la abrasión en las orillas de las juntas, pueden ser despreciados como agentes indeseables en la erosionabilidad de la capa de apoyo o en la capa de sub-base en particular.
- Se debe mantener el sellante impermeable en la zona de juntas, a fin de evitar el ingreso y movimiento de finos vía agua hacia los acotamientos o a otras zonas adyacentes de la losa
- El movimiento o migración de finos de capas inferiores hacia el lecho inferior de las losas se puede evitar diseñando y construyendo una capa sub-base granular para drenar.

Una de las formas de evitar erosión, es a través de acotamientos pavimentados, lo cual, dependerá de los análisis de costo entre lo que implica colocarlos, o bien, el costo por un deterioro más rápido debido a que no existe el confinamiento lateral producto del acotamiento.

En la actualidad el empleo de acotamientos pavimentados parece ser obligado en el caso de autopistas o caminos con tránsito muy pesado, así como en áreas en donde las salidas y accesos a caminos de primer orden ocurren a poco espaciamiento.

## **2.2 ASPECTOS TEORICOS Y FUNDAMENTOS DE DISEÑO**

### **2.2.1 GENERALIDADES**

Los métodos de diseño de pavimentos rígidos, al igual que los flexibles, han experimentado transformaciones importantes a lo largo del tiempo. Desde aquellos primeros métodos de diseño de tipo empírico de principios de siglo, que eran basados en un sistema de clasificación de suelos o en pruebas de resistencia que eran igualmente empíricas, hasta la época actual, esos métodos se han visto enriquecidos por las múltiples aportaciones de importantes investigadores, resultado de los experimentos realizados en tramos de prueba, entre los que se destaca; "La Prueba Nacional de Carreteras".

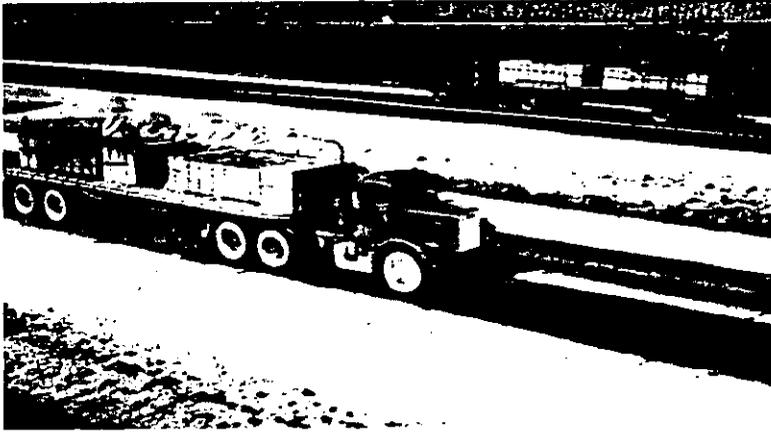
La prueba nacional de carreteras, fue concebida y patrocinada por la Asociación Americana de Carreteras Estatales Oficiales (AASHO), en los Estados Unidos de Norteamérica y cuyos primeros resultados se incorporaron en 1962 a la tecnología de los pavimentos. Esta investigación ha sido la prueba más grande y amplia de la historia.

Como parte del objetivo principal, de la prueba, se encontraba el determinar las relaciones significativas entre un número de repeticiones de ejes con cargas específicas, de diferente magnitud y disposición, y el comportamiento de diferente espesor de superficies de concreto asfáltico, concreto simple de cemento portland, y concreto reforzado de cemento portland adecuadamente diseñados y construidos sobre diferentes espesores de bases y subbases, cuando se colocan sobre el suelo de características conocidas.

Los pavimentos de la Prueba de Carreteras se construyeron en circuitos a lo largo de una sección de 8 millas (12.87 kilómetros) de una futura autopista Interestatal. Había cinco circuitos de tráfico. Los circuitos de 3 al 6 servían para camiones ligeros. El circuito 1 se utilizó para una serie de pruebas no relacionadas con el tráfico.

Cada circuito consistía de dos largas carreteras paralelas conectadas en los extremos por retornos. Las secciones de prueba de los pavimentos estaban localizadas en las secciones rectas o en las tangentes de pruebas de cada circuito. Figura. 2.2.1.

**FIGURA 2.2.1 PRUEBA AASHO**



Como parte de las conclusiones obtenidas de dicho proyecto se pueden mencionar los factores que afectan el comportamiento de un pavimento. De acuerdo con el Reporte Especial 61E de HRB (Consejo de Investigación de Carreteras), los factores que afectaron significativamente el comportamiento de las secciones de prueba fueron éstos:

Para el concreto:

- Número, magnitud y disposición de las cargas sobre un eje aplicadas. Espesor de la superficie de concreto.
- Las variables que no fueron significativas en el comportamiento de las secciones de prueba del concreto incluyeron el espesor de la subbase y la presencia o ausencia de acero de refuerzo.
- El buen comportamiento del pavimento de concreto puede obtenerse a partir de diseños que recurren a la resistencia inherente del concreto mismo, y no confiándose en el peralte de las sub-bases o en el acero de refuerzo distribuido.

Esta prueba fue el parteaguas para el diseño de pavimentos, que aunado a la introducción de las computadoras, permitieron la utilización de sofisticados instrumentos y equipos de ensayo, medición y procedimientos de análisis como el método del elemento finito, el desarrollo de métodos de diseño más avanzados, como los denominados mecanístico-empíricos, los cuales tienen una componente teórica, basada en un modelo estructural y una componente empírica, basada en resultados de laboratorio y observaciones de comportamiento en el campo, con los cuales se configura un modelo de comportamiento.

Con respecto a los modelos estructurales de la parte mecánica, estos, están más avanzados que los modelos de comportamiento de la parte empírica; Los primeros están basados generalmente en una teoría mecánica, como por ejemplo la Elasticidad, mientras que los segundos son producto de ecuaciones de regresión, que pueden dar lugar a dispersiones importantes, por lo que requieren un especial cuidado en la calibración y revisión para así asegurar una concordancia satisfactoria entre la predicción y la realidad, aspecto fundamental para el desarrollo confiable del método. Los modelos así desarrollados permiten evaluar la influencia de la variación de los espesores de las capas, de las cargas aplicadas, la influencia del medio ambiente, la introducción de nuevos materiales, la predicción del comportamiento del pavimento a través del tiempo, la aplicación de medidas de rehabilitación, así como su vida remanente, permitiendo obtener un mayor nivel de confianza en el diseño. Estos métodos parecen ser los procedimientos de análisis más promisorios hoy en día tanto para el diseño como para evaluación de pavimentos.

En la actualidad, la tecnología permite calcular los estados de esfuerzos, deflexiones y deformaciones unitarias, aplicando las leyes físicas disponibles, de acuerdo con alguna forma de respuesta mecánica: elástica, viscoelástica, etc. En lo referente a los modos de falla, los métodos de diseño generalmente están calibrados para considerar la ocurrencia de algunos de ellos, aunque no todos, tal es el caso de las fallas por desintegración o por reducción de resistencia al derrapamiento, pues son generalmente cubiertos mediante los diseños de las mezclas y especificaciones de materiales y de construcción. Sin embargo los valores críticos, límite o terminales que definen una condición de falla, son establecidos en el diseño, teniendo en cuenta aspectos estructurales y funcionales, como por ejemplo la servicialidad, la cual está ligada con la rugosidad de la superficie del pavimento. (La curva de degradación correspondiente a este parámetro indica la forma en que disminuye la calidad de rodamiento a través del tiempo, hasta alcanzar los valores límite seleccionados, para indicar que el pavimento se encuentra en condiciones inadecuadas de servicio, los cuales dependen de la categoría o de la carretera).

### Introducción

Los primeros métodos de dimensionamiento de pavimentos de concreto se basaban exclusivamente en consideraciones de fátiga mecánica, determinando mediante fórmulas matemáticas el espesor del mismo de forma que las tensiones producidas por las cargas en el pavimento no permitieran el fenómeno de fatiga.

El inconveniente de dichos métodos era que no tomaban en cuenta una serie de factores de gran influencia en la durabilidad del firme, tal como gradientes térmicos, condiciones de drenaje del firme, erosionabilidad de la base, existencia de pasadores en las juntas, etc. Empezaron a desarrollarse métodos empíricos, basados en el comportamiento en servicio de los pavimentos, paralelamente los avances en los métodos de análisis y en los ordenadores permitieron ir incorporando a los procedimientos de cálculo nuevos parámetros. La combinación de ambos sistemas, esto es, la utilización de métodos analíticos y el ajuste de sus resultados mediante observaciones de tramos reales, ha llevado a una serie de países al desarrollo bien de catálogos de estructuras de firme o bien de curvas de proyecto; de forma que entrando en ellos con el tráfico de proyecto y el tipo de

explicada pueda obtenerse directamente el espesor necesario de pavimento, así como los de las capas inferiores base y subbase, que sea necesario disponer.

Todo este cúmulo de experiencia ha permitido que los métodos actuales de diseño de pavimentos se inclinen por el concepto mecanístico-empírico, el cual aplica los modelos estructurales para calcular las respuestas de los pavimentos, así como el desarrollo de modelos de deterioro para predecir el comportamiento del pavimento a partir de las respuestas estructurales.

Posteriormente los esquemas de predicción de comportamiento son calibrados a partir de evaluaciones y observaciones del comportamiento de pavimentos que se encuentran en servicio. En la concepción de los modelos estructurales se hacen intervenir los aspectos teóricos que involucran esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones, así como la influencia de la temperatura y el tiempo con apoyo de herramientas modernas como el Método del Elemento Finito y los programas de computación, lo que ha simplificado notablemente el procedimiento de análisis teóricos. Para los modelos de deterioro y de predicción de comportamiento, en especial a la fatiga y las deformaciones permanentes, estos se derivan de análisis de regresión, que frecuentemente presentan importantes dispersiones, siendo sin embargo muy necesarios para la permanente calibración del método de diseño.

Los métodos de diseño han simplificado en una gran medida los procedimientos de aplicación, haciendo uso de tablas, nomogramas y elementos de cálculo relativamente sencillos, además de programas de computadora, mediante los cuales se pueden efectuar rápidamente estudios de alternativas y análisis de sensibilidad, incluyendo sus costos, lo que permite obtener un panorama completo del problema con la información para la toma correcta de decisiones.

Aunado a esto se menciona que existen conceptos que deben ser tomados en cuenta por el proyectista, ya que corresponden a la necesidad que se manifiesta con respecto a los requerimientos de los pavimentos.

- Mayores niveles de seguridad y comodidad para el usuario
- Materiales y superficies de rodamiento más durables y resistentes
- Requerimientos de mínima conservación
- Menor nivel de ruido dentro de la carretera y en el entorno
- Y mejor apariencia

## **2.2.2 FACTORES A CONSIDERAR EN EL PROYECTO**

El objetivo de un proyecto es la optimización desde el punto de vista funcional de la estructura, así como en su resistencia, incluyendo los costos globales como son el de construcción, conservación, rehabilitación y operación, en un periodo de tiempo que generalmente oscila entre 30 y 40 años.

Una vez consideradas las características funcionales y estructurales, el proyecto requiere tomar en cuenta los aspectos constructivos. El análisis de los costos debe ser complementado con una previsión del comportamiento del pavimento en el periodo de diseño, la conservación necesaria y su costo actualizado y, por último punto la estimación de futuros refuerzos estructurales, renovaciones superficiales o reconstrucciones. Además de los costos anteriores, se deben considerar los costos del usuario, relacionados con su seguridad, comodidad y los gastos que originan las demoras en vialidades relativamente congestionadas por los trabajos diversos de conservación y repavimentación.

Para el diseño de los pavimentos existen varios métodos desarrollados por diferentes organismos, cuya aplicación se basa principalmente en los siguientes factores:

### 1. Tránsito.

En este punto interesan las cargas más pesadas por eje (simple, tandem o triple) que se esperan en el carril de proyecto durante el periodo de proyecto, que generalmente es el más solicitado y que determinará la estructura del pavimento. La repetición de cargas y la acumulación de sus efectos sobre el pavimento, como la fatiga son aspectos fundamentales para el cálculo. Además de esto se tendrán en cuenta las máximas presiones de contacto, las sollicitaciones tangenciales en tramos especiales (zonas de frenado y aceleración, curvas, etc.), la canalización del tránsito, etc. El tránsito generalmente se establece como número de ejes acumulados de 8.2 ton (180000 lb), en el periodo de diseño.

### 2. Capa subrasante.

Como parámetro fundamental se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Se debe tomar en cuenta el grado de sensibilidad del suelo a la humedad, considerando la resistencia y las eventuales variaciones de volumen, (expansión-contracción). El parámetro de resistencia que generalmente se utiliza para caracterizar la resistencia de los materiales, es el Valor Relativo de Soporte (CBR) por sus siglas en ingles, actualmente algunos métodos emplean el Módulo de Resistencia, siendo común además correlaciones entre CBR y  $M_R$ .

### 3. Clima.

Se debe tomar en cuenta dentro de la selección de los materiales y en elementos colaterales, tales como el drenaje, el clima prevaeciente de la región. En el diseño de la propia estructura del pavimento interesa la forma en que trabaja bajo efectos de temperatura y humedad. En este rublo son objeto de consideración las temperaturas extremas diarias y estacionales, así como el régimen e intensidad de las precipitaciones. Los aspectos anteriores se les deben de poner mucha atención para los aspectos constructivos.

#### 4. Los materiales disponibles

Dentro de un proyecto, los materiales disponibles son determinantes para la selección de la estructura del pavimento en la forma más adecuada, técnica y económicamente. Por otra parte, se consideran los agregados disponibles en los bancos de materiales de la zona, la calidad requerida, en la que se incluye la homogeneidad, se verifica las cantidades disponibles, suministro y precio, condicionado en gran medida por la distancia de transporte. De igual manera se consideran los materiales básicos de mayor costo, como cementantes, estabilizadores y modificadores, así como la experiencia y habilidad en su manejo y uso.

#### 5. Drenaje y subdrenaje.

El agua es uno de los factores que más influyen en el deterioro de los pavimentos, por tal motivo se le concede gran importancia al rápido desalojo del agua, evitando su concentración tanto en la superficie como en alguna de las capas que constituyen el pavimento, incluyendo la capa subrasante.

Para optimizar el comportamiento del pavimento, el proyectista debe saber que existen diversas formas en que el agua puede entrar a la estructura del pavimento y a la capa subrasante, como grietas, baches y juntas, jardineras y camellones, fugas en los sistemas de agua potable y drenaje, ascensión capilar, posición del nivel freático, etc.

Algunos de los efectos dañinos que el agua produce en los materiales del pavimento, son los de alterar importantes propiedades, tales como:

- Cohesión
- Expansión – contracción
- Erosión
- Grado de compactación
- Corrosión
- Envejecimiento de los asfaltos
- Adherencia entre agregados y asfaltos

Por tal motivo se debe tomar las medidas pertinentes para proponer sistemas de drenaje y subdrenaje que actúen con efectividad.

En el drenaje superficial, se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La pendiente transversal del pavimento deberá ser por lo menos del 1%
- No se deberá admitir depresiones en la superficie que pudieran provocar estancamientos de agua

- El texturizado debe facilitar la expulsión rápida del agua transversalmente
- No deberán existir obstáculos que faciliten el encharcamiento del agua en las bocas de tormenta o rejillas
- Las juntas en el pavimento deberán tratarse adecuadamente
- No deberán permitirse agrietamientos en el pavimento que facilitarán la filtración de agua a las capas inferiores.

De igual manera debe tenerse considerarse la textura superficial que determina la rapidez con que el agua puede escapar de entre la llanta y el pavimento y de igual forma la rapidez con que escurre por la superficie durante la lluvia. El agua en el pavimento puede ocasionar una pérdida del contacto entre la llanta y su superficie, dando origen a la pérdida del control de la dirección del vehículo y a su deslizamiento, fenómeno que se le conoce como hidropneumático o aplanamiento y generalmente ocurre cuando se conduce un vehículo bajo la lluvia a gran velocidad y se forma una lámina de agua sobre la superficie de rodamiento que alcanza un nivel crítico en función de la velocidad del vehículo.

Para minimizar o evitar este efecto, a los pavimentos debe proporcionarse una textura superficial, que debe ser compatible con el medio ambiente, velocidad de circulación, intensidad de tránsito, topografía y características geométricas de vialidad.

#### 6. Otros factores.

Para que el proyecto sea lo más completo posible, se deben considerar algunos factores que en ocasiones afectan de manera muy importante el proyecto, como el entorno urbano, las dimensiones de la obra, la experiencia y equipo de las empresas constructoras, algunas medidas de política general o local, etc.

### 2.2.3 CONCEPTOS DE DISEÑO

Como ya se menciona en el capítulo anterior, el desempeño de un pavimento se refiere a la forma en la cual satisface su objetivo, tanto estructural como funcional, refiriéndonos en primer lugar a los parámetros tales como agrietamiento por fatiga, escalonamiento, etc., y en segundo lugar al nivel de comodidad y de seguridad que brinda el pavimento al usuario que lo recorre, este último ligado íntimamente al nivel de servicio.

El modelo conceptual generalmente aceptado para pavimentos de concreto es una losa apoyada sobre una cama de resortes de constante elástica  $k$ , mismos que están apoyados sobre una base rígida e indeformable, por tal motivo se deberán contemplar las diferentes capas y los materiales que las constituyen.

### Capas y materiales

La sección transversal típica de un pavimento rígido contará con los siguientes elementos estructurales: una losa de concreto como superficie de rodamiento y acotamientos laterales, los cuales podrán ser también de concreto o de algún otro material no erosionable como grava cementada o concreto asfáltico. La subbase puede ser de grava cementada, concreto pobre o simplemente de agregados pétreos. Por último, el terreno de cimentación estará constituido por los materiales predominantes de la región.

Con relación a la función que desempeña cada uno de estos elementos, la losa es el elemento principal; ya que toma casi en su totalidad los esfuerzos del pavimento, transmitiendo esfuerzos relativamente pequeños a las capas inferiores. Con respecto a la subbase, esta tiene la función de proveer un soporte uniforme, estable y permanente a la losa de concreto durante su construcción y vida útil; de igual forma incrementa la capacidad de carga del terreno de cimentación al aumentar la rigidez de la estructura, e impide la migración de finos del terreno de cimentación hasta la superficie de la losa a través de grietas o juntas en la superficie. El terreno de cimentación a su vez sirve como superficie de desplante para toda la estructura del pavimento.

### Drenaje

Las consideraciones de un buen drenaje dentro del diseño estructural de un pavimento son muy importantes; ya que si no se cuenta con un sistema confiable de drenaje, el agua comenzará a penetrar en la estructura del pavimento, saturando las capas que lo constituyen, produciendo la pérdida de soporte tanto de la capa de subbase como la del terreno de cimentación.

### Medio ambiente

Principalmente existen dos factores que afectan significativamente el diseño de una estructura de pavimento rígido, estos son: la temperatura y el binomio humedad/precipitación pluvial.

Los cambios por temperatura en el medio ambiente inducen a la contracción y expansión de la losa de concreto. Este movimiento de losa sobre la subbase genera fuerzas de fricción en la superficie inferior de la losa. De tal manera que la losa de concreto deben ser diseñada para soportar dichas fuerzas de fricción, producidas por las variaciones de temperatura, considerando de ante mano las características de la interfase losa/subbase. Por lo anterior, se requiere saber los rangos de temperatura esperados en la región en donde se localiza el camino para poder considerar estos datos dentro de los modelos de diseño.

La humedad y precipitación pluvial interactúa con la temperatura y con el drenaje, circunstancia que de no ser considerada dentro del diseño, provocará una menor vida de la estructura del pavimento, y como consecuencia un costo mayor de mantenimiento y rehabilitación.

## 2.3 | METODO AASHTO

### 2.3.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen dos métodos que son reconocidos y aplicados ampliamente por diferentes países, esto es por porque experiencia documentada con respecto a sus aplicaciones; estos criterios son el de la American Association of State Officials, AASHTO y el avalado por la Portland Cement Association de Estados Unidos, PCA. A continuación se presenta el método de AASHTO.

A partir de los resultados de la investigación efectuada en el tramo de prueba AASHTO, a finales de los 50's, se desarrollo la "AASHTO Interim Guide for the Design of Rigid Pavement Structures", que fue publicada en 1962, de forma semejante a la publicada en 1961, "AASHTO Interim Guide for the Design of Flexible Pavement Structures". A principios de los 70's, el Organismo modifico su denominación a AASHTO y para el año de 1972 ambas publicaciones fueron actualizadas y presentadas en un solo documento, "AASHTO Interim Guide for the Desing of Pavement Structures", que fue publicada posteriormente con algunas modificaciones en 1981 (con revisión de la parte correspondiente a pavimentos rígidos), apareciendo en 1986 después de ser nuevamente revisada, con el título de "AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures", versión que incluyó muchos cambios así como nuevos conceptos, tales como los de nivel de confianza, análisis de costos en el ciclo de vida y administración de pavimentos. Para 1993 la versión editada corrige y aclara algunos conceptos relativos al proyecto de capas de refuerzo de los pavimentos, y es la versión que se utiliza en este Capitulo para describir el método de diseño propuesto por la AASTHO. Cabe hacer la aclaración que la versión de la "AASHTO Guide for the Desing of Pavement Structures" se actualiza cada cinco años, siendo la más reciente la publicada en 1998.

### 2.3.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Este método se basa en los resultados experimentales obtenidos de la prueba realizada en Ottawa, por AASTHO.

El objetivo primordial de los tramos de prueba fue el de obtener relaciones y correlaciones confiables entre el comportamiento de pavimentos diseñados con los mismos criterios, apoyados en suelos similares y en condiciones de tránsito exactamente iguales, se construyeron tramos con carpetas asfálticas, losas de concreto sin refuerzo y otras con refuerzo continuo. Fueron seis circuitos en total y en todos se establecieron pasadas de camiones con características y geometrías conocidas.

Los materiales empleados para bases y subbases fueron bien controlados y hechos con espesores preestablecidos. Para el caso de pavimentos rígidos se colocaron losas directamente en el terreno natural y en espesores variables de la capa subbase granular.

Para poder medir la influencia de las propiedades físicas y mecánicas de las capas que constituyen el pavimento en su comportamiento ante las cargas y condiciones ambientales, se realizaron correlaciones entre el CPS (Calificación Presente del Servicio) con las mediciones y observaciones físicas del pavimento. De esta forma se pudo pronosticar las propiedades físicas del pavimento en función del CPS. El resultado de esta calificación se denominó como Índice Presente de Servicio IPS.

Dentro de las dos primeras conclusiones, resultado de la prueba, tenemos:

- En todos los niveles de carga por tránsito, un mayor número de secciones de pavimento rígido se comportaron con buenos índices de servicio. Las secciones de pavimento flexible fallaron con bajos números de repeticiones. El índice de servicio de estas últimas secciones fue también muy bajo en la mayoría de los casos.
- El número de repeticiones de carga de diferente nivel aceptado por las secciones de pavimento rígido con un comportamiento adecuado es independiente de los espesores de la capa subbase. Lo mismo puede decirse cuando el pavimento de concreto cuenta con refuerzo y cuando no. Según se observó en las pruebas, el refuerzo de secciones de concreto no tuvo mayor influencia en cuanto al número de repeticiones aceptadas por dichas secciones, para buenos índices de servicio.

Este método está dentro de la clasificación de los procedimientos de diseño basados en ecuaciones de regresión desarrolladas a partir de los resultados de tramos de prueba, sin embargo, en la actualidad está adquiriendo un carácter mecanístico, al introducirse en el procedimiento, conceptos como los módulos de resistencia y elásticos de los materiales.

En esencia, el procedimiento incluido en la Guía AASTHO determina el espesor  $D$  de un pavimento para que éste pueda soportar el paso de un número  $W18$  de ejes equivalentes de 18 Kilolibras (8.2 tn) sin que se produzca una disminución en el índice de servicio superior a un cierto valor  $D$  PSI.

La ecuación original de regresión obtenida a partir de los resultados de la prueba AASTHO ha sido modificada, principalmente en los valores de las constantes de regresión, con base en la teoría y la experiencia.

La ecuación para pavimentos rígidos presentada en 1993 es la siguiente:

Ec.2.28

$$\log(E-18) = Z_R \cdot S_o + 7.35 \cdot \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right]}{1 + \frac{1.624 \cdot 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \cdot p_t) \cdot \log\left[\frac{S_c \cdot C_d \cdot (D^{0.75} - 1.132)}{21563 \cdot J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}}\right]}\right]$$

Donde:

E-18 = Número admisible de ejes equivalentes de 18000 lbs

$Z_R$  = Desviación normal estándar (fráctil de la ley normal asociado al nivel de fiabilidad con el que se desea  
Proyectar el pavimento.

$S_o$  = Desviación estándar integral (desviación estándar que combina por una parte la desviación estándar media de los errores de predicción del tráfico durante el periodo de proyecto, y por otra la desviación estándar de los errores en la predicción del comportamiento del pavimento —expresado en eje equivalente de 18 Kips al alcanzar un determinado índice de servicio terminal).

D = Espesor de la losa del pavimento (en pulgadas).

PSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal ( $p_o - p_t$ )

$P_o$  = Índice de servicio inicial

$P_t$  = índice de servicio terminal

$S_c$  = Módulo de ruptura del concreto, lb/pulg<sup>2</sup>

$C_d$  = Coeficiente de drenaje

J = Coeficiente de transferencia de carga

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto, lb/pulg<sup>2</sup>

$K$  = Módulo de reacción de la subrasante, lb/pulg<sup>3</sup>

La ecuación anterior se resuelve por medio de un nomograma mostrado en la Figura 2.3.1. En la figura se muestra el nomograma de diseño para pavimentos rígidos, utilizando valores medios en todas las variables (AASHTO, 1986). En la actualidad ya se cuenta con programas de cómputo que resuelven esta ecuación bajo los criterios de diseño.

Las consideraciones en las que se basa el diseño de este método son:

#### Comportamiento del pavimento

- Funcional
- Estructural
- Seguridad

La *funcionalidad* encaminada a la seguridad y comodidad con que el pavimento sirve al usuario. Como resultado de la prueba de Ottawa surgió el concepto de *servicialidad-comportamiento*. Aunado a esto quedó definido como índice de servicio, con una calificación que va del 1 al 5 de Intransitable a Excelente respectivamente.

Lo anterior conduce a que si se desea utilizar este método, se deberá de considerar las características específicas bajo las cuales trabajará el pavimento, sean ambientales y de intemperismo, para así definir los índices de servicio inicial y final.

En lo *estructural* se refiere a las características físicas que son resultado de las sollicitaciones, tales como agrietamientos, fisuraciones por fatiga, etc.

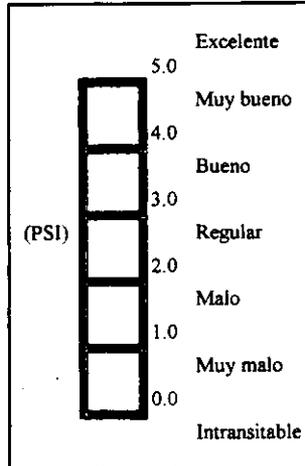
## 2.3.3 FACTORES DE DISEÑO

### SERVICIALIDAD

De acuerdo con la AASTHO, la *serviciabilidad* de un pavimento es “su habilidad para proporcionar un servicio adecuado al tipo de tránsito que lo usa, sea automóvil o camión”. En el tramo de prueba se desarrolló una escala con valores que van del 0 al 5 representando diferentes niveles de calidad de servicio, en función del grado de deterioro superficial del pavimento, manifestado por la rugosidad de su superficie, definiendo el concepto de Índice de Servicio Actual (PSI, Present Serviciability Index), con los niveles indicados en la tabla. Es importante señalar que los niveles 0 y 5 muy rara vez son alcanzados.



TABLA 2.3 ESCALA DEL INDICE DE SERVICIO ACTUAL (PSI)



El índice de servicio inicial,  $p_0$ , representa la condición del pavimento inmediatamente después de su colocación o rehabilitación. Con las técnicas modernas de construcción, control y supervisión, en los pavimentos de concreto de alta calidad se han alcanzado valores iniciales de 4.7 a 4.8 recomendándose tomar un valor de 4.5 para efectos de diseño, cuando no se cuente con mejor información. En los pavimentos del ensayo AASHTO  $p_0$  alcanzó un valor medio de 4.5 en las soluciones rígidas, y de 4.2 en las flexibles.

En cuanto al índice de servicio terminal,  $p_t$  debe basarse en el índice más bajo que pueda ser tolerado antes de sea necesario efectuar una rehabilitación, un refuerzo o una reconstrucción, esto es cuando el pavimento requiere de algún tipo de rehabilitación para iniciar un nuevo ciclo de vida. El valor del índice de servicio terminal está relacionado con la importancia de la carretera o elemento, los valores típicos recomendados para diferentes tipos de utilización, pero el proyectista podrá adoptar el que considere conveniente para un caso en particular. Se sugiere para el mismo un valor de 2.5 o incluso superior para las carreteras de mayor tráfico y de 2.0 para tráficos menos importantes, tal como lo muestra la tabla 2.4.

Como consecuencia de lo anterior, el parámetro que indica la diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta PSI = P_0 - P_1$$

Ec. 2.29

Por lo tanto es recomendable que el índice  $p_0$  alcance el mayor valor posible con el objeto de incrementar el ciclo de vida del pavimento, lo cual depende de la aplicación de correctas técnicas de construcción, control y supervisión.

**TABLA 2.4 VALORES TERMINALES TÍPICOS PARA EL ÍNDICE DE SERVICIO TERMINAL**

Pt	Clasificación
3.00	Autopistas
2.50	Carreteras principales, arterias urbanas
2.50	Carreteras secundarias importantes, calles comerciales e industriales
2.00	Carreteras secundarias, calles residenciales y estacionamientos

Se considera que el tránsito no es el único factor que reduce con el tiempo el índice de servicio. Existen algunos otros factores de tipo ambiental influyen para la reducción de dicho índice, como el tipo de suelo del terreno natural, condiciones de drenaje, etc, cuyo efecto debe considerarse para determinar el espesor de pavimento necesario para soportar el efecto combinado del tránsito y factores ambientales. A falta de mejor información y elementos para definir el valor de la reducción producida por factores ambientales,  $\Delta PSI_{SW-FH}$ , puede esperarse que tal valor se encuentre entre 0.0 y 0.7, empleándose la siguiente expresión para valorar la pérdida de índice de servicio total:

$$\Delta PSI = \Delta PSI_{TR} + \Delta PSI_{SW-FH} \quad \text{Ec. 2.30}$$

donde:

$\Delta PSI_{TR}$  = Pérdida del índice de servicio debida al efecto del tránsito

$\Delta PSI$  = Pérdida de índice de servicio total en el ciclo de vida considerado ( $p_0 - p_1$ )

$\Delta PSI_{SW-FH}$  = Pérdida del índice de servicio debida a factores ambientales

Un punto a considerar en el diseño del pavimento, es el de tratar de reducir al máximo o nulificar la pérdida de índice de servicio debida a factores ambientales, lo cual debe ser motivo de medidas que tome el proyectista para reducir el posible efecto adverso de los factores ambientales.

### TRÁNSITO, W-18

Al igual que otros métodos, en necesario considerar en el diseño una distribución de tránsito lo más apegado posible a la realidad, así como tasas de crecimiento. Para el caso

del método AASTHO, una característica principal es la transformación de las cargas de ejes de todo tipo de vehículos a cargas por ejes sencillos equivalentes de 18 Kips

Para poder aplicar el método AASTHO se requiere la transformación a ejes sencillos de 18000 lb (8.2 ton, ó 18 kips) de los diferentes pesos y configuraciones que circulan sobre el pavimento a lo largo del periodo de proyecto ó ciclo de vida. Para ello, en la Guía se han incluido una serie de tablas con los factores de conversión, las cuales dependen de varios parámetros: Clase de firme (flexible o rígido), tipo de eje (simple, tándem, tridem), magnitud de la carga en el eje, índice de servicio final y, en el caso de pavimentos rígidos, espesor de la losa del pavimento. Para estos últimos se han preparado nueve tablas, combinando cada uno de los tres tipos de ejes con tres valores del índice de servicio final, 2.0, 2.5 y 3.0.

En general, los factores de las tablas se ajustan aproximadamente a la ley:

$$N_i = \left( \frac{P_i}{1B} \right)^4$$

Ec. 2.31

El exponente puede oscilar entre valores cercanos a 4: 3'8, 4'5 . . .

Para determinar el número de ejes acumulados equivalentes de 18000 lb (E-18 ESAL), el proyectista debe conocer las características del tránsito que circulará sobre el pavimento en el ciclo de proyecto, esto es, número y tipos de vehículos clasificados de acuerdo a una tipología determinada, las cargas correspondientes a cada tipo de eje, tasa de crecimiento prevista, período o ciclo de proyecto y número de carriles.

Se debe tomar en cuenta la distribución del tránsito transversalmente, considerando el número de carriles de la vialidad, de acuerdo con la tabla 2.5

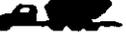
**TABLA 2.5 PORCENTAJE DE TRÁNSITO ( $W_{18}$ ), EN EL CARRIL DE DISEÑO**

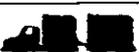
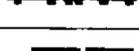
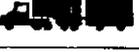
Número de carriles en cada dirección	Porcentaje del número de ejes equivalente en el carril de diseño.
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

### TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS

En la tabla 2.6 se indican los diferentes tipos de vehículos autorizados por la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes), para circular por las vialidades nacionales.

**TABLA 2.6 TIPOLOGÍA DE VEHÍCULOS AUTORIZADOS POR LA SCT PARA CIRCULAR POR LAS VIALIDADES NACIONALES**

Designación		Vehículo	Peso por eje, ton				
			1	2	3	4	5
A2		Automóvil	1.0	1.0			
A'2		Camión ligero con capacidad de carga hasta de 3 ton.	1.7	3.8			
B2		Autobús de dos ejes	5.5	10.0			
B3		Autobús de tres ejes	5.5	14.0-D			
B4		Autobús de cuatro ejes	7.0 D	14.0-D			
C2		Camión de dos ejes	5.5	10.0			
C3		Camión de tres ejes	5.5	18.0-D			
C4		Camión de cuatro ejes	5.5	22.5-T			
T2-S1		Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje	5.5	10.0	10.0		
T2-S2		Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes	5.5	10.0	18.0-D		
T3-S2		Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes	5.5	18.0-D	18.0-D		

T3-S3		Tractor de tres ejes con semirremolque de tres ejes	5.5	18.0-D	22.5-T		
C2-R2		Camión de dos ejes con remolque de dos ejes	5.5	10.0	10.0	10.0	
C3-R2		Camión de tres ejes con remolque de dos ejes	5.5	18.0-D	10.0	10.0	
C3-R3		Camión de tres ejes con remolque de tres ejes	5.5	18.0-D	10.0	18.0-D	
T2-S1-R2		Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje y remolque de dos ejes	5.5	10.0	10.0	10.0	
T2-S2-R2		Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes	5.5	10.0	18.0-D	10.0	10.0
T3-S1-R2		Tractor de tres ejes con semirremolque de un eje y remolque de dos ejes	5.5	18.0-D	10.0	10.0	10.0
T3-S2-R2		Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes	5.5	18.0-D	18.0-D	10.0	10.0
T3-S2-R3		Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de tres ejes	5.5	18.0	18.0	10.0	18.0
T3-S3-R4		Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de cuatro ejes	5.5	18.0	18.0	18.0	18.0

D = eje doble o tandem

T = eje triple o tridem

PERIODO O CICLO DE PROYECTO

Un pavimento se diseña, no para que dure un número  $x$  de años, si no que se proyecta para soportar una determinada carga. Este punto es importante, ya que el determinar la magnitud del ciclo de proyecto, intervienen el número de ejes equivalentes deberá acumularse en dicho ciclo. Generalmente se consideran periodos de diseño de 10 a 20 años, lapso en el cual se espera que el pavimento alcance el índice de servicio terminal elegido. Dicho periodo puede ser asignado por el Organismo que requiere el proyecto o bien puede ser propuesto por el proyectista, en función de su experiencia, tipo de carretera, etc, pudiendo utilizar como guía los presentados en la tabla 2.7.

**TABLA 2.7. PERIODOS O CICLOS DE PROYECTO DE ACUERDO CON EL TIPO DE VIALIDAD**

Tipo de Vialidad	Periodo de proyecto en años
Urbana, con elevado nivel de tránsito	30 - 50
Principal, con elevado nivel de tránsito	20 - 50
Secundaria, con bajo nivel de tránsito	15 - 25

CONFIABILIDAD ( $R$ ,  $Z_R$ ,  $S_0$ )

La confiabilidad se refiere a la probabilidad estadística de que el pavimento cumpla con la vida de diseño establecida. Por lo general, el comportamiento de un pavimento a lo largo del tiempo se representa por medio de una curva, pues representa la forma en que el pavimento pierde progresivamente alguna de sus cualidades, siendo un caso la servicialidad. La ecuación de diseño propuesta por el AASHTO define que la forma de la curva de comportamiento del pavimento atendiendo al concepto de servicialidad, con un nivel de confianza ( $R$ ) de 50%. El nivel de confianza para un proyecto en especial, debe seleccionarse de acuerdo con el tipo e importancia de la carretera o vialidad, teniendo en cuenta lo recomendado en la tabla 2.8. Se debe notar que los valores mayores se recomiendan para vialidades sujetas a un uso intenso y con mayores exigencias de un mantenimiento mínimo.

**TABLA 2.8. NIVELES DE CONFIANZA SUGERIDOS PARA DIFERENTES TIPOS DE VIALIDADES Y CARRETERAS.**

Tipo de vialidad	Nivel de confianza	
	Vialidades urbanas	Carreteras
Autopistas y carreteras de primer orden	85 - 99.9	80 - 99.9
Carreteras y vialidades principales	80 - 99	75 - 95
Carreteras y vialidades secundarias	80 - 95	75 - 95
Vialidades de acceso y calles en general	50 - 80	50 - 80

Los niveles de confianza propuestos indican propiamente el porcentaje del área comprendida en la curva de distribución normal de servicialidad, a la derecha del nivel de

confianza elegido. La distribución entre el valor medio, equivalente a un nivel de confianza  $R = 50\%$  y el correspondiente al nivel de confianza elegido para un caso en particular, es igual al producto  $Z_R * S_0$ .

En donde:

- $S_0$  Desviación estándar total, que considera el monto del error estadístico incluido en la ecuación, como resultado de la variabilidad inherente a los materiales y a la construcción.
- $Z_R$  Desviación normal estándar para la distribución normal, para un nivel de confianza determinado.

El valor de  $S_0$  es difícil de determinar, ya que requiere conocer la desviación estándar para cada parámetro involucrado, teniendo en cuenta las condiciones locales, razón por lo cual se ha considerado a  $S_0$  dentro de un rango entre 0.3 y 0.4, recomendándose un valor de 0.45, para tomar en cuenta además el error relativo a la predicción del tránsito.

Con respecto al parámetro  $Z_R$ , su valor depende del nivel de confianza elegido, pudiendo determinarse en tabla de tipo estadístico. Para efectos de su aplicación práctica, la tabla 2.9 presenta los valores de  $Z_R$  para los niveles de confianza recomendados en la tabla 2.8.

**TABLA 2.9 RELACIÓN ENTRE EL NIVEL DE CONFIANZA Y LA DESVIACIÓN NORMAL ESTANDAR,  $Z_R$**

Nivel de confianza, R	Desviación normal estándar $Z_R$	$Z_R S_0$
50	0.00	0.0
75	-0.674	-0.236
80	-0.841	-0.294
85	-1.037	-0.363
90	-1.282	-0.449
95	-1.645	-0.576
99.9	-3.090	-1.082

#### COEFICIENTE DE DRENAJE ( $C_d$ )

La experiencia en el camino de los pavimentos a permitido reconocer la importancia que tiene el agua, siendo uno de los factores principales que contribuyen al deterioro de los pavimentos, ya sea por la saturación y reducción de la resistencia de los materiales de las capas subrasante y de subbase, o por favorecer el fenómeno de bombeo con expulsión de las partículas finas de las bases granulares a través de grietas y juntas, lo que conduce a una degradación de la capacidad de soporte estructural, oxidación y envejecimiento de las

carpetas asfálticas, e inestabilidad y agrietamientos por cambios volumétricos debidos a cambios de humedad. En climas fríos ocurre el fenómeno de congelamiento-deshielo.

En la versión del año de 1986, la Guía intentó reconocer la importancia del drenaje, haciendo invertir un coeficiente ( $m_i$ ), que pretende tomar en cuenta los efectos de buenas o malas condiciones del drenaje en el diseño del pavimento. El valor depende de dos parámetros: la calidad del drenaje, que viene determinada por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo a lo largo del año durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad aproximándose a la saturación. Este último depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje. Para mejorar las condiciones de drenaje, se sugiere el empleo de subdrenes y capas de subbase permeable, para prevenir además el bombeo prematuro y los deterioros asociados en el pavimento.

La guía define cinco calidades de drenaje, de acuerdo con la tabla 2.10

**TABLA 2.10 CALIDADES DE DRENAJE**

Condición de drenaje	Lapso transcurrido para que el suelo sea drenado hasta alcanzar el 50 % de saturación
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	7 días
Mala	1 mes
Muy mala	infinito

Para seleccionar el valor del coeficiente  $m_i$ , se deben considerar las condiciones de saturación a que están expuestas las capas de subbase y capa subrasante, debiendo consultarse la tabla 2.11, para determinar el valor del coeficiente en cada caso particular.

Combinando las variables anteriores indicadas se recomienda adoptar para  $C_d$  los valores indicados en la Tabla 2.11.

**TABLA 2.11 VALORES RECOMENDADOS DEL COEFICIENTE DE DRENAJE ( $C_d$ ), PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS**

Condición del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento se encuentra expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25 %
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Buena	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Mala	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy mala	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Para el caso de que  $m_i = 1$ , se estima que las condiciones del drenaje no causen ningún impacto en el espesor del pavimento; si es menor que la unidad, el espesor se incrementa y para valores superiores a la unidad, el espesor decrecerá.

### PROPIEDADES DEL CONCRETO ( $S'_c$ , $E_c$ )

La resistencia a la flexión del concreto que se utiliza, corresponde a la resistencia determinada a los 28 días de edad, en especímenes en forma de viga, aplicando cargas en los tercios del claro (AASHTO T-97 o ASTM C-78). Sin embargo, existen correlaciones de este valor de resistencia, con los obtenidos efectuando otro tipo de ensaye, como el de la resistencia a la flexión en viga con carga aplicada al centro del claro (AASHTO T-177, ASTM C-293), o en pruebas de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (AASHTO T-22, ASTM C-39), efectuadas a los 28 días de edad, en ambos casos. Las ecuaciones de correlación son las siguientes:

$$S'_c = (0.85) S_c \text{ (carga al centro)} \quad \text{Ec. 2.32}$$

$$S'_c = C (f'_c)^{0.5}$$

Donde:  $S'_c$  = resistencia a la flexión a los 28 días, aplicando cargas en los tercios del claro, lb/pulg<sup>2</sup>.

$S_c$  = (carga al centro) resistencia a la flexión a los 28 días, aplicando carga al centro del claro, lb/pulg<sup>2</sup>.

$C$  = constante de correlación, con valores entre 7 y 10 para concreto utilizados en pavimentos.

$f'_c$  = resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de concreto, lb/pulg<sup>2</sup>.

Al respecto, se trata de correlaciones que deben ser calibradas en cada caso y que su uso no deja de tener un cierto margen de error.

El valor de  $S'_c$  de la resistencia del concreto, debe ser considerado como un valor promedio, en el cual se tome en cuenta 1) Un determinado porcentaje admisible de pruebas de resistencia que produzcan valores inferiores al nivel especificado y 2) la desviación estándar de las pruebas de resistencia, de tal manera que el valor de  $S'_c$  puede calcularse por medio de la siguiente expresión:

$$S'_c = S_c + Z(\sigma) \quad \text{Ec. 2.33}$$

Donde:  $S'_c$  = resistencia mínima especificada, lb/pulg<sup>2</sup>  
 $\sigma$  = desviación estándar estimada de los resultados de pruebas, lb7pulg<sup>2</sup>.  
 $Z$  = desviación normal estándar, correspondiente al porcentaje de valores admisibles menores que la resistencia especificada.

Los valores de  $\sigma$  dependen de la variabilidad del concreto en la zona o en la planta, principalmente y se obtiene de los registros de control de producción. Si se desconoce este dato, se puede establecer mediante correlaciones, ya que la información al respecto establece que para los concretos elaborados en camiones mezcladores, la desviación estándar varía entre 7 a 13 porciento de la resistencia promedio y para concreto elaborado en planta, este parámetro varía entre 5 y 12 porciento de dicha resistencia.

Con respecto a los valores de  $Z$ , estos se derivan de datos estadístico y se presentan en la tabla 2.12.

**TABLA 2.12. VALORES DE LA DESVIACIÓN NORMAL ESTANDAR, EN RELACIÓN CON EL PORCENTAJE DE ESPECÍMENES CON RESISTENCIA MENOR QUE LA ESPECIFICADA.**

Porcentaje de especímenes con resistencia menor que la especificada	z
20	0.841
15	1.037
10	1.282
5	1.645
1	2.327

#### MÓDULO DE ELASTICIDAD ( $E_c$ )

El módulo de elasticidad es una propiedad del concreto que se considera en la ecuación de diseño, si bien tiene un efecto menor en el espesor de las losas. Puede determinarse este parámetro siguiendo el método ASTM C469, aunque en general se recurre a correlaciones, como las establecidas por el ACI:

$$E_c = 57000 (f'_c)^{0.5} \quad \text{Ec.2.34}$$

$$E_c = 6750 S'_c$$

Donde:  $f'_c$  = resistencia a la compresión a los 28 días de especímenes cilíndricos, lb/pulg<sup>2</sup>.  
 $S'_c$  = resistencia a la flexión a los 28 días, aplicando cargas en los tercios del claro, lb/pulg<sup>2</sup>.

Debe tenerse presente el carácter estadístico de estas correlaciones y así como que existe un razonable margen de error. El rango en que típicamente varía  $E_c$ , se encuentra entre 2 y 6 millones, lb/pulg<sup>2</sup>.

### COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J)

Este factor se introduce para tener en cuenta la capacidad del pavimento de hormigón para transmitir las cargas a través de las discontinuidades (juntas o grietas).

Dentro de los tres tipos básicos de pavimentos de concreto mencionados en el capítulo anterior, existen diferencias en la forma en que se pretende controlar el desarrollo natural de los agrietamientos, existiendo para cada caso, diferentes niveles de transferencia de carga de uno a otro lado de una grieta o junta en el pavimento

Los tres tipos de pavimento son los siguientes:

- 1.- Pavimentos sin esfuerzo ni pasajuntas en las juntas transversales, en los cuales la transferencia de cargas depende únicamente de la fricción entre los agregados en las caras de las grietas, o bajo la grieta formada por un corte en la losa para formar una junta serrada. Este tipo de pavimento se recomienda generalmente para casos en que el volumen de tránsito es de tipo mediano o bajo (menos de 120 semitrailers por día), sin embargo también se aplica a casos de carreteras importantes.
- 2.- Pavimentos con pasajuntas en las juntas transversales, pudiendo incluir además la utilización de una malla de refuerzo.
- 3.- Pavimentos con refuerzo continuo, en el cual no existen juntas, diseñándose el refuerzo para que las grietas se mantengan cerradas.

Por lo tanto, el valor de J depende de varios factores:

- El tipo de pavimentos, esto es en masa, armado con juntas, con armadura continua, etc.
- La existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas, ya sea pasadores, armaduras en los pavimentos armados continuos.
- El tipo de arcén, de hormigón cosido al pavimento o flexible.

La presencia de guarniciones o cunetas integradas a las losas, acotamientos de concreto unidos por pasajuntas a las losas, o bien losas con un ancho mayor a manera de acotamiento integrado, aspectos que aumentan el efecto de soporte en la orilla de las losas, incrementando a su vez la eficiencia de la junta, con la consecuente mejoría en el comportamiento de los pavimentos. En la tabla 2.13 se presentan los valores de J recomendados para cada uno de los tipos de pavimento antes mencionados, debiendo hacer notar que este parámetro también depende del tránsito esperado.

TABLA 2.13 COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CARGA

Millones de ejes equivalentes	Con pasajuntas y reforzada con malla		Junta sin pasajuntas (fricción entre agregados)		Con refuerzo continuo		Tipo de pavimento
	No	Si	No	Si	No	Si	
Hasta 0.3	3.2	2.7	3.2	2.8	-	-	Calles y caminos vecinales
0.3 - 1	3.2	2.7	3.4	3.0	-	-	
1 a 3	3.2	2.7	3.6	3.1	-	-	
3 a 10	3.2	2.7	3.8	3.2	2.9	2.5	Caminos principales y autopistas
10 a 30	3.2	2.7	4.1	3.4	3.0	2.6	
Más de 30	3.2	2.7	4.3	3.6	3.1	2.6	

1) Las condiciones de soporte lateral incluyen carriles con ancho mayor que 4 m, acotamientos de concreto unidos con pasajuntas corrugadas así como cunetas o guarniciones integradas o unidas con pasajuntas corrugadas.

j) Módulo de reacción (K) y módulo de reacción combinado ( $k_c$ )

Para el diseño de los pavimentos rígidos se requiere determinar la resistencia de la subrasante, expresada como módulo de reacción K, determinado mediante pruebas de placa (AASHTO T222). Se le conoce también con el nombre de módulo efectivo de la explanada y depende de los siguientes factores:

- módulo de resistencia de la explanada
- el espesor de la subbase
- el módulo de elasticidad de la subbase

El módulo se expresa como el cociente entre la presión aplicada a la placa y la deflexión producida en ella. De esta manera, la subrasante puede ser modelada como un conjunto de resortes ligados a una placa, (cimentación de Winkler) por lo que el parámetro K es denominado "constante de resorte" en algunas ocasiones. Las pruebas de placa son relativamente costosas y complicadas en su realización, por lo que su utilización es limitada y normalmente el valor del módulo es estimado, puesto que es ocasiones no es posible disponer de la capa subrasante ni de la capa de subbase, si es que se va a construir esta capa. Por lo anterior, es usual recurrir a correlaciones del valor de este módulo con los correspondiente a pruebas más accesibles (CBR, valor R de Hveem, etc.), como las mostradas en la figura 2.1.3, o tomar valores conservadores obtenidos de la tabla 2.14 (siguiente). Cabe señalar que un error en la consideración del valor K, puede presentar relativamente poca importancia en el cálculo del espesor de la losa aplicando la ecuación del diseño del método AASTHO, por ejemplo, un error de 100 % en el valor de k,

únicamente significa una diferencia de alrededor de un centímetro en el rango de espesores típicos de losas de pavimentos.

**TABLA 2.12. RELACIONES ENTRE TIPO DE SUELO Y VALORES DE SU RESISTENCIA**

Tipo de suelo	Resistencia			
	Rango de resistencia de la subrasante	Módulo de reacción, k lb/pulg <sup>3</sup>	Módulo de resistencia, M <sub>R</sub> lb/pulg <sup>2</sup>	CBR %
Limos y arcillas de alta compresibilidad, en estado natural	Muy baja	50-100	1000-1900	< 3
Limos y arcillas de baja compresibilidad	Baja	100-150	1900-2900	3 -5.5
Arenas mal graduadas y suelos arenosos	Media	150-220	2900-4300	5.5-12
Suelos con grava, arena bien graduadas y mezclas de grava y arena sin finos plásticos.	Alta	> 220	4300-4850	> 12

Se recomienda, que el método de elasticidad de una subbase granular no exceda de 4 veces la explanada sobre la cual su apoya

- En el caso de bases tratadas con cemento, la resistencia a compresión a los 7 días
- En el caso de una base asfáltica, la estabilidad de Marshall

Adicionalmente a las variables que intervienen en la ecuación del cálculo del espesor del diseño, se deben de considerar otros factores que están involucrados de una forma directa e indirecta y que si se toman en cuenta de una manera adecuada, se puede llegar a construir un pavimento adecuado, estos factores son:

#### Fatiga

La fatiga, no es otra cosa que la sumatoria de las relaciones de daños, definidos estos como la relación entre el número de repeticiones de carga estimadas o pronosticadas y el número de cargas admisibles. Relacionado el número de cargas admisible con la relación entre el esfuerzo a flexión y el módulo de ruptura. Para el caso de concretos de concreto, la ausencia de acero de refuerzo y juntas transversales de contracción pueden provocar el agrietamiento transversal y longitudinal en las losas, iniciándose primeramente en las orillas de las losas aproximadamente a la mitad de la distancia entre las juntas transversales, mientras que los segundos se inician en las juntas transversales de las ruedas, que tienden a coincidir con la trayectoria más cercana al eje longitudinal de la losa, de manera que se puede considerar que los agrietamientos transversales son el resultado de la aplicación entre juntas transversales, y los longitudinales son producto de la aplicación de cargas próximas a las juntas transversales debido a que los esfuerzos mayores se producen

en estos lugares. De tal manera que cuando se integran a las losas un acotamiento y se suministran pasajuntas en las juntas transversales, se reduce considerablemente la magnitud de dichos esfuerzos críticos.

El análisis por fatiga se basa en los esfuerzos desarrollados en el borde de la losa, a la mitad de la distancia entre dos juntas transversales las que se encuentran tan alejadas de ese punto, que no producen prácticamente efectos adicionales. Si se consideran cargas aplicadas en la proximidad del borde de la losa, se toma en cuenta la posición que produce los esfuerzos críticos. A medida que las cargas se desplazan hacia el interior de la losa, los esfuerzos disminuyen considerablemente, pero aunque la frecuencia de aplicaciones de carga aumente hacia posiciones alejadas del borde, la magnitud de los esfuerzos producidos disminuyen.

### Erosión

Los deterioros asociados a estos fenómenos están relacionados en su gran mayoría a la magnitud de las deflexiones producidas por el paso de los vehículos sobre el pavimento, produciéndose las deflexiones críticas cuando una carga es aplicada en una esquina, formada por el borde de la losa y una junta transversal.

### Otros aspectos involucrados en el diseño

Para el diseño de un pavimento rígido es necesario considerar otros aspectos fuera del espesor de la losa y que revisten gran importancia para el buen funcionamiento del pavimento, y que por lo tanto deben ser considerados por el proyectista e incluir recomendaciones, así como lineamientos, planos y especificaciones del proyecto. Los conceptos se mencionan a continuación;

- Tipo de junta, su ubicación y forma de transferencia de carga, materiales para sello
- Espesor y tipo de subbase y capa subrasante
- Tipo de acotamiento
- Drenaje y subdrenaje
- Texturizado
- Curado
- Rugosidad
- Resistencia al derrapamiento

## 2.3.4 EMPLEO DE GRAFICAS DE DISEÑO

La ecuación 2.28 se puede utilizar para preparar gráficas de diseño para rangos típicos de algunos parámetros, como en las gráficas siguientes. En ellas se utilizaron los siguientes valores:

- Modulo de elasticidad del concreto,  $E_c = 2.82 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$
- Índice de servicio inicial,  $p_i = 4.5$
- Índice de servicio final,  $p_f = 1.5$
- Coeficiente de transferencia de carga, con y sin guarnición y camellón = 3.2 y 4.2, respectivamente
- Desviación estándar,  $S_o = 0.35$
- Coeficiente de drenaje,  $C_d$ , con guarnición y camellón = 1.05, sin guarnición ni camellón = 1.0.

Para poder obtener los espesores de diseño se establecen los siguientes pasos:

- 1.- Evaluación de tránsito
- 2.- Establecer los parámetros de diseño
- 3.- Determinación del espesor de la losa

Antes de emplear cualquiera de las gráficas de diseño que se muestran, se necesita primeramente un índice de confianza adecuado a la vialidad. Se tendrá muy en cuenta aspectos como la importancia del pavimento, la frecuencia con la cual se puede interrumpir el tránsito para realizar reparaciones. Los espesores para niveles de confianza de 50 % se presentan como referencia únicamente. Se recomienda utilizar valores de  $R$  siempre mayores a 75 % o incluso más para el caso de calles. Los valores bajos de  $R$  son justificables sólo en algunos estacionamientos.

Los valores del módulo de reacción serán conocidos con anticipación, y se basarán en los estudios geotécnicos disponibles o estimaciones a partir del conocimiento de los suelos existentes en la zona. Para los valores de ruptura se fijarán de acuerdo con los registros de los resultados de las empresas premezcladoras o en base a experiencias pasadas.

Las gráficas de diseño que se presentan a continuación fueron preparadas para valores de  $K = 1.4, 2.8$  y  $5.5 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ ; para resistencias a la compresión de 210 y 280  $\text{kg/cm}^2$ . Los niveles de confianza utilizados fueron del 50, 80 y 95 %.

Los pavimentos se comportarán mejor si cuentan con elementos confinantes en sus costados, tales como guarniciones y camellones. Será decisión del diseñador colocar o no guarniciones integrales o ligadas mediante varillas de sujeción. En las curvas de diseño propuestas se tiene la opción de utilizar o no guarniciones y camellones.

#### SECUENCIA DE DIMENSIONAMIENTO

Primeramente, se seleccionará la carta correspondiente al valor del módulo de reacción, K, representativo de las condiciones de apoyo, y de la resistencia a la flexión especificada en el proyecto. Después se proseguirá conforme al siguiente procedimiento:

- En los ejes de las abscisas aparecen los ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton. (ESAL), en una escala que va de 10 mil a 10 millones. En el eje de las ordenadas aparecen dibujados los espesores, para el caso de que el pavimento cuente con guarniciones y camellones. El rango de espesores está entre 10 y 25 cm a tres niveles diferentes de confianza.
- Trace una línea vertical a partir del número conocido de ESAL's hasta interceptar la línea de diseño. Una forma para verificar el orden de magnitud del tránsito de entrada es a través del rango de categoría de vialidad marcado sobre la línea referida.
- Para el caso de emplear pavimentos sin guarniciones o camellones, esto es, sin confinamiento lateral, pasar una línea horizontal hacia la izquierda del punto de cruce del párrafo anterior. Seleccionar el espesor de diseño en base al nivel de confianza seleccionado. En el caso de contar con guarniciones y camellones, integrales o ligadas al pavimento, se pasa la línea horizontal hacia la derecha del punto de cruce del paso 2, hasta obtener el espesor del pavimento de la gráfica apropiada según el nivel de confianza adoptada.
- Los espesores así obtenidos son los requerimientos mínimos. Es aconsejable utilizar secciones más robustas para lograr índices de confianza mayores y, reducir costos a mediano o largo plazo.
- Mediante interpolaciones se pueden hacer dimensionamientos para valores diferentes del módulo de ruptura del concreto y de k.

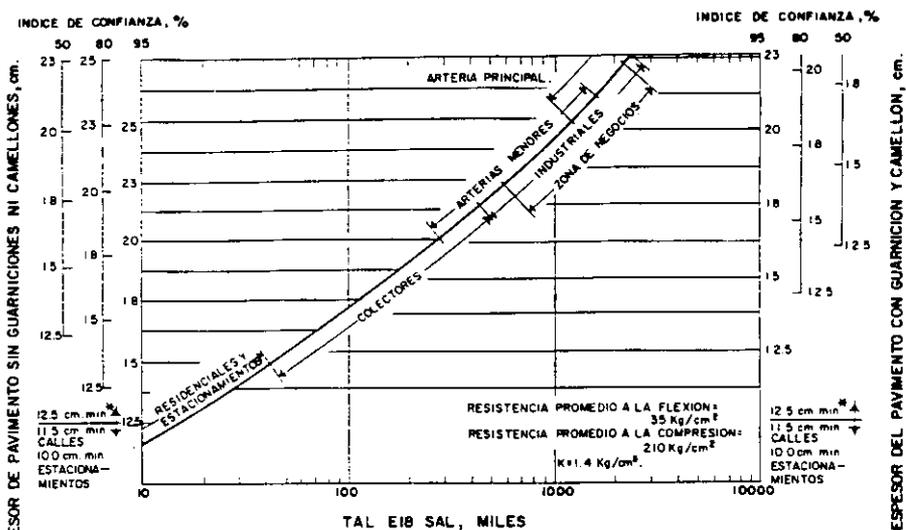
Es importante mencionar que, cuando se tengan suelos naturales muy heterogéneos, mucha incertidumbre en la evaluación del tránsito a ser soportado, y/o niveles de confianza no especificados en la figuras siguientes, se recomienda contar con servicios de ingeniería más especializados.

### 2.3.5 DISEÑO GEOMÉTRICO

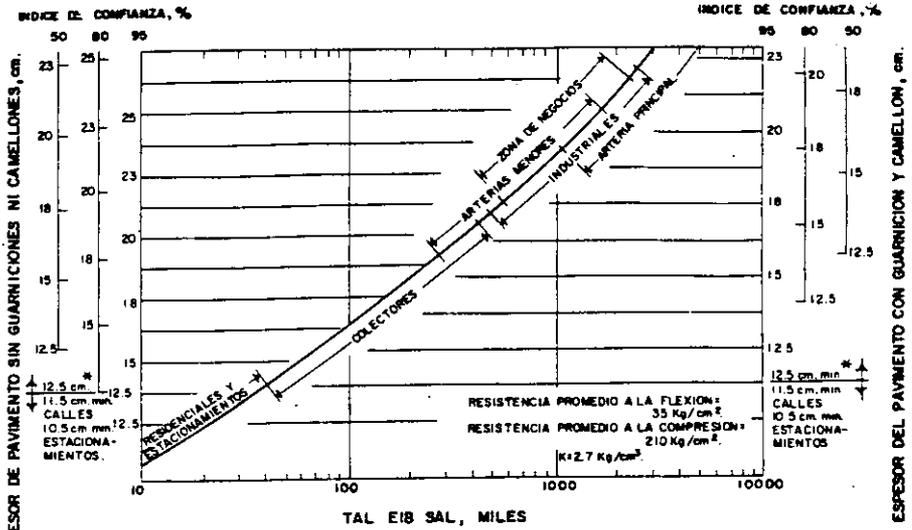
#### PAVIMENTOS URBANOS

- Rasante longitudinal: La elevación mínima respecto a la del proyecto deberá ser del 0.6 %. La rasante máxima será limitada por las capacidades del equipo extendedor.
- Tuberías; es muy frecuente disponer las tuberías en el derecho de vía, fuera de los límites del pavimento, a fin de que las actividades de mantenimiento y reparación no interfieran con este último. La buena planeación permite en las operaciones de mantenimiento, reparación y adiciones de las tuberías por colocar, evitará el levantamiento de los pavimentos, con sus consiguientes costos.

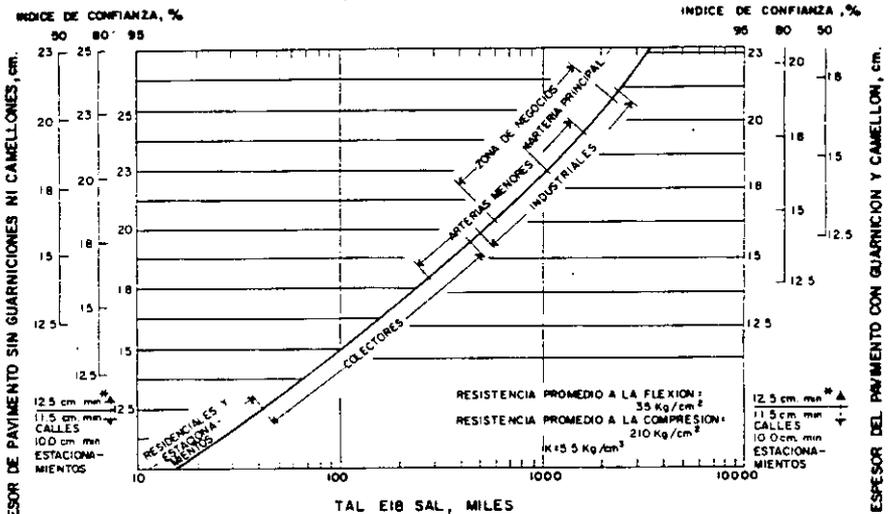
- Guarniciones integrales o sujetadas: aunque es común colocar las guarniciones y camellones de manera separada, es aconsejable utilizar los equipos extendedores que cuentan con dispositivos adaptadores en sus orillas, para que de una sola pasada se coloquen y queden integrados el pavimento y las guarniciones.



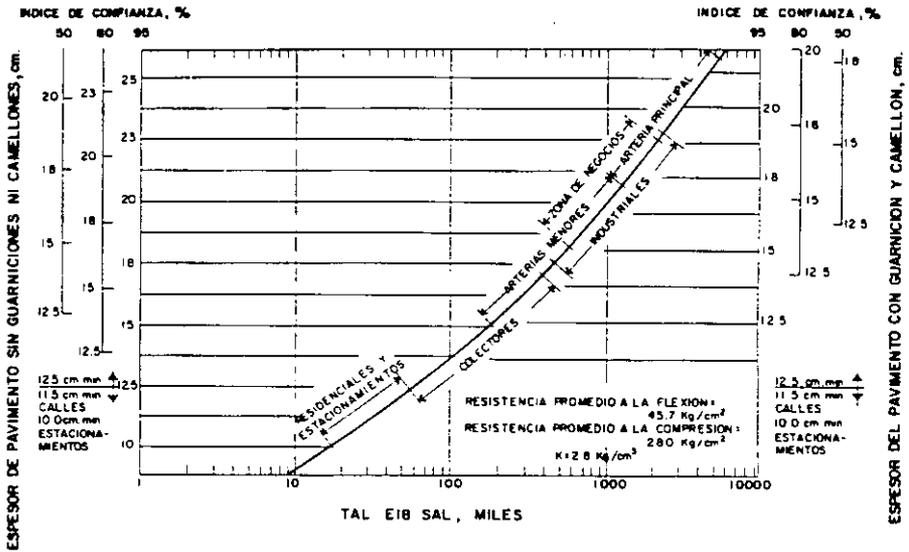
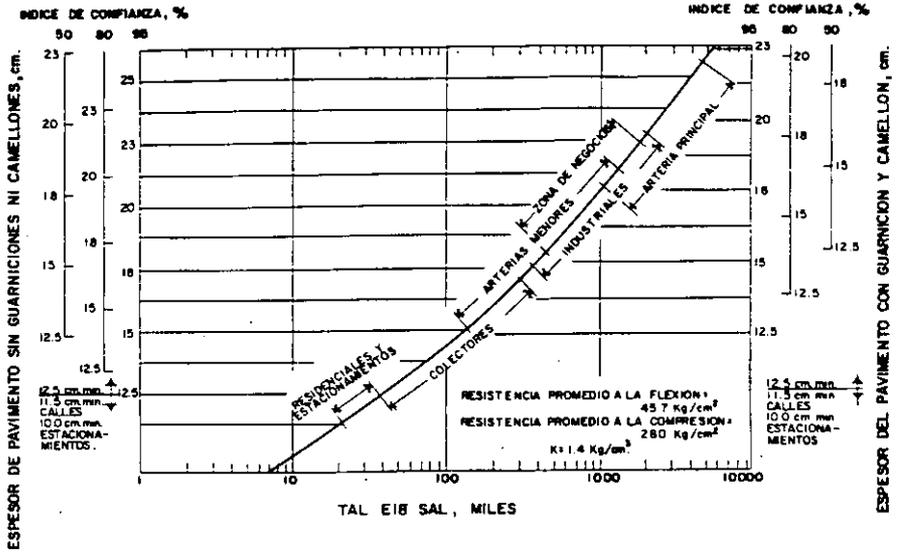
\* ESTOS VALORES MINIMOS SE APLICAN A TODAS LAS CALLES POR ENCIMA DE LA CATEGORIA DE RESIDENCIALES, SIN IMPORTAR TRAFICO O NIVEL DE CONFIANZA

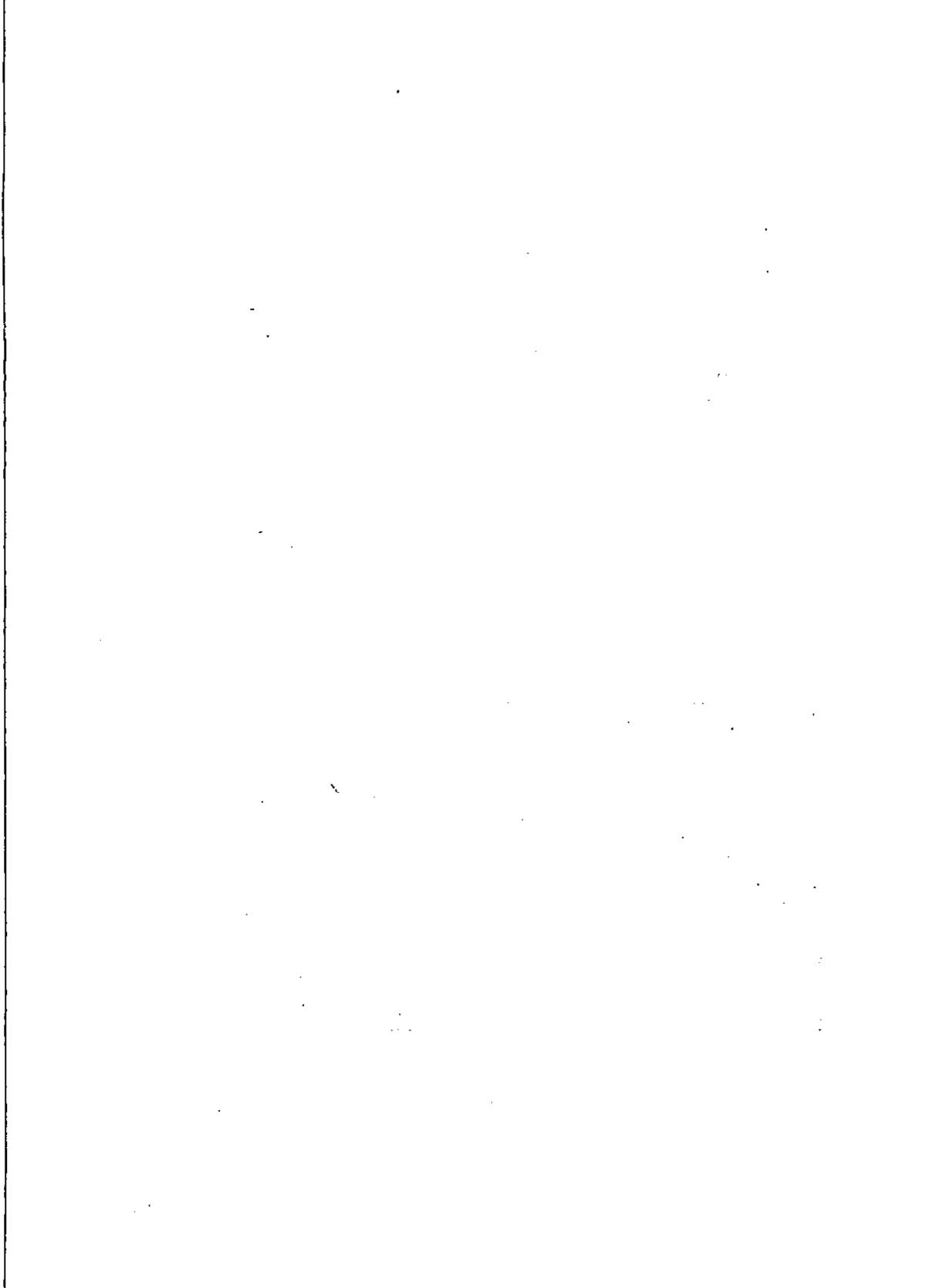


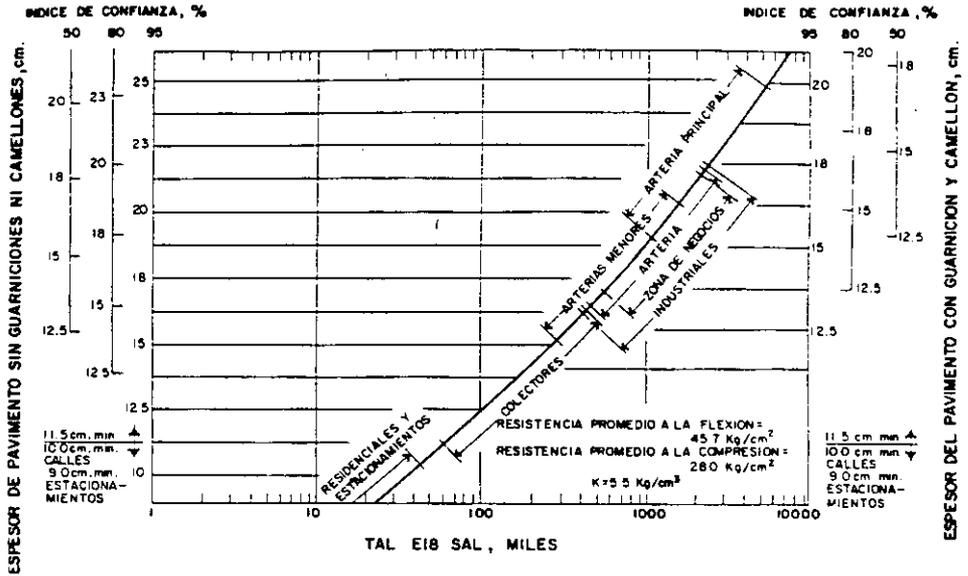
\* ESTOS VALORES MINIMOS SE APLICAN A TODAS LAS CALLES POR ENCIMA DE LA CATEGORIA DE RESIDENCIALES, SIN IMPORTAR TRAFICO O NIVEL DE CONFIANZA.



\* ESTOS VALORES MINIMOS SE APLICAN A TODAS LAS CALLES POR ENCIMA DE LA CATEGORIA DE RESIDENCIALES, SIN IMPORTAR TRAFICO O NIVEL DE CONFIANZA







Un elemento confinante al lado de las orillas del pavimento, o de una ampliación en su sección o secciones críticas (orillas) contribuye a reducir esfuerzos en estas últimas. Esto se ve reflejado en los decrementos de espesores además de en las gráficas de diseño que se muestran.

- Anchos de calle: el ancho de las vialidades dependerá del tránsito que tengan que servir; sin embargo, es común establecer un ancho mínimo del orden de 7 m, con una pendiente transversal del 2 %. Es preferible que no existan variaciones fuertes en anchos y pendientes. Los anchos de 3.0 ya 3.6 m son comunes, ya que anchos mayores presentan mayores riesgos, pues los conductores tratan de rebasar en carriles sencillos más anchos.

Para los carriles de estacionamiento adyacentes a las guarniciones pueden adoptarse los siguientes criterios: 2.4 m para el caso de que predominen automóviles, y de 2.7 a 3.0 m en el caso de que por la vialidad circulen camiones pesados.

No se recomiendan anchos menores para carriles de estacionamiento. Para arterias principales el ancho de estos carriles puede llegar de 3 a 3.7 m, lo que permitirá que sirvan incluso para dar la vuelta.

- Juntas: se realizarán diseños y construcciones e juntas para que éstas trabajen correctamente. Las juntas se construyen para aliviar los esfuerzos y evitar la generación de grietas por tránsito o temperatura. Las juntas de construcción dividen en secciones las losas por requerimientos constructivos y de planeación de obra.

Las juntas longitudinales se utilizan para tender franjas nuevas de losa sobre tendidos ya existentes.

Para el caso de estacionamientos y calles residenciales de bajo volumen se pueden hacer juntas a tope, incluso sin varilla de sujeción, siempre que el espesor mínimo este comprendido entre 10 y 13 cm. El machihembrado no es recomendable en espesores menores de 18 cm.

## 2.4 MÉTODO DE LA PCA

### 2.4.1 INTRODUCCIÓN

El método de la PCA (Portland Cement Association) originalmente fue publicado en 1966, pero en 1984 fue nuevamente presentado en una nueva versión donde eran considerados aspectos adicionales de diseño, estos aspectos fueron:

- Modo de falla por fatiga no tradicionales, como la erosión de la cimentación del pavimento.
- Concreto sin refuerzo como capa subbase.
- Pavimentos sin mecanismos de transferencia de cargas en las juntas transversales (pasajuntas). El trabajo entre juntas se desarrolla por fricción entre los agregados del concreto.
- Acotamientos de concreto.

En sus inicios, el método consideraba el concepto de "resistencia utilizada" del pavimento por las diferentes solicitaciones, como carga y factores ambientales. En el método se calculan los esfuerzos inducidos por cada rango de cargas (por ejes) y se comparan entonces con las resistencias de diseño. A dicha relación se le conoce como relación de esfuerzos.

Al conocer dicha relación, se calcula el número de repeticiones que se permiten para un rango de cargas (por tránsito) dado, valor que se compara con el número de repeticiones esperadas en un periodo de diseño. La relación de estos números (en porcentaje que representa la resistencia consumida o utilizada por el tránsito), no debe nunca exceder 100%.

En la última versión se dan a conocer los conceptos considerados en el diseño:

- **CRITERIO POR FATIGA:** Se utiliza para mantener los esfuerzos inducidos a la losa de concreto dentro de límites aceptables.
- **CRITERIO EROSIÓN:** para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en las zonas críticas, orillas y esquinas, inducida por erosionabilidad de la capa de apoyo en esquinas y orillas. Este enfoque también se introduce para limitar problemas de fracturamiento en zona de juntas, especialmente en pavimentos sin pasajuntas.

## 2.4.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

El método de análisis está basado en el análisis de esfuerzos-deflexiones críticos debido a las posiciones de carga que se muestran en la figura 2.4.1, mediante elementos finitos. En esta metodología se consideran losas finitas, en donde actúan cargas en posiciones diferentes, y se modelan las transferencias de carga losa-losa entre juntas, losa-acotamientos y entre grietas. Para el caso de los pavimentos sin pasajuntas, la transmisión de cargas entre grietas, en juntas machihembradas o en grietas del tipo continuamente reforzado, se modelan mediante la introducción de resortes con rigideces conocidas, basándose en las características carga-deflexión en tales juntas observadas tanto en campo como en laboratorio en zona de juntas.

Para pavimentos con juntas se observó que los esfuerzos se presentan cuando la condición de carga es como las mostradas anteriormente

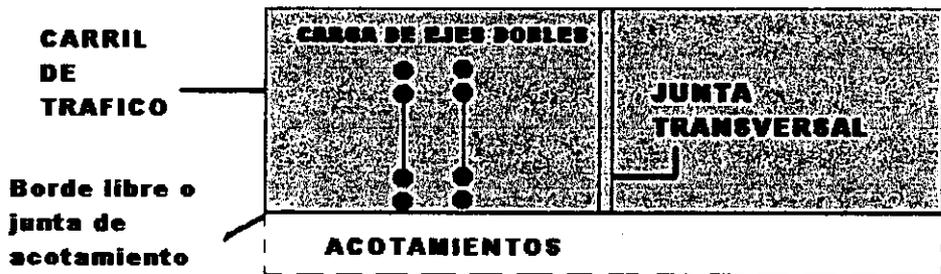
- **Esfuerzos críticos de orilla**

Este esfuerzo corresponde al esquema de la figura 2.4.2, en donde, dada la lejanía relativa a la posición de las caras, las juntas transversales tienen poca influencia en los esfuerzos resultantes. De esta manera, estos últimos son independientes del tipo de mecanismo de transferencia de carga: trabazón de agregados o pasajuntas. La construcción de acotamientos ligados al pavimento reduce significativamente los esfuerzos resultantes en los bordes.

- **Esfuerzos críticos de esquina**

Para este caso, el mecanismo de transferencia de carga en las juntas transversales juegan el papel más importante. Las deflexiones mayores ocurren cuando las cargas se colocan encima de o en las proximidades de las juntas de control. Esto provoca que los resultados afecten y aun definan los criterios de erosión (o de deflexiones permisibles) en el diseño del pavimento. También en esta posición de cargas la opción de construir acotamientos hace que se reduzcan los espesores finales, ya que contribuyen a reducir esfuerzos.

FIGURA 2.4.1 ANÁLISIS POR FATIGA (CRITERIO PCA)



$$D_r = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i}$$

Ec. 2.35

Donde:

- $D_r$  = relación del daño acumulado en el periodo de diseño
- $m$  = total de grupos de carga
- $n_i$  = número pronosticado de repeticiones del grupo de tráfico (cargas) "i"
- $N_i$  = número de repeticiones de carga permisibles del grupo de carga "i"

FIGURA 2.4.2 ANÁLISIS DE EROSIÓN (CRITERIO PCA)



*El método correlaciona:*

Proporción de trabajo ————— Comportamiento

$$\frac{p \cdot w}{\text{Longitud del área deformada}} \qquad \text{Ec. 2.36}$$

donde:

- $p$  : presión en la interfase de la losa – superficie de apoyo
- $w$  : deflexión en la esquina

$$\text{Log } N = 14.524 - 6.777 (C_1 P - 9.0)^{0.103} \qquad \text{Ec. 2.37}$$

- $N$  = número de repeticiones permisibles para un índice de servicio igual a 3.0
- $P$  = proporción de trabajo o potencia
- $p$  =  $k \cdot w$  cimentación líquida o de Winkler

$$P = 268.7 (p^2 / h \cdot k^{0.73})$$

La ecuación del daño por erosión es = Daño por erosión (%) =

$$\sum \frac{C_2 \cdot n_i}{N_i} < 100\%$$

$C_2 = 0.06$  pavimentos sin acotamientos

$C_2 = \text{pav. Con acotamientos ligados al carril}$

### **Pavimentos de Concreto con Refuerzo Continuo, PCRC**

Para estos pavimentos, la separación de los agrietamientos transversales van de 1 a 3 m, con promedios entre 1.2 y 1.5 m. Se utilizaron buenas transferencia de cargas en las grietas en el modelo de análisis con elementos finitos. En este tipo de pavimentos, la posición crítica de las cargas se presenta en bordes y esquinas.

Para espaciamientos grandes de agrietamientos, los esfuerzos críticos en las orillas son del mismo orden que los obtenidos en pavimentos junteados. Cuando la separación es del orden del promedio o inferiores, los esfuerzos resultaron menores.

Para el caso de cargas aplicadas en esquinas, esto es, cuando los espaciamientos de grietas son grandes, las deflexiones son menores que las que se presentan en pavimentos con pasajuntas en juntas transversales. Cuando los espaciamientos van del promedio a grandes, las deflexiones en esquinas resultan del mismo orden que los pavimentos pasajunteados. Cuando los agrietamientos son pequeños (de 1.0 a 1.3 m) las deflexiones calculadas son algo mayores que en el caso de losas con juntas y con dispositivos de transferencia de carga. Esto se acentúa más cuando los ejes son dobles.

Se concluyó que dependiendo de la separación de las grietas en los PCRC, los esfuerzos y deflexiones en orillas y esquinas pueden ser del mismo orden, y en ocasiones mayores o menores a los pavimentos con juntas, con y sin pasajuntas. Por tal razón se recomienda una diferencia en los espesores de diseño resultantes.

### **Posiciones críticas**

Se ha determinado que solo un pequeño porcentaje de los camiones circula estrictamente en las inmediaciones de los bordes del carril extremo de un camino. Generalmente las llantas externas pasan a una cierta distancia de las orillas del carril. El método considera, como resultado de estudios, distancias del orden de 60 cm en pavimento sin acotamientos pavimentados, esto es que el 6 % del total de los camiones pesados circula con el área de contacto externa de la llanta extrema de afuera sobre o en las proximidades del borde del pavimento. Esto es que el 6 % del total del tránsito pesado sobre los bordes provoca el mismo deterioro que el resto de los vehículos que circulan en el carril de diseño.

De hecho conforme se aleja la carga de los bordes, los esfuerzos, se reducen. Por medio de los estudios quedo demostrado que conforme se alejaba la carga respecto al borde, se incrementaba la frecuencia de las pasadas permisibles, y los esfuerzos y deflexiones se reducen en forma importante.

*Algo muy importante, es mencionar que en este método se empleo el 6 % como condición más crítica debido a repeticiones del tránsito pesado en las orillas, esto es que el 6 % del total del tránsito pesado sobre los bordes provoca el mismo deterioro que toda la distribución vehicular que circula en el carril de diseño en dichas zonas.*

*De igual manera se empleo el 6 % para el análisis por erosión. En el caso de que el pavimento no cuente con acotamientos, rige la condición de carga más crítica en las esquinas, el 6 % del tránsito pesado. Si existen acotamientos, entonces el remanente del tránsito que circula hacia el interior de las losas, el 94 % es el provoca la falla por deflexiones excesivas, esto es por erosión.*

Los factores de diseño son los siguientes:

- Tránsito
- Resistencia de diseño del concreto
- Módulo de reacción de la subrasante
- Tipo de acotamientos y juntas transversales
  - Si el acotamiento está o no pavimentado
  - Si existen pasajuntas
- Periodo de diseño
- Criterio de fatiga
- Criterio por erosión

## 2.4.2 TRÁNSITO

El tránsito se define como el número de ejes que pasan por el carril de diseño, clasificado por tipo y carga por eje. Este factor es el más importante para determinar el espesor del pavimento y para determinarlo se toma en cuenta:

- \* La distribución de pesos por eje por cada 1,000 vehículos
- \* Los factores de distribución del tránsito
- \* Las tasas de crecimiento

Como se acostumbra, los tránsitos promedios diarios anuales, (T.P.D.A), se pueden conocer mediante aforos vehiculares; sin embargo estos deberán ser afectados por los factores distribución de carril y los direccionales, así como los de crecimiento.

Para la PCA, los factores por los cuales se deben multiplicar los TPDA's actuales, son los que se muestran en la tabla 2.15, considerando periodos de diseño de 20 y 40 años.

TABLA 2.15 FACTORES PARA TASAS DE CRECIMIENTO

CRECIMIENTO ANUAL EN %	PERIODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS	PERIODO DE DISEÑO DE 40 AÑOS
1.0	1.1	1.2
1.5	1.2	1.3
2.0	1.2	1.5
2.5	1.3	1.6
3.0	1.3	1.8
3.5	1.4	2.0
4.0	1.5	2.2
4.5	1.6	2.4
5.0	1.6	2.7
5.5	1.7	2.9
6.0	1.8	3.2

El factor de crecimiento se ve afectado por lo siguiente:

- Impacto de obra nueva: en este caso, el tránsito se desviará a la nueva vialidad o tramo carretero sabiendo de la existencia de una superficie de rodamiento más segura y cómoda.
- Crecimiento normal de usuarios: es el crecimiento normal del número de usuarios, sencillamente porque aumento la población y número de vehículos.
- Tránsito inducido: se refiere al tránsito que viene a la nueva instalación por recomendación de usuarios comunes. Este tránsito no se hubiera generado si no existiera la obra.
- Tránsito nuevo generado: este tránsito, es producto de la nueva distribución del uso de suelo al construir la vialidad.

Por lo anterior, será conveniente que las dependencias encargadas de planear y ejecutar las carreteras y vialidades, realicen estudios de impacto vial, considerando todos los factores, para de esta forma obtener un factor de crecimiento realista. En el caso de no contar con información confiable, se consideren tasas de crecimiento relativamente altas.

Para el caso de proyecciones a cuarenta años se deberá tomar en cuenta que la tasa de crecimiento supuesta puede no mantenerse a lo largo de la vida de proyecto, por esto se podrá llegar a valores desproporcionados o irreales del tránsito de diseño.

### Distribución de tránsito de acuerdo con los ejes

En este método se utiliza el tránsito ordenado por rangos de cargas por eje, normalmente de 1 ton (aproximadamente 2 kips) para el caso de ejes sencillos, y de 1 y 2 toneladas en ejes dobles. El número de pasadas de un grupo de vehículos dado se representa en miles. Se desprecian los vehículos ligeros (camiones de cuatro llantas, y en general vehículos de dos ejes). Ver tabla 2.16.

### 2.4.3 FACTORES DE SEGURIDAD

Los factores de seguridad empleados son los que se muestran en la tabla 2.17:

TABLA 2.17 FACTORES DE SEGURIDAD DE DISEÑO (PCA)

TIPO DE CARRETERA	FACTOR DE SEGURIDAD
Carreteras con alto volumen de tránsito, sin interrupción	1.2
Carreteras y calles principales con tránsito pesado moderado	1.1
Caminos locales, calles residenciales y otros, con poco tránsito pesado	1.0

### 2.4.4 RESISTENCIA DEL CONCRETO

La resistencia que emplea el método de la PCA, es la resistencia a la flexión a los 28 días.

Para el caso de tránsito pesado, para este método, no gobierna la resistencia del concreto sujeto a fatiga, sino que el diseño queda regido por el criterio de erosión. Para el caso de tránsito medio, el factor resistencia influye en el caso de que se coloquen pasajuntas en las juntas transversales. Para el caso de tránsito liviano el factor determinante para el diseño es el fenómeno de fatiga.

Es común para la práctica, que los pavimentos de concreto se diseñen para resistencia a los 28 días, sin embargo, se sabe que el concreto aumenta su resistencia con la edad; de esta forma, para pavimentos bien controlados, el incremento de la resistencia de concretos a los 90 días en relación a los 28 días, es del orden de 1.13 a 1.25. Por tal motivo, en varios países diseñan con la resistencia del concreto a los 90 días, ya que se acepta que edades tempranas el concreto es poco sólido.

TABLA 2.16 DISTRIBUCIÓN DE TRÁNSITO. DATOS DE EJES CARGADOS

(1) Carga por eje, ton	Ejes por cada 1000 camiones	Ejes por cada 1000 camiones (ajustado)	Ejes en el periodo de diseño
Ejes sencillos			
< - 5	202.12	962.47	10,415,220
5 - 6	25.45	121.17	1,311,220
6 - 7	20.28	96.58	1,045,193
7 - 8	17.35	82.63	894,123
8 - 9	18.5	88.17	953,540
9 - 10	17.85	85.04	920,260
10 - 11	4.14	19.7	213,225
11 - 12	21.56	102.68	1,111,210
12 - 13	15.4	73.32	793,410
13 - 14	11.8	56.21	608,309
14 - 15	3.08	14.70	159,123
15 - 16	1.04	4.96	53,690
Ejes dobles			
< - 11	6.22	29.61	320,420
11 - 12	0.21	1.037	11,220
12 - 13	0.462	2.20	23,845
13 - 14	0.735	3.50	37,896
14 - 15	0.80	3.80	41,114
15 - 16	1.33	6.32	68,414
16 - 17	1.27	6.05	65,420
17 - 18	1.60	7.63	82,568
18 - 19	1.22	5.80	62,860
19 - 20	1.40	6.70	72,413
20 - 21	1.27	6.05	65,420
21 - 22	1.19	5.68	61,413
22 - 23	1.54	7.34	79,420
23 - 24	0.802	3.82	41,320
24 - 25	0.30	1.42	15,420
25 - 26	0.235	1.12	12,113

La tabla es para 11,340 camiones, de los cuales 8,959 son vehículos de dos ejes, de cuatro llantas (79% del total). Este porcentaje es ligero, y en este método se desprecia.

Columna 3, es la columna 2 pero ajustada para tomar en cuenta el tránsito ligero, a saber, los camiones con ejes dobles, de cuatrollantas. Es igual a la Col. 2 / (1 - (79/100)).

Columna 4: Col. 3 x (No de camiones pesados en el periodo de diseño) / 1000. En este caso se utiliza como ejemplo que durante el periodo y carril de diseño en una sola dirección, el número de camiones es de 10,821,374.

## 2.4.6 CRITERIO POR FATIGA

El número permisible de repeticiones de carga de un grupo de cargas dado en función de la relación entre el esfuerzo flexionante y la resistencia a la flexión a los 28 días es conocido como relación de esfuerzos. La curva de diseño entre repeticiones permisibles y la relación de esfuerzos se introduce en los nomogramas de dimensionamiento de pavimentos.

Si un grupo de carga no consume la totalidad de fatiga permisible, el remanente estará disponible para los otros grupos. *La sumatoria de todos los consumos de fatiga nunca deberá ser mayor al 100 %.*

### Curvas de diseño

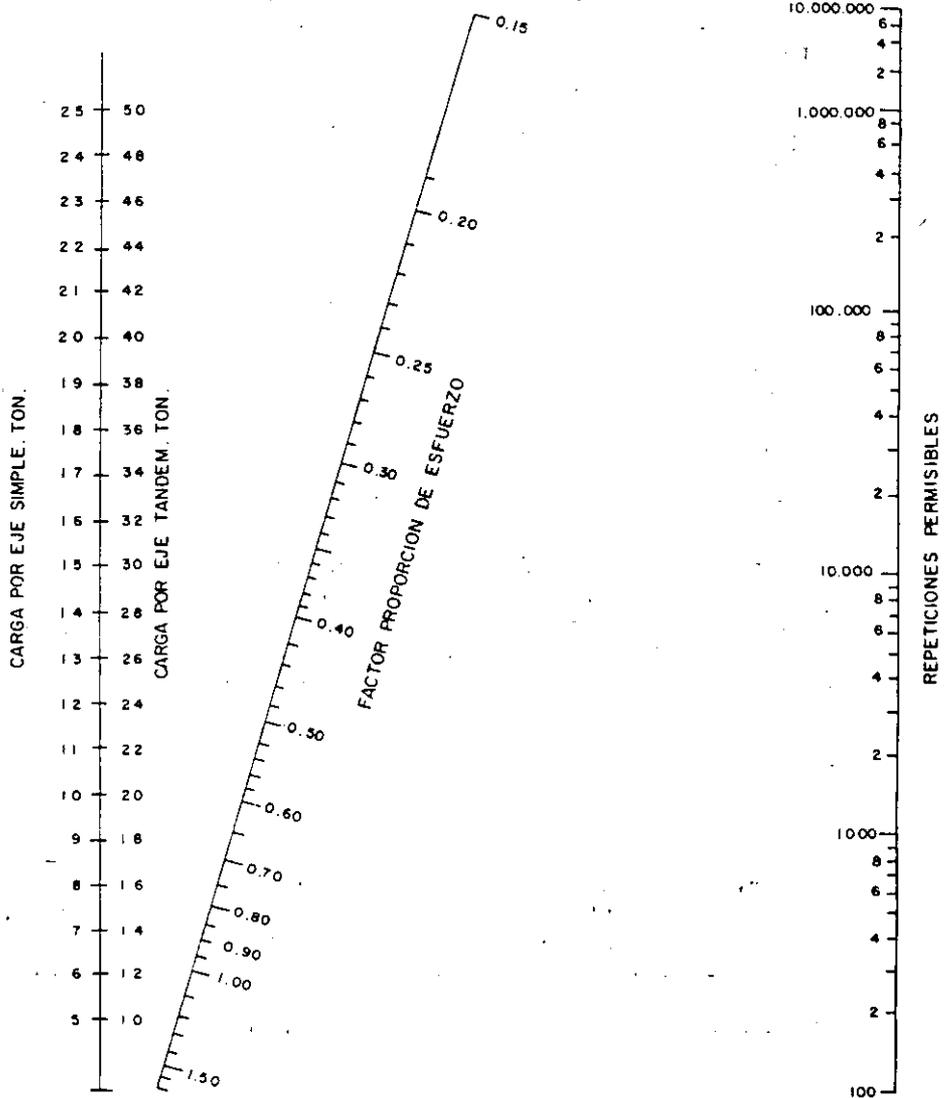
En este método los esfuerzos por fatiga se determinan en las orillas, de manera que los pavimentos sin acotamientos de concreto tendrán mayores concentraciones de esfuerzo. Para dar solución a estas dos condiciones, la PCA, ha creado tablas para obtener estos esfuerzos equivalente, que no son otra cosa que los esfuerzos de orilla multiplicados por un factor igual a 0.894.

Definidos los esfuerzos equivalentes, la proporción o razón de esfuerzos se determina dividiendo estos esfuerzos entre la resistencia a la flexión para luego, con la ayuda del nomograma de la figura 2.4.3, obtener las repeticiones admisibles. El valor del módulo de ruptura que se considera a 28 días. El nomograma de solución cubre los dos casos: pavimentos con y sin pasajuntas. Para el caso de que el número de repeticiones admisibles se localice fuera de los límites contemplados en la gráfica, entonces se asume que tal número es ilimitado.

## 2.4.5 CRITERIO POR EROSIÓN

Además de revisar las cargas de la losa, para que los esfuerzos flexionantes no produzcan agrietamiento por fatiga, será necesario verificar que no se presente erosión bajo las losas. Esto se presenta cuando se reblandece la capa de apoyo o de subbase cuando está compuesta por suelos con un alto contenido de finos, producto del ingreso de agua a través de las grietas y juntas. En los pavimentos sin pasajuntas se presenta este problema y se relaciona más con las deflexiones excesivas que con los esfuerzos flexionantes.

2.4.3 METODO PCA 1984, ANÁLISIS POR FATIGA. ACOTAMIENTO CON Y SIN PAVIMENTO



Gracias a los resultados obtenidos en la prueba AASHTO, se introduce en el método el criterio de erosión, ya que en esta prueba los tipos de falla de los pavimentos de concreto se relacionan más con las deflexiones excesiva y los problemas de bombeo por erosiones en las capas subbase y/o apoyo.

En la prueba AASHTO, las correlaciones entre el comportamiento de los pavimentos con los cálculos de deflexiones mediante el método de elementos finitos no resultaron prometedoras; sin embargo los resultados se correlacionan mejor con la observado en la prueba si las deflexiones calculada,  $w$ , se multiplican por la presión calculada en la interfase losa-capa de apoyo.

Para el criterio de erosión se utiliza el parámetro de velocidad de trabajo inducido por las cargas, o la potencia. Esta se define como la velocidad de trabajo con que una carga por eje deforma una losa. Este parámetro se define como

$$\text{Potencia} = \frac{p \cdot w}{l} \quad \text{para un área unitaria} \quad \text{Ec. 2.38}$$

Donde:

$p$  = presión en la interfase losa-capa de apoyo

$w$  = deflexión calculada

$l$  = relación de rigidez relativa. Equivale a la longitud de la configuración deformada por la aplicación de la carga

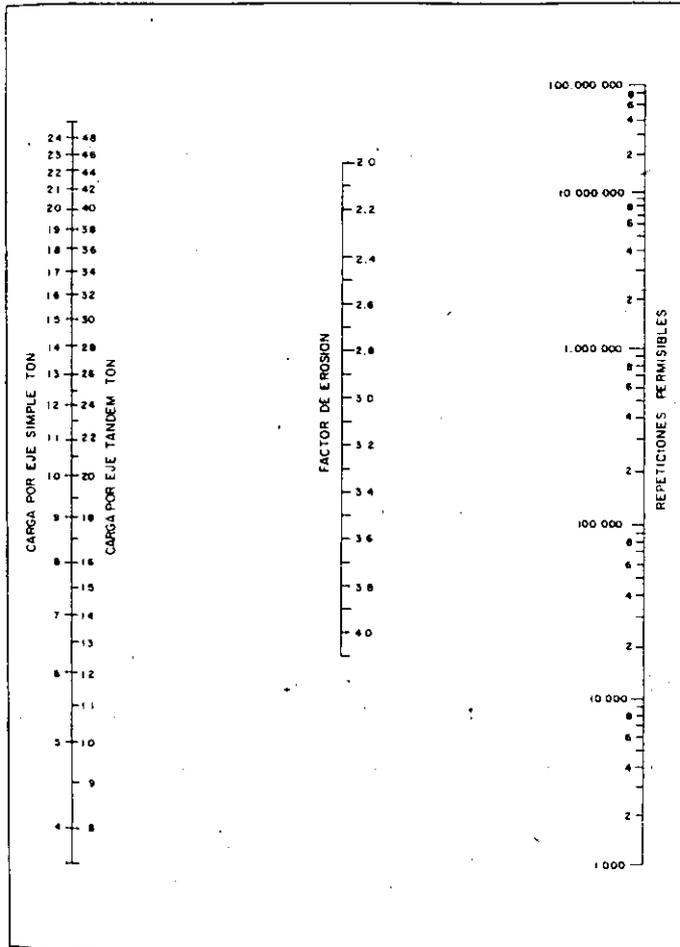
Al tener configuraciones deformadas más pequeñas, una losa más delgada es más susceptible de ser fracturada debido a su baja rigidez. Esto es, para iguales sollicitaciones  $p \cdot w$ 's e iguales velocidades de camiones pesados, mientras más delgada sea la losa, mayor será la velocidad de trabajo desarrollado (o más delgada sea la losa, mayor será la velocidad del trabajo desarrollado (o más rápidamente variará la potencia), en cm-kg/segundo.

Existen otros aspectos importantes de considerar como lo son el drenaje, las condiciones ambientales, el clima, etc., estos no son considerados para el diseño, sin embargo la PCA recomienda investigaciones adicionales, por considerarlos de fuerte impacto. *Para el criterio de erosión, al igual que para el caso de fatiga, se exige que la sumatoria de consumos de todos los grupos de carga no sea mayor al 100%.*

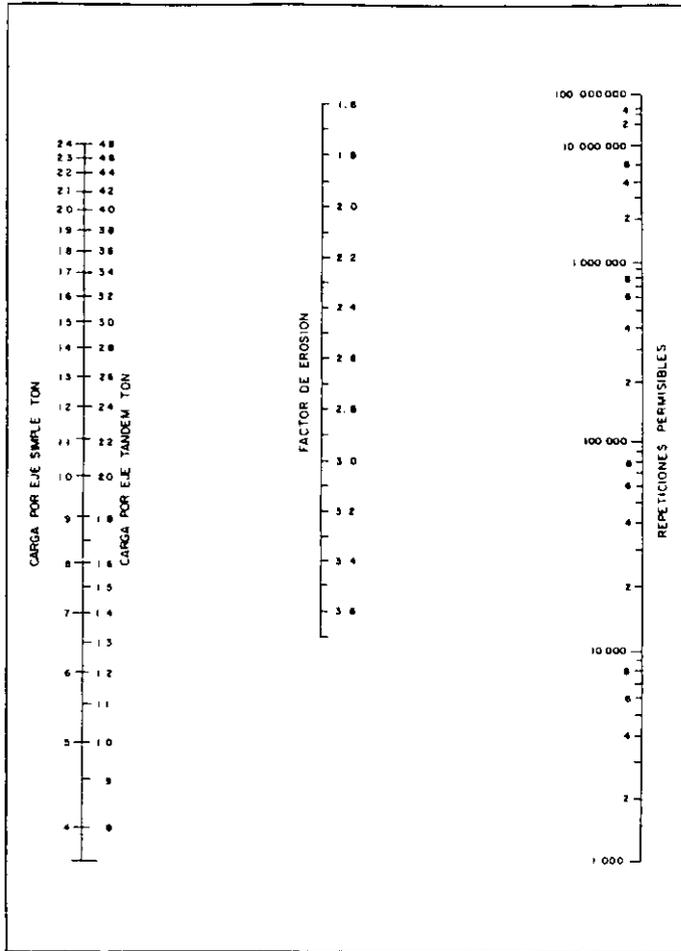
### Nomogramas de diseño

En las esquinas de las losas se generan erosiones que promueven la generación de esfuerzos críticos y su magnitud, en gran medida, queda determinada por el tipo y la disposición de juntas. Por esto se presentan tablas para el diseño para dos condiciones; juntas con pasajuntas, y mediante fricción de agregado. Se acentúa que en este criterio se toma en cuenta si el pavimento cuenta o no con acotamientos ligados.

**FIGURA 2.4.4 MÉTODO PCA 1984 ANÁLISIS POR EROSIÓN. ACOTAMIENTO SIN PAVIMENTO**



**FIGURA 2.4.5 MÉTODO PCA 1984 ANÁLISIS POR EROSIÓN. ACOTAMIENTO PAVIMENTO.**



En la tabla 2.18 se muestran los factores de erosión para el caso de pavimentos con pasajuntas y sin acotamientos, y en la tabla 2.19 es para el caso de que la transferencia de carga entre losas sea a través de fricción, y también sin acotamientos. Para el caso de pavimentos que cuenten con acotamientos ligados también de concreto, se presentan las tablas 2.20 y 2.21. Una vez fijado el factor de erosión, entonces se procederá a determinar el número de repeticiones admisibles a través de los nomogramas de las figuras 2.4.4 y 2.4.5

Es importante mencionar que los valores obtenidos del nomograma ya han sido divididos entre  $C_2$ , y ya no es necesario efectuar la multiplicación del número de repeticiones por  $C_2$ , de acuerdo con la Ecuación 2.37.

**TABLA 2.18 FACTOR DE EROSIÓN, JUNTA CON PASAJUNTA-ACOTAMIENTO SIN PAVIMENTO**

Espesor losa (cm)	K = Módulos de reacción subrasante (kg/cm <sup>3</sup> )													
	2		4		6		8		10		15		20	
	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem
12	3051	3.61	3.50	3.57	3.49	3.54	3.48	3.52	3.48	3.51	3.47	3.49	3.45	3.47
13	3.41	3.53	3.39	3.48	3.39	3.45	3.38	3.43	3.38	3.41	3.37	3.39	3.35	3.37
14	3.32	3.45	3.30	3.39	3.29	3.36	3.28	3.34	3.28	3.33	3.27	3.30	3.25	3.28
15	3.23	3.37	3.21	3.31	3.20	3.28	3.19	3.26	3.19	3.24	3.18	3.22	3.16	3.20
16	3.15	3.30	3.12	3.24	3.12	3.21	3.10	3.18	3.10	3.17	3.09	3.14	3.08	3.12
17	3.07	3.24	3.05	3.17	3.04	3.14	3.02	3.11	3.02	3.10	3.01	3.07	3.00	3.04
18	2.99	3.18	2.97	3.11	2.96	3.07	2.95	3.05	2.94	3.03	2.93	3.00	2.92	2.97
19	2.93	3.12	2.90	3.05	2.89	3.01	2.88	2.98	2.87	2.97	2.86	2.93	2.85	2.91
20	2.86	3.06	2.83	3.00	2.83	2.95	2.81	2.92	2.80	2.91	2.79	2.87	2.79	2.84
21	2.80	3.01	2.77	2.93	2.76	2.89	2.74	2.86	2.74	2.85	2.73	2.81	2.72	2.78
22	2.74	2.96	2.71	2.88	2.70	2.84	2.68	2.81	2.68	2.80	2.67	2.76	2.66	2.73
23	2.68	2.91	2.65	2.83	2.64	2.79	2.62	2.76	2.62	2.74	2.61	2.70	2.59	2.67
24	2.63	2.87	2.60	2.78	2.59	2.74	2.57	2.71	2.56	2.69	2.55	2.65	2.54	2.62
25	2.58	2.83	2.54	2.74	2.54	2.69	2.52	2.67	2.51	2.65	2.50	2.60	2.49	2.57
26	2.53	2.79	2.50	2.70	2.49	2.65	2.47	2.62	2.46	2.61	2.45	2.56	2.44	2.53
27	2.48	2.75	2.45	2.66	2.44	2.61	2.42	2.58	2.41	2.57	2.40	2.52	2.39	2.49
28	2.43	2.72	2.40	2.63	2.39	2.57	2.37	2.54	2.37	2.55	2.35	2.48	2.34	2.45
29	2.39	2.69	2.36	2.59	2.35	2.54	2.33	2.51	2.32	2.49	2.31	2.44	2.30	2.41
30	2.34	2.65	2.31	2.56	2.30	2.50	2.28	2.47	2.28	2.45	2.26	2.41	2.25	2.37
31	2.30	2.62	2.27	2.52	2.26	2.47	2.24	2.43	2.24	2.42	2.22	2.37	2.21	2.34
32	2.26	2.59	2.23	2.49	2.22	2.43	2.20	2.40	2.19	2.38	2.18	2.33	2.17	2.30
32	2.22	2.56	2.19	2.46	2.18	2.40	2.16	2.37	2.15	2.35	2.14	2.30	2.13	2.27
34	2.18	2.53	2.15	2.43	2.14	2.37	2.12	2.33	2.12	2.32	2.10	2.27	2.09	2.24

**TABLA 2.19 FACTOR DE EROSIÓN, JUNTA SIN PASAJUNTA-ACOTAMIENTO SIN PAVIMENTAR**

Espesor losa (cm)	K = Módulos de reacción subrasante (kg/cm <sup>2</sup> )													
	2		4		6		8		10		15		20	
	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem
12	3.72	3.82	3.69	3.74	3.67	3.69	3.65	3.67	3.64	3.65	3.62	3.61	3.59	3.58
13	3.62	3.75	3.59	3.66	3.57	3.61	3.55	3.59	3.54	3.57	3.52	3.52	3.49	3.49
14	3.53	3.68	3.50	3.59	3.48	3.53	3.46	3.51	3.45	3.49	3.43	3.44	3.40	3.41
15	2.45	3.61	3.41	3.52	3.39	3.46	3.37	3.44	3.36	3.42	3.34	3.37	3.31	3.34
16	3.37	3.55	3.33	3.46	3.31	3.40	3.29	3.37	3.28	3.35	3.26	3.30	3.23	3.26
17	3.30	3.50	3.26	3.40	3.23	3.34	3.21	3.31	3.20	3.29	3.18	3.23	3.16	3.20
18	3.23	3.44	3.18	3.34	3.16	3.28	3.14	3.25	3.13	3.23	3.11	3.17	3.09	3.13
19	3.17	3.39	3.12	3.29	3.09	3.23	3.07	3.19	3.06	3.17	3.04	3.11	3.02	3.07
20	3.11	3.35	3.05	3.24	3.03	3.17	3.01	3.14	3.00	3.12	2.98	3.05	2.96	3.02
21	3.05	3.30	2.99	3.19	2.97	3.13	2.95	3.09	2.94	3.07	2.92	3.00	2.90	2.96
22	3.00	3.26	2.94	3.15	2.91	3.08	2.89	3.04	2.88	3.02	2.86	2.95	2.84	2.91
23	2.94	3.22	2.88	3.11	2.85	3.03	2.83	2.99	2.82	2.97	2.80	2.90	2.78	2.86
24	2.90	3.18	2.84	3.07	2.80	2.99	2.78	2.95	2.77	2.93	2.75	2.86	2.73	2.82
25	2.86	3.14	2.79	3.03	2.76	2.96	2.73	2.91	2.72	2.89	2.70	2.82	2.68	2.78
26	2.81	3.11	2.75	2.99	2.71	2.92	2.69	2.88	2.68	2.86	2.65	2.78	2.63	2.74
27	2.77	3.08	2.70	2.96	2.67	2.89	2.64	2.84	2.63	2.82	2.61	2.75	2.59	2.71
28	2.73	3.05	2.66	2.93	2.62	2.85	2.60	2.81	2.59	2.79	2.56	2.71	2.54	2.67
29	2.70	3.02	2.62	2.90	2.58	2.82	2.56	2.78	2.55	2.75	2.52	2.68	2.50	2.64
30	2.66	2.99	2.59	2.86	2.54	2.79	2.51	2.75	2.50	2.72	2.48	2.64	2.46	2.60
31	2.63	2.96	2.55	2.83	2.50	2.76	2.48	2.72	2.47	2.69	2.44	2.61	2.42	2.57
32	2.59	2.93	2.51	2.81	2.47	2.73	2.44	2.69	2.43	2.66	2.40	2.58	2.38	2.54
32	2.56	2.90	2.48	2.78	2.43	2.70	2.40	2.66	2.39	2.63	2.36	2.55	2.34	2.51
34	2.53	2.88	2.45	2.75	2.40	2.67	2.37	2.63	2.36	2.60	2.32	2.52	2.30	2.48

### 2.4.5 ACOTAMIENTOS

Como ya se mencionó, las zonas críticas de falla en un pavimento son en el borde. Al contar con mecanismos de transferencia de cargas en los bordes, el pavimento tendrá menos posibilidad de fallar en esas zonas, ya que se evitarán por un lado el efecto de bombeo y el efecto flexionante, en caso de presentarse erosión de la capa de apoyo en las zonas perimetrales.

**TABLA 2.20 FACTOR DE EROSIÓN, JUNTA CON PASAJUNTA-ACOTAMIENTO PAVIMENTADO**

Espesor losa (cm)	K = Módulos de reacción subrasame (kg/cm <sup>2</sup> )													
	2		4		6		8		10		15		20	
	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem
12	3.07	3.09	3.02	2.99	3.00	2.93	2.97	2.90	2.96	2.88	2.94	2.84	2.92	2.83
13	2.97	3.02	2.92	2.92	2.90	2.86	2.87	2.83	2.86	2.80	2.84	2.76	2.82	2.74
14	2.88	2.96	2.83	2.85	2.81	2.79	2.78	2.76	2.77	2.73	2.75	2.68	2.73	2.66
15	2.80	2.89	2.75	2.79	2.73	2.72	2.70	2.69	2.69	2.66	2.67	2.61	2.65	2.59
16	2.72	2.84	2.67	2.73	2.65	2.66	2.62	2.63	2.61	2.60	2.59	2.55	2.57	2.52
17	2.64	2.78	2.60	2.68	2.58	2.60	2.55	2.57	2.54	2.54	2.52	2.48	2.49	2.45
18	2.57	2.73	2.53	2.62	2.51	2.55	2.48	2.51	2.47	2.48	2.45	2.42	2.42	2.39
19	2.51	2.69	2.47	2.57	2.44	2.50	2.41	2.46	2.40	2.43	2.38	2.37	2.36	2.33
20	2.44	2.64	2.41	2.53	2.38	2.45	2.35	2.41	2.34	2.38	2.32	2.31	2.29	2.28
21	2.38	2.60	2.35	2.48	2.32	2.40	2.29	2.36	2.28	2.33	2.26	2.26	2.23	2.22
22	2.33	2.56	2.30	2.44	2.27	2.36	2.24	2.32	2.23	2.29	2.21	2.21	2.18	2.17
23	2.27	2.52	2.24	2.40	2.21	2.31	2.18	2.27	2.17	2.24	2.15	2.17	2.12	2.12
24	2.23	2.48	2.19	2.36	2.16	2.28	2.13	2.24	2.12	2.20	2.10	2.13	2.07	2.08
25	2.18	2.43	2.14	2.33	2.11	2.24	2.09	2.20	2.08	2.17	2.05	2.09	2.02	2.03
26	2.14	2.39	2.09	2.29	2.06	2.21	2.04	2.17	2.03	2.13	2.01	2.06	1.97	1.99
27	2.10	2.35	2.05	2.26	2.02	2.17	2.00	2.13	1.99	2.10	1.96	2.03	1.93	1.95
28	2.06	2.32	2.01	2.23	1.98	2.14	1.95	2.10	1.94	2.07	1.92	1.99	1.89	1.91
29	2.03	2.28	1.97	2.19	1.94	2.11	1.91	2.07	1.90	2.04	1.88	1.96	1.85	1.87
30	1.99	2.25	1.93	2.16	1.90	2.08	1.87	2.04	1.86	2.01	1.83	1.93	1.81	1.83
31	1.96	2.21	1.89	2.13	1.86	2.05	1.83	2.01	1.82	1.98	1.80	1.90	1.77	1.80
32	1.92	2.18	1.86	2.11	1.83	2.03	1.80	1.99	1.79	1.95	1.76	1.87	1.74	1.76
32	1.89	2.15	1.82	2.08	1.79	2.00	1.76	1.96	1.75	1.92	1.72	1.85	1.70	1.73
34	1.86	2.12	1.79	2.05	1.76	1.97	1.73	1.93	1.72	1.90	1.69	1.82	1.67	1.70

Para el método AASHTO, la colocación de acotamientos pavimentados, los cuales actúan como elementos confinantes y de transferencia de carga, tiende a reducir espesores del orden de 2.5 cm. Ello se debe a que en esas zonas al aplicar una carga con acotamientos pavimentados, se produce una transmisión de esfuerzos del orden del 85 % del total que resultaría de no contar con los citados acotamientos.

El efecto reductor de espesores de los acotamientos pavimentados es muy similar en los métodos AASHTO y PCA. Por lo general los acotamientos deberían construirse con espesores no menores a los 15 cm.

**TABLA 2.21 FACTOR DE EROSIÓN, JUNTA SIN PASAJUNTA-ACOTAMIENTO PAVIMENTADO**

Espesor losa (cm)	K = Módulos de reacción subrasante (kg/cm <sup>2</sup> )													
	2		4		6		8		10		15		20	
	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem
12	3.25	3.29	3.20	3.19	3.18	3.13	3.17	3.11	3.16	3.09	3.13	3.04	3.11	3.03
13	3.16	3.23	3.11	3.12	3.09	3.06	3.08	3.04	3.06	3.02	3.03	2.97	3.01	2.95
14	3.08	3.17	3.03	3.06	3.00	2.99	2.99	2.97	2.98	2.95	2.95	2.90	2.93	2.87
15	3.00	3.11	2.95	3.00	2.92	2.93	2.91	2.91	2.90	2.88	2.87	2.83	2.85	2.80
16	2.93	3.06	2.88	2.94	2.85	2.88	2.84	2.85	2.82	2.82	2.79	2.77	2.77	2.74
17	2.87	3.01	2.81	2.89	2.78	2.82	2.77	2.79	2.75	2.77	2.72	2.71	2.70	2.68
18	2.80	2.97	2.74	2.84	2.71	2.77	2.70	2.74	2.69	2.71	2.66	2.65	2.64	2.62
19	2.74	2.92	2.68	2.80	2.65	2.72	2.64	2.69	2.62	2.66	2.59	2.60	2.57	2.57
20	2.69	2.88	2.62	2.76	2.59	2.68	2.58	2.64	2.56	2.62	2.53	2.55	2.51	2.51
21	2.63	2.84	2.57	2.71	2.53	2.64	2.52	2.60	2.51	2.57	2.48	2.50	2.46	2.47
22	2.58	2.80	2.51	2.68	2.48	2.59	2.47	2.56	2.45	2.53	2.42	2.46	2.40	2.42
23	2.53	2.77	2.46	2.64	2.43	2.55	2.42	2.51	2.40	2.48	2.37	2.41	2.35	2.37
24	2.48	2.74	2.42	2.60	2.38	2.52	2.37	2.48	2.36	2.45	2.33	2.38	2.31	2.33
25	2.44	2.71	2.37	2.57	2.34	2.49	2.33	2.45	2.31	2.42	2.28	2.34	2.26	2.29
26	2.40	2.68	2.33	2.54	2.30	2.46	2.28	2.41	2.27	2.38	2.24	2.31	2.22	2.25
27	2.36	2.65	2.29	2.51	2.26	2.43	2.24	2.38	2.22	2.35	2.20	2.27	2.17	2.21
28	2.33	2.62	2.25	2.49	2.22	2.40	2.20	2.35	2.18	2.32	2.16	2.24	2.13	2.18
29	2.29	2.60	2.22	2.46	2.18	2.37	2.16	2.33	2.14	2.30	2.12	2.21	2.09	2.14
30	2.26	2.57	2.18	2.43	2.15	2.35	2.12	2.30	2.11	2.27	2.08	2.18	2.06	2.11
31	2.22	2.55	2.15	2.41	2.11	2.32	2.09	2.27	2.07	2.24	2.04	2.15	2.02	2.07
32	2.19	2.52	2.11	2.38	2.08	2.29	2.05	2.25	2.03	2.22	2.01	2.13	1.98	2.04
32	2.16	2.50	2.08	2.36	2.04	2.27	2.02	2.22	2.00	2.19	1.98	2.10	1.95	2.01
34	2.13	2.48	2.05	2.34	2.01	2.25	1.98	2.20	1.97	2.17	1.94	2.07	1.92	1.98

### SECUENCIA DE CÁLCULO

Primeramente se ordenan los pesos por eje de la distribución vehicular, por miles de ejes comprendidos en el rango de una tonelada. A partir de un rango de carga el número de pasadas es ilimitado, ya no será necesario obtener el porcentaje de daño en las columnas 5 y 7.

En la columna 2 aparecen los mismos pesos por eje, pero afectados por el factor de seguridad, F.S. Para estar del lado de la seguridad, se multiplicó el F.S. por el valor

máximo en cada rango. Por ejemplo, en el rango 22- 23, se multiplica 23 por el factor que corresponda al tipo de pavimento a construir. (Ver tabla 2.17)

Las repeticiones o pasadas para cada rango de cargase obtienen previamente de la tabla 2.16.

Los valores permisibles se obtienen al entrar al nomograma de la Figura 2.4.3 con la proporción de esfuerzos definida como: esfuerzo equivalente / Módulo de ruptura. de igual manera se obtiene para ejes tándem.

En la columna 5 se obtienen los porcentajes de fatiga dividiendo la columna 3 entre la No. 4, y multiplicándola por 100. Para el final se suman los daños parciales y se colocan al pie de la tabla de cálculo. Las repeticiones permisibles por erosión se obtienen del nomograma de las figuras 2.4.4 y 2.4.5 (según sea el caso de acotamiento con o sin pasajuntas), a la cual se entra con los factores de erosión para ejes sencillos y ejes dobles, tomados de las tablas (2.18 – 2.21).

Para cada caso, los porcentajes de erosión se obtienen dividiendo los valores de la columna 3 entre los de la columna 6 y multiplicando el resultado por 100. Al igual que en el análisis por fatiga, se realiza la sumatoria y se anota también en la parte inferior.

El porcentaje más alto, es el que rige, pero en ninguno de los casos el porcentaje será mayor a 100, ya que esto indica que el espesor no es el adecuado y se propone uno mayor. Para el caso de tránsito pesado normalmente rige el criterio por erosión, mientras que en caso de que tenga tránsito ligero, el diseño normalmente quedará gobernado por fatiga.

PROYECTO:			Juntas con pasajuntas: SI NO			
Espesor propuesto (tanteo):			Acotamientos de concreto: SI NO			
Subbase, k =			Periodo de diseño:			
Módulo de ruptura			Existe subbase: SI NO			
Factor de seguridad por carga: LSF:						
			Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Carga por eje en Kips (ton)	Afectado por el LSF (1) X LFS	Repeticiones esperadas	Repeticiones permisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones permisibles	Porcentaje de daño
Ejes sencillos						
Ejes tandem						
			Total	< 100	Total	< 100

## CAPITULO 3

# Estándares

Los estándares que se presentan a continuación son empleados en la industria petrolera

**3.1 JUNTA DE CONTRACCIÓN** (Ver dibujo 3.1)

**3.2 JUNTA LONGITUDIANAL** (Ver dibujo 3.2)

**3.3 JUNTA DE CONSTRUCCIÓN** (Ver dibujo 3.3)

**3.4 JUNTA DE EXPANSIÓN** (Ver dibujo 3.4)

**3.5 JUNTA MACHIMBRADA** (Ver dibujo 3.5)

**3.6 JUNTAS SIN PASADOR**(Ver dibujo 3.6)

**3.7 REMATE DE JUNTAS** (Ver dibujo 3.7)

**3.8 ARMADO DE LOSAS** (Ver dibujo 3.8)

**3.9 GUARNICIONES CON O SIN CUNETAS** (Ver dibujo 3.9)

**3.10 PASO DE TUBERÍA A TRAVÉS DEL PAVIMENTO** (Ver dibujo 3.10)

**3.11 TRENES DE COLADO** (Ver dibujo 3.11)

## 3.12 ESPECIFICACIONES

### CONCRETO Y ACERO DE REFUERZO

#### a) RESISTENCIA DEL CONCRETO

El concreto que se utilizará en la construcción de los pavimentos de concreto hidráulico tendrá una resistencia de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  mínima a los 15 días de edad, se empleará cemento PORTLAND TIPO III y de una misma marca para evitar las variaciones en las características de calidad; el concreto así elaborado deberá tener una consistencia plástica medida por un revenimiento que esté entre 5 y 8 cm.

#### b) AGREGADOS Y AGUA

Los agregados grueso y fino, así como el agua que se emplee en la fabricación del concreto, deberá cumplir con los requisitos de calidad. Los agregados deberán estar almacenados de manera que conserven todas sus propiedades y características, desde que se clasifiquen hasta que se empleen, no debe existir segregación de partículas.

#### c) COLOCACIÓN DEL CONCRETO

La compactación del concreto, se hará mediante el empleo de vibradores de inmersión y pisón de mano. El vibrado comprenderá 2 etapas: La primera se hará inmediatamente después de la colocación empleando los vibradores de inmersión el tiempo necesario para producir un concreto denso y compacto en el cual no se presente sangrado. La segunda etapa de vibrado se hará mediante el pisón de mano y finalmente puede tratarse con cepillo hasta obtener un acabado rugoso, a menos que se indique otra cosa en los dibujos de pavimentación.

#### d) COMPACTACIÓN

La compactación del concreto, se hará mediante el empleo de vibradores de inmersión y pisón de mano. El vibrado comprenderá 2 etapas: La primera se hará inmediatamente después de la colocación empleando los vibradores de inmersión el tiempo necesario para producir un concreto denso y compacto en el cual no se presente sangrado. La segunda etapa de vibrado se hará mediante el pisón de mano y finalmente puede tratarse con cepillo hasta obtener un acabado rugoso, a menos que se indique otra cosa en los dibujos de pavimentación.

## e) CURADO

El curado deberá hacerse inmediatamente después del acabado final, cuando el concreto comience a perder su brillo superficial y no deberá interrumpirse durante los 7 días siguientes al del día del colado. Esta operación se efectuará aplicando a la superficie una capa gruesa, consistente y uniforme de una membrana impermeable, preferentemente de color claro o translúcido, tal que sea fácilmente visible sobre la superficie del concreto por lo menos hasta cuatro horas después de su aplicación y que impida la evaporación del agua que contiene la mezcla de concreto.

## f) SELLADO DE JUNTAS

El material para el sellado de juntas deberá ser plástico, resistente a los efectos del calor y los hidrocarburos comunes, además de adherirse al concreto y permitir las dilataciones y contracciones de éste sin agrietarse.

## g) CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS.

Las juntas deberán ajustarse a las dimensiones y características consignadas en los presentes estándares y en su construcción deberán tomarse en cuenta las recomendaciones siguientes:

Las juntas que así se indiquen en estos estándares, se construirán por el sistema de aserrado. El tiempo en que debe iniciarse el aserrado de las juntas está sujeto a variaciones amplias en cada lugar por lo que se recomienda la determinación de este tiempo de acuerdo con el resultado de pruebas experimentales que se lleven a efecto por medio de la sierra circular. Para este objeto se debe observar que la ranura hecha en el concreto no presente desmoronamientos excesivos.

El momento adecuado para una aserrado se puede reconocer cuando el corte provoque un ligero desmoronamiento del concreto, el cual no sólo no es perjudicial si no que es conveniente ya que constituye un índice para la correcta iniciación del aserrado. Por otra parte si no existe ningún desprendimiento, es señal de que el concreto ha endurecido demasiado y probablemente se formen grietas delante de la sierra. Cuando se observe agrietamiento delante del corte, éste será indicio de que se está retardando el aserrado. Si tal es el caso, se suspenderá el corte de la junta de que se trate debiéndose cortar el pavimento en tramos más grandes y después se procede a cortar las juntas intermedias; a fin de que este efecto no vuelva a presentarse, deberá disminuirse el tiempo de aserrado.

Las juntas deberán inspeccionarse con el fin de asegurarse que el corte se haya efectuado hasta la profundidad deseada. El concreto que se encuentre dentro de las juntas deberá removerse, procediéndose al curado de las superficies laterales inmediatamente después de que se hayan resanado y revisado las partes finales de las juntas. Las juntas aserradas se sellan de preferencia inmediatamente después de haber terminado el corte de las

misma, insistiéndose en que dichas juntas deben encontrarse completamente limpias y secas en el momento de rellenarse.

Como la construcción del pavimento se hará por fajas, la construcción de la faja adyacente a otra colocada con anterioridad puede presentar serios problemas constructivos, primero porque el agua de la mezcla de concreto fresco sea absorbida por el concreto colado con anterioridad y segundo, porque se pudiera presentar una baja de temperatura en el medio ambiente, produciendo contracciones en esta misma faja y haciendo trabajar por esta razón a las juntas existentes en ella, este movimiento que se manifiesta en una abertura en la junta, se transmitirá a la faja de concreto fresco a través de las canillas corrugadas y de la fricción entre las superficies laterales de contacto incrementando los esfuerzos debidos a las contracciones de fraguado y temperatura de una manera tal, que puede ser suficiente para provocar agrietamientos sin control antes de que el concreto haya adquirido la resistencia suficiente para ser aserrado.

Con el fin de evitar estos problemas hasta donde sea posible, se podrá especial cuidado en la elección de los días de colado de las franjas intermedias, procurando que éstos sean de preferencia templados, e iniciar el colado en las primeras horas de la mañana. Antes de iniciar el colado en las primeras horas de la mañana. Antes de iniciar el colado de estas fajas deberán cubrirse las caras laterales de las losas del pavimento coladas anteriormente con polietileno delgado y evitar de ese modo la absorción mencionada.

Las barras lisas que se colocarán en las juntas transversales de contracción indicadas en los dibujos, deberán estar apoyadas sobre monturas o silletas de alambón de 6 mm  $\phi$  y estas a su vez deberán anclarse suficientemente en el material de base con el fin de evitar desplazamientos durante el colado. Las monturas deberán quedar completamente fijas con el objeto de que se mantengan las barras alineadas y a nivel durante el proceso de construcción. Las barras deberán engrasarse uniformemente con un aceite mineral para evitar la adherencia con el concreto, asegurando con ello el movimiento libre en la junta; así mismo como se pretende evitar el desplazamiento de las barras, se debe tener cierto cuidado al colocar y extender el concreto, no debiendo permitir al operador vaciar directamente el concreto sobre las barras. Las varillas corrugadas para las juntas longitudinales que se marcan en los dibujos deben apoyarse en dispositivos que permanezcan fijos de manera que se evitan los movimientos excesivos por colado y compactación del concreto y además colocarse limpios y libres de grasa y óxido. Las cimbras de las juntas se quitarán después de 24 horas del colado procurando evitar que se dañen los bordes de las juntas.

#### h) TOLERANCIAS

Las tolerancia de construcción a que deberán ajustarse los diferentes elementos del pavimento

Losas de concreto:

Pendiente transversal con respecto a la del proyecto  $\pm 0.2 \%$

Profundidad máxima de las depresiones observadas colocando una regla metálica de 5 m en dirección paralela y con espaciamentos en el sentido transversal a la pendiente, no mayor de 2 m.

7.0 mm

Espesores:

$e_r$  = espesor real;  $e$  = espesor de proyecto

En el 80 % como mínimo del número total de Espesores determinados.

 $e_r \geq e$ 

En el 20 % como máximo del número total de espesores determinados.

 $e_r \geq e - 10 \text{ mm}$ 

El espesor de las losas se obtendrá por medición directa en la losa cuando sea posible o por medio de corazones.

#### i) ACERO

El acero de los pasadores de transferencia de carga, así como el de refuerzo será de las siguientes características:

Las varillas corrugadas serán de acero duro.

 $f_y \geq 4200 \text{ kg / cm}^2$ 

Las varillas lisas serán de acero grado estructural

 $f_y \geq 2300 \text{ kg / cm}^2$ 

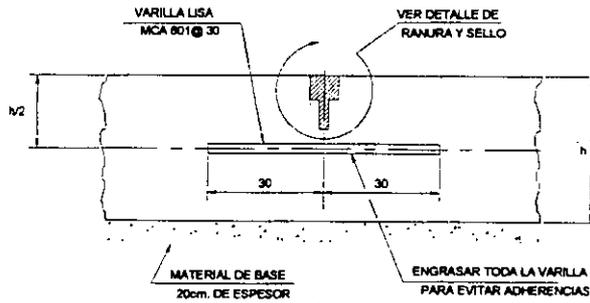
El esfuerzo de las losas según el dibujo 4.8 será a base de Malla-lac con un esfuerzo de trabajo.

 $f_y \geq 2600 \text{ kg / cm}^2$ 

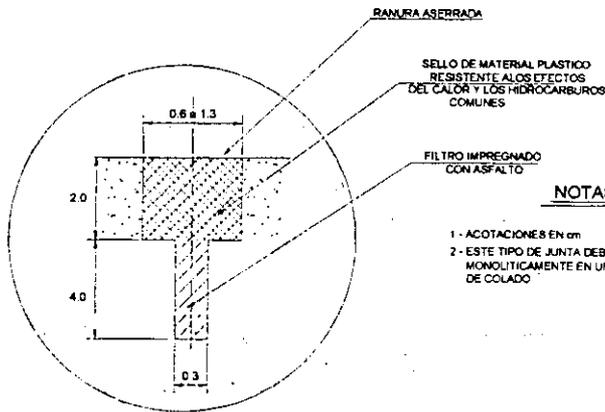
#### j) APERTURA AL TRÁNSITO

Las superficies de rodamiento solo se abrirá al tránsito hasta después de que el contratista de la obra haya demostrado mediante pruebas en especímenes de ensaye, que el concreto ha adquirido la resistencia de proyecto estipulada en estas normas o en caso contrario, hasta 10 días después del colado.

# DETALLES DE INGENIERIA



CORTE EN ELEVACION



DETALLE DE RANURA Y SELLO

NOTAS:

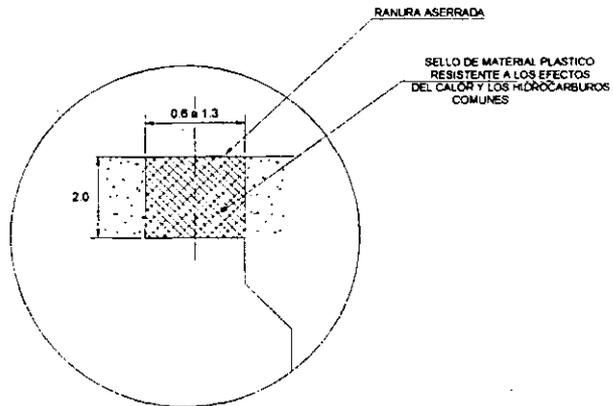
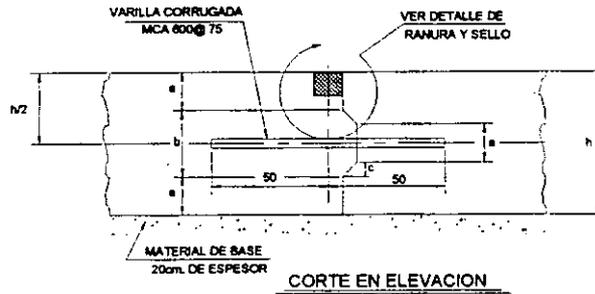
- 1 - ACOTACIONES EN cm
- 2 - ESTE TIPO DE JUNTA DEBE DE CONSTRUIRSE MONOLITICAMENTE EN UNA MISMA OPERACION DE COLADO

**JUNTA DE CONTRACCION**

**ESTANDARES**

**FIG. 3.1**

# DETALLES DE INGENIERIA



**NOTAS:**

- 1 - ACOTACIONES EN cm
- 2 - ESTE TIPO DE JUNTA SE PRODUCE AL INICIAR UN TREN DE COLADO CONTIGUO A OTRO QUE HAYA SIDO DECIMBRADO

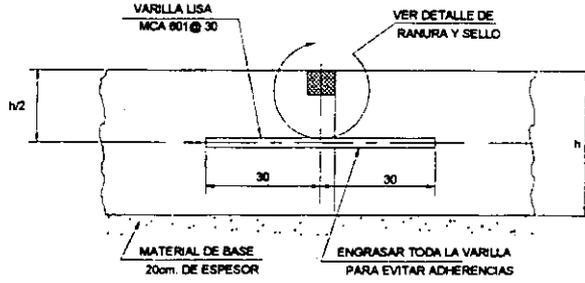
TABLA DE DIMENSIONES			
ESPESOR N	a	b	c
15	4	7	3
20	5	10	4

**JUNTA LONGITUDINAL**

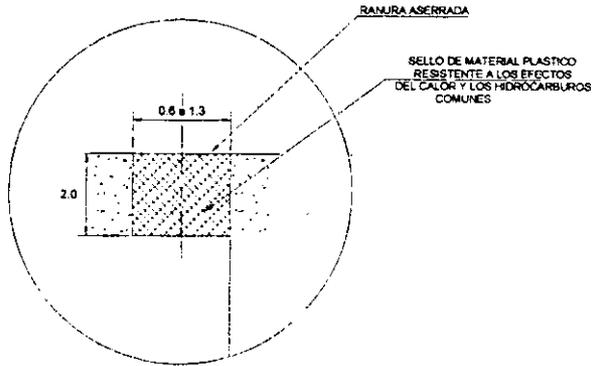
**ESTANDARES**

**FIG.3.2**

## DETALLES DE INGENIERIA



CORTE EN ELEVACION



DETALLE DE RANURA Y SELLO

NOTAS:

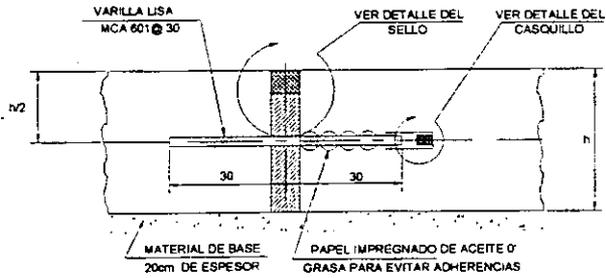
- 1 - ACOTACIONES EN CM
- 2 - ESTE TIPO DE JUNTA SE CONSTRUIRA CUANDO EL CALOR DE LAS LOSAS SE SUSPENDA DURANTE UN LAPSO MAYOR DE 30 MINUTOS. SE RECOMIENDA HACERLA COINCIDIR EN EL LUGAR DE UNA JUNTA DE CONTRACCION

JUNTA DE CONSTRUCCION

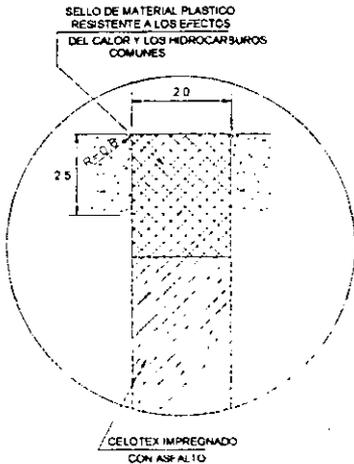
ESTANDARES

FIG.3.3

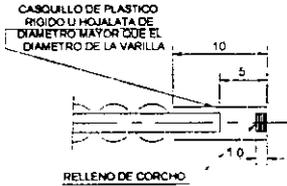
# DETALLES DE INGENIERIA



CORTE EN ELEVACION



DETALLE DEL SELLO



DETALLE DEL CASQUILLO

NOTAS:

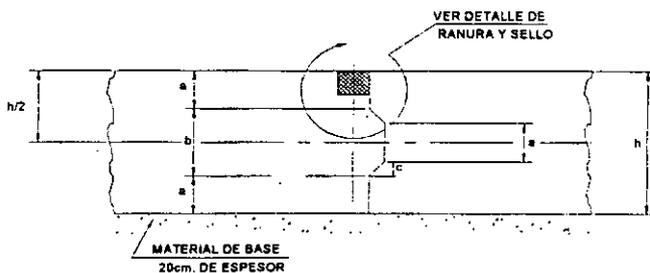
1.- ACOTACIONES EN cm

## JUNTA DE EXPANSION

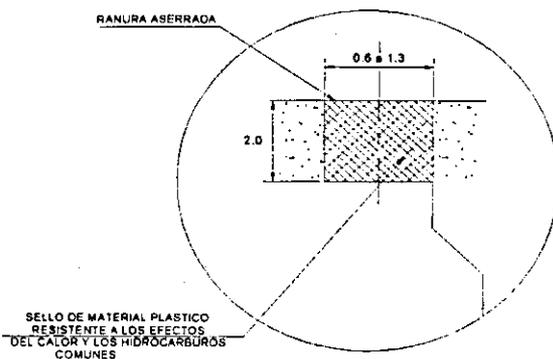
ESTÁNDARES

FIG.3.4

## DETALLES DE INGENIERIA



CORTE EN ELEVACION



DETALLE DE RANURA Y SELLO

NOTAS:

- 1 - ACOTACIONES EN cm
- 2 - ESTE TIPO DE JUNTA SE PRODUCE AL INICIAR UN TREN DE COLADO CONTIGUO A OTRO QUE HAYA SIDO DECIMBRADO

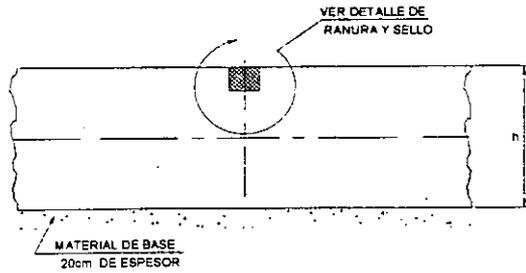
TABLA DE DIMENSIONES				
ESPESOR h	a	b	c	
15	4	7	3	
20	5	10	4	

**JUNTA MACHIMBRADA SIN PASADOR**

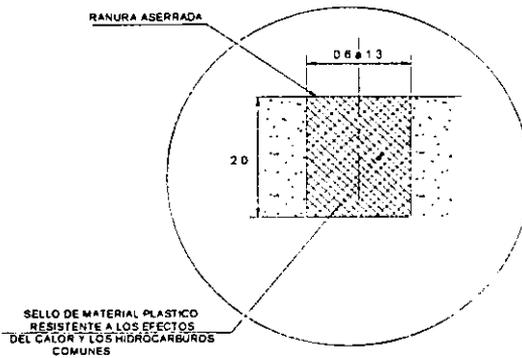
**ESTANDARES**

**FIG.3.5**

# DETALLES DE INGENIERIA



**CORTE EN ELEVACION**



**DETALLE DE RANURA Y SELLO**

**NOTAS:**

- 1 - ACOTACIONES EN cm
- 2 - ESTE TIPO DE JUNTA SE PRODUCE AL INICIAR UN TREN DE COLADO CONTIGUO A OTRO QUE HAYA SIDO DECIMBRADO

TABLA DE DIMENSIONES

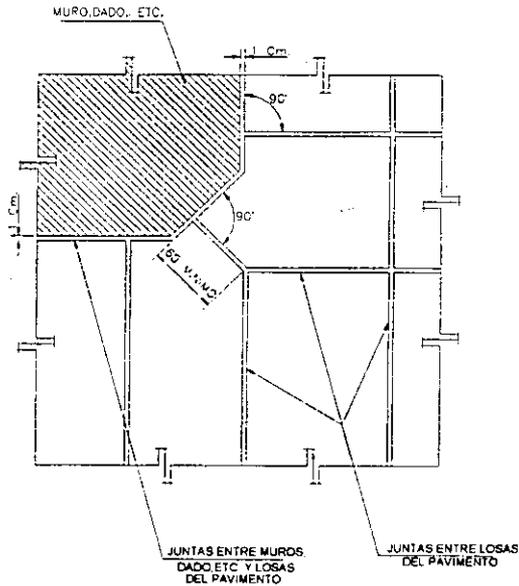
ESPESOR A	a	b	c
15	4	7	3
20	5	10	4

**JUNTA SIN PASADOR**

**ESTANDARES**

**FIG.3.6**

**DETALLES DE INGENIERIA**



PLANTA

NOTAS:

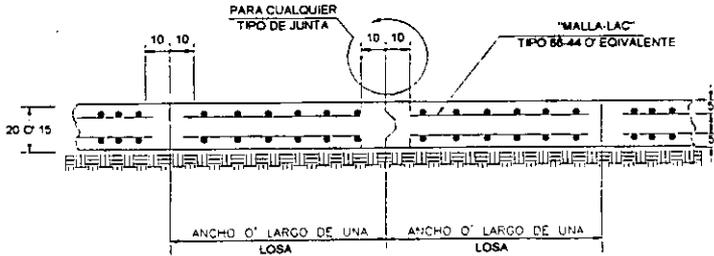
- 1- LA JUNTA ENTRE DADOS MUROS, ETC. Y LAS LOSAS DEL PAVIMENTO SERA DE APROXIMADAMENTE 1.3 Cm DE ANCHO Y SE RECOMIENDA PREPARARLAS, ANTES DEL COLADO DE LAS LOSAS MEDIANTE CELOTEX IMPREGNADO CON ASFALTO ADHERIDO AL PANO DE LOS MUROS, DADOS ETC

**REMATE DE JUNTAS**

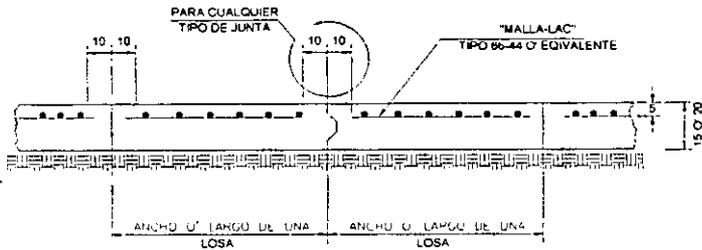
ESTANDARES

FIG. 3.7

# DETALLES DE INGENIERIA



**ARMADO EN DOS LECHOS**  
**CORTE EN ELEVACION**



**ARMADO EN UN LECHOS**  
**CORTE EN ELEVACION**

**NOTAS:**

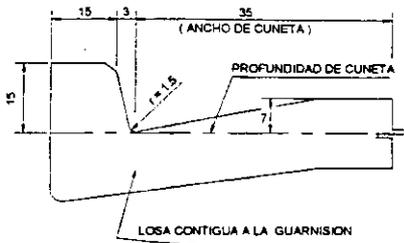
1 - ADAPTACION EN Cm

**ARMADO DE LOSAS**

ESTÁNDARES

**FIG.3.8**

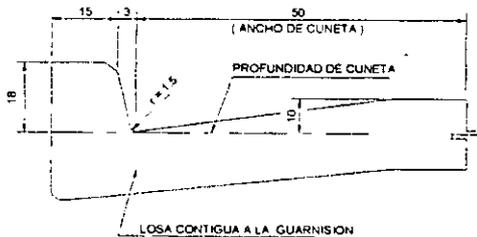
## DETALLES DE INGENIERIA



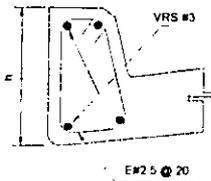
**CORTE EN ELEVACION ( FIG. a )**

**NOTAS:**

- 1 - ACOTACION EN Cm
- 2 - LAS DIMENSIONES DE LA FIG ( a ) CORRESPONDEN A CALLES HASTA DE 9m DE ANCHO
- 3 - LAS DIMENSIONES DE LA FIG ( b ) CORRESPONDEN A CALLES MAYORES DE 9m DE ANCHO PERO NO MAYORES DE 30 m
- 4 - EN LAS FIGURAS ( a ) Y ( b ) LAS GUARNICIONES DEBERAN COLARSE MONOLITICAMENTE CON LAS LOSAS CONTIGUAS
- 5 - LOS ARMADOS DE LA FIG ( c ) CORRESPONDEN A PERALTES HASTA DE h = 40 cm; SIN EMBARGO PODRA ELIMINARSE EL ARMADO DE LAS GUARNICIONES CUANDO ASI SE INDIQUE EN LOS DIBUJOS DE PAVIMENTACION CORRESPONDIENTES A ESTE ESTANDAR
- 6 - LAS GUARNICIONES SIN CUNETA DEBERAN ESPECIFICARSE DIRECTAMENTE EN LOS DIBUJOS DE PAVIMENTACION CORRESPONDIENTES AL PRESENTE ESTANDAR EN TAL CASO SE COLARAN PREVIAMENTE A LAS LOSAS CONTIGUAS DEJANDO ENTRE AMBOS ELEMENTOS UNA JUNTA APROXIMADAMENTE 1 cm DE ESPESOR Y SELLADA SEGUN EL CRITERIO Y MATERIALES ESTIPULADOS PARA LA JUNTA DE EXPANSION DE ESTOS ESTANDARES



**CORTE EN ELEVACION ( FIG. b )**



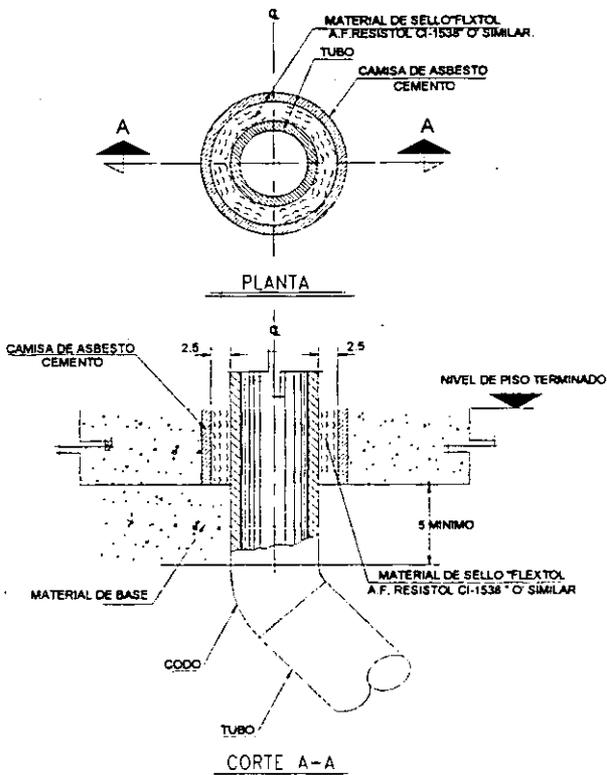
**CORTE EN ELEVACION ( FIG. c )**

**GUARNICIONES CON O SIN CUNETA**

**ESTANDARES**

**FIG.3.9**

# DETALLES DE INGENIERIA



NOTAS:

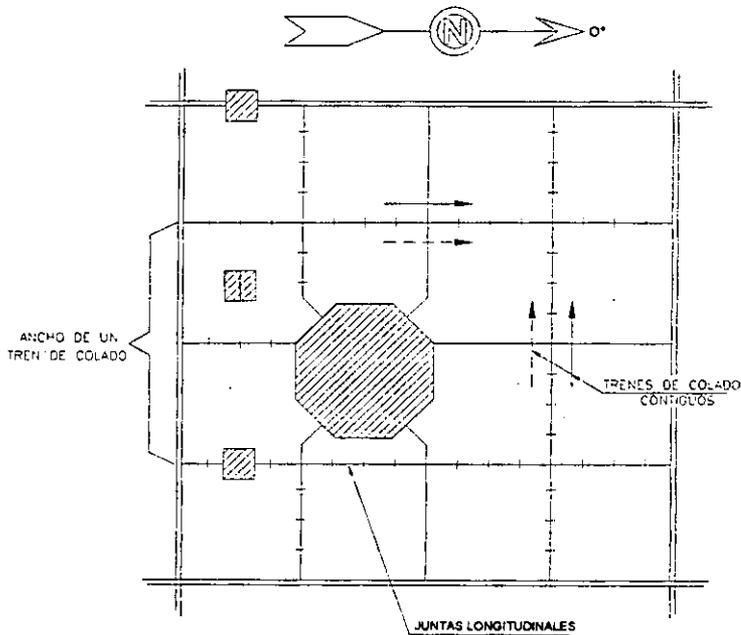
- 1 - ACOTACIONES EN mm
- 2 - ESTA JUNTA DEBERA CONSTRUIRSE CUANDO LA TUBERIA SUBTERRANEA DE CUALQUIER TIPO SOBRESALGA EN LA FORMA INDICADA DEL NIVEL DE PISO TERMINADO

PASO DE TUBERIAS A TRABES DEL PAVIMENTO

ESTANDARES

FIG. 3.10

# DETALLES DE INGENIERIA



## PLANTA

### NOTAS:

- 1 - LA DIRECCIÓN DEL TREN DE COLADO PARA LOS DISTINTOS GRUPOS DE LOSAS DEL PAVIMENTO SE DETERMINA EN EL CAMPO DE ACUERDO CON LAS NECESIDADES DE CONSTRUCCIÓN PERO CONSERVANDO EL CRITERIO MOSTRADO EN EL PRESENTE ESTÁNDAR
- 2 - EN LOS TRENES DE COLADO CONTIGUOS UNO DE ELLOS DEBERÁ EMPEZARSE HASTA DESPUES DE HABER DESCIMBRADO EL OTRO

TRENES DE COLADO

ESTÁNDARES

FIG. 3.11

## CAPITULO 4

# Diseño de pavimentos rígidos para instalaciones petroleras

## 4.1 INTRODUCCIÓN

Las Actividades de la industria petrolera comienzan con la exploración, que es el conjunto de tareas de campo y oficina cuyo objetivo consiste en descubrir nuevos depósitos de hidrocarburos o nuevas extensiones de los existentes. A continuación, con base en los descubrimientos logrados por los trabajos de exploración, empiezan las actividades de explotación que desarrollan los campos petroleros.

### 4.1.1 ACERCA DEL PETROLEO

Petróleo: Mezcla compuesta de hidrocarburos, que en ocasiones puede contener algunas impurezas como azufre, oxígeno, nitrógeno, cloruro de sodio, así como vestigios de compuestos de hierro, níquel, vanadio y otros materiales crudos.

Sus componentes básicos de la mayoría de los petróleos son:

- 82 a 87 % de carbón en peso
- 12 a 15 % de hidrógeno en peso

Impurezas: 0.1 hasta 5 % de azufre en peso.

La industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el petróleo de acuerdo a su densidad API (Parámetro Internacional del Instituto Americano del Petróleo, que diferencia las calidades del crudo). Esta clasificación va de Extrapesado con densidad mayor a 1.0 g/cm<sup>3</sup> y cuyo grado de densidad API es de 10.0, hasta el Super ligero cuya densidad es menor a 0.83 g/cm<sup>3</sup> y su densidad en grados API es menor a 39.

Para exportación, en México se preparan tres variedades de petróleo crudo:

- **Istmo.** Ligero con densidad de 33.6 grados API y 1.3 % de azufre en peso
- **Maya.** Pesado con densidad de 22 grados API y 3.3 % de azufre en peso.
- **Olmeca.** Superligero con densidad de 39.3 grados API y 0.8 % de azufre en peso.

El petróleo mexicano es materia prima de calidad que se encuentra presente en toda la industria nacional e internacional como lo es en: transporte, alimentos, fármacos, fertilizantes, pinturas, textiles, etc.

## 4.1.2 ACERCA DEL DIESEL Y GASOLINA

Datos de seguridad para sustancias:

### DIESEL:

**Derrames o fugas:** Los derrames de esta sustancia de deben detener si es posible, evitar el contacto con el líquido, aislar y eliminar el material derramado. Para grandes derrames, captarlos en un dique lejano de tierra ó material absorbente, delante del derrame para su disposición posterior en contenedores apropiados para residuo, evitando se escurran a los drenajes pluviales.

**Eliminación:** Solicitar asistencia para su disposición. Recoger y disponer el producto en una instalación adecuada y autorizada de total acuerdo con las regulaciones gubernamentales sobre la disposición de desechos de petróleo.

**Procedimientos especiales de combate de incendios:** Para fuegos pequeños, utilizar: polvo químico seco, bióxido de carbono, espuma o agua en forma de rocío. Para fuegos grandes, utilizar: espuma, agua en forma de rocío o niebla. No utilizar chorro de agua. No introducir agua a los contenedores. Enfriar los contenedores con agua abundante aún después de que el fuego haya sido extinguido. Para fuegos en tanques, apagar desde la máxima distancia, retirarse cuando se decolore el tanque, mantenerse alejado de los extremos del tanque.

**Almacenaje:** Evitar temperaturas extremas en su almacenamiento. Almacenar en contenedores cerrados fríos secos, aislados, en áreas bien ventiladas, alejados del calor, fuentes de ignición y productos incompatibles. No almacenar en contenedores sin etiquetas. No comer, tomar bebidas o fumar en las áreas usadas para su almacenamiento. Contenedores vacíos usados para almacenar este producto, pueden contener producto inflamable/combustible o vapores o residuos explosivos. No contar, esmerilar o soldar en estos contenedores, a menos de que sean tomadas precauciones adecuadas contra estos riesgos.

### GASOLINA

**Derrames o fugas:** Los recipientes que llegaran a fugar, deberán trasladarse a un área bien ventilada y ser alejados del resto de las instalaciones y de las fuentes de ignición, traspasando el producto a otros recipientes que estén en buenas condiciones y de acuerdo a

los procedimientos para esta actividad. Por ningún motivo se vertirán estos productos a los drenajes pluviales, ya que por su volatilidad desprenden vapores que aunque poco tóxicos, forman mezclas explosivas o inflamables capaces de recorrer grandes distancias hasta una fuente de ignición. No tocar el producto derramado, detener la fuga en caso de poder hacerlo sin riesgo. No introducir agua a los contenedores. Absorber con tierra, arena y/u otro material absorbente no combustible: solicitar asistencia para su disposición.

**Eliminación:** Personal debidamente protegido y conocedor de los riesgos existentes, procederá a lavar el área afectada con agua en abundancia. El producto residual y material contaminado, será considerado residuo peligroso si su temperatura de inflamación es menor de 60 °C. Y requerirá su disposición en una instalación aprobada para residuo peligroso.

**Procedimientos especiales de combate de incendios:** El personal que ataque un incendio en edificios o áreas confinadas donde el producto es almacenado, debe usar equipo respiratorio autocontenido con demanda. Enfriar con agua rociada los contenedores expuestos al fuego. Si la fuga o derrame no se ha incendiado, usar agua rociada para dispersar los vapores y proteger a las personas que intentan parar una fuga.

**Almacenaje:** Debido a que las gasolinas son líquidos inflamables, existe el riesgo de incendio donde se almacenan, manipulan o usan, por lo que deben tomarse precauciones para evitar que sus vapores formen mezclas explosivas. Evitar temperatura extremas en su almacenamiento, almacenar en contenedores cerrados, fríos, secos, aislados, en áreas bien ventiladas alejados del calor, fuentes de ignición y productos incompatibles como ácidos y materiales oxidantes. No almacenar en contenedores sin etiquetas y los que contengan gasolinas deberán almacenarse separados de los vacíos y de los parcialmente vacíos. No comer, tomar bebidas o fumar en las áreas usadas para su almacenamiento. Los contenedores pueden explotar cuando se calientan.

## 4.1.3 TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL

### REFINACION:

Es el conjunto de una serie de procesos físicos y químicos a los que se somete el petróleo crudo, la materia prima, para obtener de él, por destilación los diversos hidrocarburos o las familias de hidrocarburos con propiedades físicas y químicas bien definidas.

Después de la separación se aplican a los derivados así obtenidos diversos procesos de conversión para obtener de ellos productos más valiosos y éstos se someten finalmente a tratamientos con ácidos, álcalis, solventes extractivos, catalíticos con hidrógeno y reactivos químicos en general, a fin de eliminar las impurezas que los hacen impropios para su empleo comercial.

El aceite crudo, de muy diversa constitución según el origen, tiene rendimientos variables en el proceso de destilación y de fraccionamiento, a determinadas condiciones de

presión y temperatura. Estos rendimientos generalmente no concuerdan con el patrón de consumo, el cual en algunos casos, según el país de que se trate, presenta diversos requerimientos de productos ligeros, de peso molecular que no están contenidos en el aceite crudo, o por el contrario, productos residuales con alto peso molecular.

Por tal motivo, es necesario ajustar los rendimientos y características de las fracciones o cortes que constituyen los diferentes combustibles, al mencionado patrón de consumo. Este ajuste se hace sometiendo las fracciones a los diversos procesos de conversión, con objeto de obtener los productos que el mercado requiere. Tales procesos de conversión se aplican a las diferentes familias de hidrocarburos para obtener, mediante arreglos moleculares, productos más ligeros o de mayor cantidad de octano, o de menor viscosidad.

Es por la aplicación de estos procesos como la refinación puede poner a disposición del consumidor, una amplia gama de productos comerciales:

- a) Energéticos; combustibles específicos para los transportes, la agricultura, la industria, la generación de corriente eléctrica para uso doméstico.
- b) Productos especiales; lubricantes, parafinas, asfaltos, grasas para vehículos, construcción y uso habitacional.
- c) Materias primas para la industria petroquímica básica.

Para lograr lo anterior, es necesario someter las materias primas a una serie de pasos de transformación, los cuales se dividen en tres grupos principales.

#### 1) Proceso de destilación del petróleo crudo.

El petróleo crudo está formado por varios hidrocarburos que comprenden desde el gas licuado hasta el asfalto. Su separación en columnas de destilación se realiza por las diferencias de volatilidad que tienen unos y otros. El procedimiento utilizado consiste en calentar el petróleo crudo a una temperatura en que los componentes más ligeros se evaporan, para ser enseguida condensados. Esta condensación se efectúa a diferentes temperaturas. Los hidrocarburos más volátiles se condensan a menor temperatura que los menos volátiles.

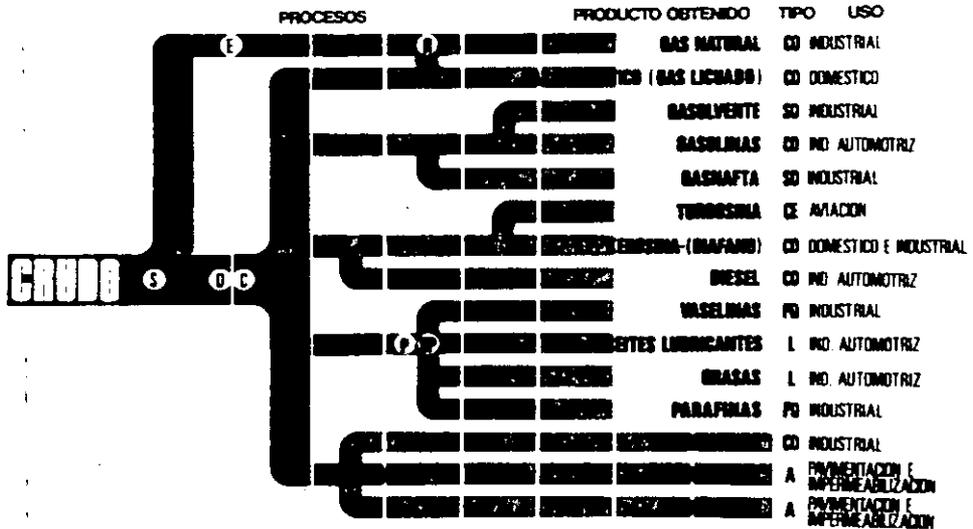
De esta forma se obtienen distintos condensados, cuyas propiedades corresponden a las de gas licuado, gasolinas, kerosinas o combustible diesel. En la figura 4.1.1 Se muestra un árbol de productos básicos del petróleo crudo.

#### 2) Procesos de desintegración

El residuo de la destilación del petróleo crudo se somete a una nueva destilación al alto vacío para separar componentes menos volátiles, que de acuerdo con las propiedades del petróleo crudo de que se trate, serán destinados a lubricantes o a ser desintegrados catalíticamente. El residuo de la destilación al vacío es asfalto, o bien,

carga para la planta de coque o para la hidrodesintegradora de residuales y la subsecuente obtención de destilados.

FIGURA 4.1.1 ARBOL DE PRODUCTOS BÁSICOS DEL PETROLEO CRUDO



SIMBOLOGIA DE PROCESOS Y TIPO DE PRODUCTO:

- S Por separado
- D Por destilación
- C Por desintegración
- E Por endulzamiento
- R Recuperación de licuables
- P Purificación
- DP Desparafinación
- CO Combustible
- SO Solvente
- CE Combustible especial
- PQ Producto químico
- L Lubricante
- A Asfalto

Los destilados al vacío que se destinan a lubricantes se someten a procesos adicionales: extracción con furfural y desparafinación con metil-etil-cetona. Al final se obtienen de ellos lubricantes, se desintegran catalíticamente para convertirse en productos comerciales; gas licuado, gasolinas de alto índice de octano; y combustible diesel.

## 3) Proceso de purificación

Estos procesos eliminan de los productos obtenidos por destilación o por desintegración, algunos compuestos que les causan propiedades inconvenientes. Los principales contaminantes en estos procesos son los compuestos derivados del azufre. Los inconvenientes que presentarían los derivados del petróleo sin estos tratamientos, serían mal olor y contaminación de la atmósfera al ser quemados.

Los trabajos de refinación transcurren continuamente durante toda la hora y todos los días. La producción obtenida tiene que ser oportunamente distribuida, tarea que se lleva a cabo por todos los medios de transporte conocidos: poliductos, buquetanque, autotanques y carrotanques.

Separación física de componentes. En la tabla 4.1, se presentan los agentes para esta separación:

**TABLA 4.1 SEPARACIÓN FÍSICA DE COMPONENTES**

PROCESO	AGENTE	EJEMPLOS DE APLICACIONES
Destilación	Adición/remoción de calor	Separación del petróleo crudo en sus derivados
Absorción	Solvente	Eliminación de CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S de hidrocarburos líquidos y gaseosos
Absorción	Adsorbente	Separación de parafinas normales e isoparafinas
Cristalización	Remoción de calor	Eliminación de parafinas en el proceso de producción de lubricantes
Filtración	Material filtrante	Remoción de sólidos en corrientes de carga y en productos refinados
Agotamiento	Gas de arrastre	Recuperación de hidrocarburos de catalizador recirculado en plantas FCC
Permeación	Membranas	Recuperación de hidrógeno de corrientes gaseosas residuales
Ciclones	Fuerza inercial	Remoción de finos de catalizador en el proceso.

## PETROQUÍMICA

Para 1923 se había iniciado ya la producción del alcohol isopropílico a partir del propileno, producto residual de las rudimentarias refinerías petroleras. A finales de la siguiente época es cuando comienza la polimerización, procedimiento con el cual pudieron ser sustituidos muchos productos de fibras naturales por nuevos productos sintéticos.

El tratamiento del gas natural con vapor de agua hizo posible el desarrollo de los fertilizantes nitrogenados en base a la síntesis directa del amoníaco, el cual no se podía obtener por extracción o purificación de los gases de coquización de la hulla.

Desde su aparición a la fecha la petroquímica ha evolucionado enormemente, aumentando cada vez más el número de procesos que utiliza y la cantidad de las aplicaciones de los productos que obtiene. Hoy día, los productos que provienen de la petroquímica son extraordinariamente variados: medicamentos, plásticos, tintas, fertilizantes, insecticidas, fibras acrílicas, hules, llantas para vehículos, losetas para pisos, cosméticos, entre muchos otros. Es decir, una extensa gama de materiales sintéticos que están sustituyendo a los productos naturales. La importancia de esta dinámica industria se atribuye a su capacidad de elaborar volúmenes masivos de sustancias químicas que provienen de materias primas abundantes y de bajo precio. No obstante de que se les incorpora un alto valor de transformación, resultan estos productos baratos por su utilidad y costo, comparados con otros procedimientos de elaboración.

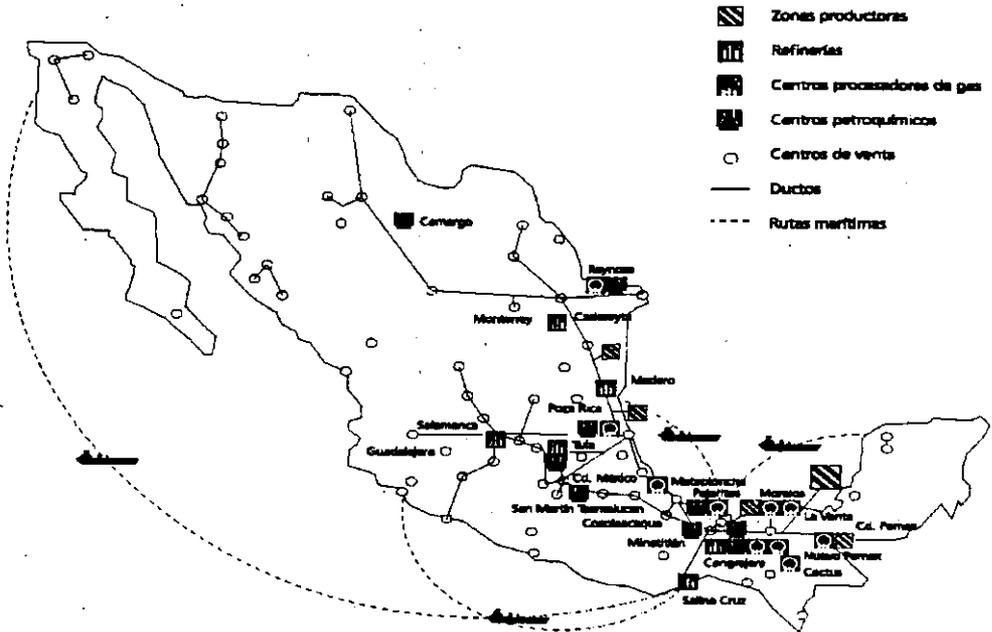
La petroquímica se puede definir como la actividad industrial que elabora productos para la industria de transformación, a partir de materias primas que han tenido su origen en el petróleo, en los gases asociados a él o en el gas natural.

Los sectores de la industria petroquímica se encuentran divididos pues en productos de uso final y productos intermedios. En el primer caso se trata de aquellos productos que ya no sufren transformación química. Los segundos, en cambio sirven de materia prima para elaborar los productos de uso final y otros intermedios, y son obtenidos a partir de los básicos o de otros intermedios.

Algunos productos básicos se utilizan también como materias de uso final. Ejemplo de ello es el amoníaco, que sirve como fertilizante por aplicación directa, y algunos solventes clorados del metano y el etileno.

A continuación se presenta la estructura de la Industria Petrolera Mexicana:

FIGURA 4.1.2 ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA PETROLERA MEXICANA



Campos en producción	299
Pozos en explotación	4 363
Plataformas marinas	164
<b>Centros procesadores de gas</b>	<b>10</b>
Endulzadoras de gas	17
Plantas criogénicas	14
Plantas de absorción	2
Fraccionadoras	7
Endulzadoras de condensados	8
Recuperadoras de azufre	15
<b>Refinerías</b>	<b>6</b>
<b>Complejos petroquímicos</b>	<b>9</b>
Plantas petroquímicas	46
<b>Terminales de distribución de gas licuado</b>	<b>16</b>
<b>Plantas de almacenamiento y agencias de ventas de productos petrolíferos</b>	<b>77</b>

## 4.2 TIPOS DE INSTALACIONES PETROLERAS

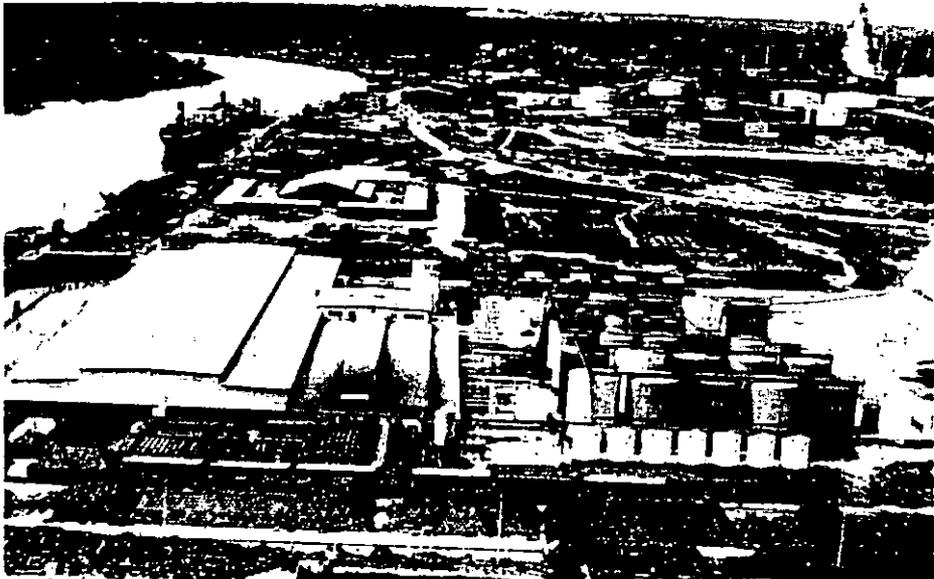
De acuerdo al cuadro presentado anteriormente, los tipos de instalaciones que existen en la industria petrolera son las siguientes:

1. Refinerías de petróleo
2. Terminales de recepción, almacenamiento y distribución de destilados.
3. Terminales de carga.
4. Plantas de proceso de gas natural y gas natural licuado.
5. Plantas petroquímicas.
6. Estaciones de medición y/o bombeo.

## 4.3 AREAS TÍPICAS

Dentro de las instalaciones, existen áreas tipo, donde se realizan diferentes actividades y por tanto requieren superficies de apoyo diferentes.

FIGURA 4.3.1 INSTALACIONES EN MINATITLAN

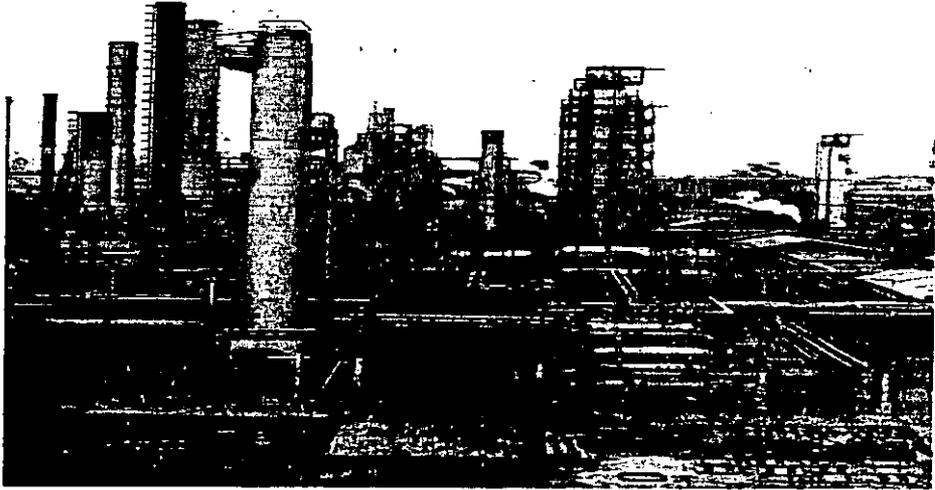


### 4.3.1 Recepción de materia prima

En esta área se recibe y se almacena la materia prima empleada en los procesos. Los patios de maniobras están sujetos a tráfico mediano.

### 4.3.2 Proceso

FIGURA 4.3.2 REFINERÍA DE AZCAPOTZÁLCO



En esta área tienen lugar las diferentes etapas requeridas para la obtención de un producto. Durante la construcción esta zona está sometida a grandes cargas debido a las grúas que montan el equipo necesario para el proceso. Existen zonas específicas que periódicamente son sometidas al paso de grúas usadas para el movimiento de equipos, esto para mantenimiento de los mismos.

### 4.3.3 Almacenamiento

Las instalaciones utilizadas para el almacenamiento de los productos terminados son: almacenes, patios, y tanques de todo tipo que se localizan dentro de un dique de contención o cualquier otra estructura que impida en caso de derrames que el producto almacenado se salga de dicha área. El tráfico en esta zona es nulo, ya que en su gran mayoría, el almacenamiento es por medio de tuberías y el tránsito es peatonal, el objetivo de estas losas de concreto es para impedir infiltraciones al suelo de productos tóxicos así como la rápida recolección del material derramado.

FIGURA 4.3.3 REFINERÍA DE MINATITLAN



#### 4.3.4 De carga y descarga

Dentro de las refineras y terminales, esta área se conoce como llenaderas. Esta sujeta a tráfico de vehículos pesados (C3, T3-S2, T3-S2-R4, etc.). Se debe considerar que estos vehículos entran vacíos y salen llenos, por lo tanto la carga varía, de igual forma existen derrames, goteras y salpicaduras que pueden ser perjudiciales al pavimento si no se consideran, otro punto importante, es la constancia del tránsito.

#### 4.3.5 Servicios

Comprende:

- a) Calderas y tratamiento de agua
- b) Torres de enfriamiento
- c) Estaciones de compresión

Para esta área el tráfico se considera como ligero, limitándose el tránsito solamente a maniobras de mantenimiento.

#### 4.3.6 Suministro eléctrico

Dentro de esta área se tienen los cuartos de control eléctrico y las subestaciones eléctricas. Los pavimentos en esta zona se limitan al tránsito peatonal, pero los pisos son diseñados para soportar los equipos a los cuales estarán sujetos.

#### **4.3.7 Quemadores de campo**

#### **4.3.8 Área de control (Cuartos de control)**

#### **4.3.9 Laboratorios**

El diseño de los pavimentos en estas zonas, queda regido por los productos que se analizan, las cargas son consideradas en segundo término.

#### **4.3.10 Mantenimiento (Talleres)**

En los talleres de mantenimiento, el diseño queda regido por los productos que se pueden derramar, gotear o salpicar líquidos corrosivos, en este caso será necesario especificar un aditivo para el concreto para disminuir su permeabilidad.

#### **4.3.11 Área de seguridad (Centrales de contraincendio)**

#### **4.3.12 Área administrativa (Edificios administrativos y zonas habitacionales)**

El tránsito para estas zonas va de ligero a mediano, los pavimentos no son sometidos a cargas grandes.

#### **4.3.13 Urbanización**

Comprende los accesos, vialidades, estacionamientos y áreas verdes. En la etapa de construcción, la urbanización permite el acceso rápido a todas las áreas de la planta. Los accesos incluyen todas las vialidades que se encuentran dentro de la planta o terminal, permiten la entrada a todos los vehículos.

### **4.4 DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA INSTALACIONES PETROLERAS**

#### **4.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Considerando las áreas que integran las instalaciones petroleras en tierra, podemos observar que en su gran mayoría, donde se emplean los pavimentos de concreto, son las áreas de proceso, patio de maniobras, vías de acceso y circulación de plantas industriales.

El diseño de estos pavimentos es muy importante, ya que esta área de ingeniería de detalle de una planta industrial, el volumen de obra llega a superar incluso a toda la obra de concreto correspondiente a cimentaciones de equipos y edificios, por tal motivo el procedimiento cubre aspectos tanto técnicos como administrativos tendientes a cumplir con este propósito.

Cuando se realiza el diseño para un pavimento urbano, este consiste en determinar el espesor total (subbase y carpeta) que satisfaga las necesidades de seguridad a las acciones externas producidas por los vehículos que circulan por él, el diseño se basa en consideraciones dinámicas para una vida útil, sin embargo, para el caso de pavimentos en plantas industriales, el diseño tiene que considerar las fases en las cuales atraviesa este, ya que tiene varias funciones.

El pavimento en su fase de construcción el pavimento sirve para mantener limpia el área de trabajo y también para el acarreo de materiales propios de la construcción, especialmente en época de lluvias; posteriormente el pavimento sirve para transporte y apoyo de grúas de montaje, y después, en la fase operativa de la planta, el pavimento sirve para recolectar y canalizar aguas de lluvia y contraincendio hasta los registros de drenaje para ser conducidas a través de tuberías hasta el exterior de la planta en donde se conecta a la red general; también en esta etapa, el pavimento sirve como piso de operación y apoyo directo de equipos de hasta 2 toneladas de peso.

Por lo anterior, se llevan a cabo 2 tipos de diseño, un diseño hidráulico y un diseño estructural, aunado a esto, se recomiendan pavimentos rígidos para que resistan mejor a las acciones de los hidrocarburos comunes y repartir mejor las cargas, algunas de ellas fuera de especificación, principalmente eventuales y no repetitivas a las que estará sujeto durante y después de la construcción.

### DISEÑO HIDRAULICO

Para comenzar se debe proponer un estudio geométrico de parteaguas en planta, acorde con una distribución de registros de drenaje localizados con preferencia en su centro, para que de esta forma queden identificadas las interferencias del escurrimiento libre, tanto del agua de lluvia como del agua proveniente de hidrantes o monitores debidas a los dados de cimentación de los equipos de todo tipo de muros de edificios, cajas enfriadoras y resto de instalaciones. Es recomendable librar las interferencias mediante sobreelevaciones en el pavimento a partir de las caras de dados y muros que obstruyen el libre flujo del agua.

Es conveniente trazar las cuadrículas de distribución de parteaguas de 16 x 16 m, para poder construir losas de 4 m. Cada una en ambas direcciones y además suavizar de esta forma las superficies de escurrimiento por motivos de seguridad, ya que se debe tomar

en cuenta que estas áreas son de operación y no deben tener pendientes pronunciadas, no obstante, de no ser posible estos dimensionamientos óptimos, la relación largo-ancho de cada losa del pavimento no debe ser mayor a 1.25 m.

Una vez que se tenga la distribución de parteaguas y localización de registros de drenaje pluvial, es necesario revisar su capacidad de desalojo tanto del agua de lluvia como de la proveniente de hidrantes y monitores, los cuales entran en operación durante la aparición de siniestros.

El procedimiento es el siguiente:

1. Para obtener el volúmen en  $m^3$  del "cono" formado por el área de cada parteagua y el desnivel del pavimento.

$$V = \frac{1}{3} Ah \quad \text{Ec. 4.1}$$

donde:

A = área del parteaguas en  $m^2$   
h = desnivel en m

2. Tiempo de llenado del cono

- Por lluvia:

$$t_1 = \frac{v}{iA} = \frac{1}{3i} (Ah) = \frac{h}{3i} \quad \text{Ec. 4.2}$$

donde:

$t_1$  = tiempo en horas  
 $i$  = intensidad de lluvia de diseño en m/hr. Propia del lugar considerado  
h = desnivel del pavimento en m.

- Por hidrantes y monitores:

$$t_2 = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec. 4.3}$$

donde:

$t_2$  = tiempo en horas  
V = volumen del cono por llenar en  $m^3$   
Q = gasto proveniente de hidrantes y monitores en  $m^3/h$ .

3. Por lo general el caudal proveniente de monitores o hidrantes es mayor que el de las lluvias, por lo tanto el mayor de estos gastos debe guardar una relación o equilibrio favorable con la capacidad de desalojo que proporcionan las áreas abiertas de las rejillas de los registros, como función del tirante hidráulico  $h$  proporcionado por el desnivel del pavimento.

Se puede dar el caso extremo para la rejilla, cuando el cono estuviera lleno y con recarga, pues en este caso  $h$  permanecería constante y en tal caso se puede estimar su gasto de entrada de la siguiente manera:

$$Q_1 = CAn \sqrt{2gh} = 4.43 (C) (An \sqrt{h}) \quad \text{Ec. 4.4}$$

donde:

$Q_1$  = Gasto de entrada al registro en  $m^3/sg$ .  
 $C$  = Coeficiente de entrada adimensional  
 $An$  = Area neta de entrada de la rejilla en  $m^2$   
 $h$  = Desnivel del pavimento en  $m$

Entonces:

$$t_3 = \frac{V}{Q_1} \quad \text{Ec. 4.5}$$

donde:

$V$  = volumen del cono en  $m^3$

El valor de  $t_3$  será mayor a la suma de  $t_2 + t_1$ . Esto indicara que en una planta industrial, el tiempo de desalojo  $t_3$  cubre con suficiente holgura los tiempos de llenado  $t_2$  y  $t_1$ .

Si se presentara el caso de que se rebase esta capacidad por algún motivo fortuito, como puede ser la obstrucción del área neta de la rejilla por acumulación de basura o bien por concentrar en un solo punto el gasto de varios monitores o hidrantes, al inundarse el cono en cuestión, el agua derramaría sobre conos adyacentes, o bien sobre calles circundantes según el caso, aliviando de esta forma el exceso de concentración.

### DISEÑO ESTRUCTURAL

El trabajo estructural de las losas de un pavimento de concreto es principalmente un trabajo de flexión por los efectos de temperatura en el día o en la noche, aunados a estos, los esfuerzos debidos a cargas verticales provenientes de las ruedas de los vehículos.

Estos efectos deben considerarse en el cálculo para prevenir grietas sobre las superficies expuestas, pues éstas tienen dos inconvenientes, primeramente estructural, ya que su presencia disminuye la capacidad del pavimento para transmitir y distribuir uniformemente cargas extremas al interrumpir la trabazón que existe originalmente en el agregado grueso y segundo, porque al permitir el paso del agua hasta la base, modifica sus propiedades mecánicas y además propicia el fenómeno de "bombeo" del material fino al paso de los vehículos.

En las áreas de proceso, existe muy poco tránsito vehicular, por tal motivo, es apropiado en primer término calcular los esfuerzos bajo consideraciones puramente estáticas.

Los primeros esfuerzos a los cuales está sujeto un pavimento, es a los producidos por cambios de temperatura, como ya se menciona en el primer capítulo de este trabajo. A continuación se presentan métodos aproximados para su determinación, ya que esta condición de esfuerzos induce trabajo a las fibras extremas de las losas.

### Esfuerzo por contracción

Para una losa de largo  $L$ , ancho unitario y peralte  $h$ , el esfuerzo máximo ocurre en  $L/2$ .

$$\sigma = \frac{1 \times h \frac{L\mu}{2}}{1 \times h} \quad \gamma = \frac{L}{2} \gamma \mu \quad \text{Ec. 4.6}$$

donde:  $0.5 \leq \mu \leq 2.5$  es el coeficiente de fricción concreto-material de base.

### Esfuerzo en las fibras extremas

En el día la superficie de la losa expuesta al sol se pandea hacia arriba quedando los bordes hacia abajo; debido a esto, aparecen esfuerzos en las esquinas, bordes e interior de la losa:

$$\text{En el borde} \quad \sigma_{xh} = \frac{C_x E e_1 t}{2} \quad \text{Ec. 4.7}$$

$$\text{En el interior} \quad \sigma_{xt} = \frac{E e_1 t (C_x + \nu C_y)}{2(1 - \nu^2)} \quad \text{Ec. 4.8}$$

En la esquina 
$$\sigma_e = \frac{Ee_c t}{3(1-\nu)} \sqrt{\frac{a}{\ell_r}} \quad \text{Ec. 5.9}$$

El esfuerzo en la esquina, aplica para la noche en la cual los bordes quedan orientados hacia arriba. El significado de los términos de las expresiones, es el siguiente:

E = Módulo de elasticidad del concreto

$e_c$  = diferencia unitaria térmica del concreto = 0.0001/°C

t = gradiente de temperatura en el espesor de la losa = 0.7°/cm de espesor

$$\ell_r = \text{radio de rigidez relativa en cm.} = 4 \sqrt{\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)k}} \quad \text{Ec. 4.10}$$

donde:  $\nu = 0$  (ACI-1871)

k = módulo de reacción del terreno en kg/cm<sup>3</sup>

$$2 \leq k \leq 8$$

El valor 2, corresponde a suelos difíciles con muy baja capacidad de carga y el 8 corresponde con suelos resistentes, sin embargo debe observarse su escasa participación ya que se ven afectados de la raíz cuadrada

a = Área de contacto de una rueda equivalente considerada sobre el pavimento

#### Esfuerzo por carga de rueda bajo consideraciones estáticas

De igual forma que para los esfuerzos de temperatura, se establecen 3 posiciones de rueda, para sumarlos como los primeros.

En borde: 
$$\sigma_b = 0.529(1+\nu) \frac{P}{n^2} \left[ \text{Log}_{10} \left( \frac{Eh^2}{Kb^4} \right)^{-0.71} \right] \quad \text{Ec. 4.11}$$

$$\sigma_1 = 0.275(1+\nu) \frac{P}{h^2} \left[ \text{Log}_{10} \left( \frac{Eh^3}{kb^4} \right)^{-54.54} \left( \frac{\ell_r}{L} \right)^2 Z \right]$$

En la esquina:

$$\sigma_e = \frac{JP}{h^2} \left( 1 - \frac{a_r}{l_r} \right)$$

Ec. 4.13

donde:

$$\begin{aligned} b &= \sqrt{(1.6a^2 + h^2)} - 0.675 h \\ Z &= 0.2 \\ L &= 5 \ell \\ J &= 3.2 \text{ para esquinas protegidas} \\ a_1 &= a\sqrt{2} \end{aligned}$$

Los esfuerzos combinados determinados a partir de las fórmulas anteriores sirven de base para el diseño estructural de un pavimento rígido constituido por losas de concreto hidráulico; sin embargo, se pueden establecer niveles mínimos de esfuerzo estandarizados con fines de diseño a partir de un determinado tipo de camión, calidad del concreto, tamaño de losas y espesor tentativo del pavimento. De cualquier forma, siempre será necesario realizar el diseño en base a los requerimientos del proyecto y considerar todos los factores que puedan afectar el buen funcionamiento del pavimento.

El diseño estructural del pavimento se hará con los criterios de resistencia última afectando con el factor correspondiente los valores de esfuerzos obtenidos con las fórmulas.

Para el caso de pavimentos cuya circulación de vehículos sea continuas, como es el caso de patios de maniobras, vías de acceso y circulación continuas, se diseñará siguiendo los métodos descritos en el capítulo 2.

Cuando se presente una grieta en una losa, esto no determina la falla funcional, pues éste sigue trabajando y prestando un servicio seguro y eficiente durante algún tiempo. El rechazo de los usuarios para transitar por él debido a su mal estado es por el contrario un buen índice de que el pavimento ha llegado al final de su vida útil. Ver el ANEXO, donde se presentan la fallas que puede presentar un pavimento y el método más adecuado para repararlo.

Las pruebas de laboratorio indican que el concreto simple no tiene ninguna capacidad práctica para resistir esfuerzos de tensión, y esta singularidad sugiere recurrir en primer lugar a concretos sofisticados en base a la utilización de agregados gruesos que de por sí pudieran reunir las características de forma, rugosidad y resistencia adecuadas para

utilizarlo en la fabricación del concreto; estas características pueden obtenerse a partir de procesos de trituración especializados.

Sin embargo la utilización de mallas de acero colocadas en las fibras extremas de las losas suple ampliamente esta deficiencia y garantizan una respuesta segura y confiable frente a los esfuerzos inducidos por efecto de temperatura y carga de rueda, añadiéndose además la ventaja que durante la construcción se puede verificar su colocación.

#### 4.4.2 EJEMPLO DE DISEÑO

El siguiente ejemplo, se localiza en la Vialidad Perimetral Norte y el carril lateral de la Avenida Ingenieros Militares de a Terminal de Recibo, Almacenamiento y Distribución de Destilados de Pemex en Azcapotzalco, D.F.

El diseño y la construcción del pavimento de concreto de la Vialidad Perimetral Norte y de la lateral de la Avenida Ingenieros Militares, considera una estructura formada por una capa subrasante estabilizada de 30 cm de espesor (ver punto 3.4.2), una subbase estabilizada de 15 cm de espesor (ver punto 3.4.3) y una losa de 20 o 25 cm de espesor en el cuerpo de entrada o salida de las vialidades respectivamente (ver punto 3.5).

#### METODOLOGIA EMPLEADA

Para la determinación de los espesores de los pavimentos se empleó el método de diseño de la Portland Cement Association (PCA, 1984), el cual considera los siguientes criterios:

#### FACTORES DE DISEÑO

##### *Tránsito*

Se define como el número de ejes que pasan por el carril de diseño, clasificado por tipo y carga por eje. Este es el parámetro que influye más en el cálculo de espesores. Para determinarlo se tomó en cuenta lo siguiente:

- a) Tránsito diario promedio anual (TDPA) en ambos sentidos = 1200 vehículos pesados.

b) Pesos considerados:

Tipo Eje	C3 (Ton)		T3-S2 (Ton)		T3-S3 (Ton)		T3-S2-R4 (Ton)	
	Lleno	Vacio	Lleno	Vacio	Lleno	Vacio	Lleno	Vacio
1*	6.3	4.7	5.7	4.7	5.7	4.7	5.7	4.7
2**	19.2	5.8	18.2	5.8	20.3	5.8	18.4	5.8
3**			18.2	5.8			18.4	5.8
3***					25.3	7		
4**							18.4	5.8
5**							18.4	5.8
<b>Total</b>	25.5	10.5	42.06	16.3	51.31	17.5	79.42	27.9
*	Eje sencillo							
**	Eje dual							
***	Eje tridem							

Nota: Para calcular los pesos llenos se consideró el peso volumétrico promedio de la gasolina y el Diesel = 0.8 Ton/m<sup>3</sup>

c) Número inicial de repeticiones por día en el i-ésimo grupo de cargas ( $(n_0)_i$ ):

Tipo de vehículo	Descripción	Capacidad (lt)	Frecuencia (%)	Número de vehículos
C3	Camión de tres ejes	20,000	80	960
T3-S2	Tractor de tres ejes con semiremolque de dos ejes	32,000	7	84
T3-S3	Tractor de tres ejes con semiremolque de tres ejes	42,000	7	84
T3-S2-R4	Tractor de tres ejes con semiremolque de dos ejes y remolque de 4 ejes.	64,000	6	72
<b>Total</b>			100	1200

d) Tasa de crecimiento del tráfico vehicular ( $r$ ) = 5%

e) Factor direccional ( $D$ ) = 0.5

f) Factor de distribución de carril ( $C$ ) = 1

g) Periodo de diseño ( $A$ ) = 20 años.

- h) Factor de tránsito pesado (FTP) = 1  
 i) Factor de crecimiento (F.C.) = 1.63

La PCA utiliza el tránsito a la mitad del periodo de diseño como el de diseño:

$$F.C. = (1+r)^{0.5A}$$

- j) Número total de vehículos pesados en el periodo de diseño = 14'278,800  
 k) Número de vehículos pesados en el carril de diseño = 7'139,400

Tipo de vehículo	Frecuencia (%)	Número de vehículos
C3	80	5'711,520
T3-S2	7	499,758
T3-S3	7	499,758
T3-S2-R4	6	428,364
<b>Total</b>	100	7'139,400

- l) Número total de repeticiones ( $n_i$ ) del  $i$ -ésimo grupo de cargas de ( $n_i$ ):

$$n_i = (n_0)_i (F.C.) (D) (C) (365) (A)$$

- l.1) Para los carriles de salida de la Vialidad Perimetral Norte, retornos e intersecciones de calles, se consideraron todos los vehículos llenos:

Eje	Carga por eje (Ton)	Repeticiones esperadas
Sencillos	5.7	1'427,880
	6.3	5'711,520
<b>Subtotal1</b>		7'139,400
Duales	18.2	999,516
	18.4	1'713,456
	20.3	499,758
	19.2	5'711,520
<b>Subtotal2</b>		8'924,250
Tridem	25.3	499,758
<b>Subtotal3</b>		499,758
<b>Total</b>		16'563,408

- 1.2) Para la lateral de la Avenida Ingenieros Militares y los carriles de entrada de la Vialidad Perimetral Norte, excepto en retornos e intersecciones de calles, se consideró el 90% de vehículos vacíos y el 10% de vehículos llenos.

Eje	Carga por eje (Ton)	Repeticiones esperadas
Sencillos	4.7	6'425,460
	5.7	142,788
	6.3	571,152
<b>Subtotal1</b>		7'139,400
Duales	5.8	8'031,825
	18.2	99,952
	18.4	171,345
	19.2	571,152
	20.3	49,976
<b>Subtotal2</b>		8'924,250
Tridems	7	449,782
	25.3	49,976
<b>Subtotal3</b>		499,758
<b>Total</b>		16'563,406

#### *Factor de seguridad*

Factor de seguridad de diseño empleado (F.S.) = 1.2, el cual corresponde a una carretera de alto volumen de tránsito y sin interrupción.

#### *Resistencia del concreto*

Resistencia a la flexión del concreto (MR) medida en la prueba de carga en los tercios medios de vigas =  $42 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.

#### *Resistencia de las capas de suelo*

Considerando que el valor relativo de soporte del terreno natural es de  $3\%^{(1)}$ , y su correspondiente módulo de subgrado de reacción (K) =  $2.8 \text{ kg/cm}^3$ , sobre la capa subrasante se tendrá un módulo de subgrado de reacción combinado<sup>(1)</sup> ( $k_c$ ) =  $4 \text{ kg/cm}^3$  y sobre la subbase estabilizada con cemento<sup>(1)</sup>  $k_c = 13.8 \text{ (kg/cm}^3)$ .

#### *Transferencia de carga en las juntas*

La transferencia de carga en las juntas será mediante barras de acero (pasajuntas)

*Acotamientos*

Se consideró el pavimento sin acotamientos, ya que las guarniciones y las banquetas existentes no pueden considerarse como acotamientos.

**REVISION DE ESPEORES**

Se propone utilizar un espesor de pavimento de 25 cm. A continuación se presenta la tabla que se utilizó en la revisión del espesor:

Revisión del espesor de 25 cm.

Proyecto	Vialidad Perimetral Norte de la TRADDA, D.F.					
Tramo:	Carril de salida		Del Km al Km			
Número de carriles:	2 por sentido		Espesor propuesto:	25	cm	
Módulo de reacción combinado (kc)=	13.8 Kg/cm <sup>2</sup>		Periodo de diseño =	20 años		
Módulo de Ruptura MR=	42	Kg/cm <sup>2</sup>	T.D.P.A.	1200 en ambos sentidos		
Juntas con pasajuntas	si <input checked="" type="checkbox"/> X	no <input type="checkbox"/>	Acotamiento de concreto	si <input type="checkbox"/>	no <input checked="" type="checkbox"/> X	
			<b>Análisis por fatiga</b>		<b>Análisis por erosión</b>	
Carga por eje (Ton)	Peso x F.S 1.2	Repeticiones esperadas	Repeticiones permisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones permisibles	Porcentaje de daño
1	2	3	4	5	6	7
8. Esfuerzo equivalente =		10.9	9. Factor de proporción de esfuerzos =		0.26	
10. Factor de erosión =		2.50				
<b>Ejes sencillos</b>						
6	7.20	1,427,880	+100,000,000	1.4	+500,000,000	0.3
7	8.40	5,711,520	+100,000,000	5.7	400,000,000	1.4
11. Esfuerzo equivalente =		9.1	12. Factor de proporción de esfuerzos=		0.22	
13. Factor de erosión =		2.61				
<b>Ejes tandem</b>						
18	21.6					
19	22.8	2,712,972	+100,000,000	2.7	12,500,000	21.7
20	24	5,711,520	+100,000,000	5.7	9,000,000	63.5
21	25.2	499,758	+100,000,000	0.5	6,500,000	7.7
14. Esfuerzo equivalente =		6.8	15. Factor de proporción de esfuerzos=		0.16	
16. Factor de erosión =		2.70				
<b>Ejes tridem</b>						
26	10.40	499,758	+100,000,000	0.5	11,000,000	4.5
		<b>16,563,408</b>		<b>17</b>		<b>99</b>

Para las condiciones donde la carga es menor, se propone utilizar un espesor de pavimento de 20 cm. A continuación se presenta la tabla que se utilizó en la revisión del espesor:

Revisión del espesor de 20 cm.

Proyecto	Vialidad Perimetral Norte de la TRADDA, D.F.					
Tramo:	Carril de entrada		Del Km al Km			
Número de carriles:	2 por sentido		Espesor propuesto:		20 cm	
Módulo de reacción combinado (kc)=	13.8 Kg/cm <sup>2</sup>		Periodo de diseño = 20 años			
Módulo de Ruptura MR=	42 Kg/cm <sup>2</sup>		T.D.P.A. 1200 en ambos sentidos			
Juntas con pasajuntas	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>		Acotamiento de concreto		si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	
			Análisis por fatiga			Análisis por erosión
Carga por eje (Ton)	Peso x F.S 1.2	Repeticiones esperadas	Repeticiones permisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones permisibles	Porcentaje de daño
1	2	3	4	5	6	7
8. Esfuerzo equivalente =		14.8	9. Factor de proporción de esfuerzos =		0.35	
10. Factor de erosión =		2.79				
<b>Ejes sencillos</b>						
5	6.00	6,425,460	+100,000,000	6.4	+100,000,000	6.4
6	7.20	142,788	+100,000,000	0.1	+100,000,000	0.1
7	8.40	571,152	+100,000,000	0.6	30,000,000	1.9
11. Esfuerzo equivalente =		12.1	12. Factor de proporción de esfuerzos=		0.29	
13. Factor de erosión =		2.88				
<b>Ejes tandem</b>						
6	7.2	8,031,825	+100,000,000	8.0	+100,000,000	8.0
19	22.8	271,297	+100,000,000	0.3	1,400,000	19.4
20	24	571,152	+100,000,000	0.6	1,100,000	51.9
21	25.2	49,976	30,000,000	0.2	900,000	5.6
14. Esfuerzo equivalente =		9.1	15. Factor de proporción de esfuerzos=		0.22	
16. Factor de erosión =		2.94				
<b>Ejes tridem</b>						
7	2.80	449,782	+100,000,000	0.4	+100,000,000	0.4
26	10.40	49,976	+100,000,000	0.0	1,700,000	2.9
		<b>16,563,408</b>		<b>17</b>		<b>97</b>

Como resultado de la tabla, el espesor propuesto de 25 cm es adecuado para la condición de todos los vehículos llenos circulando por los carriles de salida de la vialidad perimetral norte, intersecciones de calles y retornos.

Como resultado de la tabla, el espesor propuesto de 20 cm es adecuado para la condición de 90% de vehículos vacíos y 10% de vehículos llenos por los carriles de

entrada de la lateral de la avenida ingenieros militares y carriles de entrada de la vialidad perimetral norte, excepto en intersecciones de calles y retornos.

## GEOMETRIA DE LAS LOSAS

Las losas de concreto típicas serán de 3.75 x 4.5 m en la vialidad Perimetral Norte y de 3.65 x 4.5 m en la lateral de la Avenida Ingenieros Militares. En general, la relación largo a ancho de las losas no deberá ser mayor de 1.25.

### *Lineamientos*

La formulación de estos procedimientos constructivos está referida en todo lo que procede a las normas de construcción vigentes de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.), las normas del American Concrete Institute (ACI) para bases y pavimentos de concreto y especificaciones de la Portland Cement Association.

## CONCRETO

El diseño de la mezcla de concreto se enfocará a cubrir dos aspectos fundamentales: uno, tener la resistencia necesaria para evitar fallas estructurales y el otro, prevenir el deterioro. Sin considerar la fibra de acero, las resistencias mínimas del concreto a la flexión (MR) y a la compresión ( $f_c$ ), medidas a los 28 días, serán cuando menos de 42 kg/cm<sup>2</sup> (ver punto 3.5.13.1) y 350 kg/cm<sup>2</sup> (ver punto 3.5.13.2) respectivamente.

### Aditivos

- a) Con el fin de mejorar la trabajabilidad de la mezcla, se adicionará un aditivo reductor de agua de alto rango del tipo Rheobuild 1000 o similar en una proporción de 7 a 15 ml/kg de cemento, dependiendo de la aceleración en la obtención de resistencias requeridas y del incremento en el revenimiento.
- b) Se adicionarán fibras de acero dúctiles del tipo Fibercon ACERO con dimensiones nominales (0.25mm x 0.69mm x 19mm) o similar en una proporción de ~~36 kg/m<sup>3</sup>~~, excepto en retornos, en intersecciones de calles, en zonas con topes, en rampas y en las losas de entrada y salida a las vialidades y accesos (estacionamientos, llenaderas, etc.), donde la proporción será de ~~46 kg/m<sup>3</sup>~~. Para su dosificación se deberán seguir las recomendaciones del fabricante.
- c) La mezcla determinada de la manera anterior deberá producir un concreto rheoplástico, el cual no requiere un vibrado excesivo para su colocación.

### Recomendaciones de colocación

- a) Considerando que se colará un concreto rheoplástico el cual no requiere un vibrado excesivo para su colocación se empleará cualquier equipo mecánico, cuyas funciones sean las de enrasar y compactar las mezclas, así como dar el terminado.
- b) El concreto deberá ser distribuido en forma uniforme sobre la subbase debidamente preparada de tal manera que requiera el mínimo posible de operaciones de manejo; este manejo deberá hacerse de preferencia con un repartidor mecánico. Cuando sea necesario repartir a mano, se usarán palas y no rastrillos. El concreto se colocará frente a la regla con espesores uniformes a lo ancho de la sección, con una ligera sobrecarga, del orden de 2 cm, para efectuar el enrase adecuado.
- c) No se permitirá que los obreros caminen sobre el concreto con botas o zapatos cubiertos de tierra u otras sustancias extrañas.
- d) Por ningún motivo se dejará caer el concreto directamente sobre áreas donde haya pasajuntas. El concreto se depositará sobre la subbase tan cerca como sea posible de las pasajuntas pero sin moverlas. Después se echará con pala a ambos lados de la junta simultáneamente de tal manera que ejerza la misma presión en ambos lados. Al colar el concreto junto a las juntas de contracción y expansión y al vibrar en las zonas adyacentes a estas juntas, los obreros deberán evitar caminar o mover los dispositivos para transmisión de carga, ya sea antes o después de que estos dispositivos queden cubiertos por el concreto.
- e) El concreto se colocará solamente sobre subbases que hayan sido preparadas y aprobadas de acuerdo con estas especificaciones. Es deseable que se hayan preparado por lo menos 100 m de subbase. El concreto no se colará alrededor de cajas de registro u otras estructuras que no hayan sido niveladas y alineadas correctamente.
- f) Independientemente del equipo de colocación que se utilice, en áreas irregulares, tales como zonas con pasajuntas, alcantarillas, guarniciones, se deberá utilizar el vibrador por inmersión. La cabeza del vibrador deberá estar lo más vertical posible, totalmente sumergida. El espaciamiento de las diferentes inmersiones deberá estar en el rango de 0.5 a 0.75 m. La vibración se realizará a todo lo largo de las juntas y a ambos lados de ellas. El vibrador no deberá hacer contacto con las juntas, los dispositivos para transmisión de cargas, las cimbras, o la subbase. Si se mueve alguna de las pasajuntas, se deberá alinear nuevamente antes de que la máquina de acabados pase sobre ellas. Este equipo manual únicamente será un complemento a la vibración del concreto proporcionada por los equipos mecánicos.
- g) Se deberán dar dos pasadas. La primera es para dar un acomodo y compactación inicial al concreto. Con la segunda pasada se logra el terminado. En la primera se debe incrementar al máximo la frecuencia, mientras que en la segunda se deberá reducir.
- h) Si al retiro del cimbrado, en caso de que se le utilice, aparecen irregularidades del tipo de porosidades, panal de abeja, etc., se deberán acercar más los vibradores a las

cimbras, aumentar la frecuencia o la amplitud de los vibradores, o en el último de los casos, disminuir la velocidad de avance

- i) El contratista será responsable de la protección de las losas previamente coladas cuando se coloque concreto junto a ellas.
- j) El contratista proporcionará el concreto para la elaboración de las vigas y los cilindros de prueba especificados, así como para el revenimiento y otras pruebas que se consideren convenientes durante el proceso de construcción.

#### **Terminación y texturizado**

- a) Después de colocar el concreto, para afinar la superficie y las pendientes dejadas por el equipo manual o mecanizado, así como darle la planicidad requerida, si no se cuenta con equipo especializado, los trabajos de alisado y rectificación de pendientes se harán con reglas. En el caso de secciones de grandes anchos, se deberán emplear inclusive allanadoras de mango largo.
- b) Cuando se logre la planicidad y el perfilamineto de irregularidades superficiales, se procederá al texturizado del pavimento. Se podrán utilizar escobas de cabello duro o de metal, así como máquinas para dar textura de peine de metal para rayar y dar textura a la superficie. Una técnica más adecuada para concreto con fibras de acero, es utilizar una unidad de rodillos con una superficie maquinada que da la textura deseada al acabado. La tendencia de esta técnica es de empujar las fibras para dentro en vez de tirarlas como en los otros métodos. No se deberá tratar de dar textura arrastrando arpillera mojada por la superficie ya que esto tiende a tirar las fibras de la mezcla.
- c) El trabajo de dar la textura deberá ser demorado hasta que el concreto se ha fraguado suficientemente para resistir la extracción de las fibras. Sin embargo, toda la operación debe realizarse antes de que aparezca el agua de sangrado en la superficie; de otra manera, se incrementa el potencial de fisuramiento.
- d) Cuando por alguna razón aparezca agua en la superficie, todas las labores de terminado y texturizado se deben suspender hasta que sea removida el agua de sangrado.
- e) La operación de terminado y texturizado deberá hacerse de manera que nunca se retrase demasiado el curado, pues se incrementa la posibilidad de fisuramiento.

#### **Curado**

El curado del concreto se efectuará mediante una membrana a base de CURE EB de Sonneborn o similar. La superficie del concreto incluyendo los costados deberá ser curada inmediatamente después del texturizado, aplicando el compuesto por medio de aspersores mecánicos a presión, con un gasto de no menos de un cuarto de litro por metro cuadrado.

Durante la aplicación, el material de curado deberá agitarse constantemente para evitar la sedimentación de los sólidos de la solución. Para su aplicación se deberán tomar en cuenta las recomendaciones del fabricante.

#### **Juntas de contracción transversales con pasajuntas**

- a) La separación será de 4.5 m, excepto en las zonas de ajuste
- b) En la Vialidad Perimetral Norte, las pasajuntas se formarán con barras redondas lisas de acero de 60 cm de largo, con diámetro de 31.8 mm (1 1/4") con un  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ . En la lateral de la Avenida Ingenieros Militares, hasta la coordenada S-352.4, las pasajuntas serán de 25.4 mm (1") de diámetro, con características similares a las de 1 1/4"
- c) A las barras pasajuntas se les deberá proporcionar de una protección anticorrosiva, a base de un recubrimiento epóxico. El espesor del recubrimiento no deberá ser mayor de 0.3 mm. Adicionalmente, las pasajuntas se cubrirán en toda su longitud con una película de emulsión asfáltica con un espesor máximo de 0.13 mm.

#### **Pasajuntas**

- a) El contratista colocará las pasajuntas por medio de canastillas, las cuales constan de estructuras de alambre o silletas que guardan y sostienen las pasajuntas a la profundidad adecuada y con la alineación correcta. Las pasajuntas estarán soldadas al armazón de alambre por punteo en un extremo de manera alternada, manteniendo el otro extremo libre.
- b) Se orientarán paralelas al eje del trazo del pavimento y a la superficie de éste último. La tolerancia será de 6 mm por cada 30.5 cm de longitud de las pasajuntas en la dirección horizontal, vertical o combinada.
- c) Se colocarán al centro de la losa con una separación máxima de 30 cm centro a centro. La colocación en el centro de la losa deberá hacerse con la mayor exactitud.
- d) Las canastillas se fijarán a la subbase mediante estacas de acero de un diámetro mínimo de 5/16". Será necesario realizar pruebas para determinar el número de estacas requeridas para fijar las canastillas. En general, se requerirán menos de ocho estacas para asegurar una canastilla de 3.75 m. Un mecanismo alterno para fijar las canastillas es con grapas que se clavan en la subbase.

#### **Juntas transversales de construcción**

Las juntas transversales de construcción se construirán al final de los trabajos diarios de colocación del concreto, o cuando ocurra algún otro tipo de interrupción. En caso de ser posible, el contratista debe colocar una junta transversal de construcción en el mismo lugar

que le corresponderá a una junta transversal de contracción. En caso contrario, la colocación debe hacerse dentro del tercio medio del tablero.

### **Juntas transversales de expansión**

Serán requeridas principalmente en entronques de calles, en proximidades de estructuras y curvas de radios pequeños.

Las pasajuntas se formarán con barras redondas lisas de acero de 60 cm de largo, con diámetro de 31.8 mm (1 1/4"), con un  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ .

Se recomienda recubrir las barras con epoxy para darles resistencia a la corrosión. El extremo encamisado de las pasajuntas se debe lubricar con una película de emulsión asfáltica de un espesor máximo de 0.13 mm.

Se colocarán al centro de la losa con una separación máxima de 30 cm centro a centro. La colocación en el centro de la losa deberá hacerse con la mayor exactitud.

La colocación de las pasajuntas se hará mediante canastillas de dilatación, las cuales son fijadas a la base antes de colocar el concreto.

Las juntas tendrán un ancho de 19 mm (3/4").

### **Juntas de expansión con pasajuntas**

- a) En las juntas transversales de expansión uno de los extremos de cada barra pasajunta estará dotado de un tapón de expansión. La tapa debe cubrir cuando menos 51 mm de la espiga y debe proporcionar un ajuste hermético. La tapa estará equipada con un tope que evite que la tapa se salga de la barra durante la colocación. La ubicación del tope será tal que proporcione una cobertura mínima de la barra pasajuntas igual a 6 mm más que el ancho de la junta, para el caso de 3/4" de ancho, la cobertura mínima será de 25 mm. El extremo encamisado de la barra también debe lubricarse para evitar la adherencia.
- b) Los mismos requisitos de colocación y alineación para pasajuntas en las juntas de contracción, se aplican a las pasajuntas de las juntas de expansión.
- c) Una canastilla de dilatación sostiene y alinea las barras pasajuntas y al mismo tiempo sostiene el material de relleno preformado. El material de relleno debe cubrir todo el ancho de la losa y ajustarse perfectamente dentro del armazón de la canastilla.
- d) Se debe tener especial cuidado en la alineación de la canastilla de sostén de las barras pasajuntas, a fin de permitir el movimiento de la junta.

### **Juntas de expansión sin pasajuntas (juntas de aislamiento).**

- a) En este tipo de juntas, las caras de las juntas se deben engrosar para reducir los esfuerzos por cargas desarrollados a lo largo del fondo de la losa. Las losas deben engrosarse 5 cm a lo largo de la junta de dilatación, ver planos constructivos. La transición en el espesor se debe hacer en una distancia mínima de 2 m.
- b) Se harán juntas de aislamiento sin engrosar los bordes de la losa alrededor de todas las estructuras vecinas al pavimento. Deberán tener un ancho de 13 mm (1/2") y serán del tipo premoldeado.

#### **Juntas de contracción longitudinales con barras de amarre**

La separación típica será de 3.75 m en la Vialidad Perimetral Norte y de 3.65 en la lateral de la Avenida Ingenieros Militares.

Las barras de amarre se formarán con varillas corrugadas del No 5 (5/8") de 100 cm de largo, con un  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ .

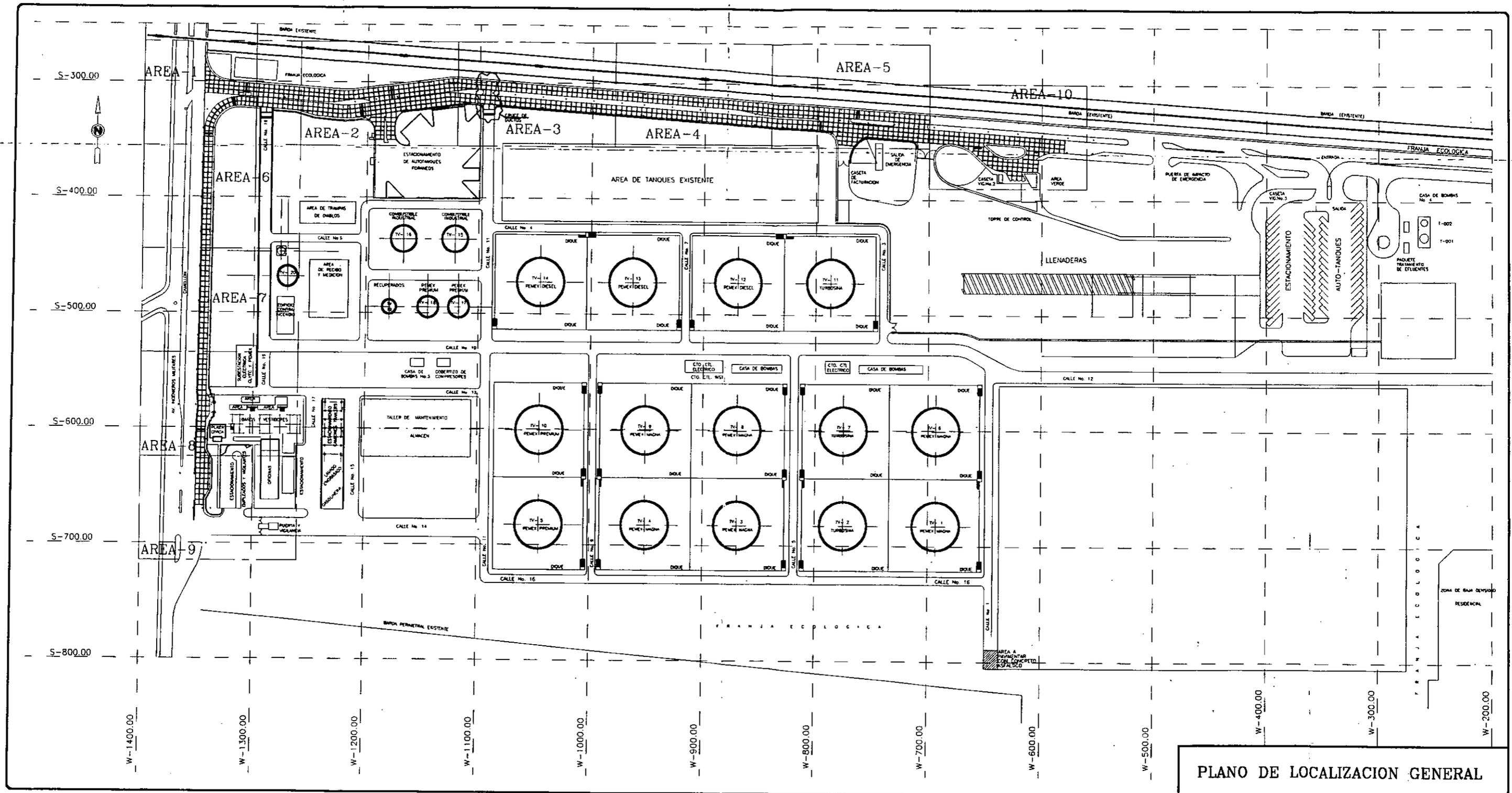
#### **Juntas longitudinales de construcción**

Estas juntas se construirán en carriles que se pavimenten de manera separada, zonas de ajuste o intersecciones de calles. La transferencia de cargas será por medio de machimbres y varillas corrugadas del No 5, excepto en la intersección de la Vialidad Perimetral Norte con la salida de facturación en donde serán del No 10 (ver planos de detalle).

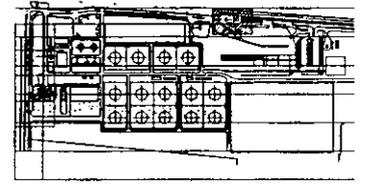
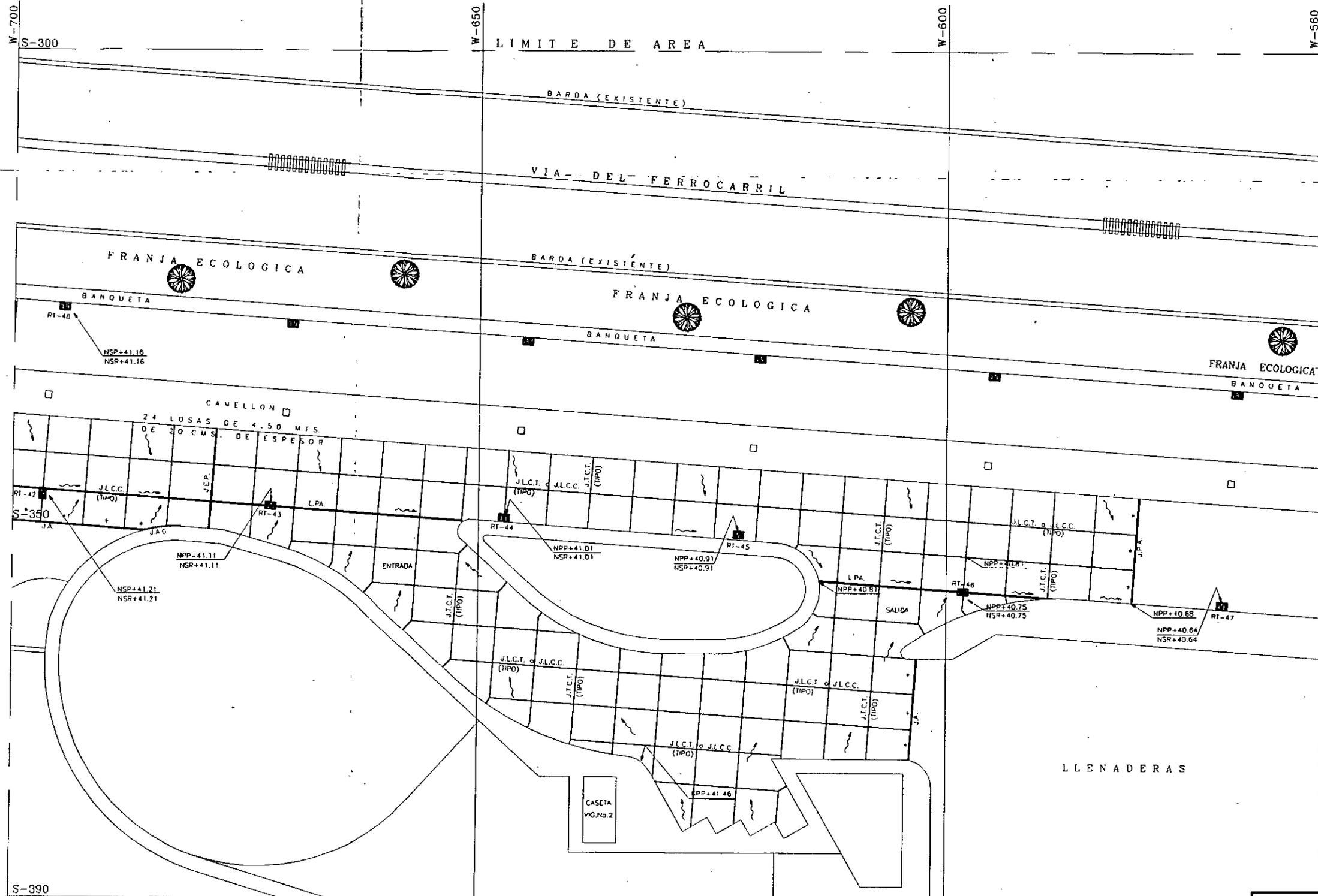
- a) La geometría de las juntas será trapezoidal.
- b) Los requisitos para las varillas corrugadas son similares a las correspondientes a las juntas longitudinales de contracción.
- c) Las varillas deberán protegerse contra la corrosión cuando menos en su tercio medio. El recubrimiento no deberá exceder a .3 mm en espesor.

#### **Junta de sello del pavimento con la guarnición**

La junta de unión de las guarniciones con el pavimento se hará colocando sobre la guarnición un relleno para juntas de expansión a base de espuma de polietileno de celdas cerradas, del tipo FOAMTECH o similar con dimensiones de 1/4" de espesor por 10 cm (4") de altura, el cual posee una tira desprendible para formar la caja de sellado.



PLANO DE LOCALIZACION GENERAL



**CROQUIS DE LOCALIZACION**

**NOTAS GENERALES**

**NOTAS DE CONCRETO**

- 1.- EN EL DISEÑO DE LAS LOSAS PLATEADAS SE TIENE EN CUENTA UNA RESISTENCIA CARACTERISTICA DE 2500 KG/CM<sup>2</sup> Y UN MÓDULO ELÁSTICO DE 2.1E5 KG/CM<sup>2</sup>.
- 2.- EL CONCRETO SE LE APLICARÁN PUNTALES DE ACERO DE 10 CM DE DIÁMETRO TIPO "E" EN TODAS LAS PUNTALES DE 1.50 MTS. DE ALTO Y EN LOS PUNTALES DE 3.00 MTS. DE ALTO SE LE APLICARÁN PUNTALES DE 15 CM DE DIÁMETRO TIPO "E" EN TODAS LAS PUNTALES DE 3.00 MTS. DE ALTO Y EN LOS PUNTALES DE 4.50 MTS. DE ALTO SE LE APLICARÁN PUNTALES DE 20 CM DE DIÁMETRO TIPO "E" EN TODAS LAS PUNTALES DE 4.50 MTS. DE ALTO.

**NOTAS DE ACERO**

- 1.- LAS VARILLAS DE SUJECCION SERÁN CORRUGADAS DE # 7.5/8" CON UN  $f_y = 4200$  KG/CM<sup>2</sup> PARA SU COLOCACION VER DETALLE EN PLANO No. 18-1390-C-14-210.
- 2.- LAS PUNTALES SERÁN BARRAS LOSAS DE # 1.75" CON UN  $f_y = 4200$  KG/CM<sup>2</sup> PROTEGIDAS CON PINTURA EPOXICA Y LUBRICADAS EN TODA SU LONGITUD, COLOCADAS SOBRE CANASTILLAS PARA SU COLOCACION VER DETALLE EN PLANO No. 18-1390-C-14-210.

**NOTAS SOBRE CAPAS DE APOYO**

- 1.- SE CONSIDERARÁ UNA SUBBASE DE 15 CMS. DE GRASA CONTROLADA ESTABILIZADA COMO MÍNIMO CON UN 10% EN PESO, Y COMPACTADA AL 95% RESPECTO A LA PRUEBA PROCTER.
- 2.- SE CONSIDERARÁ UNA SUBBASE DE 15 CMS. DE GRASA CONTROLADA ESTABILIZADA COMO MÍNIMO CON UN 10% EN PESO, Y COMPACTADA AL 95% RESPECTO A LA PRUEBA PROCTER.
- 3.- SE CONSIDERARÁ UNA SUBBASE DE 15 CMS. DE GRASA CONTROLADA ESTABILIZADA COMO MÍNIMO CON UN 10% EN PESO, Y COMPACTADA AL 95% RESPECTO A LA PRUEBA PROCTER.
- 4.- SOBRE LA SUBBASE SE APLICARÁ UN DREJO DE IMPERMEABILIZACION CON MATERIAL ASFALTICO DE TRAZADO MEDIO DEL TPO No. 70 o similar, CON UNA DENSIFICACION DE 1.0 L/1.70.

**PAVIMENTOS-DISTRIBUCION DE LOSAS**

- 1.- COORDENADAS EN METROS.
- 2.- LAS DIMENSIONES DE LAS LOSAS SON DE CENTRO A CENTRO DE LAS JUNTAS.
- 3.- PARA DETALLES DE JUNTAS, VER PLANO DE DETALLES.
- 4.- EN TODAS LAS UNIDADES DE LA LOSA DEL PAVIMENTO CON LOS REGISTROS DE LAS COLANAS PLUVIALES SE DEJARÁ UN ESPACIO DE 1.0 CM. QUE SE SELLARÁ CON EL PRODUCTO SELLAR AL USADO EN LAS JUNTAS.
- 5.- EL ESPESOR DE LA LOSA SERÁ DE 20 O 25 CENTIMETROS SEGUN CORRESPONDA.
- 6.- EL NIVEL SUPERIOR DE TODAS LAS BANQUETAS Y CUMBRACIONES ES VARIABLE.
- 7.- SE UTILIZARÁN TODAS LAS BANQUETAS Y CUMBRACIONES EXISTENTES.
- 8.- LA DISTRIBUCION DE LOSAS ENTRE REGISTROS CON PARTEGUAS DEBERÁ AJUSTARSE EN CAMPO PARA HACER CONDOR LOS REGISTROS CON LAS JUNTAS DE CONTRACCION.

**NIVELES DE PISO TERMINADO Y PARTEGUAS**

- 1.- TODAS LAS PENDIENTES TRANSVERSALES TENDRÁN UN 2% COMO MÍNIMO Y DEBERÁN CHEQUEAR EN LA SUBGRANDE PARA QUE LOS ESPESORES DE LAS CAPAS SUBYACENTES, SUBBASE Y LOSAS SEAN CONSTANTES.
- 2.- LAS PENDIENTES LONGITUDINALES SERÁN DE ACUERDO A LOS NIVELES MARCADOS EN LOS REGISTROS.
- 3.- LAS PENDIENTES LONGITUDINALES ENTRE REGISTROS QUE CONTENGAN UN PARTEGUAS SERÁN DEL 0.5%.

**SIMBOLOGIA**

- J.L.C.T. JUNTA TRANSVERSAL DE CONTRACCION
- J.L.C.C. JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUCCION
- J.E.P. JUNTA DE EXPANSION CON PASABURTAS
- J.L.C.T. JUNTA LONGITUDINAL DE CONTRACCION
- J.L.C.C. JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUCCION
- J.A. JUNTA DE ASLAMIENTO
- J.P.A. JUNTA CON PAVIMENTO DE ASFALTO
- J.L.C.M. JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUCCION CON MAGNIBRADO
- L.P.A. LINEA DE PARTEGUAS
- J.A.G. JUNTA DE ASLAMIENTO CON QUARNICION
- TOPE TOPE DE CONCRETO
- REJILLA DE PISO EXISTENTE
- REGISTRO DE DRENAJE PLUVIAL EXISTENTE
- CERCA DE MALLA EXISTENTE
- LA ZONA ASFALTADA TENDRÁ UN ESPESOR DE 10-15 CMS.
- RT-1 REGISTRO TIPO No. 1
- R-# RADIO DE CURVA
- NSR NIVEL SOBRE BANQUETA
- NPP NIVEL PISO DE PAVIMENTO
- DIR. DIRECCION DEL ESCURRIMIENTO

**NOTAS**

- 1.- LAS LOSAS MARCADAS CON (\*) SE APERALTAPAN EN EL BORDO EXTERIOR 5.0 CMS.
- 2.- PARA DETALLE DE LOSAS CON TOPE Y SU LOCALIZACION DENTRO DE ELLAS.
- 3.- EN LA EDNA DE CONTACTO DE LAS LOSAS CON LAS CUMBRACIONES SE APLICARÁ UN SELLO TIPO SCHÖNERBERG O SIMILAR.

**DETALLE DE LOSAS ZONA 10**

## CONCLUSIONES

- El pavimento rígido no es a la fecha el pavimento más empleado, al menos dentro del país, debido a que existen mitos de que es más caro que el pavimento rígido. Como se demostró con números, el pavimento rígido es más económico que el pavimento flexible, ya que aunque requiere una inversión un poco mayor que el flexible, a la larga, el costo por mantenimiento se reduce considerablemente comparado con el costo de mantenimiento del pavimento flexible.
- Dentro del campo del diseño de pavimentos y su metodología existen todavía factores a considerar, esto es, todavía no está todo dicho, pues falta considerar la inclusión de fibras dentro del concreto, así como el cálculo de la resistencia a la flexión con la que colaboran al concreto. De igual forma es necesario incursionar en nuevos materiales y técnicas para en el pavimento, para reciclar material y conservar de esta forma el medio ambiente.
- Los estándares empleados en la industria petrolera se pueden mejorar, incluyendo nuevos materiales, como lo son los geotextiles, la fibras, etc. También se propondría reducir el peralte de las losas, para optimizar recursos y mejorar el diseño.
- Como propuesta, la inclusión de diseño de pavimentos al programa de estudios, permitirá una mejor calidad académica y una mejor comprensión de un importante elemento dentro de las comunicaciones de un país, esto es los pavimentos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Hveem, Francis N., "California Method for the Structural Design of Flexible Pavements", State of California, Department of Public Works, Division of Highways, Sacramento, California, U.S.A., agosto 1962
2. Normas para construcción e instalaciones, Carreteras y Aeropistas, SCT., Libro 3.01.03, 1998, Capítulo 074 y 080.
3. Olivera B. Fernando "Estructuración de vías terrestres". Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México, 1998.
4. "Especificaciones para bases y pavimentos de concreto (ACI 617-58). ACI JOURNAL. Proceedings, V. 30, No. 1, julio 1958
5. Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales Equipos y Sistemas, Carreteras y Aeropistas, "Materiales para Terracerías", SCT. Libro 6.01.01 Sección.002-K.03, 1998.
6. Ing. Aurelio Salazar Rodríguez. "Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos". IMCYC. 1995.
7. "Ingeniería de Aeropuertos" Modulo:Proyecto. SCT, Subsecretaria de Infraestructura, Dirección General de Aeropuertos.
8. "Pavimentos de Concreto". Diseño y construcción. Juntas. Sobrecarpetas. Apertura rápida al tráfico. IMCYC. Acpa. 1995.
9. Normas de PEMEX. Drenajes en Zonas Industriales. 1985. No. 2.143.01
10. Normas de PEMEX. Drenaje en plantas industriales. 1991. No.3.143.01
11. Normas de PEMEX. Diseño de caminos para instalaciones petroleras. 1976. No. 2.125.01
12. "El Petroleo". 50 aniversario PEMEX. Petróleos Mexicanos. 1988.
13. "Construcción de losas y pisos de concreto" ACI-302. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.1989.
14. Memorias del "Segundo seminario. Construcción y conservación de pavimentos en la ciudad de México".

# ANEXO

## DESCRIPCION DE FALLAS Y TRABAJOS CORRECTIVOS

Las causas que llevan a las fallas de los pavimentos se pueden clasificar en dos grupos básicos:

1. Deterioro o deficiencia del pavimento en sí, el que a su vez es provocado por: congelamiento y deshielo, uso de materiales poco durables, reacción alcalina de los agregados, escamas y algunas otras causas.

Dentro de este grupo se incluyen las fallas debidas a una alineación impropia de las juntas, alabeos, movimientos rotatorios y esfuerzos de expansión y contracción.

2. Deficiencias en la estructura de la base o en la subrasante; en estos casos, una sobrecarga puede inducir el efecto de bombeo en el pavimento y flujo del material de base; puede ocasionar también fallas en las esquinas, en las juntas y otros defectos.

Las reparaciones que es necesario efectuar a los pavimentos de concreto hidráulico, por lo general caen en tres grandes clases: 1) El remplazo del pavimento que ha sido cortado totalmente, para colocar o reparar tubería u otras instalaciones; 2) la reparación de hoyos o depresiones causados ya sea por falla original en la construcción o por el efecto normal del desgaste; y 3) las reparaciones a lo largo de las juntas de expansión o de las grietas formadas por sí solas, en el pavimento.

Los parches de reparación debidamente efectuados deben probar ser tan duraderos como el pavimento original y no deben ser notorios después de haber sido expuestos al tráfico, por corto tiempo.

A continuación se describen las fallas principales y las recomendaciones sugeridas para su reparación:

### I. DESINTEGRACIÓN DEL CONCRETO

La desintegración del concreto puede ser debida al uso de materiales poco durables en combinación con severas condiciones del clima, con ciclos frecuentes y numerosos de heladas y deshielos y con el escaso o nulo aire incluido en el concreto. Este tipo de falla es muy fácil de distinguir de las estructurales, pues se presenta en sus inicios, por grietas semicirculares del ancho de un cabello, que nace de las juntas o en las orillas del pavimento.

Este tipo de falla es progresiva y va cubriendo cada vez mayor superficie; Si no se detiene en sus etapas iniciales, puede progresar hasta que el pavimento requiera su completa sustitución. En este caso será necesario demoler y reponer con concreto

hidráulico el tramo fallado. Podrán utilizarse productos especiales tales como aditivos o adhesivos (Ver inciso XI).

### Reparación

Como solución provisional se acostumbra utilizar concreto asfáltico en el parche; para este caso se requerirá abrir una caja hasta la profundidad necesaria para alojar el pavimento flexible con el espesor equivalente que se requiera, con el fin de obtener la misma capacidad de carga que la del pavimento que la rodea. Para ser necesario recurrir al auxilio del laboratorio de campo. Dichos parches pueden ser abiertos al tráfico en pocas horas, si se utilizan materiales apropiados y las capas que lo constituyen han sido construidas adecuadamente.

## II. SUPERFICIES CON ESCAMAS O COSTRAS

Las escamas en el pavimento rígido pueden ser debidas a una gran variedad de causas, entre las que se incluyen mezclas que se colocaron con exceso de agua, trabajos excesivos en el acabado de la superficie e impurezas en los agregados, como sedimentos y arcillas, que flotan en la superficie durante el colado. Las escamas son fácilmente reconocibles y pueden indicar un deterioro general del concreto; sin embargo, desde el punto de vista estructural, se ha encontrado que no causan graves problemas.

### Reparación

Los pavimentos que tienen grandes superficies con escamas o costras, pueden ser reparados utilizando parches de concreto asfáltico, concreto o mortero de cemento. Por lo general utiliza el parche de concreto asfáltico, pero el aspecto es poco atractivo y algunos no lo prefieren.

En el caso de que se utilicen materiales asfálticos para la reparación de las áreas con escamas o costras, si éstas son poco profundas (menores a 1 cm), el procedimiento consiste en limpiar y eliminar todo material suelto y extraño de la superficie y en sellarla con una o más aplicaciones de mortero asfáltico. Pero si ha ocurrido una excesiva formación de costras o escamas, con profundidades de 4 a 7.5 cm, puede ser necesario colocar una capa de concreto asfáltico; puede agregarse un tratamiento superficial de mortero asfáltico sobre el área reparada. También se puede utilizar concreto hidráulico, con la granulometría adecuada, para la reparación de costras profundas en cuyo caso el área que va a ser parchada, debe ser picada dejando las paredes verticales; se remueven todas las partículas y se limpia el área perfectamente con una escoba dura y/o aire comprimido. Una solución de ácido muriático (hidroclórico) al 25 % es efectiva para quitar la capa de cemento de la superficie del agregado expuesto.

Posteriormente se lava con agua para eliminar el ácido y se deja secar la superficie. El mortero de cemento para el parchado se elabora mezclando perfectamente una parte de cemento y dos partes de arena. Se agrega únicamente el agua necesaria para que el mortero quede adherido en forma de terrón cuando es apretado con la mano. En forma simultánea y con la ayuda de un cepillo, se aplica a la superficie una ligera capa de pasta de cemento Portland o lechada espesa de cemento. A continuación se llena la depresión con la mezcla de mortero de cemento y se compacta perfectamente; se nivela la superficie y se le da un acabado similar al de la losa contigua.

Para asegurar una perfecta unión entre el parche y el pavimento, se considera necesario utilizar algún producto a base de resinas epóxicas o algún otro tipo de adhesivo.

### III. ASTILLAMIENTOS O DESCONCHAMIENTOS CERCANOS A LAS JUNTAS

Estas fallas pueden deberse a la infiltración de material pétreo en las juntas, a una instalación inadecuada de los dispositivos encargados de la transferencia de carga (pasajuntas), a un concreto poco resistente, al manejo inadecuado o poco cuidadoso de las formas o cimbras durante la construcción, a un manejo excesivo del concreto para el acabado de las juntas y/o a un manejo extemporáneo del mismo.

Para poder identificar la causa de un desconchamiento o astillamiento, se sugiere considerar los siguientes puntos:

- Verificar el estado en que se encuentra el sello de la junta. Si el sello está defectuoso y se localiza material extraño en la junta, lo más probable es que ésta sea la causa de la falla.
- Verificar las dimensiones del desconchamiento o astillamiento. Si toma la forma de una grieta paralela y cercana a la junta produciendo una cuña de poca profundidad, las causas más probables pueden ser un aserrado defectuoso en la junta y/o un manejo excesivo del concreto para el acabado de la junta. Si toma la forma de conchas pequeñas y poco profundas, la causa más probable es la de las juntas con material extraño. Si la profundidad del desconchamiento se aproxima al nivel del pasajuntas, cuando éste exista, se evidencia que dicho elemento puede ser la causa de la falla.

Los astillamientos debidos a infiltración de material pétreo pueden resultar cuando dicho material entra a la junta (con sellado en su gran mayoría defectuoso) por arriba, o desde abajo, cuando es forzado hacia arriba, desde la base (bombeo). Esta falla es muy común en lugares donde los materiales existentes son predominantemente arenosos y es el resultado de las grandes concentraciones de esfuerzos que ocasiona el material que ha invadido la junta y que impide los movimientos de expansión de la losa. En esta circunstancia, el paso de las cargas torna aún más críticos los esfuerzos en el concreto.

Los astillamientos que se deben a la fijación de los pasajuntas generalmente se originan cuando éstos tienen una alineación o una lubricación inadecuada, lo cual no permite la libre expansión y contracción de la losa. Desde que la barra de un pasajuntas no cuenta con la

libertad de movimiento con la cual fue diseñada, aparece el astillamiento, debido a los esfuerzos cortantes resultantes de los ciclos de expansión-contracción. Los astillamientos por lo general no se extienden a gran distancia dentro de la losa; sin embargo, ocasionan una disminución del peralte efectivo de la losa en la orilla, lo que causa debilidad en la estructura del pavimento.

### Reparación

Para proceder a la reparación de los astillamientos o desconchamientos por medio de concreto hidráulico, es necesario eliminar previamente la causa que los provocó; esto es, cuando la causa es la infiltración de material en las juntas, es necesario limpiarlas, retirando el material de sellado defectuoso; posteriormente se coloca el parche de concreto hidráulico (más adelante se menciona) y una vez endurecido se procede al sellado de la junta (Ver inciso X). Cuando la causa es debida a un mal funcionamiento del pasajuntas, debido a que este se encuentra desalineado horizontal o verticalmente, o adherido al concreto, es necesario corregir previamente su mal funcionamiento, para lo cual se requerirá, en algunos casos, descubrirlo demoliendo el concreto necesario. En el área del astillamiento se debe remover el concreto cercano para formar un cajón con las orillas escuadradas y sus paredes verticales lo mejor posible. Todo el concreto débil o fallado debe ser removido. Posteriormente se limpia muy bien el área con aire a presión; se recomienda utilizar adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros, para asegurar la perfecta unión entre el concreto viejo y el nuevo. Puede emplearse un aditivo acelerante cuando se requiera poner el pavimento en servicio lo antes posible. Se debe de igual manera tener cuidado en respetar las dimensiones de la junta adyacente al concreto nuevo, debidamente lubricada. Por último se debe dar a la superficie del parche un acabado similar al del pavimento viejo cuidado que su superficie quede al mismo nivel que el de la losa.

Cuando la reparación de los astillamientos se efectúa con mezcla asfáltica, es necesario retirar todo el concreto fallado y formar un cajón con las orillas escuadradas y sus paredes verticales lo mejor posible. Enseguida se limpia perfectamente el área con aire a presión y se efectúa un riego de impregnación con asfalto rebajado de fraguado rápido; a continuación se rellena con concreto asfáltico y se compacta debidamente, de preferencia con un compactador vibratorio. Debe asegurarse que la superficie terminada del parche quede al mismo nivel que el de la losa.

Otra manera de reparar los astillamientos o desconchamientos consiste en utilizar una pieza prefabricada de concreto hidráulico en forma de paralelepípedo y de tamaño ligeramente superior al de la superficie fallada, para lo cual es necesario formar un cajón para alojar la pieza prefabricada. Enseguida se limpia perfectamente el área con aire comprimido y se inserta la pieza prefabricada, la que se fijará a base de resinas epóxicas. Este procedimiento tiene la ventaja de que se puede poner en operación el tramo reparado más rápidamente que cuando se usa mezcla de concreto hidráulico para el parchado.

#### IV. DEFECTOS EN LA SUPERFICIE

Las fallas por defectos en la superficie pueden consistir en surcos, lavaderos, baños de pájaros, ranuras u ondulaciones, y son debidos a una supervisión inadecuada en el momento en el que se coloca el concreto.

##### Reparación

Cuando los defectos en la superficie se encuentran muy localizados y en áreas pequeñas, su reparación puede consistir en el parcheo individual de los defectos por medio de mortero de cemento o de mezcla asfáltica.

Cuando el parchado se efectúa por medio de mortero de cemento, se recomienda observar los lineamientos indicados en el inciso II; asimismo, se aconseja utilizar un adhesivo a base de resinas epóxicas, polímeros u otro producto afin. En el caso de que el área defectuosa sea muy extensa, será necesario proceder a su reconstrucción.

#### V. GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

Las grietas longitudinales y transversales pueden ser resultado de esfuerzos provocados por contracciones por cambios de temperatura en ciclos cortos o por cambios de humedad, a movimiento en la cimentación, y a fallas estructurales.

- a) Las grietas debidas a contracción por cambios de temperatura generalmente son transversales y aparecen cuando se construyen losas de gran longitud. Se forman principalmente por la contracción de la losa o en su defecto también se producen por el efecto de alabeo y el tráfico. La falta de acero de temperatura permite la aparición de grietas anchas en cuyo caso la transferencia de cargas llega a ser nula, causándose un deterioro que va en aumento, debido a las cargas.
- b) Las grietas debidas a contracción de fraguado, conocida también como contracción plástica, puede ser longitudinales o transversales y son muy fáciles para distinguirse, pues son por lo general cortas y espaciada al azar. Estas grietas aparecen durante el proceso de curado, cuando el concreto se contrae más por sí mismo.

Todas las pastas de cemento se contraen durante el proceso de hidratación, lo que origina grietas muy pequeñas. Si la proporción de evaporación es alta y si el concreto tiene suficiente rigidez para producir contracción horizontal, las posibilidades de agrietamientos plásticos visibles se incrementan.

Las condiciones climatológicas que pueden incrementar la proporción de evaporación y por tanto el riesgo de que se presente este tipo de grietas son:

- Disminución de la humedad relativa. Si la humedad relativa varía, de 50 a 90 %, la proporción de evaporación aumenta cinco veces.
- Incremento de la temperatura ambiente y del concreto. Si ambas temperaturas se elevan de 10 a 38°C, la proporción de evaporación puede duplicarse.
- Incremento de la humedad relativa. Si la velocidad del viento soplando sobre una superficie de concreto recién colocada se incrementa de 0.16 km/h, se cuadruplicará la proporción de evaporación.
- Temperatura del concreto mucho mayor que la ambiente. Ocurre en climas fríos con concretos calentados.

Las grietas debidas a contracción de fraguado son independientes de las cargas y por lo general no dañan en gran manera la resistencia del pavimento; pero bajo algunas condiciones las cargas pueden llegar a ocasionar esfuerzos adicionales.

Para disminuir este tipo de agrietamientos se recomienda que durante la construcción se recomienda que durante la construcción se tomen en cuenta los siguientes puntos:

- Humedecer la base y la cimbra
- Prevenir la excesiva evaporación utilizando rociadores de vapor y colocando rompevientos
- Cubrir el concreto durante las operaciones de acabado
- Utilizar concreto frío en climas calientes. Suprimir el sobrecalentamiento del concreto en climas fríos.
- Curar adecuadamente tan pronto como se termine el colado

- c) Las grietas producidas por alabeos se presentan por lo general en forma longitudinal; estas grietas aparecen cuando se carece o funciona inadecuadamente una junta longitudinal de articulación. La grieta se origina por un alabeo que produce un alto esfuerzo en el centro de la losa; sin embargo, las condiciones de la carga cooperan a que la falla ocurra. En la grieta longitudinal se presentan astilladuras, indicando que han ocurrido movimientos diferenciales en la grieta, con el subsecuente deterioro del concreto. Por lo general las grietas longitudinales provocadas por alabeos no son serias, en especial si se ha utilizado acero de refuerzo por temperatura; pero este tipo de esfuerzo no se usa generalmente en México. Lo principal en este tipo de fallas, consiste en la desagradable apariencia. Estas grietas pueden también ocurrir en una dirección transversal, solo cuando se construyen losas con una relación largo-ancho desproporcionada, o cuando la junta transversal no funciona, especialmente si tiene pasajuntas; en estos casos pueden también contribuir los esfuerzos de contracción. Estas grietas pueden no ser muy críticas si existe transferencia de carga por el refuerzo por temperatura y/o por la trabazón entre las paredes de la grieta.

- d) Las grietas debidas a movimientos de la cimentación pueden ser longitudinales o transversales, y aparecen cuando existen fuertes asentamientos diferenciales debidos a consolidaciones o a fallas de corte de los materiales debajo de la subrasante. Si los movimientos de la cimentación ocasionan pendientes suaves y el área defectuosa tiene longitud relativamente grande, pueden no aparecer grietas, ya que el pavimento de concreto hidráulico puede ser suficientemente flexible para seguir el contorno de la cimentación.
- e) Las grietas que se producen por fallas estructurales se presentan generalmente en forma longitudinal o transversal, sin embargo también pueden manifestarse en forma de una ruptura de esquina. Estas grietas son el resultado de una sobrecarga o de una falla por fatiga y son las más difíciles de evaluar, en particular si se presenta escamado o astillado, pues obscurecen el análisis.
- f) Cuando ocurre una grieta cerca de las juntas, son en su gran mayoría provocadas por fallas estructurales, no así con las grietas que ocurren en el centro de la losa, pues estas son debidas a alabeos y/o contracciones. *Lo anterior puede ser modificado de acuerdo con las condiciones de la subrasante, del tipo de concreto y de los agregados y de las condiciones climáticas.*

### Reparación

Los trabajos correctivos para las grietas longitudinales y transversales se pueden catalogar en tres grupos:

#### 1) Sellado de grietas con material flexible

Cuando la aparición de la grieta se ha debido a los requerimientos del concreto de contar en ese lugar con una junta de contracción, o con una junta longitudinal de articulación, para trabajar como dos losas en lugar de una sola, y cuando no existen asentamientos, la solución más sencilla es dejar que el pavimento de concreto trabaje como lo ha requerido, si está trabajando en forma satisfactoria, y sólo será necesario sellar la grieta con material flexible para evitar la penetración de agua a la subrasante y de materiales arenosos que impidan el libre movimiento del concreto. El sellado se efectúa en la misma forma que para las juntas (Ver inciso X). Previamente a la colocación del sello, la grieta debe ser achaflanada a 45° y a una profundidad de 30 mm y luego limpiada perfectamente.

#### 2) Reparación de grietas con adhesivos

Cuando la causa de aparición de una grieta ha sido eliminada, mencionando como ejemplo cuando la junta de contracción cercana que no trabaja ha sido abierta por medios mecánicos, con cuñas para ponerla a funcionar o cuando la falta de apoyo de la cimentación ha sido corregida por medio de inyectado (Ver inciso VII), entonces se pueden utilizar pegamentos a base de resinas epóxicas o polimeros (Ver inciso

11) para pegar los fragmentos de la losa, haciendo de esta manera que la losa, haciendo de esta manera que la losa de concreto trabaje como una sola pieza, como se había previsto originalmente en el proyecto. La unión de los fragmentos de la losa agrietada se puede efectuar mediante el inyectado de mortero a base de resinas epóxicas en agujeros taladrados a cada 250 a 300 mm, a lo largo de la grieta. Antes del inyectado, se deberá proceder al limpiado, posteriormente cuando el producto a base de resinas epóxicas no es demasiado viscoso, o si es a base de polímeros, se puede eliminar el taladrado para formar las perforaciones. Para ese caso el procedimiento consistirá en limpiar la superficie y cubrir la parte superior de la grieta con una mezcla de cera y azufre previamente fundida y aplicada por medio de una brocha, dejando a cada 250 a 300 mm un pequeño espacio libre para permitir la aplicación del inyectado. Para el inyectado se utiliza una bomba doble para enviar por separado, a una presión del orden de 7 a 8 Kg/cm<sup>2</sup>, a los dos componentes de la resina los que se mezclan en el inyector inmediatamente antes de salir por la boquilla.

- 3) Cuando existe una grieta activa con movimientos superiores a 0.5 mm para diferencias de temperatura de 10°C y que la causa de su aparición no haya sido eliminada, puede procederse a la sustitución de dicha grieta por una junta. En este caso se debe demoler el concreto de la losa hasta una distancia mínima de un metro a cada lado de la grieta y volver a colar, dejando una junta en el lugar de la grieta. Se recomienda la utilización de adhesivos a base de resinas epóxicas o polímeros para asegurar la perfecta unión entre el concreto nuevo y el viejo.

## VI. GRIETAS EN ESQUINA

Las grietas en esquina pueden presentarse formando un pequeño triángulo en una esquina de la losa o bien en forma sensiblemente paralela a la diagonal de la losa. Estas grietas en las losas pueden ser ocasionadas por las cargas del tráfico que pasan sobre esquinas no apoyadas. Esta falta de apoyo puede ser debida a zonas poco resistentes de la cimentación de la losa, a una falta de transferencia de cargas a las losas contiguas y/o al alabeo de la losa, tanto convexo como cóncavo hacia arriba. También pueden ser debidas a una falta de resistencia del concreto, sobre todo si la falla se presenta en los inicios de la vida del pavimento.

### Reparación

La reparación de las grietas que forman un pequeño triángulo en la esquina de la losa consistirá en remover dicha esquina, levantar la subbase si se requiere, limpiar la zona, dar un riego de impregnación y colocar concreto asfáltico en capas no mayores de 7 cm compactado debidamente, de preferencia con una placa vibratoria o una "bailarina". Debe tenerse cuidado de no invadir la junta, para lo cual podrá colocarse un inserto que posteriormente pueda retirarse para aplicar el material del sello. La superficie del parche terminado deberá quedar al mismo nivel que la superficie de la losa.

Si se desea efectuar el parchado con concreto hidráulico, se debe asegurar primeramente que la causa de la falla haya sido corregida; se recomienda utilizar un pegamento a base de resinas epóxicas o polímeros, para garantizar la unión entre el concreto viejo y el nuevo; el procedimiento se asemeja al mencionado en el inciso III.

La reparación de las grietas en esquina que se presentan en forma sensiblemente paralela a la diagonal de la losa, puede consistir en sellar la grieta de la forma que se indica en el inciso V (1) y en el inciso X. Si por el contrario la causa de la falla ha sido previamente eliminada, la reparación puede ser llevada a cabo pegando los dos fragmentos de la losa con un adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros, como se indica en el inciso V (2) y en el inciso XI.

## VII. HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES Y AGRIETAMIENTOS CON HUNDIMIENTOS. RECICLADO

Los hundimientos diferenciales, consisten en una diferencia de nivel entre dos losas en una junta o en una grieta y pueden ser debidos a una inadecuada transferencia de cargas, aunado con una consolidación o contracción de las de las capas de cimentación de la losa También pueden ser originadas por el efecto de "bombeo" de los materiales de cimentación.

El efecto de "bombeo" consiste en el movimiento de la losa provocado por las cargas del tránsito y que ocasiona la expulsión de mezclas de agua, arena, arcilla y/o limo a través de las juntas longitudinales o transversales, a través de las grietas y/o a través de las orillas del pavimento. El "bombeo" de los materiales finos es debido a la presencia de agua libre en la subrasante o subbase combinada con las cargas pesadas que pasan sobre la superficie del pavimento y que flexionan la losa.

Los agrietamientos con hundimientos pueden ser el resultado de la progresión de una o varias de las fallas antes mencionadas.

### Reparación

Los trabajos correctivos para este tipo de falla se pueden englobar en los siguientes tres puntos:

1. Los hundimientos diferenciales y las depresiones que fueron causadas por un asentamiento, pueden ser corregidos, ya sea levantando la(s) losas a su posición original y llenando el espacio entre la losa y la subrasante original, o bien, recubriendo la porción bajo la losa.

Para poder levantar la(s) losas a su posición original se remueve primeramente el material de sello viejo, en dado caso de que exista, hasta una profundidad de 25 mm; si es necesario se limpian las caras verticales de las juntas o grietas con una

máquina limpiadora de juntas y con chorro de agua y se remueve todo el material extraño de la superficie del pavimento al menos hasta una distancia de 25 mm a cada lado de la junta o grieta; posteriormente se aplica aire a presión a la junta o grieta y se rellena hasta la mitad con material de sello; enseguida se eleva la losa a su nivel original mediante el inyectado de una mezcla de asfalto y de arena, de mortero de cemento o de lodo bentonítico; el inyectado se efectúa a través de uno o varios taladros en la losa; finalmente se completa el relleno de las juntas y grietas con el material de sellado.

Cuando se desea nivelar un pavimento que presente hundimientos diferenciales, aplicando material adicional a su superficie, puede utilizarse una capa de concreto hidráulico si su espesor es superior a 7 cm; para menores espesores se deben utilizar morteros de cemento con resinas epóxicas y/o polímeros o utilizar concreto asfáltico con agregado fino. Pero los parches de asfalto en un pavimento de concreto hidráulico generalmente se desgasta más rápidamente que el concreto adyacente, además de que dan un mal aspecto.

Si se desea lograr una mejor liga entre la superficie vieja y un parche de concreto hidráulico, se recomienda que la superficie del pavimento viejo sea picada y las orillas llevadas a la vertical formando un cajón con la profundidad mínima de 7 cm. Posteriormente se limpia perfectamente la superficie expuesta por medio de cepillos y agua y después se cubre con una pasta delgada de cemento puro. El concreto nuevo se prepara y se coloca tal y como lo indica el inciso IX. En el caso en que se cuente con algún adhesivo a base de resinas epóxicas y/o polímeros, se recomienda su utilización para asegurar la perfecta unión entre el parche y el concreto viejo (Ver inciso XI).

En el caso en el que se empleen parches de concreto asfáltico, la superficie vieja se pica y las orillas de la depresión se llevan a la vertical, se remueve todo el material extraño de la superficie y se limpia perfectamente con aire a presión. La superficie debe estar seca antes de aplicar el riego de liga, para lo cual se utiliza un asfalto rebajado de fraguado rápido, la cavidad se llena con concreto asfáltico fino y se compacta debidamente de preferencia con un compactador vibratorio.

2. Los agrietamientos con hundimientos pueden ser el resultado de la falla estructural del pavimento combinando con una inadecuada resistencia de la subrasante o una mala compactación, en este caso se puede proceder para su reparación de la siguiente forma, primeramente se demuele y se retira el concreto fallado, así mismo el material que se encuentre abajo hasta la profundidad requerida. Cuando la profundidad de subrasante removida sea mayor de 20 cm, los primeros 20 cm a partir del fondo se rellenan con material de subbase perfectamente compactada; el espacio sobrante se llena con concreto hidráulico que se extenderá por debajo de las orillas del pavimento viejo. Se recomienda reforzar este concreto con una parrilla de acero a razón de 4 kg/m colocadas aproximadamente a 5 cm arriba de la superficie inferior de la segunda parrilla localizada 5 cm arriba de la superficie inferior del parche de concreto.

En caso en que la falla del pavimento ha sido por causa de un drenaje defectuoso de la subrasante, se deberán construir subdrenes laterales. Una simple inspección será suficiente para determinar la necesidad de dichos subdrenes.

Si las áreas falladas son muy extensas, es conveniente construir un nuevo pavimento utilizando el pavimento viejo como base. El nuevo pavimento podrá ser de concreto hidráulico o de concreto asfáltico. Para evitar que las grietas se transmitan a la losa nueva, se recomienda que ambas capas estén perfectamente separadas por una capa de aislamiento de concreto asfáltico denso de 3 cm de espesor como mínimo. Es conveniente además, hacer coincidir las juntas del pavimento nuevo de refuerzo con las del pavimento viejo. Otra técnica para evitar que los agrietamientos de la losa se transmitan al pavimento viejo con la ayuda de un equipo adecuado y colocar el pavimento nuevo de refuerzo sobre la cimentación así constituida.

### 3. - Reciclado

Actualmente el reciclado de concreto ha tomado mucho auge en los países de considerable desarrollo económico, un nuevo concepto para la reconstrucción de pavimentos. El "reciclado" de pavimentos, consiste en el reaprovechamiento de los materiales que constituyen un pavimento viejo para elaborar uno nuevo; dentro de sus ventajas encontramos las siguientes:

- Los bancos de materiales cada vez están más retirados de las obras o los materiales de bancos cercanos son de más difícil extracción, lo que incrementa los costos de construcción del pavimento. En estos casos el reciclado de los materiales del pavimento viejo puede constituir un ahorro en el costo del pavimento nuevo.
- Si se utilizan los procedimientos y el proyecto adecuados, la calidad del pavimento reciclado es similar a la de un pavimento nuevo.
- Dentro de las ventajas ecológicas se encuentran que al reutilizar los materiales de un pavimento viejo, evitando así el grave problema de los tiraderos de desperdicios ya que lo normal sería buscar un lugar adecuado para colocar dichos materiales que serían de desecho y que por tanto podrían ocasionar daños a la ecología del lugar.
- Para el caso de los pavimentos flexibles se obtiene ahorro de energéticos al reaprovechar el aglutinante asfáltico por medio del reciclado.

El reciclado de los pavimentos rígidos consiste, en la demolición de la losa de concreto viejo, utilizando equipos adecuados, como por ejemplo martinetes hidráulicos o peras de acero accionadas con grúas. Una vez demolida la losa se procede a la trituración y cribado de los trozos de concreto, así como el cribado de los mismos; si la losa de concreto vieja contiene fierro de refuerzo, será necesario eliminarlo previamente a la trituración. Por último, el correcto triturado y cribado pasa a formar parte como agregado pétreo del nuevo concreto. Se necesita

proyectar la mezcla del nuevo concreto con base en nuevas pruebas de laboratorio, para obtener la resistencia y espesor adecuados que deba tener el pavimento nuevo.

## VIII LOSAS QUE SE "BOTAN"

La causa por la cual se "botan" las losas, es primordialmente por una excesiva expansión de las mismas durante el tiempo de calor. La presión aumenta hasta que las losas no pueden resistir más y entonces se pandean o se fracturan desmoronándose a lo largo de la junta transversal o de la grieta.

### Reparación

Para poder corregir este tipo de falla será necesario remover la parte dañada, utilizando discos diamantados para el aserrado, deberá ser necesario remover la subbase, se aplicará un riego de impregnación y colocar posteriormente concreto asfáltico compactándolo adecuadamente. La superficie terminada del parche debe quedar al mismo nivel que el pavimento adyacente.

Existe la opción de que el parche se efectúe con concreto hidráulico, se debe construir una junta de expansión. Las caras expuestas del pavimento viejo deben limpiarse perfectamente, se recomienda utilizar un adhesivo a base de resinas epóxicas y/o polímeros, para asegurar la perfecta unión entre el concreto viejo y el parche, enseguida se coloca la mezcla de concreto nuevo el cual podrá contener algún aditivo acelerante que facilite su puesta para que sea abierta rápido al servicio. Una vez endurecido el concreto del parche, se sella la junta de expansión.

## VIII. CORTES EN EL PAVIMENTO

Cuando se ha realizado un corte a través de toda la profundidad del pavimento y ha sido excavada la cama de cimentación, tal es el caso de colocar alguna tubería u otra instalación, se debe dar especial atención al relleno de la zanja. El pavimento reparado es de esperarse que sirva para su objetivo de transmitir y distribuir sus cargas a la cimentación, pero no de efectuar la función de un puente franqueando una zanja hundida, esto es, cuando una zanja de considerable profundidad en tierra suelta o desmoronable, ha permanecido abierta por algún tiempo, probablemente se han formado cavidades en sus lados, lo que provoca que el pavimento se cuelgue en la zona excavada. Por lo tanto, el corte en la losa debe extenderse por lo menos 15 cm más allá de cada orilla de la zanja. En caso de que la subrasante así expuesta tenga una estabilidad adecuada, no debe ser modificada por ningún motivo.

## Reparación

El material de relleno que se coloque en la zanja excavada debe ser depositado en capas de 10 cm de espesor y compactado perfectamente por medio de apisonador mecánico. La orilla expuesta de la losa original contra la cual va a colindar el nuevo concreto, no debe estar vertical en todo su espesor, Debe estar a plomo en una profundidad máxima de 1/5 del espesor de la losa, a partir de la parte superior, con objeto de proporcionar un respaldo firme para el nuevo parche; en el resto del espesor de la losa, una orilla áspera y dispereja mejora materialmente la adherencia entre el pavimento viejo y el nuevo.

Antes de poner el nuevo concreto, las orillas de la losa original deben ser lavadas perfectamente con agua y raspadas con cepillo de alambre y después impregnadas con algún adhesivo a base de resinas epóxicas y/o polímeros, para asegurar la perfecta unión entre el concreto nuevo y el viejo. Se debe procurar que el concreto nuevo tenga la misma calidad que el concreto viejo. Se recomienda la utilización de aditivos inclusores de aire y acelerantes para obtener manejabilidad en el concreto y que el tiempo de curado sea el mínimo posible.

De igual manera se recomiendo que invariablemente se coloque en el concreto nuevo una malla de refuerzo formada por varilla lisa de 3/82 (9.5 mm), con espaciamentos no mayores de 30 cm centro a centro, colocada a 5 cm arriba del fondo del concreto nuevo. Para el caso de pavimentos reforzados, el refuerzo original en el área que va a ser reparada no debe ser cortado, sino que debe ser temporalmente doblado hacia arriba y posteriormente regresado a su posición original.

También el concreto nuevo debe estar provisto de refuerzo adicional correspondiente en tamaño, espaciamiento y posición, al de la losa original; este nuevo refuerzo debe ser atado al refuerzo original.

## X. JUNTAS O GRIETAS SIN SELLAR

Los pavimentos de concreto hidráulico deber ser inspeccionados periódicamente, para buscar juntas o grietas abiertas, las que se deben limpiar y sellar, para de esta forma evitar la penetración de agua a la subrasante y que materiales sólidos y basura se acumulen en las aberturas.

## Reparación

El sellado de las juntas y grietas resulta propicio efectuarlo durante el otoño, cuando el pavimento está ligeramente contraído y las condiciones atmosféricas son todavía favorables para permitir dichos trabajos. El producto utilizado para sellar, debe adherirse al concreto y permanecer plástico con todas las temperaturas. No debe ponerse tan quebradizo ni duro que se cuartee a temperaturas bajas y durante los más intensos calores del verano no debe ponerse tan blando que se desparrame de las juntas.

En términos generales el procedimiento de sellado podrá consistir en lo siguiente:

a) Preparación. Primeramente se limpia la junta perfectamente, para que esté libre de basura, de material sobrante de sello y de partículas sueltas de concreto. La limpieza se hace más satisfactoriamente cuando las temperaturas están debajo de  $10^{\circ}\text{C}$  ( $50^{\circ}\text{F}$ ) y las juntas están abiertas por la contracción del aviento. Se recomienda no retirar el sello existente si está en buenas condiciones. Es necesario asegurarse que las caras de la junta y de las grietas estén secas. Cuando se utilice un soplete y otro dispositivo que produzca calor para secar las superficies, es necesario efectuar la operación con cuidado para evitar quemar cualquier sello que se encuentre en buenas condiciones. Si el material de sello sobresale de la superficie del pavimento se recomienda rebajar la parte sobresaliente. En esta operación debe evitarse el jalar hacia arriba el material de sello. Según sea el producto de sellador a utilizar, puede ser deseable rebajar o formar chaflán a  $45^{\circ}$  y 30 mm de profundidad en las orillas de las grietas para remover las partículas o proporciones del concreto que sobresalgan y que puedan romperse con el tráfico.

b) Sellado. Existe el mercado productos adecuados para el sellado de juntas y grietas de pavimentos rígidos, los cuales son a base de alquitrán de hulla y hule, los que después de calentarse a temperaturas entre  $130^{\circ}\text{C}$  Y  $140^{\circ}\text{C}$  adquieren la consistencia de hule sintético blando, resistente a los combustibles, aceites y grasas, etc. Una vez que la junta o grieta esté perfectamente limpia y seca, se procede a la aplicación del producto sellante, previamente calentado a la temperatura indicada por el fabricante empleando el equipo apropiado a base de calor indirecto. Generalmente se recomienda que el producto sellante no alcance temperaturas superiores a  $150^{\circ}\text{C}$  durante su calentamiento, para evitar que se descomponga y endurezca.

Durante la colocación del producto sellante fundido se debe procurar no llenar totalmente la junta o grieta, dejando unos milímetros libres debajo de la rasante, para que al dilatarse el concreto, el material de sello no sobresalga de la junta o grieta. También pueden obtenerse en el mercado productos sellantes de aplicación en frío, los cuales pueden ser adecuados para sellar grietas; sin embargo su durabilidad puede ser menor ya que sólo resisten temporalmente la acción de los combustibles.

c) Equipo. Cuando se limpie una junta o grieta, se deben utilizar barras rectas o en gancho, operadas a mano, con los extremos afilados como cinceles, para que se ajusten dentro de la junta o grieta. Se utiliza una pala con la orilla del frente afilada o un azadón con la punta recta y afilada, para cortar el sobrante del sello de la junta. Para lograr una completa remoción del material de sello defectuoso, en grandes cantidades, se puede utilizar un gancho especialmente elaborado o un arado, los que pueden ser jalados a lo largo de la junta, por medio de un tractor o de un malacate. La cuchilla del arado debe tener la forma adecuada para ajustarse a la junta y sacar el material de sello defectuoso, a la profundidad deseada. Se utilizan escobas de

alambre o de fibra gruesa, para limpiar las juntas o grietas; sin embargo en operaciones extensas, una barredora de motor ahorrará tiempo.

Puede utilizarse un compresor de aire para soplar las grietas o juntas, con un rendimiento mínimo de  $1.8 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $100 \text{ pies}^3/\text{min}$ ) a una presión de  $7.0 \text{ kg/cm}^2$  ( $100 \text{ lb/pulg}^2$ ). Para colocar cantidades pequeñas de material sellante, se pueden utilizar satisfactoriamente pequeñas cubetas o conos, operados manualmente; sin embargo, los trabajos grandes requerirán de un distribuidor equipado con una boquilla adecuada a través de la cual se vaciará en la junta o grieta el material de sello.

Para calentar materiales de sello compuestos de asfalto o alquitrán, se pueden emplear peroles o pailas convencionales. Sin embargo, se requieren calderas o peroles con calentamiento indirecto, para calentar compuestos conteniendo hule o látex.

## XI. UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS ESPECIALES

En el mercado existe una serie de productos registrados por marcas tales como Embeco, Resistol, Fester, Sika, Poldi, Bostik, Topkote, Thiokol, etc., que proporcionan una serie de ventajas en la reparación de pavimentos de concreto hidráulico, justificándose así el costo adicional que representa la utilización de tales productos.

Por lo general se recomienda, dependiendo de las condiciones particulares de cada caso, la utilización de dos tipos de productos:

- Aditivos para las mezclas de concreto utilizadas en la reparación, que tengan propiedades acelerantes (para proporcionar alta resistencia a corta edad), fluidizantes (para facilitar el manejo de la mezcla) y aquellos que tienen propiedades para evitar las contracciones debidas al fraguado.
- Adhesivos a base de resinas, para pegar concreto fresco a concreto endurecido para resanes de alta resistencia y rápido endurecimiento, para relleno de grietas, para unir concreto hidráulico a asfalto, etc. El método de aplicación para el caso particular de resinas epóxicas en términos generales consiste en lo siguiente:
  - a) Remover de la superficie a reparar, todo el material que se encuentre en mal estado y de preferencia picar la superficie. Limpiar perfectamente todo el polvo por medio de aire, agua, escoba o cepillo.  
Si la superficie presenta grasa o aceite, lavar con agua y jabón; en el caso de que el lavado no sea suficiente, lavar con solución al 10 % de ácido muriático; una vez lavada la superficie por este método, es necesario neutralizar con solución de amoníaco. También se puede lavar la superficie con detergentes alcalinos, tales como sosa cáustica o fosfato trisódico y posteriormente se lava con agua.

- b) Mezclar perfectamente el producto (cuando consta de dos o más elementos surtidos por separado) según instructivo del mismo y en las proporciones especificadas. En algunos productos se especifica que la superficie debe estar humedecida, pero sin agua en exceso antes de aplicar la mezcla.

La aplicación sobre la superficie a reparar se hace por medio de brocha, rodillo o llana, según sea el caso, formando una capa de 2 a 3 mm de espesor.

- c) Dejar secar el adhesivo entre 45 y 60 minutos antes de aplicar el concreto sobre la superficie; sin embargo, el adhesivo debe estar todavía fresco o pegajoso.
- d) Si la superficie es porosa y ha absorbido el adhesivo en el lapso arriba indicado, aplicar otra mano del mismo y dejar secar nuevamente.
- e) Aplicar el concreto a más tardar dos horas después de la aplicación del adhesivo.
- f) Dejar fraguar el sistema concreto-adhesivo-concreto, entre 24 y 72 horas dependiendo de la temperatura ambiente antes de poner en servicio la sección reparada.

Pueden presentarse ligeras variantes en los procedimientos de aplicación de los diferentes adhesivos a base de resinas epóxicas que existen en el mercado, por lo que se recomienda consultar el instructivo del producto a emplear en cada caso particular.

Estos productos suelen también ser utilizados como aditivos de las mezclas de concreto empleadas en las reparaciones. La mezcla de los adhesivos a base de resinas epóxicas, se vuelven duras a los 30 o 40 minutos, nunca debe adicionarse agua a una mezcla que ya ha endurecido. De preferencia siempre debe emplearse la menor cantidad posible de agua para obtener morteros y concretos de alta resistencia, densidad y dureza.

Debido a que el concreto hidráulico y los adhesivos a base de resinas epóxicas tienen diferente coeficiente de expansión térmica, se recomienda utilizar estos últimos con cierta prudencia, sobre todo en zonas expuestas a cambios bruscos de temperatura. Cuando se produce un cambio de temperatura apreciable, se inducen esfuerzos en la superficie que une al pavimento de concreto con el parche a base de resinas epóxicas, debidos a la diferencia de expansión o contracción térmica; esta situación repetida varias veces puede ocasionar que el parche se desprenda, sobre todo si no se le hizo cajón.

En algunos pavimentos se han empleado con éxito para el parchado, una mezcla de polisulfuro con resina epóxicas, compuesta por dos partes de formulación epóxica Topkote 600 P/E y una parte de polímero polisulfuro líquido LP-3 suministrado por Thiokol Chemical Co.

El espesor de los parches ha sido de 7 a 30 cm y el tiempo de curado requerido para abrirse al tráfico ha sido de tres a ocho horas. Quienes han tenido experiencia con estos productos mencionan que se pueden obtener las siguientes ventajas cuando se utilizan adecuadamente.

- Se pueden aplicar durante las condiciones atmosféricas más difíciles, incluso a temperaturas inferiores a la de congelación del agua.
- Los parches exceden las siguientes resistencias de:  
Tensión por flexión =  $70.3 \text{ Kg/cm}^2$  ( $1000 \text{ lb/pulg}^2$ )  
Compresión =  $527 \text{ Kg/cm}^2$  ( $7500 \text{ lb/pulg}^2$ )
- Cuando se utilizan los proporcionamientos adecuados de agregado fino, agregado grueso y resinas, puede lograrse que el coeficiente de expansión del concreto-polisulfuro-epoxy sea igual que el del concreto de cemento Portland; por tanto no se presentan contracciones diferenciales que originarían la separación del parche en la línea de unión.

El proporcionamiento adecuado de resinas y agregados es uno de los aspectos más importantes que hay que tomar en cuenta para obtener la adecuada consistencia, flexibilidad y resistencia estructural. Las proporciones pueden variar en función de la temperatura ambiente, de la granulometría del agregado y del volumen del parche a colocar.