PAVIMENTOS DE CONCRETO

AUTORIZACIÓN

FIRMAS DE AUTORIZACION		
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
Ing. Roberto Garnica Quiroz Superintendente General B Ing. Marco A. Hernández Pérez Superintendente General B Fecha:	Ing. Eduardo Sandoval Robles Subgerente de Supervisión Normativa a Proyectos Fecha:	Ing. Rafael Corral Leyva Gerente de Normatividad Técnica Fecha:

SECCION DE CAMBIOS			
REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	INICIALES, FIRMA Y FECHA	
		REVISÓ	APROBÓ
0	Para su aplicación	ESR	RCL

CONTENIDO

CAPITULO	TITULO
1.	OBJETIVO
2.	ALCANCE
3.	REFERENCIAS
4.	DEFINICIONES
5.	SIMBOLOS Y ABREVIATURAS
6.	ESTUDIOS PRELIMINARES
7.	CAPAS DE APOYO
8.	DISEÑO
8.1	Métodos de diseño
8.2	Consideraciones generales
8.3	Diseño de espesor de Pavimento
8.4	Esfuerzos y deflexiones
8.5	Juntas
8.6	Drenaje
8.7	Cargas por transito
8.8	Diseño geométrico
8.9	Método AASHTO
8.10	Método de la PCA
8.11	Materiales
9.	CONSTRUCCION
10.	EVALUACION DE LA CONFORMIDAD
11.	RESPONSABILIDADES
12.	BIBLIOGRAFÍA
13.	ANEXOS

1. OBJETIVO

Establecer los lineamientos de ingeniería para el diseño y construcción de pavimentos rígidos de concreto para los proyectos de PEMEX y Organismos Subsidiarios.

2. ALCANCE

En esta especificación se establecen los requisitos de construcción de los pavimentos rígidos para calles de circulación de vehículos y patios de maniobras en Refinerías, plantas petroquímicas, plantas de proceso, estaciones de recibo y distribución, estaciones de bombeo y de compresión y zonas habitacionales de Petróleos Mexicanos.

3. REFERENCIAS

NOM-008-SCFI-2002	Sistema General de Unidades de Medida
NMX-B-290-1988	Malla soldada de alambre liso de acero para refuerzo de concreto
NMX-B-457-1988	Varillas corrugadas de acero de aleación procedente de lingote o palanquilla para refuerzo de concreto. Requisitos
NMX-C-014-1981	Concreto - Aditivos Químicos- Determinación de la uniformidad y equivalencia
NMX-C-030-ONNCCE-2004	Agregados .- Muestreo
NMX-C-077-1997-ONNCCE	Agregados para concreto.- Análisis granulométrico – Métodos de Prueba
NMX-C-081-1981	Aditivos para concreto.-Curado - Compuestos líquidos que forman membrana
NMX-C-111-ONNCCE-2004	Agregados para concreto hidráulico – Especificaciones y métodos de prueba
NOM-C-122-ONNCCE-2004	Agua para concreto.- Especificaciones
NMX-C-155-ONNCCE-2004	Concreto – Concreto hidráulico industrializado.- Especificaciones
NOM-C-159-ONNCCE-2004	Concreto.- Elaboración y curado de especimenes en el laboratorio
NMX-C-160-ONNCCE-2004	Concreto - Elaboración y curado en obra de especimenes de concreto
NMX-C-191-ONNCCE-2004	Concreto.- Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro.
NMX-C-199-1986	Aditivos para concreto y materiales complementarios-Terminología y clasificación
NMX-C-200-1978	Aditivos inclusores de aire para concreto
NMX-C-251-1997-ONNCCE	Concreto.- Terminología
NMX-C-255-1988	Aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado del concreto
NMX-C-277-1979	Agua para concreto.- Muestreo
NMX-C-283-1982	Agua para concreto.- Análisis
NMX-C-290-1987	Concreto.- Curado acelerado para prueba de compresión de especimenes

NMX-C-299-1987	Concreto estructural.- Agregados ligeros - Especificaciones
NMX-C-304-1980	Aditivos - Determinación de la retención de agua por medio de compuestos líquidos que forman membrana par a el curado de concreto
NMX-C-309-1980	Aditivos para concreto - Determinación del factor de reflectancia de membranas de color blanco para el curado de concreto
NMX-C-403-1999-ONNCCE	Concreto hidráulico para uso estructural
NMX-C-407-ONNCCE-2001	Varilla corrugada de acero proveniente de lingote o palanquilla para refuerzo de concreto.- Especificaciones y método de prueba
NMX-C-414-ONNCCE-1999	Cementos hidráulicos.- Especificaciones y métodos de prueba
GNT-SSNP-C003-2004	Concreto

4. DEFINICIONES

4.1 Pavimento rígido

Conjunto de losas de concreto, con o sin refuerzo, interconectadas mediante juntas transversales y longitudinales, y conectores de acero, apoyadas sobre un suelo mejorado que constituye la estructura de apoyo formada por la base y la sub-base, las cuales a su vez se apoyan sobre la sub-rasante.

4.2 Terraplén

Estructura formada por capas compactadas de suelo colocado sobre el terreno natural, que tiene como objetivo principal dar un determinado nivel de proyecto, así como el mejoramiento de las condiciones de apoyo del pavimento.

4.3 Capa subrasante

Nivel superior del terraplén o del terreno natural, si no hay terraplén, sobre el cual se coloca la capa sub-base o la base. Actúa como el terreno de cimentación del pavimento, puede ser el terreno natural, debidamente recortado y compactado; o puede ser, material de buena calidad seleccionado para relleno, debido a los requerimientos del proyecto, cuando el suelo natural es deficiente.

4.4 Capa Sub-base

Estructura de suelo formada de una capa de materiales pétreos bien graduados, construida sobre la capa subrasante, la cual cumple con los mismos requisitos de compactación y calidad especificados para la capa subrasante. Para el caso de los pavimentos de concreto, en ocasiones resulta conveniente colocar una capa sub-base cuando las especificaciones para el concreto son más exigentes.

4.5 Base

Capa intermedia entre la capa de rodamiento y la capa sub-base. Generalmente se usa en los Pavimentos flexibles y se compone de materiales pétreos con buena distribución granulométrica, esta capa permite reducir los espesores de carpeta ya que tiene una función estructural importante al reducir los esfuerzos cortantes que se trasmiten hacia las capas inferiores, proporcionando además una función drenante del agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento.

4.6 Carpeta

Superficie de rodamiento constituida por materiales endurecidos para disipar los esfuerzos hacia las terracerías. Se forma de materiales granulares con o sin liga o mas comúnmente de concreto hidráulico en sus diferentes variantes.

4.7 Drenaje

Es un sistema para controlar el agua en las cercanías o sobre el pavimento o la terracería

4.8 Acción de “bombeo”

Acción debida a la expulsión del agua que se acumula bajo la losa de pavimento por el efecto de las cargas rodantes. Al ser expulsada por las juntas o las grietas del pavimento el agua arrastra partículas de la base, deteriorándola.

4.9 Límite líquido, *LL*

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado liquido al plástico.

4.10 Límite plástico, *LP*

Es el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

4.11 Plasticidad

Es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse.

4.12 Índice plástico

Es la diferencia de valores absolutos entre el mayor y el menor contenido de agua entre los límites líquido y plástico. *LL - LP*.

4.13 Valor relativo de Soporte, *VRS*

Es el índice de resistencia al esfuerzo cortante en determinadas condiciones de compactación y humedad.

4.14 Permeabilidad *(k)*

La facilidad con que el agua circula a través del suelo. Se expresa en términos de velocidad de flujo de acuerdo con la Ley de Darcy para flujo laminar.

4.15 Confiabilidad

Probabilidad de que el sistema de pavimento se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto bajo las solicitaciones de carga e intemperismo.

5. SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
IMCYC	Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto
PCA	Portland Cement Association.
SCT	Secretaria de Comunicaciones y Transportes
Cd	Coeficiente de drenaje
CLLSE	Carga de llanta sencilla equivalente
cm	centímetro
ds	Deflexión en condiciones saturadas
ESAL´s	Equivalent Single Axis Loads
fa	Coeficiente de fricción losa-capa de apoyo
f'c	Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de colocado
FCEE	Factor de carga por eje equivalente
FTP	Factor de transito pesado
K	Resistencia de la capa de apoyo de la losa de concreto
k	Modulo de reacción
Kc	Módulo de reacción de la capa de apoyo
kip	Kilopound (453.6 kg)
ks	Modulo de reacción corregido
I	Relación de rigidez relativa.
Ip	Índice de plasticidad
LL	Límite líquido
LP	Límite plástico
mm	milímetro
MR	Modulo de resistencia,
Mr	Modulo de ruptura
Mre	Resistencia a la flexión
P	Presión aplicada
PVSM	Peso volumétrico seco máximo
R	Valor de resistencia
So	Desviación estándar
So Ds	Valor estimado de la desviación estándar de Mr
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
T	Periodo de diseño
TPD	Transito promedio diario
VRS	Valor relativo de soporte
w	Deflexión calculada.
z	Desviación normal
α	Coeficiente de expansión térmica
Δ	Deflexión de la placa
ε	Coeficiente de contracción del concreto
p	Presión en la interfase losa-capa de apoyo

6. ESTUDIOS PRELIMINARES

Antes de iniciar cualquier proyecto de pavimentación se deben tener en cuenta, específicamente para el área, tramo o zona a construir, las siguientes consideraciones:

6.1 Las condiciones del terreno de apoyo.

6.2 El tránsito vehicular, para lo cual se debe contar con aforos de transito confiables, el tipo y distribución de vehículos, peso y características, considerando todas las sobrecargas por ejes de los camiones (composición en número de vehículos y pesos por eje).

6.3 El Estudio Geotécnico del área por pavimentar, dirigido al estudio de la solución de los Pavimentos incluyendo el estudio de los materiales de los bancos de aprovisionamiento.

6.4 La descripción y especificación de los materiales para la fabricación del concreto.

6.5 El diseño geométrico.

7. CAPAS DE APOYO

Las capas de apoyo del pavimento de concreto podrán ser el terreno natural, o una capa de transición o de sub-base, a fin de que se cumpla con la función estructural, para que de esta manera los espesores requeridos para el pavimento sean menores. Esta capa, al ser de tipo granular, servirá también para drenar el agua que tiende a acumularse en la parte inferior del pavimento de concreto, ya sea por la lluvia o por elevaciones estaciónales de los niveles freáticos del terreno.

Para el diseño de pavimentos es necesario determinar las propiedades de la capa de apoyo que nos permitan conocer las características generales y comportamiento de los suelos, estas propiedades se deben obtener mediante las pruebas que se describen a continuación:

7.1 Plasticidad

Se debe medir el comportamiento de deformación de los suelos haciendo uso de los Límites de Atterberg, ya que las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Estos limites de consistencia (Límite Liquido LL, Límite Plástico LP, Límite de Contracción LC) se determinan empleando suelo que pasa por la malla No. 40, la diferencia entre los valores del limite liquido y del limite plástico da como resultado el índice plástico (IP) del suelo.

7.2 Prueba Proctor modificada (AASHTO T-180)

Esta prueba se usa para la determinación del peso por unidad de volumen cuando el suelo ha sido compactado por el procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad, se efectúa a través de la Prueba Proctor modificada para suelos que pasen totalmente la malla No. 4, o con retención de 10% en esta malla, pero que dicho retenido pase totalmente por la malla 3/8 “.

La compactación mínima debe ser del 95 %.

7.3 Prueba Porter Estándar

Esta prueba se aplica para la determinación del peso volumétrico seco máximo de compactación y la humedad optima en los suelos con material mayor de 3/8”, a los cuales no se les puede hacer la prueba Proctor. Con esta prueba se determina también la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte, midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un determinado periodo de saturación.

7.4 Valor relativo de soporte (VRS)

Con esta prueba de penetración, se determina el valor relativo de soporte del material compactado para conocer sus características de resistencia y de esfuerzo–deformación por penetración, con lo cual se determina el índice de resistencia al esfuerzo cortante para determinadas condiciones de compactación y humedad. Los valores mínimos aceptados de VRS saturados, por las normas de calidad de la SCT deben ser iguales o superiores a 50%.

7.5 Módulo de reacción (k)

Se debe tomar en cuenta como parámetro de resistencia de la capa subrasante el valor del módulo de reacción (k), cuando la losa va apoyada directamente sobre ella o en su caso adoptar el valor del módulo de reacción del conjunto sub-base-base.

Esta característica de resistencia se considera constante, lo que implica elasticidad del suelo, su valor numérico depende de la textura, compacidad, humedad y otros factores que afectan la resistencia del suelo, lo cual incide directamente en el diseño del espesor del pavimento.

8. DISEÑO

8.1 Métodos de diseño

Para satisfacer adecuadamente las condiciones tanto del suelo, como de carga y tráfico a los que van a estar sometidos los pavimentos, se deben utilizar los métodos de la American Association of State Highways and Transportation Officials (Método AASTHO) y el de la Pórtland Cement Association (Método PCA)

8.2 Consideraciones generales

8.2.1 De acuerdo con el criterio de los métodos mencionados para el diseño de losas soportadas sobre el terreno, como es el caso de pavimentos de concreto y de pisos industriales, el concreto a emplearse en este tipo de losas será especificado de acuerdo a su resistencia a la flexión por tensión o módulo de ruptura (MR), en vez de la resistencia tradicional a la compresión (f'c) que es comúnmente usada en otro tipo de estructuras de concreto.

8.2.2 Lo anterior se fundamenta al considerar que en una losa de concreto sometida a cargas dinámicas, los esfuerzos de flexión internos se encuentran mas cercanos a su resistencia ultima a la flexión (MR), que los esfuerzos internos de compresión contra su resistencia ultima a la compresión (f'c).

8.3 Espesor del pavimento

8.3.1 Para el cálculo del espesor de pavimentos de concreto, debe utilizarsel "Método AASTHO" y verificarse a través del "Método PCA" (ver secciones 8.9 y 8.10 de esta especificación), siendo necesario conocer algunos aspectos del proyecto como los indicados a continuación:

a. Periodo de diseño (vida útil)

b. Resistencia a la tensión por flexión del concreto a utilizar

c. Modulo de reacción (k) del terreno natural

d. Información del trafico

8.3.2 Se debe considerar en el diseño, el efecto de reducción de espesor del pavimento con la utilización de elementos confinantes y de transferencia de carga, tales como guarniciones integrales o ligadas mediante varillas de sujeción, así como camellones o acotamientos ligados a los carriles

8.3.3 Al tener mecanismos de transferencia de cargas en los bordes, el pavimento tendrá menos posibilidad de fallar en esas zonas, ya que se evitara por un lado el efecto de bombeo y por el otro el efecto flexionante en caso de presentarse erosión de la capa de apoyo en las zonas perimetrales.

8.3.4 De acuerdo con el método de 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 en acotamientos pavimentados, se produce una transmisión de esfuerzos del orden del 85% del total que resultaría de no contar con los citados acotamientos.

8.3.5 El efecto reductor de espesores de los acotamientos pavimentados debe considerarse en el desarrollo de los dos métodos de diseño ASSHTO y PCA. Por lo general los acotamientos deben diseñarse con espesores no menores a los 15 cm.

8.4 Esfuerzos y deflexiones que se deben considerar en el diseño de pavimentos rígidos.

8.4.1 Contracciones debidas a cambios de temperatura así como por pérdida de volumen de la mezcla por la disminución del contenido de agua del concreto.

8.4.2 Esfuerzos de tensión generados en la base de la losa, que producen agrietamiento como resultado de la resistencia por fricción que se genera en la interfase losa-capa de apoyo, pudiendo ser esta una base o subbase

8.4.3 Esfuerzos de tensión y compresión en la losa, debidos a ondulaciones que se presentan por cambios en gradientes térmicos a lo largo de su sección transversal.

8.4.4 Esfuerzos de tensión y compresión en la losa, producto de las expansiones y contracciones debidos a los cambios de humedad (alabeo) a lo largo de la sección transversal de la losa.

8.4.5 Esfuerzos combinados del transito con el de la ondulación por temperatura que producen daños importantes a las losas, estos esfuerzos deben ser considerados en los análisis por fatiga.

8.4.6 Esfuerzos por cargas de trafico

8.4.7 Esfuerzos debidos a fricción

a. En una losa sujeta a una reducción de la temperatura, la losa tenderá a moverse de las orillas hacia el centro por simetría, sin embargo la capa de apoyo tenderá a restringir este movimiento, generándose así los esfuerzos de fricción.

b. Los esfuerzos de fricción en la interfase losa-capa de apoyo afectan al concreto, a las varillas de sujeción e incluso al acero de refuerzo, cuando este existe. Para pavimentos de concreto sin refuerzo, el espaciamiento de juntas deberá proponerse de manera que la fricción no provoque grietas.

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

8.4.8 Movimientos de losas

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

$$\Delta L = fa\, L\left(\alpha\, \Delta T + \varepsilon\right)$$

En donde: ΔL = cambio en la longitud de la losa
fa = Coeficiente de fricción losa-capa de apoyo
L = longitud de la losa en mm
α = coeficiente de expansión térmica (ver Tabla 1)
ΔT = rango máximo de temperatura esperado
ε = coeficiente de contracción del concreto (ver Tabla 2)

b. Las Tablas 1 y 2, indican valores de los coeficientes de expansión térmica y de contracción del concreto.

Tabla 1.- Valores del coeficiente de expansión térmica del concreto en función del agregado

Material	Coeficiente de expansión térmica x 10^{-6}/ºC
Cuarzo	11.9
Arenisca	11.7
Grava	10.8
Granito	9.5
Basalto	8.6
Caliza	6.8

Tabla 2.-Variación del coeficiente de contracción del concreto en función de la resistencia a la tensión indirecta

Prueba Brasileña en kg/cm^2	Coeficiente de contracción(deformación) x 10^{-4}
<21	8
28	6
35	4.5
42	3
>49	2

8.4.9 Transmisión del cortante losa-losa por fricción

Los efectos del cortante por fricción en las caras de la grieta o junta fabricadas por aserrado sin el empleo de pasajuntas, se traduce en la acción de fricción en las caras de la grieta o junta provocadas en una sección de concreto originada por las caras expuestas del agregado grueso del concreto, para un mejor funcionamiento bajo estos efectos de fricción deben observarse las siguientes circunstancias:

a. Este mecanismo de transferencia de carga es adecuado para una sub-base estabilizada o con una que no sea muy susceptible a la erosión.

b. Caminos con bajo porcentaje de transito pesado.

c. Losas con espesores considerables mayores de 20 cm.

d. Espaciamientos menores de las juntas (< 5m).

e. Capas de apoyo rígidas (Sub-bases con altos valores del módulo de reacción, k.

f. Liga en las orillas.

g. Drenaje adecuado en los suelos de cimentación, suelos naturales de tipo granular o fino, con sistemas de sub-drenaje eficientes.

h. Tipo de agregado.- Los agregados duros y con tamaño mínimo de 3 cm ofrecen resultados satisfactorios, los agregados de tipo angular o triturados ofrecen mejor fricción que los de origen aluvial (redondeados) gruesos.

8.4.10 Cambios volumétricos en el concreto

Se deben tomar en cuenta los esfuerzos de compresión y de tensión en el fondo de la losa por cambios de temperatura y humedad, ya que hacen que las losas experimenten movimientos por cambios de volumen presentándose grietas incontroladas o aberturas en las juntas con la consiguiente reducción en la eficiencia de la transferencia de cargas entre losas contiguas.

8.4.11 Esfuerzos en el acero

El acero se utiliza como elemento trasmisor de carga en las juntas (pasajuntas). El diseño de las varillas de sujeción se debe fundamentar en el desarrollo de fricción.

8.5 Juntas

Se debe considerar en el diseño la utilización de juntas con el propósito de aliviar los esfuerzos y evitar que las grietas inducidas se presenten de manera desordenada y sin patrones geométricos debido a la contracción por secado del concreto, cambios de humedad y temperatura, aplicación de las cargas por transito, restricciones del terreno de apoyo y características de los materiales empleados.

Las funciones específicas de las juntas son las que se mencionan a continuación:

a. Control del agrietamiento transversal y longitudinal provocado por las restricciones de contracción combinándose con los efectos de pandeo o alabeo de las losas, así como las cargas de tráfico.

b. Dividir el pavimento en incrementos prácticos para la construcción (carriles de circulación).

c. Absorber los esfuerzos provocados por los movimientos de las losas.

d. Proveer una adecuada transferencia de carga.

e. Darle forma a la caja para el sellado de la junta.

8.5.1 Consideraciones de diseño

a. Consideraciones ambientales.- Los cambios en la temperatura y en la humedad inducen movimientos de la losa, resultando en concentraciones de esfuerzos y en alabeos.

b. Espesor de losa.- El espesor del pavimento afecta los esfuerzos de alabeo y las deflexiones para la transferencia de carga.

c. Transferencia de carga.- La transferencia de carga varía para cada tipo de junta, por lo que el tipo y el tamaño de las barras influyen en el diseño de las juntas.

d. Transito.- La clasificación, canalización y el predominio de cargas en el borde influyen significativamente en los requerimientos de transferencia de carga para el comportamiento a largo plazo.

e. Características del concreto.- Los componentes de los materiales afectan la resistencia del concreto y los requerimientos de juntas, los materiales seleccionados para el concreto determinan las contracciones de la losa.

f. Tipo de subrasante o terreno de apoyo.- Los valores de soporte y las características friccionantes en la interfase del pavimento con el terreno de apoyo para diferentes tipos de suelos afectan los movimientos y el soporte de las losas.

g. Características del sellador.- El espaciamiento de las juntas influye en la selección del tipo de sellador.

h. Apoyo lateral.- El tipo de acotamiento afecta el soporte de la orilla del pavimento y la habilidad de las juntas centrales para realizar la transferencia de carga.

8.5.2 Agrietamiento

Un adecuado sistema de juntas permite controlar el agrietamiento que ocurre de manera natural en el pavimento de concreto y las juntas se deben colocar en el pavimento precisamente para controlar su ubicación y su geometría.

a. Contracción

- Se debe tomar en cuenta que la mayor parte de la contracción anticipada del concreto ocurre a muy temprana edad en la vida del pavimento, provocado principalmente por los cambios de temperatura, así como también la reducción de volumen a causa de la perdida de agua en la mezcla.

- Otro factor muy importante que se debe tomar en cuenta es la fricción que se presenta en la subrasante o capa de apoyo como resistencia a la contracción del pavimento presentándose algunos esfuerzos de tensión los cuales deben ser considerados para no provocar grietas transversales.

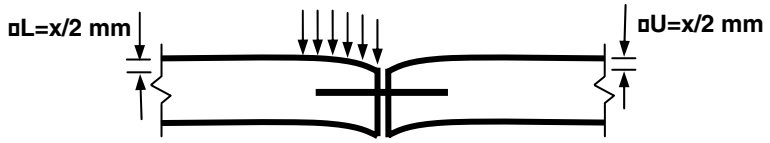
b. Gradientes

Se deben tomar en cuenta los esfuerzos provocados por gradientes de temperatura y humedad que contribuyen al agrietamiento y se presentan generalmente después de fraguado el concreto, estos

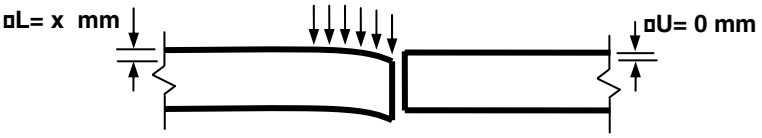
esfuerzos provocan el alabeo de las losas que combinado con las cargas pueden provocar grietas transversales adicionales a las grietas iniciales y en pavimentos con dos carriles de circulación además se formara una grieta longitudinal a lo largo de la línea central del pavimento.

8.5.3 Eficiencia de las juntas

a. Los pasajuntas deben diseñarse para transmitir las cargas de una losa a otra; se considera que una junta es 100 % efectiva si logra transferir la mitad de la carga aplicada al otro lado de la junta como se indica la Figura 1 caso "a", y que la junta no es efectiva cuando no se trasmite la carga como se indica en el caso "b", de la misma Figura.



a.- Junta 100 % efectiva



b.- Junta 0 % efectiva

Figura 1.- Transferencias de carga entre losas de pavimentos

b. La transferencia de carga se debe evaluar midiendo las deflexiones en cada lado de la junta dada una aplicación de carga, por lo que para conocer el % de eficiencia de la junta (E) se utiliza la siguiente ecuación:

$$E = \frac{2\Delta U}{\Delta L + \Delta U} 100$$

En donde: ΔL = Deflexión del lado cargado de la junta
ΔU = Deflexión del lado no cargado de la junta

c. Debido a la acción de grupo de pasajuntas, las losas tendrán una deformación equivalente por el paso de los vehículos con una eficiencia del 100 %, en estas circunstancias las reacciones serán iguales y cada una tendría un valor de 0.5 de la carga.

d. Un pavimento podrá diseñarse con juntas con o sin pasajuntas dependiendo del tipo de estructura deseada, el tipo de tránsito y las condiciones ambientales, para tránsitos intensos y pesados se debe utilizar varilla lisa de 1 ¼" y 1 1/2 "de diámetro ver tabla 9.6 de la Guía IMCYC.

8.5.4 Barras de amarre y pasajuntas

a. Barras de amarre

Las barras de amarre se deben utilizar en las juntas longitudinales para amarrar o ligar dos losas contiguas, con la finalidad de que se mantengan juntas y de que se asegure una buena transferencia de carga, el área requerida de acero por unidad de longitud de la losa así como la longitud de las barras debe calcularse por los métodos conocidos de calculo que proporcionan CEMEX y la Guía IMCYC capitulo 7.7 “Esfuerzos en el acero”.

b. Pasajuntas

- Para diseñar los diámetros y longitudes de pasajuntas se deben utilizar las formas teóricas y de experiencia disponibles en las cuales el tamaño del pasajunta depende del espesor de la losa. La PCA recomienda el uso de pasajuntas de 1 ¼” de diámetro para pavimentos de autopistas con espesores menores de 10” y 1 ½” de diámetro para espesores de pavimentos mayores de 10”. (referencia CEMEX y sección 7.8 de la Guía IMCYC”).

- Posteriormente se debe verificar el tamaño y separación del pasajuntas propuesto comparando el esfuerzo de carga permisible actuante entre el concreto y el pasajunta, con el esfuerzo de carga propio del pasajuntas. Si el esfuerzo de carga es mayor al permisible, entonces se debe incrementar el diámetro del pasajunta o reducir la separación de las mismas.

- Se debe considerar la eficiencia del pasajuntas en el calculo del esfuerzo de carga ya que para pavimentos nuevos la eficiencia será del 100 % (ver sección 8.5.3) por lo tanto el total de la fuerza cortante que se transfiere será igual para cada una de las losas.

8.5.5 Tipos de juntas

a. Transversales.- Se tienen los siguientes tipos:

- De contracción.- Localizadas en forma transversal al eje central del pavimento, su espaciamiento es para evitar agrietamiento provocado por los esfuerzos debidos a cambios de temperatura y humedad. Contribuyen a aliviar los esfuerzos por tensión al contraerse la losa por un lado, y por el otro los esfuerzos de alabeo generados en las losas por cambios en los gradientes térmicos.

- De construcción.- Juntas colocadas al final del día o por cualquier otra interrupción en los trabajos, deben ser planeadas con anticipación para ubicarlas en los cambios de pendientes o en las losas de aproximación de puentes.

  Cuando estas juntas son proyectadas en las ubicaciones normales de las juntas y al tratarse de juntas empalmadas a tope, requieren de pasajuntas ya que no podrán contar con la trabazón del agregado para la transferencia de carga, en el caso de una junta de construcción no planeada en donde la interrupción se presenta en los dos primeros tercios de la separación normal de las juntas, la junta debe ser machihembrada con barras de amarre con el propósito de prevenir que la junta no agriete la losa adyacente, ver Figura 3 (e).

- De aislamiento/expansión.- Necesarias para permitir el movimiento horizontal o los desplazamientos del pavimento respecto a estructuras existentes como estribos de puentes, losas de aproximación, alcantarillas, etc., las juntas de expansión no son necesarias teniendo un

buen diseño, construcción y mantenimiento de las juntas de construcción.

- El objetivo principal de las juntas de aislamiento es el de aislar el pavimento de una estructura, otra área pavimentada o cualquier objeto inamovible, disminuyendo los esfuerzos a compresión que se presentan.

  El ancho de las juntas de aislamiento se recomienda entre ½" a 1" (12 a 25 mm) ya que con anchos superiores se pueden presentar movimientos excesivos, se debe utilizar material no absorbente ni reactivo a base de celotex.

- En 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.

b. Longitudinales.- Se tienen los siguientes tipos:

- De contracción.- Se deben utilizar para dividir a los carriles en la dirección longitudinal o donde se construyen dos o más anchos de carriles al mismo tiempo.

- De construcción.- Se deben de localizar entre dos carriles construidos en diferentes etapas, deben ser del tipo machihembradas ver Figura 3 (e)

8.5.6 Espaciamiento de juntas

a. La modulación de las losas se rige por la separación de las juntas transversales en función del espesor del pavimento, por lo que el dimensionamiento de los tableros de losas debe cumplir con lo indicado a continuación:

$$S = (21 \; a \; 24)\, d$$

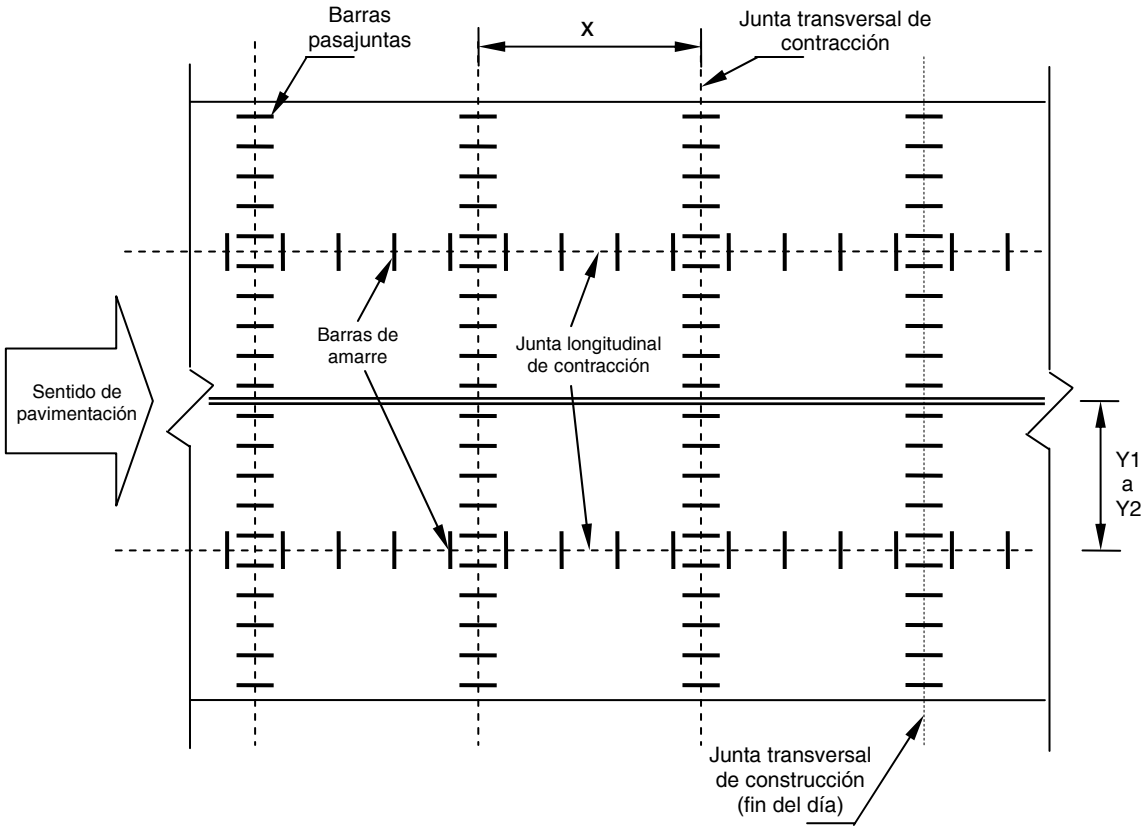
En donde: ***S*** = Separación de la junta ≤ 5.0 m
d = Espesor del pavimento
21 = Para valores máximos de fricción entre la subbase y el pavimento
24 = Para valores normales de fricción entre la subbase y el pavimento

b. La relación entre largo y ancho de un tablero de losas debe estar entre los límites de:

0.71< largo/ancho < 1.4

c. Se debe considerar también como parámetro comparativo la influencia de los agregados para la determinación del espaciamiento ver tabla 9.9 de la Guía IMCYC

La Figura 2 muestra la separación y distribución típica de juntas transversales y longitudinales de un pavimento, la Figura 3 los detalles de juntas típicas y la Figura 4 los detalles de construcción de juntas, respectivamente.

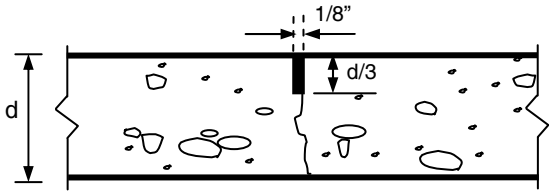


Vista en planta de pavimento en donde x es la separación de juntas transversales, así como "y1 a y2" es el rango de separación de juntas longitudinales. (*)

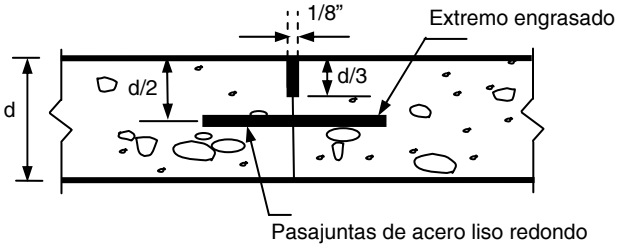
(*)- la relación largo/ ancho de las losas debe estar entre 0.71 y 1.40

Figura 2.- Distribución típica de juntas transversales y longitudinales

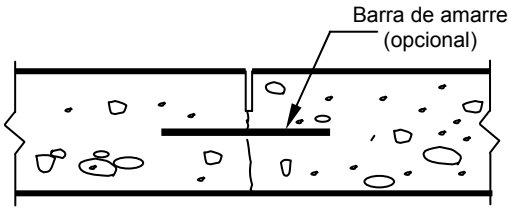
8.5.7 Detalles típicos de juntas



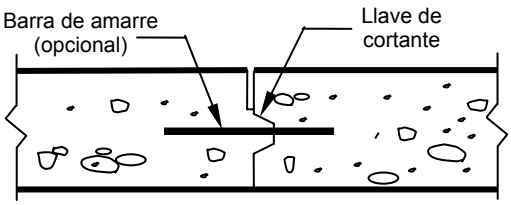
a.- Junta transversal de contracción sin pasajuntas



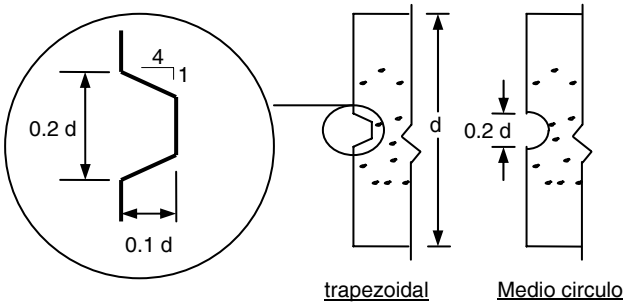
b.- Junta transversal de contracción con pasajuntas



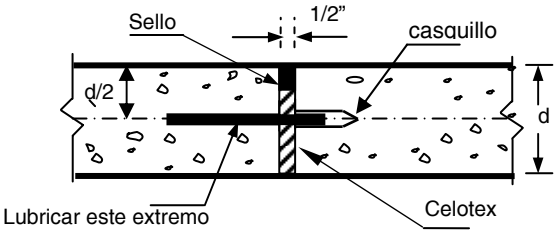
c.- Junta longitudinal a todo el ancho del área por pavimentar



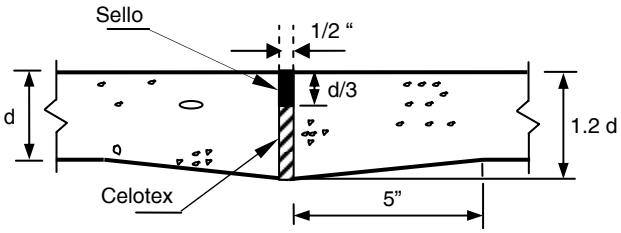
d.- Junta longitudinal pavimentación por franjas



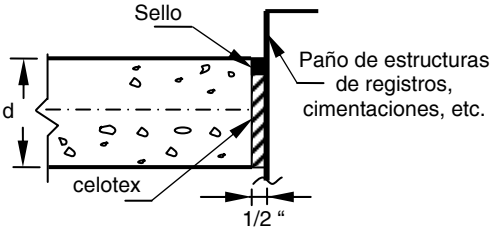
e.- Secciones estándar de llaves de cortante para juntas longitudinales



f.- Junta de aislamiento con pasajuntas



g.- Junta transversal de contracción con pasajuntas



h.- Junta de aislamiento sin pasajuntas

Figura 3.- Detalles típicos de juntas

8.5.8 Detalles de construcción de juntas

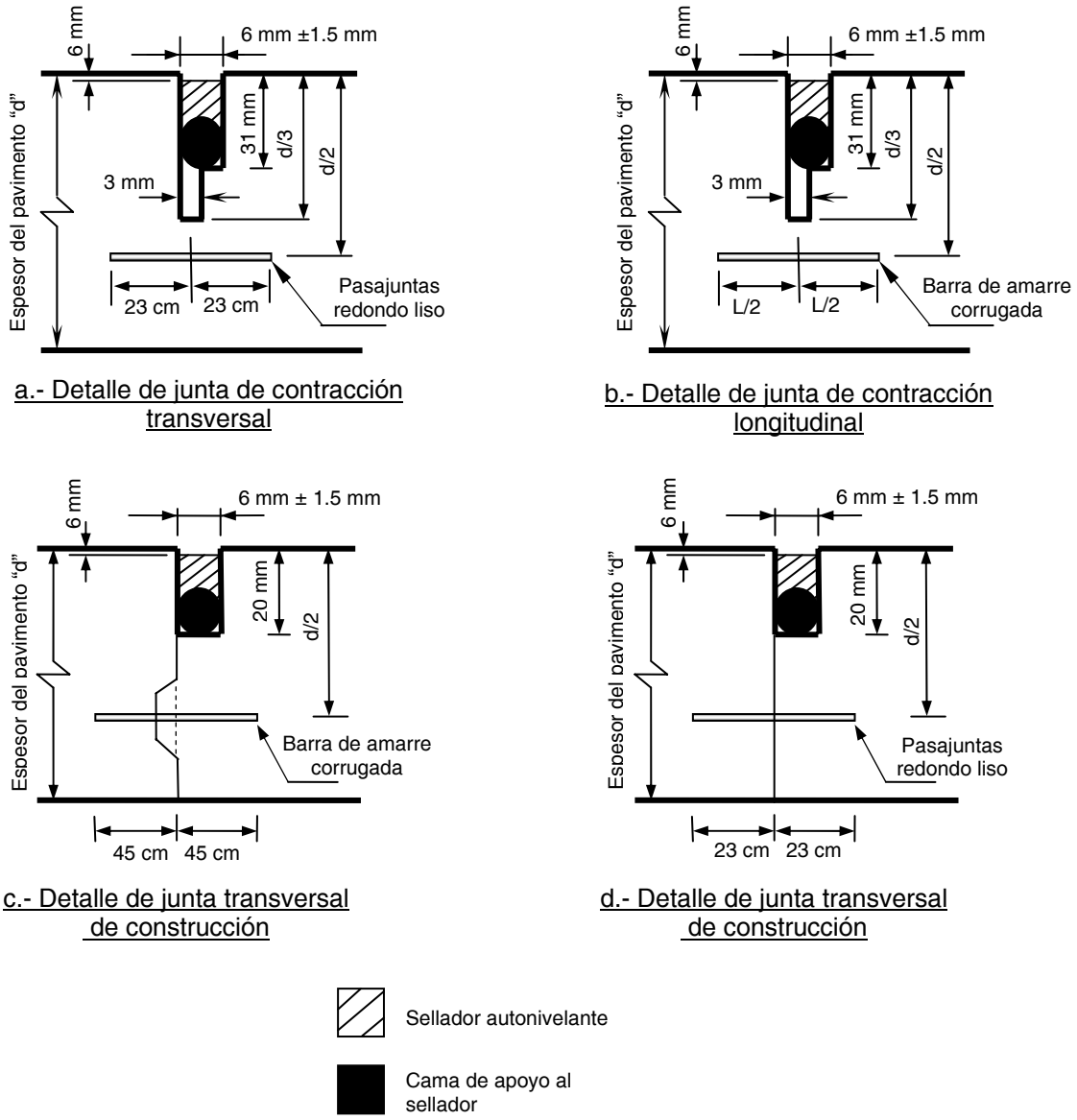


Figura 4.- Detalles de construcción de juntas

8.5.9 Sellado de juntas

Con el propósito de minimizar la infiltración del agua superficial y de materiales incompresibles al interior de la junta del pavimento, se deben utilizar sellos líquidos o sellos a compresión los cuales deben soportar esfuerzos alternados de compresión y de tensión, producidos por los cambios de temperatura y de humedad.

a. Selladores líquidos

Los selladores líquidos de un solo componente pueden ser colocados en frío, al ser autonivelables toman la forma de las cajas que los contienen, un sellado satisfactorio depende de una correcta adhesión de las caras de la junta.

b. Selladores premoldeados a compresión.- Deben cumplir con lo indicado a continuación:

- Para el diseño de este tipo de selladores se debe calcular el movimiento de los extremos de las secciones de la losa de acuerdo con lo indicado en la sección 8.4.8 de esta especificación, después se seleccionara el sellador prefabricado que pueda absorber una deformación igual o menor al valor calculado, si el movimiento calculado es mayor a la compresión admisible del sellador prefabricado, entonces se debe escoger un sellador mas deformable.

- La profundidad de la caja para alojar el sello de la junta, debe ser mayor que la profundidad del sello.

- El ancho del sello debe ser aproximadamente el doble del ancho de la caja.

- El diseño de la caja y la selección del sello a compresión deben asegurar que el sello se mantenga a un nivel de compresión entre el 20 y el 50%.

- A mayor temperatura durante la instalación se requiere más compresión del sellador ya que la losa tendera a expandirse.

- La geometría para aplicación del sellador debe efectuarse atendiendo los movimientos esperados suponiendo varias temperaturas y el tamaño del sellador premoldeado.

- Los sellos premoldeados deben contar con al menos 5 celdas

c. Cintilla de respaldo

Su diámetro debe ser un 25% mayor que el ancho de la caja que alojará la junta, para asegurar un debido ajuste e impedir que el sello líquido fluya hasta el fondo de la junta.

d. Caja para alojar el sello de la junta

Para eliminar esfuerzos excesivos en el interior del sellador y a lo largo de la línea de unión del sellador con la caja para la junta, en los factores de forma se debe tomar en cuenta que el material de sello debe quedar ligeramente abajo del lecho superior de la losa (0.6 cm), el factor de forma (Ff) queda definido por la relación que existe entre la profundidad y el ancho, siendo para el caso de selladores líquidos en caliente Ff =1.0 y para silicón liquido Ff = 0.50 (ver Figura 5).

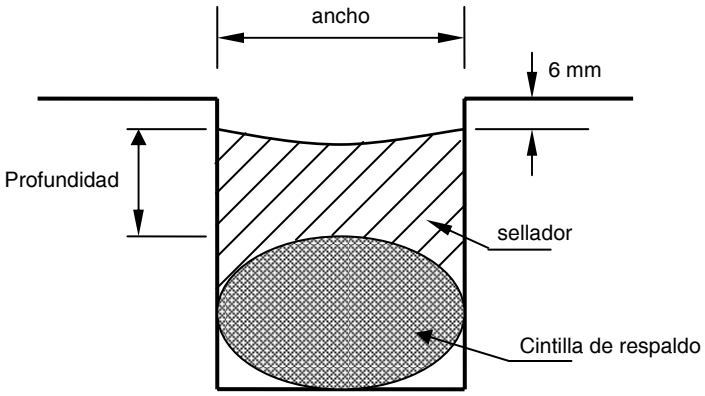


Figura 5.- Caja para el sello de junta

8.6 Drenaje

8.6.1 Conjunto sub-base-acotamiento- losa

a. El pavimento de concreto debe contar con un drenaje adecuado a fin de evitar la expulsión de los finos de las capas inferiores.

b. Se debe mantener el sellador 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

8.6.2 Superficie del pavimento

Se debe establecer un drenaje adecuado en la superficie del pavimento considerando un bombeo del 2.0 % mínimo en un sentido para desalojar el agua de lluvia.

8.7 Cargas por transito

8.7.1 Tránsito.- Se define como el número de ejes que pasan por el carril de diseño, clasificado por tipo y carga por eje, se debe cuantificar estableciendo el espectro de cargas y el numero de repeticiones de cada rango de cargas que se espera en el carril de diseño durante el periodo de diseño, incluyendo el crecimiento del tránsito

8.7.2 Se debe considerar tanto la geometría de las cargas o la configuración de los vehículos, como la distribución e intensidad de cargas, estos efectos de los vehículos se deben considerar de las siguientes formas:

a. Transito fijo.- De acuerdo con el criterio de tránsito fijo, toda la distribución vehicular se convierte a una carga de llanta sencilla equivalente *CLLSE*, la cual determina el espesor del pavimento y diseñar para la carga mayor que se pueda anticipar, inclusive transformando las cargas por arreglos múltiples de llantas a una carga sencilla.

b. Vehiculo fijo.- El espesor del pavimento viene regido por el número de repeticiones de carga de un vehiculo estándar o de carga por eje de peso nominal, usualmente de 8.2 ton (18 kips). A tales ejes ya normalizados se les denomina comúnmente *ESAL´s*, (Equivalent Single Axis Loads)

Las repeticiones de una carga por ejes, sencilla, o cargas de ejes múltiples se multiplica por los *FCEE* correspondientes para obtener los efectos de los ejes reales en términos de ejes normalizados o *ESAL´s*, este valor de tránsito es el que se debe utilizar en el diseño.

c. Vehículo y tráfico variables.- Con este enfoque los vehículos y variables se toman en cuenta por separado e individualmente para evaluar sus efectos en el diseño del pavimento, formando grupos de cargas similares para luego determinar y sumar los efectos separados de cada grupo, tales como esfuerzos, deformaciones y deflexiones.

8.7.3 Factor de equivalencia de carga por eje.

De acuerdo con la sección 8.7.2 inciso b se requiere un factor de equivalencia de carga por eje (*FCEE*) para cuantificar el transito real a un cierto número de ejes normalizados, el *FCEE* depende del tipo de pavimento, espesor o de la capacidad estructural y el índice de servicio terminal o nivel de rechazo que se considere para la estructura del pavimento. Estos valores son empíricos y normalmente se utilizan los proporcionados por el método *AASTHO* de acuerdo a las tablas 8.4 a la 8.12 de la *Guía IMCYC.*

8.7.4 Análisis de tráfico

El diseño final de los pavimentos estará regido por el número de repeticiones de los ejes de cada uno de los grupos de vehículos durante el periodo de diseño, los volúmenes de transito serán determinados a través de mediciones en campo mediante basculas de cargas móviles o en su caso se podrán emplear los registros con que cuenta la S.C.T. El tránsito vehicular diario actual e inicial total en ambas direcciones, se debe afectar por factores direccionales, de distribución por carril y de crecimiento para obtener el tránsito promedio diario durante el periodo de diseño

a. Transito pesado promedio

El promedio de transito pesado puede conocerse numéricamente si se cuenta con monitoreo del transito o bien puede estimarse como porcentaje del TPD (Transito Promedio Diario) en ambos casos este valor puede conocerse si se cuenta con información de caminos cercanos cuyos patrones de transito, tendencias de crecimiento y composiciones estén disponibles o a través de equipo sencillo para el pesaje de vehículos en movimiento.

b. Factor de transito pesado

Es el cociente que se obtiene de dividir el total de ESAL´s que representan todo el conjunto de ejes de camiones pesados entre el número de estos últimos.

$$FTP = \frac{ESAL's}{Num.\ camiones}$$

Este factor se puede aplicar a todos los camiones, excepto en aquellos casos en los que se prevea que el crecimiento es diferente para cierto grupo de camiones pesados, en cuyo caso se multiplicará cada grupo por su factor respectivo. Conocido el tránsito, el valor de FTP puede conocerse suponiendo el nivel de rechazo y un espesor tentativo de la losa de rodamiento, de esta manera se podrá entrar a las tablas 8.4 a la 8.12 de la Guía IMCYC y encontrar los factores de equivalencia FCEE.

c. Factor de crecimiento

El factor de crecimiento puede determinarse asignando una tasa de crecimiento constante al tránsito promedio en toda la vida del proyecto, este factor multiplicado por la estimación del tránsito durante el primer año dará el tránsito total en ESAL´s en el periodo de diseño, para consulta de este factor de crecimiento ver tablas 8.1 y 8.2 de la Guía IMCYC.

d. Factor de distribución por carril

Solo en los casos en que existan dos carriles, cada uno de ellos representara el de diseño, este factor de distribución será del 100 %, en los casos que se requiera mas de dos carriles regirá el de baja o el exterior, para el cálculo de este factor se deberá consultar la gráfica desarrollada en el capitulo “Thickness Design for Concrete Highways and Street Pavements” de la PCA figura 8.2 de la Guía IMCYC.

e. Factor de sentido

Se debe diferenciar el sentido de las vialidades mediante un factor, siendo para un sentido de 1.0 y para doble sentido de 0.5, en los casos en que los camiones viajan cargados en una dirección y regresan vacíos se debe tomar en cuenta el sentido con mayor tráfico.

8.8 Diseño geométrico

El diseño geométrico será realizado en la Ingeniería de detalle del proyecto tomando en consideración los siguientes aspectos.

a. 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.

b. Anchos de calle.- El ancho de las vialidades dependerá del tránsito que deben soportar, es común establecer un ancho mínimo del orden de 7 m, con una pendiente transversal del 2%. Se recomienda que no existan variaciones fuertes en anchos y pendientes. Son comunes los carriles con anchos de 3.0 a 3.6 m para disminuir el riesgo de que los conductores rebasen en carriles sencillos.

c. Anchos de carriles de estacionamiento en calles.- Pueden adoptarse los siguientes criterios para los anchos de los carriles de estacionamiento adyacentes a las guarniciones: 2.4 m para el caso de que predominen automóviles, y de 2.7 a 3.0 m para el caso de que por la vialidad circulen camiones pesados. En arterias principales el ancho de estos carriles puede llegar de 3.0 a 3.7 m, lo que permitirá que sirvan incluso para dar vuelta No son recomendables anchos menores.

d. Juntas.-Otro aspecto del diseño geométrico son las juntas longitudinales y transversales cuyas consideraciones de diseño se presentan en la sección 8.5 de esta especificación.

8.9 Método AASHTO para pavimentos rígidos

8.9.1 El método se fundamenta en la ecuación de Diseño AASHTO 1986-1993, en el cual a partir de un espesor de pavimento supuesto, se calculan los Ejes Equivalentes y posteriormente se evalúan todos los factores adicionales de diseño los cuales al aplicarlos en dicha ecuación, esta debe estar en equilibrio, de no haber equilibrio en la ecuación, se deben seguir efectuando tanteos hasta lograr equilibrio. A continuación se muestra como referencia la ecuación mencionada, base del Método AASTHO.

$$\log_{10}(E18) = \begin{cases} Zr\ So + 7.35\log_{10}(D+1) - 0.06 + \dfrac{\log_{10}\left[\dfrac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right]}{1+\dfrac{1.624\times 10^{7}}{(D+1)^{8.46}}} \\ +(4.22-0.32\ pt)\log_{10}\left[\dfrac{S'c\ Cd\left(D^{0.75}-1.132\right)}{215.63\ J\left[D^{0.75}-\dfrac{18.42}{(Ec/k)^{0.25}}\right]}\right] \end{cases}$$

En donde:
- Zr = Desviación estándar normal
- So = Error estándar combinado
- D = Espesor
- PSI = Diferencia de serviciabilidad
- $E18$ = Tráfico
- pt = Serviciabilidad final
- $S'c$ = Módulo de ruptura
- Cd = Coeficiente de drenaje
- J = Coeficiente de transferencia de carga
- Ec = Módulo de elasticidad
- k = Módulo de reacción

8.9.2 Factores de Diseño que se deben considerar

a. Tránsito

Para las consideraciones del tránsito ver sección 8.7 de esta especificación y capitulo 8 “Cargas por transito”” de la *Guía IMCYC.*

b. Resistencia de la subrasante

- La resistencia de la subrasante es considerada por medio del módulo K de reacción del suelo, cuyo valor se debe obtener directamente mediante la prueba de placa de acuerdo con las especificaciones ASTM D1195 y ASTM D1196, utilizando el valor promedio de los módulos K para el diseño estructural.

- También se puede usar la correlación aproximada entre módulos de reacción y valores del Valor Relativo Soporte para diferentes suelos (ver capitulo 1 (fig. 1.2) de la Guía IMCYC).

c. Drenaje.

- Se debe considerar dentro de este criterio la calidad del drenaje ya que dependiendo de la facilidad con que pueda salir el agua de las capas que conforman el pavimento, dependerá el comportamiento y los cambios de las características físicas y mecánicas de la capa de apoyo.

- Deben considerarse las condiciones de drenaje para el diseño por medio del coeficiente de drenaje *Cd*. Valores de *Cd* mayores de la unidad indican un buen drenaje y reducen el espesor

del pavimento, o aumentan el número de ejes equivalentes (*ESAL's)* que el pavimento puede soportar manteniéndose en condiciones aceptables.

- Por el contrario, con valores de *Cd* menores a la unidad se requieren espesores mayores y se reduce el número de ejes equivalentes (*ESAL's)* que el pavimento puede soportar en condiciones aceptables, los valores recomendados para el coeficiente de drenaje deben estar entre 1.0 y 1.10, como se indican en la Tabla 3.

Tabla 3.-Valores recomendados del coeficiente de drenaje para el diseño de pavimentos rígidos

	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
Calidad del drenaje	Menos de 1%	De 1 a 1.5 %	De 5 a 25 %	Mas del 25 %
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 -1.15	1.15 -1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 -1.10	1.10 -1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 -1.00	1.00 -0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 -0.90	0.90 -0.80	0.80
Muy pobre	1.00 - 0.90	0.90 -0.80	0.80 -0.70	0.70

d. Confiabilidad y desviación estándar.

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

- Los valores recomendados del nivel de confianza dependen del tráfico y del índice de servicio representado a través del comparativo de las curvas de comportamiento y de diseño, las cuales no son coincidentes debido a errores asociados a la ecuación de comportamiento propuesta y a errores de dispersión de la información con que se calculó el dimensionamiento del pavimento. Esta falta de coincidencia de las curvas se debe ajustar mediante una desviación estándar So, como se muestra en las Figuras 6 y 7.

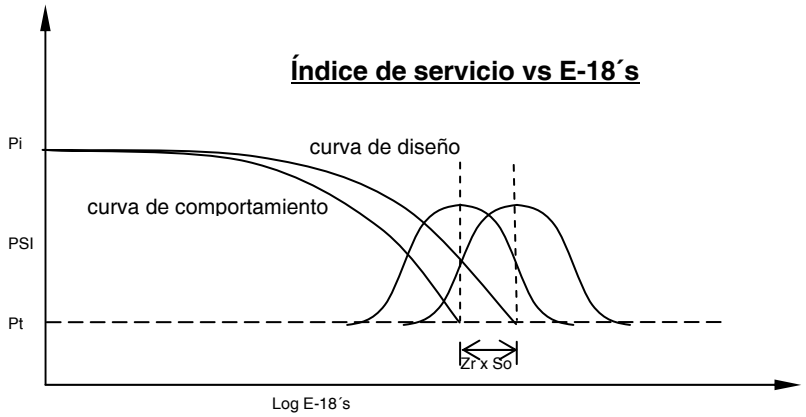


Figura 6.- Comparación entre la curva de comportamiento y la curva de diseño para Pavimentos de concreto en función del tráfico y del índice de servicio.

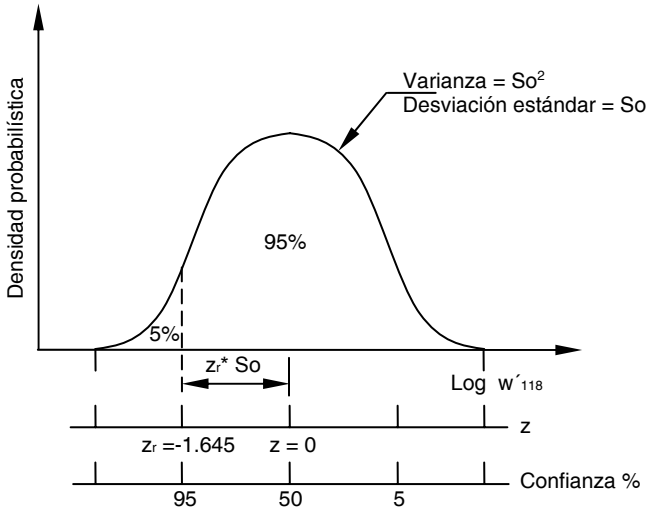


Figura 7.- Concepto del índice de confianza

e. Resistencia del concreto.

- Las características principales del concreto para el diseño de pavimentos son la resistencia a la flexión o módulo de ruptura (MR) y el Módulo de elasticidad (Ec).

- El valor del modulo de ruptura (MR) especificado a los 28 días debe ser medido mediante ensayos, utilizando una viga simple con carga en los tercios del claro (AASHTO T 97, ASTM C 78, NMX-C-191-1986), la Tabla 4 indica los valores de MR que deben ser tomados en cuenta como parámetro de diseño.

Tabla 4.- Modulo de Ruptura (MR) recomendado

Tipo de pavimento	MR (kg/cm^2)
Autopistas	48
Carreteras	48
Zonas Industriales	45
Urbanas principales	45
Urbanas secundarias	42

- La AASHTO recomienda que el dato de entrada del módulo de ruptura, MR sea uno ajustado, que tome en cuenta las desviaciones estándar y los porcentajes típicos de valores inferiores de MR que se estime se vayan a obtener en la realidad, para obtener el valor medio de MR se debe

emplear la siguiente ecuación:

$$MR(medio) = Mre + z(SoDs)$$

En donde: $Mr(medio)$ = Valor medio del módulo de ruptura del concreto, kg/cm^2

Mre = Resistencia a la flexión (módulo de ruptura) especificada en proyecto, kg/cm^2

$SoDs$ = Valor estimado de la desviación estándar de Mr, kg/cm^2

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

El valor de *SoDs* depende de la consistencia con que la planta productora fabrique el concreto.

f. El efecto de las juntas es otro de los factores de diseño que se debe considerar para la aplicación del Método AASTHO como mecanismo de carga, mediante los valores recomendados de transferencia de carga que se espera a lo largo de la junta para un periodo de diseño particular del pavimento.

8.10 Método de la PCA (Portland Cement Association) 1984.

8.10.1 Criterios de análisis

Deben realizarse los tipos de análisis indicados a continuación:

a. Análisis por fatiga para evaluar el daño acumulado al pavimento inducido por los esfuerzos producidos por la acción repetida de las cargas.

b. Análisis por erosión para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en las zonas criticas, orillas, juntas y esquinas, inducidas por la potencial erosión de la capa de apoyo.

c. Se debe efectuar un análisis para controlar los efectos de bombeo, desnivel entre losas y deterioro de las bermas, aspectos que son independientes de la fatiga, así como también para limitar problemas de fracturamiento en zona de juntas, especialmente en pavimentos sin pasajuntas.

8.10.2 Análisis de esfuerzos por fatiga

a. Este análisis Influye principalmente en el diseño de pavimentos para tráfico ligero y pavimentos para tráfico mediano con pasajuntas en las juntas.

b. Se debe efectuar un análisis de esfuerzos-deflexiones críticos debido a las posiciones de carga empleando el método de los elementos finitos. dando lineamientos respecto al tipo, a la densidad y al modelo de los elementos finitos, ver Figura 10.1 de la Guía IMCYC.

c. En esta metodología se deben considerar losas finitas, en donde actúan cargas en posiciones diferentes, y se modelan transferencias de carga losa-losa entre juntas, losa-acotamientos y entre grietas.

d. En el caso de pavimentos sin pasajuntas, la transmisión de cargas entre grietas, en juntas machihembradas o en grietas del tipo continuamente reforzado, se debe modelar mediante la introducción de resortes con rigideces conocidas, basándose en las características carga-deflexión.

Los resortes deben incluirse en cualquier análisis

e. Se debe considerar el factor de esfuerzo de orilla equivalente debido a posiciones incrementales de carga hacia el interior de la losa.

8.10.3 Análisis de esfuerzos por erosión

a. Este análisis influye principalmente en el diseño de pavimentos con trafico mediano a pesado con transferencia de carga por trabazón de agregados (sin pasajuntas) y pavimentos de trafico pesado con pasajuntas.

b. Se debe efectuar el análisis de los esfuerzos críticos de orilla y de esquina del pavimento debido a la transferencia de cargas hacia las juntas transversales. Las deflexiones mayores ocurren cuando las cargas se colocan encima de o en las proximidades de las juntas de control, provocando que los resultados afecten y definan los criterios de erosión (o de deflexiones permisibles) en el diseño del pavimento.

c. La opción de construcción de acotamientos ligados al pavimento hace que se reduzcan los espesores finales ya que se reducen substancialmente los esfuerzos resultantes en los bordes.

d. Se debe considerar el porcentaje de daño o consumo por erosión que establece el Método PCA en la Figura 10.2 y las tablas 10.1 y 10.2 de la Guía IMCYC.

8.10.4 Parámetros de diseño

Deben establecerse los parámetros de diseño indicados a continuación:

a. Transito.-Se debe conocer el número de repeticiones esperadas durante todo el periodo de diseño de cada tipo de eje, partiendo del Transito Promedio Diario Anual (TPDA), el % que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del trafico, el factor de sentido, el factor de distribución por carril y el periodo de diseño así como el factor de seguridad de la carga, ver sección 8.7 de esta especificación y Tabla 10.3 de la Guía IMCYC.

b. Resistencia del concreto.- El módulo de resistencia (*Mr*), debe estar en un rango entre 35 y 50 kg/cm^2.

c. Resistencia de la capa de apoyo de la losa de concreto (*K*).- El método establece como parámetro de resistencia el valor del módulo de reacción de la capa subrasante cuando la losa va apoyada directamente sobre ella, o adopta el valor del módulo de reacción del conjunto subbase-subrasante cuando se usan los diferentes tipos de subbase previstos en el método.

d. Periodo de diseño (*T*).- Normalmente estas estructuras se diseñan para periodos mayores de 20 años, este parámetro se considera en la estimación de la variable de transito.

e. Tipo de juntas y bermas.- Con el fin de realizar los análisis de fatiga y erosión, el método toma en cuenta la incidencia de la protección lateral de la losa de concreto y el tipo de transmisión de cargas en las juntas.

8.11 Materiales

8.11.1 Capas de apoyo

Para la definición y características técnicas de los materiales de las capas de apoyo ver la sección 7.0

de esta especificación

8.11.2 Barras de amarre y barras pasajuntas

Se deben utilizar varillas lisas para barras pasajuntas y corrugadas para barras de amarre, de acero estructural grado 60, con limite de fluencia de 4,200 kg/cm^2, de acuerdo con la especificación NMX-C-407-ONNCCE-2001 (ASTM A-615).

8.11.3 Cimbras.

a. Las cimbras laterales serán metálicas del tipo Monten calibre 10 y peralte igual al del pavimento, reforzadas con soleras a cada 30 cm para darles rigidez.

b. Las placas para formar juntas machimbradas serán de metal, con espesor no menor del calibre 16 y tendrán las perforaciones necesarias para pasar los pasajuntas, según lo indique el proyecto.

8.11.4 Material de sello para Juntas

a. Selladores.

- El material de sello para juntas transversales y longitudinales, debe ser elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotores, con propiedades adherentes con el concreto, que permita las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas sin agrietarse y capaz de sellar efectivamente la junta contra infiltraciones de humedad o de materias nocivas.

- El material no debe fluir fuera de la junta ni desprenderse al paso de las llantas de los vehículos, debiéndose emplear productos a base de silicón o similar de bajo módulo, autonivelable de un solo componente y que no requeera la adición de un catalizador para su curado.

b. Tirilla de respaldo

Debe ser de espuma de polietileno y compatible con el sellador de silicón.

8.11.5 Concreto

El concreto debe ser responsabilidad del productor de concreto, premezclado, de acuerdo a las especificaciones particulares del proyecto y las normas NMX-C-155-ONNCCE-2004, NMX-C-403-ONNCCE-1999 y la especificación GNT-SSNP-C003-2004, considerando además los siguientes aspectos:

a. Resistencia mínima a la flexión por tensión (MR) entre 35 y 50 kg/cm^2.

b. El revenimiento debe estar comprendido desde 6 hasta 12 cm.

c. El peso volumétrico debe ser mayor a 2,200 kg/cm^2.

d. Se debe indicar en las especificaciones particulares del proyecto el tipo de exposición a la que estará expuesto el concreto estructural a fin de que el Ingeniero proyectista considere los principales parámetros que afectan la durabilidad.

8.11.6 Aditivos

El uso de aditivos estará sujeto a la autorización de PEMEX y a los siguientes criterios:

a. La inclusión de aditivo a la mezcla debe lograr el efecto buscado sin alterar sus propiedades físicas químicas y mecánicas, para el servicio para el cual fue diseñado el concreto y que no tenga efectos nocivos a corto y largo plazo.

b. La utilización y tipo de aditivo dependerá de las necesidades de construcción, de las dosificaciones y de las propiedades que confieren al concreto, por lo que se deben seguir las indicaciones de los fabricantes, las aplicaciones recomendadas y las dosificaciones correspondientes para aprovechar las ventajas de cada aditivo, así mismo se debe cumplir con lo indicado en las normas mexicanas NMX-C-200-1978 y NMX-C-255-1988, cuando apliquen.

8.11.7 Materiales para curado de concreto

La mezcla ya compactada debe protegerse contra la perdida de agua utilizando compuestos líquidos que formen membrana cuya base sea agua y parafina de pigmentación blanca de acuerdo con la norma NMX-C-081-1981.

9. CONSTRUCCION

9.1 Trabajos preliminares

9.1.1 Deben proveerse las señales de advertencia para proteger la obra, al publico y controlar el tránsito, se colocarán barricadas en las calles o tramos cerrados al transito y se proporcionara iluminación adecuada durante la noche.

9.1.2 Deben colocarse estacas y referencias topográficas para trazar los ejes constructivos, pendientes y niveles.

9.1.3 Se debe impregnar la superficie terminada con un riego de asfalto FM-1 con el fin de protegerla del transito de trabajadores, para que no absorba agua del concreto fresco cuando este se coloque y posteriormente permita el deslizamiento de la losa de concreto por efecto de expansiones y contracciones.

9.1.4 Si no se ha especificado la colocación de algún material impermeable sobre la superficie de la subbase, ésta se debe humedecer con agua antes de vaciar el concreto, evitando su acumulación.

9.1.5 Para preservar a la estructura del pavimento de la humedad proveniente del exterior, se dispondrá un drenaje superficial sellando las juntas entre las losas y entre estas y la guarnición; la pendiente transversal de la superficie de rodamiento (bombeo) será del 2% del eje longitudinal del pavimento hacia las orillas en calles hasta de 12 m de ancho; en patios de maniobras, el valor de la pendiente dependerá del proyecto del drenaje.

9.1.6 En los lugares donde existan tuberías localizadas dentro de las zonas por pavimentar, el espesor sobre ellas formado por las terracerías, la subbase y la losa de concreto, no será menor de 50 cm.

9.2 Cimbras

9.2.1 La colocación de la cimbra debe ir siguiendo el alineamiento y niveles que sean indicados por la brigada de topografía , se sujetarán con troqueles de varilla del No. 3 al No. 5 , cuya longitud mínima sea igual

al doble del espesor del pavimento, colocadas a cada 1.0 m aproximadamente.

9.2.2 Las cimbras deben tener la forma adecuada para dar a la superficie lateral de la losa la forma requerida y las perforaciones necesarias que permitan el paso del refuerzo. Al colocarlas deben quedar apoyadas en toda su longitud y al nivel especificado. Las depresiones debajo de la cimbra deben rellenarse y compactarse con pisón manual o mecánico y las zonas sobreelevadas se nivelaran haciendo cortes.

9.2.3 Las secciones de la cimbra deben unirse de tal manera que no se desplacen en ninguna dirección, verificando la alineación y nivelación de la cimbra. La tolerancia en el alineamiento de la cimbra será de 6 mm. La cimbra Debe limpiarse y engrasarse inmediatamente antes de vaciar el concreto.

9.2.4 Los desperfectos que se causen a la subbase al colocar la cimbra deben corregirse antes de vaciar el concreto por cuenta del Contratista.

9.2.5 No debe removerse la cimbra antes de 8 a 12 hrs. después de colocar el concreto. A temperaturas menores de 10 º C no se removerá antes de 36 hrs. Si se empleo cemento de fraguado normal. Al retirar la cimbra se extremarán las precauciones para no dañar el concreto.

9.3 Colocación de barras pasajuntas y barras de amarre

9.3.1 Los casquillos de metal para los pasajuntas cubrirán los extremos de estas en una longitud no menor de 5 cm ni mayor de 7.5 cm; el otro extremo del casquillo estará cerrado.

9.3.2 Las barras pasajuntas deben ser recubiertas con asfalto, parafina, grasa o cualquier otro medio que impida efectivamente la adherencia del acero con el concreto.

9.3.3 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. El contratista deberá lubricar toda la pasajunta a fin de que la resistencia a la extracción no sea mayor de 90 kg.

9.3.4 Las barras pasajuntas podrán ser instaladas por medios mecánicos o por medio de canastas metálicas de sujeción las cuales deben asegurar las pasajuntas en las posición correcta de proyecto.

9.3.5 En la colocación de pasajuntas se debe garantizar su alineamiento vertical y horizontal a fin de evitar restricciones en los movimientos de las losas en sus extremos.

9.3.6 Las pasajuntas deben colocarse paralelas a la superficie de apoyo y en planta deben también ser paralelas al eje del camino.

9.3.7 Deben estar libres de irregularidades, de tal manera que las losas puedan moverse libremente.

9.3.8 La uniformidad del acero cumplirá con lo dispuesto en la norma NMX-C-407-ONNCCE-2001 y en el ASTM A-615.

9.3.9 El concreto alrededor del acero deberá compactarse correctamente evitando la presencia de bolsas de aire o segregaciones.

9.3.10 Las propiedades anticorrosivas deben cumplir con la norma AASTHO-M254 “Standard Specification for Corrosion Resistant Coated Dowel Bars”

9.3.11 Las barras de amarre deben quedar ahogadas en las losas a la mitad del espesor del pavimento.

9.4 Concreto

9.4.1 Tendido del concreto hidráulico

Se realizará de manera continua mediante rodillo vibratorio vaciado sobre la subbase, esparciéndolo a todo el ancho del pavimento a paleo manual, la superficie que recibe el concreto debe limpiarse y humedecerse para evitar que absorba el agua de la mezcla, se deben colar franjas correspondientes a un día de pavimentación.

9.4.2 Vibrado y perfilado

a. Se debe vibrar en las orillas cercanas a la cimbra utilizando un vibrador manual, posteriormente se debe pasar la regla o el rodillo vibratorio para compactar dando de dos a tres pasadas y finalmente una más con el rodillo sin vibrar para mejorar el acabado, en caso de llevar barras pasajuntas, estas se colocaran antes de que pase la regla o el rodillo vibratorio, después de pasado el rodillo deberá utilizarse una flotadora de aluminio o magnesio en sentido transversal para dar el perfilado definitivo al pavimento.

b. El concreto se consolidará con vibrador de inmersión, el cual tendrá una frecuencia de vibración mínima de 5000 ciclos por minuto. Los obreros que caminen sobre la masa de concreto deben usar botas de hule, limpias de tierra, aceite o cualquiera sustancia perjudicial al concreto. No se permitirá agregar agua para remezclar el concreto

9.4.3 Texturizado y curado

a. El concreto debe tener un acabado microtexturizado longitudinal, arrastrando una tela de yute húmeda a lo largo de la losa cuando el concreto esta fresco.

b. Se aplicará también un texturizado transversal hecho con peine metálico con separación entre dientes de 1.9 cm y de profundidad máxima entre 6.4 mm y 3.0 mm, esta operación se debe realizar cuando el concreto este lo suficientemente plástico para permitir el texturizado, pero lo suficientemente seco para evitar que el concreto fluya hacia los surcos formados por el peine.

c. Posteriormente el concreto debe ser curado con membrana base agua mediante aspersores manuales, esta operación se realizara cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial y debe aplicarse de manera uniforme y en cantidad suficiente para garantizar una membrana impermeable y consistente que evite la evaporación del agua que contiene la mezcla de concreto.

9.4.4 Cortes

a. El proceso de corte transversal y longitudinal de las losas para formar las juntas de contracción se ejecutara inmediatamente después de iniciado el proceso de fraguado inicial, se deben utilizar para esto cortadoras mecánicas con discos de diamante para corte con agua, en todos los casos se debe respetar una modulación de losas no mayor a 1.4 en su relación largo / ancho.

b. La profundidad del corte deberá ser de 1/3 del espesor de losa para garantizar la creación de un plano de falla, el ancho de este corte será de 1/8 de pulgada, posteriormente a este corte y antes de la aplicación del sello, se debe ensanchar, utilizando dos discos para formar una junta de ¼

de pulgada, este ensanchado se debe realizar a una profundidad de ¾ de pulgada para alojar la tirilla de respaldo y el sellador.

9.4.5 Trabajos en clima frió y en clima caliente.

a. No se deber vaciar el concreto cuando la temperatura ambiente exterior sea menor o igual a 4 ^{o}C.
b. En clima frió, la temperatura de la mezcla no será menor de 15 ^{o}C ni mayor de 27 ^{o}C, los agregados o el agua pueden calentarse antes de mezclar pero en ningún caso la temperatura del agua será mayor a 80 ^{o}C y la de los agregados mayor a 65 ^{o}C grados.

c. Si recién terminada la losa la temperatura baja a 2 ^{o}C o menos, el concreto se cubrirá con paja, hierba o cualquier material que conserve una temperatura de cuando menos 10 ^{o}C sobre la superficie del concreto.

d. En clima caluroso no debe mezclarse el concreto si la temperatura de la mezcla no puede mantenerse a un máximo de 32 ^{o}C, la temperatura del cemento en el momento de emplearse no debe ser mayor de 70 ^{o}C, ver norma NMX-403-1999-ONNCCE.

9.5 Juntas

a. Juntas transversales de contracción

Se deben efectuar mediante corte con disco de diamante cuando el concreto haya desarrollado la suficiente resistencia para resistir los desmoronamientos (6 a 8 horas) en los bordes de la junta y las contracciones son inferiores a aquellas que causan el agrietamiento, el corte debe ser al menos 1/3 del espesor de la losa (d/3) y tener un ancho mínimo de 1/8 de pulgada (3mm), ver Figura 3, detalles a y b.

b. Juntas transversales de construcción

Se deben realizar con la utilización de una cimbra cabecera asegurando evitar una superficie áspera en los trabajos de terminado, lo pasajuntas se colocan a través de la cimbra en unos agujeros previamente perforados, se debe efectuar una consolidación adicional al concreto para asegurar un satisfactorio encajonamiento de las pasajuntas

c. Juntas longitudinales de construcción

Se forman en el borde de la losa ya sea por una protuberancia con una pavimentadora de cimbra deslizante o uniéndo a la cimbra una cuña o diente de metal o madera de la forma, dimensiones y profundidad adecuada.

d. Juntas longitudinales de contracción

Se forman efectuando un corte con disco en el concreto endurecido o formando una ranura en el concreto fresco, la profundidad del corte o de la ranura deberá ser de un tercio del espesor (d/3) y el tiempo o el momento para hacer el corte inicial no es tan critico como en el caso de las juntas transversales de contracción ya que el movimiento de contracción longitudinal no es tan significativo como la contracción transversal, sin embargo se debe efectuar antes de que cualquier equipo pesado o vehiculo circule sobre el pavimento con el tiempo de fraguado similar a lo indicado en el inciso “a” de esta sección para eliminar agrietamientos prematuros por condiciones extraordinarias de caídas de temperatura.

e. Juntas de aislamiento

En el plano de la unión entre las losa y el pavimento y las estructuras que estén dentro de la superficie del mismo o adyacentes, incluyendo las guarniciones, se hará una junta de aislamiento, con ancho de ½" a 1" (12 a 25 mm) rellenas con material compresible tipo celotex o similar, colocado mediante estacas en la base y una vez que el concreto ha endurecido, se retiraran ¾" (20 mm) del relleno para dejar espacio al sello de la junta.

f. Sellado de las juntas.

La parte superior de las juntas de expansión y las juntas con otras estructuras, se llenaran con un sellador cuyo tipo deberá estar especificado en el proyecto. La operación de sellar se efectuará después de terminar de curar el concreto y antes de poner en servicio el pavimento. Antes de colocar el material de sello, las juntas se deben limpiar perfectamente con agua y aire a presión garantizando que no existan polvos ni mortero en las caras expuestas, una vez limpia y seca la junta, se procederá a colocar una tira de respaldo que efectivamente impida la adhesión del sellador a la superficie inferior de la junta, posteriormente se colocará el sellador el cual no deberá manchar la zona adyacente a la junta.

g. Vaciado del concreto en las pasajuntas.

- El concreto no se debe vaciar directamente sobre los pasajuntas, debe colocarse lo mas cerca posible y con una pala irlo colocando simultáneamente a ambos lados de ella cubriendo las pasajuntas y teniendo cuidado al vibrar de no mover la junta ni los pasajuntas, si se llegará a desalinear algún pasajuntas, debe volverse a colocar en su posición antes de terminar de colocar el concreto.

- Inmediatamente después de terminar el acabado de la losa, y antes de que el concreto alcance su fraguado final, deben afinarase los bordes de la junta con la herramienta adecuada, retirando todo el concreto que haya quedado sobre el material de relleno de la junta.

9.6 Guarniciones integrales o sujetadas.

Si bien es común colocar las guarniciones y camellones de manera separada, es recomendable utilizar los equipos extendedores que cuenten con dispositivos adaptadores (formas) en sus orillas, para que en una sola pasada se coloquen y queden integrados el pavimento y las guarniciones.

9.7 Tolerancias

El trabajo terminado debe quedar dentro de las tolerancias indicadas en la Tabla 5.

Tabla 5.- Tolerancias	
Ancho de la losa del eje a la orilla	+ 10 cm
Pendiente transversal con respecto a la del proyecto	± 0.5 %
Profundidad máxima de depresiones, medidas colocando una regla de tres metros paralela al eje de la calle	0.5 cm

Espesor de la losa de concreto: Se determinará el espesor de la losa por medio de nivel fijo. Se nivelarán los puntos que se muestran en la Figura 8, nivelando primero sobre la subbase terminada, y luego en los mismos puntos, sobre la losa de concreto terminada.	$er \geq e$ En el 80% de las mediciones, como mínimo. $er \geq e - 0.5cm$ En el 20% de las mediciones, como máximo.
Donde: e: espesor de proyecto. er: espesor real determinado en el campo.	

Cuando se considere necesario, la verificación del espesor se complementara extrayendo con broca núcleos (corazones) de concreto, en los puntos señalados en la siguiente figura:

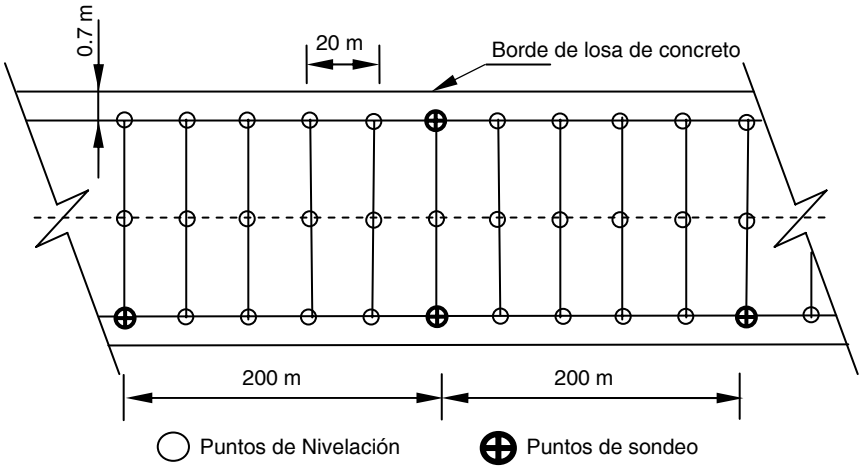


Figura 8.- Puntos de verificación de espesor de la losa de concreto

10. EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

10.1 La evaluación de la conformidad de esta especificación será realizada por PEMEX, con procedimientos, instructivos o listas de verificación especificamente preparados para tal efecto.

11. RESPONSABILIDADES

11.1 Del Contratista

Cumplir con todos los requerimientos de esta especificación. En caso de conflicto el Contratista debe solicitar aclaración y aprobación por escrito de PEMEX.

11.2 De Pemex

Atender las solicitudes de aclaración de conflictos encontrados en esta especificación y aprobarlos cuando procedan.

12. BIBLIOGRAFIA

IMCYC Guía para el diseño y construcción de Pavimentos Rígidos, 1998
PEMEX 3.123.03 (1991) Pavimentos de concreto
SCT Normas para muestreo y pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas, parte 6.01, Carreteras y Autopistas, titulo 6.01.01, “Terracerías”, 1986.
CEMEX Pavimentos de concreto, 2000

13. Anexos

No aplica