

7
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ARAGON”

FALLA DE ORIGEN

APLICACION DE LAS FIBRAS DE
POLIPROPILENO EN LA CONSTRUCCION
DE PAVIMENTOS RIGIDOS

FALLA DE ORIGEN
EN SU TOTALIDAD

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a n :

ALVARES ARENAS MIGUEL

CRUZ RESENDIZ ROBERTO

San Juan de Aragón Edo. de Méx.

1995



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 está 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

D E D I C A T O R I A

CON TODO MI CARINO PARA MI MADRE.

QUE ESTE TRABAJO SEA UN RECONOCIMIENTO AL ESFUERZO,
A LOS SACRIFICIOS Y DESVELO; POR VER REALIZADOS UNO
DE TUS MAS GRANDES SUEÑOS.

GRACIAS POR APOYARME, AYUDARME Y SABERME GUIAR POR
EL DIFICIL CAMINO DE LA VIDA Y POR ESTAR SIEMPRE
CONMIGO.

GRACIAS MAMA.

A MIS PADRES :

JUANA Y MIGUEL

PORQUE SIEMPRE HAN ESTADO CONMIGO
BRINDANDOME SU APOYO INCUNSIONAL.
CON MUCHO CARIÑO Y RESPETO,
PRINCIPALMENTE A LA QUE LE DEBO
CASI TODOS MIS ESTUDIOS CON MUCHO
AMOR Y CARIÑO A MI " MADRE "

A MIS HERMANOS

JOSE, EFREN, MAY, MANUEL Y ROSA
POR SU CONFIANZA Y APOYO EN EL
ESTUDIO.

A MIS SOBRINOS

PANELA, GODO, MUNDIALITO
Y EL QUE VIENE EN CAMINO EL BIGOTITOS.

A UNA PERSONA MUY EN ESPECIAL,
QUE ME ARREBATO LO MÁS BONITO
DE LA VIDA, EL CARIÑO, AMISTAD,
Y " ROMA " PARA TI

" MARU "

SIN OLVIDAR A LA BEBECHA Y A SU
MADRE. JERALDI Y MARITZA.

A TODOS AQUELLOS QUE EN UNA
U OTRA FORMA ME ALENTARON A SEGUIR
ESTUDIANDO, Y MUY EN ESPECIAL. A

" LOS DESCONOCIDOS "

TITULO:

APLICACION DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

JUSTIFICACION:

DE ACUERDO A LOS AVANCES TECNOLOGICOS MAS RECIENTES SE HA ENCONTRADO UN NUMERO CRECIENTE DE FIBRAS QUE SE PUEDEN UTILIZAR PARA MEJORAR LAS CONDICIONES Y CALIDADES DEL CONCRETO, COMO POR EJEMPLO: LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO, QUE PUEDEN EVITAR EL AGRIETAMIENTO POR CONTRACCIONES TERMICAS QUE SUFRE EL CONCRETO EN SU PERIODO DE FRAGUADO; ENCONTRANDO SU PRINCIPAL APLICACION EN LOS FIRMES DE CONCRETO HIDRAULICO.

EL OBJETIVO DE ESTA TESIS, SERA EL DE ANALIZAR SI ESTOS BENEFICIOS SE PUEDEN PRESENTAR TAMBIEN EN LOS PAVIMENTOS RIGIDOS, QUE POR LOS USOS QUE SE TIENEN EN LA CONSTRUCCION, ESTAS FIBRAS PUEDEN SUSTITUIR A LA MALLA UTILIZADA PARA REDUCIR EL AGRIETAMIENTO POR ACCION TERMICA EN LA CARPETA DE UN CONCRETO HIDRAULICO, QUE POR CONSIGUIENTE EN ALGUNAS CALLES, ESTACIONAMIENTOS, CENTROS COMERCIALES UBICADOS EN CHALCO, NEZAHUALCOYOTL, DISTRITO FEDERAL SE ESTAN UTILIZANDO.

FALLA DE ORIGEN

CAPITULADO

	Pagina
I. - INTRODUCCION.	1
I.1 OBRA VIAL.	1
I.2 PAVIMENTO.	16
I.3 FIBRA DE POLIPROPILENO.	25
I.4 DISEÑO.	29
I.5 JUNTAS.	31
I.6 EVALUACION Y CONSERVACION.	36
II. - ALGUNOS ASPECTOS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS.	39
II.1 TRANSFERENCIA DE CARGA.	40
II.2 SELLADO DE JUNTAS.	49
II.3 DRENAJE EN EL CONJUNTO SUB-BASE- -ACOTAMIENTO-LOSA.	56
III. - PAVIMENTO RIGIDO.	58
III.1 APLICACIONES.	59
III.2 CARACTERISTICAS Y ESTUDIOS DE LOS MATERIALES.	69
III.3 ESFUERZOS.	75
III.4 PREPARACION Y COLOCACION DE MEZCLAS.	91
IV. - FIBRAS DE POLIPROPILENO.	105
IV.1 HISTORIA.	106
IV.2 CARACTERISTICAS FISICAS.	108
IV.3 PROPOSITOS DE ADICIONAR FIBRA AL CONCRETO.	111
IV.4 MEZCLADO Y ACABADO EN EL CONCRETO.	121
IV.5 APLICACIONES Y TIPOS DE FIBRA.	125

CAPITULADO

	Pagina
V. - DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS.	135
V.1 FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO.	138
V.2 ESTRUCTURAS DE FIRMES RIGIDOS EN CALZADAS.	141
V.3 INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.	146
V.4 DISEÑO DE PAVIMENTOS DEL CONCRETO CONVENCIONAL.	150
VI. - CONTROL DE CALIDAD Y PRUEBAS DE LABORATORIO UTILIZANDO FIBRAS DE POLIPROPILENO.	171
VI.1 RELACION DE EVAPORACION.	174
VI.2 DISTRIBUCION DE LAS FIBRAS	175
VI.3 PRUEBAS EN LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO.	177
VII. - JUNTAS	185
VII.1 TIPOS DE JUNTAS.	186
VII.2 ESPACIADO Y DIMENSIONAMIENTO.	191
VII.3 MATERIALES.	192
VII.4 PLIEGO DE CONDICIONES.	207
VIII. - COMPARACION DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS UTILIZANDO MALLA ELECTROSOLDADA Y FIBRAS DE POLIPROPILENO.	225
VIII.1 APLICACION DE LAS FIBRAS EN CARRETERAS.	226
VIII.2 PROCESO DE CURADO DEL CONCRETO.	230
VIII.3 COMPARATIVA DE PRECIOS UTILIZANDO FIBRAS DE POLIPROPILENO Y MALLA ELECTROSOLDADA.	233

CAPITULADO

	Página
IX. - CONSERVACION.	235
IX.1 DEFECTOS ESTRUCTURALES.	239
IX.2 REPARACIONES.	247
IX.3 REFUERZO DE LOS FIRMES DE CONCRETO MEDIANTE RECUBRIMIENTO CON UN NUEVO FIRME.	251
IX.4 MATERIALES QUE SE UTILIZAN PARA LA REPARACION DE LOS FIRMES.	254
X. - CONCLUSIONES.	257
BIBLIOGRAFIA	266

CAPITULO I INTRODUCCION

1.1 OBRA VIAL.

Las vías terrestres forman parte de la infraestructura de un país y dichas obras deben construirse en la forma más económica posible, pero cumpliendo cabalmente con las finalidades para las cuales fueron proyectadas se debe entender una obra económica cuando la suma de los costos de construcción, conservación y operación son mínimas en relación con otras posibilidades consideradas.

La obra vial, es la vía de comunicación formada por un conjunto de construcciones o instalaciones sobre el terreno natural necesarias para la circulación de vehículos, en forma fácil, segura y económica.

La construcción de una obra vial, requiere por lo general de un proyecto geométrico y de un proyecto estructural :

PROYECTO GEOMETRICO. -

Son los trabajos que se realizan sobre la topografía del terreno para definir las dimensiones y seccionamiento de los diferentes elementos que componen una obra vial, tales como la planta, el perfil y las secciones transversales, en base a las características y dimensiones del tránsito que circulará sobre la obra vial.

La planta es la representación del camino y es una sucesión de tangentes y curvas circulares, mediante un

cadenaamiento en el proyecto del terreno a través de los puntos por unir en la obra vial; indicándose la distribución y dimensiones que tendrá la misma en toda su extensión.

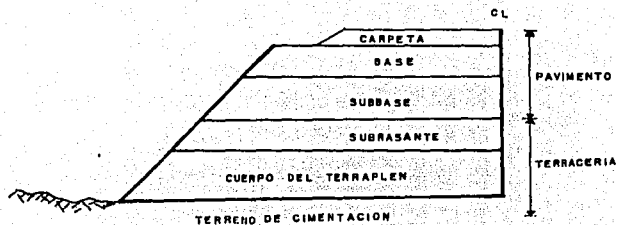
El perfil se deduce de la planta del camino y es una sucesión de tangentes y curvas verticales mediante un cadenaamiento en el proyecto del terreno, a través de los puntos por unir por la obra vial; indicándose las diferentes elevaciones permisibles que tendrá el camino y los volúmenes de terracerías por mover.

Las secciones transversales, son cortes verticales en un punto cualquiera normal al alineamiento horizontal, y nos muestra la forma que tendrá la obra vial en los distintos lugares de la misma, indicando el procedimiento de construcción a seguir, ya sea cortando, o terrapienando el terreno natural para dar la forma deseada al camino. Se tienen las siguientes tipos de secciones transversales:

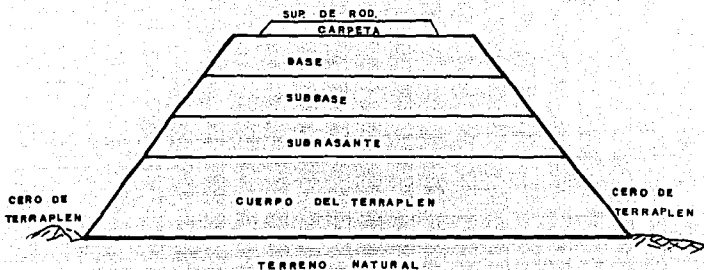
a).- Sección tipo en terrapien - Es una estructura formada, por material seleccionado producto de un corte o de un préstamo y que se construye sobre el terreno natural acondicionado hasta la forma, dimensiones y taludes de la sección fijada en los niveles de proyecto, que corresponden a los niveles de la SUBRASANTE.

b).- Sección de tipo en corte - Es una estructura formada, al ejecutar una excavación a cielo abierto en el terreno natural, con los taludes adecuados de acuerdo a las características del terreno por cortar, con formar, dimensiones y niveles de acuerdo

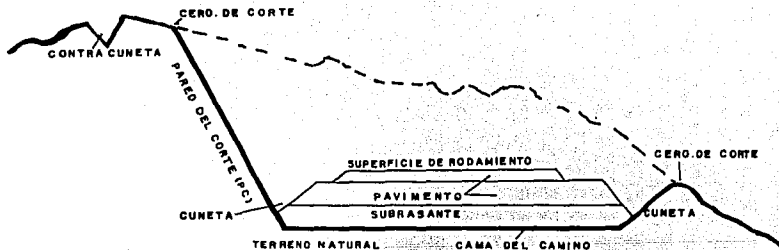
FALLA DE ORIGEN



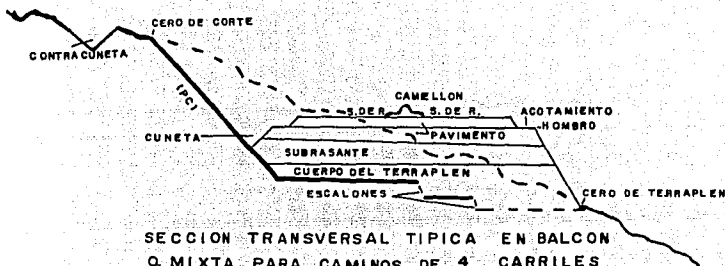
SECCION ESTRUTURAL DE UNA OBRA VIAL



SECCION TRANSVERSAL TIPICA EN TERRAPLEN



SECCION TRANSVERSAL TIPICA EN CORTE
PARA CAMINOS DE DOS CARRILES



SECCION TRANSVERSAL TIPICA EN BALCON
O MIXTA PARA CAMINOS DE 4 CARRILES

al proyecto.

c). - Sección tipo mixta o en balcón. - Es una estructura en la que es necesario efectuar cortes en el terreno natural, como formar terrapienes con material producto del corte o préstamo, con sección de forma, dimensión y nivel de acuerdo al proyecto.

De acuerdo a la demanda de tránsito, las especificaciones deben clasificar a las obras para que las características geométricas que marquen a cada una de ellas, estén de acuerdo a las necesidades y los costos de operación, para lo cual, se tiene una tabla que muestra las especificaciones geométricas para caminos, la clasificación está con base en el tránsito diario promedio anual (TDPA) futuro.

PROYECTO ESTRUCTURAL.

Son los distintos trabajos que se realizan para determinar el espesor y la función de cada una de las capas que componen la sección estructural de una obra vial, la calidad y la cantidad de los materiales por utilizar en cada capa y analizar el efecto de los factores principales que intervienen en el funcionamiento en conjunto de una obra vial.

Para la determinación de la sección estructural, se han establecido 3 tipos de caminos, que son : A, B, y C, los cuales están en función de la carga y del número de ejes del vehículo;

a la vez, los vehículos se han clasificado atendiendo a su clase en : Automóvil (A), Camión (C), Autobús (B), Tractor (T), Semirremolque (S) y Remolque (R).

La sección estructural se encuentra constituida por lo general de dos elementos estructurales que son : Las terracerías y los pavimentos.

a). - TERRACERIAS.

Las terracerías son el conjunto de cortes y terraplenes que proporcionan el apoyo a la estructura del pavimento y constituyen la obra vial; las funciones de las terracerías son: la de soportar el pavimento en condiciones razonables de resistencia y deformación, proporcionar el nivel necesario de subrasante y el de proteger al pavimento, conservando su integridad del mismo.

Los factores que influyen en el comportamiento de las terracerías son varios, que son : El medio ambiente, los aspectos regionales, el tránsito, la característica de los materiales, la estratigrafía, la permeabilidad y estabilidad, el flujo de agua, la resistencia del terreno de cimentación, su compresibilidad y el nivel de aguas freáticas.

Dentro de las características que deben poseer las terracerías se encuentran las siguientes :

- 1.- Resistencia adecuada para soportar las cargas transmitidas por el pavimento, por peso propio y tránsito.
- 2).- Resistencia a los factores del medio ambiente que pueden afectar su resistencia, durabilidad, estabilidad volumétrica, estabilidad química, etc.
- 3).- Economía y aspectos funcionales.

Las terracerías se dividen en tres capas, que son : Terreno de cimentación, cuerpo de terraplén y capa tubracante. Y cuando se tiene un terreno de cimentación de mala calidad y el uso que se le va a dar es el de un camino de tipo A, se construye una capa adicional, la cual se le denomina de transición o subyacente con un espesor aproximado de 50 centímetros.

El terreno de cimentación, es la parte de la corteza terrestre en que se apoya la estructura de la obra vial y que es afectada por ésta, siendo su función la de soportar la obra vial, encontrándose dos tipos de terrenos que son los suelos y las rocas; dentro de las rocas por lo general no se presentan problemas, pero es necesario conocer su inalterabilidad ante agentes atmosféricos, su permeabilidad y su trabajabilidad, y los suelos, presentan mayores problemas principalmente en las deformaciones del mismo.

En algunos lugares, es posible encontrar los suelos no adecuados para un fin determinado, por lo que se verá uno en la necesidad de seguir alguno de los siguientes criterios :

a).- Aceptar el material tal y como está, y efectuar el diseño de acuerdo con las restricciones impuestas por la calidad del material.

b).- Remover y desechar el suelo del lugar y sustituirlo por un suelo de características adecuadas.

c).- Alterar o cambiar las propiedades del material existente, de tal manera que se obtenga un material que reúna en mejor forma los requisitos impuestos o cuando menos, que la calidad obtenida sea la adecuada.

Dentro de los suelos se pueden presentar problemas importantes, por lo que interesa conocer :

- *.- La resistencia al intemperismo.
- *.- La estabilidad volumétrica y química.
- *.- La resistencia al esfuerzo cortante.
- *.- La permeabilidad y resistencia a la erosión.

Existen varias formas de lograr el mejoramiento de un suelo, entre éstas tenemos tres métodos que son :

1).- MECANICOS - La forma de mejorar el suelo es por medio de compactación.

2).- FISICOS - La cual se logra por medio de confinamiento, consolidación, vibración y mezclas de suelo.

3).- QUIMICOS - Esta se logra por medio de estabilizaciones y

tratamientos que pueden ser con cemento portland, asfalto, cal, etc.

Dentro de los suelos, los suelos friccionantes (gravas, arenas y limos no plásticos), constituyen por lo general un excelente terreno de cimentación con capacidad de carga suficiente para soportar los esfuerzos que le transmiten la estructura del camino sin tener problemas de asentamientos.

Los limos plásticos y las arcillas de baja compresibilidad (suelos CL, ML y OL) no presentan problemas a la estructura del camino, pues los pequeños asentamientos que pudiera sufrir por efecto de los esfuerzos producidos por las cargas, son absorbidos por la propia flexibilidad de la estructura del camino, teniendo por lo general la suficiente resistencia para soportar los terraplenes y demas capas que se le construyan.

Los limos plásticos y arcillas de alta compresibilidad (suelos CL, MH y OH) presentan problemas de baja resistencia y alta compresibilidad (a menos que su contenido de humedad sea bajo y constante del orden de su limite plástico), lo que produce asentamientos diferenciales en los terraplenes, ocasionando problemas como los siguientes :

- *.- Pérdida del bombeo.
- *.- Asentamientos diferenciales en el sentido longitudinal del camino.
- *.- Disminución de la altura del terraplén.
- *.- Agrietamientos en la corona del terraplén.

- 4.- Pérdidas en la transición entre los terraplenes de acceso y las estructuras del camino.

Los principales métodos que han seguido para tratar de moderar los efectos de los asentamientos de una carretera que se desplanta sobre un terreno de cimentación constituido por suelos altamente compresibles, son los siguientes :

- 1).- Usar materiales ligeros de bajo peso volumétrico.
- 2).- Sobreelevar la rasante.
- 3).- El recargue previo del terreno de cimentación.
- 4).- Remoción del material compresible.

Los suelos pantanosos o terrenos de cimentación con presencia de agua, presentan serios problemas para la construcción de carreteras debido a que ésta cambia completamente sus características y su funcionamiento.

Los principales procedimientos que se han seguido para evitar efectos destructivos en la estructura de la carretera y los asentamientos en el terreno de cimentación formado por suelos pantanosos, son los siguientes :

- 4.- Si el espesor del terreno pantanoso no es muy grande (de 2 a 3 m), lo más recomendable es la remoción del material pantanoso y sustituirlo por otro de mejores características constructivas, esta operación que dependerá que se tenga bancos de materiales adecuados y con volúmenes suficientes, sin acarrees demasiados largos que

encarezcan la construcción de la carretera.

- *.- Formación de terraplenes con materiales de bajo peso volumétrico, siempre y cuando, la capacidad de carga del terreno pantanoso lo permita procurando que no se tenga terraplenes de espesores muy grandes, lo que dependerá de los niveles de proyecto del camino y del espesor de la capa por remover.
- *.- Tendido de una capa de tela sintética sobre el terreno pantanoso y sobre esta construir el terraplén; el objeto de la tela, es permitir una distribución adecuada y uniforme de los esfuerzos que transmite la estructura al suelo de cimentación.
- *.- Tratar de modificar las condiciones hidráulicas del lugar, construyendo subdrenes laterales, para abatir el nivel freático y buscar el asentamiento del terreno natural.
- *.- Hacer un estudio comparativo de costo, beneficio entre la conveniencia de establecer cualquier procedimiento para disminuir el efecto del suelo pantanoso sobre la carretera o definitivamente cambiar el trazo de la misma, buscando un terreno de cimentación de mejores características constructivas aún cuando se alargue la distancia de recorrido de la carretera.

Otro de los elementos que causan mayores problemas es el agua, la cual puede penetrar al pavimento de diversas formas.

Esta penetración del agua en las terracerías y el pavimento actúa sobre éstos de la siguiente manera :

- 1).- EROSION.
- 2).- TUBIFICACION.
- 3).- VARIACIONES VOLUMETRICAS.
 - a).- Expansión
 - b).- Contracción
- 4).- FUERZAS DE FILTRACIÓN
- 5).- REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE.
- 6).- DISOLUCIÓN.
- 7).- ACUAPLANEO Y DERRAPAMIENTO.
- 8).- ESFUERZOS ADICIONALES SOBRE ESTRUCTURAS.

En función del problema tan serio que presenta el agua, es necesario tener un control de éstas, las cuales se pueden lograr de la manera siguiente :

- *.- Mantener el pavimento sobre el nivel del terreno natural.
- *.- Drenaje superficial adecuado.
- *.- Subdrenaje y sistema de intercepción del agua.
- *.- Mantener el nivel de aguas freáticas bajo.
- *.- Sellar superficies.

e.- Capas drenantes.

El drenaje superficial se puede solucionar de acuerdo a los siguientes métodos :

a).- Corte

- 1).- Cunetas
- 2).- Contracunetas

b).- Terraplenes

- 1).- Alcantarillas
- 2).- Lavaderos
- 3).- Bordillos

c).- Areas de estacionamiento y calles

- 1).- Drenes
- 2).- Atargeas y coladeras pluviales.

El cuerpo de terraplén, su finalidad es de dar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas, sobre todo lo relativo a pendiente longitudinal, la de resistir las cargas de tránsito transferidas por las capas superiores, y distribuir los esfuerzos a través de su espesor para transmitirlos en forma adecuada al terreno de cimentación, de acuerdo a su resistencia.

La capa de transición o subyacente, es la capa de

materiales seleccionados que se construye sobre el cuerpo del terraplén y que está limitada en su parte superior por la capa subrasante. Esta capa se construye únicamente cuando el terreno de cimentación es malo, se tiene duda de la calidad de los materiales, y se pueden producir deformaciones en la estructura del camino; siempre y cuando se trate de un camino tipo A, los requisitos que debe cumplir son :

- a).- Evitar los cambios bruscos de módulos de elasticidad de la subrasante a las terracerías.
- b).- Ser de mejor calidad que la capa de terracerías o cuerpo de terraplén.
- c).- Compactarse como mínimo al 95 % de su peso volumétrico seco máximo con la humedad óptima.

La capa subrasante es la capa que delimita a las terracerías con el pavimento, debido a lo cual es la capa de mejor calidad de todas de las que componen las terracerías del camino, por que sus funciones son :

- 1).- Resistir los esfuerzos producidos por las cargas de los vehículos que le son transmitidos por el pavimento.
- 2).- Transmitir los esfuerzos anteriores al resto de las terracerías, distribuidos de tal manera que puedan ser resistidos por los materiales que conforman el terraplén.

14
FALLA DE ORIGEN

- 3).- Evitar la contaminación de la parte inferior del pavimento con los materiales que forman el cuerpo de terraplén.
- 4).- Evitar la incrustación del pavimento en el cuerpo del terraplén, en el caso de que éste formado por fragmentos de roca.
- 5).- Evitar las imperfecciones de la cama de los cortes en roca, que se reflejan en la superficie de rodamiento.
- 6).- Disminuir el costo de las capas del pavimento, cuando se tienen terracerías de baja calidad.
- 7).- Uniformizar los espesores requeridos de pavimento al compensar la variación de resistencia en las terracerías.

Categoría	Material	* VRS %	Kg/ cm ²
Muy buena	GW, OP, OM, OC, SW, SP, SM, SC	10	5.54
Buena	ML, CL, OL	6 A 10	3.25 A 5.54
Mala	MH, CH, OH	3 A 6	2.17 A 3.25

* VRS .- Valor relativo de soporte.

CATEGORIA DE LA SUBRASANTE

I.2 PAVIMENTOS.

Se define como pavimento, al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten adecuadamente distribuidas a las capas inferiores.

El pavimento se encuentra constituido por tres capas que son: La subbase, Base y Carpeta.

a).- LA SUB-BASE. Es la capa de material seleccionado que se coloca encima de la subrasante. Tiene por objeto:

- 1).- Servir de capa de drenaje del pavimento.
- 2).- Controlar, o eliminar en lo posible, los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad, perjudiciales que pudiera tener el material del terreno de fundación o de cimentación.
- 3).- Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas, o de otras fuentes, protegiendo así el pavimento contra los expansionamientos del suelo ocasionados por el agua.

El material de la base, su límite líquido debe ser inferior a 30 % y su índice plástico no mayor de 6. El VRS no debe bajar de 80%, como la función principal es de servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular, y la

cantidad de material fino (limo y arcilla) que pase el tamiz No. 200 (0.074 mm) no debe ser mayor del 8 % .

Esta capa tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehiculos y además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub-base, subra ante y a las terracerias.

Las sub-bases deben ser de materiales seleccionados comúnmente pueden ser granulares (gravas y arenas) o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante. El material que se emplee en la sub-base deberá llenar los siguientes requisitos :

- 1).- Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.
- 2).- No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.
- 3).- El porcentaje de desgaste, según el ensayo "Los Angeles" debe ser inferior a 50.
- 4).- La fracción del material que pase el tamiz No. 40 (0.420 mm) debe tener un limite liquido menor de 25 % y un indice de plasticidad inferior de 6.
- 5).- La fracción que pasa el tamiz No. 200 (0.074 mm) no debe exceder de 1/2, y en ningún caso de los 2/3 de la fracción que pase el tamiz No. 40 (0.420 mm).
- 6).- La graduación del material de la sub-base debe hallarse dentro de los limites indicados.
- 7).- El VRS debe ser superior a 80 % a 100 % .

Por lo general, para la capa de la sub-base se emplea piedra triturada, grava o mezclas estabilizadas de suelo cemento, suelo bituminoso, ect.

Cuando se empleen sub-bases de suelo cemento, el agua y el cemento portland deberán estar conformes con las especificaciones vigentes y el suelo que se utiliza deberá tener la siguiente graduación :

- *.-50 % o más debe pasar el tamiz No. 4 (4.76 mm).
- *.-15 - 100 % Debe pasar el tamiz No. 40 (0.420 mm).
- *.-Menos del 50 % debe pasar el tamiz No. 200 (0.074mm).
- *.-El límite líquido no debe ser mayor del 45% y el índice plástico no mayor que 18.
- *.-El porcentaje de cemento que se emplee en las mezclas suelo cemento varía generalmente entre 6 y 15 por volumen de mezcla compactada.

c).- CARPETA. Es la capa o conjunto de capas construidas con material pétreo y un producto asfáltico, comprendida entre la base y la superficie de rodamiento o de concreto hidráulico comprendida entre la subbase y la superficie de rodamiento.

Por su importancia la carpeta deberá seleccionarse cuidadosamente para determinar el tipo más económico dentro de las funciones a que esté sometido y destinado, tales como la circulación del tránsito y la densidad del mismo, proporcionándole seguridad, comodidad y economía.

Las condiciones que debe llenar una buena carpeta son :

- 1).- Ser dura y tenaz, capaz de proporcionar la resistencia adecuada para soportar el tránsito a que deberá estar sometida.

- 2).- Ha de ser impermeable, para evitar que el agua penetre y la destruya o que pierda su estabilidad.
- 3).- Tener un coeficiente de fricción adecuado para que el tránsito se pueda efectuar en las mejores condiciones de seguridad, ya sea en estado seco o mojado.

Los requisitos que debe satisfacer una buena carpeta son :

- 1).- ESTABILIDAD - Que es la resistencia de la carpeta a las deformaciones provocadas por las cargas de tránsito, buscando una adecuada fricción interna y una buena cohesión entre sus partículas.
- 2).- DURABILIDAD - Es la resistencia de la carpeta al deterioro tanto de las acciones del intemperismo como del tránsito, utilizando para ésto agregados pétreos duros impermeables de baja absorción, resistentes a la abrasión y al intemperismo, y con una granulometría adecuada para obtener la máxima compacidad.
- 3).- FLEXIBILIDAD - Es la propiedad para resistir sin agrietarse las deformaciones normales de la base, debiéndose éstas fundamentalmente a la calidad y espesor de la carpeta.
- 4).- TEXTURA - La superficie deberá ser uniforme y ligeramente áspera para aumentar los puntos de contacto con las llantas para dar seguridad al conductor y evitar el patinaje.

PARAMETROS DE PROYECTO.

Para la determinación de la sección estructural es necesario estudiar diversos factores que influyen en su funcionamiento como son :

a).- CARGAS - las cuales están constituidas de la siguiente manera :

- *.- Magnitud de las cargas.
- *.- Configuración de las llantas.
- *.- Número de ejes.
- *.- Presión de inflado y contacto.
- *.- Número de repetición de cargas, cambios anuales y estacionales.
- *.- Tasa de crecimiento.
- *.- Distribución de tránsito en la sección transversal.
- *.- Vida de proyecto del pavimento antes de que requiera una reconstrucción.
- *.- Criterio de falla.
- *.- Tipo de impacto.

b).- Ambientales - Entre los principales pueden señalarse los siguientes :

- *.- Temperatura
- *.- Régimen de precipitación media anual.
- *.- Nivel freático.
- *.- Geología y topografía.
- *.- Drenaje superficial y subdrenaje.

c). - De construcción - De las que se tienen las siguientes :

- *.- Control de calidad.
- *.- Disponibilidad de equipo y personal.
- *.- Nivel tecnológico.
- *.- Recursos industriales.

d). - De proyecto estructural - En este grupo se pueden mencionar los siguientes :

- *.- Características de las capas que constituyen el pavimento.
- *.- Espesores.
- *.- Resistencias.
- *.- Deformabilidad.
- *.- Disponibilidad de materiales y costo.
- *.- Respuesta bajo condiciones regionales.
- *.- Estabilización de suelos.

*.- De mantenimiento - Pueden señalarse los siguientes :

- *.- Tipo de conservación requerida.
- *.- Frecuencia.

f). - De operación - Tenemos los siguientes aspectos.

- *.- Seguridad y servicialidad.
- *.- Durabilidad.
- *.- depende de la interacción entre características estructurales, sollicitaciones de tránsito, clima, ambientales y tipo de conservación.

g).- Restrictivos - Entre los que encontramos :

- *.- Disponibilidad de fondos.
- *.- Costos de construcción, conservación y operación.
- *.- Confiabilidad, seguridad, calidad de operación.
- *.- Impacto ambiental.

PAVIMENTO RIGIDO.

El pavimento rígido es una estructura de concreto simple, reforzado o presforzado, que puede apoyarse en la subbase o directamente sobre las terracerías cuando el tipo de suelo sea de características idóneas para su colocación.

Las juntas son esenciales en los pavimentos de concreto hidráulico a fin de reducir los esfuerzos de tensión, compresión y flexión en las losas.

Se tienen los siguientes tipos de juntas: de expansión, de contracción, de alabeo o articulación, de construcción transversal, juntas longitudinales y dispositivos de transmisión de cargas.

Los aspectos que intervienen en el diseño de pavimentos rígidos son :

- 1.- Calidad del concreto - Selección de materiales y su proporcionamiento, para obtener resistencia y durabilidad

sean las adecuadas según el tipo de proyecto.

- 2).- Diseño de subrasante - Técnicas de preparación y construcción que aseguren un apoyo uniforme y permanente para las losas.
- 3).- Diseño de espesores - Se requiere que los esfuerzos flexionantes producidos por el tránsito, no superen el límite de seguridad.
- 4).- Diseño de juntas - Definición de los espaciamientos entre juntas, para reducir la formación de grietas por temperatura y contracción.

Tipos de pavimentos rígidos

A).- Pavimento de concreto con juntas, se utiliza en caminos, avenidas, estacionamientos, puentes, su espaciamiento de juntas igual de 4.5 a 7.5 metros, no utiliza refuerzo. Con espesores usuales de 20 a 30 centímetros y el colado siempre por losa.

B).- Pavimento de concreto reforzado con juntas para caminos y avenidas, con un espaciamiento de juntas de 9 a 36 metros con un porcentaje de refuerzo de 0.05 a 0.2 por ciento con espesores de 20 a 30 centímetros.

C).- Pavimento de concreto reforzado en forma continua sin juntas, para caminos y aeropuertos, no existen juntas transversales, excepto construcción longitudinal, con un refuerzo

de 0.5 al 0.7 por ciento con espesores de 15 a 23 centímetros.

d).- Pavimento de concreto preesforzado, sólo en aeropuertos, sólo se utiliza juntas de expansión con refuerzo de 0.5 al 1.0 por ciento con espesores de 12 a 23 centímetros.

Los esfuerzos en los pavimentos rígidos pueden ser ocasionados por seis causas principales que son :

- 1).- Por la aplicación externa de las cargas.
- 2).- Por cambios de la temperatura ambiental que originan un gradiente de temperatura entre las superficies superior e inferior de la losa, y que ocasiona alabeo.
- 3).- Por diferencias en contenido de humedad entre las superficie superior e inferior de la losa y que ocasionan alabeo.
- 4).- Por la fricción que se desarrolla entre la losa y la capa de cimentación, cuando la primera cambia su volumen.
- 5).- Por los cambios volumétricos de la subrasante debido a la humedad.
- 6).- Por falta de continuidad del material de la capa de cimentación debido a deformaciones permanentes de la subrasante o al fenómeno de bombeo.

1.3.- FIBRAS DE POLIPROPILENO.

Cada año se gastan millones de pesos en conservación y rehabilitación de estructuras importantes, como son los edificios, puentes, tanques de almacenamiento, entre otras estructuras.

El deterioro se presenta principalmente por la corrosión del acero de refuerzo, debido a la humedad que entra a través de los poros o grietas que se forman en el concreto.

Debido a esto, se hizo necesario crear nuevas investigaciones en el concreto para reducir su porosidad y agrietamiento, llegando estas investigaciones a diferentes tipos de fibras que reducen el agrietamiento al concreto. Una de estas fibras son las de polipropileno, siendo éstas discontinuas, fuertes a las contracciones del concreto, y se sitúan aleatoriamente en toda la masa de concreto mejorando sus propiedades como la de reducir su permeabilidad, ductibilidad, fragilidad e incrementa su durabilidad.

La inclusión de fibras al concreto o materiales de construcción se tienen desde varias décadas anteriores como fue la paja al adobe, el pelo de caballo y el sisal en muros de barro y panales entre otros usos.

Las fibras de polipropileno son químicamente inertes, no sufren el problema de corrosión, tienen una gran resistencia a los ácidos minerales básicos y sales inorgánicas, siendo de color claro, estables y el de no absorber agua, teniendo una gran resistencia a la tensión.

El valor de estas fibras se venía dando en los firmes de concreto, pero al encontrarse que disminuye el agrietamiento por asentamiento plástico en el concreto se economiza grandemente en

los pavimentos rígidos, ya que sustituyen a la malla electrosoldada como refuerzo secundario, también sustituye a las fibras de acero y las fibras de vidrio.

Los propósitos de adicionar fibras al concreto son:

- 1.- Controlar el agrietamiento por contracción plástica.
- 2.- Incrementar la resistencia al impacto.
- 3.- Incrementar la tenacidad y ductibilidad del concreto.
- 4.- Reducir la permeabilidad en el concreto.
- 5.- Incrementar la resistencia al despedazamiento y abrasión.
- 6.- Prevenir la corrosión del acero de refuerzo.

Inicialmente las fibras de polipropileno controlaban el agrietamiento por contracciones, en el estado plástico del concreto, siendo utilizado en cualquier losa de piso, banqueta o cualquier área común visible.

El efecto en la ausencia de estas grietas es de gran importancia, desde el punto de vista de integridad, resistencia y duración de una estructura dada por sus trabajos de conservación y reparación que se puedan realizar en ésta.

Las fibras de polipropileno pueden absorber mayores cantidades de energía y continúan soportando la carga después de que ocurra un agrietamiento, siendo esta tenacidad como la absorción de energía anterior a la separación completa del concreto, ya que el concreto reforzado con fibras contiene suficientes filamentos para tomar los esfuerzos de tensión donde

quiera que la matriz se agriete y además las fibras están tan bien ancladas por toda la matriz del concreto, que acepta deformaciones más grandes antes de su ruptura final, que un concreto normal; pero este incremento no se debe considerar para un diseño de la estructura, ya que las fibras no son un refuerzo estructural.

Las fibras de polipropileno pueden ser agregadas en la planta dosificadora o en el lugar de trabajo, mezclándose lentamente a la velocidad normal de trabajo, se toma aproximadamente un minuto en agregar cinco bolsas de 900 gramos de fibras de polipropileno a la mezcla. Las fibras se deben de agregar después de haber mezclado los componentes del concreto como son la grava, arena, agua y cemento, o en un saco de cemento 150 gramos de fibras de polipropileno a la mezcla. Existen en nuestro país varias empresas dedicadas a comercializar estos productos, por lo que, la manera de mezclado, tamaño de la fibra, usos y recomendaciones, están sujetas a las normas y experiencias de los fabricantes, por lo cual, se deben seguir las recomendaciones del técnico de dicha empresa.

El terminado en el concreto, en que se utilizaron fibras de polipropileno es el mismo para un concreto normal, no requiriéndose el empleo de ninguna herramienta en especial, no aparecerán fibras en muros y trabes, solamente aparecerán en la terminación de pisos que solamente serán visibles a muy cortas distancias, pero se eliminarán fácilmente con un mechero de gas, nunca con diesel o petróleo ya que éstos mancharán al concreto.

Existen varias empresas que se dedican a la fabricación de fibras de polipropileno teniendo características muy similares entre unas y otras.

Algunas de estas empresas son FIBEROL (Fibermash y Harbourita), DISYDES (Fibercreto), entre otras. Este tipo de fibras se están utilizando cada día más en los distintos tipos de construcción que se realizan a nivel mundial; en nuestro país se están empleando estas fibras en la construcción de casas de interés social, puentes, centros comerciales, postes de alumbrado, auditorios, tubos de concreto simples y reforzados, lagos artificiales, pavimentos rígidos, entre otros muchos usos que tiene el concreto.

La existencia de varias empresas en el amplio mercado ha creado una nueva imagen en la utilización de fibras, y a la vez una desconfianza a los constructores que siguen en los métodos y materiales por tradición, por lo cual, las mismas empresas tienen que convencer a las distintas personas a utilizar sus productos, por lo que realizan pruebas en sus instalaciones bajo normas establecidas, o se crean nuevas normas, siendo éstas reconocidas a nivel nacional e internacional. También estas pruebas las realizan órganos gubernamentales o empresas de reconocido renombre, como el Instituto Mexicano del cemento y del concreto, que realizó algunas pruebas con concretos testigos tanto simples como mezclados con fibras, obteniendo resultados satisfactorios en los que se les adicionó fibras, encontrándose menor permeabilidad y resistencia a la tensión entre otros.

1.4 DISEÑO.

Muchas y muy variadas soluciones se han generado en los últimos años en relación al diseño de pavimentos rígidos, así como las técnicas de rehabilitación, las distintas teorías que consideran los esfuerzos y deformaciones producidas en las losas de concreto coladas sobre una subrasante o sub-base, tienen en común con la teoría de la elástica desarrollada originalmente por H. M. WESTERGAARD en 1927, teniendo unas variaciones o modificaciones, pero sigue siendo aceptada hasta nuestros días.

Más tarde se desarrolló la teoría de diseño por fatiga, apoyada principalmente en la construcción de tramos experimentales, en los cuales se investigó conjuntamente un gran número de parámetros relativos a los diferentes tipos de materiales, tipos de cargas vehiculares, aspectos climáticos, entre otros.

Los factores de dimensionamiento que se toman en cuenta para un pavimento rígido son muchos, en los que tenemos :

- *.- El factor de tráfico pesado, período de servicio, siendo este el período durante el cual se espera que las fallas producidas por el tráfico en el firme que se proyecta, no alcancen un grado incompatible con la comodidad del usuario.
- *.- Carril de proyecto que sea de espesor uniforme.
- *.- Vehículos pesados, que se toma la intensidad media diaria de éstos (IMDp).
- *.- Categorías de tráfico

Los drenajes, el criterio que sea seguido es categórico, ya que se exige que se aloje por lo menos a 60 centímetros por encima del máximo nivel freático donde el suelo sea seleccionado, a 80 centímetros, donde sea adecuado y a 100 centímetros donde sea tolerable, cuando ello no suceda se adoptarán las medidas adecuadas de elevación de rasante, profundización de cunetas, colocación de drenes subterráneos, interposición de geotextiles o de una capa drenante, entre otros.

En México existe muy poca experiencia propia en el diseño y construcción de pavimentos de concreto, ya sea por la nula investigación teórico - práctica que se realiza acerca de esto; y por no ser común la construcción de este tipo en el país. Esto último, es una lástima, porque el constructor mexicano es tan capaz como el mejor del mundo, habiendo una época en que se construyeron pavimentos de concreto por los años cincuenta, algunos de estos pavimentos aún siguen funcionando, a pesar que muchos de ellos están fallados; resulta más cómodo pasar sobre ellos que encontrarse con un pequeño bache en un pavimento asfáltico. Evidentemente esta época de avance en la pavimentación con todo y sus posibles defectos se detuvo, y en muchos lugares estos viejos pavimentos fueron cubiertos con esa cosa negra (asfalto), en ocasiones innecesariamente, a veces por cubrir defectos de diseño y construcción, y otras por ignorancia acerca de los procedimientos de rehabilitación.

El concreto nos ofrece un sin número de ventajas y desventajas como son :

1. - Resistencia.
2. - Rigidez.
3. - Contracción.
4. - Estabilidad superficial.
5. - Color.

Existen excelentes libros que resumen los principios fundamentales para el diseño tanto de carreteras como de aeropuertos, pero los de carreteras más empleados son el de la AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO), y el de la PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA).

La novedad, por lo que respecta al diseño de pavimentos, es que ya se encuentran disponibles algunos programas ejecutables en computadoras personales, con lo que el trabajo se simplifica.

Los programas para el diseño de carreteras son el de la AASHTO, llamada DNPS86 y el de la PCA llamada PCAPAV, basados en sus respectivos diseños.

1.5 JUNTAS.

Se distinguen entre juntas longitudinales y juntas transversales.

Las juntas longitudinales se disponen normalmente entre carriles de circulación, pueden ser de alabeo o de concreto. Las juntas longitudinales de alabeo se dispondrán siempre que la anchura de la losa de concreto sea superior a 5 metros,

dividiendo al pavimento en franjas aproximadamente iguales, procurando que coincidan con las separaciones entre carriles de circulación y evitando que lo hagan con las rodadas, con una marca vial o con un pasador.

Suele hacerse por serrado, aunque también se acepta su ejecución en fresco; la ejecución por serrado ofrece todavía mayor garantía que la inserción de una tira de material de plástico en el concreto fresco, la omisión de esta tira o un defecto de colocación provocaría la formación de grietas longitudinales.

La conveniencia de sellar estas juntas serradas tiene por objeto, evitar que la mayor parte de las precipitaciones que caigan sobre un carril tengan como la junta desagüe, y las juntas en fresco no precisan sellado y recientemente en forma adecuada se fija a la pavimentadora.

El serrado suele hacerse en dos fases, en primer lugar se sierra una ranura con discos de espesor mínimo (aproximadamente 3 mm), con una profundidad válida también para juntas en fresco, no inferior al tercio del espesor de la losa, para asegurar que la sección suficientemente debilitada y que la junta se forma. Se pueden emplear dos procedimientos de sellado de juntas que son:

- 1.- Un producto de sellado en frío o en caliente sobre un cordón de polietileno reticulado.
- 2.- Un perfil de policloropleno, introducido a presión.

Las juntas longitudinales de concreto son las resultantes entre dos bandas contiguas; cuando se realiza por

bandas; pueden ser a tope, de ranura y lengüeta, recomendándose este último tipo en los pavimentos para las categorías de tráfico pesado, con un cajeado superior y un posterior sellado. Una última recomendación para todas las juntas longitudinales se refiere a la disposición de barras de unión transversales de acero corrugado de 12 mm de diámetro, o 80 m de longitud y de 1.0 metros de separación una con otra. Como su nombre lo indica, el objeto de estas barras es el de mantener unidos los carriles de circulación, evitando escalamiento a largo plazo; estas barras suelen introducirse por vibración en el concreto compactado.

Las juntas transversales se tratan de juntas de contracción, aunque pueden existir también algunas de dilatación.

Las transversales de contracción se pueden realizar en fresco salvo justificación en contrario, se realizarán por serrado del concreto endurecido especialmente para las categorías de tráfico pesado. La ejecución en fresco es aún más difícil y más comprometida que en el caso de las juntas longitudinales por alabeo, pues todos los vehículos han de cruzar por las juntas, siendo una técnica moderna la inserción de una tira de material plástico en la junta. La profundidad mínima de corte es de un 25 % del espesor de la losa, cuando el pavimento se encuentra en zona lluviosa (precipitación anual de 800 mm), se recomienda que las juntas serradas reciban un cajeado y el correspondiente sellado. En zona poco lluviosa, las ranuras podrán dejarse sin sellar, pero en este caso deberán de ser lo más delgadas posibles (anchura inicial no superior a 3.5 mm), se protegerán con un cordel o mecha durante la

construcción y se limpiarán a fondo antes de abrir la carretera al tráfico.

Los pasadores son barras de acero liso de 25 mm de diámetro y 0.5 m de longitud, que se colocan a medio espesor de la losa, transversales y simétricos respecto a la junta, siendo su separación variable entre 0.3 m bajo las rodadas del carril de proyecto y 0.6 m en otras zonas o en el carril interior en vías de más de un carril por sentido de circulación.

Las juntas transversales de contracción con pasadores son perpendiculares al eje de la calzada y están separadas entre sí cada 5 m. De esta forma se limitan las tensiones de origen termohidrométrico a unos valores soportables para el concreto. Para la categoría de tráfico pesado T2, las juntas transversales de contracción podrán llevar pasadores o no, en el primer caso bastará disponer una grava-cemento con contenido normal de cemento, en tanto que en el segundo se empleará una grava-cemento más resistente a la erosión. Las juntas transversales de contracción sin pasadores serán se gadas con una inclinación respecto al eje de calzada de 0:1 de forma que las ruedas de la izquierda de cada eje atraviesen las juntas antes que las ruedas de la derecha. Este detalle de técnica Californiana facilita la transmisión de las cargas en las juntas.

Las juntas transversales de dilatación, antes frecuentes, han caído en des uso por su mal comportamiento, sólo se disponen en los sitios en que son indispensables, tales como curvas de radio inferior a 200 metros, antes y después de obras de paso que no puedan soportar empujes apreciables, en algunas

intersecciones, etc. Se conciben con un material de relleno de 15-18mm de espesor, con una ranura superior sellada de 22 mm de anchura y al menos 30 mm de profundidad.

Los materiales para juntas son muy variados como pueden ser de madera blanda, cartón de fibra impregnado, de corcho, esponja de caucho y de productos bituminosos entre los que tenemos a :

- 1.- Láminas prefabricadas de compuestos con elevado punto de reblandecimiento.
- 2.- Láminas de producto bituminoso reforzadas por una o ambas caras con fieltros impregnados con betún.
- 3.- Fieltros reforzados por láminas metálicas.

En general, las mezclas bituminosas suelen ser poco compresibles, y de aquí que se hayan hecho intentos para comunicarles compresibilidad al betún mediante la incorporación de gránulos de corcho, pero aún no se han obtenido resultados satisfactorios, ya que por acción de las tensiones continuadas que se crean en la junta, el betún fluye sistemáticamente.

Una vez conseguida la adherencia al concreto que se puede mejorar mediante el uso de imprimadores; los materiales de sellado deben resistir pequeñas tensiones sin mostrar excesivo flujo y poder seguir, sin pérdida de cohesión y adherencia; causadas por las deformaciones de las losas.

I.6 .- EVALUACION Y CONSERVACION DEL PAVIMENTO

Como se dijo anteriormente, el pavimento es el conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten adecuadamente distribuidas a las capas inferiores, proporcionando la superficie de rodamiento para tener una operación rápida y cómoda.

Las vías terrestres se planean y construyen para que estén en servicio un determinado número de años (como mínimo), que se llama vida útil de la obra, al cabo del cual se abandonan pudiendo tener algún valor de rescate, o se reconstruyen con el fin de aumentar su servicio por mas tiempo, que es lo que en forma general sucede.

Al estar en operación una obra se va deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los diferentes deterioros que se van teniendo, al principio pueden ser pequeños, pero pueden ser la causa de problemas serios en la obra, que aceleren su falla; por lo que, para que una obra proporcione un servicio adecuado requiere de mantenimiento o conservación, que cuando menos asegure su vida de proyecto.

*.- FALLA.

La descripción y discusión de las fallas de los pavimentos no es una tarea sencilla, debido a su variedad y diferencia de matices, así como a la falta de una nomenclatura de uso universal o por el hecho de que la descripción de una falla tiene mucho de personal y puede variar de un lugar a otro.

Falla es o son los daños que existen en un pavimento o una sección de pavimento y su descripción precisa, es uno de los factores que deben intervenir en la formulación de un

diagnóstico. Si bien es cierto que algunas características de las fallas existentes pueden establecerse por medio de ensayos y mediciones (deflexión, análisis de perfil longitudinal y transversal, mediciones de permeabilidad, ect), no deja de ser cierto también que la inspección visual efectuada por un observador experimentado, sigue siendo indispensable.

*.- CLASIFICACION DE LAS FALLAS.

Las fallas pueden clasificarse en cuatro grandes grupos que son : Deformaciones, Agrietamientos, Desprendimientos y afloraciones o movimientos del material.

Las deformaciones y las fisuras (agrietamientos), afectan por lo general las capas inferiores para luego alcanzar la capa superficial, mientras que los desprendimientos y afloraciones se originan y se desarrollan en la capa superficial. Dentro de cada grupo existen subgrupos como por ejemplo :

1).- DEFORMACIONES - en las que tenemos los asentamientos, que es la variación del nivel de la sección, éstos pueden ser longitudinales por el eje o por la orilla. Pueden aparecer corrugación, como las pronunciadas que aparecen en la superficie del pavimento; también hay levantamiento de losas con un desnivel transversal.

2).- AGRIETAMIENTO - los cuales son fracturas, fisuras o grietas, éstos pueden ser longitudinales por el eje, por la orilla, transversales.

3).- DESPRENDIMIENTOS - Entre los que tenemos un pavimento liso, bache, desgranamiento, rugosidades, escarapelado del concreto o escamado, eyección y desprendimiento de la junta.

4).- AFLORACIONES - entre los que podemos mencionar el efecto de bombeo, afloración de mortero y agua, de residuos verdosos, etc.

*.- Algunas definiciones de fallas son principalmente :

&.- Fractura- es el agrietamiento completo de la losa de concreto que la separa en dos.

&.- Escarapelado - Desintegración superficial del concreto.

&.- Eyección de la junta - Material que sale por la junta de dilatación.

&.- Efecto de bombeo - Es la cavidad que se forma bajo las losas, que se llena de agua y lodo, y que sale proyectado por el paso de vehículos pesados.

&.- Levantamiento de la losa - Desnivel transversal en la junta.

&.- Afloración de mortero - Separación del mortero y de los agregados que descienden hacia la parte baja de la capa.

&.- Superficie rugosa - Piedras duras que aparecen en el relieve.

CAPITULO II.- ALGUNOS ASPECTOS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

GENERALIDADES :

En el presente escrito, se tratan algunos aspectos a considerar en la etapa de diseño y construcción de pavimentos rígidos. Es frecuente que el proyectista o el participante de la ejecución de pavimentos rígidos, se pregunta si un proyecto vial dado, atendiendo a las características de tránsito vehicular, su distribución, materiales disponibles, suelos de apoyo existentes, etc; requerirá como por ejemplo: juntas, tipo de éstas, refuerzo tanto en las losas como en los cortes para formar juntas, si se requieren sistemas de drenaje especiales para desalojar el agua de escurrimiento o interior en el cuerpo del pavimento, o medidas similares, también se tendrá que considerar el espaciamiento de las juntas, entre otros aspectos.

Otro aspecto que frecuentemente preocupa, es la necesidad de seleccionar los materiales que constituyen las Sub-bases y acotamientos, por lo cual, se debe tomar en consideración tanto su importancia como la influencia que representa como son:

- 1.- El empleo de pasajuntas dovelas.
- 2.- Decisión del empleo de sistemas de drenaje.
- 3.- Características del material de sub-base y acotamientos.
- 4.- Detalles constructivos relacionados con lo anterior.

Por consiguiente, no se pretende tocar a fondo cada uno de los aspectos mencionados, ya que mucho se pudiese escribir sobre cada uno de ellos; se aspira sólo a resaltar los criterios más importantes para llegar a soluciones más racionales y económicas de estructuras de pavimentos.

II.1 TRANSFERENCIA DE CARGA

Se refiere al mecanismo que se genera en las juntas, fabricadas en las superficies de rodamiento o losas, como es bien sabido, las juntas se fabrican en los pavimentos de concreto, a fin de controlar los agrietamientos transversales y longitudinales por efecto de variaciones de temperatura y humedad en las losas.

Las juntas transversales o de control, evitan que los patrones de agrietamiento se generen de manera anárquica; dado que la junta representa un plano de discontinuidad, ello se refleja en posibles reducciones de la capacidad estructural de la losa; la zona de juntas, por otro lado, es más susceptible a sufrir deterioros, dada las concentraciones de esfuerzo que ahí se presentan, luego, en estas zonas se debe poner especial atención en cuanto a su diseño y ejecución, a fin de garantizar la durabilidad de las juntas en toda la vida útil de los pavimentos.

De manera breve, las secciones de losa experimentan contracciones y expansiones por cambio en los gradientes térmicos que se generan a lo largo de su sección en los periodos diurnos y nocturnos. Aún desde la etapa inicial una vez colado el concreto, y tomando en cuenta que su temperatura bajará a partir

de las iniciales, producto del calor de hidratación el concreto tenderá a reducir su volumen, siendo estos movimientos diferenciales restringidos por la fricción que se genera en el contacto con la superficie de apoyo, otro tanto se puede decir una vez que se abre la obra vial al tráfico. En este caso, también a cambios alternados de la humedad en la parte superior y lecho inferior de las losas durante el día y la noche, ello, en combinación que presenta la losa al ser flexionada, genera restricciones de movimiento que pueden generar en agrietamientos una vez que los esfuerzos de tensión inducidos son mayores a los resistidos por la losa de concreto hidráulico. Esto se ve acentuado por la fricción en la interfase losa-superficie de apoyo.

El requerimiento básico para juntas transversales son las siguientes:

- a.- Mecanismo de transferencia de carga (MTC), adecuado entre secciones de losa.
- b.- Permitir movimientos de losa en zona de estudios.
- c.- Material de sello convenientemente seleccionado.

El mecanismo de transferencia de carga (MTC) reduce los desplazamientos verticales y esfuerzos en las losas ya cargadas, reduce también los desplazamientos relativos entre losas contiguas; debido a problemas de pandeo por cambios térmicos alternados durante la noche y día, en especial los levantamientos en las esquinas por las noches, se manifiestan concentraciones de esfuerzos en tales zonas que, junto con presencia de agua pueden deteriorar la superficie de apoyo de las

losas en las juntas, si no se toman las medidas correctivas, se presentarán desplazamientos excesivos que eventualmente pueden generar problemas de "bombeo" (caso de superficies de apoyo con muchos finos, tránsito pesado y presencia de agua), resquebrajamiento en esquinas, o fracturamientos.

La restricción al movimiento de las losa se debe a :
Fricción en la interfase losa - superficie de apoyo, pasajuntas mal alineadas, sin suficiente antiadherente entre éstas con el concreto.

Los desplazamientos se verán restringidos por pasajuntas corroidas, también fragmentos sólidos, tales como residuos de fracturamiento en la junta que no facilitan el movimiento de las losas. Para losas cortas el problema de restricción de movimiento por cambios en la humedad y térmicos se ven reducidos de manera sustancial; de hecho ésto se visualiza de manera conceptual, si consideramos que el movimiento de las losas en la dirección horizontal (por gradientes térmicos) puede valuarde de la siguiente manera :

$$\Delta L = CL (\alpha \Delta T + e)$$

ΔL .- Cambio en la longitud de la losa en milímetros.

α .- Valor del coeficiente de expansión térmica.

ΔT .- El rango en cambios de temperatura esperado en el concreto.

e .- Coeficiente de contracción del concreto.

L .- Longitud de la sección de losa, en milímetros.

En la etapa final de la ejecución de las juntas se deben adoptar medidas para prevenir las infiltraciones de agua y, como se refirió anteriormente de los materiales incompresibles.

Ello se logra mediante la colocación de sellantes en cajas receptoras reformadas en las juntas satisfactoriamente realizadas.

Por consecuencia debido a cambios volumétricos por secado, existe la tendencia a utilizar agregado grueso y de granulometría media, con bajo coeficiente de expansión por calor.

Algunas consideraciones adicionales sobre transferencia de carga entre secciones de losa contigua se enumeran a continuación.

PAVIMENTOS SIN PASAJUNTAS.

Geometría de losa.

a.- ESPESOR .- Muestran que deformaciones de tipo asimétrico en los extremos de una sección de losa no se ve sustancialmente variada con los espesores. En todo caso, lo que estos últimos cambian, son sólo la velocidad de generación de fracturamiento o fallas.

b.- LONGITUD DE LOSA DE PAVIMENTO .- Secciones de losa más cortas facilitan la transferencia de carga.

También, mientras más cortas las losas, menor será el riesgo de erosionabilidad en la zona de juntas por agua y tráfico pesado combinados en apoyos con fijos (Bombeo o " Pumping "). Así para un gradiente térmico negativo, con forme la losa que sea más corta, menor será la distancia entre el lecho flexionado con la superficie de apoyo de la losa, es decir, habrá un mejor contacto.

Por otro lado, la velocidad de expulsión de agua de una losa de salida hacia una losa de entrada por la acción de cargas pesadas sobre las losas ya flechadas, será proporcional al cuadrado de la altura de la oquedad entre losa - superficie de apoyo. De ahí la importancia de reducir longitudes de secciones, ya que por ejemplo, si se reduce a la mitad la longitud, la reducción en la expulsión de agua de una losa a otra adyacente será con un factor del orden de cuatro.

La tendencia deberá ser, en el caso de pavimentos sin pasajuntas, la de espaciar menos las juntas transversales o de control. Con ello se mejorará la transferencia de carga, se reducen esfuerzos dentro de la losa, y decrece el riesgo de erosión por bombeo o " PUMPING " y fisuramiento. El costo estimado en aumentar el número de juntas transversales es del orden del tres por ciento, pero en algunos casos es justificable.

PAVIMENTOS CON PASAJUNTAS.

Los dispositivos de transferencia de carga entre losas, pasajuntas, tienen la función de transmitir las cargas de una losa de pavimento a otra en donde todavía aún existan tales cargas. La efectividad de la junta con pasajuntas se mide en función de los desplazamientos verticales sufridos por el lado no cargado de la junta - es decir, de la losa de entrada a la contigua de salida, en la dirección del tráfico - . Con forme más cercanos estén los desplazamientos sufridos a ambos lados de la junta, más efectiva será la transferencia de carga.

Una junta perfecta sería aquella que en ambos lados se desplacen igual.

El pasajunteado hace que el pavimento sea menos susceptible a las aperturas de juntas por efectos térmicos. Sin embargo es necesario contar con concretos de buena calidad, y un buen vibrado en la vecindad de las juntas; cuando la mezcla no es de buena calidad, con el tiempo la geometría originalmente circular de los barrenos que alojan el acero cambia a forma ovalada. Se han detectado deformaciones en promedio del orden de 0.3 a 0.4 milímetros y en algunos países se han encontrado ovalizaciones hasta de un centímetro, como por ejemplo, en Japón.

Los pasajuntas deberán cumplir con lo siguiente :

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

Diversos dispositivos se han propuestos para transmitir las cargas, pero los más comunes y aceptados como es sabido, son las barras lisas. Normalmente se ha adoptado el empleo de varillas con diámetro igual a $1/8$ del espesor de la losa, con espaciamiento medio de 30 centímetros.

.- PROBLEMAS ASOCIADOS.

1.- CORROSION.- Normalmente este fenómeno incrementa el volumen de las barras, afecta sobre todo, al libre movimiento de las losas, ya que los barrenos previamente holgados para alojar las pasajuntas se ven sujetos incluso a fisuramientos por la acción expansiva. La restricción al movimiento induce agrietamientos en las vecindades de las juntas.

Normalmente la naturaleza alcalina del concreto ($\text{PH} = 12.5$), hace que la acción química con el acero sea prácticamente nula, pues se forma una película protectora alrededor del acero. La corrosión se produce cuando la pasividad del acero se ve destruida, siendo ésta destrucción por la carbonatación del concreto, lo cual reduce la alcalinidad en este último, y permite además el ingreso de cloruros solubles en agua, para el cual el acero empieza a corroerse siendo del orden del 0.15 por ciento de la masa de concreto empleado en la mezcla, contando que las mezclas se hagan correctamente; este problema se presenta en áreas geográficas próximas a costas, o ambientes salinos en general. Para presentarse la corrosión, entonces, se requiere que la pasividad sea destruida, para que ello ocurra se necesita también la presencia de humedad y oxígeno excesivos. De lo anterior se desprende la importancia de mantener las juntas perfectamente selladas.

Para evitar este problema se emplean, aunque no comunmente, materiales anticorrosivos, como el acero inoxidable; pero como se menciona en párrafos anteriores; predomina el tema de plásticos y pinturas epoxicas a base de plomo y zinc, por ser

menos costosos. Las pasajuntas actualmente se protegen con pintura epóxica con películas del orden de 0.25 milímetros, y requieren ser impregnadas de grasa previo a su colocación. Es común también proteger las barras de acero mediante secciones tubulares de plástico como medio reductor de la adherencia entre acero y concreto.

Se tratará en lo posible, que la colocación de pasajuntas sea tal, que estas estén lo más paralelas posibles al eje del camino, así como al plano del lecho de las superficies que las recibe.

Los siguientes factores influyen en la posición final de las pasajuntas cuando se utilizan silletas (colocación manual).

- 1.- Extendido del concreto .- Grandes cantidades de mezcla en frente de la extendidora, hacen que conforme el equipo avanza, las pasajuntas, o incluso el conjunto que forman las silletas, sean desplazadas.
- 2.- La localización del corte o aserrado sobre la silleta.
- 3.- El cuidado en la fabricación, transporte y colocación de las silletas.
- 4.- La rigidez de las silletas y su Control de calidad .
- 5.- Empotramiento de las silletas sobre la superficie de apoyo o sub - base.

6. - Una inspección de campo durante la etapa constructiva.

Cuando se emplee equipo mecánico o inserción automática :

1. - El enrase posterior a la colocación.
2. - Vibrado después de la colocación de pasajuntas.
3. - Localización de los cortes sobre las pasajuntas insertadas.
4. - Inspección de campo.

La restricción de movimientos en extremos de losas, la magnitud de las restricciones en las partes terminales de las secciones de losa viene dictada por los alineamientos de las pasajuntas, así como el estado de estas últimas. La restricción o libre movimiento en los extremos de las secciones de losas, afecta al diseño y comportamiento de juntas en pavimentos de la siguiente manera :

a. - Los movimientos terminales o de extremo afectan principalmente a los pavimentos sin pasajuntas.

b. - Estos desplazamientos rigen en la selección del tipo y características del sellante, así como las geometrías requeridas para alojarlo.

c. - Este problema no es significativo en el caso de

pavimentos con pasajuntas, si estas son satisfactoriamente diseñadas y colocadas.

II.2 SELLADO DE JUNTAS.

El objetivo del sello, como se sabe, es evitar la infiltración del agua al cuerpo del pavimento; con las consecuencias y problemas que se generan en él, por la presencia de agua.

La otra función del sello, es evitar la intromisión de partículas sólidas dentro de la junta, sea desperdicio o residuos de desquebrajamiento en las orillas de los cortes. Una calificación gruesa de los diferentes materiales disponibles para este propósito se presenta a continuación en la tabla 1.

LAS PRUEBAS EN SELLANTES : Se busca que este material permanezca con sus propiedades elastoméricas durante el mayor tiempo posible ante diferentes condiciones ambientales. Es interesante señalar que la gran mayoría de las pruebas incluyen sólo movimientos en una sola dirección, la horizontal. Esto se relaciona más que nada, con las contracciones y expansiones sufridas en las juntas por movimientos en las losas. Comparación de las propiedades de tres tipos genéricos de sellantes sujetos a movimientos térmicos en juntas.

TIPO DE SELLANTE	CAPACIDAD DE MOVIMIENTO HORIZONTAL, EN %
POLIURETANO.	+ - 12 % a + - 30 % .
POLISULFURO.	+ - 12 % a + - 25 % .
SILICONES.	+ - 12 % a + 100 % .

TIPO DE MATERIAL	RANGO DEL INDICE DE EFECTIVIDAD.	CALIFICACION.	COMENTARIOS
CEMENTO ASFALTICO	POBRE A BUENO	3.15	NO PENETRA; LA JUNTA DEBE RESELLARSE CON FRECUENCIA.
EMULSIONES	MUY POBRE A POBRE	3.22	ESTACIONAL, DEBE DE SER RESELLADA MUY SEQUIDO.
ASFALTO AHULADO, APLICADO EN FRIO.	BUENO	4.00	SE REQUIERE MUCHA MANO DE OBRA.
ASFALTO AHULADO	BUENO A MUY BUENO	4.12	LARGA DURACION, RELATIVAMENTE.
EMULSION ASFALTICA AHULADA.	BUENA A MUY BUENA	4.50	DATOS LIMITADOS, SE HAN COMPORTADO MUY BIEN.
JUNTAS SILICON DOW 888.	REGULAR A BUENA BUENO A MUY BUENO	3.50 4.00	NO SE TIENEN DATOS. SE HAN COMPORTADO HASTA LA FECHA, Poca INFORMACION
TIRAS PRENOLDEADAS	POBRE A MUY BUENA	3.00	ES COSTOSA.
OTRAS (PVC, POLIURETANO, ETC.)	MUY POBRE A POBRE	3.25	NO SE TIENEN DATOS
ALQUITRAN	MUY POBRE	1.00	Poca VIDA UTIL, MUY RIGIDO.

TABLA 1. ** La escala de calificación es : 5.0 - muy buena - 4.0 - buena -, 3.0 - regular -; 2.0 - pobre -; 1.0 - muy pobre -.

Algunas pruebas útiles para la evaluación de estos materiales son las siguientes :

PRUEBA	PRUEBA ASTM	DESCRIPCION
-DUREZA	D 2240-81	MIDE LA DUREZA EN LAS SUPERFICIES DE HULES O GOMAS.
-RESISTENCIA A LA TENSION.	D 412-83	MIDE LA RESITENCIA AL ROMPIMIENTO DE UN MATERIAL ELASTICO. TALES COMO EL HULE. EN KG / CM^2
-ELONGACION	D 412-83	MIDE LA ELONGACION MAX.
MODULO	D 412-83	LA CANTIDAD DE ESFUERZO PARA PRODUCIR CIERTA DEFORMACION. SE APLICA ESFUERZO HASTA QUE LA MUESTRA SUFRE LA DEFORMACION PREESTABLECIDA. SE LEE ENTONCES EL ESFUERZO NECESARIO PARA LOGRARLO EN KG / CM^2
ADHERENCIA		SE REALIZA APLICANDO SELLANTE A DOS SUPERFICIES EN QUE SE REQUIERE CONOCER LA ADHERENCIA. SE LLENA CON EL SELLANTE UN HUECO DEFINIDO ENTRE LOS DOS BLOQUES; POSTERIOR A UN CURADO, SE APLICA ENTONCES UN MOVIMIENTO MINIMO, MAS UN FACTOR DE SEGURIDAD DE 1 A 2.

Sin embargo, se deberá tener presente que los sellantes no sólo se verán sujetos a acciones horizontales, sino también a esfuerzos cortantes en la dirección vertical; ello ocurre a cada paso de vehículos cuando existen cavidades bajo la losa en la zona de juntas, explica que, aunque ciertos sellantes pasen lo requerido en especificaciones en cuanto a elongaciones máximas, es decir, las elongaciones en laboratorio son adecuadas en campo, su comportamiento resulta no satisfactorio; en realidad el esfuerzo cortante contribuye a la falla del sello si originalmente este último no posee suficientes propiedades elastoméricas.

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

$$J_{jd} = (du / dl) \times 100 ; \%$$

$$J_{ES} = \sigma / \sigma_c$$

En donde :

J_{jd} .- Eficiencia de la junta, en términos de desplazamientos verticales.

du .- Desplazamiento vertical de la losa no cargada (salida).

dl .- Desplazamiento vertical en la losa con carga (de acceso).

J_{ES} .- Eficiencia ante esfuerzos en la junta.

σ_c .- Esfuerzo en la losa sin carga.

σ .- Esfuerzo en la losa cargada en la zona de junta.

Gran cantidad de programas de computadora han aparecido en el mercado para el cálculo de desplazamientos y esfuerzos en diferentes zonas de la losa, incluyendo juntas. En

particular, el análisis de transferencia de carga en las pasajuntas se llenen en programas, en su mayoría contemplan comportamientos lineales en el conjunto de capas que conforman el pavimento.

.- PROBLEMAS DE EROSIÓN ASOCIADOS CON JUNTAS.

Las consecuencias de un subdiseño mal cuidado en la construcción o mantenimiento de juntas se traducen, de manera resumida, en los siguientes problemas :

- 1.- Superficie de apoyo erosionable.
- 2.- Infiltración de partículas dentro de las juntas.
- 3.- Deficiente transferencia de carga.
- 4.- Agua excesiva.
- 5.- Soporte muy pobre a la losa.
- 6.- Falla del material de sellante.
- 7.- Corrosión de pasajuntas.
- 8.- Mal alineamiento de las pasajuntas.
- 9.- Asentamientos excesivos en la base de apoyo (incremento de presiones de poro).

Los problemas más comunes en las juntas, debido a lo anterior, es agrietamiento, astillamiento, desmoramientos locales en bordes, etc; quizás el bombeo o Pumping, según se menciona en párrafos anteriores, es la representación más común del conjunto de problemas en las juntas señaladas antes. Para que el bombeo se presente, hay que recordar que son tres los agentes que lo promueven que son :

- 1.- El agua libre.
- 2.- Cargas pesadas por eje.
- 3.- Material de apoyo de la losa erosionable.

A su vez, la manera más efectiva de evitar este problema, sería lógicamente :

- 1.- Dar suficiente drenaje al cuerpo del pavimento.
- 2.- Reducir desplazamientos entre losas, o sea el empleo de pasajuntas.
- 3.- Sub - bases de alta calidad. No se descarta el empleo de mejoramientos por medio de ligantes.
- 4.- Un sello de juntas realmente efectivo según las condiciones que se presenten en las losas.

.--ALGUNAS RECOMENDACIONES.

A continuación se sugieren algunas medidas para aumentar la vida útil de juntas en los pavimentos sin pasajuntas :

- 1.- Empleo de calizas como agregados.
- 2.- Reducción de la longitud de losas.

3.- Tratar de utilizar ensanches a los lados del carril de baja velocidad, como pueden ser los representados por acotamientos. Carril y acotamientos son ligados mediante varillas de sujeción, todo ello en la medida de lo factible en términos económicos.

4.- Cuando sea posible, utilizar secciones variables atendiendo a la distribución de vehículos pesados en los carriles de baja y alta.

5.- Evitar colocar el concreto en clima extremadamente cálido. Si así se requiere, es conveniente enfriar el concreto antes de colocarlo, de no hacerlo así implicaría agrietamiento de tipo plástico.

6.- Incrementar los tamaños máximos de agregado hasta del orden de 5 a 5.5 centímetros.

7.- Prevención de entrada de partículas finas.

8.- Utilizar concreto que sea lo suficientemente seco, pero que permita el vibrado.

- PARA PAVIMENTOS CON PASAJUNTAS. - Se tiene lo siguiente :

1.- Optimización del espaciamiento de pasajuntas.

2.- Cuidar la colocación y alineamiento vertical u horizontal.

II.3 DRENAJE EN EL CONJUNTO SUB-BASE - ACOTAMIENTO - LOSA.

Indudablemente el agua que pudiese acumularse en la interfase losa - superficie de apoyo y particularmente el agua que no puede tener salida fácil en las orillas o extremos del pavimento, ocasiona problemas severos en la estabilidad, a este último de manera integral.

En términos de la erosividad de sub - bases o acotamientos, podemos decir que existen reglas básicas para evitar deterioros serios en la superficie de apoyo de las losas que se pueden clasificar como sigue:

a.- Para efectos prácticos, los finos productos de 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.

b.- Se debe dar mantenimiento al sello impermeabilizante en la zona de juntas, a fin de evitar el ingreso de sólidos y agua; y que esta última transporte finos existentes en la capa de apoyo hacia los acotamientos o a otras zonas en el interior de las losas.

c.- El movimiento o migración de finos de capas inferiores hacia el lecho inferior de las losas se puede evitar diseñando y construyendo una capa de sub - base granular para drenar el agua que pueda existir o quiera penetrar al pavimento.

Alternativamente, dependiendo de las condiciones

topográficas y geotécnicas, construir dispositivos especiales (drenes) para desalojar el agua.

Una de las formas de evitar la erosión en el cuerpo del pavimento, es mediante el empleo de acotamientos ligados a la superficie de rodamiento; esto desde luego, dependerá de los análisis de costo en el ciclo de vida, para ésto se debe comparar el costo entre lo que implica colocarlos en la etapa inicial constructiva, o bien, al costo de rehabilitación, producto de un deterioro más rapido debido a que no se previó el confinamiento lateral que proporciona el acotamiento ligado.

El empleo de acotamientos pavimentados parece ser que hoy es obligado en el caso de autopistas o caminos con tráfico muy pesado, así como en áreas en donde las salidas y accesos a caminos troncales de primer orden ocurren a poco espaciamiento, es importante planear y diseñar la instalación y alineamiento de pasajuntas y protección anticorrosiva.

Por los problemas anteriores, debido a su erosión de las capas de apoyo de las losas, resulta conveniente evaluar correctamente primero la calidad de los sellantes en juntas a emplear, y seguir las recomendaciones del fabricante; en segundo lugar, no escatimar cuidados durante el proceso constructivo para una correcta aplicación de los materiales, considerando el aspecto ambiental, sobre los problemas que nos pueda ocasionar, y la correcta colocación de las obras de drenaje en los sitios adecuados de la obra a realizar.

*** Generalidades :**

Las calles y las carreteras son obras viales que sirven como camino público a la población en general, conforme ésta aumenta, se hace necesario contar con vías que ofrezcan una superficie de rodamiento rápida, cómoda, segura y económica a la circulación del tránsito; la sección estructural del pavimento rígido está constituida por una losa de concreto hidráulico que sirve como superficie de rodamiento y una capa de sub-base que se apoya sobre la capa sub-rasante de las terracerías, en ocasiones puede omitirse la capa de sub-base si la sub-rasante está formada por un suelo con suficiente capacidad de carga y de baja plasticidad. En estos pavimentos, la carga de los vehículos se distribuye en toda el área de la losa cargada y aún a través de las losas adyacentes, ya que cuando el pavimento está bien construido, las losas trabajan en forma mancomunada; siendo necesaria la construcción de juntas transversales y juntas longitudinales para lograr un correcto trabajo del pavimento rígido.

Los pavimentos rígidos o de concreto hidráulico se clasifican en dos grupos :

- 1).- Pavimentos sin refuerzo metálico - Son aquellos que para resistir los esfuerzos a que está sujeta la losa, no requieren de una parrilla o malla de acero, teniendo acero solamente en las juntas con objeto de transmitir la carga entre losa y losa.

2).- Pavimento con refuerzo metalico - Son aquéllos que requieren de una parrilla o malla de acero, este acero debido a que se coloca al centro de la losa, no aumenta considerablemente la resistencia a la flexión, en cambio, sirve para prevenir la formación de grietas debidas a contracciones del propio concreto.

III.1 APLICACIONES DEL PAVIMENTO RIGIDO.

Para el proyecto de pavimentos en calles, se han efectuado estudios muy precisos del tránsito que se da en diferentes calles de una ciudad, para obtener información que permita de una manera práctica conocer las características que debe tener el mismo, a continuación se presentan los tipos de calles que se tienen en una ciudad.

a).- Calles residenciales ligeras.- Estas calles no son de gran longitud y sus ramales pueden ser ramales o retornos. Las calles residenciales ligeras dan servicio a un tránsito ligero generado por unas cuantas casas o lotes (20 ó 30). Los volúmenes de tránsito son bajos, menos de 200 vehículos por día, de 1% a 2% de tránsito comercial pesado (camiones de dos ejes y seis ruedas o mayores con peso total superior a tres toneladas), Los camiones que utilizan estas rutas o calles deberán tener una carga máxima sobre eje tandem de 14 ton. y de 5.5 ton. máximas sobre eje sencillo rueda doble.

b).- Calles residenciales.- Estas calles tienen en sus ramales el mismo tipo de tránsito que las calles residenciales ligeras pero dan servicio a más casas (60 a 140), incluyendo a

aquellas que se encuentran en calles cerradas. En ciudades con un patrón de urbanización del tipo de rejilla, el tránsito consiste generalmente de vehículos que sirven a los hogares y ocasionalmente a algún camión pesado; los volúmenes del tránsito serían de 300 a 700 del tránsito promedio anual diario con 1% a 2% de tránsito comercial pesado.

c).- Calles colectoras residenciales.- Estas reciben todo el tránsito de las calles residenciales de un área y lo distribuyen a los sistemas de calles mayores. Pueden ser de gran longitud y dar servicio a 300 hogares o más, con tránsito promedio anual diario igual al de calles residenciales.

d).- Calles colectoras.- Las calles colectoras son las que sirven a varios ramales y pueden tener varios kilómetros de longitud, pueden servir a rutas de autobuses y a maniobras de camiones en una determinada área, aunque no lo hagan a través de rutas. Los volúmenes de tránsito varían de 2000 a 6000 del tránsito promedio anual diario, con un 3% a 5% de tránsito comercial pesado (más de 3 toneladas). Los camiones que utilicen estas avenidas deberán tener una carga máxima sobre eje tándem de 10 y 18 ton. máxima sobre eje sencillo.

e).- Arterias.- Las arterias son vías rápidas que sirven a movimientos mayores de tránsito en áreas metropolitanas que no cuentan con éstas. Las rutas de autobuses y camiones, así como las rutas federales y estatales numeradas van comúnmente sobre arterias. Para propósitos de diseños, las arterias están

divididas en arterias menores, arterias y arterias mayores, dependiendo del tipo y capacidad del tránsito.

f).- Vías rápidas.- Las vías rápidas se diseñan para mover grandes volúmenes de tránsito a velocidades relativamente altas, estando sujetas a estudios extensos y meticulosos debido a la importante inversión que necesita para su construcción.

g).- Calles comerciales.- Estas calles constituyen una categoría especial; proporcionan acceso a tiendas y al mismo tiempo sirven al tránsito en los distritos céntricos de negocios; estas calles se congestionan frecuentemente, siendo sus velocidades de tránsito bajas, sin embargo sus volúmenes de tránsito son relativamente altos con un porcentaje bajo al paso de camiones.

h).- Calles industriales.- las calles industriales dan acceso a las áreas o parques industriales. El volumen total de tránsito puede estar en los rangos más bajos pero el porcentaje de camiones con ejes pesados es relativamente grandes.

Las clasificaciones de calles que se describieron no son las únicas empleadas en una ciudad, por lo cual, pueden variar de un lugar a otro.

De acuerdo a una clasificación técnica que permite distinguir la categoría física del camino, la Secretaría General de obras públicas marca los siguientes tipos :

8.- Tipo especial.- Para tránsito promedio anual diario

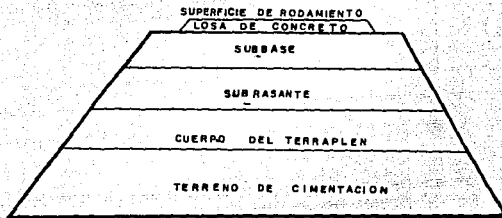
(TDPA) superior a 3000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (o sea un 12% del TDPA).

8.- Tipo A.- Para un tránsito promedio diario anual de 1500 a 300 equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos (un 12% del TDPA).

8.- Tipo B.- Para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos o sea un 12% del TDPA.

8.- Tipo C.- Para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del TDPA).

En esta clasificación técnica, se ha considerado un 50 % de vehículos pesados (igual o mayor a 3 toneladas por eje). El número de vehículos es total en ambas direcciones y sin considerar ninguna transformación de vehículos comerciales a vehículos ligeros.



SECCION TRANSVERSAL DE UN PAVIMENTO RIGIDO

. - ESTACIONAMIENTO.

GENERALIDADES:

Un estacionamiento, simplemente hablando, es un lugar de " ALMACENAJE DE VEHICULOS ", lo que hace un diseño sencillo, sin embargo, deben contemplarse las características físicas de los vehículos y su comportamiento, diferentes de otros objetos " ALMACENAJES ", que hacen del lugar para su guarda un problema particular en cuanto al proyecto, pero adicionalmente permiten que su funcionamiento sea estudiado, tipificado en distintas alternativas básicas de solución, que cubran prácticamente todos los casos a resolver.

Para poder definir la sección estructural de un pavimento rígido en estacionamiento, es necesario estudiar las características del subsuelo con el fin de prever el tipo de estructura sea la más adecuada, que estará en función de el número de niveles permisibles; como consecuencia de esto el tipo de cimentación a usar.

El espesor del pavimento dependerá del tipo estructural que se elija y del tipo de carga a la que se vaya a estar sujeto dicho estacionamiento.

Un elemento inevitable en la circulación es el de la necesidad de estacionar los coches, por lo cual, se distinguen tres casos que son: la parada, la espera y el estacionamiento.

LA PARADA ocurre cuando el coche se detiene el tiempo estrictamente necesario para realizar breves maniobras (por

ejemplo, carga y descarga de viajeros), y reanuda en seguida su marcha, sin que el conductor abandone el vehículo.

LA ESPERA sobreviene cuando el vehículo permanece inmóvil en la calzada el lapso indispensable para quien lo ocupa o el mismo conductor pueda efectuar a pie el objeto inmediato del viaje.

EL ESTACIONAMIENTO refleja la situación de un vehículo que se deja inactivo durante largo tiempo o se utiliza de manera discontinua.

El estacionamiento se concentra en sitios siempre marcados y muchas veces cerrados que se preparan a este fin fuera de las corrientes de tráfico. La necesidad de espacio de estacionamiento variará de acuerdo con la estructura de la ciudad y las costumbres de los conductores, pero la experiencia sugiere algunas normas que pueden servir de guías. Estas normas están por lo común relacionadas con el área de pisos de los edificios. La posibilidad de que la transportación colectiva pueda ofrecer la solución, parece remota, ya que el automóvil particular es un fenómeno de nuestra época, por lo que satisface el instinto básico de libertad y elección de movimiento, sin importar las consecuencias; por lo cual, la forma de las ciudades debe adaptarse a la naturaleza del hombre y de los vehículos que crea.

El automóvil, para ser efectivo, debe tener un lugar para moverse y otro para estacionarse. El conductor desea estacionarse tan cerca de su destino como le sea posible y las

investigaciones han indicado también, el conductor que entra al centro de la ciudad ya sea para negocios o compras, no desea caminar desde el lugar donde se estaciona, una distancia mayor de 300 metros.

Agrupando los diversos tipos de vehículos en categorías, fijaremos a los coches más pequeños un rectángulo de 1.70 X 3.50 mts; para los medianos 1.90 X 4.0 mts y para los grandes 2.30 X 5.10 mts. La camioneta podrá situarse en el rectángulo máximo señalado para automóviles, y los autocamiones medianos necesitarán 2.90 X 7.50 mts; los que utilicen el galibo límite con remolque requieren 3.0 X 13.0 mts. En la actualidad es usual marcar en el movimiento, los rectángulos ocupados por cada vehículo, a fin de delimitar la superficie que resta a la circulación y determinar el número y la clase de los automóviles autorizados a estacionarse.

La posición de los vehículos parados respecto al sentido de la marcha o al centro de la calzada puede ser paralela a éste, o normal, o en ángulo de 30°, 45°, y 60°. Sin embargo, es evidente que, aparte del espacio estrictamente necesario para el estacionamiento, los vehículos tienen que contar con otro espacio de maniobras para poder sumarse a la corriente normal o apartarse de ella sin perturbar su curso regular. Este espacio de maniobras crece al ser mayor el ángulo de oblicuidad del vehículo, y pasa de un mínimo de 1.30 mts (posición paralela) aun máximo de 6mts (posición normal), con un promedio de ...10 mts, para la posición oblicua. Si el espacio de maniobras estuviese limitado por una pared fija (como en los garajes), habrá que disponer de anchuras mayores de 2.50 a

8.0 metros.

Los sistemas en diente de sierra tiene la ventaja de requerir menos espacio de maniobras, aunque para el estacionamiento ocupan un espacio mayor, siendo la proporción de la superficie utilizada de un 70 %. Estos acoplamientos sencillos pueden combinarse, además, dando acceso a los vehículos por ambos lados; la combinación es la de raspa de pescado, da un mayor beneficio ya que circulan vehículos de distintas dimensiones. Siempre que se pueda, deberán conservarse espacios de estacionamiento fuera de las corrientes de tráfico, aunque contiguos a ellas en ensanchas o plazas a propósito, con los enlaces fáciles, superficies bien definidas y división para entrar y salir.

En zonas especiales, hacia la periferia de las grandes ciudades (campos de deportes), y en localidades turísticas, se tendrán concentraciones de vehículos, de carácter transitorio; proporcionándose a cada automóvil 20 M² y autobuses 50 M², incluyendo los espacios de maniobras.

Cuando se disponga de una superficie libre a nivel, puede recurrirse al estacionamiento en plano elevado, sin contar los grandes garajes que consideramos como espacios edificados. Es más fácil organizar el estacionamiento en las carreteras, porque constituye casi siempre un elemento excepcional y se dispone de un espacio más amplio.

En resumen los tipos de estacionamientos son:

- a. - Estacionamientos cubiertos.
- b. - Estacionamientos elevados.
- c. - Estacionamientos subterráneos.
- d. - Estacionamientos a cielo abierto.

.- BODEGAS O TIPOS DE ALMACENES.

Dependiendo del uso que se vaya a dar al almacén tenemos varios tipos, los cuales se mencionan a continuación :

a). - **ALMACENAJE EXTERIOR** .- Estos tipos se refieren al almacenaje con apilamiento de contenedores (especie de caja de trailer) de flete o grandes contenedores.

b). - **ALMACENAJE MANUAL** .- Sirven para almacenaje industrial a pequeña escala para la manutención y almacenaje de piezas y subconjuntos en pequeñas fábricas. Para este tipo de almacenaje se debe contar con cajas de manutención, cajones armarios, estanterías, auxiliares y aparatos de manutención con conductor a pie.

c). - **ALMACENAJE MECANIZADO** .- Este tipo de almacenaje se basa en los siguientes componentes: Estructura de almacenaje, paletas, carretillas elevadoras de orquilla, equipo de embalaje,

zonas de carga de baterías y de mantenimiento, carretillas tractoras, aparatos fijos para manutención vertical y transportadores continuos de uso en almacenes grandes.

d).- ALMACENAJE AUTOMATIZADO .- Este tipo de almacenaje se compone de aparatos de manutención automáticos y sistemas automáticos de transporte horizontal.

e).- ALMACENAJE DE GRANELES .- Este tipo de almacenaje incluye los siguientes componentes : equipo móvil para la manutención de graneles, transportadores continuos para graneles, equipos para carga de sacos y contenedores intermedios para graneles.

f).- ALMACENAJE REFRIGERADO .- Este tipo de almacén es un edificio especial para retardar el deterioro de los productos perecederos producidos por microorganismos, enzimas y compuestos químicos y pueden componerse del equipo de cualquier almacenaje mencionado anteriormente.

g).- ALMACENAJE ESPECIAL .- Estas categorías de almacenaje son especiales en cuanto a los métodos y los medios, difieren de los empleados en el almacén normal, si bien, los principios que hemos venido señalando siguen siendo válidos. Los productos que requieren unas condiciones especiales podríamos agruparlos en las siguientes categorías: láminas, tubos, cargas unitarias sin normalizar, mercancías frágiles, materiales de alta seguridad, mercancías peligrosas, muebles, entre otros.

III.2 CARACTERISTICAS Y ESTUDIO DE LOS MATERIALES

Los materiales necesarios para la construcción de un pavimento rígido, deberán tener las características adecuadas para garantizar el óptimo servicio del mismo, es por esto que se han efectuado estudios y pruebas para conocer las propiedades de cada material que interviene en obras de esta índole; a continuación se exponen conceptos y requisitos que deberán tener los materiales:

A).- CUERPO DEL TERRAPLEN.- principalmente en las carreteras para la construcción del cuerpo del terraplén, dependiendo del tipo del terreno en que se construya, se utilizan materiales provenientes de cortes o préstamos. Si el terreno es plano, en general, la construcción se realiza utilizando materiales de préstamo; si éstos se localizan dentro de una distancia máxima de 100 metros del centro de línea se denomina préstamos laterales y cuando la distancia es mayor se consideran préstamos de bancos.

B).- CAPA SUB-RASANTE.- Para la construcción de la capa sub-rasante, en general, se utilizan materiales de banco que tengan las características adecuadas para las funciones que vayan a tener en la estructura vial, si el material que se extraiga de los cortes cumple con las características requeridas para esta capa, se puede utilizar esta, preparándolo adecuadamente el suelo como es escarificando, conformando y compactando, así como también en los terraplenes contiguos que se necesiten construir más adelante.

C).- CAPA DE SUB-BASE.- Las características de esta capa en cuanto la resistencia del valor relativo de soporte (VRS), plasticidad y valor cementante, como su contracción lineal se deben de cumplir simultáneamente.

E).- DEFINICION DE " K ".- El valor de "K" llamado por Westergard " módulo de reacción ", es un coeficiente que expresa la rigidez del cimiento y se establece en función de la carga en kilogramos por centímetro cuadrado y por centímetro por flexión, se supone que la relación del cimiento en cualquier punto es proporcional a la flexión. La relación del cimiento se supone constante bajo toda la losa del pavimento, aunque algunas investigaciones ofrecen evidencias en contra.

El método de prueba comprende cargar el cimiento preparado, a través de una placa rígida de acero de 76.2 cm. de diámetro. Se registran las cargas y las deformaciones; la carga máxima sobre la placa puede aproximarse a 30 toneladas, lo que hace que la producción de la fuerza descendente sea difícil; esto se logra comúnmente transportando la reacción ascendente del dispositivo de prueba a los bastidores de camiones pesadamente cargados colocados a alguna distancia a cada lado de la placa de carga.

En general se recomienda un valor de $2.77 \text{ Kg} / \text{cm}^3$.

A continuación se muestra en forma aproximada, el orden de los valores de "K" para varios grupos de suelos clasificados por la Highway Research Board, the bureau of public roads, and the corps of engineers, department of the army. Los valores

corresponden al contenido de humedad y peso volumétrico que aproximadamente se han encontrado en las condiciones usuales de servicio. Cuando se carece de dos valores de "K" obtenidos de pruebas, pueden utilizarse los de la tabla con cierta seguridad si el ingeniero es capaz de clasificar el suelo y tener criterio para determinar entre que límites debe quedar situado dicho suelo.

VALORES DE K		K (Kg/m ³)
A. - Suelos con gravas y arenas.		
***	Mezclas de grava, arena y arcilla, con buena granulometría. Muy buen cementante.	11 a 19
***	Mezclas de arena y arcilla, muy buen cementante.	7 a 16
***	Grava con finos, grava con mucho limo, arena y arcilla, con mala granulometría, cementante deficiente, desmontizable.	8 a 19
***	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla, mezclas de arena y arcilla, todas con mala granulometría, mal cementante, plásticos.	4.8 a 9
***	Gravas, mezclas de gravas y arenas, arenas, todas con mala granulometría, sin o con pocos finos.	5.5 a 9
B. - Suelos de grano fino en los cuales predomina el tamaño del limo.		
***	Suelos predominante de limo, con cantidades moderadas o pequeñas de material grueso y pequeñas proporciones de arcilla plástica.	2.8 a 8.3
***	Suelos de limo con mala granulometría, que contienen mica y diatomeas, y con propiedades elásticas.	1.4 a 4.8 ⁽⁵⁾

8.-Suelos inorgánicos y orgánicos de grano fino en los cuales predomina la arcilla.

***Suelos de arcilla con cantidades moderadas o despreciables de material grueso. Incluye mezclas inorgánicas de limo y arcilla; de arena, limo y arcilla, todos ellos con buena granulometría.

1.4 a 6.2

***Suelos elásticos de arcilla, con cantidades moderadas o despreciables de material grueso generalmente, con mala granulometría o conteniendo materiales orgánicos u otros que los hacen elásticos.

1.4 a 6.2

Cç).- Algunos suelos de origen volcánico pueden tener valores de K mayores.

El valor de K de un suelo, puede determinarse cargando una placa rígida circular directamente sobre la base o cargando una losa de pavimento existente que esté sobre un suelo de características semejantes; una descripción detallada del procedimiento y del equipo usado para hacer pruebas de deformación por medio de una placa para determinar los valores de K de un suelo se expone a continuación :

Sobre la capa sub-rasante se coloca una serie de placas (3), que se requieren para que la presión que reciba el terreno se a uniforme. Sobre la placa superior se coloca una carga tal, que la presión que transmita la placa inferior sea de 0.7 Kg/cm^2 ; alrededor, sobre esta placa se colocan cuando menos tres extensómetros para medir la deflexión producida. El módulo de

reacción es igual a la relación de la presión proporcionada, entre el promedio de las deflexiones medidas.

El módulo de reacción de la sub-rasante se corrige de acuerdo al espesor y calidad de la sub-base, por lo cual, se concluye que tiene mucha influencia el rigidizar la base, puesto que el valor de K aumenta de un modo considerable.

*** LOCALIZACION DE BANCOS DE MATERIAL.

La localización de los bancos de materiales que usarán en la construcción de la obra constituye un factor económico muy importante siendo el laboratorio de campo el indicado para realizarla. Después de efectuar la localización de los bancos y hechas las pruebas de laboratorio para determinar la calidad del material y su aplicación, se hace el estudio económico que comprende extracción, carga y transporte para seleccionar los que mayores ventajas presenten.

A continuación se hace una descripción de los distintos bancos de material :

1).- Para terracerías.- Tratándose de la construcción del pavimento de una calle, normalmente no se cuenta con el recurso de obtener el material para terracerías de préstamos laterales y en el mejor de los casos, se obtiene de los cortes y las compensaciones longitudinales, se procura en este caso, localizar el mayor número de bancos para terracerías que pueden aceptarse para disminuir las distancias de acarreo, ya que los volúmenes que

se mueven son los de mayor importancia.

2).- Para sub-base.- Los bancos de material para sub-base serán de número más reducido, en primer lugar porque no se encontrarán fácilmente y presentan dificultades mayores para su ataque y extracción, por tratarse de materiales seleccionados. Es conveniente planear la forma de ataque de estos bancos organizando el número de frentes y la circulación de los camiones transportadores.

3).- Para agregados finos y gruesos para concreto.- Los bancos para agregados del concreto generalmente son explotados por empresas particulares y pueden ser de cantera, de mina o de río, en cualquiera de estos casos, su composición granulométrica se encuentra controlada por medio de cribas, desechándose el desperdicio que pueden ser las partículas de tamaños mayores a los especificados.

El módulo de ruptura a la flexión del concreto, es un valor empírico que representa el esfuerzo en las fibras más alejadas de una viga en el momento de la ruptura, suponiendo al calcularlo que el esfuerzo varía directamente con la distancia al eje neutro de la viga; este módulo se emplea en el lugar de la resistencia a la compresión, porque la falla en la losa del pavimento es debida a la flexión producida por la carga que transportan las ruedas de los vehículos y nunca es debida a la compresión.

La sección estructural, es el conjunto de capas que sirven para repartir uniformemente el peso de los vehículos ($W =$ carga); las capas son en este caso : Sub-base y pavimento de concreto; estas capas tendrán un espesor variable debido a que están en función del tipo de terreno y tipo de carga a la cual va a ser sometido el pavimento.

La sección estructural deberá apoyarse en un estudio previo de mecánica de suelos, realizada en la zona donde se va a pavimentar y nunca apoyarse en estudios de zonas aledañas.

TIPO DE CARGA. -

••CARGA ESTÁTICA DE RUEDA. - Es la carga de rueda de un vehículo parado descansando sobre la superficie de un camino o calle, presentando el siguiente esfuerzo.

-Esfuerzos debidos a las cargas. - Los esfuerzos más grandes en un pavimento de concreto son los de flexión, producidos por las cargas de rueda. Se han hecho amplios estudios y observaciones de pavimentos en servicio, los cuales muestran que el punto crítico en una losa de pavimento de espesor uniforme, son las esquinas.

Los esfuerzos debidos a una carga en la orilla de una losa son menores que los producidos por la misma carga en una

esquina con el mismo espesor, los esfuerzos producidos por una carga en el interior de una losa de espesor uniforme son considerablemente menores que los producidos por la misma carga en una esquina de la losa. Un pavimento de concreto falla bajo una carga cuando ésta, o el momento flexionante son de tal magnitud que los esfuerzos de flexión alcanzan al módulo de ruptura del concreto.

♦♦CARGA DE RUEDA DE CONTROL.- Para dar un servicio satisfactorio todas las losas para pavimento deberán proyectarse para soportar la "Carga de Rueda de Control". La carga de rueda de control es el promedio de las 100,000 cargas de rueda más pesadas que transitarán por un carril, durante la vida útil, para la cual ha sido proyectado el pavimento; teniendo un factor de seguridad por lo menos de 2.

Para las cargas mayores, y menos frecuentes que la carga de rueda de control, el factor de seguridad para cada una deberá ser tal que permita que el pavimento tenga una adecuada vida estructural cuando quede sujeto a dichas cargas.

Las cargas máximas permitidas en México, por eje son:

5.5 ton. por eje sencillo, rueda sencilla.
10.5 ton. para eje sencillo, rueda doble.
18.0 ton. para eje tandem, rueda doble.
27.0 ton. para eje triple, rueda doble.

De esta manera se tienen legalizadas las diferentes combinaciones de vehiculos que se señalan en la siguiente tabla

TIPO DE EJE		TIPO DE CAMINO		
		A	B	C
Un eje sencillo	Con dos llantas	5500	5000	4000
un eje sencillo	cuatro llantas	10000	9000	8000
2 ejes sencillos en tandem.	Con dos llantas en cada eje.	4500/eje	3750/eje	3500/eje
2 ejes sencillos en tandem.	Con cuatro llantas por eje.	9000/eje	7500/eje	7000/eje
3 ejes sencillos en tandem.	Con cuatro llantas en cada eje.	7500/eje	No son permitidos	

*Nota : Pesos autorizados por la Secretaria de Comunicaciones y Transportos en Kg. Todos los autobuses pueden circular por los caminos tipo B y C, con los pesos autorizados para caminos de tipo A.

FATIGA DEBIDA A LAS REPETICIONES DEL ESFUERZO DE FLEXION.

En el concreto sujeto a esfuerzos de flexión, los esfuerzos de compresión y de tensión en las fibras más alejadas del miembro son aproximadamente iguales. La resistencia del concreto a la tensión es mucho menor que la resistencia a la compresión.

Cuando la carga o el momento flexionante aumenta hasta muy cerca de la ruptura del concreto, el esfuerzo de tensión resultante alcanza un alto porcentaje de la resistencia de ruptura a la tensión mientras que el esfuerzo a la compresión en el otro lado de la viga o de la losa es todavía un porcentaje relativamente pequeño de la resistencia a la ruptura a la compresión del concreto, por eso cuando se repiten los esfuerzos de flexión mayores que el 50 % del módulo de ruptura, el concreto se fatiga en tensión, mientras que el esfuerzo a compresión que muy por debajo del punto en cual podría aparecer la fatiga a la compresión. De esto resulta, que el factor que gobierna es la fatiga debida a las repeticiones del esfuerzo de flexión.

CARGA E IMPACTO. - Es un esfuerzo que sufren las losas por la velocidad de los vehículos y que en forma general se incrementó un 20 %, al peso máximo para cada grupo de las cargas en estudio.

Y por lo tanto, se tomará como constante para el cálculo de un proyecto de pavimento rígido.

La influencia del impacto varía con la velocidad, con la condición de la superficie del pavimento, con el peso del vehículo y con la presión de las llantas.

CARGA TOTAL DE LA RUEDA DE CONTROL. - Es igual a la carga estática de rueda de control incrementada por un coeficiente de impacto del 20 % . La carga estática de rueda, ya la definimos para cargas constantes sobre las losas de longitudes razonables, los esfuerzos de carga y los esfuerzos totales disminuyen a medida que el espesor de las losas aumenta. Un corolario de lo anterior es que, a medida que la carga de las ruedas aumenta, el espesor de la losa debe aumentar, si el esfuerzo unitario se pretende que permanezca dentro de los límites de seguridad.

A través de los años, el espesor del concreto ha aumentado de 12.7 a 15.24 cm., 20.32 a 22.88 cm, y a veces hasta 30.48 centímetros.

Para obtener las fórmulas para los esfuerzos de las cargas se colocaron cargas en tres lugares críticos, como sigue:

1.- Carga aplicada próxima a un ángulo de una gran losa. Dicha condición existe en la intersección del borde del pavimento con una junta transversal si no se hace ninguna previsión para transmitir una parte de la carga a través de la junta a la losa adyacente.

2.- Carga aplicada al interior de una gran losa a una considerable distancia de sus bordes.

3.- Carga aplicada al borde de la losa a una considerable distancia de cualquier ángulo.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Otra serie de fórmulas, dan esfuerzos teóricos creados en las mismas exposiciones por las diferentes temperaturas entre la parte superior y la parte inferior de la losa. Durante el día, la temperatura en la superficie es mayor que en los elementos que se encuentran por debajo de la misma, y los bordes de la losa se alabean hacia abajo en relación con la sección central; esta tendencia, que es opuesta al peso de la losa, crea esfuerzos de flexión, tensión en el fondo y compresión en la parte superior. En la noche, el gradiente de temperatura se invierte, de modo que la dirección del alabeo térmico y el sentido de los esfuerzos del alabeo térmico quedarán invertidos.

Las diferencias en el contenido de humedad entre las partes superior e inferior de las losas, también ocasionan esfuerzos de alabeo y de flexión, pero generalmente se omite en el análisis teórico. KELLEY, ha establecido que : Durante los días calientes de verano, cuando las diferencias de humedad y temperatura se encuentran a un máximo, la curvatura ocasionada por una, es en la dirección opuesta a la ocasionada por la otra, y el esfuerzo que puede ser producido por la humedad sirve para reducir más bien que para aumentar el esfuerzo debido al alabeo térmico. El ignorar el alabeo térmico causado por la humedad parece añadir cierto factor de seguridad de magnitud o importancia desconocida.

Para los pavimentos que frecuentemente se encuentran sujetos a muchos millones de repeticiones de cargas, la resistencia a la fatiga es aproximadamente del 55 % de la resistencia estática. Los esfuerzos seguros de trabajo, aún sin ningún factor grande de seguridad, no pueden exceder, por lo

tanto, de 21.1 a 24.6 Kg/cm²

Los cambios en la temperatura y en el contenido de humedad no sólo crean alabeos y esfuerzos de flexión, sino que también ocasionan un alargamiento y un acortamiento global de las losas. Si las losas estuvieran perfectamente libres para moverse, estos cambios volumétricos tendrían lugar sin producir esfuerzos; sin embargo, las infraestructuras sobre las que los pavimentos descansan, ofrecen una considerable resistencia de las losas a acortarse, debido a la baja temperatura o al secado, crea esfuerzos de tensión, mientras que la tendencia a alargarse, debido al aumento de la temperatura o al aumento de la humedad, crea esfuerzos de compresión.

Los esfuerzos de tensión en las losas no reforzadas varían más o menos directamente con el descenso de temperatura del día, con la distancia entre las juntas, y con el coeficiente de resistencia de la infraestructura, que es el coeficiente promedio de fricción entre la losa y con el coeficiente de resistencia de la infraestructura de soporte. KELLEY, informa que pueden esperarse esfuerzos ligeramente mayores de 7.03 Kg/cm², para la caída promedio de temperatura de 22.2 °C, para una longitud de losa de 30.5 metros, y para un coeficiente promedio de resistencia de la infraestructura ligeramente superior a 2. Los esfuerzos son proporcionalmente más bajos para las losas más cortas.

La longitud de una losa de concreto no cerrada aumentará si su temperatura se eleva o su contenido de humedad se aumenta. Si esta expansión se limita en parte o totalmente, se producen

esfuerzos de compresión. Tales esfuerzos, considerados por sí solos, son mucho más bajo que la resistencia del concreto a la compresión. Sin embargo, en combinación con otros factores, pueden conducir a la formación de levantamientos, en los cuales algunas secciones cortas de losa se elevan bruscamente por el espaciamiento de juntas de control que no son las adecuadas.

MATERIALES USADOS EN LA ELABORACION DE PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO.

Uno de los aspectos básicos en la construcción de los pavimentos rígidos, es la elaboración del concreto, la cual se hará de preferencia en planta premezcladora. El concreto por emplearse, deberá estar sujeto a las siguientes especificaciones :

- Resistencia mínima a la compresión a la edad de los 28 días de 200 Kg/cm^2 .
- Resistencia mínima a flexión a la edad de 28 días de 30 Kg/cm^2 .
- Revenimiento de 2 a 5 centímetros.

El concreto hidráulico es un material pótreo artificial, se elabora mezclando parte de agua y cemento, con arena y grava en proporciones tales que se produzca la resistencia, la densidad deseada, entre otros aspectos. Cualquiera que sea el método de dosificación que se elija, el concreto producido debe

alcanzar una resistencia compatible con el diseño estructural, contener la cantidad de aire incluido que este dentro del rango recomendado para el tamaño de agregado y el área en que será empleado y, lo que es más importante aún, tener una relación agua - cemento no más elevado que el recomendado para la exposición prevista.

1.-AGUA.- El agua que se emplee para el mezclado no deberá tener cantidades perjudiciales de gas carbónico libre, limo, materia orgánica, álcalis, aceites y sales. Generalmente bastará con que el agua sea potable para poder emplearse. El agua que se utilice para la fabricación de concreto debe cumplir con los requisitos que se indican a continuación :

a.- Agua de composición :

Sulfatos (convertidos a Na_2SO_4), máximo	1000 p.p.m.
Cloruros (convertidos a NaCl), máximo	1000 p.p.m.
Materia orgánica (óxido sumergido en medio ácido), máximo	50 p.p.m.
Turbiedad, máxima	1500 p.p.m.

b.- Agua para el curado y para lavado de agregados :

Sulfatos (convertidos a Na_2SO_4), máximo	1500 p.p.m.
Cloruros (convertidos a NaCl), máximo	2000 p.p.m.

2.- CEMENTO PORTLAND.- Este se fabrica a partir de combinaciones de piedra caliza, marga y otro material calcáreo y arcilla, pizarra u otras sustancias similares arcillosas; ésta se tritura y se pulveriza, se mezclan en proporciones cuidadosamente determinadas, y se queman para formar un clinker

a una temperatura de 1538 °C, finalmente el clinker se enfria y se le agrega una porción de yeso para controlar la rapidez del fraguado, se vuelve a pulverizar intimamente hasta que casi todo pasa por el tamiz número 200; el producto terminado generalmente se envasa en sacos de papel de 50 Kg. pero en grandes obras frecuentemente se embarca a granel mediante ferrocarril, barco o camiones con cajas especiales. Las especificaciones de la AASHTO para cemento portland enumeran los cinco tipos siguientes :

TIPO I .- Para construcciones generales de concreto, cuando las propiedades especiales de los otros cuatro tipos no son requeridas.

TIPO II.- Para construcción general de concreto, expuesta a una moderada acción de los sulfatos, o en donde se requiere un moderado calor de hidratación.

TIPO III.- Para una creación rápida de concreto, de resistencia elevada a los pocos días de colado el concreto (3 días).

TIPO IV.- Se utiliza por su bajo calor de hidratación.

TIPO V.- Para una alta resistencia a los sulfatos.

EL CEMENTO .- Se empleara cemento portland tipo I de resistencia normal para condiciones generales y tipo III de resistencia rápida cuando se desea adquirir la resistencia a cortas edades. Los cementos que tengan más de tres meses almacenados en sacos, o más de seis meses a granel, después del último reporte, deberán ser analizados nuevamente, verificando sus características y propiedades sean aun las adecuadas.

LOS AGREGADOS.

Los agregados minerales forman aproximadamente el 75 % del volumen del peso del concreto normal para pavimentación, por lo cual los agregados deben de ser sólidos, duraderos ante agentes atmosféricos y químicos. El tamaño permitido del agregado para concreto de pavimentación, es generalmente de 5.08, 6.35 ó 7.62 cm. El uso de estos agregados grandes en concreto para pavimento ha descansado en el precepto de que con ellos resultó un concreto más fuerte y durable con la misma cantidad de cemento por unidad de volumen.

Especificaciones para los agregados finos.- Un requisito general es que los agregados finos deben consistir en arena natural o, sujetos a aprobación, en otros materiales inertes con características similares, o combinaciones de los mismos que tengan partículas resistentes y duraderas. Es usual reforzar este requisito, fijando límites máximos y permisibles propuestos por la AASHTO se pueden observar en la tabla 1.

-Otras sustancias perjudiciales tales como pizarra, Alcali, mica, granos revestidos, partículas blandas y escamosas se deben de especificar.

Especificaciones para agregados gruesos.- El requisito general es que los agregados gruesos consistan en piedra triturada, grava, escoria de altos hornos, u otros materiales inertes aprobados de características similares, o combinaciones de los mismos que tengan piezas duras, resistentes y duraderas, libres de revestimientos adherentes. Los límites a las

Sustancia	límites admisibles recomendados % en peso	límites admisibles máximos % en peso
Grumos de arcilla.	0.50	1.0
Carbón y lignito.	0.25	1.00
Materiales que pasan a través del tamiz No. 200.		
En el concreto sujeto a abrasión superficial.	2.00	4.00
En todas las otras clases de concreto.	3.00	5.00

TABLA 1

La granulación del agregado fino, en peso, de acuerdo a la AASHTO, es la siguiente :

ç.-Porcentaje que pasa a través del tamiz de 3/8"	100
ç.-Porcentaje que pasa a través del tamiz No. 4	95 - 100
ç.-Porcentaje que pasa a través del tamiz No. 10	45 - 80
ç.-Porcentaje que pasa a través del tamiz No. 50	10 - 30
ç.-Porcentaje que pasa a través del tamiz No. 100	2 - 10

cantidades de materiales perjudiciales, basados en las recomendaciones de la AASHTO, se muestran a continuación :

Sustancia	límites admisibles recomendados % en peso	límites admisibles máximos % en peso
Fragmentos blandos	2.00	5.00
Carbón y lignito.	0.25	1.00
Materiales que pasan a través del tamiz No. 200.	0.5	1.00
Piezas delgadas o alargadas (longitud mayor a 5 veces el espesor promedio).		15.00

Otras sustancias perjudiciales locales se deben de especificar.

La AASHTO recomienda un porcentaje máximo de desgaste de 40, que es típico de la práctica actual. La prueba de Deval modificada en algunos casos, es la medida en los estados restantes. Los porcentajes de desgaste de 8 para la piedra y de 15 para la grava, son representativos.

ARENA Y GRAVA .- Las principales propiedades que se deben observar en las gravas y las arenas son : dureza, plásticidad, sanidad, forma de partículas y granulometria.

En cuanto a la plasticidad, la grava y la arena deben ser materiales inertes, es decir, deben tener un índice plástico y una contracción lineal de cero, deben cumplir las normas de desgaste y de intemperismo acelerado, así como también es necesario conocer si los agregados tienen álcalis y si éstos le son perjudiciales al concreto a través del tiempo.

En cuanto a la forma de las partículas conviene que sean las más rugosas posibles, o sea, que tengan un alto valor de fricción, esto no sucede con las partículas redondeadas, como pueden ser los materiales de arroyos o rios. Es necesario conocer la granulometria para garantizar la resistencia y la densidad del concreto endurecido. La arena que se use en la elaboración del concreto, deberá reunir los siguientes requisitos :

a.- Granulometria

MALLA	% QUE PASA
3/8"	100
No. 4	95 - 100
No. 10	40 - 100
No. 50	10 - 30
No. 100	2 - 10

b.- De características físicas :

CONCEPTO	ESPEESIFICACIONES
Densidad aparente	2.45 mín.
Módulo de finura	2.32 a 3.45
Grumos de arcilla	1.0 % Máx.
Sanidad (pérdida de peso en cinco ciclos sulfato de sodio).	10 % Máx.
Materia orgánica	1 o 2 % Máx.
Pulvo (% que pasa malla 200)	3.0 Máx.

El agregado grueso deberá consistir en grava natural o piedra triturada y deberá reunir los siguientes requisitos :

a.- De características físicas :

CONCEPTO	ESPEESIFICACIONES
Densidad aparente	2.45 mín.
Absorción	5 % Máx.
Grumos de arcilla	0.25 % Máx.
Partículas suaves	5 % Máx.
Sanidad	12 % Máx.
Desgaste los angeles (500 Revoluciones)	45 % Máx.
Pulvo (% que pasa malla 200)	1.0 Máx.

b.- De granulometria, dependiendo del tamaño máximo :

% DE RETENIDOS ACUMULATIVOS :				
Tamaño máximo				
Mallas	2"	1 - 1/2	1"	3/4"
2"	0 - 5	-----	-----	-----
1-1/2	-----	0 - 5	-----	-----
1"	30 - 65	-----	0 - 10	-----
3/4"	-----	30 - 65	-----	0 - 10
1/2	70 - 90	-----	40 - 75	-----
3/8	-----	70 - 90	-----	45 - 80
No. 4	95 - 100	95 - 100	100 - 100	90 - 100

III.4 PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS.

Las operaciones en la producción de concreto varían de acuerdo al volumen necesario para la obra y al tipo de concreto que produzcan.

En una forma esquemática podemos señalar los procesos de elaboración, colocación en obra y terminado en general :

1. - Tipos de agregados.
2. - Dosificación.
3. - Revoltura.
4. - Manejo y transporte.
5. - Colocación.
6. - Terminado.
7. - Curado.

El proporcionamiento de una mezcla de concreto involucra la determinación de las proporciones adecuadas de cemento, grava, arena y agua.

Los métodos más comunes para la elaboración de mezclas son dos :

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">a. - Dosificación por peso.b. - Dosificación por volumen. |
|--|

a. - Dosificación por peso. - Este método da resultados muy satisfactorios, el control de los materiales se lleva por medio de básculas que pesan cada elemento en forma separada para unirlos en un mezclador y hacer la revoltura que será depositada

en un camión de volteo o en un camión provisto de una olla revolvedora. Este proceso se lleva a cabo en las grandes plantas premezcladoras de concreto.

b. - Dosificación por Volumen. - Este método se usa para fabricar concretos en obra, dando como resultado una menor calidad en la mezcla, se acostumbra tomar como base los sacos de cemento de 50 kilogramos de peso para hacer las dosificaciones de resistencia pedida para la obra.

REVOLTURA :

La revoltura puede llevarse a cabo en plantas centrales, en plantas portátiles o en revolvedoras. Independientemente del tamaño de la mezcladora, el tiempo mínimo de mezclado recomendable es de 50 segundos. Cuando no se han hecho pruebas a la mezcladora, el tiempo mínimo será de 75 segundos; en el caso de volúmenes de concreto o mezclas grandes y tiempo de mezclados cortos, para lograr una mezcla uniforme, es necesario efectuar un mezclado previo de los materiales. Después de que se hayan añadido todos los ingredientes incluyendo el agua (y el aditivo, si éste se agrega al agua), el mezclado del concreto debe continuar durante todo el tiempo de mezclado requerido, antes de retirar cualquier parte de la mezcla.

TRANSPORTE DEL CONCRETO.

El concreto podrá ser transportado en camiones de volteo con caja especial, cuando las distancias de acarreo sean cortas. También se puede agregar un aditivo inductor de aire al concreto

para ser transportado de esa manera y evitar la segregación. Cuando se requiere llevar concreto a lugares alejados de la obra, se usan camiones mezcladores o agitadores llamados comúnmente, ollas de concreto.

COLOCACION DE CONCRETO.

La colocación del concreto se efectúa por los siguientes métodos :

- a. - En forma manual.
- b. - Con máquina extendidora.

a. - En forma manual. - Este procedimiento es muy usado en México y en las ciudades de provincia, consiste en el tendido del concreto en forma manual sobre la base preparada y conformada, una vez extendido el material, se hace pasar una regla vibratoria para eliminar la cantidad excesiva de aire que se ha acumulado y homogenizar la mezcla, antes de que el concreto alcance su fraguado, se ranura y se pasa el volteador para darle el acabado en sus bordes.

Quando es necesario aplicar la malla de refuerzo, se extiende el concreto y se nivela a la profundidad de diseño para colocar el acero, posteriormente se aplica la segunda capa de concreto para darle los acabados finales.

b. - Con máquina extendidora. - El uso de la máquina

extendedora es poco frecuente en México, este método consiste en el uso de una pavimentadora de cimbra deslizante que está diseñada para colocar, compactar, emparejar y dar acabado al concreto fresco en una sola pasada de la máquina, dejando en esta forma un pavimento homogéneo y bien consolidado, que requiere un mínimo de acabado manual para cumplir con las tolerancias de la superficie.

El acabado en la superficie de pavimento debe incluir tanto texturas finas como texturas gruesas. Puede aplicarse al pavimento una amplia gama de texturas antiderrapantes, en una misma obra pueden requerirse texturas diferentes en distintos lugares, siendo el acabado que se emplee compatible con el medio ambiente, con la velocidad e intensidad del tránsito y con la topografía y geometría del pavimento.

Puede obtenerse una textura adecuada en el pavimento mediante cualquiera de los siguientes procedimientos: Uso de manta o yute, escobillado, empleo de cepillos de alambre, ranurado, etc. inmediatamente después de que se hayan concluido las operaciones de acabado y se haya evaporado la película de agua de la superficie o tan pronto como la consistencia de la mezcla lo permita, debe curarse toda la superficie de concreto.

Existen diversas maneras de curar el concreto; puede ser colocando mantas de algodón o yute, las cuales deben cubrirse con agua. Deben mantenerse completamente húmedas y en su posición correcta durante todo el periodo de curado especificado.

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO HIDRAULICO.

El mejor proporcionamiento para una mezcla de concreto, es la combinación más económica de los materiales disponibles que produzcan un concreto con buena trabajabilidad para su colocación y acabado, resistencia a la abrasión, durabilidad y resistencia estructural requerida en el proyecto.

Si se utilizan cemento, agua y agregados obtenidos de una fuente específica, el concreto mezclado y curado en ciertas condiciones, tendrá resistencia y muchas otras propiedades importantes que son inversamente proporcionales a la relación agua - cemento; por tanto, es preciso el uso de la mínima cantidad de agua necesaria para producir un cierto grado de revenimiento dependiendo del tamaño del agregado grueso, de su granulometría, del contenido de aire, de los aditivos, de las formas de las partículas, de la textura de la superficie de los agregados finos y gruesos, al igual que de la temperatura y la humedad en el momento del colado.

Para todo trabajo importante deben hacerse mezclas tentativas de laboratorio, a fin de establecer las proporciones más convenientes. Pueden omitirse dichas pruebas si se han usado mezclas de concreto semejantes con buenos resultados en condiciones similares y en trabajos recientes; los registros de la granulometría de los agregados finos y gruesos deben estar disponibles si se van usar esas proporciones de mezcla.

Sin importar si el concreto se mezcla en la obra o es premezclado, los materiales deben estar proporcionados dentro de

los límites siguientes :

Cemento	± 1%
Agua agregada	± 1%
Agregados gruesos y finos	± 2%
Aditivos y pigmentos	± 3%

Excepto para el mezclado de pequeñas cantidades en la obra, el cemento debe ser pesado en otra báscula que no sea la empleada para pesar los agregados, si el proporcionamiento se hace por bultos. El agregado debe proporcionarse en peso (no debe permitirse el proporcionamiento por volumen); los pesos de proporcionamiento deben sujetarse para compensar la humedad absorbida o superficial.

El agua puede ser proporcionada en peso o volumen. El aparato usado debe ajustarse con facilidad y de contar con aditamentos para su calibración. Las especificaciones deben establecer los límites para estos factores básicos del proporcionamiento de la mezcla, ya sea la relación de agua - cemento máxima, la resistencia mínima, o el contenido mínimo de cemento.

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS

Las condiciones y el equipo son rápidamente cambiantes, en las que se construyen pavimentos y bases de concreto, dictan el empleo de más términos generales de lo que sería ideal en un

Informe de este tipo. Se pretende que este informe sirva de guía en la preparación o selección de especificaciones que aseguren buenos resultados en condiciones normales, utilizando prácticas establecidas y comprobadas.

Sin embargo, en tiempos recientes, ha habido muchos cambios en los equipos para colocar pavimentos rígidos, por lo cual, se deben establecer los suficientes criterios para su construcción de este tipo de pavimentos.

El procedimiento de construcción para una franja de losas de pavimento rígido debe seguir los siguientes pasos :

1.- Se realiza una exploración de la zona donde se construirá la obra, los probables bancos de los materiales pétreos (arena y grava), se muestrean y se llevan a laboratorio para que se realicen las pruebas de clasificación necesarias, con lo cual, previo estudio económico, se decide cual de los bancos se va a utilizar y se recomiendan los tratamientos que se requieren.

2.- Se elige el tipo y marca de cemento portland, así como los aditivos que se usarán y se encuentran las proporciones en que intervendrán : el cemento, agua, arena, grava y la cantidad y tipo de aditivo que se usará por unidad de peso o volumen.

3.- Se extrae el material de los bancos y se transporta hasta el lugar indicado.

4.- Se realizan los tratamientos previos necesarios,

como cribado, triturado, lavado.

5.- Se acarrean los materiales al lugar de mezclado, que puede ser al pie de la obra, si se utilizan mezcladoras de 1 a 3 sacos, o plantas de mezclado.

6.- Se realiza el mezclado de los materiales, para lo cual, se deberán llevar a cabo las correcciones necesarias, principalmente por humedad que contienen los pétreos; así mismo, se hará la calibración de los envases, o la velocidad de bandas o abertura de compuertas, para que de acuerdo a la capacidad de la revolvedora se realice la dosificación de los materiales. No deben de usarse las mezcladoras que producen volúmenes de concreto con menos de un bulto de cemento, teniendo un tiempo de mezclado mínimo de 50 segundos.

Cuando se utiliza equipo sin agitación para transportar el concreto hasta el punto de entrega, la descarga debe concluirse dentro de los 45 minutos siguientes del mezclado.

7.- La sub-base debidamente compactada e impregnada se humedecerá para que no absorba agua del concreto fresco, cuidando de no provocar encharcamientos y una vez mezclados adecuadamente los ingredientes, se realiza el vaciado en los moldes, los cuales se debieron colocar con anticipación y fijados a la sub-base. También se coloca el acero o malla, ya sea que el proyecto marque el uso de pasajuntas o de acero continuo. Este acero debe estar soportado de tal forma, que se encuentre a la mitad del espesor de la losa.

El concreto debe elaborarse y transportarse hasta su

posición final con una segregación mínima y sin causar daño a este. En las obras grandes, deben exigirse extendedores de gusano, de banda o tolva; éstos se operan por lo general desde el acotamiento y llevan el concreto a todo lo ancho del firme. Cuando se empleen pavimentadoras, la pluma y la cubeta pueden desempeñar un buen trabajo, cuando se empleen camiones mezcladores que solo cuenten con canales para depositar el concreto sobre el firme, es recomendable pavimentar de carril en carril. Cuando se construye pavimento sencillo con pavimentadora de cimbra deslizante, se acostumbra depositar el concreto del camión de volteo sobre el firme y, frente a la pavimentadora que tiene un equipo integrado para un extendido correcto del concreto.

En muchos casos, la manera más eficaz de colar grandes áreas de concreto, es en franjas largas, esto permite el acceso a las secciones que se están colando y cortar juntas angostas y transversales al eje longitudinal de las franjas. La secuencia de colocación en forma de tablero de ajedrez se utilizaba anteriormente en un esfuerzo por permitir la contracción de los primeros colados y para obtener una abertura mínima en las juntas. Pero la contracción de los primeros colados ocurre de una manera muy lenta como para que este método sea efectivo. El acceso es más difícil y costoso, y es posible que las juntas resultantes no sean muy uniformes.

B.- El concreto vaciado en el encofrado deberá acomodarse o compactarse por medio de vibradores de inmersión para darle la densidad adecuada, la cabeza del vibrador debe estar totalmente sumergida durante la vibración, en losas de gran

peralte será posible insertar el vibrador verticalmente, mientras que en losas delgadas tendrá que introducirse en ángulo, e incluso tal vez hasta en forma horizontal, no deberá permitirse que el vibrador haga contacto con la sub-base, pues puede contaminar al concreto con materiales extraños.

El paleado en las juntas y bordes, el allanado, las apisonadoras mecánicas y los vibradores, todo es efectivo en cierto grado, pero nada asegura la obtención automática de concreto compacto.

Los vibradores, ya sean internos (de punzón) o de superficie (de artesa o de tubo), pueden dar buenos resultados.

Toda el área del pavimento debe compactarse de la manera más efectiva posible; debe prestarse especial atención a los bordes, tanto a lo largo de la línea central como en otras juntas, el vibrador debe detenerse cuando se detiene la pavimentadora.

Para asegurar una compactación apropiada, es necesario tener especial cuidado alrededor de las varillas de espigas de fijación y de las canastas de apoyo, en los bordes y en las esquinas, o alrededor de los drenes, así como las secciones irregulares que tengan relación con rampas o intersecciones. Después de acomodarse o compactarse el concreto, se procede al enlace, que es el acto de nivelar con escantillón o empujar la superficie de concreto a una pendiente determinada previamente; esto debe hacerse inmediatamente después del colado y consiste en el momento de colado el piso, deberá colocarse una faja angosta de concreto, llamadas maestras mojadas o maestras de concreto, usándose como guías para la nivelación del concreto restante. Inmediatamente después de la colocación de las

maestras mojadas, debe colocarse el área intermedia y el concreto debe extenderse y nivelarse tomando como referencia a las maestras. Mientras se lleva a cabo esta última operación deben llenarse las partes bajas que queden con menos concreto, utilizando una pala y evitando con sumo cuidado la segregación entonces estas zonas se enrasan de nuevo.

Es preciso advertir que las muestras mojadas sólo deben usarse en superficies donde se aceptan las máximas tolerancias, con respecto a desviaciones del plano proyectado. El uso de enrasadoras vibratorias (con las cuales pueden usarse las cimbras de los bordes o rieles para la enrasadora), facilitará las operaciones de enrase después de que la losa ha sido compactada, por medio de vibración interna. Las enrasadoras vibratorias deben moverse hacia adelante tan rápido como lo permita la obtención de una buena compactación. Si no se usán de esta manera, aparecerá demasiado mortero en la superficie del concreto de peso normal o a la inversa, llevará demasiado agregado grueso a la superficie del concreto de peso ligero.

El enrase debe completarse antes de que se presente algún exceso de humedad o de agua de sangrado en la superficie.

9.- Se dará a la superficie el acabado necesario para que tengan el coeficiente de rugosidad que se requiere, cualquier operación de acabado que se realice cuando hay exceso de humedad o de agua de sangrado en la superficie, causará que ésta sea polvosa y que haya escamas. No debe hacerse ninguna operación posterior hasta que el concreto soporte la presión del pie, dejando cuando mucho una huella de sólo 1/4 de pulgada.

La superficie de un pavimento debe incluir texturas tanto finas como gruesas. La textura fina la forma la arena en la capa de cemento-mortero. La textura gruesa la forman los pequeños camellones de mortero dejados por el método de texturización. Se puede aplicar gran variedad de patrones de texturas resistentes al derrape en las superficies de concreto. En diferentes ubicaciones de un mismo proyecto, pueden convenir diferentes texturas, siendo el método de texturización elegido compatible con el medio ambiente, la velocidad y densidad del tránsito, así como con la topografía y geometría del pavimento.

Una superficie con resistencia superior al derrape puede ser necesaria para proporcionar seguridad adicional en áreas críticas, como plazas de peaje, intersecciones conflictivas, pistas de aeropuertos, u otras ubicaciones donde tengan lugar frecuentes frenadas aceleradas o vueltas bruscas. Esta seguridad puede lograrse proporcionando al pavimento una textura o ranurado más profundo que el normal o, si es necesario, introduciendo en la superficie de concreto partículas de óxido de aluminio, carburo de silicón, y otras que sean también resistentes al desgaste. Existen también máquinas acanaladoras especiales, que realizan un trabajo muy fino en la superficie de rodamiento y que además de aumentar la fricción entre llanta y superficie, evitan el acuaplaneo, ya que el agua de lluvia que no drena con rapidez hacia los lados, es atrapada por los pequeños canales al paso de los vehículos.

10.- Inmediatamente después de concluir las operaciones de acabado y de que la película de agua se haya evaporado, o antes de que ocurran daños, toda la superficie del concreto

reción colado debe cubrirse y curarse de acuerdo con alguno de los métodos siguientes: Curado de membrana, Curado con carpetas de algodón o arpilleras; Curado con papel impermeable, curado con hojas de polietileno blanco, Curado con recubrimiento de yute mojado, Curado por aspersión, Curado por encharcamiento, curado por retención de humedad.

Los métodos más eficaces de curado en la mayoría de los concretos, son aquellos en los que se utiliza agua, pero siempre pueden ser los más prácticos. Cualquiera que sea el método que se adopte, el curado debe iniciarse tan pronto como la membrana, o aditivo de curado, pueda aplicarse sin dañar la superficie ya terminada. Para garantizar los mejores resultados, el tiempo de curado variará de acuerdo con el método, con la temperatura y humedad del medio ambiente y con el tipo de cemento.

11.- Se hacen las juntas transversales de contracción, para lo cual, en los lugares señalados por medio de una cortadora de sierra se forman las mozcias que servirá para debilitar la sección del concreto y obligarlo a que se agriete. El serrado se debe realizar entre 24 y 36 horas después de colado, de tal manera que al elaborarse la muestra no se provoquen desprendimientos de concreto a los lados de la sierra. Se deberán sellar lo más pronto posible estas muescas, para evitar que entren en ellas partículas extrañas que puedan provocar concentraciones de esfuerzo y posibles despostillamientos de las orillas de las losas. Antes de colocar el material Sellador, la abertura de la junta debe limpiarse bien y estar seca, el material sellador debe colocarse dentro de la abertura de la

junta, de acuerdo con los detalles indicados en los planos.

Cuando se emplean materiales preformados para el sellado de juntas, como el neopreno (sellador preformado a presión), el ancho sin compresión del sellador debe corresponder a la abertura de la junta, la cual a su vez, debe tener un ancho compatible con el largo de la losa y con las variaciones de temperatura previstas. Para el sellado se pueden utilizar materiales de tipo termostático, como el cemento asfáltico que endurece al enfriarse, o los de tipo de fraguado térmico y curado químico, como el alquitrán de hulla con polisulfuro o poliuretanos.

También se deben efectuar las juntas de expansión, colocando los materiales de relleno y el aserrado en donde se requiera. Las obras no se deben abrir al tránsito hasta que el concreto alcance la resistencia de proyecto. El acceso al piso debe bloquearse con barricadas cuando el acabado ha finalizado, después de haber completado el periodo de curado el piso debe contar con un lapso de dos días para su secado, antes de que se quiten las barricadas y se abra al tránsito de vehículos.

CAPITULO IV. - FIBRAS DE POLIPROPILENO

GENERALIDADES.

Cada año se gastan millones de pesos en la construcción de estructuras importantes como puentes, presas, tanques, edificios, pistas de aeropuertos, entre otras estructuras, y muchos millones más en reparación y restauración de las estructuras deterioradas por la corrosión, el uso y el tiempo. En muchas ocasiones, a los pocos años de haberse terminado la obra.

En nuestros días ha adquirido gran importancia la búsqueda de materiales que revolucionen a los utilizados tradicionalmente (tabique, concreto y acero), para realizar estructuras más durables y resistentes. Uno de los nuevos adelantos en materiales está representado por el concreto reforzado con fibras cortas de pequeña área de sección transversal situadas aleatoriamente en toda la masa del concreto.

La idea de usar un refuerzo de fibras discontinuas y fuertes para reforzar el concreto, parece seducir y retar a muchos constructores. El agregar el refuerzo a la mezcladora en la forma de fibras, es tan simple como poner otro agregado o aditivo, para crear un material moldeable, isotrópico (se dice a los materiales que tienen las mismas propiedades en cualquier dirección), y homogéneo es un sueño que comenzó hace más de un siglo y es ahora una realidad.

El objeto de la inclusión de fibras cortas en matrices

de cemento, es el de mejorar sus propiedades; siendo estas las siguientes: permeabilidad, ductibilidad, fragilidad, apariencia y durabilidad.

Uno de esos nuevos materiales son las fibras de polipropileno que actualmente se utilizan con éxito en más de 30 países, incluyendo a México.

El polipropileno ha sido una fibra verdaderamente milagrosa para muchas industrias, y durante varios años anteriores, ha estado reconocida como parte integrante principal para mejorar las mezclas de concreto. Actualmente el polipropileno y otras fibras sintéticas son las causantes del mayor avance de la tecnología del concreto.

IV.1 HISTORIA

El concepto de usar fibras para mejorar el comportamiento de los materiales de construcción, es viejo e intuitivo.

Algunos ejemplos del uso de fibras para reforzar matrices frágiles y débiles, existen desde los principios de la historia de la humanidad, como es el caso del pelo de caballo y el sisal, se usaron en muros de barro y panales de yeso, la paja constituyó una forma de refuerzo en los adobes, la fibra de asbesto se incluyó en la fabricación de productos horneados de alfarería para darles propiedades también

resistentes. Los romanos también usaban la fibra como refuerzo en muchas de sus construcciones.

Los primeros estudios con fibras de polipropileno datan de principios de los años 60's, cuando la División de Desarrollo de la Armada de los Estados Unidos lo consideró el material sintético más apropiado desde el punto de vista de funcionamiento y economía para el concreto.

En los años 80's fue cuando buscando un material que mejorara la resistencia de sus estructuras contra el impacto de los misiles en el concreto, después de probar muchos materiales químicos, encontraron que las fibras de polipropileno era la mejor opción.

La evolución continuó y culminó en 1983 cuando las fibras fueron perfeccionadas; fue un esfuerzo en conjunto de ingenieros especializados en concreto y la manufactura de fibras sintéticas.

Una de las características más importantes del concreto con fibras, es su alta resistencia al agrietamiento y a la propagación de grietas. Como un resultado de esta capacidad para contrarrestar grietas, el compuesto de fibra - concreto posee alto alargamiento a la ruptura y resistencia a la tensión cuando se presenta la primera y última grieta respectivamente, bajo carga de flexión las fibras pueden sostener la matriz aún después de un agrietamiento excesivo. La ganancia resultante de todo esto, es impartir el compuesto fibra - concreto una alta ductibilidad en el post-agrietamiento el cual

es desconocido en el concreto ordinario.

La transformación de un material frágil a un material dúctil, por medio de las fibras, incrementa consecuentemente las características de absorción de energía del compuesto y su capacidad para resistir cargas de impacto o cargas repetidas según sea el proyecto a realizar.

IV.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las fibras de polipropileno tienen propiedades únicas que las hacen apropiadas para agregarse al concreto. Las fibras son químicamente inertes, no sufren el problema de corrosión y tienen una gran resistencia a los ácidos minerales básicos y sales inorgánicas. Las fibras son muy estables y no absorben agua.

El polipropileno no se afecta por los álcalis en el cemento, y por lo tanto no se debilita en el proceso de envejecimiento, como sucede con los aditivos de vidrio; por ser antioxidante, el polipropileno no manchará el concreto terminado como lo hace el acero.

Debido a su alta calidad y uniformidad las fibras de polipropileno cuentan con la aprobación oficial de organismos tanto públicos como privados, en diferentes partes del mundo incluyendo México.

Las fibras de polipropileno tienen propiedades únicas que las hacen ideales para agregarse al concreto como por ejemplo :

1. - Ser químicamente inertes.
2. - No tener problemas de corrosión.
3. - Tener una gran resistencia a los ácidos minerales, básicos y sales inorgánicas.
4. - Ser muy estables y no absorbe agua.
5. - Tener una gran resistencia a la tensión.

Las fibras de polipropileno son de color claro, con una alta resistencia a la tensión y son comparativamente económicas de usar. Teniendo los siguientes parámetros físicos:

Absorción	Ninguna
Gravedad específica	0.9
Longitud de la fibra	1/2", 3/4", 2" (12, 18, 51 mm)
Punto de ignición	590 °C
Conductividad térmica	Baja
Conductividad eléctrica	Baja
Resistencia a la sal y al ácido	Alta
Resistencia a la tensión, ksi.	80-110 (0.56-0.77 kn/mm ²)
Módulo de young 10 ksi	500 (3.5 kn/mm ²)

EL CONCRETO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

El concreto es uno de los materiales que se utilizan más por las siguientes razones:

Permite realizar estructuras de gran belleza.

Es económico en comparación con otros materiales como por ejemplo, el acero.

Permite realizar estructuras de cualquier forma, ya que el concreto en estado fresco toma la forma del molde que uno desee.

Tiene la rigidez suficiente para hacer estructuras seguras.

Sin embargo, el concreto presenta también algunas deficiencias como pueden ser: tener poca resistencia al impacto, una alta permeabilidad y el que se agriete; por lo cual, una vez que hemos colado y terminado una obra empiezan a asentarse grietas, las cuales, desde el punto de vista arquitectónico pueden ser inaceptables y pueden afectar de manera importante la durabilidad y funcionamiento de la estructura. Aquí es importante hacer notar, que lo que más cuesta y afecta importantemente a las compañías, no es la inversión inicial, si no las pérdidas y problemas que implica el sacar de operación a las estructuras para darles mantenimiento, en muchas ocasiones a los pocos meses de haberse terminado la obra.

En cuanto al agrietamiento, existe una única razón que provoca el agrietamiento del concreto y esta es "Esfuerzos Excesivos". Ahora los esfuerzos excesivos pueden ser

clasificados en dos categorías, Externos e Internos.

Los esfuerzos externos provocados por el diseño, las cargas y el procedimiento constructivo. Los esfuerzos internos por el trabajo mismo, los cuales pueden provocar grietas que podemos clasificar en tres categorías principales: grietas plásticas provocadas por contracción y asentamiento plástico, grietas por contracciones a edades tempranas y grietas por contracciones a edades posteriores.

Los reglamentos tratan el problema de las grietas de acuerdo con la última recomendación; es importante hacer notar que el agrietamiento ha causado problemas en la práctica, esto ocurre frecuentemente porque grietas que deberían sido evitadas, se ha permitido que se presenten, siendo por lo general grietas plásticas, las cuales no pueden ser controladas por el acero de refuerzo por grietas en áreas en donde se presentan esfuerzos no calculados y el refuerzo insuficiente no puede controlar el agrietamiento. Las grietas debidas a cargas externas, rara vez causan problemas en miembros adecuadamente reforzados.

IV.3 PROPOSITOS DE ADICIONAR FIBRAS DE POLIPROPILENO AL CONCRETO

Hay un número de tipos de fibras y materiales que pueden emplearse, y la selección adecuada de la fibra específica para un proyecto determinado debe ser efectuada por un técnico familiarizado con la industria textil y con amplios conocimientos de ingeniería de la construcción. El empleo de fibras

sintéticas es particularmente grande en trabajos lisos, en concreto premezclado y en el segmento de profundición de esta industria; su valor viene a ser como un refuerzo secundario y puede reforzar las mallas de alambre, fibras de acero o fibras de vidrio.

Actualmente el uso del concreto reforzado con fibras ha pasado de, aplicaciones a escala, de laboratorios experimentales a la aplicación en campo y la industria de miles de metros cúbicos anuales por año lo que ha creado la necesidad de revisar los métodos existentes de prueba y desarrollar nuevos productos de fibras, con el propósito de estandarizar los procedimientos y equipo para evaluar efectivamente y comparar los resultados obtenidos a las pruebas.

Existen diferentes propósitos para utilizar fibras en el concreto que son :

- 1.- El primer propósito es controlar el agrietamiento por contracción plástica.
- 2.- El segundo propósito es incrementar la resistencia al impacto.
- 3.- El tercer propósito es incrementar la tenacidad y ductibilidad del concreto.
- 4.- El cuarto propósito es de adicionar fibras al concreto es reducir su permeabilidad.

5.- El quinto propósito es incrementar la resistencia al despedazamiento y la abrasión (resistencia al desgaste por fricción).

6.- El sexto propósito es para prevenir la corrosión del acero de refuerzo.

LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO REDUCEN LA PERMEABILIDAD Y EL AGRIETAMIENTO DEL CONCRETO.

Al colocar el concreto, éste se encuentra en estado plástico parecido al líquido para facilidad de colocación y consolidación. Después de colado, el concreto empieza a asentarse y a perder agua por evaporación por la parte superficial, mientras se aproxima el periodo de fraguado y el cemento empieza a hidratarse. Entonces la transformación del concreto del estado plástico al endurecido empieza a tener lugar, es durante este periodo de asentamiento que el concreto es más vulnerable a las fuerzas y muchos de sus defectos de nacimiento, grietas por contracción plástica y asentamiento plástico, pueden también formarse.

Durante el estado plástico, el concreto pierde agua por evaporación y sangrado que causan que el concreto tienda a contraerse. Esta contracción, no obstante, es conocida como la resistencia debida a las restricciones causadas por la cimbra, la base, el acero de refuerzo, etc; las restricciones tratan de sostener al concreto

Inicialmente, en el éxito de las fibras de polipropileno se debió a su habilidad para controlar el agrietamiento por contracciones en el estado plástico del concreto y prácticamente eliminar dichas grietas. Al principio se pensó que la ventaja era principalmente cualquier losa de piso, banqueta o cualquier área similar visible. Además en lugares donde la losa se cubrió con mosaicos es de notarse que la ausencia de grietas por contracciones plásticas tiene mucho valor, ya que se reduce la posibilidad de que en los mosaicos se presenten grietas por reflexión.

Los investigadores llegaron a la conclusión que la reducción de las grietas por contracción era más importante de lo que originalmente se pensaba. En efecto, la ausencia de grietas por contracción plástica en el concreto es de gran importancia desde el punto de vista de la integridad, resistencia y duración de la estructura, más que de la sola apariencia.

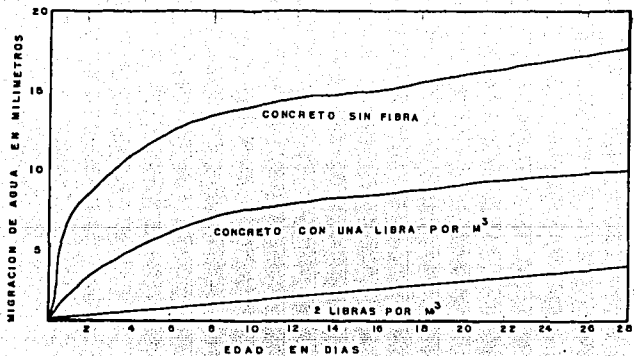
Pruebas realizadas en Webster Engineering Associates, Inc., han demostrado que la adición de fibras de polipropileno al concreto en estado plástico incrementa sustancialmente la resistencia del concreto al agrietamiento por contracción y asentamiento plástico y vibraciones a edades tempranas.

La adición de 900 gramos por metro cúbico de fibras de polipropileno de $3/4$ (19 mm.) al concreto, incrementan la capacidad del concreto contra el agrietamiento en el estado plástico, así como en el estado endurecido a edades posteriores. Esto es particularmente importante, puesto que una gran cantidad de las grietas del concreto ocurren en las primeras 12 horas

después del colado, en este periodo, el concreto es más susceptible a las vibraciones, contracciones y asentamiento plástico.

El agrietamiento a edades tempranas del concreto de las estructuras afecta el incremento neto de la permeabilidad del concreto y debido a que grandes áreas de la superficie de las estructuras se ven expuestas a el medio ambiente, principalmente a las estructuras ubicadas en las costas, se reduce sustancialmente la vida útil de las estructuras, al verse expuestas a la humedad, sales y cloruros llevados por la brisa marina que penetran el concreto y provocan el deterioro y la corrosión del acero de refuerzo por temperatura y ocasionan que se gaste mucho dinero en reparaciones, en muchos casos a los pocos años de terminada la obra.

Como resultado de las pruebas realizadas por diferentes laboratorios hemos visto que la adición de fibras reduce el porcentaje de los iones de cloruro, de forma que retarda la corrosión de las barras de acero. Las pruebas indican que el acero en el concreto reforzado con fibras de polipropileno, requieren del doble de tiempo para que se inicie la corrosión en comparación con las barras en el concreto sin fibras. Como se puede observar en la siguiente gráfica, un aumento en la cantidad de fibras de concreto mejora casi en la misma proporción las características de permeabilidad del concreto.



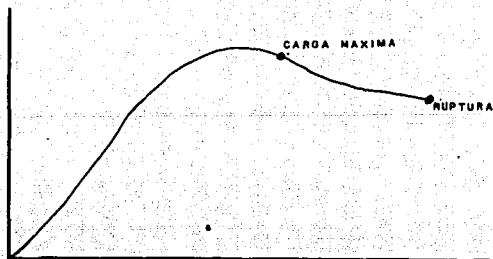
Gráfica.- Efecto de las fibras en la permeabilidad del concreto.

COMO INCREMENTAN LA TENACIDAD DEL CONCRETO LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO.

La conducta de pos - agrietamiento del concreto reforzado con fibras de polipropileno proporcionan gran tenacidad. Las fibras de polipropileno pueden absorber mayores cantidades de energía y continúan soportando la carga después de que ocurre el agrietamiento. Esta tenacidad, es definida como la absorción de energía anterior a la separación completa del concreto, ha demostrado incrementos significativos en las pruebas realizadas.

Los esfuerzos de flexión o " grieta inicial " ocurren primero en el concreto simple que en el concreto reforzado con

fibras como se observa en la siguiente grafica :



Características de la curva Esfuerzo-Deformación del concreto reforzado con fibras de polipropileno.

En el concreto reforzado con fibras de polipropileno el aprietamiento ocurre cuando el material está sujeto a deformaciones más allá del alargamiento a la ruptura de la matriz (concreto), del mismo modo que en el concreto reforzado ordinario cuando este es reforzado en la zona de tensión más allá del alargamiento a la ruptura del concreto. La manera como actúan los componentes fibra-concreto es entonces la más importante, especialmente sobre la última parte de la curva esfuerzo - deformación, donde un incremento en el número de grietas en la matriz hace que el refuerzo tome todo y aún, una porción más grande de la carga en la zona de tensión.

El concreto reforzado con fibras contiene suficientes

fibras para que tomen todo el esfuerzo a tensión donde quiera que la matriz se agriete, y además las fibras están tan bien ancladas por todas partes que el material puede tolerar deformaciones considerables más altas antes de la ruptura final; este incremento en la deformación no se debe tomar en cuenta para el diseño.

Las fibras sintéticas ofrecen mejoras significativas cuando se integran a las mezclas de concreto. La resistencia del concreto incluyendo la compresiva, flexional y las propiedades de resistencia, aumentarán cuando se adicionen las fibras en cantidades controladas; la permeabilidad se reducirá en un 70 %, la tenacidad del concreto se mantiene en toda la masa del concreto debido a la completa distribución de las fibras.

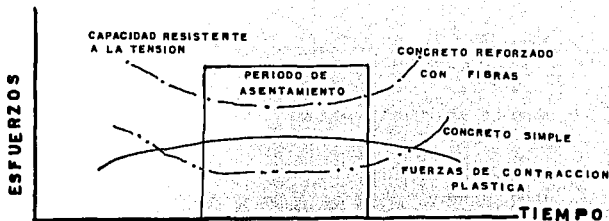
Durante el estado plástico, el concreto pierde agua por evaporación y sangrado que causan que el concreto tienda a contraerse. Esta contracción, no obstante, es conocida como la resistencia debida a las restricciones causadas por la cimbra, la base, el acero de refuerzo, entre otros. Las restricciones tratan de sostener al concreto en su lugar y provocan fuerzas de tensión en el concreto que trata de contraerse; estas fuerzas de contracción plástica son pequeñas al principio, pero pueden crecer rápidamente durante el fraguado dependiendo de estas y de la tendencia a la contracción. Estas pueden ser liberadas únicamente por causa de las grietas que se forman en el concreto; después de que el concreto ha endurecido, las fuerzas provenientes de la contracción son menores y eventualmente se estabilizan en niveles de energía menores.

Durante el estado plástico, el concreto exhibe una gran resistencia a los esfuerzos de tensión (el agua no sufre grietas) por consiguiente, tiene una alta capacidad a la tensión. Dos factores ocurren mientras el concreto está en estado plástico:

- 1.- Las fuerzas de contracción plástica son bajas.
- 2.- La capacidad para resistir las fuerzas de contracción plástica es alta.

Cuando el concreto entra en el periodo de fraguado éste empieza a perder la capacidad para resistir las fuerzas, y las fuerzas de contracción plástica empiezan a incrementarse; comúnmente habrá un periodo de tiempo cuando la energía de las fuerzas de contracción plástica puede exceder la capacidad de las fuerzas de tensión del concreto durante el tiempo de fraguado. Es aquí donde el concreto puede desarrollar muchas grietas de contracción plástica comunes; siendo estas grietas que pasen a través de la losa, pueden ser inmediatamente visibles o éstas pueden ser tapadas superficialmente durante el terminado y únicamente se volverán visibles a edades posteriores.

Las fibras de polipropileno, al ser agregadas al concreto aumentan su capacidad resistente a la tensión durante el periodo de fraguado como se muestra en la siguiente figura. Reduce grandemente o elimina el potencial del agrietamiento por contracción plástica. Esto permite al concreto endurecerse y ganar resistencia sin grietas, las cuales reducen su diseño estructural designado a la obra; lo cual, da al concreto la oportunidad de formarse con pocos defectos de nacimiento y le permite alcanzar su integridad de diseño.



GRAFICA DE PRINCIPIO DE LOS ESFUERZOS DE TENSIÓN Y CAPACIDAD RESISTENTE DEL CONCRETO A EDADES TEMPRANAS.

MODULO DE ELASTICIDAD.

El módulo de elasticidad que más comúnmente se emplea en la ingeniería es el módulo de la secante. El secante de módulo estático para el concreto con fibras sintéticas fue determinado sobre la base de 40 por ciento de los 28 días de resistencia a la compresión, según el siguiente gráfico, el valor de $E = 2.96 \times 10^6$ psi (20.72 KN/mm²). El valor de E fue tomado del promedio de resistencia a la compresión del concreto de control. De acuerdo con el código de construcción ACI, los valores siguientes son aceptables :

Resistencia a la compresión :

- 2000 psi (14 N/mm²).
- 3000 psi (21 N/mm²).

Módulo de elasticidad :

- 2.58×10^6 (17.92 KN/mm²).
- 3.16×10^6 (22.12 KN/mm²).

Las fibras de polipropileno son un material seguro, convenientemente, fácil de usar y colocar tridimensionalmente, dentro del concreto, por sus diferentes cualidades pueden incrementar la resistencia al impacto, reducir y prevenir la corrosión del acero de refuerzo.

IV.4 .- MEZCLADO.

Las fibras sintéticas de polipropileno pueden ser agregadas en la planta dosificadora o en el lugar de trabajo. Las fibras deberán agregarse a la revoltura y se mezcla lentamente (toma aproximadamente un minuto agregar a la mezcla cinco bolsas). Las fibras se agregan a la revoltura y se mezclan a la velocidad normal, la segregación o formación de bolsas de fibras son extremadamente raras, pero pueden aparecer mezclas secas (revenimiento) o en presencia de un porcentaje alto de grava, siendo siempre deseable verificar durante la descarga si están bien mezcladas las fibras.

Se puede agregar a la mezcladora de un saco de cemento una proporción adecuada de estas fibras (150 gramos) o se puede revolver manualmente en seco. Se recomienda agregarlas en la planta después de la arena, grava, cemento y agua han sido mezclados; si la revolvedora tiene más de 4 metros cúbicos, será necesario girar la olla en sentido contrario para que la mezcla suba y se acorque al punto de descarga de las fibras de polipropileno.

La proporción de fibras de polipropileno por cada metro cúbico de concreto es de 900 gramos de fibras.

El mezclado con el concreto de las fibras de polipropileno hacen que los millones de fibras sintéticas trabajen para prevenir las grietas por contracción y asentamiento plástico que se forman principalmente durante las primeras horas, cuando el concreto no ha alcanzado toda su integridad, las fibras de polipropileno automáticamente le proporciona estabilidad dimensional para tomar las fuerzas de contracción que se presentan en el concreto fresco o en el proceso de fraguado.

ACABADO EN EL CONCRETO.

El terminado de un concreto en que se utiliza las fibras de polipropileno es el mismo para un concreto normal, no se requiere de ninguna herramienta en especial. La adición de fibras puede reducir el revenimiento del concreto hasta en un 20% lo que puede crear la ilusión de necesitar más agua, pero no se debe de permitir la adición de agua a la mezcla para devolverle su revenimiento original.

Un concreto que contenga fibras de polipropileno con revenimiento de 10 cm; tiene la misma trabajabilidad que un concreto simple de 12 cm de revenimiento, si se necesita en la obra un revenimiento mayor, deberá usar un aditivo

superfluidificante o un reductor de agua; porque al agregar más agua a la mezcla, hará que el concreto pierda resistencia al primer diseño que fue propuesto.

Una de las preguntas, es que si se pueden ver las fibras después del terminado del concreto. En principio, la fibra únicamente aparece en la construcción de pisos, nunca en muros y trabes.

Las fibras aparecen según la incidencia de cómo se haga el terminado y del revestimiento que tenga el concreto; en concretos secos, la presencia de la fibras en la superficie es menor que en revestimientos altos; en el concreto pulido con llana de mano, usualmente aparecen más fibras que si el pulido se hace con allanadora mecánica; si el terminado es escobillado, usted podrá ver las fibras, pero solamente de cerca.

Como regla general, la presencia de fibras en la superficie del concreto es aceptable; si por alguna razón de construcción o por el dueño de la obra, la presencia de las fibras es inaceptable, estas pueden eliminarse de la superficie con una flama de gas; nunca debe utilizarse quemadores de petróleo o gasolina ya que estos manchan la superficie del concreto.

La utilización de las fibras de polipropileno se debe agregar cuando :

1.- El control del agrietamiento del concreto resultante de esfuerzos internos.

2.-Un método más eficiente y económico que la malla

electrosoldada.

3.- Para obtener una reducción en la permeabilidad del concreto.

4.- Tener una mayor resistencia al despedazamiento e impacto del concreto.

5.- Dar soporte y cohesión del concreto en planos inclinados en colocación de cimbras deslizantes.

6.- Mayor resistencia a la fatiga.

7.- Obtener una mayor durabilidad de las estructuras.

8.- Colocación en donde no debe haber materiales metálicos.

9.- Areas que requieren de materiales antialcalinos y resistentes a los productos químicos.

NO ESPECIFIQUE FIBRAS PARA:

1.- El control de grietas resultante de fuerzas externas (estructurales).

2.- Desarrollar una resistencia estructural mayor.

- 3.- La justificación de una de las columnas de soporte.
- 4.- Para la reposición de acero estructural.
- 5.- La eliminación ilimitada de las juntas de control.
- 6.- El adelgazamiento de secciones de capas sobrepuestas unidas o sin unir.

IV.5 APLICACIONES Y TIPOS DE FIBRA.

Las fibras de polipropileno vienen en varias presentaciones y dimensiones según la fábrica de procedencia.

Las fibras de polipropileno del tamaño de 3/4" , está diseñado para utilizarse en todo tipo de concreto, teniendo entre sus usos en la construcción de :

- a.- Pisos y pavimentos de concreto, residenciales, industriales, para tránsito ligero y pesado.
- b.- Capas de compresión de sistemas de vigueta y bovedilla.
- c.- Estacionamientos y canchas deportivas.
- d.- Concreto lanzado y concreto ligero.

e. - Tubos de concreto, banquetas, canales, diques marinos.

f. - Cubiertas de puentes, cimentaciones, patios y viviendas.

Fibra de polipropileno de 2", este tipo de fibra se utiliza en la proporción de 1350 gramos por metro cúbico de concreto para la construcción de:

- a. - Plantas de tratamiento.
- b. - Diques marinos.
- c. - Tanques de almacenamiento.
- d. - Albercas.

Algunas aplicaciones realizadas con estas fibras son:

1.- Nave Industrial Hérdez, se construyeron 5000 metros cuadrados de pisos reforzados con fibra de 3/4", en Ensenada Baja California.

2.- Lago artificial en zona recreativa, se construyeron 3,500 metros cuadrados del piso y las paredes del lago, se construyó con malla y fibra de 3/4", para evitar el agrietamiento y reducir la permeabilidad, en Monterrey, Nuevo León.

3.- Centro Comercial Galerías Reforma. Se colocaron 7,004 m³ en paredes, columnas y pisos. Carretera México-Toluca, Distrito Federal.

- 4.- Viviendas , en el colado en casas de interés social.
- 5.- Pavimentación de calles, en la sustitución de la malla electrosoldada en Ensenada Baja California.
- 6.- Centros comerciales, como las Galas, en el Estado de Veracruz.
- 7.- Postes de alumbrado, en Guadalajara, Tuxpan y Veracruz; la Comisión Federal de Electricidad especifica que, el uso de la fibra de polipropileno en la fabricación de sus postes para reducir los problemas de corrosión del acero y aumentar su durabilidad.
- 8.- Auditorios, para pisos de cancha de basquet ball, en el auditorio de la ciudad de Lerdo, Coahuila.
- 9.- Pisos sobre lámina Romsa, obras en el Centro Financiero Banamex.
- 10.- Tubos, fábrica de tubos de concreto en el Estado de Veracruz.
- 11.- Edificios altos, la torre 63 en el Banco Allied en Dallas, con estructura de acero, se utilizó concreto bombeado con fibra de polipropileno. La compañía contratista HCB reconoce la contribución de las fibras de polipropileno para terminar rápidamente los pisos, eliminando la malla electrosoldada.
- 12.- Usos marinos, en obras marítimas en Canadá.

Otro tipo de fibra de polipropileno de dimensiones de 1/2", es una fibra sintética especial, diseñada para usarse en estuco, concreto y mezclas de gravilla. Brinda una gran resistencia al alto impacto, despedazamiento, abrasión, a la vez que sirve para controlar las grietas y reducir el tiempo de ejecución; siendo totalmente antiálcaldina.

Las ventajas de utilizar este tipo de fibras son:

- a.- Fácil de usar, simplemente se le agrega a la mezcla.
- b.- Produce un concreto resistente al despedazamiento, dúctil y no quebradizo; reduce los desechos y las grietas producidas en el manejo y embarque de unidades prefabricadas.
- c.- Inhibe las grietas producidas por el cambio de volumen, debido a la contracción por el secado.
- d.- No le afectan productos químicos ni la corrosión.
- e.- Hace más resistentes las unidades prefabricadas al estuco y a las mezclas o concretos.

USOS:

La fibra de polipropileno de 1/2", puede ser utilizada con material seco preempacado, estuco, mortero, concreto lanzado o bombeado y aplicaciones similares; recomendándose para bombas

pequeñas tales como pistolas de rocío y bombas de estuco de 2" (51 mm). Es ideal para tejas y bloques de concreto prefabricados, aplanados, secciones delgadas y blocks de concreto.

Este tipo de fibra está disponible en una variedad de tamaños y tipos, tanto en forma fibrilar como en monofilamentos; cada uno está diseñado para adaptarse a uno o más de los muchos usos diferentes y procesos para producir estuco y productos de concreto.

La fibra de polipropileno de 1/2", se utiliza a razón de 900 gramos por cada metro cúbico de estuco seco o mezcla de concreto; las cantidades pueden variar en el caso de especificaciones especiales y de acuerdo con los resultados que se desee obtener teniendo que recurrir con un representante con conocimientos a cerca de estas fibras.

En la industria de la construcción, se utiliza de distintas formas según sea el tipo de obra para pisos, aplanados, recubrimientos para canales de riego o túneles. Estas fibras ofrecen al concreto numerosos beneficios a un costo muy razonable, que sólo pueden lograrse bajo buenas prácticas constructivas, pero no pueden hacer que un concreto malo se transforme en uno mejor, pero si, un concreto bueno se transforme en uno mejor que alcance su potencial y el destinado para la estructura.

Las características de estas fibras son:

Fibras polipropileno de 2" y 3/4".

Absorción	Ninguna
Gravedad específica	0.0
Punto de ignición	590°C
Conductividad térmica	Baja
Conductividad eléctrica	Baja
Resistencia a sales y ácidos	Alta
Resistencia a la tensión	0.75 Kg/cm ²

Características de fibra polipropileno de 1/2 " .

Absorción	Ninguna
Gravedad específica	0.0
Punto de ignición	590°C
Conductividad térmica	Baja
Conductividad eléctrica	Baja
Resistencia a sales y ácidos	Alta
Resistencia a la tensión	0.75 Kg/cm ²

Existen otras fibras de polipropileno denominadas fibrocemento.

Es un producto de polipropileno 100 % virgen que integra racionalmente redes fibrosas poliméricas para aplicaciones de ingeniería en el uso de concreto. Está formado a base de redes poliolefinicas fabricadas exclusivamente para ser empleadas en la elaboración de concretos.

Esta fibra logra un refuerzo secundario multidireccional que con muchas ventajas sustituye a la malla de acero electrosoldada para refuerzo convencional por temperatura, ahorrando tiempo de construcción y abatiendo costos de colocación y transporte.

Esta fibra de polipropileno es un producto de fácil aplicación que no altera la dosificación del concreto, por lo cual, se tiene diversos campos de aplicación, como por ejemplo :

- *.- Losas de concreto interiores o exteriores.
- *.- Cubiertas de concreto en estructuras de metal.
- *.- Concreto lanzado.
- *.- Concreto precolado.
- *.- Productos precolados como block, vigueta y bovedilla.
- *.- Tuberías de concreto.
- *.- Pavimentos hidráulicos.
- *.- Concretos asfálticos.
- *.- Recubrimientos de concreto de taludes, canales y puestas.

Las investigaciones realizadas garantizan su alta calidad y funcionamiento de este tipo de fibras de polipropileno realizándose estudios de:

- 1.- Resistencia a la compresión.
- 2.- Resistencia a la tensión.
- 3.- Flexión.
- 4.- Agrietamiento de concreto endurecido.

Los resultados obtenidos al adicionar las fibras de polipropileno al concreto, son los siguientes :

a.- Cohesión	Alla.
b.- Resistencia a la tensión (Kg/cm^2)	+ 15 %
c.- Flexión (Kg/cm^2)	+ 12 %
d.- Agrietamiento	- 05 %
e.- Trabajabilidad	Buena.

El producto ha sido aplicado con éxito en reconocidas instituciones como por ejemplo :

- 1.- Condominios Mismaloya en Puerto Vallarta, Jalisco.
- 2.- Construcciones de vivienda de interés social,

actualmente se han construido, cinco mil viviendas en toda la república, incluyendo diferentes sistemas constructivos, como son Mecano, Vigüeta y bovedilla, etc.

3.- Construcción de naves para la industria maquiladora en Ciudad Juárez, Ensenada, Hermosillo, Cd. Acuña, Piedras Negras, Nuevo Laredo, Guadalajara y en las ciudades más importantes del país.

4.- Planta de tratamiento de aguas, (Sapajal) sistema de agua potable del estado de Jalisco (Jocotepec, Jalisco).

Las especificaciones técnicas de fibras de polipropileno son :

• Resistencia química	Alta.
• Resistencia salina	Alta.
• Resistencia Alcalina	Alta.
• Resistencia térmica	Baja.
• Densidad	56 Lb/ft ³ .
• Módulo de elasticidad	0.7 x 10 ⁶ psi.
• Elongación a la ruptura	(ASTME - 84) 8%
• Resistencia a la tensión	70,000 psi.
• Gravedad específica	0.9
• Conductividad eléctrica	Baja.
• Absorción	Ninguna.
• Color	Neutral.
• Largo de la fibra	3 cms.

El modo de empleo o de agregación de este tipo de fibras de polipropileno al concreto, es de la siguiente manera :

En obra: adicionar la fibra de polipropileno en la olla revoladora junto con los agregados pétreos y el cemento, a la velocidad de mezclado normal durante cuatro minutos, posteriormente se le agrega agua y se completa el ciclo.

En concreto Premezclado: Añadir la fibra de polipropileno a la olla revoladora a la velocidad de mezclado normal durante siete minutos; es indispensable no reducir el tiempo de mezclado una vez adicionada la fibra porque sólo de esta manera se podrán abrir adecuadamente los filamentos de la red, siendo una dosificación por metro cúbico de 900 gramos de fibra.

Por lo cual, las redes fibrosas poliméricas o fibras de polipropileno es un producto de fabricación y patente 100 % mexicana, su producción es realizada bajo un estricto control de calidad y con respaldo de investigaciones constantes referentes a la aplicación de fibras sintéticas, en las aplicaciones de ingeniería, en el uso del concreto, siendo las pruebas de laboratorio periódicas para determinar resistencia, flexión, compresión, tensión, agrietamiento.

CAPITULO V . DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

GENERALIDADES.

Muchas y muy variadas soluciones teóricas, se han generado en los últimos años en relación al diseño de pavimentos rígidos, así como en lo referente a las técnicas de rehabilitación, especialmente en aquellos países en donde el pavimento de concreto tiene un uso común no sólo en carreteras sino también en áreas urbanas. Las técnicas utilizadas en diferentes partes del mundo han sido muestreadas y discutidas en forma excelente en diferentes conferencias internacionales, las distintas teorías, que consideran los esfuerzos y deformaciones producidas en las losas de concreto colada sobre una subrasante o sub-base, tienen de una u otra forma algo en común con la teoría elástica desarrollada originalmente por H.M. Westergaard en 1927 teniendo una gran aceptación hasta nuestros días, y de ellas se han derivado muchas otras modificaciones.

Más tarde se desarrolló la teoría de diseño por fatiga, apoyada principalmente en tránsitos experimentales, en los cuales se investigó conjuntamente un gran número de parámetros relativos a los materiales, tipo de cargas vehiculares y aspectos climáticos, siendo quizás el tramo de prueba AASHO (1950, ahora AASHTO), el mejor ejemplo, los métodos empíricos, resultado de dicha investigación, se siguen usando hasta nuestros días.

Otro principio de diseño considera una estructura múltiple de capas (multicapa) donde cada una es considerada homogénea y linealmente elástica con extensión lateral infinita,

la subrasante es considerada infinita en profundidad y B. F. MC Cullough, recomienda este método en particular para el diseño de espesores de recubrimientos en pavimentos de refuerzo continuo, aunque en algunos países europeos lo usan indistintamente para pavimentos flexibles o rígidos.

Desde la década de los setentas hasta ahora se ha utilizado el diseño de pavimentos rígidos en base a la teoría del elemento finito, que sigue considerando a las losas de concreto como elementos finitos y homogéneos, isotrópicos y elásticos en sus propiedades, asumiendo que la subrasante de apoyo se comporta como un líquido denso. El objetivo de este método es de resolver una serie de ecuaciones que se plantean, en las cuales se relacionan los desplazamientos nodales, desconocidos de cada elemento finito del pavimento y las relaciones fuerza-desplazamiento para todos los nodos en el modelo propuesto. Este método es más complicado porque se aumenta el número de ecuaciones que se deben de resolver a medida que se propone un modelo cada vez más completo de la estructura del pavimento, por lo cual se requiere de mucha capacidad de computadora así como de tiempo de la máquina; siendo esto antieconómico todavía en nuestros días.

Con referencia al diseño de pavimentos rígidos, la mayoría de las veces se podría sugerir espesores iniciales de diseño con base a la experiencia, por ejemplo en el caso de carreteras se podría tener:

Tipo de carretera	Espesor
Camino rural	13 cm.
Camino secundario	18 cm.
Para tráfico pesado	23 cm.
Interestatal	25 cm.

Esto significaba, que el diseño final podría alojar tal vez un par de pulgadas más o fracciones menos, dando a entender que por muy sofisticado que fuera el método de diseño, difícilmente éste podría arrojar espesores muy diferentes a los experimentados como buenos en las carreteras del país.

En México existe muy poca experiencia propia en el diseño y construcción de pavimentos de concreto, en el primer caso esto se debe a la nula investigación teórico-práctica que se realiza y en el segundo porque no es común la construcción de este tipo de obras. Esto último es una lástima porque el constructor mexicano es tan capaz como el mejor del mundo. Como se dice en los cuentos, hubo una época en que se construyeron literalmente a mano, pavimentos de concreto, en algunas ciudades de México, tal vez en los cincuenta, algunos de estos pavimentos aun sigue funcionando, a pesar de que muchos de ellos están fallados, resulta más cómodo pasar sobre ellos que encontrarse con un pequeño bache en un pavimento asfáltico; evidentemente esta época de avance en la pavimentación con todo y sus posibles defectos se detuvo, y en muchos lugares estos viejos pavimentos fueron cubiertos con esa cosa negra (asfalto), en ocasiones innecesariamente, a veces para cubrir defectos de diseño y construcción y otras por ignorancia acerca de los procedimientos.

de rehabilitación. Contrariamente a la suerte que han corrido las carreteras, existen en México un buen número de pavimentos de concreto que prestan inmejorable servicio.

V.1 FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO

El tráfico pesado y la explanada son dos factores fundamentales que afectan el comportamiento de los firmes, y todos los métodos modernos de dimensionamiento los cualifican mediante patrones similares que, en esencia, miden respectivamente el tráfico pesado que ha de resistir el firme y la capacidad de soporte de la explanada; se examina también brevemente el factor climatológico, que en nuestro país tiene un carácter secundario. El factor tráfico pesado, es la instrucción que da reglas sobre el periodo y el carril de proyecto; estableciendo finalmente una categoría de tráfico pesado para el dimensionamiento de los firmes.

PERIODO DE SERVICIO.

Los firmes se proyectan para el tráfico previsto durante un cierto periodo de servicio, concepto teórico difícil de definir exactamente. Puede decirse que es el periodo durante el cual se espera que las fallas producidas por el tráfico en el firme que se proyecta no alcancen un grado incompatible con la comodidad del usuario; dicho de otra manera, se espera que durante el periodo de servicio no sea necesario un refuerzo de cierta consideración, es decir, más allá de los supuestos de la conservación ordinaria o, como mucho, de una rehabilitación.

Mientras para los firmes flexibles y semirígidos se ha considerado un periodo de proyecto de 20 años, en los firmes rígidos es en cambio de 30 años; en este caso se trata de un plazo mínimo, dada la gran durabilidad de este tipo de firmes y la íntima repercusión que tendría un plazo menor en el espesor del pavimento (a lo sumo un par de centímetros de concreto).

CARRIL DE PROYECTO.

En general el espesor del firme es uniforme aun cuando no lo sea la sollicitación del tráfico, en este caso el carril de proyecto es aquél por el que circula el mayor número de vehículos pesados, que son los determinantes en el proyecto del firme. Cuando hay dos o más carriles por sentido, existe la posibilidad de estudiar por separado los carriles y de llegar a una sección transversal con capas del firme de espesor variable linealmente.

VEHICULOS PESADOS

A efectos de proyecto, sólo se consideran los vehículos pesados. La estructura del firme está en función de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) que se prevee para el carril de proyecto en el año de puesta en servicio.

En las normas de 1975, la sollicitación de tráfico se definía por el número acumulado de ejes equivalentes de 13 t esperados en el carril y periodo de proyecto. Este parámetro es también el utilizado por muchos métodos modernos de

dimensionamiento de firmes, aunque con un eje patrón de peso inferior a las 13 t, que es el máximo admitido en España y en México el de 8.2 t.

La IMDp inicial ha de estimarse a partir de los aforos existentes y de los datos disponibles para prever su evolución, especialmente del tráfico inducido y generado después de la puesta en servicio, que puede cambiar la categoría de tráfico pesado.

Si no se dispone de datos concretos sobre asignación por carriles, se admitirá lo siguiente:

Tipo de calzada	Vehículos pesados Sobre el carril de proyecto.
2 carriles y doble sentido de circulación	50 %
2 carriles y sentido único de circulación	100 %
3 ó más carriles y sentido único de circulación	80 %

CATEGORIAS DE TRAFICO

Estimada la intensidad media diaria de vehículos pesados IMDp en el carril y periodo de proyecto, se establecen 5 categorías de tráfico pesado, definiendo unos intervalos que suponen un salto significativo, pero pequeño, en el espesor de firme necesario (2-3 cm para pavimentos de concreto).

CATEGORIAS DE TRAFICO PESADO	IMDp
T0	$IMDp > 2000$
T1	$2000 > IMDp > 800$
T2	$800 > IMDp > 200$
T3	$200 > IMDp > 50$
T4	$IMDp < 50$

Los firmes de autopistas y autovías han de proyectarse como mínimo para la categoría T1, es decir que la IMDp inicial mínima considerada para estas vías es de 800 vehículos pesados en cada sentido.

Por último, en las calzadas con dos o más carriles de circulación por sentido, la categoría de tráfico pesado de los carriles, que no suan el exterior no puede ser inferior en más de una a la del carril exterior. Esta cláusula es particularmente conservadora en calzadas con 3 o más carriles de circulación.

V.2 ESTRUCTURAS DE FIRMES RIGIDOS EN CALZADAS.

Los criterios generales, ya adoptados en 1975, pueden reunirse en los siguientes puntos:

- 1.- Los firmes deben asentarse sobre explanadas constituidas por materiales que reúnan unos requisitos mínimos, claramente establecidos.

2.- Son capas de firme las de pavimento, subbase y base, pudiendo no existir esta última.

3.- El tratamiento a dar a terraplenes, pedraplenes y desmontes debe ser congruente; la situación anterior a 1975 era en este punto especialmente desigual, pues mientras en los terraplenes se exigía una coronación de 0.50 m de materiales adecuados y un núcleo de materiales tolerables, con unas prescripciones rigurosas, en los desmontes no se exigía a los suelos de la explanada una cierta calidad ni un espesor determinado. La escasez de materiales locales apropiados y la cada vez más obligada utilización de los materiales de la propia exploración, hacen recomendable el empleo de los suelos estabilizados con cemento o con cal.

4.- La capacidad de soporte de la explanada se evalúa mediante el índice VRS.

5.- Se considera fundamental el adecuado drenaje de la explanada, no aceptando la posibilidad de un drenaje deficiente a compensar con un mayor espesor del firme.

6.- Las características de los materiales quedan especificadas en el pliego de Prescripciones Técnicas Generales y en las Prescripciones Complementarias. Se establecen 3 categorías de explanada de capacidad de soporte creciente:

E1	$5 < VRS < 10$
E2	$10 < VRS < 20$
E3	$20 < VRS$

La categoría E1 corresponde a las explanadas normales, utilizadas hasta ahora, por ejemplo, en terrapienes con coronación de suelo adecuado; a partir de 1985 este tipo de explanada se considera como insuficiente para carreteras importantes con un tráfico pesado e intenso, como las autopistas y autopistas, por lo que no se admiten.

En 1975 se aplicó el método original VRS de cálculo de espesores de firme al caso de un terraplén constituido por un núcleo y una capa de coronación de diferentes VRS, obteniéndose el espesor de material necesario sobre cada zona del terraplén para un tráfico dado. Por diferencia se calculó el espesor de la capa de coronación (de VRS dado) para el VRS del núcleo.

Una clasificación de la explanada más tradicional en los firmes rígidos se basa, por ejemplo, en el módulo de reacción K, no mejoraría el proyecto del firme y complicaría el trabajo del proyectista, en particular al estudiar soluciones equivalentes de firmes rígidos y flexibles. Por ello el factor explanada tiene la misma consideración para ambos tipos de firme, salvo justificación en contrario, las explanadas se tramificarán de forma que cada tramo se una cierta categoría tenga al menos una longitud de 500 m. El análisis pormenorizado del factor explanada y de los problemas que pueden aparecer en las explanaciones se analizan en otro lugar.

DRENAJE.

El criterio seguido es categórico en cuanto a la necesidad de asegurar un drenaje adecuado a la explanada firme.

Se exige que la explanada quede al menos a 60 cm por encima del máximo nivel freático donde el suelo sea seleccionado, a 80 cm donde sea adecuado y a 100 cm donde sea tolerable; cuando ello no suceda se adoptarán las medidas adecuadas de elevación de rasante, profundización de cunetas, colocación de drenes subterráneos, interposición de geotextiles o de una capa drenante, etc.

También llama la atención sobre el interés de asegurar la evacuación de las aguas infiltradas a través de las capas del firme de la calzada y arcenes o a través de la junta entre éstos. Estos puntos requieren sin duda mayores precisiones y puede que las reciban en la futura norma de drenaje subterráneo.

EL FACTOR CLIMA.

Aunque el clima se reconozca como un factor a considerar en el comportamiento de los firmes, son muy pocos los métodos que tienen en cuenta algún aspecto del mismo por la dificultad de estimar cuantitativamente su influencia. En la instrucción, únicamente se dan directrices relacionadas con el clima al que va a estar sometido el firme para las juntas transversales de contracción de los pavimentos. Se distinguen dos zonas pluviométricas (zona lluviosa y poco lluviosa) según que la precipitación media anual sea o no superior a 800 mm. En calzadas con dos o más carriles por sentido de circulación será posible dimensionar por separado cada carril, la categoría de

tráfico pesado de cada carril no podrá diferir en más de una unidad y la variación de espesores será transversalmente lineal, manteniéndose el espesor mínimo normalizado en el borde izquierdo de cada carril. Hay que indicar que los espesores indicados son mínimos en cualquier punto del carril del proyecto, por lo que el espesor medio colocado ha de ser necesariamente 1 - 2 cm, superior. Las cuantías geométricas de las armaduras longitudinal del acero corrugado de alto límite elástico será de 0.7 %, con un concreto de alta resistencia o de un 0.5 % con un concreto de baja resistencia, a primera vista puede parecer paradójico que el concreto más resistente a flexotracción requiera también más armaduras, pero hay que recordar que la cuantía necesaria es directamente proporcional a la resistencia a tracción del concreto.

Así, por ejemplo, en el caso de una autovía de tráfico T1 (carril de proyecto) y dos carriles por sentido, el pavimento de concreto vibrado puede tener un espesor de 25 cm, o bien tener una sección trapezoidal; en este caso y como el carril interior ha de tener un espesor mínimo de 23 cm se hace una sección trapezoidal si se requiere ahorrar en economía.

En las categorías de tráfico pesado T0, T1 y T2, las losas se apoyan en una subbase no erosionable de suelo estabilizado, teniendo un contenido mínimo de cemento del 5 % y una resistencia a la compresión simple a los 7 días de 8 MPa; en el caso usual de empleo de un cemento de tipo V, este valor puede reducirse en un 15 % para tener en cuenta el aumento más lento de las resistencias que genera este tipo de cemento.

V.3 INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.

Las características que podemos observar en un pavimento de concreto se deben principalmente a la estructura y propiedades de este material, por ejemplo :

RESISTENCIA.- El pavimento de concreto posee una superficie muy dura, dureza que depende de la resistencia del material y que simplemente no puede ser alcanzada por el concreto asfáltico, en estudio de laboratorio que realizan actualmente el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC), se han podido obtener concretos con resistencia hasta de 060 Kg/cm^2 a los 7 días y 1005 Kg/cm^2 a los 28 días para ciertos consumos elevados de cemento, en tanto que se han alcanzado hasta 1050 Kg/cm^2 a los 90 días para consumos más bajos de cemento con la adición de cenizas volantes, utilizando para ello materiales de bancos cercanos a la ciudad de México.

RIGIDEZ.- Como es de esperarse, la rigidez (inflexibilidad), obtenida por medio de este material en la forma de losas, está en función de la resistencia del concreto directamente del módulo de elasticidad del concreto (E). Es precisamente la rigidez de las losas lo que dá nombre al tipo de pavimento, ya que se considera que la losa en sí es la encargada de resistir todos los esfuerzos y deformaciones y por medio de la acción de viga transmite niveles de carga sumamente bajos al terreno de apoyo. Para evaluar el estado de esfuerzos y deformaciones que sufren las losas en un pavimento de concreto, así como en el diseño, se utiliza en muchos métodos el parámetro llamado rigidez relativa, que relaciona la rigidez de la losa y la rigidez del suelo de apoyo, representado por el módulo de reacción (k), definiéndose como :

$$L = \frac{E h^3}{12 (1-u^2) k}$$

En donde :

- L. - Rigidez relativa en centímetros.
- E. - Módulo de elasticidad del concreto, en Kg/cm²
- h. - Espesor del pavimento en centímetros.
- u. - Módulo de Poisson del concreto.
- k. - Módulo de reacción de la sub-rasante, en Kg/cm²

En la expresión anterior para k constante L se incrementa, aumentando el espesor del pavimento o módulo de elasticidad del concreto o ambos. Debe resultar obvio el beneficio de utilizar concretos de alta resistencia con los cuales el módulo E puede aumentar hasta en un 50 %, naturalmente que esto involucraría un costo elevado en la producción del concreto, sin embargo queda como recurso el concreto compactado con rodillos, en donde se puede optimizar el uso del cemento, creando un concreto donde la cantidad de pasta tiende a ser mínima y la cantidad de agregado máxima por volumen de concreto, logrando módulos de elasticidad elevados muy semejantes a los de los concretos de alta resistencia.

CONTRACCION. - La contracción que sufre todo concreto, es la característica que más ha influido en el ingenio del diseñador para sobrellevar los problemas derivados de la misma. Todos sabemos que la contracción en si no es mala, ya que si el concreto estuviera libre de restricciones no se producirían agrietamientos, sin embargo en la realidad el simple apoyo de las losas de concreto sobre el terreno produce fricciones que restringen la contracción, produciendo agrietamiento prematuro en el concreto al no tener éste la suficiente resistencia para resistir los

esfuerzos de tensión que desarrollan.

El problema de la contracción requiere por lo tanto de la creación de juntas llamadas de contracción, que se ubican de antemano para obligar al concreto a agrietarse en determinados lugares, la gran mayoría de los problemas que se presentan en los pavimentos de concreto tienen algo que ver con las juntas de contracción, que se verá en capítulos posteriores. Esto crea los siguientes problemas; falta de transmisión de carga entre losas, hasta fallas causadas por la erosión del material de apoyo debido a un sellado deficiente de la junta. Las molestias de las juntas transversales desaparece con el tipo de pavimento diseñado como continuamente reforzado, el cual no tiene este tipo de juntas y proporciona una superficie de rodamiento continua, sin embargo aún estos pavimentos se agrietan por la contracción, pero debido a la cantidad de acero de refuerzo (0.6 - 1.0 %) las grietas no se abren más.

Las juntas transversales, ya sean de contracción o de construcción, cuando se forman perpendiculares a la dirección del tráfico son ruidosas, por lo que se aconseja crearlas esviadas, para que las llantas del vehículo no las toque simultáneamente.

ESTABILIDAD SUPERFICIAL. - Es indiscutible que la característica más importante del pavimento desde el punto de vista del usuario, es la calidad de la superficie de rodamiento, una superficie plana de mayor estabilidad y seguridad en el manejo. La superficie de un pavimento de concreto es altamente estable y segura, la estabilidad de las superficies de rodamiento se califican de acuerdo a su comportamiento con respecto a la acción de los agentes atmosféricos y al daño acumulado por la magnitud de las cargas de tráfico.

Para mucha gente, no resulta obvio el enorme impacto, para una superficie deformable tiene en la calidad de servicio al usuario y en los costos de operación de los vehículos. J. P. Zaniewski demuestra en un estudio acerca de los costos de operación vehicular en diversos tipos de pavimentos y caminos, que los costos de operación son más altos para la circulación en los pavimentos asfálticos (especialmente para trailers y camiones pesados, quienes son los que deforman las superficies), que los pavimentos de concreto, y concluye contundentemente que el ahorro de combustible que se logra con los pavimentos de concreto da el dinero suficiente para pagar totalmente un pavimento de concreto en un periodo de 7 años.

COLOR .- A pesar de que se puede obtener prácticamente cualquier color con el concreto, el color natural que le imparte el cemento portland al concreto hace que el pavimento rígido posea una alta reflectancia a la luz. Si bien es cierto que dicha reflectancia puede llegar a ser molesta a ciertas horas durante el día, durante la noche hace que el pavimento de concreto sea más visible, por lo que respecta a la iluminación nocturna de carreteras, cruceos y Áreas pulgrosas, B. Macintosh encontró en un estudio acerca de la reflectancia del concreto en carreteras, que utilizando materiales altamente reflectantes en la pavimentación se puede ahorrar hasta 24,000 mil dolares por milla por requerir menos iluminación y hasta 1,100 dolares por milla por año al reducir el consumo de energía y costos de mantenimiento. Incidentalmente, el pavimento de concreto típico se calificó con la reflectancia más alta mientras que el pavimento asfáltico se calificó con la reflectancia más baja. Los avances tecnológicos en el área de concretos de cemento portland hacen de este material el más versátil para construir pavimentos, prácticamente cualquier tipo de concreto puede ser utilizado en la pavimentación, y

prácticamente se puede vencer cualquier tipo de condiciones climáticas adversas durante la construcción, siendo posible utilizar en la pavimentación, desde concretos convencionales de baja resistencia hasta concretos de alta resistencia, o si así se requiere concretos que se puedan colar en temperaturas hasta 18°C bajo cero sin aislamiento artificial de ningún tipo. Todo esto, sin contar muchas otras opciones que se pueden tener con el uso o incorporación de: Aditivos, Fibras sintéticas de plástico, vidrio o metal, así como polímeros, acrílicos, latexes, cenizas volantes (fly ash), microsilica, cementos libres de contracción y otros productos que se pueden incorporar al concreto.

V.4 DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO CONVENCIONAL.

Existen varios métodos de diseño de pavimentos rígidos, que utilizan ciertos parámetros diferentes, pero una nueva técnica que se utiliza es:

PAVIMENTOS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS.

La técnica de construir pavimentos de concreto compactado con rodillos (CCR), cobró fuerza en los inicios de los setentas, a pesar de no existir la suficiente información teórica acerca del comportamiento de este material y mucho menos del diseño, lo anterior arrojó como resultado una gran cantidad de secciones de pavimentos de prueba, indicativos de la inquietud por construir en forma práctica, tomando en cuenta tales circunstancias, es quizás el trabajo desarrollado en la Universidad de Purdue, uno de los primeros que considera inicialmente estudios de laboratorio, que cubren

proporcionamientos de mezclas, características de resistencia, propiedades elásticas, resistencia al congelamiento y deshielo, fatiga y aspectos constructivos en campo.

El CCR, es un concreto muy seco que se compacta en campo por medio de rodillos vibratorios (10 ton), con el objeto de lograr una alta densidad para relaciones de agua - cemento muy bajas; en laboratorios se han reportado densidades hasta de 2560 kg / m³, son precisamente las características anteriores las que permiten lograr un concreto con un ahorro significativo en el consumo de cemento. Las características elásticas del CCR corresponden a las de los concretos convencionales de muy alta resistencia, y las propiedades de fatiga estudiadas en laboratorio bajo compactación controlada, señalan que el CCR puede proporcionar una vida más larga a la fatiga que la del concreto convencional (igual consumo de cemento), bajo los mismos niveles de esfuerzo; si consideramos lo anterior y el hecho de que el CCR, es una buena opción para construir pavimentos carreteros, y dependiendo de la investigación no está muy lejano el día en que se logre una calidad de superficie similar a la que se obtiene con concretos convencionales, tal vez nos referirnos a concretos de transición.

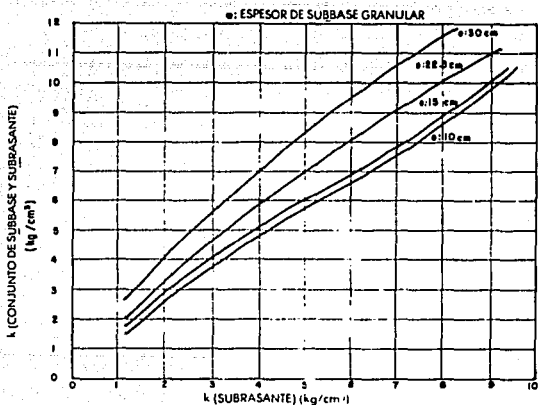
Los pavimentos de CCR son una alternativa que debiera ser considerada por los países en vías de desarrollo, señalando, además el caso especial de México, donde a pesar de ser considerado como un país importante en la producción de cemento no cuenta con una red carretera de pavimento de concreto, por lo que respecta, se han llegado a reportar módulos de elasticidad para el CCR de hasta 497000 kg / cm². El CCR tiene un porcentaje de cemento mayor que la base estabilizada que requiere además protección contra la abrasión del tráfico, mientras que el CCR

tiene que ser lo suficientemente rico para proporcionar una resistencia igual o mayor a la del concreto convencional sin requerir de una protección superficial.

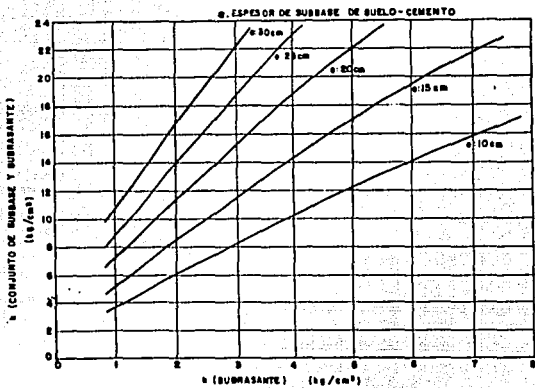
En un principio, se pensó que la estabilización de suelos con cemento era aconsejable solamente para aquellas zonas donde no se podía encontrar el material graduado que cumpliera con las especificaciones de subbase o base, sin embargo con el paso del tiempo se ha comprobado que la estabilización prolonga la vida útil de los pavimentos de concreto evitando que se presenten problemas de bombeo, falta de soporte y erosión entre otros; las técnicas relativas se discuten ampliamente en publicaciones relacionadas con el tema suelo - cemento, en general los suelos arenosos afines se llegan a estabilizar con proporciones del 5 al 15 % de cemento en peso, en cambio en materiales granulares de mayor tamaño los porcentajes varían del 2 al 5 % de cemento en peso.

De acuerdo a los materiales pétreos y el cemento portland que se use en una obra determinada se puede ajustar la correlación, y como la prueba de tensión por flexión es más elaborada y consume mayor volumen de concreto, se puede realizar el control, con el objeto de reducir el número de vigas y completar la verificación por medio de cilindros para probarlos a la compresión y para obtener el Módulo de Ruptura (MR).

También para conocer la resistencia en las capas de apoyo, son las pruebas de placa como ya se explicó en capítulos anteriores, se realiza para encontrar el módulo de reacción K, encontrándose relaciones entre la subrasante y la sub-base en diferentes nomogramas entre los cuales tenemos los siguientes.



Nomograma para encontrar el módulo de reacción corregida para una subrasante de acuerdo con el espesor de la subbase natural:



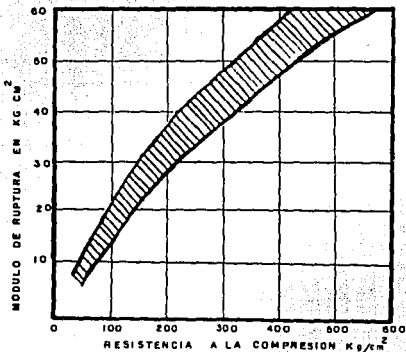
Nomograma para encontrar el módulo de reacción corregida en función del de la subrasante y el espesor de la subbase de material granular rigidizado.

Para efectuar el cálculo del espesor de las losas, se requiere conocer la resistencia del concreto y la capacidad de soporte de las capas de apoyo, siendo el parámetro de resistencia del suelo que se acostumbra para el concreto hidráulico en pavimentos rígidos es el módulo de ruptura (MR) que se obtiene de la prueba de tensión por flexión, que consiste en llevar a la ruptura a una viga curada durante 28 días, con sección transversal de 225 cm² (15 cm por lado) y longitud de 60 cm; la carga se proporciona en dos puntos de apoyo en la parte superior de la viga y 2 apoyos en la parte inferior en los tercios, calculándose el módulo de ruptura de la siguiente forma :

$$MR = \frac{PL}{bd^2} \text{ Kg/cm}^2$$

- P. - Carga de ruptura.
- L. - Distancia entre apoyos inferiores.
- b. - Ancho de viga.
- d. - Peralte de la viga.

En la figura siguiente se presenta una correlación entre el módulo de ruptura y la resistencia de la compresión del concreto a los 28 días.



METODO DE FATIGA DE LA ASOCIACION DE CEMENTO PORTLAND (PCA)

La mayoría de los nomogramas de cálculo de espesores de la losa para pavimentos rígidos, se han elaborado en base a la resistencia de trabajo del concreto hidráulico, aunque explícitamente también toman en cuenta la fatiga, pues se indica en ellos la vida útil que se puede esperar al aplicarlos. El método que se va a explicar está basado en la energía potencial de la losa que consume cada uno de los diferentes tipos de ejes de los vehículos, y el número total de ejes que se espera transiten durante la vida útil de la obra.

Para tomar en cuenta el impacto de los vehículos, se hace uso del factor denominado de seguridad por carga (FSC), que se elige de acuerdo a la obra que se va a construir y tomando en cuenta el siguiente criterio:

Tipo de obra	FSC	Espesor (cm)
* Carreteras de primer orden, autopistas y otras con flujo interrumpido de tránsito y gran volumen de vehículos pesados.	1.2	30 - 40
* Carreteras y avenidas con volúmenes moderados de vehículos pesados.	1.1	25 - 35
* Carreteras y calles residenciales y otras con volúmenes pequeños de vehículos pesados.	1.0	20 - 30

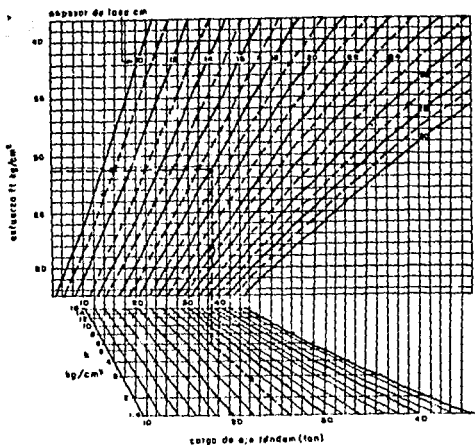
Para efectuar los cálculos necesarios se hace uso de una forma, en la que en primer lugar se anotan los datos necesarios que son: Nombre del camino y tramo, el módulo de reacción (K) a nivel de la subrasante, espesor y tipo de la sub-base (natural o

tratada). En seguida se tiene el valor de la K combinada, de acuerdo a los datos de la sub-base y con auxilio de tablas que se presentan en párrafos posteriores.

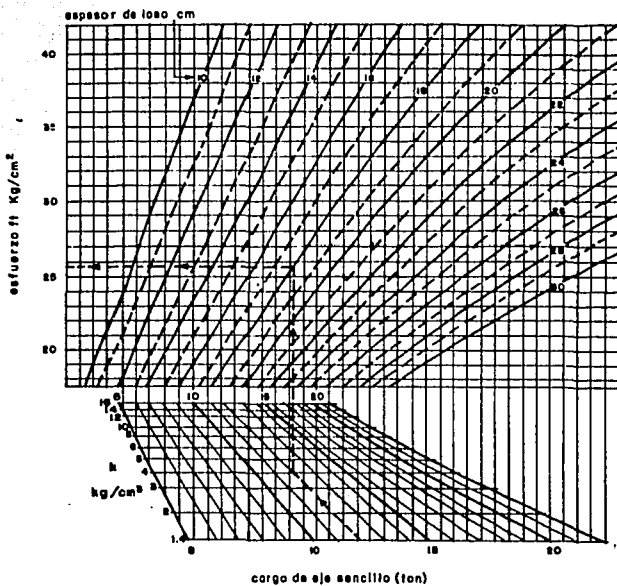
En la columna No. 1 de la hoja de cálculo, se anotan los pesos de los ejes que harán uso de la obra correspondiente, separando el tipo de ejes sencillos con los de tandem, estos datos los proporciona la oficina correspondiente de tránsito o una dependencia de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, o se deben obtener de estudios de origen y destino, combinados con estudios de desarrollo de la zona de influencia de la obra.

En la columna No.2 se anota el resultado de multiplicar los pesos de los ejes de la columna No.1 por el factor de seguridad por carga (FSC), con lo cual se toma cuenta el impacto de los vehículos. Para iniciar el cálculo, se sugiere un espesor de la losa de acuerdo con el tipo de obra, como se indica en la tabla anterior, en la que recomienda diversos espesores; el espesor que se supone, se revisa por fatiga de acuerdo a los siguientes cálculos :

* Haciendo uso de los nomogramas que se muestran en las figuras V.1 y V.2, se encuentran los esfuerzos que cada eje provoca en la losa, los cuales se anotan en la columna No.3, para utilizar estos nomogramas, uno de los cuales es para ejes sencillos y el otro para ejes tandem, se entra en las abscisas de la familia de curvas inferiores con las cargas que se tienen en la columna No.2; se asciende en este nomograma, llevando una paralela a las líneas inclinadas hasta llegar a la horizontal correspondiente al módulo de reacción K combinado, de este punto se lleva una vertical hasta interceptar en la familia de curvas de la parte superior de los nomogramas, la correspondiente al espesor



V.4 Nomogramas para encontrar los esfuerzos que se causan a una losa de concreto hidráulica por ejes tándem, en función de la carga aumentada por impacto, el módulo de reacción corregido y el espesor supuesto de la losa (P.C.A.).



V. 2. Nomogramas para encontrar los esfuerzos que se causan a una liso de concreto hidráulico por ejes sencillos, en función de la carga aumentada por impacto, el módulo de reacción corregido y el espesor supuesto de liso (P.C.A.).

de la losa supuesto, con este punto se lleva una horizontal para encontrar el valor del esfuerzo provocado.

Los datos de la columna No.4 se obtienen dividiendo los datos de la columna No.3 (esfuerzos) entre el módulo de ruptura del concreto (M_R), este resultado se anota en decimales redondos a las centésimas; con estas cantidades se entra a la tabla de la figura No. 3 que nos proporciona para cada eje el número de pasadas que provocaría la falla de la losa, si nada más fuera a utilizarse ese eje en obra.

El número de repeticiones permisibles en la columna No.5, en el renglón correspondiente al eje respectivo, si la cantidad que aparece en la columna No. 4 es igual o menor a 0.5, en la columna No. 5 se anota la palabra indeterminado, lo cual indica que de ese o esos ejes podrían pasar cualquier número sin que en teoría llegara a fallar la losa.

De esta manera, en la columna No. 5 se tiene el número de pasadas de cada eje que consumiría el 100 % de energía potencial de la losa; sin embargo, en la columna No. 6 se tiene la posible cantidad de cada uno de los ejes que hará uso de la obra en la vida útil del camino, por lo que dividiendo los datos de esta columna entre los de la columna No. 5, multiplicada por 100, se tendría el porcentaje de energía o fatiga que consumiría cada eje, este resultado se colocaría en la tabla No. 7, la suma de esta columna tanto de los ejes sencillos como los de tándem, nos da la energía que consumirían todos en conjunto.

Si esta suma se acerca a 100 % , quiere decir que el espesor de la losa considerado es correcto; pero si el valor es menor, se tendrá un pavimento sobrediseñado y entonces se tendrá que realizar otro u otros cálculos, disminuyendo, ya sea el valor

Relación de esfuerzos ft/MR	No. de repeticiones admisibles	Relación de esfuerzos ft/MR	No. de repeticiones admisibles.
0.50	Infinitas	0.60	3,500
0.51	400,000	0.69	2,500
0.52	300,000	0.70	2,000
0.53	240,000	0.71	1,500
0.54	180,000	0.72	1,100
0.55	130,000	0.73	850
0.56	100,000	0.74	650
0.57	75,000	0.75	490
0.58	57,000	0.76	360
0.59	42,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	90
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,000	0.83	50
0.66	6,000	0.84	40
0.67	4,000	0.85	30

FIG. 3 Tabla que nos proporciona el número de pasadas de un eje en particular, que lleva a la falla la losa de acuerdo a la relación de esfuerzos (esfuerzo / MR).

del módulo de ruptura, el espesor de la losa o la calidad de la sub-base hasta que la columna No. 7 se encuentre entre el 80 % y 100 %. En caso que el pavimento esté subdiseñado, o sea que el

porcentaje total sea mayor a 100 %, se aumentará el valor de las características señaladas para hacer nuevos cálculos. Se recomienda que el aumento o disminución del espesor de la losa sea del orden de 1.27 cm, pero el proyectista lo hará realmente de acuerdo a su experiencia y a la suma de la columna No. 7.

A continuación se dan unos ejemplos utilizando este método de diseño recalcando que, al utilizar sub-bases tratadas reduce el espesor de la losa de forma importante.

Es importante decir, que el cálculo del espesor de la losa siempre se realiza por nomogramas que elaboran las diferentes asociaciones de cemento portland, que toman en cuenta los esfuerzos a que están sometidos, que principalmente son los siguientes : esfuerzos al tránsito, esfuerzos debido a la temperatura y esfuerzos debidos en los apoyos.

Los esfuerzos debidos al tránsito se deben de estudiar en tres posiciones de las llantas con respecto a la losa de concreto hidráulico que son : cuando la huella de una de ellas es tangente en forma simultánea a 2 orillas, o sea que la llanta está en una esquina y la losa trabaja en canchales. La siguiente es cuando la llanta está en una orilla de la losa de concreto y por último cuando la llanta se encuentra en el centro de la losa de concreto hidráulico. Estas tres posiciones son las que ameritan un mejor revisamiento en el cálculo de un pavimento rígido.

Si siguiendo el procedimiento de cálculo del espesor de un firme de concreto hidráulico para un pavimento rígido, por el método de fatiga de la Asociación de Cemento Portland (PCA), se toma en consideración el siguiente ejemplo:

Se quiere proyectar el espesor de un firme de concreto para una zona comercial con los siguientes datos:

- Un factor de seguridad de 1.2
- Módulo de ruptura (MR) de 40.4 Kg/cm^2
- K de la subrasante de 3.0 Kg/cm^3
- K combinada de 8.1 Kg/cm^3
- Se utiliza un material granular traidado con cemento.
- Espesor de la sub-base de 10 cm.

El aforo en el camino a proyectar se obtuvieron los siguientes datos:

- Vehículos de 0 toneladas; se esperan 733,320 repeticiones.
- Vehículos de 11 toneladas; se esperan 100,355 repeticiones.
- Vehículos de 13 toneladas; se esperan 90,320 repeticiones.
- Vehículos de 15 toneladas; se esperan 50,305 repeticiones.
- Vehículos en tandem de 20 ton; se esperan 569,589 repeticiones.
- Vehículos en tandem de 24 ton; se esperan 215,320 repeticiones.
- Vehículos en tandem de 27 ton; se esperan 10,320 repeticiones.
- Vehículos en tandem de 30 ton; se esperan 7,860 repeticiones.
- Vehículos en tandem de 33 ton; se esperan 3,150 repeticiones.
- Vehículos en tandem de 35 ton; se esperan 2,785 repeticiones.

Con estos datos se proceden hacer los cálculos.

Cálculo del espesor de pavimentos de concreto

Obra: 3A.1 Tramo: _____
 1. de la subrasante: 3.0 kg/cm²(pci), sub-base JOCM. DE MATERIAL GRANULAR CON CEMENTO
 1. combinado: 8.1 kg/cm²(pci), factor de seguridad por carga: (FSC) 1.2
 Espesor de losa propuesta: 24 Módulo de ruptura propuesta (MR): 43.9 kg/cm²

Procedimiento:

1. Llene las columnas 1, 2 y 6, poniendo las cargas en orden decreciente.
2. Analice el espesor de losa propuesta, completando las columnas 3, 4, 5 y 7.
3. Analice otros espesores de losa, variando el M.R., espesor y/o tipo de sub-base.

1	2	3	4	5	6	7
Cargas por eje (Kips) Ton	Cargas por eje X FSC (Kips) Ton	Esfuerzos (pci) kg/cm ²	Relaciones de esfuerzos	Repeticiones permitibles No.	Repeticiones esperadas No.	Resistencia a la fatiga consumida %

Ejes sencillos

15	18	20.5	0.50	ILIMITADO	50365	0
15	14.4	17.5	0.50	ILIMITADO	66320	0
11	13.20		0.50	ILIMITADO	100355	0
9	10.80		0.50	ILIMITADO	751320	0

Ejes en tándem

35	42.0	28.80	0.81	24000	2785	11.60
33	39.6	26.30	0.80	32000	3180	9.84
30	36.0	25.20	0.58	57000	7860	13.79
27	32.4	22.50	0.52	300000	10320	3.44
24	28.8	20.20	0.80	ILIMITADO	215320	0
20	24.0	17.50	0.50	ILIMITADO	564585	9

Interpretación del resultado

Total 38.67

SE TIENE UN FIRME SOBREDISEÑADO

Cálculo del espesor de pavimentos de concreto

Obra: 5611 Tramo: _____
 l. de la subrasante: 3.0 kg/cm²(pci), sub-base 10 CM MATERIAL GRANULAR CON CEMENTO
 l. combinada: 8.1 kg/cm²(pci), Factor de seguridad por carga: (FSC) 1.2
 Espesor de losa propuesta: 24 cm. Módulo de ruptura propuesta (MR): 40.5 kg/cm²

Procedimiento:

1. Llense las columnas 1, 2 y 6, poniendo las cargas en orden decreciente.
2. Analice el espesor de losa propuesta, completando las columnas 3, 4, 5 y 7.
3. Analice otros espesores de losa, variando el M.R., espesor y/o tipo de sub-base.

1	2	3	4	5	6	7
Cargas por eje (K/ps) Ton	Cargas por eje X FSC (K/ps) Ton	Esfuerzos (pci) kg/cm ²	Relaciones de esfuerzos	Repeticiones permitibles No.	Repeticiones esperadas No	Resistencia a la fatiga consumida %

Ejes sencillos

15	18.0	20.5	0.51	400 000	50 365	12.60
13	14.0	17.5	0.50	ILIMITADO	98 320	0
11	13.2		0.50	ILIMITADO	190 555	0
9	10.8		0.50	ILIMITADO	753 320	0

Ejes en tandem

35	40.0	20.8	0.60	6 000	2 785	4 842
33	39.6	20.3	0.65	8 000	3 150	39.37
30	36.0	25.2	0.62	18 000	7 860	43.67
27	32.4	22.5	0.55	130 000	10 320	7.94
24	28.8	20.2	0.50	ILIMITADO	215 320	0
20	24.0	17.5	0.50	ILIMITADO	569 580	0

Total 150

Interpretación del resultado

SE TIENE UN FIRME SUBDISEÑADO

Cálculo del espesor de pavimentos de concreto

Obra: SA III Tramo: _____
 k. de la subbase: 3.0 kg/cm³(pci), sub-base 10 CM. DE MATERIAL GRANULAR CON CEMENTO
 k. combinado: 0.1 kg/cm³(pci), Factor de seguridad por carga: (FSC) 1.2
 Espesor de la propuesta: 24 CM Módulo de ruptura propuesto (MR): 41.5 kg/cm²

Procedimiento:

1. Llene las columnas 1, 2 y 6, poniendo las cargas en orden decreciente.
2. Analice el espesor de la propuesta, completando las columnas 3, 4, 5 y 7.
3. Analice otros espesores de lazo, variando el M.R., espesor y/o tipo de sub-base.

1	2	3	4	5	6	7
Cargas por eje (Kips) Ton	Cargas por eje X FSC (Kips) Ton	Esfuerzos (pci) kg/cm ²	Relaciones de esfuerzos	Repeticiones permitibles No.	Repeticiones esperadas No.	Resistencia a la fatiga consumida %

Ejes sencillos

15		20.5	0.50	ILIMITADO	50365	0
13	14.4	17.5	0.50	ILIMITADO	90320	0
11	13.2		0.50	ILIMITADO	190355	0
9	10.8		0.50	ILIMITADO	753320	0

Ejes en tandem

35	42.0	26.00	0.65	6000	2785	34.81
33	39.6	26.30	0.63	14000	3160	22.50
30	36.0	26.20	0.61	24000	7860	32.75
27	32.4	26.00	0.54	180000	10320	5.73
24	28.8	26.20	0.50	ILIMITADO	215320	0
20	24.4	17.50	0.50	ILIMITADO	569385	0

Total 93.79

Interpretación del resultado

EL FIRME SE ENCUENTRA DENTRO DE LOS
 LIMITES DE DISEÑO

METODO DE LA ASOCIACION DE CEMENTO PORTLAND PARA CALLES Y AVENIDAS DE LAS CIUDADES.

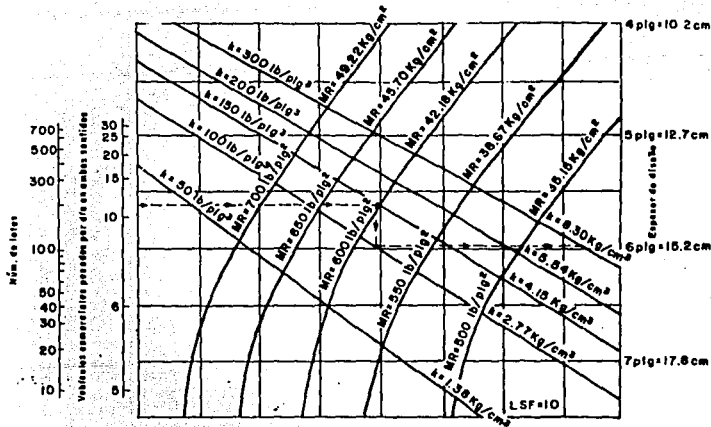
Este método simplificado para proyectar pavimentos rígidos de calles y avenidas de ciudades, los datos de resistencia son los mismos que en el método anterior, es decir, se usa el módulo de ruptura (MR) del concreto y el módulo de reacción (K) de la subrasante modificado, tomando en cuenta la calidad y espesor de la capa de sub-base.

En cuanto al tránsito de este, sólo se toman los vehículos comerciales que circularán sobre el pavimento al iniciarse el servicio; proporcionan nomogramas para diferentes tipos de avenidas y para vida útil de 30 a 50 años, para retornos de fraccionamientos residenciales, el tránsito puede obtenerse indirectamente conociendo el número de casas a las que va a dar servicio la calle correspondiente, que se explica en el capítulo número 3 los tipos de calles.

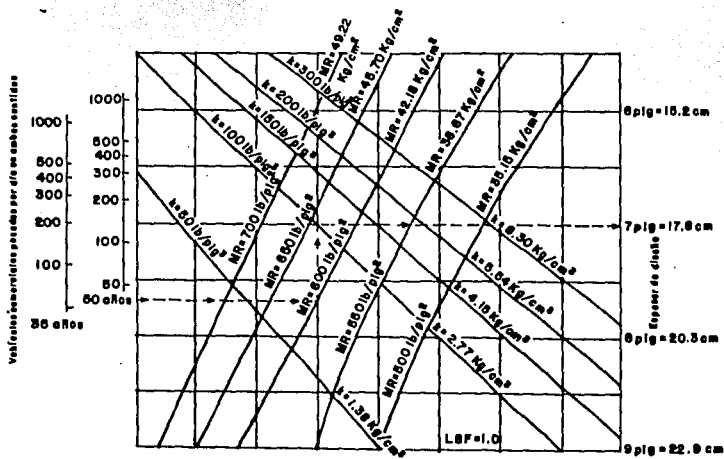
El uso de los nomogramas es como sigue (Figura V.4 a la figura V.9).

Se entra con el número de vehículos comerciales en las ordenadas del lado izquierdo y se lleva una horizontal hasta cortar la curva que indica el MR del concreto, de ese punto se traza una vertical hasta cortar la curva correspondiente al módulo de reacción K modificada y de ahí por medio de una horizontal se encuentra el espesor de la losa en las ordenadas del lado derecho.

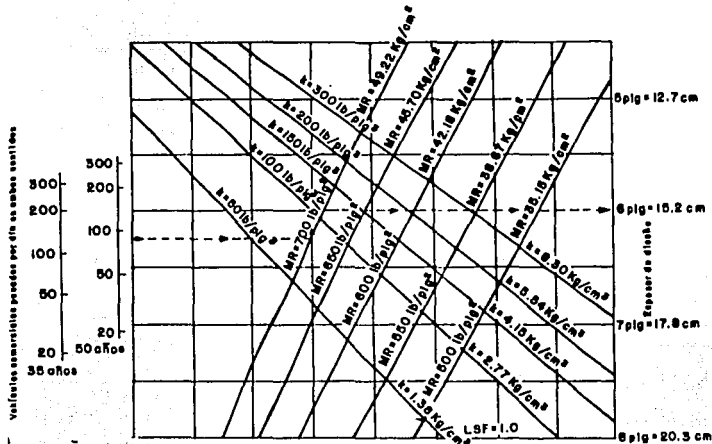
Con estos nomogramas se puede encontrar también un espesor de la losa para obras más importantes a fin de iniciar los cálculos con el método de fatiga explicado con anterioridad.



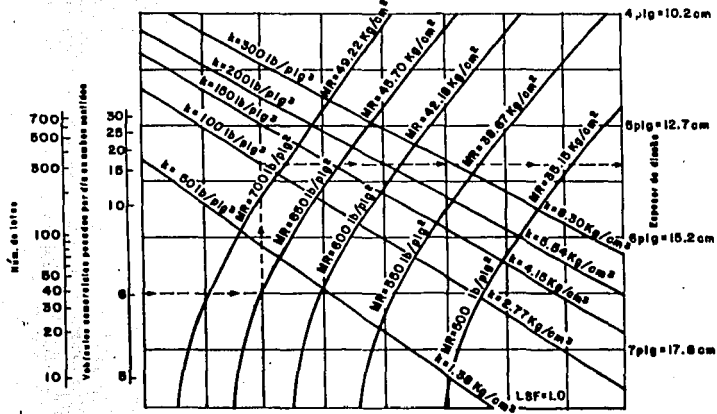
V.4 Método simplificado (P.C.A.) para el diseño de pavimentos rígidos para arterias menores para períodos de diseño de 35 y 50 años.



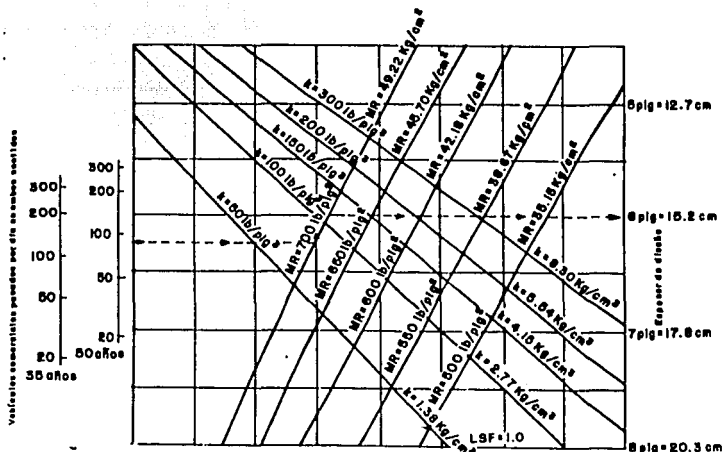
V.5 Método simplificado (P.C.A.) para el diseño de pavimentos rígidos para calles y colectores residenciales para un período de 35 años.



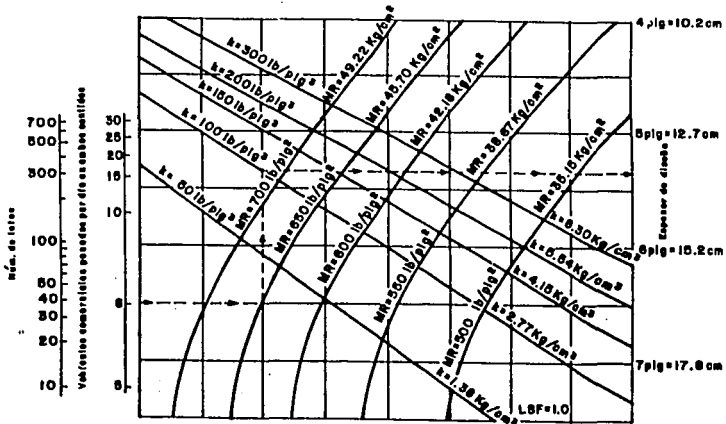
V. 6 Método simplificado (P.C.A.) para el diseño de pavimentos rígidos para calles y colectores residenciales para un periodo de 50 años.



V. 7 Método simplificado (P.C.A.) para el diseño de pavimentos rígidos para calles y colectores para periodos de diseño de 35 a 50 años.



V. B Método simplificado (P.C.A.) para el diseño de pavimentos rígidos para calles y colectores residenciales para un periodo de 50 años.



V. Q Método simplificado (P.C.A.) para el diseño de pavimentos rígidos para calles y colectores para periodos de diseño de 35 a 50 años.

FALLA DE ORIGEN

CAPITULO VI. CONTROL DE CALIDAD Y PRUEBAS DE LABORATORIO
UTILIZANDO FIBRAS DE POLIPROPILENO.

Generalidades:

Las fibras sintéticas ofrecen mejoras significativas cuando se integran a las mezclas de concreto, la resistencia del concreto incluyendo la flexional y las propiedades de resistencia aumentarán cuando se adicionen aquellas en cantidades controladas. La permeabilidad se reducirá tanto como del 70 al 95 %, la tenacidad del concreto se mantiene en toda la masa, debido a la completa distribución de las fibras, controlando la magnitud de las grietas, reduciendo el encogimiento.

Los programas de ensayos siguientes están basados en parámetros comparativos a modo de que produzcan información útil a la ingeniería. Todas las pruebas fueron realizadas por ingenieros profesionales, que trabajaron en laboratorios independientes, y la información se expresa como porcentaje de una prueba de control, estos parámetros pueden utilizarse posteriormente para estimar el rendimiento potencial de casi cualquier concreto de cemento Portland que contenga la misma relación de adición de fibra sintética de polipropileno.

Las comparaciones se basan en concreto premezclado que contenía 6.5 sacos por metro cúbico, 3/4" (19 mm) de agregado como máximo. El conjunto de control de las muestras fue fundido primero; luego se le añadieron 890 gramos por metro cúbico de fibra de polipropileno y se mezcló durante cinco

mínutos antes de hacer el segundo juego de pruebas. Las pruebas de asentamiento fueron:

Concreto de control	- 5 1/2" (140 mm).
Concreto fibroso	- 4 3/4" (121 mm).

Los tiempos de asentamiento del concreto se muestran en el gráfico VI. 1. Que muestra el efecto de las fibras en las características de asentamiento del concreto, la zona crítica se encuentra abajo de la línea de asentamiento inicial, esta zona representa la mezcla, el vaciado y el tiempo de acabado disponible en la mayoría de los concretos.

La información de esta prueba indica que la mayoría de las grietas tuvieron lugar durante las 4 horas siguientes al vaciado del concreto, ya que este es el momento en que la retención de la humedad es de extrema importancia.

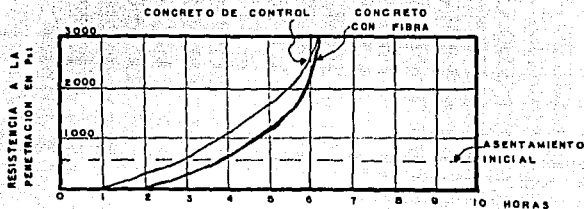


GRAFICO VI. 1

VI.1 - RELACION DE EVAPORACION.

RELACION DE EVAPORACIÓN.- Esta comparación está basada en placas de concreto que tenían una superficie de 0.37 metros cuadrados y 76 milímetros de grueso, el encofrado tenía una película oleosa a fin de minimizar este tipo de sujeción, teniendo barras de fijación en el perímetro todas fileteadas de 12 milímetros de diámetro, firmemente unidas a las paredes del encofrado. Una muestra de concreto sencillo de 6.5 sacos por metro cúbico, se dosificó en el laboratorio para cada placa a una relación constante de agua-cemento; el concreto con fibras sintéticas contenía 890 gramos por metro cúbico y de 2" de largo la fibra de polipropileno.

Los asentamientos fueron de 5 1/4" (133 mm) y de 4 3/4" (121 mm). Cuando el concreto fue vibrado en su lugar, se unió a las barras fileteadas de sujeción y se le enrasó y pasó una frotta de madera sólo para eliminar el variable de acabado. No se usaron compuestos de curación o rocío de agua por la misma razón. Se colocaron dos ventiladores idénticos produciendo una relación de velocidad de viento de 10 a 15 millas por hora, a una temperatura ambiente de 32 °C, durante las primeras cuatro horas; cada placa fue pesada en intervalos frecuentes.

El periodo más crítico del curado de una placa, que está expuesta a condiciones adversas de curado, son en las primeras cuatro a seis horas después del vaciado. Se obtuvo que el 50 % del total del agua perdida en 20 días ocurrió durante las primeras cuatro horas. Un 50 % más de agua durante las primeras cuatro horas se perdió, teniendo un agrietamiento en la

placa de control a las 2.5 horas, teniendo la mayoría de los patrones de agrietamiento desarrollándose a las primeras cuatro horas. A las 24 horas, la placa de concreto fibroso no mostro grietas perceptibles; un examen posterior mostro una comparación similar a los 28 días, no hubo cambios significativos en la placa de control, con excepción de anchuras de grietas ligeramente más perceptibles.

La placa de cemento fibroso mostro algún agrietamiento menor y unas pocas grietas capilares, una estimación de la tendencia relativa al agrietamiento, basado en longitudes de las grietas, sería indicativo que el patrón de agrietamiento en el concreto fibroso fue de 90 a 95 por ciento menos que en la placa de control a los 28 días.

• RELACIONES DE SANGRADURA. - Esta prueba se hizo de un cilindro (concreto para placa) acabado de fundir de 6" X 12" (15x30 cm) con una depresión en forma de cono de 1" (25 mm) en el cilindro superior. El agua sangrada, depositada en esta depresión, está relacionada con el agua total en el cilindro. La cantidad de agua sangrada disponible durante el periodo de curado crítico estaría en favor del concreto fibroso.

El potencial para minimizar la pérdida de agua del concreto, debido a la evaporación, es de importancia como primer control en la posible eliminación del agrietamiento; cualquier concreto con la relación de migración de agua más baja, debiera tener la relación de retención más alta.

Como parte de la evaluación del estudio, se determinaron y compararon relaciones adicionales de migración de agua y para el concreto. Se utilizó el Método Von Tesy para efectuar la comparación, básicamente, el método mide la cantidad de agua que migraría a través de un concreto de 2 pulgadas (51 mm) de grosor, bajo un cabezal de agua de 11 pulgadas (28 cm). En esta prueba se utilizó la siguiente mezcla: 7 sacos por metro cúbico con 25 mm del tamaño del agregado como máximo.

Se tomaron muestras de control, luego se agregaron fibras sintéticas a razón de 445 gramos por metro cúbico y a 800 gramos por metro cúbico en tres etapas utilizando la misma mezcla; no añadiéndose agua al camión durante este período, los resultados se muestran a continuación.

	Migración de agua - mililitros				Red. %
	2 días	7 días	21 días	28 días	
Control	9	12.5	15.5	17.0	0
Fibras (445 g)	3	6.0	8.5	9.5	44
fibras (800 g)	trazas	1.0	2.5	3.5	78

VI.2 DISTRIBUCIÓN DE LAS FIBRAS.

La utilización de las fibras en el concreto no es una aplicación nueva, pero todavía el usuario promedio conoce muy poco sobre los valores potenciales que emanan de su utilización del concreto. Las preguntas más frecuentes son a cerca de la distribución de las fibras, su influencia en la uniformidad del

concreto y las ventajas que se obtienen por su utilización. La mayor parte del ramblamiento del concreto está relacionado solamente con la dureza, y no hay ensayos que clasifiquen su tenacidad; siendo el propósito de este estudio es el de presentar alguna información sobre la fortaleza de las fibras en el concreto.

La información siguiente está basada en la utilización de las fibras de polipropileno con una relación de aplicación de 090 gramos por metro cúbico, basado en pruebas de dosificación, ensayados en distintos concretos testigos, llegando a esta última relación de dosificación. Ensayos anteriores han indicado que la compresión comparativa y las durezas resistentes del concreto reforzado con fibra sintética pudiera ser del 5% al 10 % mayores que el de control. Los efectos de las fibras sintéticas al aumentar la tenacidad o resistencia a la fractura del concreto son difíciles de relacionar con el criterio de norma, tal como los métodos de pruebas compresivas o de resistencia.

Una buena distribución de las fibras de polipropileno se logra mediante la buena utilización de los criterios empleados por el fabricante en cuanto a la agregación de las fibras de polipropileno a la mezcla y al tiempo de mezclado, ya que por su tamaño corto se mezcla uniformemente en el concreto teniendo una mezcla homogénea y repartida en todas direcciones las fibras de polipropileno.

VI.3 PRUEBAS DE COMPRESION, FLEXION Y TENSION EFECTUADAS AL CONCRETO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO,

Por su calidad y uniformidad, las fibras de polipropileno cuentan con la aprobación oficial tanto de organismos públicos como privados en todo el mundo incluyendo a México.

Las pruebas se realizaron para conocer los efectos que provoca la adición de fibras sintéticas en el concreto hidráulico. En las pruebas se determinó realizar un par de mezclas de concreto hidráulico con las siguientes características:

Mezcla No. 1	Patrón
Mezcla No. 2	Con fibra (1 Kg / m ³)
F'c = 250 Kg / cm ²	a 28 días
Revenimiento	10 ± 2 cm.

Para cada mezcla se elaboraron especímenes para realizar las pruebas de :

- Resistencia a la compresión en cilindros.
- Resistencia a la flexión en vigas.
- Resistencia a la tensión (Brasileña) en cilindros.

Con los resultados obtenidos se pudo establecer la medida en que son afectadas las propiedades del concreto, comparando las características de la mezcla patrón con las de la mezcla con fibra.

ELABORACION DE MEZCLAS.

Los materiales utilizados para la fabricación de las mezclas de concreto, fueron :

MEZCLA NO. 1

- Cemento, tipo I
- Arena de mina
- Grava caliza
- Agua potable

MEZCLA NO. 2

- Cemento, tipo I
- Arena de mina
- Grava caliza
- Agua potable
- Fibras de polipropileno de 6 centímetros de longitud.

El proceso de elaboración de las mezclas se llevó a cabo de acuerdo a lo especificado en la NOM C-159 "Elaboración y Ensayo de Especímenes en el Laboratorio".

Primero se elaboró la mezcla patrón, ajustando las proporciones de materiales para alcanzar un revenimiento de 10 centímetros.

La mezcla con fibras, se elaboró con las mismas cantidades de materiales que se utilizaron para la mezcla patrón y así poder establecer la comparación entre los resultados de los ensayos de cada mezcla.

CONSTRUCTORA _____

 LABORATORIO DE CONCRETO

PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

 ORDEN DE TRAB. NO. --
 INFORME TEC. NO. --
 HOJA NO. --

CLIENTE _____

ESPECIMEN NO. _____

OBRA _____

PROCEDENCIA _____

PROPIEDADEES	ARENA	GRAVA
1. - Pesos volumetricos seco suelto Kg/m^3	1,272	1,361
2. - Peso volumetrico seco, compacto, Kg/m^3	1,583	1,551
3. - Pesos especificos S.S.S.	2.44	2.6
4. - Absorción, %	4.80	1.5
5. - Tamaño máximo del agregado	---	3/4
6. - Módulo de finura	3.03	----
7. - Pérdida por lavado sobre malla 200, %	8.70	----
8. - Granulometria	Anexa	Anexa
9. - Contenido de materia orgánica	Negativo	Neg.
0. - Coeficiente de forma	----	0.22
1. - Equivalente de arena, %	59.0	----
2. - Limite liquido, %	8.4	----
3. - Limite plástico	N. P.	----
4. - Contracción lineal	0.0	----

OBSERVACIONES _____

FECHA _____

LABORATORISTA _____

APROBO _____

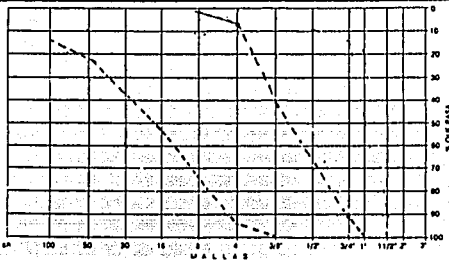
LABORATORIO DE CONCRETO

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

Orden de Trabajo No. _____
 Informe Técnico No. _____
 Hoja No. _____

Ciente: _____
 Procedencia: _____ Muestra No. _____ Especímenes No. _____

Malla No.	GRAVA				ARENA			
	Retenido (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)	Pasa (%)	Retenido (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)	Pasa (%)
3"								
2"								
1 1/2"								
1"	0			100.0				
3/4"	368	8.70	8.70	91.3				
3/8"	2025	50.60	59.30	40.7				100.0
No 4	1424	35.58	94.88	5.12	36.8	7.36	7.36	92.64
No 8	143	3.57	98.45	1.55	89.4	17.88	25.24	74.76
No 16	—	—	—	—	104.9	20.98	46.22	53.78
No 30	—	—	—	—	75.0	15.0	61.22	38.78
No 50	—	—	—	—	80.6	16.12	77.34	22.66
No 100	—	—	—	—	41.5	8.3	85.64	14.36
Charola	62	1.55	100.0	0.0	71.8	14.36	100.0	0.0
Suma	4002	—	—	—	500.0	—	303.0	—
M.F.	—	—	—	—	—	—	3.03	—



MATERIAL	GRAVA	ARENA
Contaminación:		
Supratamaños		7.36%
Iníratamaños	1.55%	

Observaciones: _____

Referencias: NOM C-77

Fecha: _____ Laboratorio: A.A.M. Aprobó: ING. ARENAS

Form 1000

FALLA DE ORIGEN

PROPORCIONAMIENTO UTILIZADO Y CARACTERISTICAS

MATERIAL	PATRON	PRUEBA
Cemento, Kg/cm ²	310	310
Agua, Lt/m ³	222	222
Arena, Kg/m ³	700	700
Grava, Kg/m ³	1053	1053
Fibra, Kg/m ³	---	1
Relación agua/cemento, A/C	0.72	0.72
Relación grava/ arena, G/A	60/40	60/40
Revenimiento, cm	10.0	7.0

RESULTADOS DE LOS ENSAYES DEL CONCRETO ENDURECIDO.

CARACTERISTICAS	PATRON	PRUEBA
Resistencia a compresión, kg/cm ²		
- 3 días	121	127
	122	129
	123	121 125 127
- 7 días	183	177
	184	176
	182	183 178 177

CARACTERÍSTICAS	PATRON		PRUEBA	
- 28 días	267		268	
	269		271	
	265	267	265	268
Resistencia a tensión, kg/cm²				
- 7 días	20.0		23.9	
	22.0		22.4	
	20.7	20.9	20.9	22.4
- 28 días	25.5		31.2	
	28.0		30.0	
	27.5	27.0	28.8	30.0
Resistencia a flexión, kg/cm²				
- 7 días	28.5		32.0	
	27.0		29.0	
	28.5	28.0	30.5	30.5
- 28 días	37.4		40.0	
	39.9		42.0	
	35.4	37.6	42.5	41.5

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos de los ensayos realizados para cada mezcla, se pueden establecer los siguientes comentarios respecto a las propiedades del concreto que se modificaron con la adición de fibras.

CONCRETO FRESCO

El revenimiento del concreto con fibra, disminuye tres unidades respecto a la mezcla patron, no obstante, se pudo observar que la trabajabilidad no se afectó y ambas mezclas se manejaron con la misma facilidad.

Se observó un incremento en la cohesión de la mezcla con fibra, debido a la presencia de la misma, provocando una mayor adherencia entre los materiales componentes del concreto. Básicamente a esto se debió la pérdida de revenimiento de la mezcla con fibra.

En cuanto al aspecto y acabado, no se observaron diferencias notables entre la mezcla patron y la mezcla con fibra.

Esta propiedad del concreto sí se ve mejorada con la adición de fibras.

RESISTENCIA A FLEXIÓN

En cuanto a la resistencia a flexión se observaron un incremento del 11.9 % a 7 días y del 10.4 % a los 28 días en las mezclas con fibras. De esto se concluye que la resistencia a flexión se incrementa con el uso de fibras.

Es importante tomar en cuenta que los resultados obtenidos son a nivel laboratorio con los procedimientos y materiales utilizados para el presente estudio, por lo cual se debe tener mucho cuidado en la elaboración de muestras en campo bajo otras circunstancias de materiales y métodos de equipos diferentes del laboratorio.

CAPITULO VII JUNTAS.

GENERALIDADES.

La continuidad de los firmes de concreto se rompe mediante juntas longitudinales y transversales que permiten la libre expansión y contracción de las losas independientes en que queda dividido el pavimento.

Dichas juntas constituyen un punto débil de la carretera y aumentan el costo del pavimento a consecuencia de su propio costo elevado y de la discontinuidad que producen en los trabajos de construcción. No obstante, son necesarias, ya que las variaciones de temperatura, los cambios de humedad en el concreto y la retracción inicial de este durante su fraguado, originan tensiones que ningún concreto sería capaz de resistir. Si se quiere, pues, evitar la formación de grietas, es preciso establecer juntas en el pavimento que lo dividan en losas de dimensiones adecuadas.

La colocación de juntas en los pavimentos de concreto puede dar lugar a la aparición de nuevas causas de formación de grietas por el empleo de procedimientos constructivos deficientes, que nada tienen que ver con los principales, que determinan la necesidad de instalación de juntas en el pavimento. Por su disposición constructiva, las juntas pueden impedir el apisonado eficaz del concreto en las proximidades de las mismas, con lo que el firme, al no alcanzar la debida resistencia, se rompe por acción de las cargas o se disgrega por falta de compactación. La diferencia de nivel entre las dos placas adyacentes o la falta de relleno adecuado de la junta, producen efectos de impacto que pueden conducir, asimismo, a la rotura del firme.

VII.1.10.03 DE WBIAC:

Por su posición en el sistema, las puntas se agrupan en las categorías de **Longitudinales y Transversales**.

Las **Longitudinales** dividen a la calzada en la parte de un ancho que varía entre 3,0 y 5,0 m y tienen por objeto reducir al mínimo las perturbaciones debidas al abanico horizontal transversal de las ruedas. La posición general es emplear la punta longitudinal en los bordes de la calzada de **Tráfico**, que en los proyectos antiguos, suelen tener la anchura más restringida. En los pavimentos de doble carril de **Tráfico**, una de las puntas longitudinales se coloca en el centro de la calzada, en contraposición a donde se coloca la de las **Transversales**, ya que responden mejor a la tracción y protección la mayor parte de las veces, en el punto más ancho del pavimento transversal, resultando mejor respuesta a la lluvia torrencial.

Las **Transversales** se construyen generalmente en un nivel al que se debe mantener constante en todo el ancho de la pista. Por lo tanto, no que descomponer pueden ser:

a) De contravías b) De delimitación
--

Las de contravías en **Forma VII.1.12**, son bandedas anchas, en la parte superior de las ruedas, con una profundidad aproximadamente igual a un tercio de la altura de las ruedas.

Evitar el abalo y posible agrietamiento de las losas que originaría como consecuencia de la retracción del concreto al fraguar, durante este proceso se produce un aumento de temperatura en toda la masa, y una vez acabada las fibras superficiales se contraerán más rápidamente que las interiores, con lo que se produciría un abarquillamiento de la placa hacia arriba, en caso de no existir la junta. La consecuencia de la desigual contracción de las dos caras de la placa, esta debe fragmentarse. La fractura se produce precisamente en la junta, que constituye un punto débil de la losa. Como toda fractura, será bastante irregular, y a veces puede ser muy profunda. La fragmentación es completa de las caras de una parte a otra de la losa.

FIGURA PROBABILE



FIGURA 11.11. JUNTA DE CONSTRUCCION

La consecuencia directa de la junta en su formación, depende de las condiciones y condiciones de curado, con un producto de fraguado normal, por una parte, o anormal, por el abarquillamiento de la junta, y por otra, a cualquier que produzca irregularidad, pueden mejorarse mediante el uso de mallas o armaduras, por una capa de estibación, en el momento de curado.

Las juntas de DILATACION cuentan las placas en la totalidad de su altura y están diseñadas para amortiguar las expansiones y contracciones del concreto pueden ser de los siguientes tipos:

1.- JUNTA LIBRE.

Se caracterizan porque las losas se encuentran cortadas en toda su altura y no tienen ninguna unión con las adyacentes, son adecuadas para suelos rígidos. En caso de emplear las en terrenos que no tengan suficiente firmeza, como las estructuras más considerables, de las placas sobre el terreno se producen en los bordes, pueden llegar a crearse deformaciones permanentes importantes en las uniones de las juntas por efecto del tráfico que penetra en el piso del agua. La penetración del agua amplifica el proceso de deformación dando lugar a un deterioramiento que lleva consigo la rotura de la losa por su falta rigidez.

Se enumeran tres factores necesarios para la aparición de este deterioramiento en las juntas o juntas de los pavimentos rígidos, son:

a.- Repetición frecuente de las cargas pesadas que originan movimientos verticales apreciables de los bordes de las losas.

b.- Existencia de suelos no rígidos.

c.- Penetración del agua bajo las losas del pavimento.

Una vez producido, es difícil luchar contra él, por

el Ho, en caso de emplear este tipo de juntas en Terrenos que no sean Suficientemente ruidosos, se puede presentar el elemento colocado bajo las Losas una capa de 10 a 30 cm. de Terreno Inerte, transportado de otro Lugar y bien compactado. (Fig. VII.12)



FIGURA VII.12. JUNTA EMPUJE

6.5. JUNTA DE EMPUJE

El fundamento de este tipo de juntas, consiste en empotrar espigas de hierro, en una de las placas, y hacerlas penetrar en la otra después de sembradas con alquitrán. Deben ser una puntita al final de la punta que, por la diferencia de coeficiente y punto de dilatación de las placas, & el de las losas de concreto.

Estas espigas, tienen un pequeño rebolado en las Losas, como también se emplean, como en la figura, Losas continuas, con lo que se evita, también, en las losas, tanto dentro de las Losas, y se disminuyen las juntas, en las losas, continuas. La Unión entre las Losas, que, de una placa a otra, se debe hacer, en pocas puntas, por lo que, en vez de pocas puntas, de diámetro, grandes, deben emplearse, muchas, de menor diámetro, pequeñas. (Fig. VII.13)



FIGURA 4. JUNTA CON BUEMENTE

VII. 2. ESPACIADO Y DIMENSIONES DE LAS JUNTAS

La magnitud del movimiento que tiene lugar en cualquier punto de la carretera de concreto, no puede producirse con exactitud. Los distintos valores que puede tener el coeficiente de rozamiento entre el concreto y el terreno se traducen en gran variación del movimiento de las losas, y por esta razón, el espaciado de las juntas ha de fundarse en una base experimental. En Norteamérica como en México, se colocan de 14 a 30 metros y su anchura es de 19 mm. y se exige que entre las juntas de dilatación se dispongan otras de contracción de forma tal, que las distancias entre juntas transversales no exceda de 9 metros (Tabla VII.1.9).

La dificultad de encontrar materiales que expansionen esas variaciones de volumen sin aumentar o presentar fallas con la adherencia al concreto, ha conducido al empleo de juntas con espaciado de 1/4 de pulgada (6.35 mm) de largo a un de una pulgada. De este modo, al aumentar el ancho inicial de la junta, se disminuye el movimiento propio como de la misma.

Espesor de la losa en cm.		Estado max. de las juntas de dilatación		Españado Máx. de las juntas de dilatación
		Verano	Invierno	
6 y 7	no reforzada	27,5	13,7	4,60 m.
8 y 9	no reforzada	30,0	13,3	4,60 m.
6 y 7	reforzada	30,0	13,3	9,15 m.
8 y 9	reforzada	45,0	13,3	15,00 m.
10 y 12	no reforzada	54,00	13,3	10,30 m.

Tabla VII.1

NOTA: En reforzada, se entiende la losa que lleva suficiente refuerzo en dirección longitudinal para prevenir el asentamiento.

VII.3-B-A-F-E-R-T-A-E-S

Los materiales que se utilizan para rellenar las juntas deben reunir una serie de cualidades, algunas de las cuales son contradictorias, y este es el motivo de que no dio un resultado el empleo de un material único como se hacía en las juntas construidas en las primitivas carreteras de concreto.

En el primer momento se ponía un empuro únicamente en depurar rebajas para permitir el movimiento de las losas. Los espacios libres entre losas adyacentes se rellenaban con un producto bituminoso y vertido en caliente; posteriormente se

encuentro más sencillo instalar una Lomina prefabricada de material bituminoso en el momento de la construcción. Ambos métodos permiten que las construcciones y expansiones del concreto se verifiquen libremente, pero debido a las variaciones de volumen del producto bituminoso por acción de la temperatura y los movimientos de las placas, el material oxidaba irremediablemente, siendo arrastrado por los elementos del tráfico, con lo que los huecos que dejaban permitían el paso del agua y la arena.

La primera oprimía un reblandecimiento del terreno, que conduce a la destrucción del concreto, y la segunda, forzada en el interior de la junta en cualquier situación, puede llegar a impedir la dilatación de las losas. Posteriormente se rellenaron las juntas con materiales elásticos de baja resistencia a la tracción, cuyos cambios volumétricos son menores, pero estos materiales no cumplen la condición de impermeabilizar la junta y hay que tener muy en cuenta que la conservación de un pavimento depende directamente del mantenimiento de un contacto efectivo entre las losas.

Por estas razones, se ha recurrido a un sistema mixto, con el que subsanan en gran parte las dificultades antes mencionadas, utilizando un material de relleno compresible y elástico, que llena la mayor parte de la junta y deja una ranura donde se hecha el compuesto de sellado, producto plástico, debido a su dureza, que se adhiere fuertemente al concreto y garantiza la impermeabilidad de la misma, esto en cuanto a las juntas de dilatación. En las juntas de contracción, sólo es necesario el material de sellado.

La técnica actual, se puede emplear en las juntas de

dilatación dos tipos de materiales :

1.- Un material de relleno prefabricado que actúe de espaciador entre las losas adyacentes, permitiendo la expansión de las mismas.

2.- Un compuesto de sellado que rellene la totalidad de los huecos de la junta y evite la entrada del agua y la arena.

No describiremos adelante los materiales más frecuentes empleados en el relleno y sellado de las juntas, así como sus características que deben cumplir.

MATERIALES PREFABRICADOS PARA EL RELLENO DE JUNTAS.

Se usan únicamente en las juntas de dilatación para dejar un espacio de material compresible que se adapte a las expansiones del concreto, sirviendo como material de apoyo al material de sellado.

El primer requisito que deben cumplir, es poderse comprimir mostrando poca dilatación transversal, y como han de servir de apoyo al compuesto de sellado, debe recuperar su espesor primitivo después de la compresión.

El grado de recuperación respectivo depende de la magnitud del apoyo necesario para evitar que el compuesto de sellado fluya hacia el interior de la junta.

Como se pomen correctos límites a la compresibilidad del material para el relleno de juntas, si es muy compresible, las fuerzas desarrolladas en el concreto durante su consolidación pueden ser suficientes para reducir el espesor

del material de relleno, con lo que se disminuye la anchura efectiva de la junta, si por el contrario es demasiado rígido, al comprimirse pueden desarrollarse tensiones que aproximen a la ruptura del concreto. La compresibilidad es fácilmente obtenida en materiales muy porosos, por lo que el aire es uno de los principales materiales de relleno, en principio, los rellenos de juntas que emplean aire como material compresible, constan de dos láminas metálicas delgadas, unidas por sus bordes con tiras metálicas plegadas, dejando un espacio hueco de 1.3 a 2.5 centímetros de espesor. Tales dispositivos son caros y por esta razón no se han generalizado, puede conseguirse una compresibilidad elevada con materiales mas baratos de estructura porosa, y que por tanto, contienen en su masa gran proporción de aire. Son de uso frecuente la madera blanda, cartón de fibra impregnado de aceite, corcho, esponja de caucho sintético y productos bituminosos, cuyas características se describirán a continuación.

a.- MADERA BLANDA .- Cuando está exenta de nudos, este material cumple con los requisitos de compresibilidad. La recuperación que al principio es buena, pero disminuye con la repetición de las cargas y está muy influenciada por el contenido en humedad del material. Algunos técnicos sumergen la madera en agua antes de aplicarla, el uso de tratamientos, tales como la impregnación con creosota, no parecen ser necesarios, ya que la madera sin tratar, ha demostrado ser satisfactoria durante largos periodos de tiempo. El material tiene bajo índice de POISSON, trabaja bien y posee rigidez suficiente para ser colocado con facilidad.

b. - CARTON DE FIBRA IMPREGNADO. - El material es compresible y generalmente cumple con los requisitos de los pliegos de condiciones; como en el caso de la madera, la recuperación está influenciada por su contenido en humedad. Debe ser almacenado al aire libre durante algunas semanas antes de ser empleado para permitir la evaporación de los aceites volátiles que lo impregnaron; el olvido de esta precaución puede traducirse en que los aceites volátiles se evaporan después de que éste ha estado el material en la junta ensuciando al concreto, y lo que es peor, ablanda, fluidificando el material de sellado. Se cura fácilmente en la forma conveniente y es suficientemente rígido para su fácil colocación.

c. - CORCHO. - Para relleno de juntas pueden usarse distintos tipos de corcho:

- 1.- Gránulos de corcho aglomerados con caucho.
- 2.- Gránulos de corcho aglomerados con resinas.
- 3.- Láminas de corcho prensadas.

Los tres tipos suelen cumplir los requisitos de compresión y dilatación (transversal); como los arbores, se curan con facilidad y tienen suficiente rigidez para ser colocados fácilmente.

d. - ESPUMA DE CAUCHO. - Los rellenos de juntas se hacen generalmente con caucho natural, aunque puede emplearse indistintamente el sintético. Se cura con facilidad, por lo que resulta más fácil su colocación en la junta, a menos que se usen apoyos especiales. ES Fácilmente

compresible, recupera su espesor inicial cuando cesa la compresión y el material puede además hincharse en presencia de agua.

g.- PRODUCTOS BITUMINOSOS.- Existen tres tipos de productos bituminosos que se utilizan prefabricados como relleno de juntas de dilatación:

1.- Láminas prefabricadas de compuestos bituminosos con elevado punto de reblandecimiento.- consta de una mezcla de cuatro partes de betún asfáltico Soplado, de punto de reblandecimiento elevado, cuatro partes de arena y dos partes de lana de vidrio. La mezcla se hace en caliente, se vierten en moldes adecuados y, una vez fría, se cortan en tiras del tamaño deseado.

Otro tipo de mezclas adecuadas para material de relleno constan de grahmita (21 %), aceite residual derivado de un petróleo no asfáltico (49 %) y asfalto nativo (30 %).

Devidga cumplir lo siguiente:

Penetración a 46 °C. (100 g. , 5 seg.)	dé. Ene. de mm.
Penetración a 25 °C. (100 g. , 5 seg.)	50 - 60
Penetración a 0 °C. (100 g. , 5 seg.)	35 - 40
Punto de reblandecimiento	20 - 30
Solubilidad en S ₂ C	60 - 107 °C
	99,5 %

2.- Láminas de producto bituminoso reforzadas por una o ambas caras con Fieetros impregnados con betún. - El producto bituminoso que forma la Lámina, es relativamente delgado, es de la misma naturaleza que los descritos anteriormente. Los Fieetros C que pueden ser Láminas de papel, Láminas de algodón impregnadas de betún o Láminas de amianto perforadas. La función de fortalecer la junta y permitir que puedan transportar en tiempo de frío sin peligro de fractura. El producto bituminoso del centro de la junta debe tener un punto de reblandecimiento elevado y una baja susceptibilidad a los cambios de temperatura, sobre llevar de un 65 al 80 % de materia mineral finamente dividida (caliza, pizarra, arcilla, entre otros) y del 15 al 30 % de material fibroso. La función del filler es aumentar la tenacidad del producto, su resistencia a los cambios de temperatura y, en algunos casos, reducir el costo.

Los materiales de relleno se fabrican vertiendo el producto bituminoso fundido en recipientes que toman las Láminas de Fieetro en el fondo o por un procedimiento continuo análogo al que se utiliza en la preparación de Láminas prefabricadas de techados, en las que las Láminas de Fieetro se unen introduciendo entre ellas el material asfáltico fundido, ajustando cuidadosamente el espesor del conjunto al que se desea en la junta. La anchura de la Lámina debe ser igual a la longitud total de la junta una vez fría. Se corta la Lámina transversalmente en tiras de 75 a 150 centímetros de ancho, dependiendo del espesor del pavimento del que se va a emplear.

3.- Fieetros reforzados por Láminas metálicas. - Consisten de un Fieetro impregnado de material bituminoso que va reforzado

por ambos lados por láminas metálicas dobladas.

En general, las mezclas bituminosas suelen ser poco compresibles, y de aquí que se hayan hecho intentos para comunicarle compresibilidad al betón mediante la incorporación de granulos de corcho, pero aún no se han obtenido resultados satisfactorios ya que por acción de las tensiones continuadas que se crean en la junta, el betón fluye sistemáticamente.

MATERIALES PARA EL SELLADO DE JUNTAS

Tienen mas importancia que los de relleno, mientras estos sirven unicamente como espaciadores de las losas, los de sellado son los encargados de evitar el paso del agua y la arena; es decir, han de asegurar la impermeabilidad y hermeticidad de la junta, lo cual requiere una buena cohesión del material y adherencia al concreto.

La adhesividad de un material a otro es un fenómeno de superficie y depende, por tanto, del contacto íntimo y de la afinidad mutua entre las superficies de los dos materiales. El contacto íntimo entre dos sólidos o entre un sólido y un semi sólido es difícil obtener, a menos que uno de ellos pueda ser licuado temporalmente en el momento de hacer dicho contacto; la facilidad de un líquido para hacer íntimo contacto con la superficie de un sólido se conoce como su poder mojanje y la de un sólido para con un líquido, su mojabilidad. El poder mojanje está regido en gran parte por su viscosidad, al igual de otros factores cuando menor sea su viscosidad, mayor es su poder mojanje.

Por esto, para conseguir una buena adherencia entre los materiales de sellado y el concreto, se aplican aquéllos en la junta en estado de baja viscosidad conseguida bien

por calentamiento (materiales para ser vertidos en caliente) o mediante el uso de disolventes (mastics aplicados en frío) estando el concreto seco y exento de polvo.

Una vez conseguida la adherencia al concreto, que puede mejorarse mediante el uso de imprimadores, los materiales de sellado deben resistir pequeñas tensiones sin mostrar excesivo flujo y poder seguir, sin pérdida de cohesión y adherencia, las deformaciones de las losas a que se aplican.

Como las juntas están expuestas a notables variaciones de temperatura, se requiere para su sellado un producto de baja susceptibilidad a los cambios de temperatura en el sentido del que sea resistente al flujo a la temperatura máxima y suficientemente deformable para acomodarse sin muestras de fisuración a la abstracción de la junta, a la mínima a la que se encuentre sometido.

Esta baja susceptibilidad a los cambios de temperatura que contribuye al buen comportamiento del material en las condiciones de servicio, es evidentemente un inconveniente desde el punto de vista de su puesta en obra.

Por el modo del que son colocados los materiales de sellado de juntas se clasifican en:

- | |
|---------------------------|
| a. - Vertido en caliente. |
| b. - Aplicados en frío. |

A. - MATERIALES DE SELLADO PARA SER VERTIDOS EN CALIENTE.

En el sellado de juntas se utilizan, en general, cuatro tipos de compuestos que se aplican por vertido en caliente:

- 1.- A base de resinas.
- 2.- A base de betunes de destilación ordinaria.
- 3.- A base de betunes oxidados.
- 4.- Mezclas de betun - caucho.

Cuyas características generales son las siguientes:

1.- COMPUESTOS A BASE DE RESINAS.- Tienen un color gris y por ello gran aceptación cuando se desea que la junta no destaque mucho del pavimento.

Se vierte con facilidad, presenta elevada susceptibilidad a los cambios de temperatura, llegando algunos a fluir durante el verano; su resistencia al paso de la arena es baja, se adhieren bien al concreto seco, exento de polvo, pero se desprenden de éste con facilidad en presencia de agua.

2.- COMPUESTOS A BASE DE BETUNES DE DESTILACION ORDINARIA .-

Un ejemplo lo tenemos en las emulsiones bituminosas a las que se ha añadido un 1.5 % de arcilla coloidal (bentonita). La película bituminosa que queda después de seca la emulsión no fluye ni aun en temperaturas de los 100 °C, en superficies verticales. Un efecto similar puede obtenerse añadiendo a betunes asfálticos (fundidos o en solución), materiales fibrosos, como la fibra de amianto.

3.- COMPUESTOS A BASE DE BETUNES OXIDADOS.- Los betunes de elevado índice de penetración, con fase intermolecular de baja viscosidad y estructura tipo "gel" (betunes soplados con caracter reológico complejo), tienen la propiedad de seguir

rápido de pequeñas deformaciones a temperaturas relativamente bajas.

Así mismo, presentan resistencia al fluir a temperaturas elevadas, debido al límite de fluencia de la estructura micelar. Pueden añadirse los " fillers " minerales y en la tabla VII.2 se dan datos que ponen de manifiesto el efecto sobre la resistencia a fluir, de un betún asfáltico de tipo soplado, producido por la incorporación a éste, distintos fillers. Estos fillers minerales disminuyen la susceptibilidad a los cambios de temperatura del producto, abaratan el mismo y aumentan su resistencia a la formación de grietas. Entre los más usados, están la caliza, dolomita, sílice, arcilla, cenizas volantes y las puzolanas.

TIPO DE FILLER	COMPOSICION DE LA MEZCLA		FLUJO A 75 °C EN MM (*)
	BETUN	FILLER	
	100	----	320
Microamianto	90	10	240
Microamianto	85	15	220
Microamianto	80	20	190
Microamianto	70	30	100
Microamianto	60	40	15
Amianto fibra corta	85	15	10
Lana de vidrio	85	15	10
Pulvo de pizarra	85	15	250
Arcilla	85	15	160
Tierra de diatomeas	85	15	120

TABLA II. - INFLUENCIA DE ALGUNOS TIPOS DE FILLERS SOBRE LA RESISTENCIA A FLUIR DE UN BETUN ASFALTICO SOPLADO DE PENETRACION A 25°C = 41 DECIMAS DE MILIMETRO.

.- *.- Flujo en milímetros de una lámina de compuesto bituminoso a 5 milímetros de espesor sobre una placa de acero colocada con una inclinación de 45^o grados.

4.- COMPUESTOS BETUN - CAUCHO .- Es sabido que los betunes asfálticos de distintos orígenes o los obtenidos por distintos procesos de fabricación tienen diferentes propiedades. Este hecho puede aprovecharse para lograr betunes con las características convenientes a las deseadas en un tipo particular de aplicación (construcción de pavimentos, techados, juntas, ect.), pero aun seleccionando así un betún, no se logra que cumpla todas las condiciones requeridas, ni es posible conseguir éstas por combinación de sus constituyentes principales (asfaltenos, resinas asfálticas y aceites); de aquí que se haya tratado de mejorar estos materiales cambiando su composición básica, mediante adiciones de sustancias extrañas a ellos.

El caucho sintético se obtiene generalmente del petróleo y posee muchas de las propiedades que faltan en el betún, además de una natural compatibilidad con éste. Ocurre que al intentar la íntima combinación de caucho y betún para mejorar las características de éste; y se logan las propiedades, se necesita de una estrecha unión entre ellos, que se consigue formando en cuenta los siguientes factores :

a.- Las partículas de caucho deben estar en su estado original; es decir, no vulcanizado, a fin de que el calor y la agitación puedan romperlas fácilmente.

b.- el tamaño de la partícula del caucho que va a mezclarse

con el betún debe de ser sumamente pequeño (el caucho coprecipitado puede conseguirse con tamaño inferior de una micra de milímetro), para que presente gran superficie de contacto.

Las mezclas betún - caucho son más bien difíciles de verter y deben manejarse con especial cuidado si se desea que conserven sus propiedades, ya que en general, son menos resistentes al calentamiento prolongado a temperaturas relativamente elevadas, que los betunes asfálticos puros. La influencia de la adición de caucho en algunas propiedades del betún puede verse a continuación :

PROPIEDADES	BETUN SOPLADO PURO	95 PARTES DE BETUN. 5 PARTES DE CAUCHO EN POLVO.
Penetración a 25 °C	37	29
Punto de reblandecimiento	86	116
Índice de penetración	+ 4.4	+ 6.8
Viscosidad a 150 °C	2,300 C.S.	50,800 C.S.
Viscosidad a 175 °C	510 C.S.	11,000 C.S.
Flujo a 60 °C (1)	11 mm.	0 mm.
Flujo a 75 °C. (1)	134 mm.	1.5 mm.

. - (1) . - Medido sobre una lamina de betún de 5 milímetros de espesor, colocada sobre una plancha de acero con una inclinación de 45 grados, durante veinte horas.

B. - COMPUESTOS PARA EL SELLADO DE JUNTAS APLICADAS EN FRIO.

Son más fáciles de colocar que los vertidos en caliente, requieren de aparatos menos complicados y no representan el peligro de sobrecalentamientos que pudieran originar transformaciones indeseables.

Existen dos métodos para obtener compuestos de sellado aplicables en frío. Difieren en el tipo de disolvente usado para conseguir que el compuesto sea suficientemente fluido para poder ser aplicado a temperatura ambiente, por vertido o por inyección a baja presión.

El primero utiliza el agua como disolvente y se basa en mezclar, in situ, una emulsión bituminosa con látex de caucho y un material capaz de producir el endurecimiento del compuesto por reacción química y por evaporación del agua.

El segundo utiliza un disolvente volátil en el que va dispersado el betún asfáltico. La mezcla in situ de este betún fluidificado con un material pulverulento, conduce a un producto de tal consistencia que puede ser inyectado en la junta y es capaz de endurecer, bien por evaporación del disolvente o por reacción de éste con el material pulverulento.

Como agente coagulante no debe usarse el cemento puro, por la dificultad de obtener una mezcla uniforme; lo que se hace generalmente es mezclar cemento con caucho y betún pulverizados, con ello se consigue una fácil dispersión en la emulsión y un

aumento en la consistencia del material durante el periodo en que la emulsión es todavía fluida. Para conseguir una acción coagulante más uniforme se ha empleado con éxito el cemento aluminoso, teniendo las mezclas de cemento con caucho y betón pulverizados suelen tener del 20 al 40 % de cemento y el resto de betón y caucho en partes iguales, y la adición del 1 % de estabilizador aniónico sirve para controlar el tiempo de fraguado.

Para evitar el aumento excesivo de la consistencia de la mezcla inmediatamente después de efectuada, y que el material excesivamente duro una vez fraguado, se adicionan aceites plastificantes a la fase emulsionada, antes de la mezcla, en cantidad aproximada del 10 %. Ese tipo de sellamiento es de gran ventaja para el contratista, ya que eliminaba la necesidad de limpiar las juntas al preparar el cierre de las mismas, varias semanas después de construido el pavimento.

En los compuestos de sellado hechos a base de emulsiones, la fase emulsionada consiste en una mezcla de emulsión bituminosa y látex de caucho; se ha visto que las emulsiones estabilizadas con caseína no son adecuadas, ya que al coagular adquieren una estructura que da al compuesto una fragilidad por judicial y las estabilizadas con jabones están libres de este efecto. El látex que generalmente se emplea contiene del orden del 65 % de caucho sólido y las mezclas no deben contener más del 20 % de látex, para evitar que se forme una película superficial de caucho, que tiende a reducir la adherencia al concreto.

VIII. PLIEGOS DE CONDICIONES

1. - Productos bituminosos prefabricados para el relleno de juntas (A.S.T.M D 094-48 T). Las condiciones que deberán cumplir los productos bituminosos prefabricados que se empleen para el relleno de las juntas de dilatación en trabajos de concreto son :

a. - COMPOSICION. - El material para relleno de juntas constará de un mastice bituminoso colocado entre dos láminas de fieltro impregnadas de betún. El " mastic " debe contener un " filler " mineral y material fibroso de refuerzo y podrá llevar tiras delgadas de fieltro para darle mayor rigidez. La proporción de betún soluble en sulfuro de carbono en el " mastic " será, como mínimo, el 70 % en peso, cuando el espesor de la junta sea mayor de 0.7 centímetros, y si este es menor será como mínimo del 65 %

b. - REQUISITOS GENERALES. - Las láminas de material bituminoso prefabricadas para el relleno de juntas de dilatación no deberán deformarse ni romperse por el manejo ordinario a la intemperie, ni volverse quebradizas en tiempo de frío y deberán rechazarse las porciones deterioradas.

c. - PROPIEDADES. - En la deformación a 50 °C, la flecha máxima permisible medida desde la horizontal, que experimentará la probeta cuando se ensaye, siguiendo el procedimiento correspondiente, será de 2.5 centímetros; en la fragilidad, el material no debe agrietarse ni quebrantarse al ser ensayado por el método descrito, a las láminas bituminosas para relleno de juntas de dilatación que tengan un espesor igual o mayor a 0.7

centímetros, no se les exigirá la prueba de fragilidad.

La absorción de agua, en el producto bituminoso, ensayado, no debe exceder de los siguientes valores :

Espesor de la junta en cm.	Absorción de agua máx. X 100 en peso.
2.5	2.5
1.9	3.0
1.3	4.0
1.0	5.0

Compresión. - la carga necesaria para reducir el espesor de la probeta al 90 % de su valor original no debe ser inferior a $7 \text{ Kg} / \text{cm}^2$ ni superior a 50, cuando el material se ensaya según el método que le corresponde. A los materiales cuyo espesor sea inferior a 1.3 cm, no se les exigirá la prueba de compresión.

d. - DIMENSIONES Y VARIACIONES PERMISIBLES. - Los productos bituminosos prefabricados para el relleno de juntas, se ajustarán a las dimensiones especificadas en el proyecto. Deben rechazarse los que no estén de acuerdo con dichas dimensiones, dentro de las siguientes variaciones admisibles :

Espesor	$\pm 0.2 \text{ cm.}$
Profundidad	$\pm 0.6 \text{ cm.}$
Longitud	$\pm 0.6 \text{ cm.}$

2.- Productos prefabricados elásticos y de baja dilatación transversal para el relleno de juntas (A.S.T.M. 544-49). Condiciones que deberán cumplir los siguientes tipos de productos prefabricados que se usen para el relleno de juntas de dilatación en pavimentos de concreto :

- Tipo I.- Corcho
- Tipo II.- Corcho autoexpansivo.
- Tipo III.- Esponja de caucho.
- Tipo IV.- Mezclas de corcho y caucho.
- Tipo V.- Fibras bituminosas.

a. - COMPOSICION DE CADA UNO DE LOS TIPOS DE MATERIALES.

a.1.- Corcho y corcho autoexpansivo.- Consisten estos materiales en unas tiras prefabricadas, formadas de partículas granulares de corcho limpio, aglomeradas con una resina sintética de naturaleza insoluble. El corcho granulado deberá estar relativamente exento de partículas duras y de polvo, no habiendo sido sometido durante su proceso de fabricación a temperaturas superiores a 150 °C.

a.2.- Esponja de caucho.- Este tipo está constituido de tiras prefabricadas de un producto de caucho elástico, estable, pudiendo estar reforzadas en cada uno de los lados por láminas de fieltro impregnadas de betún, unidas al producto de caucho por un proceso de calor y presión.

a.3 Mezclas de corcho y caucho.- Este tipo de materiales está

formado de partículas granulares de caucho, aglomeradas con un compuesto elástico y estable. El caucho granulado deberá estar relativamente exento de partículas duras y de polvo y no deberá verse sometido durante su proceso de fabricación a temperaturas superiores de 150°C.

a.4.- Fibras bituminosas.- Los materiales de este tipo para el relleno de juntas están integrados por fibras de naturaleza celulósica uniformemente impregnadas y aglomeradas con un producto bituminoso adictado.

b.- Características generales de los productos terminados.- Las tiras prefabricadas de material para el relleno de juntas no deberán deformarse ni romperse por el manejo ordinario, debiendo rechazarse las que presenten signos de deterioro.

c.- Propiedades.- en la que tenemos la compresión; la carga necesaria para reducir el espesor de la probeta al 50 % de su valor original no debe ser inferior a $7 \text{ Kg} / \text{cm}^2$ ni superior a 50, cuando se ensaye con el método correspondiente.

Los materiales del tipo V, después de la compresión, no tendrán una pérdida superior al 1 % de su peso original.

Recuperación.- Se someterá la probeta a tres aplicaciones consecutivas de una carga suficiente para reducir el espesor de la misma al 50 % de su valor original. La carga se retirará inmediatamente después de cada aplicación. Transcurrida una hora de la última aplicación de la carga, la probeta habrá recuperado como mínimo, el 90 % de su espesor original para los

tipo I, II, III y IV, y por lo menos el 70 % para el tipo V.

Dilatación transversal. - El ensayo se realiza sobre probetas que no podrán deformarse en sus tres de sus cuatro caras laterales, comprimiendo a estas probetas hasta reducir su espesor al 50 % del valor original. La magnitud de la dilatación transversal del borde libre no debe exceder de 0.65 cm.

Expansión. - Esta prueba se exigirá solamente a los materiales del tipo II. La probeta de ensayo, después de sumergida en agua hirviendo durante una hora, tendrá un espesor final no superior al 140 % del original. El enturbiamiento del agua no será considerado como indicación de fallo.

Ebullición en ácido clorhídrico. - Esta prueba se someterán únicamente a los materiales de tipo I y II. La probeta no presentará síntomas de desintegración al permanecer sumergida en ácido clorhídrico hirviendo, de densidad 1.18 durante una hora; la decoloración de la probeta y el entumecimiento en pequeña cuantía no serán considerados como fallos, inmediatamente después del período de ebullición se examinarán las probetas y deben rechazarse las que presentan los siguientes síntomas de desintegración :

- a.- Separación de partículas de corcho.
- b.- Falta de elasticidad de la probeta, haciéndose esta quebradiza y fácilmente desmenuzable.
- c.- Aspecto poroso de la superficie, pudiéndose desprender

con facilidad las partículas de corcho por tratamiento con los dedos:

Contenido en betón.- El contenido en betón asfáltico de los materiales del Tipo V será, como mínimo el 35 % en peso.

Dimensiones y tolerancias.- Los productos prefabricados para el relleno de juntas se ajustarán a las dimensiones especificadas en el proyecto deben rechazarse los que no estén de acuerdo con dichas dimensiones, dentro de las siguientes tolerancias:

Espesor	± 0.2 cm.
Profundidad	± 0.3 cm.
Longitud	± 0.6 cm.

Cantidad de muestra.- Para la realización de los ensayos se tomarán como mínimo cinco probetas de 12X12 cm., debiéndose elegir una muestra representativa del material de cada partida de 100 m² y de cada uno de los espesores encargados. Dichas muestras deberán empaquetarse de forma tal que no haya peligro de deformación o ruptura durante su transporte. Las muestras de corcho autoexpansivo, además de estos requisitos, deberán conservarse en sitio seco y embalarse para su transporte de forma tal que se evite el contacto con la humedad.

3.- Materiales de Tipo elástico para vertido en caliente en el sellado de juntas.- Condiciones que deberán cumplir los

materiales de tipo elástico que se usen por vertido en caliente en el sellado de juntas, en pavimentos de concreto, puentes y otras estructuras.

a.- Características generales.- El producto para el sellado de juntas constará de una mezcla de materiales que formen un compuesto elástico y adhesivo capaz de garantizar, de modo eficaz, el cierre de las juntas en pavimentos en concreto, evitando la infiltración de humedad o materias extrañas durante los ciclos alternativos de dilatación y contracción de las losas, debido a los cambios de temperatura. Asimismo ofrecerá resistencia a fluir de la junta y no se adherirá a las llantas de los vehículos, a las temperaturas relativamente elevadas del verano; en estado de fusión deberá presentar una consistencia uniforme tal que permita, por vertido, el llenado completo de la junta evitando la formación de bolsas de aire o discontinuidades, y finalmente no se descompondrá durante el período de calentamiento que precede al vertido.

Precauciones para la aplicación y uso de los materiales comprendidos en vertidos en caliente.- La mayor parte de los materiales conocidos cumplen con las condiciones antes descritas, pero pueden experimentar transformaciones indeseables cuando se calientan a elevadas temperaturas o durante prolongados períodos de tiempo. Deberá prestarse atención a la elección del equipo que vaya a utilizarse, para que sea adecuado al fin que se persigue, el material deberá calentarse en caldera o tanque de doble fondo, llenando el espacio entre la pared interior y la exterior con aceite, asfalto u otro material adecuado para la transmisión de calor. Durante el calentamiento, el material

estará sometido a agitación mecánica y a un control riguroso de temperatura.

Cuando el material se use en el resellado de juntas que contenga un producto distinto, se recomienda la limpieza a fondo de las mismas, extrayendo por inyección de aire comprimido, el material que se desprenda; la continuación deben tratarse las superficies de concreto con pasta de petróleo u otro disolvente altamente volátil.

4.- Compuestos bituminosos plásticos que se apliquen en frío para el sellado de juntas.- Estos compuestos deben cumplir lo siguiente:

a.- Características generales.- Los productos para el sellado de juntas comprendidos en esta norma, consistan de una mezcla de componentes líquidos y sólidos que formen un compuesto adhesivo capaz de garantizar, de modo eficaz, el sellado de las juntas en pavimentos de concreto evitando la infiltración de humedad o materias sólidas durante los ciclos alternativos de dilatación y contracción de las losas, debido a los cambios de temperaturas. Asimismo no deberá adherirse a los elementos del tráfico a las temperaturas relativamente elevadas del verano. La consistencia del compuesto será tal que pueda ser aplicado a temperatura ambiente, a una presión que no exceda de 7 kg/cm² sin formar bolsas de aire o discontinuidades, dicha consistencia la conservará durante un periodo mínimo de dos horas después de su preparación.

b.- Propiedades físicas.- Los compuestos comprendidos y

preparados según las indicaciones del fabricante cumplirán los siguientes requisitos:

Penetración (después de mantener la probeta veintitres horas a temperatura ambiente y una en agua a 0 °C o a 25 °C):

A 0 °C (200 gr., 60 seg.) no mayor de 1 cm.

A 25 °C (150 gr., 5 seg.) no mayor de 2.20 cm.

Flujo a 65 °C (después de mantener la probeta 24 hrs. a temperatura ambiente), no mayor de 0.5 cm.

Adherencia. Se someterá el material, después de 48 hrs. de permanencia al aire, a 5 ciclos completos de adherencia, cada uno de los cuales consta de un periodo de extensión de la probeta colocada entre dos bloques de mortero fresco o endurecido, según el modo en que se vaya a aplicar el material en obra a 18 °C seguido de otro de compresión a temperatura ambiente.

c.- Cantidad de muestra.- Debe enviarse al laboratorio una muestra de los componentes que se usen en la preparación del material de sellado de juntas, en cantidad suficiente para obtener una probeta representativa del producto acabado con peso mínimo de 0.5 kg.; esta muestra se tomará del material que vaya a ser aplicado en obra y se enviará al laboratorio treinta días antes de su empleo, facilitándose al laboratorio las instrucciones dadas por el fabricante sobre la proporción en que han de mezclarse dichos componentes. Los compuestos bituminosos plásticos que se emplean en frío para el sellado de juntas pueden aplicarse estando el concreto de las losas endurecido o fresco; en el primer caso las juntas deben hacerse dentro de las 48 horas siguientes al vertido del concreto.

promovidos por vendedores y no necesariamente con el conocimiento o la aprobación del fabricante. Por lo cual se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

a). - Debido a lo angosto del corte con sierra, de 3 a 6 mm (1/8 - 1/4 de pulg.) casi cualquier movimiento normal de una junta sobre pasa la capacidad de los selladores. Por ejemplo, si un sellador tiene una capacidad de movimiento de un 30 % cuando se instala en una relación ideal de ancho / profundidad. Si vemos que en un corte de sierra de 4.7 mm de ancho, permitirá solamente 1.4 mm de movimiento, siendo éste un valor mucho más bajo que el de la contracción típica del concreto.

b). - El factor de movimiento del 30 % se basa en la relación / profundidad de 1:1 como máximo; pero lo ideal sería que la profundidad fuera la mitad del ancho, por lo tanto, para mantenerse dentro de los límites de movimiento de los selladores, la junta debería tener una profundidad de 3 a 6 mm (1/8 - 1/4 de pulg.), como máximo, la cual, de hecho, resulta inútil bajo carga o tráfico.

c). - Si se lee la literatura de cualquier fabricante, se encontraría que estipulan que "no se use en juntas menores de 6 mm (1/4 de pulg.) de ancho" excluyendo, de esta manera, la mayor parte de las juntas aserradas.

d). - El sentido común indica que un borde suave (Choro A de 25 - 45 °) no puede proteger, de ningún modo. El borde de una junta de concreto cuando está sujeta al maltrato producido por montacargas de 900 a 3600 kilogramos (2000 a 8000

Hijas) de peso C (Fig. VII.5).

- Cede bajo carga y deja el fondo expuesto.
- Está suspendido y por lo tanto es débil.
- Como el sellador cede, el impacto en el concreto es directo.

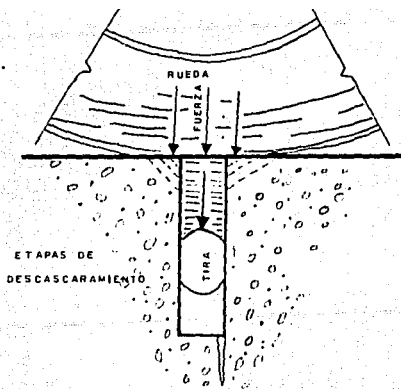


FIGURA VII.5. - SELLADOR SUAVE

La profundidad de los elastómeros se controla por medio de una tira de polietileno que sirve como respaldo y no se instala en toda la profundidad, por lo que se usa de 1/4 a 1/6 del material necesario para una aplicación en la profundidad total de la junta.

Esto casi siempre requiere de la aplicación de un estabilizador con material aglutinante C que mejora la adhesión en ambos lados de la junta, antes de hacer su instalación.

La tira de respaldo debe controlarse a una profundidad precisa, a fin de obtener el máximo de flexibilidad. Las tiras también deben instalarse estrechamente en la intersección de la junta para evitar que se filtre el sellador.

Debido a estos aspectos críticos, se tiene un alto costo en la mano de obra.

Aun cuando el costo de los selladores más suaves ya instalados es menor, todavía subsiste el hecho de que no satisfacen la razón principal para rellenar las juntas : La protección contra el descascaramiento.

Nuevamente el costo inicial no es siempre un " costo verdadero "; el otro rellenedor popular el " Epóxico Rígido o Lechada Epóxica ", también presentan serias deficiencias cuando se utiliza en las juntas de pisos.

Por lo general son materiales muy rígidos y duros, como tales transmiten el impacto o golpe de las ruedas duras directamente a la losa, ocasionando su deterioro.

Como en el caso de muchos materiales duros, éstos tienden a hacerse quebradizos a medida que envejecen, en especial, después de haberlos maltratado al golpearlos constantemente con ruedas duras y después de haberlos sometido a la acción de limpiadores abrasivos y máquinas pulidoras de pisos.

El problema mayor de los epóxicos es que están formulados como adhesivos estructurales y, por lo tanto, poseen una alta resistencia a la tensión; si se utilizan en las juntas de pisos se unen estructuralmente los segmentos de las losas y evitan que el movimiento normal y anticipado, causado por la contracción, tenga lugar en la junta, ya que este movimiento es la razón principal para crear las juntas (FIGURA VII.6).

El resultado es la aparición de una grieta en sentido paralelo al corte aserrado, la cual significa nuevamente un importante costo de reparación para el propietario.

- El Formador, después de ser
aliviado, se coloca en la
 • La separación debe
ser de 10 cm (3.94")
como se muestra.
- La configuración en el interior
del molde, así como el
molde en sí, debe ser
nuevo y libre de cualquier
material extraño, como
de la figura 5.1.1.1.

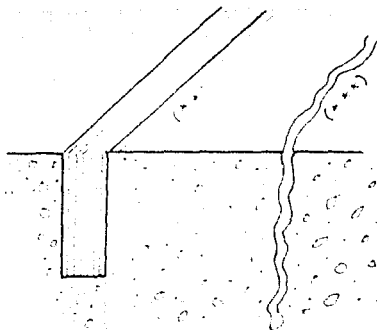


FIGURA 5.1.1.1

En todas las secciones transversales, una vez que se ha observado que el
 del formador de acero está libre de cualquier material extraño, se permite el uso
 de los mismos para el siguiente uso, siempre que se cumplan los requisitos
 de inspección de calidad de la siguiente manera: (a) el molde debe permanecer
 limpio; (b) el molde debe permanecer libre de cualquier parte de la estructura que
 proporcione protección lateral; (c) el molde debe permanecer limpio y libre
 de cualquier parte de la estructura que proporcione protección lateral; (d) el
 molde debe permanecer limpio y libre de cualquier parte de la estructura que
 proporcione protección lateral; (e) el molde debe permanecer limpio y libre
 de cualquier parte de la estructura que proporcione protección lateral; (f)
 el molde debe permanecer limpio y libre de cualquier parte de la estructura
 que proporcione protección lateral; (g) el molde debe permanecer limpio y
 libre de cualquier parte de la estructura que proporcione protección lateral;
 (h) el molde debe permanecer limpio y libre de cualquier parte de la estructura
 que proporcione protección lateral; (i) el molde debe permanecer limpio y
 libre de cualquier parte de la estructura que proporcione protección lateral;
 (j) el molde debe permanecer limpio y libre de cualquier parte de la estructura
 que proporcione protección lateral; (k) el molde debe permanecer limpio y
 libre de cualquier parte de la estructura que proporcione protección lateral;

UN RELLENADOR ÓPTIMO.

Se han establecido cuatro hechos básicos que son:

- 1.- Las juntas de los pisos deben rellenarse.
- 2.- El costo real de rellenar una junta no siempre es evidente.
- 3.- No es posible obtener un rellenedor perfecto.
- 4.- Los rellenedores actuales no resultan adecuados para las juntas de pisos.

Lo anterior conduce a una conclusión ineludible: es necesario desarrollar un rellenedor término medio; esto quiere decir que deben sacrificarse algunas de las características menos importantes de un sellador ideal, manteniendo los elementos más importantes, así es como se debe contemplar la situación.

Puede sacrificarse la elasticidad; si una junta se expande o se contrae, fallará cualquier material, por lo tanto, debe mantenerse la firmeza, con el objeto de proteger el borde de la junta (Figura VII.7 3).

Una vez que se ha establecido la firmeza como valor deseado, debe sacrificarse la dureza (con términos de que el material se vuelva quebradizo), y hacer necesario una cierta elasticidad para la absorción del impacto.

Con el fin de reducir la necesidad de contar con una alta resistencia a la tensión y una alta adherencia, las cuales pueden ocasionar una unión estructural, se puede utilizar un rellenedor para cubrir toda la profundidad, que se mantenga en su

Lugar por gravedad y que sea compatible con la presión de las cargas de tráfico.

- Ofrece resistencia a las cargas, y protege a los bordes.
- Asienta sólidamente en la junta.
- Forma una superficie constante; no hay impacto ni descascaramiento.

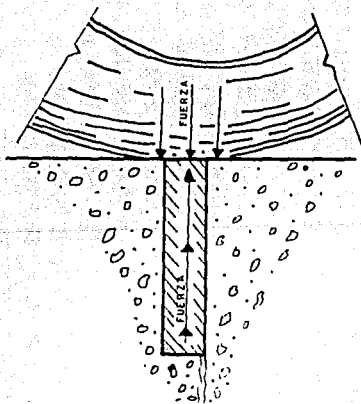


FIGURA VII.7 - SELLADOR FIRME.

Puesto que ahora se habla del trabajo de rellenar la junta en toda su profundidad, debe tratarse de reducir el costo de la instalación y mantener un producto de calidad; ésto se puede lograr mediante:

- 1.- la facilidad de instalación, la cual trae como resultado un costo menor en la mano de obra.

2.- El producto debe ser un sellador fluido, por lo tanto será fácil de instalar y eliminará la necesidad de contar con productos de tamaños y formas diferentes.

3.- Eliminar la estabilización con aglutinantes, puesto que ya no será necesaria la adherencia para mantener el material en su lugar.

4.- Ya se ha eliminado el costo de la tira de respaldo y de su instalación, al llenar toda la profundidad de la junta.

En los factores no materiales se debe tomar cuenta en existir en que se efectúe un corte de sierra amolada (Una hoja de diamante de 3 mm o 1/8 de pulgada) de grueso mantenga una junta angosta y permita utilizar únicamente la mitad del sellador que se necesita para un corte de 6 mm o un 1/4 de pulgada de ancho. Así mismo, una junta angosta indica que los bordes están más cerca y, por lo tanto, menos expuestos a los daños ocasionados por las ruedas duras.

Se debe tener cuenta que al hacer las reparaciones éstas deben de tener cierta facilidad. Ya que debe aceptarse el hecho de que cualquier sellador requiere de un mantenimiento periódico.

Con un sellador de profundidad total y de baja resistencia de adherencia, es probable que las reparaciones sean necesarias en aquellas zonas donde el sellador haya separado de la losa por lo cual se debe hacer una reparación limpiando la junta (aspilando o soplando en ella), y se coloca el sellador necesario en el hueco (FIGURA VII.B.1).

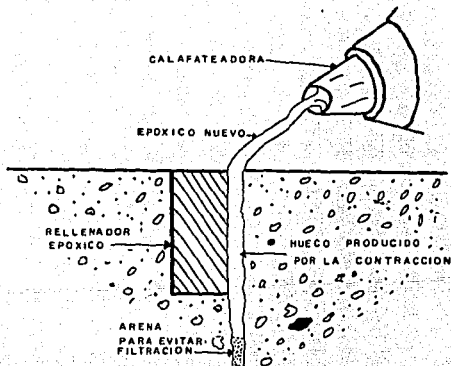


FIGURA VII. B REPARACION DE LA JUNTA CON EPOXICO DESPUES DE LA CONTRACCION.

Partiendo de este punto, con facilidad se pueden obtener otras características deseadas por medio del curado controlado, haciendo del sellador un material de dos partes con un curado inducido químicamente y el cumplimiento de las normas de las USDA y la FDA, deben utilizarse componentes no cancerígenos que se vuelven inertes al curarse en una masa sólida. El sellador término medio puede entonces describirse brevemente como un producto formado por dos componentes, automezclantes, que no necesita aglutinante estabilizador antes de ser colocado en la profundidad total de la junta, el cual cuando se ha curado totalmente forma una barra de material semirígido (Shore A 65-85), semejante al hule. Una vez más se debe hacer énfasis en que esto no es el sellador perfecto para las juntas de pisos, pero sí satisface las necesidades más críticas en las juntas de concreto.

CAPITULO VIII. - COMPARACION DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS UTILIZANDO MALLA ELECTROLDADA Y FIBRAS DE POLIPROPILENO.

GENERALIDADES.

Los pavimentos rígidos con fibras de polipropileno, han venido a mejorar algunas de las propiedades del concreto convencional que se utilizaba en pavimentos rígidos, ya que presentan una distribución uniforme en toda la masa del concreto ejerciendo una acción reforzante en toda la constitución de la losa de concreto mientras que la malla electrosoldada solamente en la posición en que se encuentre o sea en el eje neutro.

Los principales efectos que trae consigo la incorporación de fibras de polipropileno al pavimento rígido, se pueden resumir de la siguiente manera:

- .- Mejora el comportamiento a flexotracción.
- .- Un aumento de la resistencia a tracción.
- .- Control de fisuración.
- .- Incremento a la resistencia a la fatiga.
- .- Aumento a la resistencia al impacto.
- .- Aumento de la vida útil de la losa de concreto.

APLICACIÓN DE LAS FIBRAS EN CARRETERAS.

Un concreto para pavimentos difiere del concreto tradicional que estamos acostumbrados a emplear en nuestras estructuras en varios aspectos, entre los que tenemos:

.- Considerar que el pavimento es una losa que ha de transmitir las cargas que recibe del tráfico a la sub-base disminuidas, por lo cual es fundamental que tenga una elevada resistencia a flexotracción y en concreto estructural se habla de una alta resistencia a compresión.

.- El concreto para pavimentos es la resistencia a la fatiga debido a las repeticiones de cargas del tráfico que le ocasiona un deterioro en su estructura.

.- Estos concretos deben de ser fácilmente trabajables con los equipos de construcción, especialmente en extensadoras deslizantes; que posean además de una gran cohesividad para que el concreto con pendiente no deslice hacia los puntos más bajos.

Una de las características más importantes a exigir a un pavimento es la resistencia a la flexotracción, que a su vez es la que se incrementa en el concreto reforzado con fibras de polipropileno, ya que en el momento en que se inicia la fisuración en la zona a tracción comienza a trabajar las fibras y continúan haciéndolo hasta la total pérdida de adherencia. Aunque las fibras están orientadas en todas direcciones dentro de la masa del concreto, siempre hay algunas que actúan de puentes entre las dos partes del concreto que dividen la fisura, transmitiendo los esfuerzos de acuerdo a la orientación en que está colocada la

fibra, teniendo muy variados ángulos de transmisión de estos esfuerzos.

Por supuesto que la resistencia última del concreto de fibras es inferior a la que poseería si todo el volumen de fibras estuviese en forma de barras convencionales armando la zona a tracción, en general, oscila entre un 0.25% y 0.35 % de la resistencia de un armado tradicional. La energía absorbida por un concreto de fibras depende de la cantidad, longitud, configuración, resistencia y ductilidad de las fibras de polipropileno, así como los contenidos de cemento, cantidad y tamaño de los agregados, relación agua-cemento, edad y curado del concreto.

El comportamiento a flexotracción de un pavimento curado utilizando fibras de polipropileno es totalmente elástico hasta este límite, como si se tratara de un pavimento convencional. Si sobre pasa el límite de la primera fisura, al incrementarse las tensiones el concreto se fisurará, pero la carga pasará a soportarla las fibras que atraviesan la fisura, constituyendo un equilibrio entre la tensión producida y la capacidad de soporte del concreto con fibras evitando por lo tanto que éste se fisure.

RESISTENCIA A LA FATIGA. - Otra de las características interesantes es la resistencia al impacto, especialmente en las zonas de juntas, es tal vez una de las más importantes propiedades del concreto con fibras de polipropileno. En ensayos realizados se ha demostrado que la energía de ruptura para concretos de fibras de extremos conformados es prácticamente el doble de la requerida para concretos reforzados con mallas electrosoldadas teniendo una energía de fractura de 5.5 J/m^2 .

pasan a tener 40.4 L/m^2 al adicionarse las fibras de polipropileno.

LA TIXOTROPÍA Y LA COHESIVIDAD. - La tixotropía y la cohesividad son dos propiedades esenciales en todo material que ha de ser extruido y que a la salida de la máquina ha de conservar la forma que le ha dado esta sin experimentar deformaciones en extremos de aristas, fibras ni desplazamientos hacia puntos de menor nivel. La cohesión de un concreto, así como su tixotropía están íntimamente relacionadas con los materiales empleados en su confección y con la dosificación y puesta en obra del concreto. Es sabido que la inclusión en cualquier pasta o mortero, confeccionado con aglomerados de materiales fibrosos tiende a aumentar la cohesividad y la tixotropía y esto ocurre igualmente con los materiales en los que es utilizado un conglomerado hidráulico, como el cemento en su composición.

No es de extrañar, por tanto, que la incorporación de fibras de polipropileno al concreto aumente de una forma notable estas propiedades y, hasta tal punto que se puede desechar el empleo del cono de Abrams, precisamente por la trabazón y el atado que dan las fibras a la masa, impidiendo que el cono desmoldado se deforme.

Para la buena ejecución de una obra de este tipo, han de tenerse en cuenta todos los detalles, incluso por pequeños que parezcan a primera vista, destacando los siguientes puntos:

- Hay que poner atención en el diseño de las juntas, evitando que éstas sean oblicuas a la dirección del tráfico formando ángulos excesivos agudos.

*.- Procurar que la profundidad de corte alcance la mitad del espesor de la losa, para evitar posibles efectos secundarios en la losa de concreto.

*.- Retrasar excesivamente la operación de corte de las juntas a fin de evitar la aparición de microfisuras que luego pueden generar en macrofisuras.

*.- Mantener una calidad uniforme del concreto, especialmente en cuanto a su relación agua-cemento se refiere, pues es un aumento de ésta se traduce no solo en una disminución de la resistencia del concreto, sino también en una reducción de adherencia de las fibras de la matriz de concreto.

*.- En el caso de recrecidos de reducido espesor, es necesario cuidar mucho la adherencia de la capa de concreto con fibras que sea con la sub-base existente.

Hoy se puede asegurar que con la adición de fibras de polipropileno al concreto, se han eliminado muchos de los inconvenientes que presentaba este material; a la vez que se han logrado ventajas económicas, debido a que al aumentar la resistencia siempre es posible reducir espesores en concretos en masa como es el caso de pavimentos rígidos.

Al comparar las fibras de polipropileno con la malla electrosoldada, se comparan costos contra beneficios entre los cuales tenemos que si, una losa de 12 centímetros de espesor aproximadamente, el mismo con ambos refuerzos, se obtiene que en la losa de concreto en la que se utilizó fibras de polipropileno se ahorran cargos extras por mano de obra, almacenaje y desperdicios inherentes al uso de la malla

electrosoldada y además se obtienen numerosos beneficios adicionales sin costo extra entre los cuales figurán:

a. - Las fibras de polipropileno incrementan la durabilidad y la tenacidad del concreto.

b. - Son compatibles con cualquier tratamiento superficial.

c. - Es un refuerzo tridimensional.

d. - Inhibe las grietas por contracción y cambios volumétricos, tanto en el estado plástico como endurecido el concreto.

e. - Retarda la evaporación, reduciendo el sangrado del concreto.

f. - Reduce la permeabilidad del concreto y por lo tanto reduce los problemas de corrosión en el acero.

g. - Incrementa la resistencia al impacto y al despedazamiento.

h. - Es seguro y fácil de usar sin adiestramientos de sujeción, ni elementos de elevación como se tienen que usar en la malla electrosoldada a efectos de colocación. Una comparación resumida se da en la tabla VIII.1

PROCESO DE CURADO DEL CONCRETO

El proceso de curado en un concreto fresco inmediatamente después de ser colado empieza a deshidratarse y a perder agua por capilaridad, debido a la migración de humedad hacia la superficie. Una vez que los huecos formados por esta evaporación u

VENTAJAS DEL REFUERZO SECUNDARIO.

CARACTERISTICAS	FIBRAS	MALLA
	POLIPROPILENO	ELECTROSOLDADA
Sirve de refuerzo contra la formación de grietas por contracción.	SI	NO
Mantiene unidas las grietas.	SI	SI
Sirve de refuerzo contra las fuerzas de impacto.	SI	NO
Sirve de refuerzo contra las fracturas.	SI	NO
Sirve de refuerzo contra la abrasión.	SI	NO
Sirve de refuerzo contra la permeabilidad.	SI	NO
A prueba de oxidación	SI	NO
Resistencia a la tensión -Psi-	80 - 110	65 - 70
Seguro y fácil de usar	SI	NO

TABLA VIII.1

migración y los vacíos formados por la evaporación quedan por debajo de la masa superficial del concreto y empieza a contraerse; una rápida evaporación puede provocar fuerzas de contracción que excedan las fuerzas de tensión del concreto fresco. En este punto las microfisuras existentes producen planos débiles en toda la masa de la losa, como aquella continúa contrayéndose, las grietas se propagan haciéndose mayores hasta convertirse en fallas visibles, las grietas de cualquier dimensión

no siempre reducen la calidad y durabilidad del concreto, pero son estéticamente inaceptables en una obra en común.

EL PROCESO DE CURADO DEL CONCRETO REFORZADO CON MALLA. - Históricamente la malla de acero se ha utilizado como refuerzo secundario para controlar el agrietamiento por contracción del concreto, pero siempre sucede que al colocar al concreto la malla electrosoldada difícilmente queda en un plano específico. Además la malla en rollo no es fácil de trabajar, por otra parte, aun cuando sea colocada correctamente, sólo sostendrá las piezas juntas después que el concreto se haya endurecido lo suficiente, por lo cual actúa la malla una vez que el concreto se ha agrietado.

La malla electrosoldada colocada en un solo plano no inhibe la formación de microgrietas y no afecta el grado de evaporación.

EL PROCESO DE CURADO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO. - Con 900 gramos de fibra de polipropileno por metro cúbico de concreto significan aproximadamente 7 millones de fibras de 19 milímetros distribuidas uniformemente en toda la masa de la losa de concreto hidráulico, su presencia mantiene la homogeneidad de la mezcla durante más tiempo y funcionan como millones de eslabones que distribuyen mejor los esfuerzos de contracción interna que provocan el agrietamiento.

Las fibras de polipropileno intersecan la propagación de las microgrietas y detiene su crecimiento, existiendo fibras en bloque que interrumpen la capilaridad normal del concreto provocando un curado lento, por lo tanto incrementa el potencial

del concreto aumentando su integridad y resistencia de diseño.

*.- Comparativa de precios entre la malla electrosoldada y las fibras de polipropileno en el mes de octubre de 1994.

Para realizar el siguiente estudio, tomamos como base el precio de 1 metro cuadrado de malla electrosoldada 6-6/10-10, incluyendo :

- *.- Armado
- *.- Traslapes
- *.- Anclajes

Por otro lado el precio de cada unidad de bolsa de fibras de polipropileno (dosificación por metro cubico de concreto).

Si tenemos una losa de concreto de 100 metros cuadrados, con un espesor de 10 centímetros se tienen aproximadamente 10 metros cúbicos, lo que se requerirá de 10 bolsas de fibras de polipropileno con 890 gramos cada una. Teniendo un precio de N\$ 18.00 c/u, por 10 es igual a:

N\$ 180.00 (ciento ochenta nuevos pesos).

En la misma losa de concreto de 100 metros cuadrados con un espesor de 10 centímetros, se requerirán de 100 metros cuadrados de malla electrosoldada de 6-6/10-10 con un precio total por metro cuadrado de N\$ 5.53, es igual a :

N\$ 553.00 (quinientos cincuenta y tres nuevos pesos).

En esta comparativa no se consideran conceptos que eventualmente pueden incrementar el costo de la malla como son: el transporte, acarreo, almacenamientos, elevación al sitio que se requiere, entre otros aspectos, que en el caso de utilizar las fibras de polipropileno no se consideran.

Por lo tanto, el utilizar fibras de polipropileno en la construcción de pavimentos rígidos, se tiene un ahorro significativo desde la mano de obra hasta en los desperdicios que son nulos aparentemente, así como un ahorro en la ejecución de la obra a menor tiempo posible. Lo cual esto no podría lograrse en la utilización de malla electrosoldada.

No obstante, y pensando sobre todo en su utilización en la actualidad, hay que resaltar que a pesar de que las mejoras mecánicas del concreto con fibras, esta técnica compete muy por abajo con las técnicas tradicionales debido principalmente a la poca información de publicidad con el medio masivo de gente que se dedica a la construcción.

CAPITULO IX CONSERVACION

Generalidades :

Una de las características de los firmes de concreto hidráulico es su durabilidad y la reducida conservación que necesitan, siempre y cuando estén bien proyectados y construidos.

En efecto, errores de proyecto (drenaje, sub-base, espesor de la losa, concepción de las juntas), o de construcción (calidad del concreto, puesta en obra, ejecución de las juntas, acabado superficial, protección del concreto joven), pueden conducir rápidamente a degradaciones importantes que obligan a proyectar y ejecutar reparaciones, que en ocasiones resultan antieconómicas.

Existen varias estrategias de conservación, en las cuales tenemos :

a.- Conservación preventiva.- Es el conjunto de trabajos preliminares de costo reducido, que si se realizan oportunamente (al aparecer los primeros problemas de degradación en el concreto) pueden mantener el pavimento en perfecto estado de seguridad y comodidad para el usuario, así como asegurar la vida útil de la losa de concreto a la que ha sido proyectado. Puede tratarse de pequeñas reparaciones (sellado en juntas y grietas) aunque también se podrían incluir aquí otros trabajos más complicados que pueden contrarrestar el problema que produce el defecto.

b. = Conservación manual. = Son trabajos más complicados y costosos que los primeros; se realizan cuando los defectos han adquirido una gran entidad (por ejemplo, reparaciones de grietas ocupando toda el espesor de la losa), teniendo que hacerse estas reparaciones en un tiempo más largo que la conservación preventiva.

Por último, si no se ha efectuado a lo largo de la vida del firme las suficientes operaciones de conservación, se puede llegar a una situación en que sea necesario su refuerzo o, en casos extremos, su reconstrucción. Estas estrategias no son independientes entre sí, sino que por cada caso, una combinación adecuada entre ellas puede dar lugar a los mejores resultados.

Es de destacar que a la hora de decidir se por un tipo u otro de conservación, es importante evaluar la frecuencia de unas u otras operaciones y su repercusión que pueda tener en el tráfico. El estudio y desarrollo de las estrategias de conservación han dado lugar a los modernos sistemas de gestión de pavimentos, o también gestión programada de los pavimentos.

Para poder programar la conservación de un firme de concreto, ya sea por métodos tradicionales o catetera, se debe tener en cuenta una gestión programada de los mismos, teniendo que tener en cuenta de asociación visual, cuyas características o parámetros son:

1. = El estado de deterioración superficial del firme, teniendo en cuenta, estados de las juntas, simetrías de agua y fijos, defectos localizados, estados de los arcoses, etc.

2.- Las características superficiales resistentes al deslizamiento y regularidad superficial.

3.- El movimiento de las losas producto del paso de todos los vehículos pesados sobre las juntas transversales.

Algunos de estos parámetros, como las degradaciones superficiales, puede ser, objeto de una inspección visual, pero para conocer el estado de la mayoría de ellos se debe recurrir a aparatos de medida que nos den una mayor información al respecto. También son muy útiles al respecto los catálogos de defectos, colecciones sistematizadas de estos en los que figuran, además de fotografías de los mismos, su descripción y forma de medición; en cuanto a la toma de datos mediante aparatos de ascultación, a continuación se citan algunos de los más usados:

Para el estado de degradación superficial el más usado es el GERPHO que, como se sabe, es un aparato de medida de gran rendimiento que fotografía durante la noche y de forma continua la superficie de la calzada. De este aparato existe una nueva versión que digitaliza los defectos fotográficos del estado de las losas de concreto y representa los resultados gráficamente mediante signos convencionales de dichos defectos, además de los listados presentados tradicionalmente.

Para medir la adherencia, el aparato más usado actualmente es el SCRIM, aparato de gran rendimiento que mide la resistencia al deslizamiento (CRT) del firme mojado mediante una rueda bloqueada. Otros aparatos son el remolque de STUGAR, SKIDDOMETER, entre otros.

Para medir la regularidad superficial hay distintos sistemas que se pueden realizar, entre los cuales tenemos:

- 1.- Referencias geométricas.- Por medio del biógrafo francés, el romelque del TLR Británico, etc.
- 2.- Referencias inerciales, como el APL.
- 3.- Oscilación de masas suspendidas, como el BUMP Integrator.

En cuanto a la capacidad portante del firme podemos citar el DYNAFLECT y el COLLOGRAPHIE francés.

La revisión del firme debe originarse en campañas periódicas que se deben efectuar al principio de la vida del firme, anualmente, hasta que una vez determinada la evolución de su comportamiento se pueden ir ampliando los plazos de revisión.

La época más adecuada para la revisión de los firmes de concreto es en invierno y en la primavera, que es cuando las grietas y las juntas están abiertas. Un momento en que las grietas son perfectamente identificables es después de una precipitación pluvial.

Los datos de la primera revisión deben de ser analizados con objeto de poder determinar la posible causa de los defectos registrados y teniendo que proyectar las soluciones más adecuadas, para este análisis hasta con obtener datos de una revisión aislada, entre los cuales tenemos:

- 1.- Datos de auscultaciones anteriores.
- 2.- Datos de proyecto de la carretera.
- 3.- Datos de la construcción del firme y de los elementos subyacentes.
- 4.- Estado de los elementos auxiliares, principalmente de los drenajes.
- 5.- Datos de las operaciones de mantenimiento realizadas anteriormente.
- 6.- Tráfico que ha soportado el firme.
- 7.- Climatología, entre las cuales tenemos las lluvias, diferencia de temperaturas, etc.

Es claro que para almacenar y manejar esta cantidad de datos es necesario formar un banco de datos que es el que se forma de los datos ya mencionados anteriormente y que, debidamente programados, ayuda eficazmente a tomar decisiones encaminadas a la correcta conservación de la losa de concreto.

IX.1

DEFECTOS ESTRUCTURALES

Se trata de defectos que pueden afectar a todo el espesor de la losa siendo una falla estructural la aparición de grietas que pueden ser de distintos tipos como longitudinales, transversales, de esquina entre otros. Estas grietas son causadas por diferentes motivos entre los que tenemos:

a. - PARA GRIETAS TRANSVERSALES.

1. Longitud excesiva de la losa.

FALLA DE ORIGEN

- 2.- Espesor insuficiente de la losa.
- 3.- Resistencia insuficiente del concreto.
- 4.- Mala calidad de los agregados.
- 5.- Falta de capacidad portante del soporte.
- 6.- Retraso en el sellado de las juntas.
- 7.- Bloqueo de juntas contiguas por mala colocación de pasadores.
- 8.- Construcción del pavimento en tiempo de excesiva temperatura ambiental, que sobre pase los 30°C.
- 9.- Fatiga por el paso de ejes demasiado pesados.
- 10.- Transferencia de carga insuficiente y corrosión de pasadores.
- 11.- Erosión de la capa de sub-base con formación de huecos bajo la losa, entre otros.

La eliminación de estas grietas en la losa de concreto, se realiza mediante varios procedimientos que toman en cuenta la abertura de las grietas, entre las cuales tenemos:

- .- Si la grieta tiene poco espesor (menor de 5 mm.) no hace falta ningún tratamiento, pero se deben revisar periódicamente.
- .- Con espesor medio (entre 0.5 y 1.5 mm.) basta con el sellado de la grieta, habiéndola cajado previamente mediante corte o fresado.
- .- En el caso de deterioro de los bordes de una grieta se puede proceder a realizar una reconstrucción de los mismos con portero, cemento o resinas epoxicas.

- a.- En el caso de espesores mayores de 1.5 mm. se procederá a una reconstrucción a mayor profundidad que en ocasiones es en espesor completo de la losa.

Todas estas reparaciones se harán por medio de cortes por medio de sierra con una profundidad de 3 a 4 cm. para hacer un cajado y formar una nueva junta. En los casos en que sea necesario se cortarán las antiguas barras de unión y se repararán los desconchones en los bordes de la junta longitudinal. Si las grietas son demasiadas en toda la superficie de la losa, se recomienda una reparación utilizando malla metálica de refuerzo, con un recubrimiento mínimo de 50 mm., colocando el concreto y darle nuevamente el acabado superficial.

Con lo que respecta a la capa de sub-base se deben de realizar trabajos de drenaje como son la colocación de drenes laterales, reposición de las condiciones ideales de apoyo y trabajo de la losa, y para reducir la longitud de la losa mediante la interposición de una nueva junta serrada.

b.- PARA GRIETAS LONGITUDINALES.

Se tienen las posibles causas:

- 1.- Dimensiones excesivas o desproporcionadas de la losa.
- 2.- Insuficiente profundidad de serrada o retraso del mismo.
- 3.- Construcción del concreto a temperaturas mayores de 30° C.

4. - Movimiento del cilindro.

5. - Fatiga provocada por el paso de ejes demasiados pesados.

Para la reparación se tiene los siguientes procedimientos :

a. - Distinguir los casos en los que el firme lleva en su junta longitudinal barras de unión y del firme que no las lleva.

a. - En el caso de llevar barras de unión y estar situada la grieta dentro del tercio central de las mismas, no sería necesaria ninguna actuación o se necesitaría sólo el sellado con epoxico.

a. - Cuando no hay barras de unión o la grieta está fuera del tercio medio central de las mismas, se tiene que hacer una reposición del espesor completo del firme.

a. - En el caso de estar la grieta longitudinal en la zona de rodamiento, habría que utilizar acero de alta resistencia.

c. - PARA LAS GRIETAS OBLICUAS O DIAGONALES. Se forman principalmente por asentamientos diferenciales, reparandolas por medio de sellado con epoxico, mortero, entre otros.

d. - PARA LAS GRIETAS EN ESQUINAS. Se forman por una débil transiencía de carga, deslizamiento entre los pasadores, apoyo deficiente sobre la capa de sub-base, entre otros. Se tiene

que hacer una reparación total del espesor de la losa de concreto.

Los movimientos verticales de las losas que son provocados por :

- 1.- El problema de bombeo en la interfase losa-base-arcén.
- 2.- Falta de transferencia de cargas entre losas.
- 3.- Los asentamientos del cimiento de la losa.

El principal problema en el de bombeo, ya que forma una cavidad entre losa y losa C en la junta D, que al paso del tráfico se amplía agrandándose más, y en algunos casos se forma un escalonamiento entre las losas. Esto se debe a que los fines suben a la superficie en presencia de agua y asciende por la junta hacia la superficie de rodamiento y en su lugar se queda un hueco que provoca una falla estructural o de escalonamiento, que es originada por :

- 1.- El paso de vehículos pesados.
- 2.- Material de sub-base erosionable.
- 3.- Presencia de agua bajo la losa.

Por lo tanto, no se puede actuar sobre ninguna de estas circunstancias durante el mantenimiento del firme, nos queda solo procurar que el agua permanezca el menor tiempo posible bajo la losa de pavimento, utilizando un drenaje lateral bajo la junta o por medio de geotextiles.

En el caso de que el drenaje lateral se haya realizado

en la carretera nueva a base de arceñ, constituido por material drenante, su conservación consistirá en limpiar la salida del material drenante al exterior, otros medios para evitar el problema de bombeo es la inyección del mortero en los puntos donde hay huecos, para recomponer el aislamiento ideal de la losa.

El frotado de los escalones, con o sin relleno previo de los huecos por inyección, de esta forma, además de disminuir las molestias al tráfico, se evita el efecto dinámico que sobre el conjunto losa-sub-base producen los camiones al pasar sobre ésta.

Los asentamientos se generan en los accesos a las estructuras y obras de fábricas, pasos de desmontes a terraplenes y viceversa, terraplenes altos, etc. y pueden ser debidos a capacidad de soporte diferencial, susceptibilidad hídrica de los materiales que componen el cimiento o compactación deficiente. Estos asientos producen grietas, tanto longitudinales como transversales, y se soluciona por medio de levantamiento de las losas por medio de gatos hidráulicos, y el relleno de los mismos huecos por inyección C para el aligamiento de la losa (mítda D). Siendo una época adecuada para la inyección en otoño, que es cuando la sub-base está seca y las losas no están totalmente dilatadas, por lo cual debe realizarse por las mañanas.

Los fallos por expansión, son provocados por esfuerzos longitudinales de compresión (pandeo D), que son causados por la diferencia de temperatura del medio ambiente.

La unión insuficiente entre dos capas de concreto se presenta en concretos por capas; siendo la causa la excesiva longitud de las capas. Las reparaciones que no abarcan todo el ancho de la calzada se pueden realizar con materiales bituminosos, concreto realizados a manera que no genere fallos por expansión. Las fuertes diferencias de espesor entre las losas contiguas en sentido longitudinal puede generar fallos en la losa de concreto.

Como puente de unión entre el concreto a colocar y el concreto de soporte suelen usarse dos tipos fundamentales de mezclas que son:

- 1.- La que su componente es cemento portland con la adición de resinas epoxicas, por lo general acrílicas.
- 2.- Las resinas epoxicas.

En el caso de utilizar cemento portland con resinas su aplicación se debe hacer por vía húmeda pero es contraproducente si se aplica solamente las resinas epoxicas, ya que el lugar debe estar seco. Las reparaciones con mortero combinado con resinas se utiliza en la conservación de la losa de concreto en las juntas (bordes), grietas, desconchones, etc. siendo su mayor ventaja el poco tiempo que transcurre desde su aplicación hasta su puesta en servicio al tráfico de la zona reparada (aproximadamente 6 horas en condiciones adecuadas).

Las resinas empleadas suelen ser epoxicas o de poliéster y se aplican en proporciones de 1 parte de resina por 6 a 10 partes del agregado. Antes de la aplicación del mortero ha de realizarse una perfecta limpieza del soporte, secar, si la limpieza ha sido con agua, y aplicar el epoxico cuidando a su vez que el tiempo transcurrido entre la aplicación y la puesta en servicio de

la obra sea, comandado por el fabricante. Cuando la capa de mortero se emplee en grandes áreas existe el peligro de despegue de esta del concreto por las grandes tensiones que se producen en la interfase, a causa de los distintos coeficientes de dilatación térmica de cada uno.

EMPLEO DE RESINAS. - Las más usadas son las de poliéster y las epoxicas, siendo éstas últimas las de uso más frecuente por su mayor adhesividad. Se modifica su viscosidad para conseguir gran penetración en fisuras finas y, a la vez, estar exentas de retracción, utilizándose para la superficie de las losas. También como selladores se usan las resinas acrílicas, poliuretano, siliconas, etc. siendo su costo elevado y tienen el inconveniente de necesitar imprimidores para su uso, lo cual no siempre es posible cuando se presentan grietas de poca abertura.

Los productos de sellado se clasifican en:

Aplicación en	Producto	Duración	Costo
callejón	betón con caucho	corto	bajo
	PVC	largo	medio
	polímeros	medio	medio
fijo	polisulfuro	medio	medio
	poliuretano	medio	medio
selladores por compresión	neopreno con fondo	larga	muy caro

Los mayores inconvenientes que pueden presentar estos productos es su mala adherencia en los bordes de la junta de la grieta en algunos casos y por envejecimiento, amado a esta una defectuosa colocación que dan lugar a su expulsión fuera de la losa de concreto.

IX.1 REPARACIONES.

La época más frecuente, en los que se pueden realizar estos trabajos es después de los periodos húmedos y cálidos. Por ello se deben realizar antes de la estación cálida. Para la reparación se seguirán los siguientes pasos:

- .- Marcar la zona a reparar cuyos límites deben de ser rectos, algunas veces se aprovechan las juntas de la calzada.
- .- Levantamiento del concreto antiguo.
- .- Preparación de la sub-base sobre la que se colocará el concreto.
- .- Reemplazar pasadores desalinados o corroídos.

Cuando la longitud a reparar es mayor a 6 metros se pueden sustituir los pasadores por barras de unión aseguradas con un mortero especial, colocando los nuevos pasadores en la zona donde irá la junta intermedia, que será serrada posteriormente.

DEFECTOS SUPERFICIALES. - Se trata de aquellos defectos que no afectan a la losa del pavimento en toda su espesor, sólo afectan a la superficie de rodamiento como son los descascarillados superficiales y pérdida de la textura superficial.

Los descascarillados pueden producirse por accidentes de tráfico, incendio de vehículos, por productos agresivos para el concreto y la acción combinada del deshielo y hielo que puede sufrir un pavimento en época de invierno. La solución es rellenar las zonas dañadas con un material que permita su utilización en capas delgadas, teniendo para una profundidad de 0 a 30 mm. se utilizan los morteros de cemento o resinas y para profundidades mayores se utiliza concreto de granulometría fina.

La reparación deberá tener forma regular (cuadrada o rectangular), de bordes rectos y cortados verticalmente con sierra y una profundidad mínima, la del defecto, después se procederá a limpiar la zona y agregar el producto de sellado y se compacta y se cura con el concreto existente. Por último, se dará a la superficie reparada la textura y el tratamiento de curado conveniente. La textura se puede realizar por medio de métodos mecánicos o manuales.

• **Ranurado transversal.** - Este ranurado uno a su excelente resistencia al deslizamiento y una alta capacidad de drenaje evitando la aparición de hidroplaneo, pero cuando pasan los vehículos sobre este se generan molestos ruidos. Las dimensiones de las ranuras suelen ser entre 3 a 6 mm de ancho y de 2 a 3 mm de profundidad con una separación de entre 25 y 50 mm. Se puede bajar el efecto del ruido mediante :

- Disminuir las dimensiones de las ranuras, cuidando no disminuir la capacidad drenante del firme.

- Hacer la distancia entre las distancias de las ranuras consecutivas sea variable.

- Espaciar las ranuras hasta 20 a 25 cm aumentando sus dimensiones para favorecer el drenaje.

El ranurado por corte se realiza mediante cuchillas de filo de diamante o de carburo, agrupadas en baterías o individualmente. Otra forma de obtener losques golpeando al concreto con objetos duros como son los dientes metálicos, etc.

FISURAS DE RETRACCIÓN PLÁSTICA. - Normalmente, son de dirección oblicua y de corta longitud y su profundidad es pequeña, siendo la causa que los origina el curado inadecuado del concreto recién extendido, especialmente en tiempo cálido y seco; este problema también se presenta en los firmes de concreto armado continuo.

Al principio de la puesta en marcha de la carretera, estas fisuras por sus características no requieren ningún tratamiento, pero puede que con el paso del tráfico se vayan deteriorando por los bordes, creciendo en anchura y profundidad, esta falla se profundiza también por las variaciones de temperatura y humedad. Esto se puede solucionar mediante lechadas de cemento o con una emulsión de látex, o inyección de resina. El sellado es importante principalmente en los firmes de concreto armado por la corrosión que puede generar el agua al entrar por

estas grietas en el acero de pasajuntas.

DEFECTOS EN LAS JUNTAS. - la principal falla son los desconches en los bordes debidos principalmente a defectos de construcción que pueden ser :

- Falta de compactación del concreto.
- Mal acabado.
- Mala manipulación del encofrado lateral.
- Piedras o restos de mortero en las juntas.
- Pérdida de adherencia del sellante de la junta.
- Incorrecta dimensión de la ranura en la junta.

Las reparaciones se hacen con mortero ligero de cemento, concreto de granulometría fina o mortero de resina, si el desconchado no es muy profundo, o reparación del espesor completo del firme de concreto.

Las roturas en los extremos de los pasadores se generan por falta de alineación de los pasadores, desplazamiento de los inductores de las juntas, retraso en el corte de la junta. Su reparación se realizará a espesor completo de la losa y con unas dimensiones mínimas en longitud y anchura de un metro.

El resellado debe realizarse preferentemente en primavera u otoño, con tiempo cálido y seco de las juntas. Estas deben estar

secos y limpios y la temperatura del concreto suficientemente alta ya que el sellado de las juntas se debe de hacer varias veces en lo que dura la vida útil del firme de concreto.

Se empieza retirando el producto de sellado antiguo y encofrado inferior, si las dimensiones de la junta son escasas se procede a su readaptación mediante corte o fresado. A continuación, se limpian los bordes mediante cepillo o fresado y posterior soplado con aire a presión. Se coloca el nuevo producto de encofrado y se imprimen los bordes convenientemente; se deben seguir las recomendaciones e instrucciones del fabricante. Estos productos pueden ser aplicados en frío o en caliente, y es conveniente que su superficie quede unos 5 mm por debajo de los bordes exteriores de la junta.

IX.3

REFUERZO DE LOS FIRMES DE CONCRETO MEDIANTE RECUBRIMIENTO CON NUEVO FIRME.

En ciertas situaciones de degradación extrema de los firmes de concreto, se puede proceder a un refuerzo del mismo mediante su recubrimiento con una nueva capa, sea de concreto hidráulico, o sea de aglomerado asfáltico. Los recubrimientos de concreto hidráulico, los métodos son similares al de los asfálticos. El espesor del pavimento de refuerzo será de tal forma que no se refleje las juntas del pavimento antiguo, siendo muy importante la estabilización de los movimientos de este.

En primer lugar, es interesante resaltar que existen dos tipos de recubrimientos: gruesos (de espesor mayores a 15 cm) y

delgadas (de 3 a 15 cm). En realidad, los verdaderos refuerzos estructurales son los gruesos, estando destinados los delgados a la corrección de defectos (grietas, desconchamientos, etc.) localizados.

Para determinar el espesor del nuevo firme se pueden utilizar métodos diversos: desde un dimensionamiento empírico, hasta métodos más o menos elaborados de las diferentes instituciones dedicadas al concreto como es AASHTO, etc.

Como tipos de recubrimientos se pueden citar:

- 1.- Losas cortas (4 a 5 m.) no armadas y sin pasadores.
- 2.- Losas cortas no armadas y con pasadores.
- 3.- Losas cortas con armaduras ligeras (2 a 3 kg/m²).
- 4.- Losas largas (15 m.) y armadas.
- 5.- Concreto armado continuo.

Antes de extender el recubrimiento que se va a aplicar, se deben realizar los trabajos preparatorios del concreto antiguo que consisten en:

- 1.- Rotura de las losas antiguas mediante impacto de grandes masas, sobre todo cuando el firme antiguo se ha producido el fenómeno de bombeo y asentamientos considerables. El tamaño de los trozos resultantes varía con el dimensionamiento, aunque nunca deberán pasar de un metro cuadrado, en seguida se compactan para estabilizar los trozos.
- 2.- Una alternativa apropiada en el problema de bombeo es la estabilización de las losas mediante inyección de mortero en

Los huecos existentes bajo ellas.

- 3.- En los casos en que el dimensionamiento no cuente con el firme antiguo, se debe colocar una capa aislante.

Los espesores usados en autopistas y carreteras de fuerte tráfico varían entre 24 y 22 cm. para revestimientos de losas cortas y entre 18 y 20 cm. en recubrimientos de concreto armado continuo.

Se pueden dar algunas recomendaciones en los recubrimientos, éstos pueden ser:

- 1.- Para concretos sin armar:

- 1.1 Las juntas de recubrimiento deben coincidir con las del pavimento antiguo.

- 1.2 La longitud máxima de las losas deben ser de 5 m, pero en el caso que las losas antiguas fuesen mayores, se harán juntas intermedias en el nuevo pavimento.

- 1.3 Las variaciones de espesor de recubrimiento no presenta problemas siempre que se mantenga el mínimo proyectado.

- 1.4 Parece conveniente el sellado de juntas y fisuras con una apertura mayor que 3 mm.

- 1.4 En el caso de recubrimiento de concreto sin armar es importante mantener un espesor constante.

2.- Recubrimientos delgados.- Se trata de una técnica que está en estado experimental utilizándose tanto como refuerzo estructural como para corregir defectos del firme antiguo. Se pueden citar diversos tipos que son:

2.2. No armado en losas cortas.

2.3. Losas largas ligeramente armadas.

2.4. Armado continuo.

2.5. Armado con fibras.

2.6. Concreto con fibras sintéticas.

Normalmente estos revestimientos van adheridos al concreto antiguo, por lo cual se debe asegurar una perfecta adherencia con el firme antiguo evitando variaciones de espesor del nuevo recubrimiento, sellado de juntas y fisuras del firme antiguo. Lo primero se consigue preparando la superficie antigua mediante tratamientos adecuados o mediante una capa de adherencia y el espesor de recubrimiento dependerá de los defectos a corregir, del tipo de recubrimiento (con o sin armar), del tipo de tráfico y del estado residual del antiguo firme.

IX.4

MATERIALES QUE SE UTILIZAN PARA LA REPARACION DE LOS FIRMES

Hay una gran cantidad y variedad de materiales utilizables en los trabajos de mantenimiento y reparación de los

firres de concreto hidráulico, por ello, es fundamental elegir los más apropiados y en su caso usarlos en forma correcta. Los materiales usados para las reparaciones definitivas deben ser suficientemente fuertes y durables para resistir las duras condiciones del tráfico y de los fenómenos climáticos a la que esté sometida la vía de comunicación. Deben ser estables y resistentes al hielo y al deshielo y a las sales usadas durante las operaciones de vialidad invernal, deben ser no susceptibles al agua, y cuando se usen en reparaciones superficiales, deben ser resistentes a la abrasión.

La lechada de cemento es empleada preferentemente en la inyección de losas que llenan pequeños huecos en la interfase de unión con la grava-cemento, se le añade normalmente fluidificantes con el fin de que su penetración sea máxima; también puede añadirse cenizas, por lo cual se debe conseguir una resistencia suficiente y evitar al máximo la retracción.

MORTERO-CEMENTO. El mortero de cemento se emplea también en inyecciones, sobre todo cuando la grava-cemento se encuentran con su cara superior erosionada, siendo su dosificación de una parte de cemento por tres partes de arena siendo esta de mejor calidad y graduación aceptable; y se le agrega un fluidificante para dar mayor facilidad de penetración y un fraguado más rápido, disminuyendo retracciones. Estos productos pueden reducir el contenido de agua hasta en un treinta por ciento manteniendo su fluidez y consistencia del mortero.

CONCRETO DE GRANULOMETRIA FINA. Usado en reparaciones de desconchones, reposición de resantes, etc. en este tipo de

concretos se pueden mencionar dos tipos de granulometría.

- 1.- Para trabajos de espesores de hasta 40 mm. con agregados del tamaño máximo de 10 mm.
- 2.- Para trabajos de espesores de hasta 70 mm. con agregados de tamaño máximo de 20 mm.

Tanto en una como en otra forma se han empleado fluidificantes en una proporción del tres por ciento consiguiendo así, una baja relación agua-cemento con una buena trabajabilidad y baja retracción y rupturas a flexotracción de 45 kg/cm^2 medida a los tres días y de 57 kg/cm^2 medida a los 14 días.

Las propiedades del material de reparación deben ser lo más similares posibles a las del concreto existente, especialmente los coeficientes de dilatación térmica de retracción y el módulo de elasticidad. Además es deseable que los colores del material de reparación y del concreto existente sean similares, siendo los materiales de cemento los más usados, ya que pueden conseguir en tiempos especificados el endurecimiento adecuado; se debe curar estas reparaciones antes de abrirse la carretera al tráfico.

La retracción de los materiales con cemento puede ser reducida al mínimo usando la menor cantidad posible de agua compatible con su puesta en obra, usando si es necesario aditivos. Cuando no es posible mantener cerrada la carretera el tiempo necesario, se pueden usar cementos especiales o materiales sintéticos (como mortero de resinas).

Los pavimentos son obras de infraestructura que necesita cualquier nación para comunicarse entre sí, las zonas de carácter económico, social y cultural. Siendo los pavimentos las vías de comunicación terrestre, más usada por los usuarios para transportar sus mercancías de un lugar a otro.

Entre los pavimentos tenemos a los pavimentos flexibles, pavimentos semirrígidos y a los pavimentos rígidos. Estos últimos son los que mejor comportamiento presentan a largo plazo y bajo acciones de carga sumamente pesadas, que un pavimento flexible, pero se debe tener más cuidado en los aspectos constructivos del rígido (transferencia de carga, juntas, drenajes, transporte del concreto, entre otros) que un pavimento flexible. Los mecanismos de transferencia de carga deben permitir los movimientos de las losas que le son ocasionados por las cargas vehiculares o las acciones del medio ambiente, siendo estos mecanismos para reducir los desplazamientos verticales y transmitir los esfuerzos a las losas adyacentes de la losa cargada.

Los pavimentos de en diseñarse con transferencia de carga, pero se debe tener cuidado en la corrosión de las barras de acero que se utilizan como transferencia de carga, protegiéndola con aditamentos especiales que los eviten la corrosión, además de ser barras lisas para permitir el libre desplazamiento de la losa sobre ésta, teniendo una separación máxima de 75 centímetros en las juntas de construcción.

Los pavimentos rígidos es una nueva perspectiva que se puede utilizar en las vías de comunicación y no solamente en

bodegas, gasolineras o estacionamientos, que los utilizan para repartir a los esfuerzos a una mayor área posible y estar dentro muy por abajo de los límites permisibles de la losa de concreto. Se debe tener cuidado en la selección de los materiales que deben cumplir con las normas establecidas para caminos, estas normas se publican por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Por todo esto es necesario de un estudio a fondo de las características de los materiales y su comportamiento bajo las acciones de las cargas que les ocasiona los vehículos al pasar sobre esta, y si este estudio no es aceptable para un material dado, se pueden utilizar mezclas estabilizadas con cemento, cal o asfalto para darle al suelo de soporte una mayor estabilidad y cumpla con los requisitos impuestos por las normas.

En la transportación y colocación del material, de los bancos de materiales a la obra se debe de tomar en cuenta un estudio económico de las distancias de acarreo y tomar el banco mas cercano que cumpla con lo establecido para materiales de las capas de pavimento. En el caso del concreto se toma en cuenta sus propiedades con respecto a no ocasionarle al concreto una segregación importante. Se debe proporcionar al concreto un buen acabado en su superficie para evitar derrapamientos de los vehículos (teniendo buena fricción entre las llantas y la superficie de concreto) y las juntas se colocarán esviadas para no provocar molestos ruidos al viajero cuando las llantas pasen sobre estas.

Las fibras de polipropileno son una nueva perspectiva como sustituto de la malla electrosoldada en la construcción de losas de concreto reforzadas expuestas a flexotracción. Este tipo de fibras por ser cortas, flexibles, discontinuas y de monofilamentos, cuentan con una gran resistencia comparada con la

mallas electrosoldadas, y por ser de tamaño pequeño se distribuyen en toda la masa de concreto y en todas direcciones evitando que se formen grietas en el concreto por estado plástico o por el proceso de curado y evaporación de agua. Las fibras de polipropileno tienen ciertas propiedades que al introducir las al concreto mejoran algunas de sus características que, para un pavimento rígido, son esenciales para un comportamiento eficaz al tener las cargas de los vehículos en la losa de concreto en la que se utilizó fibra polipropileno se ahorran costos extras por mano de obra, almacenaje y desperdicios inherentes al uso de la malla electrosoldada y además se obtienen numerosos beneficios adicionales sin costo extra entre los cuales se tienen que son inertes al medio ambiente, no absorben agua, son antioxidantes, por lo cual no manchan al concreto, no se debilita en el proceso de envejecimiento.

Entre los beneficios que trae al concreto es el controlar el agrietamiento por contracción plástica, su resistencia al impacto, incrementar la tenacidad y durabilidad del concreto al reducir la permeabilidad de éste, incrementa su resistencia al despedazamiento y abrasión, y si se utiliza estructuralmente, previene la corrosión del acero estructural de refuerzo.

Por su tamaño corto, las fibras de polipropileno son fáciles de adicionar a la mezcla de concreto a la velocidad normal de mezclado, en la cual la fibra se disgrega en monofilamentos y se distribuye en toda la masa de concreto, formando una mezcla homogénea, teniendo en cuenta seguir las indicaciones del fabricante, ya que en algunos tipos de fibras se requiere de mayor tiempo de mezclado y en otros se tiene que hacer un seco la mezcla de agregados, cemento y fibras, y después adicionar las fibras si es en proporción pequeña y si es en ellas de 6 metros cúbicos se

le agrega una vez que están revueltos todos los aditivos del concreto.

Los tiempos largos suelen ser molestos para los constructores que están relacionados con los concretos convencionales, que al adicionarle la fibra al concreto se incrementa el tiempo de mezclado, pero si se ve en el tiempo de conservación que se requiere dar a una obra es más largo en el que se utilizó la fibra de polipropileno. Los acabados son los mismos que en el concreto convencional, teniendo en cuenta esto se utiliza el concreto reforzado con fibra en todos los lugares en que se pueda utilizar concreto, tanto en carreteras, puentes, almacenes, aeropuertos, plantas de tratamiento, usos marinos, entre otras aplicaciones. Al utilizar las fibras de polipropileno por la malla electrosoldada en pavimentos rígidos se crea un importante ahorro tanto en costos como en mano de obra.

Las diferentes pruebas que se efectuaron a las fibras de polipropileno incorporadas al concreto y comparadas con un concreto testigo, se encontraron que algunas propiedades del concreto se ven incrementadas, pero en algunas no como es el caso de la resistencia a la compresión que resultaron casi iguales a los 28 días. Entre los que se incrementaron tenemos la resistencia a la flexión con un incremento del 10.4 % sobre el testigo y de un 11.1 % a la resistencia a la tensión, siendo estas resistencias las más importantes en un pavimento rígido.

Entre otras cosas se tiene un amplio estudio a cerca de las fibras de polipropileno, que en sustitución de la malla electrosoldada las hace más económicas, siendo su comportamiento seguro hasta nuestros días, pero por falta de información este producto no se ha difundido en todo el país por lo que los

constructores siguen con sus procedimientos constructivos convencionales y en otros casos es debido a la desconfianza del producto que les ocasiona a simple vista.

El cruzar y proyectar nuevas alternativas para el diseño de pavimentos rígidos aparte de los convencionales, como son: el método por fatiga y el de la asociación de cemento portland para calles y avenidas en las ciudades, siendo estos los más utilizados en México, se tienen otros métodos los cuales unos resultan antieconómicos y difíciles de interpretar como es el caso de la teoría del elemento finito, pero el que se tiende a propagar es el diseño de pavimentos por concretos compactados con rodillos vibratorios de 10 toneladas, los cuales aun con su poca información sobre su comportamiento han tenido una gran aceptación en el medio de la construcción por su ahorro en economía, en lo que respecta al uso del cemento.

La creación de los pavimentos rígidos y su duración se ve obstaculizado por las diferentes acciones que le ocasionan esfuerzos demasiados grandes que le pueden ocasionar llegar a la falla, teniendo esto presente se deben tomar en cuenta la elaboración de las juntas tanto de construcción como de dilatación, teniendo cuidado de impermeabilizar bien estas juntas para que no entre el agua y nos acarree problemas de bombeo o, lo que sería de mayor consecuencia la pérdida de soporte de las demás capas que conforman al pavimento; por todo esto, se deben de hacer diseños de los medios de desalojo del agua que va a existir en nuestro pavimento, esto se evita construyendo obras de drenaje para desalojar el agua fuera de nuestra obra.

En nuestros días no se ha encontrado un sellador eficaz

que reúna los requisitos que le establezcan las solicitudes de las áreas que le ocasionan el tránsito y el medio ambiente, por lo que se hace que se deben elegir materiales poco apropiados para el relleno de una junta. Por consiguiente se hace necesaria una mayor investigación a cerca de los materiales en el campo de sellado.

En México, se requieren inversiones del orden de 36 mil millones de dólares en infraestructura básica en los próximos 10 años (hasta 2004), teniendo un financiamiento insuficiente para realizar estos proyectos. Teniendo que recurrir a financiamiento interno, privado y externo pero se debe contar con una economía estable, perspectivas ciertas de crecimiento, abatimiento de barreras de entrada al sector privado, entre otras.

La infraestructura carretera en México cumple diversas funciones, como son desde los caminos rurales que comunican poblados aislados y permiten su acceso a la educación, salud y otros servicios; los caminos alimentadores que integran amplias zonas geográficas y apoyan el desarrollo de las economías locales. Por este sistema se movilizan unos 310 millones de toneladas al año, que significan al rededor del 80 % del total de la carga transportada a nivel nacional. Además de su fundamental y creciente papel en la movilización de personas y bienes en todo el país, las carreteras son elementos importantes para el empleo y la economía de un país.

Los objetivos primordiales que se deben tener en cuenta son:

- - Consolidar los programas sustantivos en infraestructura carretera.

- *.- Acelerar las acciones de modernización carretera dentro de los presupuestos disponibles.
- *.- Desarrollar esquemas permanentes de financiamiento para la construcción y mantenimiento de la red carretera.
- *.- Modernización integral de la red carretera nacional.

Se deben de estudiar con gran interés la utilización adecuada de los pavimentos de concreto, pues en la actualidad existen varios tramos que podrian resultar favorables su construcción.

Existen dos razones que explican que la solución de asfalto haya sido, hasta hace poco la seguida en México en su red carretera que son :

- *.- México, país petrolero, era importante productor de asfalto y el modelo económico nacional era proclive a proporcionar a ese asfalto a precios subsidiados, resultando así los pavimentos asfálticos de 2 a 3.5 veces más baratos que los de concreto.

- *.- Las intensidades de tránsito usuales en las carreteras mexicanas, hacían la solución asfáltica perfectamente compatible con los requerimientos de diseño.

Por lo que, si el nivel de tránsito en nuestros días alcanzan cifras del orden de 12 a 15 mil vehículos diarios, con un porcentaje importante de vehículos pesados, los pavimentos asfálticos empiezan a ser intrínsecamente desconfiables, y arriba de esos límites, la mayor resistencia y durabilidad de los pavimentos de concreto, los hacen ya, indispensables.

La tecnología de pavimentos rígidos estuvo por mucho tiempo ligada al binomio : alto costo de construcción inicial y al de asfaltos subsidiados. Hoy en día, debido a los avances tecnológicos, los pavimentos rígidos son sumamente competitivos con sus similares flexibles, presentando características mucho más favorables, si dentro de los análisis de factibilidad económica se toma en consideración su costo de ciclo de vida. Para escenarios de tránsito ligero, el pavimento rígido presenta una condición favorable a partir de tramos de longitud mayor de 10 kilómetros con acarreo de materiales de 30 kilómetros.

En el caso de una composición vehicular de tránsito mediano, el pavimento rígido es una opción sumamente favorable, puesto que su costo inicial de construcción y su costo total en la vida útil (costo inicial de construcción, conservación y rehabilitación), es menor que un pavimento flexible. Para transitos pesados, se presenta la misma opción que para el de tránsito ligero. Actualmente se está construyendo el tramo de pavimento rígido en la carretera Tlaxiálan - Tuxpan, analizando el costo de ciclo de vida del proyecto.

En materia de mantenimiento y conservación, se ha acumulado un importante rezago que se caracteriza fundamentalmente por las siguientes circunstancias :

- *.- Mas del 60 % de los tramos existentes se construyeron hace mas de 40 años, con criterios de diseño, especificaciones y materiales distintos a los requeridos hoy en día.

- *.- Los volúmenes de tránsito han crecido muy por arriba de las expectativas originales, y la carga por eje de los vehículos pesados ha aumentado considerablemente respecto al diseño

original.

*.- Las asignaciones presupuestales para la conservación no han crecido al mismo ritmo que los requerimientos en la red carretera.

Se puede afirmar que, además de su incidencia en los costos de operación vehicular el estado de la red carretera federal produce importantes repercusiones en los tiempos de recorrido, en la productividad y eficiencia, y en el comercio y competitividad de los bienes y productos en los mercados nacionales. La conservación se debe ver en tres rubros que son la técnico-económica, la financiera y la organizacional, por lo cual se deben realizar modelos dinámicos con parámetros reales, que nos permitan analizar las distintas formas presupuestales y estrategias de trabajo que permiten realizar un mantenimiento oportuno, eficaz y duradero.

Debemos de tomar muy en cuenta que en todo proyecto de infraestructura carretera, el costo del diseño de ingeniería es una fracción del orden del 5 %, del valor total de la obra. Sin embargo, un buen diseño limita las contingencias durante la construcción, aprovecha situaciones ventajosas, contribuye a reducir riesgos y, en suma, representa el factor de mayor peso en la variación y el control del costo final y en la calidad de la obra que se va a proyectarse se obtenga el mayor beneficio posible..

BIBLIOGRAFIA

- ALGUNOS ASPECTOS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS.
SALAZAR, RODRIGUEZ A.
- DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS. CONSTRUCCION I TECNOLOGIA, ABRIL 1991 (O.P.).
GOMEZ, D. J.
- PROYECTO DE PAVIMENTOS RIGIDOS (I) SECCIONES ESTRUCTURALES Y JUNTAS. SEMINARIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO (IMCYC, 1991).
KRAEMER, C.
- CONVENCION CONCRETO 94. IMCYC. PREPARACION Y COLOCACION DEL CONCRETO CAPITULO III.4
- CONSERVACION DE FIRMES RIGIDOS. JORNADAS SOBRE TECNICAS DE CONSERVACION DE CARRETERAS.
SANTANDER, 1997
- EFECTOS QUE PRODUCEN EN EL CONCRETO HIDRAULICO LAS REDES FIBROSAS POLIMERICAS. ELABORADO POR IMCYC A PLICION DE DIXYSEN, S.A. DE C.V. ORDEN DE TRABAJO No. 1710 E INFORME TECNICO 205.
- TECNICAS DE CONTROL DE FIBRAS EN EL CONCRETO.
JESSE, GUILLP, DIRECTOR DE MERCADOTECNIA DE FIBERMESH.
- INFORMACION TECNICA-FIBERMESH REPORTE No. 1
FIBRAS SINTETICAS PARA CONCRETO REFORZADO.

- ** FIBRAS SINTETICAS PARA REFUERZO DE CONCRETO.
FIBEROL, S. A. DE C. V.
- ** EL EFECTO DE LAS FIBRAS SINTETICAS EN EL CONCRETO.
KRALL, P. E. PAUL.
- ** MEJORE EL CONCRETO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO.
DEPARTAMENTO TECNICO DE FIBEROL, CONSTRUCCION Y TECNOLOGIA
DICIEMBRE 1969.
- ** COMO SELLAR ADECUADAMENTE LAS JUNTAS DE PISOS DE CONCRETO.
STEVEN, N. METZGER.
- ** FIBERCRETE.
INFORME TECNICO, DESYUES, S. A. DE C. V.
- ** FIBERMESH, FIBRAS SINTETICAS PARA REFUERZO DEL CONCRETO.
FIBEROL, S. A. DE C. V.
- ** PRACTICA PARA DOSIFICAR CONCRETO NORMAL, CONCRETO PESADO Y
CONCRETO MASIVO.
IMBYC, ACI 211.
- ** NORMAS OFICIALES MEXICANAS.
NOM C-77, 79, 84, 88, 104, 105 " ACREGADOS "
NOM C-150 " ELABORACION Y ENSAYE DE ESPECIMENES EN
EL LABORATORIO "
NOM C-150 " DETERMINACION DEL REVENIMIENTO EN EL CONCRETO
FRENCO "
NOM C-109 " CARGO DE ESPECIMENES CILINDRICOS "
NOM C-83 " RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS "
NOM C-191 " RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO "
NOM C-103 " RESISTENCIA A TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL EN
CILINDROS DE CONCRETO