

41121
19



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"CAMPUS ARAGÓN"**

***"MODERNIZACIÓN DE LA CARRETERA MÉXICO-
QUERÉTARO, TRAMO PALMILLAS-QUERÉTARO"***

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
MANUEL ANTONIO LOPEZ ROJAS

ASESOR: ING. JOSÉ MARIO AVALOS HERNANDEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SAN JUAN DE ARAGÓN ESTADO DE MÉXICO 2003



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**MANUEL ANTONIO LOPEZ ROJAS
PRESENTE.**



En contestación a la solicitud de fecha 18 de julio del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSÉ MARIO AVALOS HERNÁNDEZ pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado "MODERNIZACIÓN DE LA CARRETERA MÉXICO-QUERÉTARO, TRAMO PALMILLAS-QUERÉTARO", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.



Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.



Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 23 de julio de 2002
LA DIRECTORA



L. Turcott González
ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



Autorizo a la Dirección General de Publicaciones de UNAM a difundir en formato electrónico el contenido de este trabajo.
NOMBRE: Manuel Antonio Lopez Rojas
FECHA: 26-07-2003
FIRMA: *[Signature]*

[Handwritten mark]

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

LTG/AIR/IIa.



*NO NUNCA CONSIDERES EL ESTUDIO COMO UN
DEBER, SI NO COMO UNA OPORTUNIDAD PARA
PENETRAR EN EL MARAVILLOSO MUNDO DEL
SABER.*

ALBERTO EINSTEIN

AGRADECIMIENTOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, máxima casa de estudios en México, generadora de pensadores, luchadores y críticos, GRACIAS no solo por la formación profesional que me ha dado, sino también por haber dejado en mí la certeza de ser un mejor hombre, comprometido con la sociedad, mi trabajo y mi patria. Gracias por haberme permitido ser uno de los afortunados que lograron ingresar y egresar de tus aulas, siempre llevare dentro de mí con orgullo y dignidad, la enorme responsabilidad de ser universitario, jamás defraudare tus colores y en cada acto trascendental de mi profesión, siempre tendré presente tu lema que ha quedado grabado en mí.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

A TODOS MIS PROFESORES, quienes a lo largo de mi carrera me ayudaron a salir adelante alcanzando mis metas propuestas, a las cuales no hubiera podido llegar sin su gran apoyo académico y moral, lo cual es base de mi formación y desarrollo profesional.

A MI ASESOR Y SINODALES, que durante mi carrera fueron mis profesores y amigos, quienes me tendieron la mano en momentos de confusión y búsqueda de respuestas, no solo para este trabajo, sino para toda la vida.

Y por su valioso tiempo, sus gracas atenciones, por la revisión y críticas a este trabajo GRACIAS.

Quiero agradecer especialmente al profesor y amigo el ING. JOSÉ MARIO AVALOS HERNÁNDEZ, quien con su amplio conocimiento en vías terrestres me oriento desde el principio y me apoyo a la elección correcta de mi tema de tesis. Siempre dándome su confianza, comprensión, apoyo, regaños y consejos, lo cual me ha convertido en una persona de provecho, Por ser un gran ejemplo a seguir, con admiración y respeto, por la realización de este trabajo, un infinito agradecimiento.

Hago un agradecimiento a CAPUFE (Carreteras y Puentes Federales), por haberme apoyado incondicionalmente con material didáctico y asesoría técnica para la realización de mi tesis, en especial al Ing. HÉCTOR ZAVALA DE LEÓN, quien junto con el Ing. RUBÉN COELLAR SALAZAR, escucharon a lo largo de este trabajo brindándome sus comentarios y opiniones.

Igualmente al Ing. PABLO GARZA de CEMEX y al Ing. PADILLA de la SCT, quienes siempre me alentaron a continuar en la rama de pavimentos rígidos, gracias a sus consejos y recomendaciones.

Y principalmente a DIOS....

DEDICATORIAS

PARA MIS PADRES, ERNESTO Y EFIGENIA

Por haber creído y tenido confianza en mí, sin ustedes me hubiera sido más difícil haber llegado hasta aquí. Gracias por ; los regaños a manera de consejos, por las preocupaciones que les he hecho pasar, por las cosas que me han dado y por lo que solo ustedes sabían han hecho por mí. Por ustedes me he enseñado a valorar las cosas y salir adelante por mí mismo, lo cual sin duda considero la herencia y satisfacción más grande que puedo tener. Con este logro espero enmendar mis errores, para que puedan sentirse orgullosos de mí y que este triunfo como hombre y profesionalista lo sientan como el suyo propio.

A MIS HERMANOS, JOSE, ERNESTO, PATRICIA Y OSCAR

Porque siempre he querido ser un gran ejemplo para ustedes, espero que esto les sirva como un estímulo para conseguir sus propósitos. Espero aprendan de los errores y aciertos que he tenido para tratar de ser mejores. Por todos los momentos....juntos, de todo corazón les deseo lo mejor del futuro.

EN ESPECIAL PARA MI HERMANA SANDRA †

Ójala que tengas presente que has sido uno de mis principales motivos para seguir adelante, siempre quise que estuvieras con nosotros compartiendo este momento tan especial para mí, sin embargo se que donde ahora tu estás, te sentirás concaza, ya que tu también eres parte de este triunfo, por todo el apoyo material y moral que me diste durante de mi carrera, sin escatimar momentos de paz y sufrimientos que tuviste. Gracias por haberme dado tu confianza y tu comprensión, pero sobre todo por tu forma inigualable de ser en vida; tu valentía, tu carácter, tu manera de valorar la vida, tu búsqueda de superación a pesar de tus limitaciones y principalmente tu forma de aferrarte a la vida sin nunca dejarte caer, lo cual siempre tendré presente como ejemplo a seguir. Nunca olvidare nuestra niñez y juventud, las risas, alegrías, enojos, tristezas, angustias, desesperanzas, lágrimas y mil cosas más que pudimos compartir, ni cómo las palabras del mundo dirían el cariño y agradecimiento que te tengo. GRACIAS

A MIS COMPAÑEROS DE CARRERA

Un día de tantos... compartiendo problemas, planes e ilusiones, nos preguntamos ¿quién llegaría al final de la carrera?, hoy por diferentes motivos desafortunadamente no todos acabamos, sin embargo siempre recordare ese gran grupo que fuimos, siempre unidos y aferrados. A todos los compañeros de mi generación y pasadas que luchamos juntos...Que esto y que lo otro.... en hora buena.

PARA AMIGOS Y FAMILIARES

En especial para los que siempre creyeron en mí, por los buenos consejos que me han dado, por la ayuda y confianza que en algún momento me han brindado y ofrecido, pero sobre todo por la amistad que nos ha unido en las buenas y las malas para seguir adelante.

**MODERNIZACION DE LA CARRETERA MEXICO-QUERETARO
TRAMO PALMILLAS-QUERETARO**

ÍNDICE

	Página
<i>Introducción</i> -----	1
1 EVOLUCION DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO-----	3
a) Antecedentes	
b) Tecnología	
c) Evolución	
d) Ventajas	
e) Trabajo Continuo	
f) Costo ciclo de Vida.	
2 MARCO DE REFERENCIA CON RESPECTO A OTROS PAÍSES-----	8
a) Experiencia Internacional	
b) Caso de Latinoamérica.	
 <i>CAPITULO I Antecedentes</i> -----	 10
1.1 RESEÑA HISTORICA-----	11
a) Antecedentes	
b) Evolución técnica Económica.	
1.2 CARACTERISTICAS GENERALES-----	15
a) Proyecto de Pavimento	
b) Procedimiento Constructivo	
c) Maquinaria Utilizada	
d) Volumen de Obra.	
1.3 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD-----	21
a) Defensa Metálica	
b) Rampas de Emergencia	
c) Rayas Laterales	
d) Puentes Peatonales	
e) Señalamiento.	
1.4 INNOVACIONES-----	25
a) pintura Termoplastica.	
 <i>CAPITULO II Estudios Técnicos</i> -----	 30
2.1 INTRODUCCION A LOS MÉTODOS DE DISEÑO-----	31
a) Pavimentos Convencionales	
b) Sobrecarpeta de Concreto (Whitetopping).	

2.2 SUELOS-----	36
a) Plasticidad	
b) Prueba Proctor	
c) Prueba Porter Estándar	
d) Valor Relativo de Soporte	
e) Modulo de Reacción (k).	
2.3 TRAFICO-----	42
a) Ingenieria de Transito	
b) Volumen de Transito.	
2.4 MÉTODO DE DISEÑO AASHTO -----	44
a) Antecedentes	
b) Conclusiones Obtenidas de la Prueba	
c) Evaluación	
d) Formulación.	
2.5 MÉTODO DE LA ASOCIACION DEL CEMENTO (PCA) -----	48
a) Factor de Diseño	
b) Procedimiento de Diseño	
c) Desarrollo del Procedimiento de Diseño.	
2.6 ESTUDIOS TÉCNICOS DEL PROYECTO PALMILLA-QUERETARO-----	57
a) Antecedentes	
b) Evaluación Superficial	
c) Sondeos	
d) Geología	
e) Sismicidad	
f) Clima.	
2.7 EVALUACION ESTRUCTURAL Y ESTIMACIÓN-----	59
DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO	
a) Vida Proyecto	
b) Numero de Ejes equivalentes a 18 Kips	
c) Nivel de Confianza	
d) Modulo de Ruptura (MR)	
e) Modulo de elasticidad del Concreto	
f) Resistencia de la Subrasante	
g) Viga Benkelman	
h) Coeficiente de Trasferencia de Carga de la Pasajunta	
i) Coeficiente de drenaje	
j) Serviciabilidad.	
2.8 FUTURO DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO-----	70
• Estudios técnicos-----	72
CAPITULO 3 Proyecto de Modernización-----	80
3.1 DISEÑO DEL PAVIMENTO DE CONCRETO -----	81
a) Datos	
b) Espesor del Pavimento	
c) Junta de Construcción	
d) Espaciamiento entre Juntas	

e) Losa de Aproximación	
f) Junta Pavimento/Cuneta	
g) Modulación de losas	
• Planos.....	89
CAPITULO 4 Proceso Constructivo.....	107
4.1 CIMBRA DESLIZANTE.....	108
a) Plantas de Mezclado Central	
b) Plantas Dosificadoras con camión Revolvedor	
c) Proceso de Pavimentación.	
4.2 CIMBRA FIJA.....	127
a) Elaboración de Concreto Hidráulico	
b) Cimbrado de Pavimento	
c) Colado de Pavimento	
d) Vibrado y Perfilado	
e) Microtexturizado Longitudinal	
f) Macrotexturizado Transversal	
g) Aplicación de membrana de Curado	
h) Formación Juntas	
i) Limpieza y sello de Juntas.	
4.3 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE JUNTAS.....	132
a) Agrietamiento	
b) Eficiencia de la Junta	
c) Factores que Contribuyen a la transferencia de Carga	
d) Tipos de Juntas.	
4.4 PROCESO CONSTRUCTIVO PALMILLA- QUERETARO (EJECUCIÓN).....	138
a) Terracerías	
b) Zonas de Corte o relleno del Pavimento Existente	
c) Construcción de Base Hidráulica	
d) Escarificación y Compactación	
e) Zonas de rectificación del alineamiento Horizontal	
f) Pavimento Asfáltico	
g) Fresado de Pavimento Asfáltico	
h) Aditivos	
i) Emulsiones.	
4.5 LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO SOBRE EL PAVIMENTO EXISTENTE---	144
4.6 LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO SOBRE LA AMPLIACIÓN -----	146
4.7 ESPECIFICACIONES DE EJECUCION-----	146
a) Elaboración de la Mezcla	
b) Transporte	
c) Colado	
d) Limitaciones de Mezclado y Limitación	
e) Acabado Superficial	
f) Curado	
g) Juntas	

h) Protección del Pavimento	
i) Calidad del Concreto	
j) Diseño de la Mezcla	
k) Espécimen de la Prueba.	
4.8 TOLERANCIAS -----	154
a) Alineaciones de las Juntas	
b) Espesor de la Losa de Concreto	
c) Espesor Total del Pavimento	
d) Resistencia del concreto Hidráulico	
e) Resistencia al Rozamiento	
f) Índice del Perfil	
g) Evaluación del Pavimento y Correcciones	
h) Fresado	
i) Medición.	
4.9 BASE DE PAGO -----	160
a) Ajuste del Precio por Espesor	
b) Ajuste del precio por Calidad de superficie Terminada.	
4.10 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES -----	162
a) Cemento	
b) Agua	
c) Materiales Pétreos	
d) Aditivos	
e) Concreto	
f) Membrana de Curado	
g) Acero de Refuerzo	
h) Sellador para Juntas	
i) Recomendaciones Generales.	
• Bancos de Material para Pavimento -----	175
• Precios Unitarios Del Proyecto tramo 164+976-173+960-----	178
• Diagrama de Actividades -----	182
CONCLUSIONES -----	183
-Justificación de la Obra -----	185
-Comentarios y Recomendaciones-----	186

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo no solo se circunscribe en apoyo a la titulación profesional, por el contrario, contribuye al conocimiento y fomento a la investigación científica, que en la mayoría de los casos, las fuentes de investigación y el uso de tecnología, sobre todo en la rama de la ingeniería civil, provienen de países industrializados. Es por ello, que en ciertas áreas la aplicación de estas teorías deberán ser analizadas minuciosamente sobre la conveniencia o no, en nuestros proyectos.

Como sabemos hoy en día, nuestra sociedad requiere de profesionistas especializados en una de tantas ramas de aplicación; la tendencia mundial en el conocimiento estriba desde el estudio de lo mas pequeño, hasta lo mas grande (mecánica cuantica-teoría de la relatividad) sin dejar pasar que todo lo anterior no sería posible sin darle un trato humano, social y ético a los campos del conocimiento (mesocosmos). Es por ello, que la presente publicación de tesis, contribuye ademas en el conocimiento en las áreas de la investigación y docencia universitaria, así mismo puede ser empleado por diseñadores, contratistas y /o cualquier otro interesado con bases en el campo de la ingeniería civil.

El estudio en el diseño y construcción de los pavimentos hidráulicos desplantados casi sobre el terreno natural o sobre pavimento ya existente es un tema que resulta poco popular, incluso en el mismo campo de la ingeniería civil. Debido a que en nuestro país las teorías no son del todo conocidas, en comparación a lo países industrializados. Sin embargo, hoy en día como resultado del avance de la tecnología en la información, los nuevos procedimientos de diseño y constructivos están a nuestro alcance a través del Internet, revistas especializadas, libros y conferencias de carácter internacional que constatan la labor en la investigación en las diversas ramas del conocimiento.

En la actualidad existe mucho que hacer en lo que se refiere a infraestructura carretera, mas aun si nuestro país en teoría, se encuentra en desarrollo, necesitando mas vías de comunicación para impulsar el crecimiento económico nacional.

En México hasta hace algunos años se construían carreteras únicamente de pavimento asfáltico, empleando técnicas en el diseño y la construcción las cuales en la actualidad resultan en algunos casos inaceptables, tomando en consideración el mayor conocimiento en el comportamiento suelo-estructura y la tecnología del concreto hidráulico; así mismo los nuevos requerimientos del trafico en el manejo de cargas mas pesadas en el mínimo de tiempo recorrido y un máximo de seguridad de la carga transportada y las instalaciones.

Este trabajo de tesis pretende analizar la modernización y ampliación de la carretera MEXICO -QUERETARO tramo QUERETARO-PALMILLA, la cual se realizo con pavimentos rígidos, utilizando la tecnología WHITETOPPING, teniendo como objetivo impulsar la utilización del pavimento hidráulico, mencionando sus grandes beneficios de

construcción, operación y conservación. Haciendo hincapié en los diferentes métodos de diseño, los cuales por su grado de complejidad y precisión, resultan ser los mas adecuados.

De esta manera, la presente publicación abarca una serie de investigaciones realizadas siguiendo los alcances potenciales en nuestro país y los diversos factores que inciden en la completa construcción de un pavimento rígido.

I. EVOLUCIÓN DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO.

Las crecientes necesidades de desarrollo, la búsqueda de soluciones perdurables y la demanda de contar con más y mejores caminos han contribuido para lograr que en la modernización y ampliación de la red carretera de México se esté especificando el uso de pavimentos del concreto hidráulico bajo estándares internacionales de calidad.

a) Antecedentes.

En la conformación de nuestra infraestructura carretera ha influido la gran diversidad de climas, tipos de suelo, zonas ambientales y etnias, debido a la extensión territorial de México; su heterogeneidad nos ha marcado el camino del desarrollo y crecimiento.

En México las condiciones de servicio de los aproximadamente 105,000 Km. de caminos pavimentados no son las óptimas, de hecho la mayoría de ellos está catalogado por las propias autoridades como pavimentos en regulares y malas condiciones. Una razón importante del bajo nivel de servicio es debido a que estas carreteras se proyectaron, diseñaron y construyeron, en su mayoría, entre los años de 1925 a 1970. La red estuvo proyectada para soportar cargas vehiculares que varían entre las 6 y 8 toneladas, pero en la actualidad llega a tener camiones cargados que en algunos casos alcanzan a pesar hasta 60 toneladas; esto sin considerar el peso de los vehículos. No se contó tampoco con el crecimiento del tránsito de camiones pesados, sólo se considero el tráfico diario que tenía entonces, entre los 500 y 1,000 vehículos; sin embargo, en la actualidad se tienen valores significativamente mayores, de hasta 15,000 vehículos.

Hasta 1993 la especificación y construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México fue relativamente escasa. Quizá esto se debió, principalmente, a que nuestro país es un importante productor de petróleo y por consiguiente de asfalto. Anteriormente existía un subsidio importante en el precio del asfalto, los pavimentos asfálticos en nuestro país resultaban en costo muy inferiores a los del concreto hidráulico. Los pavimentos de asfalto parecían ser una alternativa suficiente; además de la desinformación y desconocimiento de las nuevas tecnologías con pavimentos de concreto hidráulico.

Ante el deterioro de las carreteras en la red y considerando los puntos anteriormente planteados, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) se dio a la tarea de buscar soluciones alternativas que pudieran soportar adecuadamente las cargas y el volumen de tráfico pesado, buscando que los niveles de servicio permanecieran altos durante periodos mayores. La SCT orientó a una solución con pavimentos de concreto hidráulico, que ante tales exigencias representaban un costo razonable, con una capacidad estructural adecuada, tanto para el volumen de tránsito como para la intensidad del mismo, y un periodo de vida costeable de acuerdo a la magnitud de la inversión.

b) Tecnología.

Para satisfacer la demanda de diseñar y construir los pavimentos de concreto hidráulico, con las mejores tecnologías a nivel mundial y con altos estándares en sus especificaciones, tuvo que

llevarse a cabo un programa de capacitación intensivo y avanzado para los técnicos e ingenieros especificadores, esto se logró con el apoyo de la iniciativa privada mexicana, interesada en el desarrollo de la infraestructura del país con base en este tipo de pavimentos. Estas capacitaciones se han seguido desarrollando tanto en México como en el extranjero.

Se realizó una revisión exhaustiva sobre los tipos de maquinaria disponibles en el mercado internacional para realizar estas tareas: plantas de mezclado central para la elaboración del concreto con la calidad y en las cantidades necesarias para lograr altos rendimientos en la pavimentación, pavimentadoras de cimbra deslizante con las características necesarias para lograr altos niveles de servicio, seguridad y confort; se analizaron también las ventajas y desventajas de unas marcas de equipos con respecto a otras, la experiencia de las empresas dedicadas a la fabricación de estos equipos, la facilidad con la que dichas empresas podrían ofrecer los servicios de capacitación, refacciones y mantenimiento e incluso la posibilidad de desarrollar representantes locales, de dichas empresas, para dar servicio en México. Se trabajó en lo referente a equipos para dar el texturizado final al pavimento de concreto, las maquinas cortadoras para conformar los tableros de losas, los diferentes tipos de discos para estos cortes y algunos otros equipos de medición de las características físicas de los pavimentos.



Fig. 1.1 Pavimentadora de cimbra deslizante.

c) Evolución.

La globalización hizo más imperantes las necesidades de contar con una infraestructura que permita el desarrollo de la actividad económica y social del país.

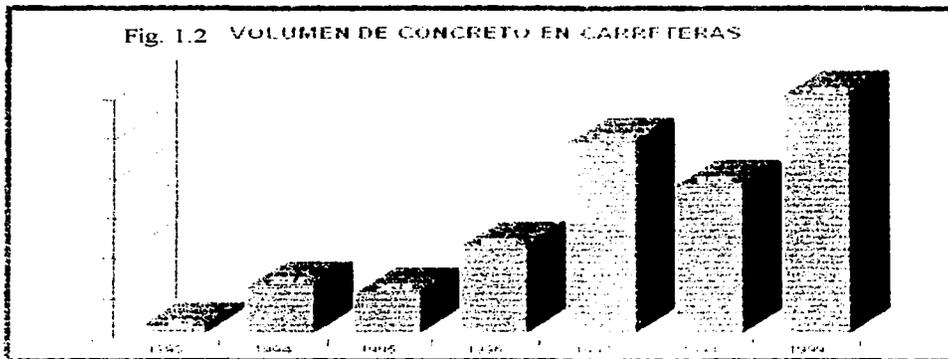
En el año de 1993 la SCT, con el apoyo de Cementos Mexicanos, construyó la primera carretera de concreto hidráulico con el uso de las nuevas tecnologías de pavimentación cumpliendo con especificaciones internacionales, siguiendo estrictas normas de calidad tanto en la producción como en el tendido del concreto y contemplando una serie de alternativas en las especificaciones

que permitirían establecer, posteriormente, situaciones comparativas para establecer adecuadamente las características ideales en las especificaciones de los pavimentos de concreto hidráulico. Así en 1993 el libramiento Ticumán ya era una realidad con una longitud de 8.5 km.

A partir de este proyecto y con los resultados programados que se fueron obteniendo del mismo, se continuó con la especificación y construcción de otras carreteras de concreto hidráulico en el país, de tal forma que al final de 1994 ya se habían iniciado los trabajos en los tramos de las Autopistas Guadalajara – Tepic, Tuxpan – Tihuatlán y Tihuatlán – Poza Rica, también el primer tramo de la Cárdenas – Agua Dulce.

El crecimiento y evolución de los pavimentos de concreto hidráulico ha aumentado de una manera muy favorable para el país; esto ha propiciado que la demanda de caminos de excelente calidad aumente por las ventajas que los mismos representan.

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento del consumo de concreto hidráulico para la construcción de carreteras.



Nota: El volumen de 1999 incluye trabajos terminados en agosto de 1999.

d) Ventajas.

Las principales ventajas de un pavimento de concreto hidráulico son las siguientes: durabilidad, bajo costo de mantenimiento, seguridad, altos índices de servicio y mejor distribución de esfuerzos bajo las losas.

d) 1 Durabilidad.

Es una de las ventajas más significativas de los pavimentos de concreto hidráulico. Para lograr la durabilidad del concreto, es importante considerar, además de la resistencia adecuada ante las sollicitaciones mecánicas, todos los agentes externos de exposición a los que estará sujeto el pavimento para elaborar la mezcla apropiada y definir las recomendaciones. Para la colocación del concreto hidráulico; se deben de usar las proporciones específicas, con ciertas relaciones agua/cemento, utilizando aditivos que permitan una reducción de agua en la mezcla y que den la trabajabilidad adecuada al concreto, aún con revenimientos bajos, como los utilizados en autopistas. Es importante, también, conocer las características de los materiales que forman la estructura del soporte y sus grados de compactación, apoyados con los estudios de mecánica de suelos, para lograr óptima durabilidad.

El diseñador debe contar con la suficiente información, para poder estimar de forma precisa el volumen de tráfico y las cargas vehiculares que estarán transitando por el pavimento, para realizar un diseño estructural adecuado y cubrir las expectativas de durabilidad del proyecto por efectos de fatiga.

d) 2 Bajo Costo de Mantenimiento.

Los pavimentos de concreto hidráulico se han caracterizado por requerir de un mínimo mantenimiento a lo largo de su vida útil. Esto es, sin duda, una de las ventajas mayores que ofrecen. La significativa reducción en los costos de mantenimiento de una vía permiten que el concreto sea una opción muy económica. Esto se puede visualizar al realizar un análisis del costo ciclo de vida que puede ser comparado con algunas otras alternativas de pavimentación. El análisis del costo ciclo de vida es una herramienta que nos ayuda en la toma de decisiones.

El mantenimiento que requieren los pavimentos rígidos es mínimo, sin embargo es muy importante que el mismo se provea en tiempo y forma adecuados para garantizar las propiedades del pavimento.

d) 3 Seguridad.

El concreto hidráulico colocado bajo las especificaciones y con los equipos mencionados, permite lograr una superficie de rodamiento con alto grado de planicidad, y dada su rigidez, esta superficie permanece plana durante toda su vida útil, evitando la formación de roderas que disminuyen el área de contacto entre llanta y pavimento, produciendo el efecto de acuaplaneo en los días de lluvia. Otro fenómeno que se evita con la utilización del concreto hidráulico es la formación de severas deformaciones en las zonas de arranque y de frenado, que hacen a los pavimentos ser mas inseguros y maltratan fuertemente los vehículos.

El color del pavimento de concreto hidráulico, permite una mejor visibilidad en caso de transitar de noche o en días nublados.

c) 4 Altos Índices de Servicio.

Los pavimentos de concreto hidráulico permiten ser construidos con altos índices de servicio, por su grado de seguridad y, adicionalmente, siguiendo las recomendaciones de construcción adecuadas, se puede proveer al pavimento de una superficie altamente antiderrapante.

La utilización de pasajuntas permite mantener estos índices de servicio, evitando la presencia de escalonamientos en las losas, sobretodo en tramos donde el tráfico es más pesado.

d) 5 Mejor Distribución de Esfuerzos Bajo las Losas.

Por la rigidez de la losa, los esfuerzos que se transmiten a las capas inferiores del pavimento se distribuyen de una manera prácticamente uniforme, cosa contraria a lo que sucede con los pavimentos flexibles, en donde las cargas vehiculares concentran un gran porcentaje de su esfuerzo exactamente debajo del punto de aplicación de la carga y que disminuyen conforme se alejan de la misma. La distribución uniforme de las cargas permite que los esfuerzos máximos que se transmiten al cuerpo de soporte sean mucho menores en magnitud, lo que permite una mejor condición y menor deterioro de los suelos de soporte.

e) Trabajo Continuo.

Poco a poco se ha logrado tener una mayor experiencia en el diseño, especificación y construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México, estas experiencias han mostrando las ventajas de esta solución; de tal modo que cada vez son mas las entidades gubernamentales responsables de la construcción, mantenimiento y operación de los caminos a los que les interesa proveer con las características de un pavimento de concreto hidráulico lo que les significa ahorros sustanciales en mantenimiento, mejores niveles de servicio del camino, mayor vida útil y consecuentemente, economía de los recursos.

Podemos afirmar que la pavimentación con concreto hidráulico es una realidad en nuestro país y el siguiente paso, en el que estamos trabajando a pesar de que son mínimas las necesidades, es el de dar a conocer, a los especificadores y constructores, los métodos de rehabilitación, reparación y mantenimiento que se deben seguir en los pavimentos rígidos para aprovechar mejor sus ventajas.

f) Costo Ciclo de Vida.

En una panorámica mundial, el costo inicial o costo de construcción de una carretera es visto sólo como parte del costo total del proyecto, por lo que se considera el concepto del " costo del ciclo de vida ", que incluye:

- a. Costos de construcción inicial.
- b. Costos de conservación.
- c. Costos del usuario.

Los costos de construcción inicial engloban todos los costos generados desde la planeación y estudios del proyecto y la construcción del proyecto.

Los costos de conservación se refieren a todos aquellos costos que se generan por tener a la vialidad en buenas condiciones de servicio durante todo el periodo de diseño del pavimento. Los costos de conservación son considerablemente mayores en los pavimentos de asfalto (o flexibles) que en los

pavimentos de concreto (o rígidos) debido a que los pavimentos flexibles sólo se conservan a buenos niveles de servicio durante periodos de tiempo muy cortos, a diferencia de los pavimentos de concreto.

Los costos del usuario incluyen el costo de operación de los vehículos, consumos de combustibles, composturas, tiempos de recorrido y accidentes.

El impacto de lo anterior es sumamente significativo, como lo denotan los siguientes datos:

En México, los costos del transporte representan el 5% del PIB.

En un camino con al menos 50 vehículos diarios de circulación los costos de operación serán mayores a la suma de los costos de construcción inicial y de conservación durante su vida útil. *(Banco mundial)*

Para una carretera con un tránsito de 3000 vehículos diarios y una tasa de crecimiento usual en México, si 1 representa el costo de construcción en 30 años, 10 representara el de conservación (incluyendo modernizaciones y ampliaciones) y 200 o más el de operación. *(Instituto del transporte)*

Por estas razones, cuando nos salimos del esquema tradicional de hacer comparativas exclusivas de costos de construcción inicial y realizamos un análisis de costo ciclo de vida, los pavimentos de concreto se convierten en la mejor alternativa debido principalmente a sus bajos costos de conservación

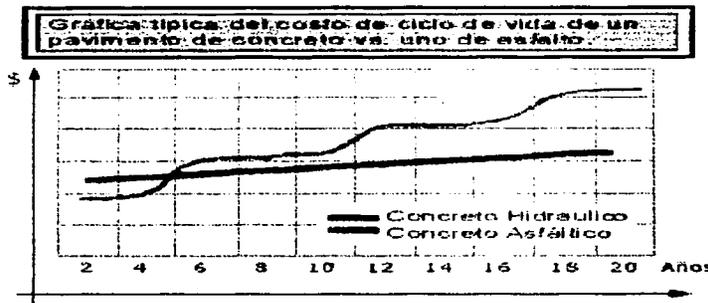


Fig. 1.3 grafica costo de ciclo vida

II MARCO DE REFERENCIA RESPECTO A OTROS PAÍSES.

El desarrollo de los pavimentos de Concreto Hidráulico se ha incrementado notablemente en Latinoamérica en la década de los 90's, gracias a las ventajas que ofrecen para el desarrollo económico de los países del tercer mundo.

a) Experiencia Internacional.

En muchos países del mundo se han utilizado, por muchos años, los pavimentos de concreto hidráulico, tanto para proyectos carreteros como para vías de comunicación urbanas; tal es el caso de Estados Unidos, Canadá, Alemania, España, Francia, Italia, Bulgaria, entre otros. Estos países han contribuido para que los métodos de diseño se hayan perfeccionando y las técnicas de construcción y evaluación de los pavimentos de concreto hidráulico hayan evolucionado.

Continuando con la experiencia de más de 50 años, se sigue experimentando e investigando para perfeccionar la tecnología actual de pavimentos.

b) Caso de Latinoamérica.

En los países de América Latina se han utilizado los pavimentos de concreto principalmente para vialidades urbanas. Sin embargo las tecnologías de diseño y construcción utilizadas normalmente, no habían sido las más actualizadas. El país de Latinoamérica que más pronto inició su incursión en las nuevas tecnologías de pavimentación fue Panamá, como consecuencia de la fuerte influencia tecnológica que tuvieron de los Estados Unidos por su presencia en el Canal. Luego otros países empezaron a utilizar estas tecnologías, tanto en especificaciones como en procedimientos constructivos, pero el desarrollo más importante se ha dado durante la última década.

Países como Brasil, Chile, México y Argentina, han empezado a utilizar ampliamente estas nuevas tecnologías en el desarrollo de sus Carreteras, Autopistas y Vialidades Urbanas; en menor escala, pero con una fuerte tendencia de crecimiento, lo están haciendo países como Venezuela, Colombia, Uruguay, Guatemala, El Salvador y Bolivia, sin embargo esta tendencia parece estarse ampliando a toda Latinoamérica.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

En este capítulo exponemos la licitación de la modernización y ampliación del tramo carretera MÉXICO-QUERETARO, mediante una reseña histórica. Además analizamos los antecedentes físicos y problemas de tráfico que afectan a la carretera y evitan el buen funcionamiento.

También mencionamos las características generales del proyecto, dispositivos de seguridad e innovaciones para la realización del proyecto

1.1 - RESEÑA HISTORICA DE LA OBRA

a) - Antecedentes

El 11 de febrero de 1997, se publico en el diario oficial de la Federación y periódicos de circulación nacional, la convocatoria para el concurso de los trabajos de ampliación y modernización de ambos cuerpos, terracerías, drenaje, pavimento de concreto hidráulico, estructuras, entronques y obras complementarias de la Autopista México - Querétaro, Tramo: Palmillas - Querétaro, el cual para su ejecución se dividió en tres subtramos como a continuación se indica.

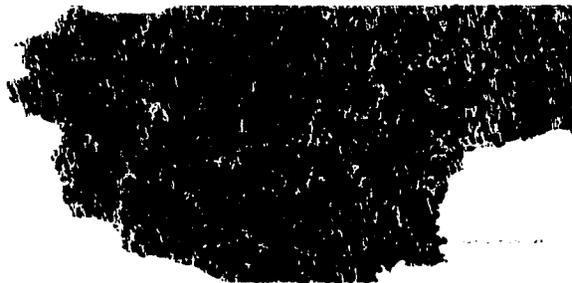


Fig. 1.1.1 Ubicación de la Autopista México-Querétaro

Tramo 1, licitación No. SCT-CF-97-03-01 de km. 156+288 a km. 175+000

Tramo 2, licitación No. SCT-CF-97-03-02 de km. 175+000 a km. 194+000

Tramo 3, licitación No. SCT-CF-97-03-03 de km. 194+000 a km. 216+600

Con una longitud total de 59.33 Km. el concurso tuvo lugar para el Tramo No. 1 el día 17 de marzo de 1997 y en el participaron las empresas Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V.; La Nacional Compañía Constructora S.A. de C.V.; constructora Marhnos S.A. de C.V.; Pyasa Ingenieros Civiles S.A. de C.V.; Triturados Basálticos y Derivados S.A. de C.V. e integrantes del grupo I Pavimentos y Maquinaria S.A. de C.V. y Constructoras de Infraestructura del Centro S.A. de C.V.; adjudicándose el fallo el 25 de marzo de 1997 a la empresa Constructora Marhnos S.A. de C.V. con un monto de \$ 174'699,080.69, mediante contrato No. 7-V-CE-0-116-W-0-7.

En el caso del Tramo 2, la licitación tuvo verificativo el día 19 de marzo de 1997 y en el participaron las empresas Ingenieros Civiles Asociados S.A. de C.V.; Pyasa Ingenieros Civiles S.A. de C.V.; La Nacional compañía Constructora S.A. de C.V.; Triturados Basálticos y Derivados S.A. de C.V.; Integrantes del grupo IV Infraestructura Técnica S.A. de C.V. y Arrendadora de Equipos S.A. de C.V. e integrantes del grupo V Fazort y Compañía S.A. de C.V. Agregados y

Derivados del Centro S.A. de C.V. y Constructores en Corporación S.A. de C.V; adjudicándose el fallo el 1º de abril de 1997 a la empresa Pasa Ingenieros Civiles S.A. de C.V. con un monto de \$ 153'627,673.34 y un descuento del 6 % sobre el monto total señalado, mediante contrato No. 7-V-CE-0-117-W-0-7.

En el caso del Tramo 3 la licitación se efectuó el día 26 de marzo de 1997 y en el participaron las empresas Ingenieros Civiles Asociados S.A. de C.V; La Nacional compañía Constructora, S.A. de C.V; Triturados Basálticos y Derivados S.A. de C.V; Caminos, Acarros y Pavimentos S.A. de C.V. e integrantes del grupo I Pavimentos y Maquinaria S.A. de C.V. y Constructoras de Infraestructura del Centro, S.A. de C.V. adjudicándose el fallo el 3 de abril de 1997 a la empresa Triturados Basálticos y Derivados, S.A. de C.V. con un monto de \$ 203'533,783.37 y un descuento del 11 % sobre el monto total señalado, mediante contrato No. 7-V-CE-0-119-W-0-7.

Es de mencionarse que el origen de los recursos proviene del Fideicomiso 1932, creado especialmente para la modernización de la Autopista México - Querétaro, Tramo Palmillas - Querétaro lo integraron las siguientes dependencias: El Organismo Descentralizado CAPUFE quien aporta el total de los recursos autorizados (\$ 650 Millones), SHCP quien autoriza dichos recursos, SECODAM vigila la aplicación y destino de estos recursos, BANOBRAS administra los recursos financieros y SCT ejecuta y norma la obra.

Esta obra tuvo un periodo de ejecución del 11 de julio de 1997 al 31 de agosto de 1998, y fue inaugurada por el C. Presidente de los Estados Unidos Mexicanos el 2 de diciembre de 1998.

Esta carretera, en virtud de poseer uno de los tránsitos más numerosos e importantes del país, (pues se estima que actualmente circulan por ella, un poco más de 40,000 vehiculos diarios, de los cuales aproximadamente el 42 % es carga pesada), tuvo uno de sus mayores retos, precisamente en el manejo y protección de este tránsito, ya que por tratarse de una modernización, se tuvo necesidad de trabajar con el mismo circulando todo el tiempo que duro su construcción, programándose la totalidad de los recursos requeridos a fin de ejecutarse en el menor tiempo posible, con objeto de disminuir las molestias a los usuarios, siendo indispensable programar en detalle la colocación del señalamiento de protección de obra, vigilando permanentemente su mantenimiento (Limpieza, reposición y reacomodo)

b) Evaluación técnica económica

Cuando se decide realizar la ampliación y reconstrucción del tramo. Se tiene un alto costo de construcción inicial, pero una mayor duración del pavimento. Este análisis evalúa técnica y económicamente las alternativas a seguir con la estructura que existía, haciendo reparaciones periódicas para mantener el nivel de servicio contra la de realizar la reconstrucción del tramo con concreto hidráulico.

Para la evaluación técnica se consideraron las dos alternativas:

Alternativa 1. Continuar con la estructura existente y realizar rehabilitaciones del pavimento asfáltico cada 10 años.

Alternativa 2. Realizar la reconstrucción y ampliación con una losa de concreto hidráulico de 30 cm de espesor.

El periodo de análisis es de 30 años y la tasa de crecimiento anual del tránsito es de 1.5%.

En las siguientes figuras se muestra la evaluación técnica y económica de las dos alternativas, tomando en cuenta el modelo de deterioro de la AASTHO (American Association of Highway and Transportation oficial) y el modelo de costos adaptado por el instituto mexicano del transporte. Los análisis realizados están referidos a un kilómetro-cuerpo y es valido el análisis para los 60 kms. Y ambos cuerpos.

La siguiente figura muestra los costos de construcción y operación actualizados para las dos alternativas. La alternativa de ampliación y reconstrucción con concreto hidráulico tiene un costo de 6.3 millones de pesos por kilómetro-cuerpo que se realiza en el primer año, la alternativa de asfalto tiene un costo de 3.4 millones, a costos actuales, distribuidos en el año 1, 10 y 20 de operación: los costos totales, incluyendo construcción, operación y mantenimiento, son para la alternativa de concreto de 238 millones y 220.6 millones de pesos (costos actualizados) para la alternativa de asfalto.

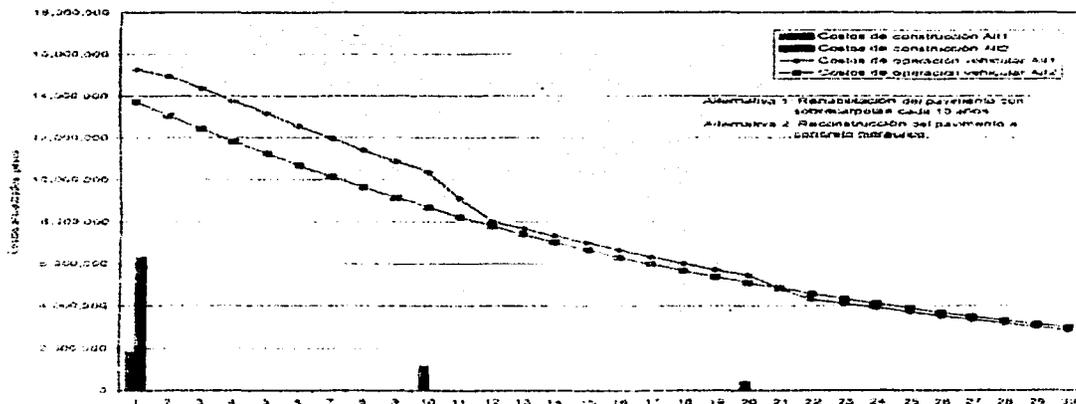


Fig. 1.1.2 Costos de construcción y de operación por km- cuerpo

La siguiente tabla se resume la evaluación económica de las dos alternativas y concluye que la alternativa de ampliación y reconstrucción con concreto tiene una relación beneficio/costo de 6.98 con respecto a la alternativa de asfalto.

Evaluación económica	
Costos por kilómetro cuerpo	
Alternativa 1	
Rehabilitación del pavimento actual con sobre-carpetas cada 10 años	
Costos de operación actualizado	234,545,641
Costo de construcción actualizado	3,406,531
Costo total	237,952,172
Alternativa 2	
Ampliación y reconstrucción del pavimento con concreto hidráulico	
Costo de operación actualizado	214,251,632
Costo de construcción actualizado	6,315,456
Costo total	220,567,088
Relación Beneficio / costo (Alt2 vs Alt1)	6.98

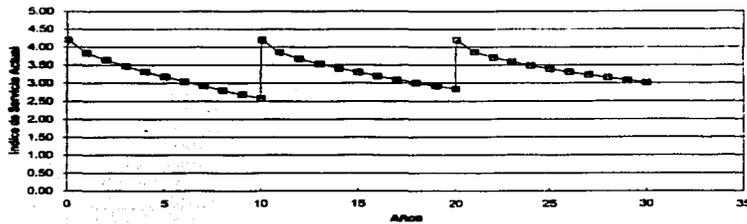
- Reducción de costos de operación
- Incremento en costo de construcción

Fig. 1.1.3 Resumen de la evaluación económica

La siguiente figura 1.1.4 muestra la evolución del estado superficial de la alternativa de asfalto donde se recupera el estado físico del pavimento en el año inicial, 10 y 20; es necesario aclarar que los cálculos fueron realizados para mantener el estado superficial en buenas condiciones como (arriba de 2.5 en escala de 0 a 5), lo cual solicito proponer sobrecarpetas de 12 a 15 cm de espesor.

La siguiente figura 1.1.4 muestra la evolución del estado superficial de la alternativa de ampliación y reconstrucción con concreto hidráulico. Con un diseño de una ampliación sub-base de 30 cm. Y barras de amarre de 45 cm. Del No. 4 a cada 45 cm. Se asume que la losa fue diseñada para un periodo de 30 años de vida útil que mantienen un buen estado superficial (arriba de 2.5 en escala de 0 a 5), por lo que posteriormente será necesario realizar una reparación mayor.

En las alternativas anteriores no fueron considerados los costos de mantenimiento rutinario que incluye desazolve de cunetas, limpieza, señalamiento y reparaciones de las losas o bacheo en su caso.



- Evolución del Estado del Pavimento Alternativa 1 (asfalto).

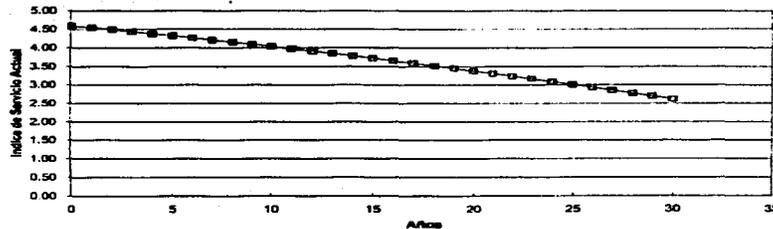


Fig. 1.1.4 Evolución del estado superficial alternativa 2

Se hizo uso de los modelos de deterioro de la AASTHO para concreto y asfalto y de las herramientas desarrolladas por el Instituto Mexicano del transporte.

1.2 CARACTERISTICAS GENERALES

En la ampliación y modernización de este tramo carretero de 59.33 km. De longitud se ejecutaron trabajos de terracerías, obras de drenaje, pavimento de concreto hidráulico, estructuras, entronques, obras complementarias y señalamiento horizontal y vertical obteniéndose una carretera tipo A6S con pavimento de concreto hidráulico de 0.30 m de espesor, que aloja seis carriles de circulación de 3.5 metros cada uno, 3 en cada sentido; dos acotamientos exteriores de 3.0 metros cada uno, uno en cada sentido y dos franjas interiores de seguridad de 1.5 metros cada una, una en cada sentido; se ampliaron y/o construyeron nuevos 25 entronques, 222 obras de drenaje y alrededor de 15 kilómetros de calles laterales, y para salvar canales, ríos y/o cruces con otros caminos se requirió de

la construcción de 53 estructuras, divididas en 29 pasos vehiculares a desnivel, 11 puentes naturales, 2 pasos ferrocarrileros y 11 puentes peatonales.

Una sección transversal típica se muestra en la siguiente figura, donde se pueden ver las características principales de esta obra.

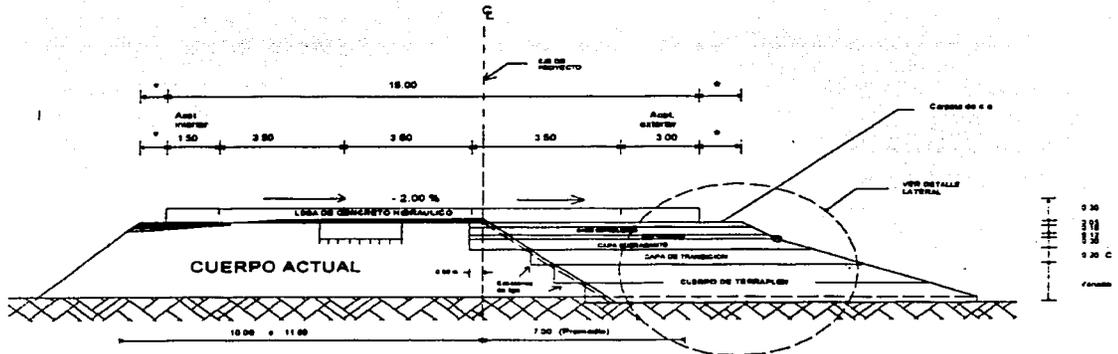


Fig. 1.2.1 Sección típica

a) Proyecto del pavimento

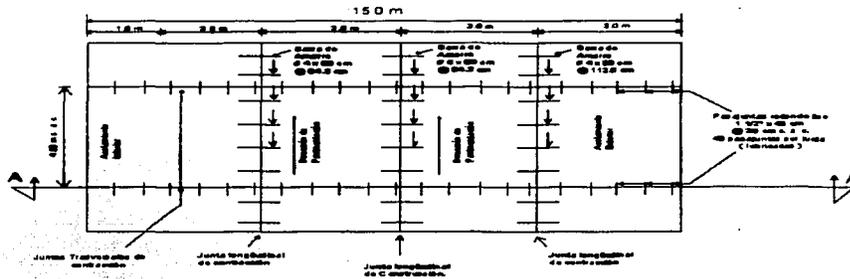
a) 1 Criterios de comportamiento

periodo del diseño	30 años
índice de servicio inicial	4.5
índice de servicio final	2.5
nivel de confiabilidad de diseño	95%

a) 2 Espesor del pavimento

El espesor del pavimento que se recomienda es un mínimo de 30 cm. El espesor esta basado en las condiciones del suelo a lo largo del tramo. Se considero un modulo de ruptura de 48 kg/cm².

PLANTA



SECCION TRANSVERSAL (A - A)

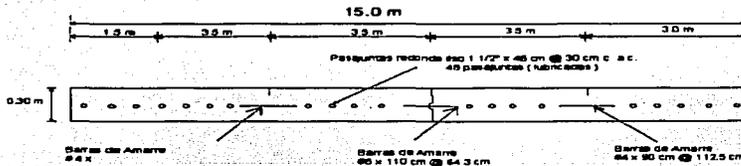


Fig. 1.2.2 Planta con espaciamento de juntas

a) 3 Espaciamento entre juntas

Debido a las condiciones climatológicas de la zona, el promedio de espaciamento entre las juntas transversales es de 4.50 mts. , El cual debe visualizarse como un patrón repetitivo a lo largo de todo el cadenamamiento. Este espaciamento deberá ser verificado cuando se defina el tipo de agregados, llevando a cabo las pruebas de laboratorio el tipo de agregados, llevando a cabo las pruebas de laboratorio necesarias. Las juntas transversales de contracción deberán cortarse a una profundidad mínima de 8 cm. (d/4) y deberán ser selladas con un sellador de silicón autonivelable.

a) 4 Sección transversal

Basado en la información preliminar proporcionada por la dirección general de construcción de carreteras federales de la secretaria de comunicaciones y transportes y algunas observaciones particulares del proyecto y de las condiciones existentes, se recomienda una sección transversal que deberá incluir.

- 30 cm de concreto
- 5 cm de carpeta asfáltica
- 15 cm de sub-base estabilizada con cemento, cubierta con un riego de impregnación.
- 30 cm de subrasante
- 50 cm de subyacente
- un cuerpo de terraplén de espesor variable

b) Procedimiento Constructivo

La carretera existente, constaba de dos cuerpos de 10.50 metros de ancho de corona cada uno, los cuales fueron ampliados a 17.60 m a nivel de carpeta asfáltica y 15.00 metros a nivel de carpeta de concreto hidráulico. La carpeta asfáltica existente, debido a las numerosas sobrecarpetas que tuvo en sus aproximadamente 35 años de servicio, originaron que sus espesores oscilaran entre los 40 y 70 centímetros, no obstante lo anterior durante el proceso constructivo, se detectaron diversas zonas falladas y/o de baches, que obligaron a abrir cajas para corregir la cimentación de las terracerías dentro de las coronas de los cuerpos existentes y en las zonas de ampliación dentro de los taludes de los terraplenes de existentes, debido a la acumulación de capas de arcilla y materia vegetal producto de arropes, fue necesario retirarlo abriendo cajas y escalones de liga para cimentar adecuadamente los terraplenes.

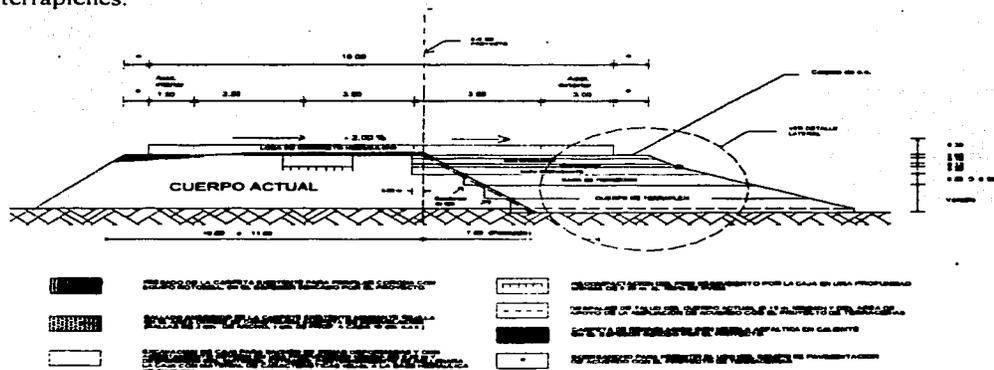


Fig. 1.2.3 .- Línea de desplante de la losa al mismo nivel que la superficie de rodamiento actual.

Las terracerías se construyeron mediante capas de terraplén compactadas al 90 %, y en zonas inestables por la presencia de humedad y materiales saturados se tuvo necesidad de apoyar los terraplenes sobre capas rompedoras de capilaridad y/o pedraplenes. Posteriormente se colocó la capa subyacente compactada al 95 %, en 0.50 metros de espesor, para concluir las terracerías con la capa subrasante compactada al 100 % en un espesor de 0.30 metros de espesor, empleándose en todas estas capas material seleccionado de banco.

En las zonas de ampliación, las capas de pavimento se construyeron sobre la capa subrasante, colocándose primeramente una capa de base hidráulica de 0.12 metros de espesor y otra de base Hidráulica estabilizada con cemento Portland de 0.18 metros de espesor, ambas compactadas al 100 % con materiales procedentes de bancos seleccionados triturado a 1 1/2 pulgadas, enseguida se colocó una carpeta de concreto asfáltico de 0.05 metros de espesor. El objetivo de esta carpeta dentro de la zona de ampliación, fue el de permitir desviar el tránsito en un sentido, siendo su ancho promedio de ampliación en cada cuerpo de 7.5 metros, para obtener un ancho total del cuerpo en construcción a nivel de carpeta de asfáltica de 17.60 metros, lo que permitió colocar los 15.0 metros de ancho de carpeta de concreto hidráulico, dejando un espacio en las franjas laterales de 1.30 metros para permitir el paso de las orugas de la maquina extendidora del concreto, 1.30 metros de ancho cada uno.

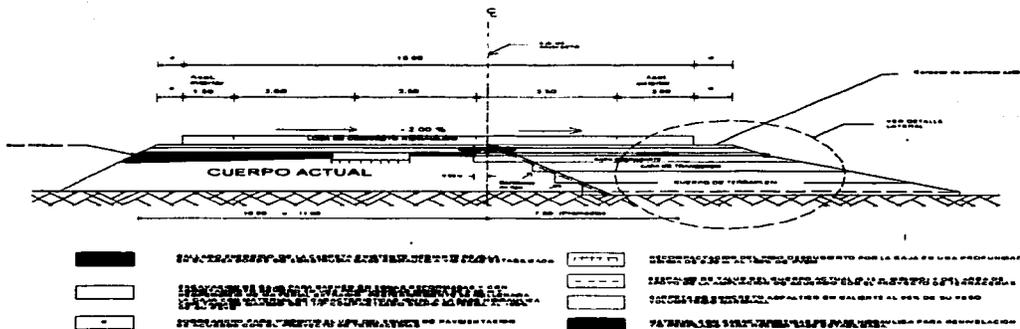


Fig. 1.2.4 Línea de desplante de la losa de arriba de superficie e rodamiento actual.

Una vez concluida la ampliación y modernización hasta nivel de carpeta asfáltica, se iniciaron los trabajos de fresado y renivelado sobre la superficie existente de ambos cuerpos, desarrollándose estos trabajos hasta lograr los niveles de corona del nuevo proyecto, incrementándose el ancho de la zona de ampliación, de uno de los cuerpos mediante fresado y/o renivelación al mismo nivel de la ampliación de 7.50 m, hasta obtenerse una sección uniforme de aproximadamente 8.80 metros, (la mitad de total de 17.60 m) para de esta manera lograr dos carriles de circulación que permitieron el desvío del tráfico con márgenes de seguridad acordes con las necesidades requeridas. De este modo cuando uno de los cuerpos se encontró en esta etapa de avance, permitió operar el tránsito en doble sentido con cuatro carriles de circulación, dos sobre el cuerpo existente y los trabajos de fresado y renivelación y asimismo la colocación de la carpeta de concreto hidráulico en todo el ancho del proyecto del otro cuerpo, libre de tránsito.

Este procedimiento fue realizado por subtramos, previo estudio de una logística debidamente analizada con respecto a los entronques existentes y a los innumerables accesos y salidas que,

necesariamente tenían que seguir dando servicio. Cabe mencionar que en el subtramo TRIBASA, S.A. de C.V. de Km 194+000 a Km 217+000 la carpeta de concreto hidráulico fue colocada en una sola pasada de la maquina, los 15.0 metros de ancho del proyecto. En los otros dos subtramos de km. 156+000 a km. 175+000 y de km. 175+000 a km. 194+000 a cargo de las empresas MARHNOS, S.A. de C.V. y PYASA Ingenieros Civiles, S.A. de C.V. la colocación de la carpeta de concreto hidráulico se hizo en dos franjas una 6.50 metros y otra de 8.50 metros, es de mencionarse que en todo el volumen de la carpeta de concreto hidráulico colocada, fue necesario utilizar cemento puzolana debido a la potencial reactividad de los agregados de la zona con los álcalis del cemento.

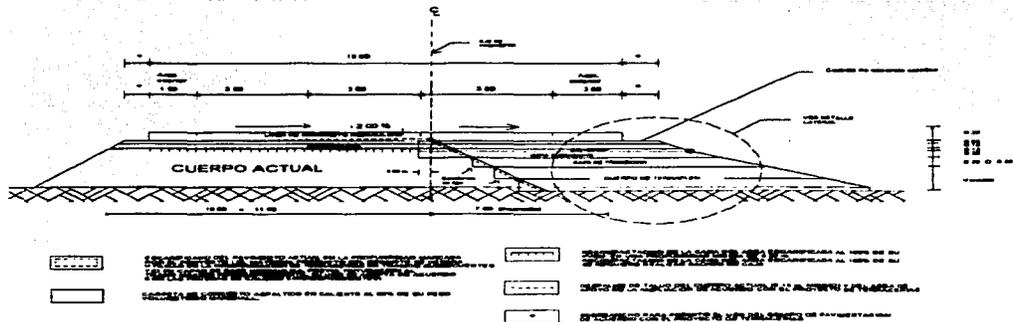


Fig. 1.2.5 .- Línea de desplante de la losa de abajo de superficie e rodamiento actual.

En lo referente a la construcción y/o ampliación de las estructuras, el procedimiento fue acorde con el de las terracerías y pavimentos, exceptuando el de los pasos ferrocarrileros de los kilómetros 166+468 y 173+061 por ser de doble vía electrificada, en donde la cimentación se efectuó con elementos prefabricados, al igual que la subestructura y superestructura, en coordinación con las Autoridades de la Concesionaria "Transportadora Ferroviaria Mexicana", con quienes hubo necesidad de negociar y programar minuciosamente los tiempos en que era factible cortar la energía eléctrica, para poder construir dichos puentes, asimismo la logística y reubicación de sus instalaciones, con objeto de perjudicar lo menos posible la circulación de los trenes.

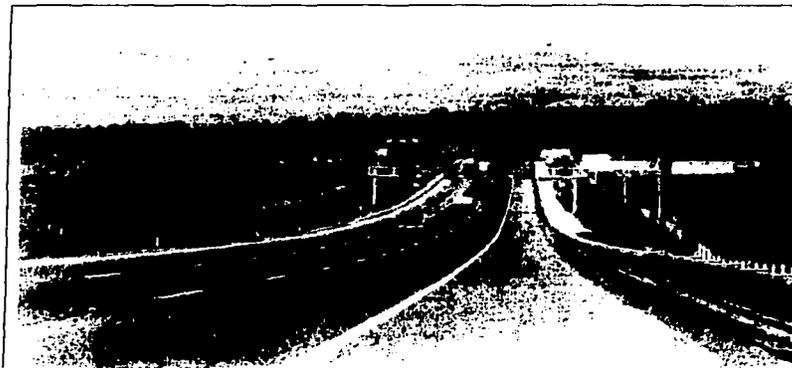


Fig. 1.2.6 Vista de Autopista terminada

c) Maquinaria utilizada

Con respecto a la maquinaria utilizada durante la etapa constructiva, se emplearon del orden de 450 maquinas grandes, dentro de las cuales destacan un promedio de 25 tractores, 35 motoconformadoras, 40 cargadores, 10 retroexcavadoras, 9 fresadoras, 8 grúas, 9 equipos de trituración, 5 extendedoras de concreto hidráulico, 5 dosificadoras de concreto hidráulico, 60 pipas de agua, 20 rodillos lisos, 130 camiones de volteo, y 15 flow-boys (equipo especial para transportación de concreto hidráulico).

d) Volúmenes de obra

En lo referente a los principales volúmenes de obra ejecutados estos fueron los siguientes.

CONCEPTO	VOLUMEN EN MILLONES DE M ³
Excavación de cortes	1.527
Formación de terraplenes	1.788
Préstamo de Bco.	1.740
Sub-base hidráulica	0.045
Base hidráulica	0.163
Base Estabilizada	0.224
Carpeta Asfáltica	0.157
Carpeta de Concreto Hidráulico	0.560

1.3 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

a) Defensa Metálica "Sistema Amortiguador Simple de Impactos"

El Tramo Palmillas - Querétaro, en virtud de poseer uno de los tránsitos más numerosos y pesados del país, pues actualmente circulan por el alrededor de 40 mil vehículos diarios, de los cuales aproximadamente el 42 % es tránsito pesado, venía operando hasta antes de su modernización con una deficiente capacidad de servicio y un alto índice de accidentes, por tal motivo las autoridades correspondientes de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes determinaron utilizar en su modernización dispositivos de seguridad con tecnologías de vanguardia, algunos de ellos por primera vez en el país. Tal es el caso de la Defensa Metálica misma que por sus características es "Sistema Amortiguador Simple de Impactos", que además de contar con los elementos propios de una defensa normal de triple cresta del tipo Aashto, posee una armadura en forma de marco sobre la cual se coloca la barrera metálica, dicho marco contiene dos sistemas de perforaciones que generan puntos de falla. Al producirse el impacto de los vehículos, el marco tiende a comprimirse por la falla de las perforaciones, absorbiendo la energía dinámica del golpe asimismo posee dos barras encausadoras en la parte inferior del poste que propician el rebote de los neumáticos de los vehículos, incrementando notablemente las posibilidades de sobrevivencia de los usuarios, que por pérdida de control de sus vehículos llegan a impactarse contra dicho sistema.

(Textos del fabricante del sistema Amortiguador Simple de Impacto)

Con la finalidad de mejorar la seguridad en las carreteras, FORMET ha diseñado un innovador sistema de protección para prevenir que los vehículos se salgan del camino, o bien se crucen en el otro sentido del tráfico.

Este sistema consiste en una serie de elementos metálicos flexibles que forman una barrera de protección, cuyo objetivo primordial es salvar vidas humanas, denominándosele "Sistema Amortiguador Simple de Impactos".

Los sistemas de amortiguamiento son actualmente necesarios para casi todo tipo de caminos, asimismo para dar protección en grandes terraplenes, puentes, canales, etc.

Las características principales de este innovador sistema, consiste en contar con una defensa de tres crestas con un ancho de aproximadamente de 51 cms. la cual restringe el tráfico mas eficientemente, ya que la altura de la cresta superior es suficiente para contener grandes vehículos (camiones y autobuses) y la cresta inferior es mas baja para los vehículos ligeros.

Cuenta también con un dissipador de energía que se une al separador el cual tiene una serie de agujeros interconectados que en el caso de una colisión seden gradualmente, atenuando el impacto del vehículo contra la barrera. Adicionalmente cuenta con dos encausadores que sirven para reorientar el tráfico una vez que el separador sea deformado.



Fig. 1.3.1 Vista de las Defensas Metálicas Utilizadas

b) Rampas de emergencia

Se construyeron dos rampas de emergencia de 200 m de longitud cada una para aquellos vehículos que por sobre calentamiento, pierden su sistema de frenado, en las zonas con mayor pendiente vertical. Dichas rampas se ubican una en el cuerpo derecho, en el km. 166 hombro izquierdo sobre el carril de alta velocidad y la otra en el km. 168 hombro derecho sobre el carril de baja velocidad (Siendo estos cadenamientos constructivos y sus kilometrajes operativos equivalentes son los km. 157 y 159 respectivamente).

c) Rayas laterales

En las rayas encausadoras de carriles que delimitan los acotamientos exterior e interior, se utilizaron también por primera vez en una carretera federal del país, franjas laterales con bordes de seguridad, que producen una vibración en los vehículos que se salen del carril, creando posibilidades de que el conductor tenga oportunidad de reaccionar para encausar nuevamente el vehículo y evitar una posible salida de la carretera con consecuencias de daño para el usuario

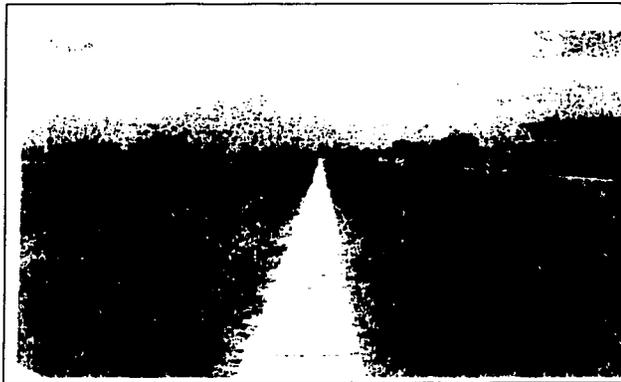


Fig. 1.3.2 Raya encausadora Lateral

d) Puentes peatonales

En los puentes peatonales, también es digno de mencionar el hecho de que sus accesos fueron construidos a base de rampas en lugar de las tradicionales escaleras, permitiendo con ello el cruce de personas minusválidas, animales, e incluso vehículos del tipo de motocicletas y bicicletas.



Fig. 1.3.3 Puentes peatonales

e) Señalamiento

Por ultimo también se considera relevante el diseño del señalamiento vertical, particularmente el elevado basándose en señales de bandera y de tipo puente, ya que las dimensiones de sus charolan y/o tableros que contienen los símbolos y letras, son mayores a los que normalmente se utilizan en este tipo de carreteras, permitiendo una mayor y mejor visibilidad de los mensajes para el usuario.



Fig. 1.3.4 Señalamiento Vertical

1.4 INNOVACIONES

En el tramo Palmillas - Querétaro, las Autoridades correspondientes de la Secretaria de comunicaciones y Transportes, determinaron utilizar en el señalamiento horizontal de las rayas separadoras de carriles, pintura termoplástica del tipo Alquidálico, en franjas de 15 cms de ancho y 2.0 milímetros de espesor, en colores blanco para los guiones centrales y rayas continuas que separan los acotamientos exteriores; y amarillo para las rayas continuas que delimitan las franjas interiores de seguridad. Previo a su aplicación se realizaron trabajos de Sand-blasteo de 1.0 a 2.0 mm de profundidad sobre la superficie de concreto hidráulico aplicando también una capa de material catalizador para garantizar su adherencia.

a) Pintura Termoplástica

Las rayas continuas exteriores e interiores son franjas laterales que poseen bordes de seguridad de 9 milímetros de espesor y 7 cm de longitud a cada 30 cm de espaciamiento que producen vibraciones en los vehiculos, creando posibilidades de que el conductor reaccione y corrija su trayectoria encausándose nuevamente en el carril de circulación, cuando por adormecimiento y/o exceso de cansancio, invade estas franjas de seguridad también llamadas líneas "Vibraline".

Características.- Las franjas con Pintura Termoplástica del tipo Alquidalico tienen las siguientes características:

1. - Las marcas deben incluir resaltes a ser formados en un proceso continuo integral. La línea de base deberá ser de 2.0 mm mas menos 0.5 mm de espesor de tolerancia con resaltes de 7.0 mm mas menos 0.5 mm de espesor de tolerancia.

2. - Las marcas aplicadas deberán secar y no producir huellas después de los 10 minutos siguientes, partir de su aplicación a una temperatura ambiente de 15°C.

3. - La reflectividad nocturna en seco debe ser:

Mayor ó igual 300 med lux/m2 (aplicación nueva) en aplicaciones al ser medidas por la maquina Ecodone.

La reflectividad nocturna con humedad (lluvia) debe ser mayor ó igual a 80 med lux/m2 (aplicación nueva) y mayor ó igual a 50 med lux/m2 después de un año de servicio.

La reflectividad debe ser consistente para todo el señalamiento.

4. - El nivel de ruido requerido es el siguiente

- En automóvil a 80 kph aproximadamente 80 decibeles
- En automóvil a 100 kph aproximadamente 90 decibeles
- Fuera del automóvil (en acotamiento) a 80 kph aproximadamente 80 decibeles
- Fuera del automóvil a 100 kph aproximadamente 80 decibeles

Durabilidad: Después de un año, no se deberán presentar evidencias importantes de desgaste o desprendimiento. Además se deberán cumplir los siguientes requerimientos a la durabilidad después del tiempo indicado de validez:

Tiempo mínimo de uso previsto en el contrato de Construcción.	Porcentaje mínimo del señalamiento que permanece sin desprendimiento.		
	A 6 meses de Operación	A 1 año de Operación	A 2 años de Operación
1 año	Mayor ó 85 % igual		
2 años		Mayor ó 85 % igual	
4 años			Mayor ó 85 % igual
6 años			Mayor ó 95 % igual

Materiales.- En la construcción de las franjas de seguridad, se emplearan materiales que en lo general cumplan con lo establecido en el capitulo 4.01.04.012-C de las Normas de Calidad de los Materiales editadas por la S.C.T. debiendo cumplir además con los requisitos de calidad que a continuación se señalan.

El material deberá ser siempre elástico, resistente a la abrasión, sales y petróleos y con posibilidad de aplicación a altas temperaturas de la superficie de pavimento, debiendo cumplir además con las siguientes características:

La pintura termoplástica deberá tener además las siguientes características.

TIPO: ALQUIDICO
 COLOR: AMARILLO
 GRAVEDAD ESPECIFICA: 1,9-2,0
 PUNTO DE ABLANDAMIENTO: 101°-105° C
 REFLECTIVIDAD: 45 + (45°/0°).

TIPO: ALQUIDICO
 COLOR: BLANCO
 GRAVEDAD ESPECIFICA: 1,9-2,0
 PUNTO DE ABLANDAMIENTO: 100°-105° C
Reflectividad: 75+(45°/0°)

Instrucciones de aplicación.

1. - El material termoplástico debe estar a una temperatura mínima de 400°F. (204°C). El rango óptimo es de 400°F a 425° F (204°C a 218° C). Las calderas que calientan el material termoplástico de preferencia deben tener un sistema de calentamiento por cámara de aceite para asegurar el calentamiento uniforme del material.

2. - El termómetro de la caldera debe ser verificado periódicamente introduciendo un termómetro manual en el tanque de las calderas.

3. - Antes de la aplicación los siguientes parámetros deben de cumplirse:

a.- La superficie debe estar completamente limpia y libre de tierra, lodo o residuos de aceite.

b.- La superficie debe de estar completamente seca al momento de aplicación. La humedad por debajo de la superficie así como la visible representa un serio problema. Una manera rápida de descubrir la presencia de humedad por debajo de la superficie es poner una tira de cartón delgado y aplicar termoplástico caliente. Se levante la tira y se checa si existe presencia significativa de humedad.

c. - Cuando ya existan líneas de pintura (no termoplástica) en la superficie deben de tener un desgaste de al menos 50 %. Si la pintura existente esta resquebrajando entonces deberá retirarse antes de aplicar el material termoplástico.

Importantes factores de aplicación

1. - El pavimento debe estar a más de 15°C (Tomar en cuenta el viento cuando se determinan estas temperaturas.
2. - No debe de haber humedad en el pavimento.
3. - Si se presenta lluvia esperar 24 horas para aplicar el termoplástico sólo si en esas 24 horas existe la presencia del sol.
4. - En concreto aplicar catalizador 2 horas antes de aplicar el termoplástico. Tener cuidado de no exponer al aire el catalizador sin aplicar por más de 5 horas porque después de este tiempo se endurece. La función principal del catalizador es ayudar a la adhesión del material.
5. - En asfalto en una superficie nueva esperar 8 días después del carpetado porque sino el termoplástico se manchará
6. - En una autopista recién sellada esperar 2 o 3 días para aplicar termoplástico.
7. - Recordar que aproximadamente 1 kg de microesfera rinde para 15 metros efectivos de una línea con un ancho de 10 cm.
9. - Utilice equipo de protección y lentes cuando utilice el material derretido.
- 10-. Verifique la adhesión del material a la superficie durante los primeros metros instalados para certificar que se están cumpliendo con las condiciones previamente especificadas.

Descripción del Material Termoplástico, textos del distribuidor

1. - Tipo de material.- Los materiales termoplásticos son adecuados para utilizarse como marcaje reflectivo de pavimento tanto en superficies de concreto o asfalto. Este material esta fabricado de tal manera que en su estado líquido, sea aplicado por medio de extrusión o roseado sobre el pavimento. El material tiene esferas de vidrio mezclado y además se depositan estas esferas inmediatamente después de su aplicación.
2. - Características generales.- Este compuesto no se deteriora con el contacto del aceite contenido en los materiales de pavimentación ni el aceite arrojado por los vehículos. En su estado plástico, este material no despidе gases tóxicos que podrían ser perjudiciales para las personas. Este material puede mantenerse hasta cuatro veces sin perder sus propiedades. Las características de temperatura contra viscosidad se mantienen constantes hasta por cuatro recalentamientos y es la misma en todos los lotes de material. Este material no presenta cambios visibles de color hasta en cuatro recalentamientos y no varía entre diferentes lotes. Para asegurar la mejor adhesión posible, el material se aplica en estado líquido a una temperatura de 400° F (240 ° C) y no sufre decoloración durante un periodo de 4 horas si se mantiene esta temperatura.
3. - Aplicaciones.- El material termoplástico es un producto especialmente formulado para el marcaje horizontal de tráfico. Para esto, el pigmento se encuentra disperso uniformemente en el

material. La densidad y el carácter del material es uniforme a lo largo de todo su espesor. Este material mantiene sus dimensiones originales durante su aplicación y su ductilidad en frío la permite compensar los movimientos de material en la superficie asfáltica sin resquebrajarse o agrietarse, lo que lo hace altamente resistente a las más bajas temperaturas.

4. - **Color.**- Este material no cambia su color ni sus brillantes al estar expuesto por periodos prolongados a los rayos solares.

5. - **Duración.**- La duración del termoplástico es mínimo 5 años en líneas divisorias de carril o laterales y 2.5 años en tabletas, marimbas y líneas marcadoras de zonas peatonales.

6. - **Rendimiento.**- 22.7 kilogramos de termoplástico arrojados a presión cubre aproximadamente 40 mts. lineales de 10 cms. de ancho de superficie cuando se aplica a 125 milésimas. Una tonelada (907 kgs.) dará de 1300/1600 mts. lineales de 10 cms. (4") de ancho o aproximadamente 685 mts. lineales de 15 cms. (6") de ancho dependiendo de la textura y condiciones de la superficie de la carretera.

Aplicación.- Este material al ser aplicado queda preparado para ser renovado en un futuro con sólo aplicar una fina capa del nuevo material con las mismas características. El material nuevo aplicado sobre el anterior se adhiere perfectamente al otro evitando que ocurra separación entre los dos materiales.

Para asegurar una adhesión óptima, el material termoplástico debe ser aplicado en estado líquido dentro de un rango de temperaturas de entre 400° a 425° F (240°C a 218° C). El espesor de la aplicación varía en un rango de entre 60 a 125 milésimas de pulgada (1.5 a 3.1 mm) según la especificación del proyecto.

CAPITULO II

ESTUDIOS TECNICOS

Para determinar el método de diseño que se utilizara en el proyecto, analizaremos el método AASHTO y el método PCA, así como sus antecedentes, factores de diseño y formulas, previamente se recordarán las propiedades de los suelos para conocer sus características generales, factores de diseño y formulas.

De los diferentes tipos de pavimentos que enlistamos, abordaremos el pavimento rígido, en especial la tecnología WHITETOPPING, la cual utilizaremos para la rehabilitación del pavimento existente.

Para el diseño del proyecto, se hará una evaluación estructural tomando como referencia la estimación de los parámetros de diseño, así como los estudios técnicos propios del proyecto MÉXICO-QUERETARO, tramo PALMILLAS-QUERETARO.

2.1 INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS DE DISEÑO.

Las metodologías de diseño de pavimentos, consideradas en este trabajo son las más utilizadas a nivel internacional y son aplicables a los pavimentos convencionales y a las sobrecarpetas de concreto (Whitetopping).

a) Pavimentos Convencionales.

Sirven para la construcción de tramos nuevos de pavimentación, en donde las actividades de construcción tienen que ver con los trabajos preliminares propios a las características de los suelos de soporte y conformación de las terracerías y sub-base del pavimento, así como también para la propia estructura de concreto hidráulico. Los métodos de diseño se aplican íntegramente a este tipo de pavimentos.

b) Sobrecarpetas de Concreto (Whitetopping).

Corresponden a rehabilitaciones de pavimentos asfálticos deteriorados. El término aquí utilizado se refiere a rehabilitaciones con pavimentos de concreto convencional, tomando como estructura de soporte el pavimento asfáltico que se tiene en el lugar. Los métodos de diseño toman en cuenta esta solución, considerando las características de soporte de la estructura existente, que normalmente tiene capa de sub-base, base y asfalto.

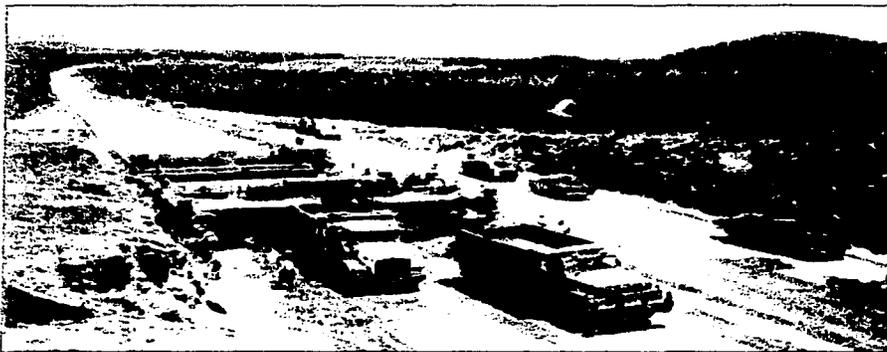


Fig. 2.1.1
pavimentos
convencionales

b) 1 Concepto Whitetopping.

El Whitetopping consiste en la colocación de una losa de concreto hidráulico sobre un pavimento asfáltico que presente daños superficiales y que ha sido superado por las condiciones ambientales y por el volumen y peso del tránsito al que se encuentra sometido. De esta manera se eliminan los mantenimientos continuos y sus correspondientes costos, entregando luego de su aplicación, un pavimento de excelente calidad que brindará una larga vida útil en buenas condiciones de operación.

El Whitetopping satisface la demanda de la ciudadanía de transitar en calles seguras y en excelentes condiciones de servicio por más tiempo porque ofrece más de 20 años de vida útil. Esta técnica se ha utilizado con éxito en calles urbanas, caminos principales y aeropistas de Europa y Estados Unidos sustituyendo para siempre el uso del pavimento asfáltico. La tecnología Whitetopping la podemos dividir en dos ramas:

- **Convencional:** Se puede usar para cualquier vialidad y condiciones de tráfico, incluso en carreteras principales.
- **Delgado:** Cuyas aplicaciones son únicamente para vialidades de carácter residencial sin tráfico pesado. El espesor mínimo recomendado es de 10 cm.

Ventajas

- Permite la colocación sobre carpetas asfálticas que exhiban cualquier deterioro superficial.
- Se requiere de una mínima preparación de la superficie dañada, consistiendo ésta en la reparación de baches existentes y el lavado de la carpeta asfáltica, en el caso del convencional y el fresado superficial de la carpeta para el caso del delgado, previo a la construcción de la losa de concreto.
- Tiene un costo menor que la rehabilitación con asfalto.
- La vida útil del camino se incrementa a 20 años disminuyendo drásticamente los costos por mantenimiento.
- Se incrementa la luminosidad del camino reduciendo incluso los gastos por iluminación nocturna.
- La sobrelosa de concreto es capaz de soportar -con amplios márgenes de seguridad- las cargas típicas del tráfico urbano ligero para pavimentos delgados y el pesado para pavimentos convencionales.

Aplicaciones

El Whitetopping, como alternativa para la rehabilitación de pavimentos deteriorados, tiene una amplia gama de aplicaciones. Se tiene una solución de acuerdo a cada uno de los problemas que se presenten, el Whitetopping convencional es la alternativa ideal para la rehabilitación de todo tipo de caminos, desde las vialidades secundarias de una ciudad hasta las plataformas de un aeropuerto.

Contando con los estudios previos necesarios en cuanto al estado físico de la superficie existente y el tránsito que por ella circula, se diseña un pavimento de concreto hidráulico de acuerdo a dichas características para la duración deseada que puede variar de 15 a 25 años.

La tecnología de Whitetopping delgado tiene aplicaciones más específicas y su uso deberá de ser evaluado por personal calificado previo a la toma de una decisión ya que en este caso, el pavimento es muy sensible a pequeñas variaciones de los factores involucrados que pudieran pasarse por alto y

que serán fundamentales para el éxito del proyecto, a través de la investigación se ha encontrado que no es recomendable el colocar pavimentos con menos de 10.0 cm de espesor y siempre y cuando se presenten condiciones de excelentes en cuanto al soporte de la superficie existente y sus características en relación con la adherencia de la misma y el pavimento de concreto hidráulico.

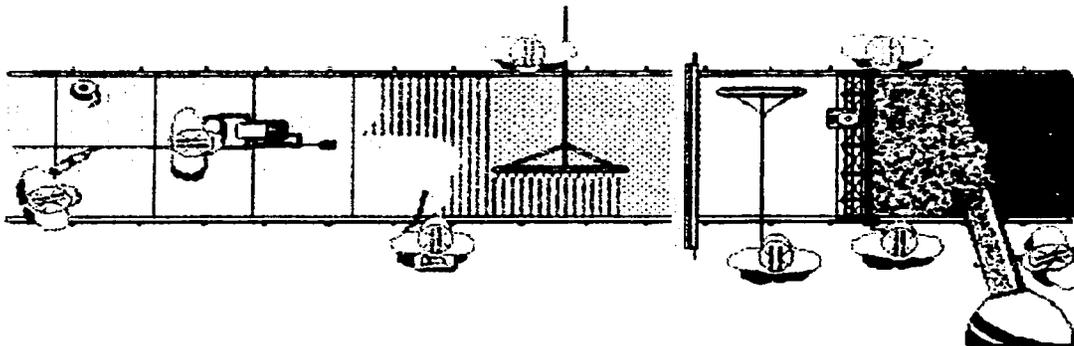
Procedimiento Constructivo

Antes que nada, debe de hacerse una evaluación de las condiciones existentes en el pavimento deteriorado para poder tener la seguridad de recomendar el uso del Whitetopping y la factibilidad técnica de su aplicación. Posteriormente, con la información de mecánica de suelos y de tránsito que se obtenga, se procede a elaborar el diseño del Whitetoppin según el tipo de camino y la vida útil esperada para el mismo. Contando con los elementos anteriores, la construcción se realiza de la siguiente manera:

1. Reparación de baches superficiales y posible fresado de las zonas que presenten deformaciones importantes y fresado continuo para pavimentos delgados.
2. Limpieza enérgica de la superficie existente para garantizar la adherencia del Whitetopping, en el caso ideal, el agregado de la superficie dañada deberá estar expuesto.
3. Dependiendo del proyecto, se seleccionará el sistema de colocación más adecuado, pudiendo ir desde una regla vibratoria para proyectos pequeños hasta una pavimentadora de cimbra deslizante para grandes rehabilitaciones.
4. Con el tramo a rehabilitar listo, se realiza el suministro de concreto hidráulico especial para pavimentos, el concreto deberá cumplir siempre con los requisitos de calidad de acuerdo a las especificaciones descritas en el diseño del pavimento y deberá suministrarse de una manera uniforme y continua, lo que constituirá en gran medida el éxito del proyecto.
5. El concreto deberá ser recibido sobre la superficie a rehabilitar previamente saturada con agua para posteriormente ser compactado mediante vibradores mecánicos y después será perfilado mediante el equipo de pavimentación seleccionado.
6. Luego de su colocación, se deberá realizar el terminado y el texturizado del mismo, procurando que ésta actividad se realice en un tiempo tal que permita dar el acabado deseado y evitando en todo momento el agregar agua a la superficie para evitar problemas de agrietamientos plásticos y pérdida de resistencia en la superficie del pavimento que provocaría un desgaste acelerado de la superficie.
7. Inmediatamente luego de realizar el terminado, se debe proteger el concreto mediante el curado del mismo para evitar la pérdida de humedad y para garantizar que se alcanzará la resistencia indicada en el diseño.
8. Por último se deberán formar las juntas de contracción del concreto ya sea por medio de su aserrado mediante discos con punta de diamante o mediante la inserción de cintas de PVC, en un tiempo tal que se evite el destillamiento del concreto y se logre además evitar

el agrietamiento no controlado de las losas, las juntas deberán sellarse posteriormente en los casos en donde el diseño así lo disponga para proteger el pavimento contra las filtraciones de agua o de material no compresible que ocasionarían pérdida de soporte y despostillamiento de las juntas resultando esto en una vida útil menor.

Fig. 2.1.2 procedimiento de construcción del **Whitetopping**.



Algunos de los trabajos preliminares que se deben considerar para la colocación del pavimento **Whitetopping** difieren de los que se aplican a los pavimentos convencionales.

Los aspectos que se evalúan en el diseño para determinar la factibilidad técnica de que un pavimento sea rehabilitado mediante la técnica de Whitetopping son:

- Daños estructurales.
- Daños asociados a la fatiga de las capas asfálticas.
- Daños asociados a la alteración del perfil por deformaciones plásticas acumuladas.
- Daños asociados a la inestabilidad del terraplén.
- Daños superficiales.
- Daños asociados a las deficiencias en el diseño o fabricación de la mezcla asfáltica.
- Daños asociados a la calidad de los materiales

b) 2 Las fallas que se consideran en una superficie de asfalto

1 Huecos o Baches Abiertos.

Cavidades o depresiones producidas por desprendimiento de la carpeta asfáltica y de capas granulares.

- Superficiales: Sólo comprometen la capa de rodadura y su profundidad es menor a 3 cm.

- Medios: Comprometen parte o la totalidad de la carpeta asfáltica y su profundidad oscila entre 3 y 10 cm.
- Profundos: Profundidad superior a 10 cm, con expulsión de material y compromiso de la base granular.



Fig. 2.1.3 Fisuras Longitudinales y Transversales.

Son agrietamientos longitudinales y/o transversales que no constituyen una malla, sino que se presentan en forma aislada o continua y son producidas por deficiencia en las juntas de construcción, por contracción de la mezcla o desplazamiento de los bordes. Se consideran 3 tipos de fisuras: Longitudinales, transversales y en bloque.

3 Desgaste Superficial.

Son las irregularidades que se observan en la superficie, en áreas aisladas o en forma generalizada, y son el producto del desgaste de las partículas superficiales o el desprendimiento de alguna de ellas por acción del tránsito o inclemencias del tiempo.

El desgaste se clasifica en:

- Ligero: Pérdida de textura uniforme, mostrando rugosidad e irregularidades hasta de 5 mm de profundidad.
- Medio: Cuando las irregularidades están entre 5 y 15 mm de profundidad. Las partículas de agregado están expuestas y se siente vibración al circular.
- Severo: Desintegración superficial de la carpeta, con desprendimientos evidentes y partículas sueltas sobre la vía.



Fig. 2.1.4 Piel de Cocodrilo.

Son agrietamientos en forma de malla. Inicialmente se presenta en cuadros más o menos regulares con lados entre 25 y 30 cm; que se fragmentan progresivamente en forma de piel de cocodrilo.

Posteriormente estas fisuras se ensanchan y profundizan ocasionando desprendimientos.

Se consideran 3 tipos de fallas:

- Ligero: Cuando los agrietamientos son muy delgados y el tamaño de los cuadros tienen dimensiones próximas a 25 cm por lado. No existe deformación superficial.
- Medio: Cuando los bloques se han reducido de tamaño y presentan aristas redondeadas por pérdida de partículas, las grietas que los separan son mayores de 1 cm, se advierten deformaciones y movimientos relativos con posible desprendimiento de algunos bloques.
- Severo: Cuando las deformaciones son grandes, hay pérdida del material asfáltico y apareció del material de base.

5 Ondulaciones.

Son deformaciones grandes en la plataforma de la vía, que alteran su perfil longitudinal o por asentamientos del terraplén o por levantamientos causados por las raíces de árboles.

Por los daños encontrados en la vía y la capacidad estructural residual del pavimento, se consideran desde la etapa de diseño algunas actividades correctivas.

b) 3 Reparación de Fallas.

Para garantizar la uniformidad en el soporte de la estructura asfáltica, se deben realizar correcciones en los sitios en donde se presenten las siguientes irregularidades, de acuerdo con la tabla:

Tipo de falla	Reparación requerida
Revolca o resaca de agua	Ninguna
Revolca o resaca de arena	Reparación y compactación
Degradación por tráfico	Reparar
Grutas	Reparar
Falla de drenaje	Reparación y preparación
Fisuras en general, fisuras transversales y longitudinales	Ninguna
Exudación	Ninguna
Degradación estructural	Ninguna

2.2 SUELOS.

En el diseño de pavimentos, es fundamental conocer las propiedades de los suelos que nos permiten entender sus características generales y sus comportamientos. Algunas de estas propiedades se obtienen mediante las pruebas siguientes:

a) Plasticidad.

Es la capacidad de deformación de los suelos, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo usan los límites de Atterberg:

Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP) y Límite de Contracción (LC). Mediante ellos se puede conocer el tipo de suelo en estudio. Todos los límites de consistencia se determinan empleando suelo que pasa por la malla No. 40. La diferencia entre los valores del límite líquido y del límite plástico da como resultado el índice plástico (IP) del suelo.

a)l Límite Líquido.

Se define como el porcentaje de humedad con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De esta forma, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte y según Atterberg es de 25 g/cm². El procedimiento para determinar el límite líquido de un suelo es:

- a) Se toman 100 g. de material que pasa la malla No 40, se colocan en una cápsula de porcelana y con una espátula se hace una mezcla pastosa, homogénea y de consistencia suave, agregándole una pequeña cantidad de agua durante el mezclado.
- b) Se coloca una poca de esta mezcla en la copa de Casagrande, formando una masa alisada de un espesor de 1 cm en la parte de máxima profundidad.
- c) El suelo colocado en la copa de Casagrande se divide en la parte media en dos porciones, utilizando un ranurador.
- d) Se acciona la copa a razón de dos golpes por segundo, contado el número de golpes necesarios para que la parte inferior del talud de la ranura hecha se cierre precisamente a 1.27 cm (1/2"). Si no se cierra entre los 6 y 35 golpes, se recoge el material y se le añade agua y se vuelve a mezclar.
- e) Cuando se cierra en un número de golpes entre los 6 y los 35, se toman 10 g., aproximadamente, de suelo en la zona próxima a la ranura cerrada y se determina el contenido de agua de inmediato. Se repite el ensaye y si se obtiene el mismo número de golpes que el primero o no hay diferencia en más de un golpe, se repite el ensaye hasta que tres ensayes consecutivos den una conveniente serie de números.
- f) Se repiten los pasos del 2 al 5, teniendo el suelo otros contenidos de humedad. De este modo se deben tener, por lo menos, dos grupos de dos a tres contenidos de humedad, uno entre los 25 y 35 golpes y otro entre los 6 y los 10 golpes con el fin de que la curva de fluidez no se salga del intervalo en que puede considerarse recta, según lo indica Casagrande.
- g) Se unen los tres puntos marcados por el intervalo de 6 a 20 golpes con una línea recta y se señala el punto medio. Se repite para los dos o tres puntos dentro del intervalo de 25 a 35 golpes.

h) Se conectan los puntos medios con una línea recta que se llama curva de fluidez. El contenido de humedad indicado por la intersección de esta línea a 25 golpes es el límite líquido el suelo.

a) 2 Límite Plástico.

Es el porcentaje de humedad, con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. El límite plástico se determina con el material sobrante del límite líquido y al que se le evapora humedad por mezclado, hasta obtener una mezcla plástica que sea moldeable. Se forma una pequeña bola que deberá rodillarse enseguida aplicando la suficiente presión a efecto de formar filamentos.

Cuando el diámetro del filamento resultante sea de 3.17 mm (1/8") sin romperse, se continuará hasta que, cuando al rodillar la bola de suelo, se rompa el filamento al diámetro de 1/8". Se toman los pedacitos, se pesan, se secan al horno en un vidrio, vuelven a pesarse ya secos y se determina la humedad correspondiente al límite plástico.

Donde:

L.P. = Humedad correspondiente al límite plástico en %.

P_h = Peso de los filamentos húmedos en gramos.

P_s = Peso de los filamentos secos en gramos.

$$L.P. = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

b) Prueba Proctor.

La prueba Proctor se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por el procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Su objetivo es determinar el peso volumétrico seco máximo w_{max} que puede alcanzar un material y la humedad óptima w_o que deberá hacerse la compactación; determinar, también, el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o cuando ya se encuentran construidos los caminos, relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo Proctor.

La prueba Proctor está limitada a los suelos que pasen totalmente la malla No. 4, o que, cuando mucho tengan un retenido de 10% que pase totalmente por la malla 3/8". Cuando el material tenga retenido en la malla 3/8", debe determinarse la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo con la prueba de Porter estándar, en lugar de determinarlos con la prueba Proctor, así como también cuando se trate de arenas de río, arenas producto de trituración, tezontles arenosos y en general en todos aquellos materiales que carezcan de cementación.

Procedimiento:

Se toman 3 kg de material previamente secado al sol. Se tamiza por la malla No 10, y los grumos que se hayan retenido se disgregan perfectamente; se vuelve a tamizar por la misma malla, continuándose este proceso hasta que las partículas que se retengan en la malla no se puedan disgregar. Terminada esta operación se mezcla perfectamente todo el material con la cantidad de agua necesaria para iniciar la prueba. El agua que se adiciona deberá ser la necesaria para que una vez repartida uniformemente, presente el material una consistencia tal que al ser comprimido en la palma de la mano no deje partículas adheridas a ella ni la humedad, y que talvez el material comprimido pueda tomarse con dos dedos sin que se desmorone.

El material que contiene ya la humedad necesaria para iniciar la prueba se tamiza por la malla No. 4, se mezcla para homogeneizarlo y se compacta en el molde cilíndrico en tres capas aproximadamente iguales.

El pisón metálico de 2.5 Kg se deja caer desde una altura de 30 cm. Deberán de darse 30 golpes repartidos uniformemente para apisonar cada capa. Una vez apisonada la última capa se remueve la extensión, eliminándose el excedente de material del molde cilíndrico y se pesa su contenido. A continuación se extrae la muestra compactada del cilindro y se pone a secar una pequeña cantidad de su centro para determinar su humedad.

La muestra que ha sido removida del molde cilíndrico se desmenuza hasta que pasa la malla No 4, se añaden 60 cc de agua (2% en peso) y se repite el procedimiento descrito. Esta serie de determinaciones continúan hasta que la muestra esté muy húmeda y se presente una disminución apreciable en el peso del suelo compactado.

El peso volumétrico húmedo para cada contenido de humedad se calcula con la siguiente fórmula:

$$\gamma_h = \frac{P_h}{V_t}$$

Donde:

γ_h = Peso volumétrico húmedo en g/cm³.

P_h = Peso del material húmedo compactado en el molde, en gramos.

V_t = Volumen del molde en cm³.

El contenido de humedad se calcula con la siguiente fórmula:

$$w = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

El peso volumétrico seco para cada peso volumétrico húmedo y su correspondiente humedad se calculan por la siguiente fórmula:

Donde:

w = Contenido de la humedad en porcentaje.

P_w = Peso de la muestra húmeda, en gramos.

P_s = Peso de la muestra seca, en gramos.

γ_s = Peso volumétrico seco, en g/cm³.

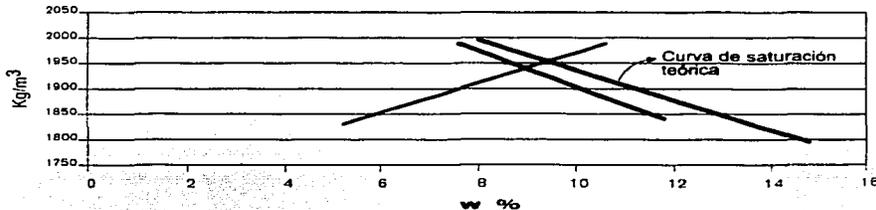
γ_h = Peso volumétrico húmedo, en g/cm³.

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Los pesos volumétricos secos y las humedades correspondientes se utilizan para trazar la curva peso volumétrico seco-humedad, marcando en el eje de las abscisas los contenidos de humedad. La humedad que genera mayor peso volumétrico es la que permite la mayor compactación del material y se le conoce como humedad óptima de compactación.

En la misma gráfica se dibuja la curva de saturación teórica. Esta curva representa la humedad para cualquier peso volumétrico, necesaria para que todos los vacíos que dejan entre sí las partículas sólidas estuvieran llenos de agua.

Prueba Proctor



El peso volumétrico seco correspondiente a la curva de saturación teórica para la humedad dada se calcula con la fórmula:

$$\gamma_{scs} = \frac{100 D_a}{100 + w D_r} \times 100 \text{ (kg / m}^3\text{)}$$

Donde:

γ_{scs} = Peso volumétrico seco de la curva de saturación (kg / m³).

D_a = Densidad absoluta del material que pasa la malla No. 400 en g/cm³.

D_r = Densidad relativa del material que pasa por la malla No. 40.

La curva de saturación teórica tiene por objeto comprobar si la prueba Proctor fue correctamente efectuada, ya que la curva de saturación y la curva Proctor nunca deben cortarse porque, en la práctica, es imposible llenar totalmente con agua los huecos que dejan las partículas del suelo compactado.

La curva de saturación teórica sirve para determinar si un suelo, en el estado en que se encuentra, es susceptible de adquirir, fácilmente, mayor humedad o mayor peso volumétrico

Así, una vez hecha la determinación del peso volumétrico y humedad en el lugar se calcula el porcentaje de huecos llenos de aire con la siguiente fórmula:

$$V_a = \frac{\gamma_{scs} - \gamma_s}{\gamma_s} \times 100$$

Donde:

V_a = Volumen de huecos llenos de aire %.

γ_{scs} = Peso volumétrico seco de suelo compactado correspondiente a la humedad w.

γ_s = peso volumétrico de la curva de saturación teórica correspondiente a la humedad w.

Si este valor es mayor de 6.5%, el suelo se encuentra en condiciones de adquirir un peso volumétrico mayor con la humedad que contiene; o bien, sin variar su peso volumétrico seco, incrementar su humedad

c) Prueba Porter Estándar.

Esta prueba determina el peso volumétrico seco máximo de compactación Porter y la humedad óptima en los suelos con material mayor de 3/8" y los cuales no se les puede hacer la prueba Proctor. Esta prueba sirve también para determinar la calidad de los suelos en cuanto a su valor de

soporte, midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un determinado periodo de saturación.

Esta prueba se lleva a cabo de la siguiente forma:

La humedad óptima de Porter es la humedad mínima requerida por el suelo para alcanzar su peso volumétrico seco máximo cuando es compactado con una carga unitaria de 140.6 kg/cm². Para obtener la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo se toma una muestra de 4 kg de material secado, disgregado y cuarteado. Cuando se ha logrado la disgregación de los grumos se tamiza la muestra por la malla 3/4". Se le incorpora cierta cantidad de agua, cuyo volumen se anota, y una vez lograda la distribución homogénea de la humedad se coloca en tres capas dentro del molde de prueba, a cada una de ellas se les da 25 golpes con la varilla metálica. Al terminar la colocación de la última capa se compacta el material aplicando cargas uniformes y lentamente, procurando alcanzar la presión de 140.6 kg/cm² en un tiempo de 5 minutos, esta presión debe mantenerse durante 1 minuto, e inmediatamente hacer la descarga en otro minuto.

Si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde, la humedad de la muestra es inferior a la óptima. A otra porción de 4 kg de material se le adiciona una cantidad de agua 80 cc. mayor que y se repite el proceso. Si al aplicar la carga máxima se observa que se humedece la base del molde, el material toma una humedad ligeramente mayor que la óptima de Porter. Para fines prácticos es conveniente considerar que el espécimen se encuentra con su humedad óptima cuando se inicia el humedecimiento de la base del molde, siendo esta la más adecuada para su compactación.

Se determina la altura del espécimen restando la altura entre su cara superior y el borde del molde de la altura total del molde y con este dato se calcula el volumen del espécimen. Se pesa el espécimen con el molde de compactación, se le resta el peso del molde y se calcula el peso volumétrico.

Donde:

γ_h = peso volumétrico húmedo en g/cm³ o kg/m³.

P_h = Peso del material húmedo compactado, dentro del cilindro Porter, en gr o Kg.

V_t = Volumen del espécimen en cm³ o m³.

$$\gamma_h = \frac{P_h}{V_t}$$

Se extrae el material del molde y se pone a secar a una temperatura constante de 100 a 110 °C, se deja enfriar el material, se pesa y se calcula la humedad y el peso volumétrico seco máximo.

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

$$w = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

d) Valor Relativo de Soporte.

Es un índice de resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad. Se expresa como el porcentaje de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo respecto a la profundidad de penetración del pistón en una piedra tipo triturada. Por lo tanto, si P_2 es la carga en kg necesaria para hacer penetrar el pistón en el suelo

en estudio y $P_x=1360$ kg, la que se precisa para penetrar la misma cantidad en la muestra tipo de piedra triturada, el valor Relativo de Soporte del suelo es de:

$$VRS = (P_2/1360) * 100$$

b) Módulo de Reacción (k).

Es una característica de resistencia que se considera constante, lo que implica elasticidad del suelo. Su valor numérico depende de la textura, compacidad, humedad y otros factores que afectan la resistencia del suelo. La determinación de k se hace mediante una placa circular de 30" de diámetro bajo una presión tal que produzca una deformación del suelo de 0.127 cm (0.05"). En general se puede decir que el módulo de reacción k es igual al coeficiente del esfuerzo aplicado por la placa entre la deformación correspondiente, producida por este esfuerzo.

2.3 TRÁFICO

En esta sección mencionaremos algunos aspectos del tráfico y a la ingeniería de tránsito que debemos tomar en cuenta en el proyecto de una vialidad. No se trata de realizar una presentación exhaustiva del transporte, pero sí conceptuar de una manera muy general y clara algunos de los aspectos de su estructura básica, sus sistemas y sus modos; de manera que el diseñador conozca los fundamentos de la ingeniería de tránsito y que, cuando sea necesario profundizar en estos temas para completar el diseño de una vialidad, pues ya con las bases será más fácil las consultas en publicaciones especializadas.

a) Ingeniería de Tránsito.

La Ingeniería de Transporte es la aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y a la administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de una manera segura, rápida, confortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente.

La Ingeniería de Tránsito es aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte

Así define estas dos áreas el Instituto de Ingenieros del Transporte (ITE). Es decir, que el Proyecto Geométrico es una etapa de la Ingeniería de Tránsito, la cual es un subconjunto de la Ingeniería del Transporte.

El Proyecto Geométrico de calles y carreteras es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, vialidad queda definida, geométricamente, por el proyecto de su eje en planta (alineamiento horizontal), y en perfil (alineamiento vertical), y por el proyecto de su sección transversal.

b) Volumen de Tránsito.

Al proyectar una calle o carretera, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y de su composición.

Los errores que se cometan en la determinación de estos datos ocasionará que la carretera o calle funcione, con volúmenes de tránsito muy inferiores a los esperados, o mal, con problemas de congestionamiento por volúmenes de tránsito altos, muy superiores a los proyectados.

Los estudios sobre volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos sobre puntos ó secciones específicas dentro de un sistema vial. Estos datos de volúmenes de tránsito son expresados con respecto al tiempo y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de estimaciones razonables de la calidad de servicio prestado a los usuarios.

Se define como volumen de tránsito al número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado y se expresa como:

$$Q = \frac{N}{T}$$

Donde:

Q = Vehículos que pasan por unidad de tiempo (Vehículos / periodo).

N = Número total de vehículos que pasan (vehículos).

T = Período determinado (unidades de tiempo).

b)1 Volúmenes de Tránsito Absolutos o Totales.

b) 1 Volúmenes de tránsito Absolutos o Totales

Es el número total de vehículos que pasan durante un lapso determinado, dependiendo de la duración tal lapso determinado, se tienen los siguientes volúmenes de tránsito totales o absolutos:

- Tránsito anual (TA):

Es el número total de vehículos que pasan durante un año, en este caso $T = 1$ año.

- Tránsito mensual (TM):

Es el número total de vehículos que pasan durante un mes, en este caso $T = 1$ mes.

- Tránsito semanal (TS):

Es el número total de vehículos que pasan durante una semana, en este caso $T = 1$ semana.

- Tránsito diario (TD):

Es el número total de vehículos que pasan durante un día, en este caso $T = 1$ día.

- Tránsito-horario (TH):

Es el número total de vehículos que pasan durante una hora, en este caso $T = 1$ hora.

- Tasa de flujo o flujo (q):

Es el número total de vehículos que pasan durante un periodo inferior a una hora, en esta caso $T < 1$ hora.

b) 2 Volúmenes de Tránsito Promedio Diarios.

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual ó menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo.

De acuerdo al número de días de este período, se presentan los siguientes volúmenes de tránsito promedio diarios, dados en vehículos por día:

- Tránsito promedio diario anual (TPDA):

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

- Tránsito promedio diario mensual (TPDM):

$$TPDM = \frac{TM}{30}$$

- Tránsito promedio diario semanal (TPDS):

$$TPDM = \frac{TS}{7}$$

2.4 MÉTODO DE DISEÑO AASHTO.

El método de diseño AASHTO es uno de los métodos más utilizados a nivel internacional para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico.

a) Antecedentes – Prueba AASHTO.

La prueba de pavimentación que en su momento se conoció como AASHO, por sus siglas en inglés y debido a que en aquel entonces no estaba integrado el departamento del transporte de EUA a esta organización, fue concebida y promovida gracias a la organización que ahora conocemos como AASHTO ("American Association of State Highway and Transportation Officials") para estudiar el comportamiento de estructuras de pavimento de espesores conocidos, bajo cargas móviles de magnitudes y frecuencias conocidas y bajo el efecto del medio ambiente. Fue formulada por el consejo de investigación de carreteras de la academia nacional de ciencias – consejo nacional para la investigación, la planeación empezó en 1951 y la construcción del proyecto comenzó en 1956 muy cerca de Ottawa, Illinois. El tráfico controlado de la prueba se aplicó de octubre de 1958 a noviembre de 1960, esto es, durante más de dos años.

El objetivo principal de las pruebas consistía en determinar relaciones significativas entre el comportamiento de varias secciones de pavimento y las cargas aplicadas sobre ellas, o bien para

determinar las relaciones significativas entre un número de repeticiones de ejes con cargas, de diferente magnitud y disposición, y el comportamiento de diferente espesores de pavimentos, conformados con bases y sub-bases, colocados en suelos de características conocidas.

El sitio, seleccionado para la prueba, cerca de Ottawa, tiene condiciones climáticas y de suelo típicas de algunas áreas de Estados Unidos y Canadá. Esto hace que la aplicabilidad del método deba utilizarse con criterio para otras partes del mundo.

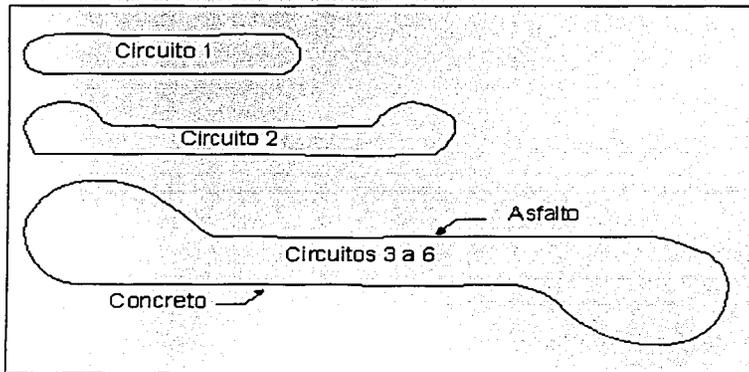
Los pavimentos se construyeron en circuitos a lo largo de una sección de 8 millas de una futura autopista interestatal.

Se realizaron 6 circuitos de prueba, todos eran tramos de dos carriles y tenían la mitad del tramo en pavimento de concreto y la otra en pavimento flexible. El Circuito 1 se dejó sin cargas para evaluar el impacto del Medio Ambiente en los pavimentos. El Circuito 2 se utilizó con aplicaciones de cargas de camiones ligeros.

En los Circuitos de 3 al 6 se realizaron aplicaciones de carga con camiones pesados. Los circuitos 5 y 6 tuvieron idénticas configuraciones y combinaciones de carga.

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

Fig. 2.4.1 Geometría de los Circuitos.



La sección estructural de prueba tenía una longitud de 30 m en pavimentos flexibles, 36 m en pavimentos de concreto simple y 80 m en pavimentos continuamente reforzados. Las secciones de prueba tanto de flexible como de pavimento rígido, fueron construidas sobre idénticos terraplenes. También se examinaron bajo las mismas condiciones climáticas, con el mismo número de cargas aplicadas, el mismo tráfico e iguales velocidades de operación.

En total se examinaron 368 secciones de pavimento rígido y 468 secciones de pavimento flexible.

El tráfico que se utilizó en la prueba, estaba perfectamente controlado, se iniciaron las repeticiones de carga en noviembre de 1958, de la siguiente manera:

En los circuitos de camiones pesados, Circuitos 3-6:

- Inicialmente 6 vehículos por carril.
- Posteriormente se aumentó a 10 vehículos por carril (en enero 1960).

El tiempo de operación de los vehículos fue de:

- 18 horas 40 minutos.
- 6 días de la semana.

En total se aplicaron:

- 1,114,000 Repeticiones de Carga Normal.
- Correspondiendo aproximadamente a 6.2 millones de ESAL's.

b) Conclusiones Obtenidas de la Prueba.

Los principales experimentos sobre pavimentos fueron diseñados de modo que los resultados de las pruebas fueran estadísticamente significativas. Las secciones de prueba de varios espesores fueron sometidas a tráfico controlado. Las secciones examinadas representaban todas las combinaciones de los factores de diseño para concreto y asfalto. Cada circuito de tráfico contenía algunas secciones que no formaban parte de los principales experimentos y que se incluyeron para estudios especiales, tales como los efectos de acotamientos pavimentados y bases estabilizadas en el comportamiento del pavimento.

Dos de las técnicas aleatorias y de réplica estadísticas que se emplearon al diseñar los experimentos principales fueron la aplicación aleatoria, que garantizó que un diseño dado tuviera la misma oportunidad de estar localizado en un lugar de un tramo recto de prueba que cualquier sección de los diseños. Las posiciones de los cuatro circuitos de prueba más importantes se localizaron al azar y la réplica garantizó que varios de los diseños aparecieran en dos secciones para verificar la confiabilidad.

Las mediciones del comportamiento de un pavimento en términos de su capacidad para soportar el tráfico con seguridad y comodidad son la esencia del concepto de capacidad de servicio. Su desarrollo, para convertirlo en un procedimiento trabajable por parte del personal de la Prueba de Carreteras, constituyó una aportación muy importante a la ingeniería de carreteras. El nivel de servicio de un pavimento depende de la función que requiera dársele.

Los factores que tuvieron mayor peso en la determinación de la capacidad de servicio fueron:

- Variaciones en el perfil longitudinal.
- Mediciones de la aspereza del pavimento en la dirección del movimiento.
- Profundidad promedio de las roderas medida con regla de 1.20 m.
- Medidas de Agrietamientos severos.
- Medidas de Baches.

Las mediciones físicas de las secciones de prueba se transfirieron a fórmulas que podían dar valores numéricos de capacidad de servicio. Estos valores graficados, contra las aplicaciones de carga, forman una historia de comportamiento para cada sección de prueba que permiten la evaluación de cada uno de los diversos diseños.

Tres comparaciones que pueden usarse para evaluar el comportamiento de las secciones de prueba son:

- El número de aplicaciones de carga sobre un eje.
- El índice de capacidad de servicio de la sección en un momento determinado.
- La tendencia hacia la capacidad de servicio contra la capacidad de servicio.

Se puede observar, en general, que el comportamiento que mostraron los pavimentos de concreto fue sustancialmente mejor que el de los flexibles.

Otra de las conclusiones que se obtuvieron durante la prueba de pavimentos se refiere a los pavimentos con acero de refuerzo.

El acero de refuerzo en los pavimentos de concreto, prácticamente no incrementa su capacidad portante, debido a que el pavimento se apoya en toda la superficie de la sub-base y no existen las deformaciones que harían trabajar el acero de refuerzo para dar una contribución significativa.

Por lo anterior no es recomendable la utilización de acero de refuerzo en los pavimentos de concreto hidráulico.

c) Evolución de la Guía AASHTO.

Aproximadamente después de un año de terminar la prueba AASHTO, para 1961, salió publicada la primer "Guía AASHTO para Diseño de Pavimentos Rígidos y Flexibles". Posteriormente, para 1972, se realizó una revisión y se publicó como la "Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimento - 1972"; En 1981 se hizo una Revisión al Capítulo III, correspondiente al Diseño de Pavimentos de Concreto con Cemento Portland; en 1986 se publicó una revisión de la "Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento"; en 1993 se realizó una Revisión del Diseño de Sobrecarpetas de pavimento; en 1998 se publicó un método alternativo para diseño de pavimentos, que corresponde a un "Suplemento a la guía de diseño de estructuras de pavimento".

d) Formulación.

La fórmula general a la que llegó AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos, basada en los resultados obtenidos de la prueba AASHTO, es la siguiente:

Las variables que intervienen en el diseño de los pavimentos constituyen en realidad la base del diseño del pavimento. Se deben conocer las consideraciones más importantes que tienen que ver con cada una de ellas para así poder realizar diseños confiables y óptimos.

El procedimiento de diseño normal es suponer un espesor de pavimento y realizar tanteos. Con el espesor supuesto calcular los Ejes Equivalentes y evaluar todos los factores adicionales de diseño. Si se cumple el equilibrio en la ecuación, el espesor supuesto es el resultado del problema; en caso de no haber equilibrio en la ecuación se deberán seguir haciendo tanteos tomando como valor semilla el resultado del tanteo anterior. La convergencia del método es muy rápida.

$$\log_{10} (E18) = \left\{ \begin{array}{l} Z_r \times S_o + 7.35 \times \log_{10} (D+1) - 0.06 + \frac{1}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{0.45}}} \\ + (4.22 - 0.32 \times pt) \times \log_{10} \left[\frac{S_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J} \times \frac{D^{0.75} - 18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right] \end{array} \right.$$

Diagram labels:

- Desviación Estándar Normal (points to Z_r)
- Tráfico (points to S_o)
- Error Estándar Combinado (points to 7.35)
- Serviciabilidad Final (points to $4.22 - 0.32 \times pt$)
- Espeesor (points to D)
- Diferencia de Serviciabilidad (points to ΔPSI)
- 4.5-1.5 (points to the PSI difference)
- Módulo de Ruptura (points to S_c)
- Coefficiente de Drenaje (points to C_d)
- Coefficiente de Transferencia de Carga (points to J)
- Módulo de Elasticidad (points to E_c)
- Módulo de Asociación (points to k)

Fig. 2.4.2 Ecuación de diseño de Pavimentos Rígidos

e) 1 Variables de diseño de Pavimentos Rígidos AASHTO

1. Espesor.
2. Serviciabilidad.
3. Tráfico.
4. Transferencia de Carga.
5. Propiedades del Concreto.
6. Resistencia de la Subrasante.
7. Drenaje.
8. Confiabilidad.

2.5 METODO DE LA ASOCIACIÓN DEL CEMENTO (PCA)

El método de diseño de la Portland Cement Association es exclusivamente un método de diseño desarrollado para pavimentos de concreto.

Teniendo como base el conocimiento de varias teorías de pavimentos como Westergaard, Pickett and Ray así como de elementos finitos. También la experiencia en el comportamiento de varias pruebas e investigaciones como la Arlington Test y diversos proyectos de la misma PCA. Y derivado de lo anterior se generó finalmente este método de diseño.

Parte del método fue desarrollado interpretando los resultados del modelo de elementos finitos basados en el comportamiento de una losa de espesor variable y dimensiones finitas (180 x 144 pulgadas) a la cuál se le aplicaron cargas al centro, de borde y de esquina, considerando diferentes condiciones de apoyo y soporte.

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de evaluación en el procedimiento de diseño, el criterio de erosión de la sub-base por debajo de las losas y la fatiga del pavimento de concreto.

El criterio de erosión reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo, erosión del terreno de soporte y diferencias de elevaciones en las juntas. El criterio del esfuerzo de fatiga reconoce que el pavimento pueda fallar, presentando agrietamiento derivado de excesivas repeticiones de carga.

A diferencia del método AASHTO el método de diseño PCA, consideró un valor fijo de módulo de elasticidad del Concreto (E_c) = 4'000,000 psi que no lo hizo variar en relación con la resistencia a la flexión del concreto (MR), así como tampoco varió el coeficiente de poisson de 0.15. Este método considera algunas limitaciones en los valores de módulo de reacción K del suelo, en donde el rango de valores para los que el método fue desarrollado oscila entre los 50 y 700 pci.

Una ventaja que se debe reconocer en el método del PCA es que toma el tráfico real que estima circulará sobre el pavimento, sin convertirlo Ejes Sencillos Equivalentes.

Las variables que intervienen en el diseño PCA son:

1. Espesor Inicial del Pavimento.
2. Módulo de Reacción K del suelo.
3. Tráfico.
4. Factor de Seguridad de Carga.
5. Transferencia de Carga y Soporte Lateral.
6. Propiedades del Concreto:
 - Módulo de Ruptura (Considera una reducción del 15% por seguridad).
 - Módulo de Elasticidad Fijo = 4,000,000 psi.
 - Módulo de Poisson Fijo = 0.15.

A continuación se describen los lineamientos generales del método del Portland Cement Association (PCA).

a) Factores de Diseño.

a) 1 Resistencia a la Flexión Del Concreto

La consideración de la resistencia a la flexión del concreto es aplicable en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga que controla el agrietamiento del pavimento bajo la repetición de cargas.

El alabeo del pavimento de concreto, bajo las cargas del tráfico, provoca esfuerzos tanto de compresión como de flexión. Sin embargo, la proporción de los esfuerzos a compresión contra la resistencia a la compresión del concreto, es mínima como para influir en el diseño de espesor de la losa. En cambio la relación de los esfuerzos a flexión contra la resistencia es mucho más alta y frecuentemente excede valores de 0.5. Por este motivo los esfuerzos y la resistencia a la flexión son los empleados para el diseño de espesores. La resistencia a la flexión del concreto es determinada por la prueba del modulo de ruptura, realizada en vigas de 6x6x30 pulgadas.

El módulo de ruptura puede encontrarse aplicando la carga en cantiliver, punto medio ó en 3 puntos. Una diferencia importante en estos métodos de prueba es que al aplicar la carga en 3 puntos se

obtiene la mínima resistencia del tercio medio de la viga de prueba, mientras que los otros 2 métodos muestran la resistencia en un solo punto. El valor determinado por el método de aplicación de carga de 3 puntos (American Society for Testing and Materials, ASTM C78) es el empleado en este método de diseño.¹

La prueba del módulo de ruptura es comúnmente realizada a los 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados a los 7 y 14 días son comparados contra especificaciones de control de calidad y para determinar cuándo puede ser abierto al tránsito un pavimento.

Los resultados a los 28 días se han usado, generalmente, para el diseño de espesores de autopistas y calles; mientras que los resultados 90 días son usados para el diseño de aeropistas, esto es debido a que se presentan muy pocas repeticiones de esfuerzos durante los primeros 28 o 90 días del pavimento, comparado contra los millones de repeticiones de esfuerzos que ocurrirán posteriormente.

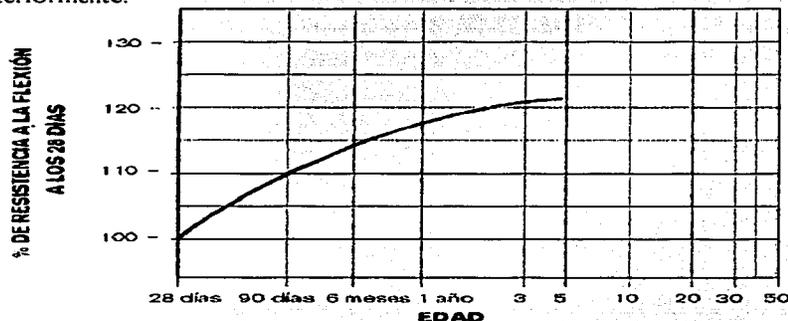


Fig. 2.5.1 curva de desarrollo de resistencia a la flexión a través del tiempo

Sabemos que el concreto continua ganando resistencia con el paso del tiempo. Esta ganancia de resistencia es mostrada en la curva que representa valores de módulo de ruptura (MR) promedios para varias series de pruebas de laboratorio, pruebas de vigas curadas en campo y secciones de concreto tomadas de pavimentos en servicio.

En este procedimiento de diseño los efectos de las variaciones en la resistencia del concreto, de punto a punto del pavimento, y el incremento de resistencia con el paso del tiempo, están incorporados en las gráficas y tablas de diseño. El diseñador no aplica directamente estos efectos, sino que simplemente ingresa el valor de la resistencia promedio a los 28 días, que en nuestro país se recomienda como mínimo 41 kg/cm² (583 psi) y como máximo 50 kg/cm² (711 psi).

a) 2 Terreno de Apoyo o Base

El soporte dado a los pavimentos de concreto por la base y la sub-base, es el segundo factor en el diseño de espesores. El terreno de apoyo esta definido en términos del módulo de reacción de la subrasante de Westergaard (k). Es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada (un plato de 30" de diámetro) dividido entre la deformación en pulgadas que provoca dicha carga. Los valores de k son

expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (psi / in) ó más comúnmente, por libras por pulgada cúbica (pci).

Dado que la prueba de placa toma tiempo y dinero, los valores de k son usualmente estimados mediante una correlación de pruebas más simples como la del VRS (Valor Relativo de Soporte). El resultado es válido por que no se requiere una exacta determinación del valor k; ya que variaciones normales de este no afectan significativamente los requerimientos del espesor del pavimento.

La prueba de caminos AASHTO comprobó, convincentemente, que la reducción de pérdida de terreno de soporte durante los periodos de descongelamiento no tienen efecto en el espesor requerido de los pavimentos de concreto. Esto es cierto por que los pocos periodos en que los valores k son bajos durante el descongelamiento de la primavera se compensan con los largos periodos en que se congelan y los valores de k son mucho mayores que los asumidos para el diseño. Para evitar métodos tediosos, que requieren de diseño, para las variaciones de k en las épocas del año, lo valores recomendables, como valores promedio, son los de verano u otoño. El contar con una sub-base permite incrementar el valor k del suelo que deberá usarse en el diseño de espesor. Si la base es de material granular no tratada ó mejorada, el incremento puede no ser muy significativo.

Los valores mostrados en la tabla curva de desarrollo de resistencia a la flexión a través del tiempo, están basados en el análisis de Burmister de un sistema de dos capas y cargado en pruebas de placa, hechas para determinar los valores k del conjunto suelo - sub-base, en losas de prueba completas. Las bases mejoradas ó tratadas con cemento aportan mayor capacidad de carga y su comportamiento a largo plazo es mucho mejor y son muy empleadas para pavimentos de concreto con tráfico pesado. Se construyen con materiales granulares como los tipos de suelos AASHTO A-1, A-2-4, A-2-5 y A-3, el contenido de cemento es determinado mediante las pruebas de Congelación-Descongelación y Mojado-Secado y el criterio de pérdidas admisibles de la PCA.

a) 3 Periodo de Diseño

El término de periodo de diseño es algunas veces considerado sinónimo de periodo de análisis de tráfico. Dado que el tráfico muy probablemente no puede ser supuesto con precisión por un periodo muy largo, el periodo de diseño de 20 años es el comúnmente empleado en el procedimiento de diseño de pavimentos.

El periodo de diseño seleccionado afecta el espesor de diseño ya que determina por cuantos años y por ende para cuántos camiones deberá servir el pavimento.

a) 4 Número de Repeticiones Esperadas para cada Eje.

Toda la información referente al tráfico termina siendo empleada para conocer el número de repeticiones esperadas, durante todo el periodo de diseño, de cada tipo de eje. Para poder conocer estos valores tendremos que conocer varios factores referentes al tránsito, como lo es el tránsito promedio diario anual (TPDA), el % que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el periodo de diseño.

Repeticiones Esperadas.

$$Re = TPDA \times \%Te \times FS \times FC \times Pd \times FCA \times 365$$

Donde:

TPDA = Tránsito Promedio Diario Anual.
% Te = % del TPDA para cada tipo de eje.
FS = Factor de Sentido.
FC = Factor de Carril.
Pd = Período de Diseño.
FCA = Factor de Crecimiento Anual.
365 = Días de un Año.

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

El TPDA puede obtenerse de aforos especializados o de algún organismo relacionado con el transporte, ya sea municipal, estatal ó federal. Lo importante es que se especifique la composición de este tráfico, es decir que se detalle el tráfico por tipo de vehículo, para que de esta manera se pueda identificar los tipos y pesos de los ejes que van a circular sobre el pavimento.

El método de diseño de la PCA recomienda considerar únicamente el tráfico pesado, es decir que se desprece todo el tráfico ligero como automóviles y pick-ups de 4 llantas. De cualquier modo, no es tan importante hacer caso a esta recomendación, debido a que el tráfico ligero no influye demasiado en el diseño de espesores.

Factor de Crecimiento Anual (FCA)

Para conocer el factor de crecimiento anual se requiere únicamente el periodo de diseño, en años, y la tasa de crecimiento anual; con estos datos podemos calcularlo de manera rápida, con la ayuda de la tabla que presenta relaciones entre tasas de crecimiento anual y factores de crecimiento anual para periodos de diseño de 20 y 40 años.

Si se desea obtener el factor de crecimiento anual del tráfico (FCA) de manera más exacta, se puede obtener a partir de la siguiente formula:

Donde:

FC = Factor de Crecimiento Anual.

n = Vida Útil en Años.

g = Tasa de Crecimiento Anual.

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

En un problema de diseño, el factor de proyección se multiplica por el TPDA presente, para obtener el TPDA de diseño, representando el valor promedio para el periodo.

Los siguientes factores influyen en las tasas de crecimiento anual y proyecciones de tráfico:

1. El tráfico atraído o desviado. El incremento del tráfico existente debido a la rehabilitación de algún camino.
2. Crecimiento normal de tráfico. El crecimiento normal provocado por el incremento del número de vehículos.
3. Tráfico generado. El incremento provocado por los vehículos que no circularían por la vía si la nueva facilidad no se hubiese construido.

4. Tráfico por desarrollo. El incremento provocado por cambios en el uso del suelo, debido a la construcción de la nueva vía.

Los efectos combinados provocan tasas de crecimiento anual de 2 al 6%. Estas tasas corresponden, como se muestra en la siguiente tabla, a factores de crecimiento del tráfico de 1.2 a 1.8%, diseñando a 20 años.

Factor de Sentido.

El factor de sentido se emplea para diferenciar las vialidades de un sentido de las de doble sentido, de manera que para vialidades en doble sentido se utiliza un factor de 0.5 y para vialidades en un solo sentido un factor de 1.0.

En el caso de vialidades de doble sentido, generalmente se asume que el tránsito (en sus diferentes tipos y pesos) viaja en igual cantidad para cada dirección (FS=0.5). Sin embargo esto puede no aplicarse en algunos casos especiales en que muchos de los camiones viajan cargados en una dirección y regresan vacíos, si éste es el caso, se deberá hacer el ajuste apropiado y tomar en cuenta el sentido con mayor tráfico.

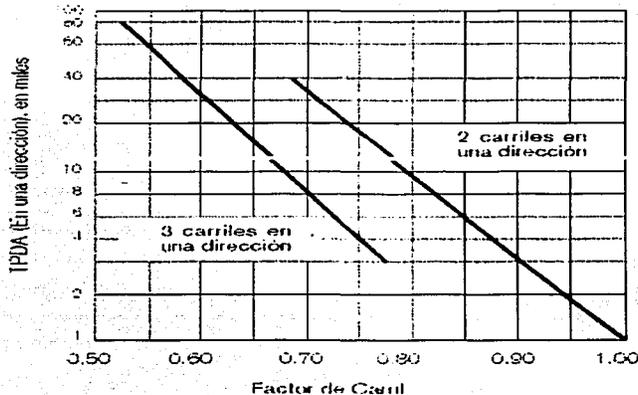


Fig. 2.5.2 Proporción de Vehículos circulando por el carril de baja velocidad en una vialidad de 2 ó 3 carriles.

Factor de Carril. Después de ser afectado el tráfico por el factor de sentido, también debemos de analizar el número de carriles por sentido mediante el factor de carril. Este factor da el porcentaje de vehículos que circulan por el carril de la derecha, que es el de más tráfico. Para esto, la PCA recomienda emplear la figura 2.5.2 en donde este factor depende del número de carriles por sentido ó dirección del tráfico y del tránsito promedio diario anual en un solo sentido.

a) 5 Factor de Seguridad de Carga

Una vez que se conoce la distribución de carga por eje, es decir ya que se conoce cuantas repeticiones se tendrán para cada tipo y peso de eje, se utiliza el factor de seguridad de carga para multiplicarse por las cargas por eje.

Los Factores de Seguridad de Carga Recomendados Son:

- 1.3 Casos especiales con muy altos volúmenes de tráfico pesado y cero mantenimiento
- 1.2 Para Autopistas ó vialidades de varios carriles en donde se presentará un flujo ininterrumpido de tráfico y altos volúmenes de tráfico pesado
- 1.1 Autopistas y vialidades urbanas con volúmenes moderados de tráfico pesado.
- 1.0 Caminos y calles secundarias con muy poco tráfico pesado.

b) Procedimiento de Diseño.

El método descrito en ésta sección es empleado una vez que ya tenemos los datos del tráfico esperado, como el tránsito diario promedio anual y la composición vehicular del tráfico. Con esta información obtenemos el numero de repeticiones esperadas para cada tipo de eje durante el periodo de diseño.

Se presenta un formato empleado para resolver el diseño de pavimentos, el cuál requiere de conocer algunos factores de diseño:

- Tipo de junta y acotamiento.
- Resistencia a la flexión del concreto (MR) a 28 días.
- El valor del módulo de reacción K del terreno de apoyo.
- Factor de seguridad de la carga (LSF).
- Número de repeticiones esperadas durante el periodo de diseño para cada tipo y peso de

eje.

El Método Considera Dos Criterios de Diseño:

- Fatiga.
- Erosión.

El Análisis por fatiga (para controlar el agrietamiento), influye principalmente en el diseño de pavimentos de tráfico ligero (calles residenciales y caminos secundarios independientemente de si las juntas tienen ó no pasajuntas) y pavimentos con tráfico mediano con pasajuntas.

El análisis por erosión (para controlar la erosión del terreno de soporte, bombeo y diferencia de elevación de las juntas), influye principalmente en el diseño de pavimentos con tráfico de mediano a pesado, con transferencia de carga por trabazón de agregados (sin pasajuntas) y pavimentos de tráfico pesado con pasajuntas.

Para pavimentos que tienen una mezcla normal de pesos de ejes, las cargas en los ejes sencillos son usualmente más severas en el análisis por fatiga y las cargas en ejes tandem son más severas en el análisis por erosión.

c) Desarrollo del Procedimiento de Diseño.

El método de diseño de la PCA incluye un aspecto adicional en el procedimiento: el criterio de erosión, que es tomado en cuenta, junto con el criterio de fatiga.

El criterio de erosión reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo, erosión del terreno de soporte y diferencias de elevaciones en las juntas. El criterio de fatiga reconoce que el pavimento pueda fallar, presentando agrietamiento derivado de excesivas repeticiones de carga.

Esta sección explica las bases de estos criterios y el desarrollo del procedimiento de diseño.

Análisis de Pavimentos de Concreto.

El procedimiento de diseño esta basado en un minucioso análisis de esfuerzos en el concreto y deformaciones en las juntas, esquinas y bordes del pavimento, por un programa de computadora de elementos finitos. El análisis consideró losas con dimensiones finitas, colocación variable de las cargas por eje y el modelaje de la transferencia de carga en las juntas transversales ó grietas, así como también en las juntas ubicadas entre el pavimento y el acotamiento.

Análisis de Fatiga.

El concepto de análisis de fatiga de la PCA son las fallas del pavimento (o los agrietamientos iniciales) por la fatiga del concreto debido a los esfuerzos de repeticiones de carga. Basándose en la hipótesis de Miner, la resistencia a la fatiga no consumida por la repetición de una carga, está disponible para las repeticiones de otras cargas, el procedimiento de diseño de la PCA permite que el diseñador elija un espesor inicial, la relación entre el esfuerzo equivalente y el módulo de ruptura del concreto (relación de esfuerzos = σ_{eq}/MR) para cada carga de eje y tipo de eje, y determine el número máximo de repeticiones permisibles (N_f), dependiendo del rango de relación de esfuerzos.

$$\text{Para } \sigma_{eq} / MR \geq 0.55 \\ \text{Log } N_f = 11.737 - 12.077 * (\sigma_{eq} / MR)$$

$$\text{Para } 0.45 < \sigma_{eq} / MR \leq 0.55$$

$$N_f = \frac{4.2577}{(\sigma_{eq} / MR) - 0.4325} \left. \vphantom{\frac{4.2577}{(\sigma_{eq} / MR) - 0.4325}} \right\}^{3.208}$$

$$\text{Para } \sigma_{eq} / MR \leq 0.45 \\ N_f = \text{ilimitado}$$

El procedimiento de diseño continúa dividiendo el número esperado de repeticiones de carga entre las repeticiones permisibles (N_f) para, de esa manera, obtener el daño por fatiga para cada carga y tipo de eje. Posteriormente se suman los daños provocados por cada tipo de eje y el daño total por fatiga deberá ser inferior al 100 %, por lo que se deberán hacer varios tanteos de espesor y el óptimo será aquél que provoque el daño más cercano al 100 % sin pasarlo.

Análisis de Erosión.

Las fallas del pavimento tales como bombeo, erosión del terreno de soporte y diferencia de elevación en las juntas, son relacionadas más a las deflexiones del pavimento que a sus esfuerzos a flexión. La deflexión más crítica es en la esquina de la losa, cuando la carga del eje se ubica en la junta, cerca de la esquina.

La falla principal en la prueba AASHTO de camino fue el bombeo o la erosión de la base granular bajo la losa. Sin embargo no se pudieron obtener correlaciones confiables entre las deflexiones de la esquina de la losa y el comportamiento de estos pavimentos, se encontró que para predecir el comportamiento de los pavimentos se deben aplicar diferentes criterios de deflexión, dependiendo del espesor de la losa y un poco del módulo de reacción del suelo.

Una correlación mejor se obtuvo relacionando el comportamiento de los pavimentos con su valor de trabajo, definido como un producto de la deflexión en la esquina (w) y la presión (p) en la interfase de la losa con el suelo, dividido por la longitud de la cavidad de la deflexión, la cual es función del valor de rigidez relativa (I).

El resultado es que una losa delgada con una deflexión pequeña recibe más rápido el golpe de la carga que una losa con mayor espesor. Las siguientes ecuaciones fueron desarrolladas para calcular el número permisible de repeticiones de carga:

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

Donde:

N = Número de repeticiones permisibles de carga basadas en un índice de serviciabilidad presente de 3.0.

C_1 = Factor de ajuste con valor de 1.0 para bases granulares y de 0.9 para bases mejoradas con cemento.

P = Trabajo, definido por la siguiente ecuación:

$$P = 268.7 \frac{p^2}{h * k^{0.73}}$$

Donde

p = Presión en la base, bajo la esquina de la losa, igual a $k*w$ para una cimentación líquida y sus unidades son psi.

h = Espesor de la losa en pulgadas.

k = Módulo de reacción del suelo en pci (libras sobre pulgada cúbica).

La ecuación para obtener el daño por erosión es:

$$100 \sum_{i=1}^m \frac{C_2 n_i}{N_i}$$

Donde:

$C_2 = 0.06$ para pavimentos sin apoyo lateral y 0.94 para pavimentos con apoyo lateral. En este último caso, la deflexión en la esquina no se afecta significativamente por la ubicación de los camiones y por esa razón se puede usar un C_2 mayor.

n_i = Repeticiones esperadas para el eje i .

N_i = Repeticiones permisibles para el eje i .

La ecuación anterior es en donde se suman los porcentajes de daño de cada tipo de eje y el análisis de erosión también debe arrojar un resultado final inferior al 100 %.

2.6 ESTUDIOS TÉCNICOS DEL PROYECTO PALMILLA-QUERETARO

La carretera existente, constaba de 59.33 Km. de longitud, con 4 carriles, 2 por sentido, cada cuerpo con un ancho de corona de 10.50 m cada uno.

La Autopista México - Querétaro, Tramo: Palmillas - Querétaro, es un camino de cuota, que inicia en el km. 156+288 al km. 216+600 el cual para su ejecución se dividió en tres subtramos como a continuación se indica.

Tramo 1, de km. 156+288 a km. 175+000

Tramo 2, de km. 175+000 a km. 194+000

Tramo 3, de km. 194+000 a km. 216+600

a) Antecedentes

El camino en estudio tiene aproximadamente años de servicio, y según se nos informó, al poco tiempo de estar en operación, el índice de servicio actual (ISA), disminuyó rápidamente, presentando la superficie de rodamiento varias fallas, mismas que han propiciado se incrementen los labores de mantenimiento tales como sobrecarpetas, renivelaciones. Tratamientos superficiales y bacheo, sin embargo estos deterioros vuelven a presentarse rápidamente, por lo que el nivel de servicio que presta el camino en la mayor parte del tiempo ha sido deficiente.

Se tiene conocimiento de que hace aproximadamente 2 Años se realizó un estudio de evaluación del pavimento y como las fallas continúan se pensó en la alternativa de reforzar la estructura actual con la construcción de una losa de concreto hidráulico sobre el actual pavimento buscando que perduren mejores niveles de servicio así como reducir los gastos de mantenimiento.

b) Evaluación Superficial

Con el fin de determinar el índice de servicio actual del libramiento así como los principales tipos de fallas y su grado de severidad, se efectuaron varios minuciosos recorridos en ambos sentidos, en uno de ellos se realizó la calificación del camino en cada uno de sus carriles, esta evaluación se efectúa en una escala de 0 (cero) A 5 (cinco), correspondiendo el primero a un camino con una superficie de rodamiento intransitable, y la calificación de 5 presenta unas condiciones excelentes de transitabilidad, con un nivel de rechazo de 2.5. los resultados obtenidos en estos recorridos y tal como se muestra en dicho anexo 1. De lo observado en los recorridos y tal como se muestra en dicho anexo se tiene una calificación mínima de 2.5 y máxima de 3.8.

En otro de los recorridos se realizó un levantamiento de las principales fallas observadas así como su grado de severidad mismos que se presentan en el mismo anexo. Entre las fallas que mas predominan se tiene las siguientes.

- Agrietamientos tipo piel de cocodrilo, transversales y de reflexión.
- Calavereos
- Baches tanto reparados, como abiertos y otros ya vueltos a fallar
- Exudación de asfalto en roderas (llorados).
- Inestabilidad de la carpeta (corrimiento de la carpeta)

- Deformaciones tanto en (transversales) roderas como longitudinales.
- Asentamientos

c) Sondeos

Se realizaron dos sondeos, uno en cada sentido, con el fin de verificar los espesores de cada una de las capas, así como su grado de compactación y la calidad de los materiales que las constituyen, los resultados obtenidos en cuanto a espesores y grados de compactación se muestran en la siguiente tabla:

Estrato	Sondeo cuerpo A		sondeo cuerpo B	
	Espesor	% compactación	Espesor	% compactación
Carpeta	12 cm	---	12.5 cm.	--
Base	14 cm	102	10.5 cm.	103
Sub-base	16 cm	100	--	--
Sub-rasante	28 cm	91	20.0 cm	98

Los materiales se ensayaron en el laboratorio para determinar su calidad y conviene aclarar que todo el material de base como de Sub-base su calidad es bastante deficiente y los espesores obtenidos son bajos.

d) Geología

La geología de la zona esta constituida principalmente por rocas ígneas extrusivas, como andesitas, algunos basaltos y brechas volcánicas, en las zonas planas existen suelos arcillosos de alta plasticidad, bajo los cuales existen estratos arenosos, tal como se encuentran en los bancos ubicados en el km 199+400 y Km 203 +550. En las zonas de lomerío la capa del suelo vegetal se encuentra bastante erosionada.

e) Sismicidad

De acuerdo con la carta sísmica de la República Mexicana, la vía en estudio se encuentra dentro de la zona de sismos poco frecuentes (penesísmica).

f) Clima

Según la clasificación Koeppen modificada el clima en la zona es seco, semifrío con algunas lluvias invernales (BS1Kw(e)g). La temperatura media anual es de 18.7 °C con mínimas y máximas promedio de 10.8 °C y 26.7 °C, respectivamente. La precipitación media anual es de 555mm. La humedad relativa media es de 35%.

La precipitación media anual es del orden de 600 mm, concentrados en los meses de verano y una temperatura media de 18.7 y C.

El suelo en las zonas planas se dedica a la agricultura, el resto a la ganadería, observándose granjas dedicadas a la avicultura y a la producción de la leche, además del extremo norte del libramiento se localiza uno de los parques industriales de Querétaro.

2.7 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EL DISEÑO

Empleando el método de AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos, alas condiciones de transito antes mencionadas y a los siguientes parámetros para ambos cuerpos, se tiene los siguientes datos.

a) Vida Proyecto

Los pavimentos de concreto se diseñan por fatiga (AASHTO) y por fatiga erosión (PCA), la fatiga la podemos entender como el numero de repeticiones o ciclos de carga y descarga que actúan sobre un elemento. En realidad al establecer una vida útil de diseño, en realidad lo que estamos haciendo es tratar de estimar, en un tiempo, el numero de repeticiones de carga a las que esta sometido el pavimento.

Es practica común determinar o calcular el trafico que circulara por la vía en un periodo de un año, siguiendo las recomendaciones para el TPDA. El trafico estimado para el primer año se le multiplica por el numero de años de vida útil mas algunos daños correspondientes a la tasa de crecimiento de la vía.

T_{vu} = Trabajo en la vida actual

T_{pa} = trafico en el primer año

FCT = Factor de crecimiento del trafico, que depende de la tasa de crecimiento anual y de la vida útil.

El periodo mínimo de vida útil que se debe de considerar para un pavimento de concreto es de 20 años.

Periodo de vida útil comunes

País o región	vida útil (años)
México	20 a 25
EU	30 a 40
Europa	40 o más de 50

b) Transito- Numero de Ejes Equivalentes a 18 kips

Transito de diseño. Se nos proporciono por parte de la dependencia a cargo de la carretera, los datos viales obtenidos en la caseta de peaje en los últimos 4 años, así como su composición vehicular. Debido a que es un camino con poca vida de servicio, al analizar dichos datos de transito se observa que en estos años han presentado una tasa de crecimiento muy alta del orden de 12 al 14 % y con una composición vehicular con un alto porcentaje de vehiculos pesados del orden del 45% al 50%.

La situación anterior generaría que al proyectar el tránsito al futuro con tasas constantes y obtener su equivalencia a ejes equivalentes a 18,000lbs, según el criterio AASHTO, nos da unos valores muy altos, mismos que al compararlos con los obtenidos en otras autopistas inclusive con un tránsito actual mucho mayor, estos sean similares o aun mayores de servicio, y comparándolo con el crecimiento.

Por lo anterior se tomo como premisa el comportamiento de las tasas de crecimiento vehicular de otras autopistas con mas tiempo de servicio, y comparándolo con el crecimiento nacional, al incrementarse el porcentaje de vehículos ligeros. Por lo que se consideran 45x106 ejes equivalentes a 18000 lb (8.2 ton) según el criterio AASHTO, para pavimentos rígidos.

c) Nivel de Confianza

Los factores estadísticos que determinan el comportamiento de los pavimentos son:

- **Confiability R.**
- **Desviación Estándar.**

c) 1 Confiability.- Es "la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación". Otra manera de entender la confiabilidad, por ejemplo es: si se considera una confiabilidad "R" del 80% estaríamos permitiendo que el 20% de las losas del pavimento alcancen al final de su vida útil una serviciabilidad igual a la serviciabilidad final seleccionada en el diseño.

Confiabilidad recomendada por la AASHTO*

Clasificación funcional	Urbano	Rural
Autopistas	85%-90%	80%-99.9%
Arterias principales	80%-99%	75%-99%
Colectoras	80%-95%	75%-95%
Locales	50%-80%	50%-80%

* Valido en EU

Confiabilidad recomendada para México

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

Como ya se dijo la confiabilidad puede relacionarse con un Factor de Seguridad, a continuación se presentan los factores de seguridad aproximados a los que corresponde la confiabilidad. Estos factores de seguridad van asociados con la Desviación Estándar "So".

c) 2 Desviación estándar promedio

La desviación estándar es la cantidad de error estadístico presente en la ecuación de diseño AASTHO resultando de la variación de los diferentes parámetros que intervienen en la formulación, tales como: materiales, calidad de construcción, cuantificaciones del tráfico, variaciones del soporte del suelo etc.

Otra manera de entenderla es como el coeficiente que describe que también de los datos de la prueba AASTHO corresponden a las ecuaciones de diseño AASTHO. A menor desviación estándar mejor modelan las ecuaciones AASTHO los diseños. Estas desviaciones se pudieron medir mediante la prueba AASTHO.

Desviación estándar recomendada por AASTHO

Pavimento	So
Nuevo	0.35
Whitetopping	0.39

Resulta razonable pensar que la desviación estándar "So" sea mayor para el caso de un pavimento con una carpeta de concreto hidráulico que cuando se considera un pavimento nuevo. Esto debido a que la variabilidad de los materiales que forman el cuerpo de soporte seguramente es mayor debido a que ya han estado sometidos a condiciones de trabajo y las posibilidades de modelarlo seguramente son menores.

La desviación estándar esta muy relacionada con la confiabilidad "R" ya que entre ambos factores componen el factor de seguridad utilizados en la formulación.

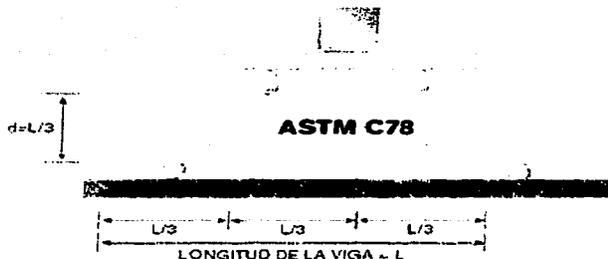
d) Módulo de Ruptura (MR)

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

El módulo de ruptura se mide mediante ensayos de vigas de concreto, aplicándoles cargas en los tercios de su claro de apoyo. Esta prueba esta normalizada por la ASTM C78. Existe una prueba similar con la aplicación de la carga al centro del claro que genera resultados diferentes de resistencia a la flexión (aproximadamente 15% a 20% mayores) pero que no son los que considera AASTHO para el diseño.

Los valores recomendados para el Módulo de Ruptura varían desde los 41 kg/cm² (583 psi) hasta los 50 kg/cm² (711 psi) a 28 días, dependiendo del uso que vayan a tener. Enseguida se muestran valores recomendados, que el diseñador deberá elegir de acuerdo a un buen criterio.

Módulo de Ruptura Promedio. La metodología de diseño de AASHTO permite utilizar la resistencia a la flexión promedio, que se haya obtenido del resultado de ensayos a flexión de las mezclas diseñadas para cumplir la resistencia especificada del proyecto. Estos resultados dependen de las



Tipo de Pavimento	MR recomendado	
	Kg/cm ²	psi
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas Industriales	45.0	640.1
Urbanas Principales	45.0	640.1
Urbanas Secundarias	42.0	597.4

condiciones de control y calidad que tenga el fabricante del concreto en sus procesos. En todos los casos se recomienda que sea Concreto Premezclado Profesionalmente.

MR promedio = MR especificado + Zr x (desviación Estándar* del MR).

*Valores típicos de Desviación Estándar.
Concreto Premezclado.
Mezclado Central.

6% a 12%

5% a 10%

Promedio.

9.0%

7.5%

e) Módulo de Elasticidad del concreto

El Módulo de Elasticidad del concreto está íntimamente relacionado con su Módulo de Ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el Módulo de Elasticidad a partir del Módulo de Ruptura. Los dos más utilizados son:

- $E_c = 6,750 * MR.$
- $E_c = 26,454 * MR ^ 0.77.$

Estas fórmulas aplican con unidades inglesas.

f) Resistencia de la Subrasante (k)

La resistencia de la subrasante es considerada dentro del método por medio del Módulo de Reacción del Suelo K, que se puede obtener directamente mediante la prueba de placa.

El módulo de reacción de suelo corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural en donde se soportará el cuerpo del pavimento. El valor del módulo de reacción (K) se puede obtener directamente del terreno mediante la prueba de placa ASTM D1195 y D1196. El valor de K representa el soporte (terreno natural y terraplén, si lo hay) y se puede incrementar al tomar la contribución de la sub-base.

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

Con el fin de efectuar la evaluación estructural del pavimento y con base en un estudio efectuado al pavimento del libramiento en marzo de 1997, por otra empresa, se programó realizar los siguientes estudios, los cuales consistieron en su mayoría de pruebas no destructivas.

Pruebas de Placa

Posteriormente se seleccionaron los lugares en donde se efectuarían las pruebas de placa, siendo el mayor número de pruebas sobre la superficie actual de rodamiento (carpeta) con un total de 14 pruebas (7 por sentido) realizando en cada cuerpo una prueba adicional a diferentes profundidades o capas, quedando una sobre la carpeta original, 2 sobre la base hidráulica y finalmente 2 sobre la subrasante.

Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente anexo, en los cuales se indica el módulo de reacción obtenido en cada prueba.

Con base en los resultados obtenidos con el empleo de la viga Benkelman y a los sondeos efectuados (2) uno por cada sentido, así como las deficiencias (fallas) que presenta actualmente el pavimento, nos hace pensar que la actual estructura del pavimento presenta deficiencias estructurales.

Esquema de la prueba de placa.

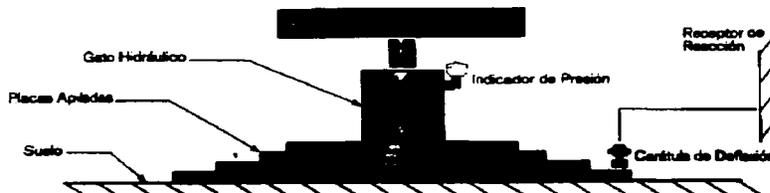


Fig. 2.7.1 Ilustración de la prueba de placareglada por la norma ASTM D1195 y D1196

De los resultados obtenidos en las pruebas de la placa, tanto a nivel de carpeta como en las capas inferiores del pavimento, mismas que sirvieron para obtener el modulo de reacción de la estructura actual del pavimento. Con la finalidad de obtener una mayor confiabilidad en la obtención del modulo de reacción de proyecto K, se combinaron con los coeficientes de dispersión obtenidos en la prueba de reflexión (viga Benkelman), quedando un modulo de reacción de 334 kg/cm³ para ambos sentidos.

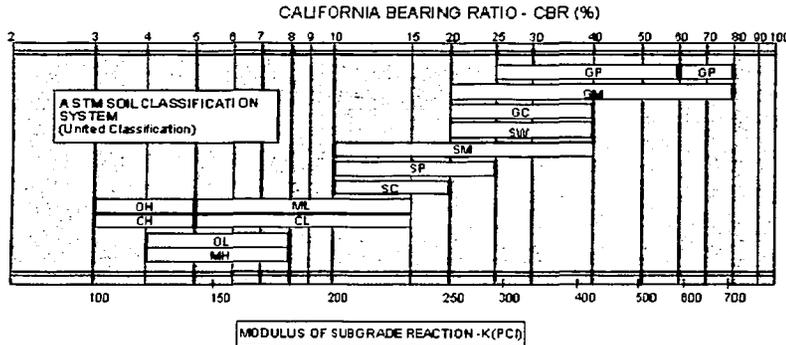


Fig. 2.7.2 Relación aproximada entre las clasificaciones del suelo y sus valores de resistencia

Correlación 2 con SUCS y VRS.

Tipo de Suelo	SUCS	Densidad Se a	CBR	k
		lb/ft ³	%	pci
Grava	GW, GP	125 a 140	60 a 80	300 a 450
Arena Gruesa	SW	120 a 130	38 a 60	300 a 400
Arena Fina	SP	110 a 130	20 a 40	200 a 400
Grava - Limosa	GM	130 a 145	40 a 80	300 a 500
Grava - Arena - Limosa				
Arena - Limosa	SM	120 a 135	20 a 40	300 a 400
Arena - Limo - Gravosa				
Grava - Arcillosa	GC	120 a 140	20 a 40	200 a 450
Grava - Arena - Arcillosa				
Arena - Arcillosa	SC	105 a 130	10 a 20	150 a 350
Limo	ML, OL	90 a 105	4 a 8	25 a 165
Limo - Arenoso				
Limo - Gravoso	MH	100 a 125	5 a 15	40 a 225
Limo Mal Graduado				
Arcilla Plástica	CL, OL	100 a 125	5 a 15	25 a 255
Arcilla Medianamente Plástica				
Arcilla Altamente Plástica	CH, OH	80 a 110	3 a 5	40 a 220

Fig. 2.7.3 Valores de k para estratos homogéneos

* Estos rangos de K aplican para estratos homogéneos de suelo de por lo menos 3 m. de espesor. Si un estrato de suelo de menos de 3 m. existe sobre un suelo más blando el valor K deberá corresponder al de suelo blando inferior y se podrá considerar el incremento de K debido al estrato superior. Si por el contrario, existiera un estrato de roca, el valor de K deberá de ser ajustado.
 ** El valor de K de los suelos finos depende de gran medida del grado de saturación, por lo que se recomienda realizar una corrección por este efecto.

Estimaciones y Correlaciones de K.

En base a un gran número de muestras y estudios se han podido desarrollar algunos valores estimativos del módulo de reacción del suelo, en función a diferentes propiedades. Diferentes autores han publicado sus resultados y, en general, no difieren notablemente.

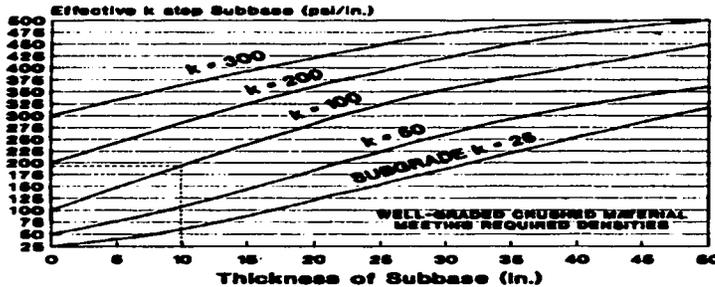


Fig. 2.7.4

Gráfica para determinar el módulo de reacción k efectivo, encima de una capa granular bien graduada.

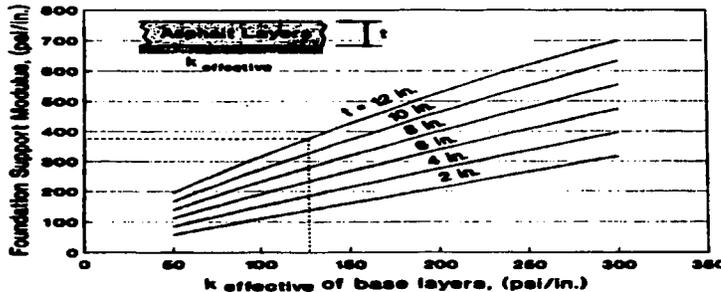


Fig. 2.7.5
asfáltica.

Gráfica para determinar el módulo de reacción k efectivo, encima de una capa de carpeta

g) Viga Benkelman

Se realizaron mediciones de la recuperación de la reflexión del pavimento existente para lo cual se empleo la viga Benkelman, utilizando un camión de volteo que en su eje trasero tuviera un peso de 8.2 toneladas y una presión de inflado de las llantas de 80 lbs/ pulg². (5.6kg./cm²). Estas mediciones se efectuaron 3 a cada 500 m. Obteniendo el promedio de dichos valores como representativo, las mediciones únicamente se realizaron en los carriles de baja velocidad de ambos cuerpos, alternando el rodado exterior y el interior. Además en cada cuerpo se tomo un tramo de 300 m. con mediciones en cada 20 m.

El empleo de la viga de Benkelman se realizo con el objetivo que relativamente rápido se tuviera una zonificación de la resistencia estructural del pavimento, para de esta forma programar la siguiente etapa, de los resultados obtenidos, se observan dos tramos bien definidos, el primero el Km. 192+ 526 al km. 201 aproximadamente, con unos valores muy altos (deflexión característica = 82 pulg. x 10⁻³) en esta zona el terreno de cimentación es arcilla, en el resto del tramo los valores obtenidos fueron de menor magnitud, pero tampoco satisfactorios (deflexión característica = 64.6 pulg. x 10⁻³).

h) Coeficiente de Transferencia de carga del pasajunta

Transferencia de Cargas. La transferencia de carga es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir fuerzas cortantes a sus losas adyacentes, con el objeto de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento, mientras mejor sea la transferencia de cargas mejor será el comportamiento de las losas del pavimento.

El método AASHTO considera la transferencia de cargas mediante el factor de transferencia de cargas J. La efectividad de la Transferencia de Carga entre losas adyacentes depende de varios factores:

- Cantidad de Tráfico.
- Utilización de Pasajuntas.
- Soporte Lateral de las Losas.

El Coeficiente de Transferencia de Carga considera el esfuerzo de transferencia a través de la junta o grieta.

Una manera de transferir la carga de una losa a otra es mediante la trabazón de agregados que se genera en la grieta debajo del corte de la junta, sin embargo esta forma de transferir carga solamente se recomienda para vías con tráfico ligero.

La utilización de pasajuntas es la manera mas conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas, los investigadores recomiendan evaluar dos criterios para determinar la conveniencia de utilizar pasajuntas. Utilizar pasajuntas cuando:

- a) El tráfico pesado sea mayor al 25% del tráfico total.
- b) El número de Ejes Equivalentes de diseño sea mayor de 5.0 millones de Esal's.

Soporte Lateral. - El confinamiento que produce el soporte lateral contribuye a reducir los esfuerzos máximos que se generan en el concreto por efecto de las cargas. Un pavimento de concreto puede

considerarse lateralmente soportado cuando tenga algunas de las siguientes características en su sección:

Pasajuntas.- Barra de acero redondo liso $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$, que no se debe de adherir al concreto permitiendo el libre movimiento de losas longitudinalmente, pero si debe de transferir verticalmente parte de la carga aplicada en una losa a la adyacente. Se colocan perfectamente alineadas a la mitad del espesor de la losa. El diámetro, longitud y separación de las pasajuntas esta principalmente en función del espesor de las losas.

Fig. 2.7.6 Coeficiente de PCA de coeficientes modificados de AASHTO

Millones de ESEAL's	Trabazón de agregados		Con Pasajuntas	
	Con soporte lateral	sin soporte lateral	Con soporte lateral	sin soporte lateral
Menos de 0.3	2.8	a	3.2	
De 0.3 a 1.0	3.0	a	3.4	
De 1.0 a 3.0	3.1	a	3.6	
De 3.0 a 10	3.2	a	3.8	2.7
De 10 a 30	3.4	a	4.1	3.2
Mas de 30	3.6	a	4.3	

i) Coeficiente de Drenaje

En cualquier tipo de pavimento, el drenaje, es un factor determinante en el comportamiento de su estructura a lo largo de su vida útil y por lo tanto lo es también en el diseño del mismo. Es muy importante evitar que exista presencia de agua en la estructura de soporte, de presentarse esta situación afectará en gran medida la respuesta estructural del pavimento.

En otro de los recorridos efectuados se reviso el funcionamiento de las principales obras de drenaje, tanto de alcantarillas, puentes, bordillos, lavaderos y cunetas, tanto como algún deterioro físico como alguna obstrucción que propicie deficiencias en su funcionamiento y pudiera afectar el comportamiento del pavimento. En el siguiente anexo se muestran de manera tabular los resultados obtenidos, haciendo mención que los cadenamientos son aproximados, siendo entre las principales deficiencias el azolve de las alcantarillas, pocos lavaderos con daños y algunas cunetas con caídos y algo de basura.

Existen de 2 a 4 cortes, 2 cercanos a la caseta y los otros 2 cerca al final del tramo en los que se pudiera presentar algún problema de subdrenaje, pero debido que este recorrido se efectuó en época de estiaje y al no haber realizado el sondeo, no se puede decir con certeza si existe este problema o no, por lo que se recomienda realizar dicho estudio en esos cortes, antes de la reconstrucción del pavimento.

De la revisión efectuada a la mayoría de las obras de drenaje, se considera necesario darle mantenimiento ya que la mayoría de las alcantarillas presentan azolve o pasto que dificulta el buen funcionamiento hidráulico, así como reparar los lavaderos, bordillos y cunetas dañadas, así como la

limpieza de las últimas. Respecto al sub-drenaje, se deberá efectuar un estudio más a fondo para definir si existen o no problemas de sub-drenaje

Aspectos que debemos de cuidar para evitar que el agua penetre en la estructura de soporte:

- Mantener perfectamente selladas las juntas del pavimento.
- Sellar las juntas entre pavimento y acotamiento o cuneta.
- Colocar barreras rompedoras de capilaridad (en donde se requiera).
- Utilizar cunetas, bordillos, lavaderos, contracunetas, subdrenajes, etc.
- Construir o aprovechar los drenajes pluviales en las ciudades.

Tener agua atrapada en la estructura del pavimento produce efectos nocivos tales como:

- Reducción de la resistencia de materiales granulares no ligados.
- Reducción de la resistencia de la subrasante.
- Expulsión de finos.
- Levantamientos diferenciales de suelos expansivos.
- Expansión por congelamiento del suelo.

Algunos de estos fenómenos se pueden minimizar cuando se utilizan bases estabilizadas con cemento o bases de relleno fluido. Los valores recomendados para el coeficiente de drenaje deberán estar entre 1.0 y 1.10.

j) Serviciabilidad

La Serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía, se mide en una escala del 0 al 5 en donde 0 (cero) significa una calificación para pavimento intransitable y 5 (cinco) para un pavimento excelente. La serviciabilidad es una medida subjetiva acerca del pavimento, sin embargo la tendencia es poder definirla con parámetros medibles, los son: el índice de perfil, índice de rugosidad internacional, coeficiente de fricción, distancias de frenado, visibilidad, etc.

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

Fig. 2.7.7 Índice de servicio inicial (P_o)

Es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo.

Los valores recomendados por AASHTO para este parámetro son:

- Para Pavimento de Concreto. = 4.5
- Para Pavimento de Asfalto. = 4.2

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

Mientras mejor se construya inicialmente un pavimento, esto es, mientras mejor índice de serviciabilidad inicial tenga, mayor será su vida útil, porque las curvas de deterioro se comportan de manera paralela o con el mismo gradiente para unas condiciones determinadas, como se muestra a continuación:

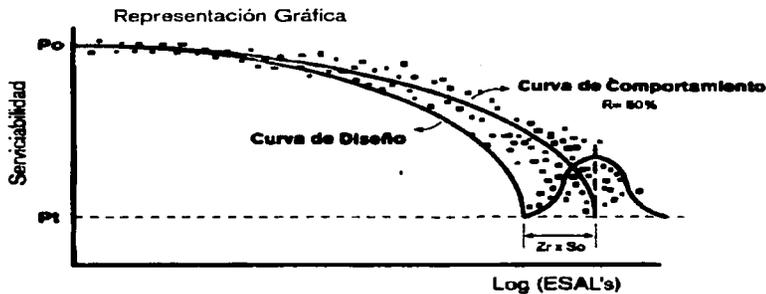


Fig. 2.7.8 grafica Índice de servicio final (Pt).

La serviciabilidad final tiene que ver con la calificación que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil.

Los valores recomendados de Serviciabilidad Final Pt para el caso de México, son:

- Autopistas. 2.5
- Carreteras. 2.0
- Zonas Industriales. 1.8
- Pavimentos Urbanos Principales. 1.8
- Pavimentos Urbanos Secundarios. 1.5

2.8 FUTURO DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO.

Actualmente se está desarrollando una revisión a los métodos de diseño del AASHTO, se espera que la Guía de Diseño de AASHTO salga en el año 2002 con los nuevos métodos y criterios para el Diseño Estructural de los Pavimentos.

Los encargados de realizar estas investigaciones con los resultados de más de 300 tramos de pavimentos de concreto son:

- Investigador Principal: Sr. John P. Hallin.
- Pavimentos de Concreto: Dr. Michael I. Darter.

El objetivo es desarrollar y entregar la guía AASHTO 2002 para el diseño de pavimentos nuevos y así como para la rehabilitación de pavimentos, basado en métodos mecanicistas-empíricos, y desarrollando un programa computacional (software) que apoye en el diseño.

Los Alcances de estos Trabajos son:

- El diseño de pavimentos nuevos.
- La evaluación y la rehabilitación de los pavimentos existentes.
- Los costos del ciclo de vida, tránsito y confiabilidad.
- La calibración de los modelos.

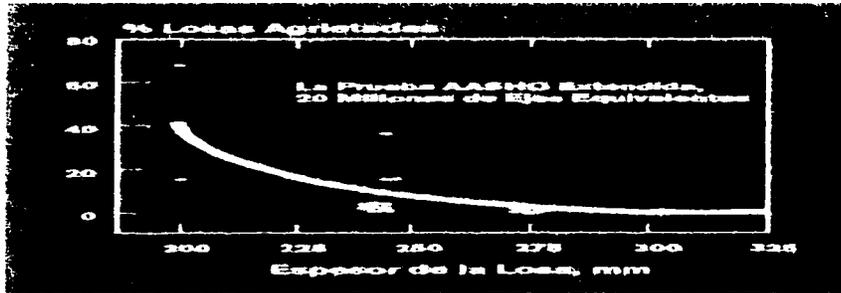
Los Beneficios de Seleccionar un Método de Diseño Mecanicista son:

- Que puede tomar en cuenta todos tipos de carga, gradientes térmicos, y variaciones en la subrasante con temporada.
- Que puede incorporar parámetros específicos (losa con sobreancho, base tratada, transferencia de carga, dimensiones de la losa).
- Cambios en la resistencia del concreto con edad.
- El efecto de sistemas de drenaje.

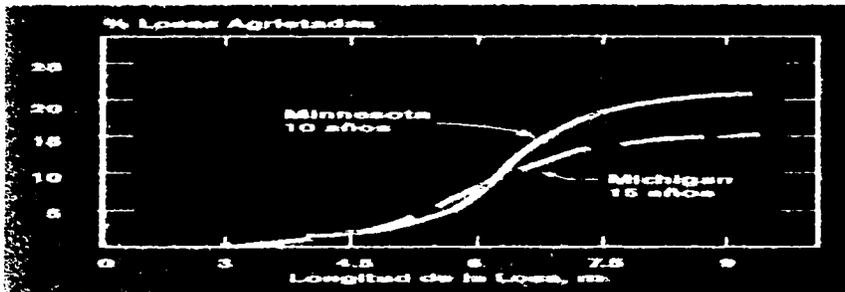
En general se pueden diseñar pavimentos de concreto para todos niveles de tránsito, vida útil y de costo reducido.

Algunas de las consideraciones tomadas en el desarrollo del método son:

La influencia del espesor de la losa.



La influencia del tamaño de las losas.



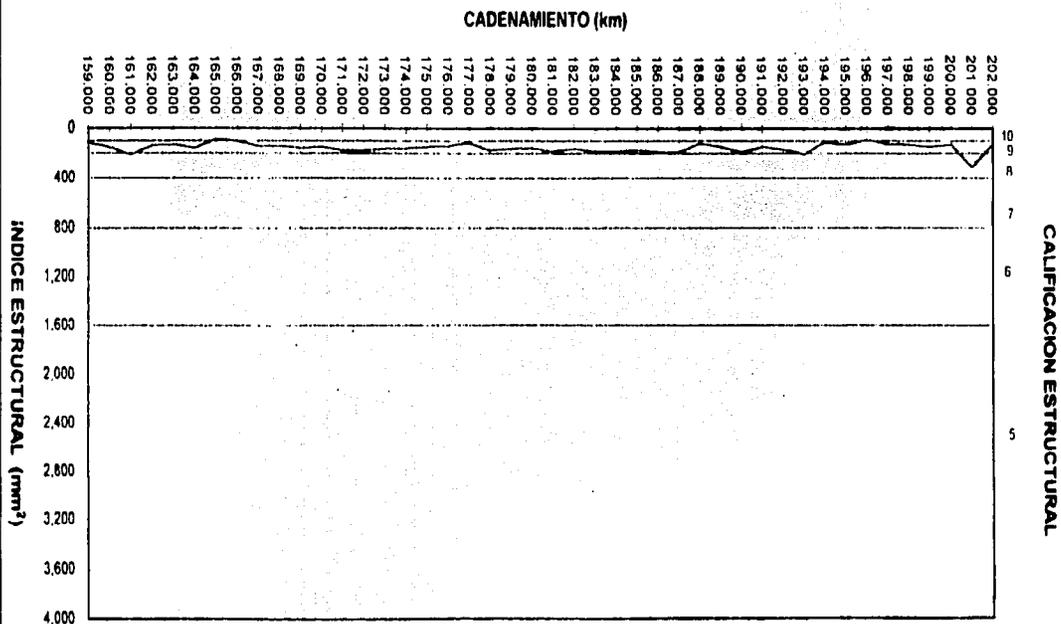
El comportamiento de las Juntas.



RAUL VICENTE OROZCO y Cia.
 CARRETERA: PALMILLAS-QUERETARO
 CUERPO: "B"
 CARRIL: 3
 Del km 159 Al km 202

ESTUDIO REALIZADO PARA: CAPUFE

CALIFICACION ESTRUCTURAL



CALIFICACION

10 EXCELENTE	4.55 %
9 MUY BUENA	88.64 %
8 BUENA	6.82 %
7 REGULAR	0.00 %
6 MALA	0.00 %
5 PESIMA	0.00 %



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CARRETERA: MEXICO-QUERETARO

ORIGEN:
MEXICO D.F.

TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO

REVISO: MALR

RAUL VICENTE OROZCO y Cia.

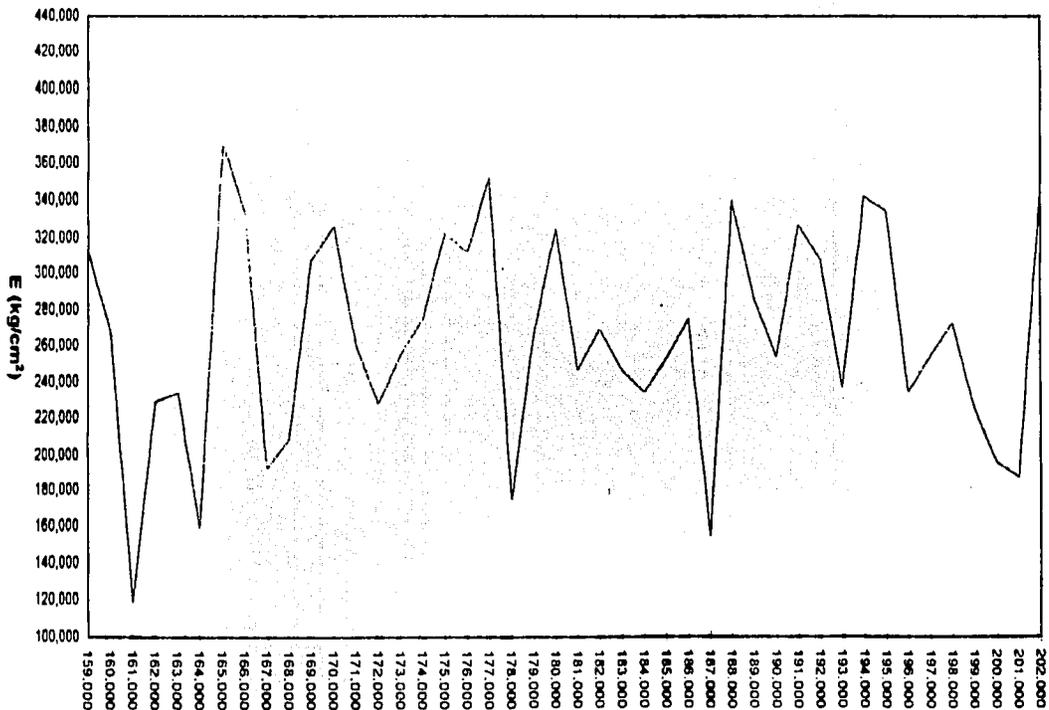
CARRETERA: PALMILLAS-QUERETARO

CUERPO: "B"

CARRIL: 3

Del km 159 Al km 202

ESTUDIO REALIZADO PARA: CAPUFE

MODULOS ELASTICOS DEL CONCRETO HIDRAULICO

CADENAMIENTO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CARRETERA: MÉXICO-QUERETARTO

ORIGEN:
MÉXICO D.F.

TRAMO: PALMILLAS-QUERETARTO

REVCO: MALR

RAUL VICENTE OROZCO y Cía.

CARRETERA: PALMILLAS-QUERETARO

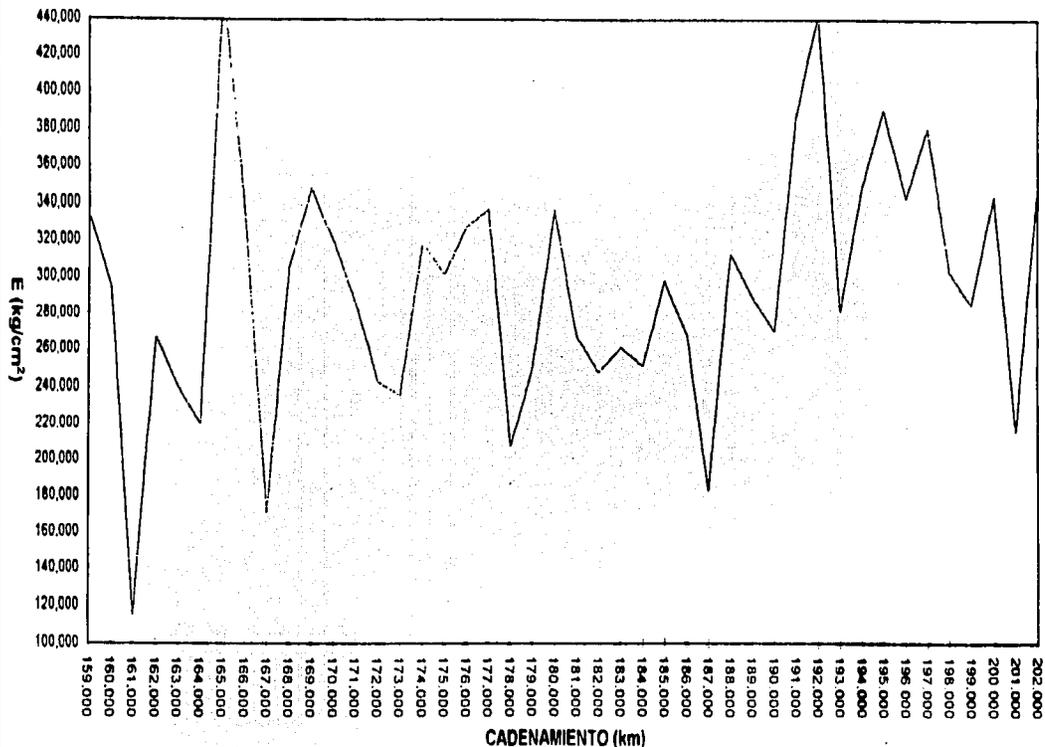
CUERPO: "B"

CARRIL: 3

Del km 159 Al km 202

ESTUDIO REALIZADO PARA: CAPUFE

MODULOS ELASTICOS DEL CONCRETO HIDRAULICO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CARRETERA: MÉXICO-QUERÉTARO

ORIGEN:
MÉXICO D.F.

TRAMO: PALMILLAS-QUERÉTARO

REVISÓ: MALR

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ESTUDIOS TECNICOS

OBRA: MEXICO-PALMILLAS TRAMO KM 156+288 AL KM 216+600

**ENSAYE DE MATERIALES PARA
SUB-BASES Y BASES**

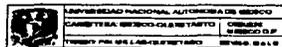
DESCRIPCION: SUB-BASE HIDRAULICA
TENDIDO Y COMPACTADO

DESCRIPCION: SUB-BASE HIDRAULICA
TENDIDO Y COMPACTADO

PROVENENCIA: KM 209+200
CUERPO "A"

MUESTRA
4

FECHA DE RECIBO:
12 SEP-97



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CARRERA INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS CITEC
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS IIEC

ENSAYE DE MATERIALES PARA SUB-BASES Y BASES

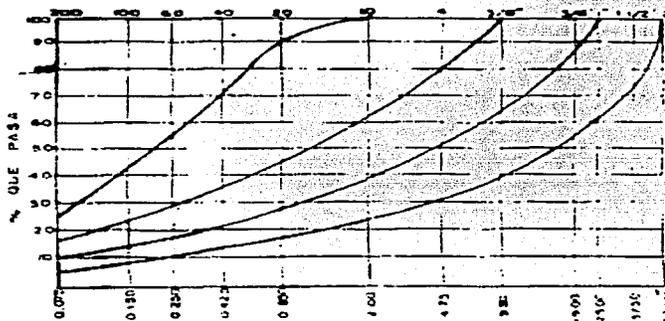
PROVENENCIA:

MUESTRA NUM.

DESCRIPCION:
SUB-BASE HIDRAULICA TENDIDO Y COMPACTADO.
CARRETERA DE RIO PARCIALMENTE TRITURADA.

FECHA DE RECIBO:

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



MALLA NUM.	% RETENIDO
50.0	6.0
37.5	100
25.0	81
19.0	69
9.5	54
4.75	44
2.00	39
0.850	30
0.425	20
0.250	18
0.150	13
0.075	0

E. SECO SUELTO Kg/m ³	1511	V.R.S. (ESTANDAR) %	77.2	PRUEBAS EN MATERIAL MAYOR QUE LA MALLA NUM. 9.5	
E.S. MAXIMO Kg/m ³	1941	EXPANSION %	0.1	ABSORCION %	3.50
UMEDAD OPTIMA %	9.0	VALOR CEMENTANTE Kg/cm ²	---	DENSIDAD	2.26
IMPACTACION DEL CAJON %	103	EQUIVALENTE DE ARENA %	20.8	DURABILIDAD	---
UMEDAD DEL LUGAR %	6.4	PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA NUM. 0.425			
LASIFICACION PETROGRAFICA		LIMITE LIQUIDO %	32	INDICE PLASTICO %	22
TIPO DE SUELO (SUCS)	GP-GM	LIMITE PLASTICO %	10	CONTRACCION LINEAL %	5.1

OBSERVACIONES:

EL MATERIAL NO CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES S.C.T. DE V.R.S., LIMITE LIQUIDO Y CONTRACCION LINEAL PARA SU USO EN BASE HIDRAULICA.

FORMULO: I.R.C.	APROBO: ING. J.J.L.L.	FECHA	INF. No.
---------------------------	---------------------------------	--------------	-----------------

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ESTUDIOS TECNICOS

OBRA: MEXICO-PALMILLAS TRAMO KM
156+288 AL KM 216+600

**ENSAYE DE MATERIALES PARA
SUB-BASES Y BASES**

DESCRIPCION: SUB-BASE HIDRAULICA
TENDIDO Y COMPACTADO

DESCRIPCION: SUB-BASE HIDRAULICA
TENDIDO Y COMPACTADO

PRODEENCIA: KM 182+600
CUERPO "B"

MUESTRA
1

FECHA DE RECIBO :
12 SEP-97



COMISION NACIONAL ALIQUOTACION ENERGETICA
COMITE TECNICO NACIONAL QUERETARO | COMISION NACIONAL ALIQUOTACION ENERGETICA
MEXICO FEDERAL QUERETARO QUERETARO

ENSAYE DE MATERIALES PARA SUB-BASES Y BASES

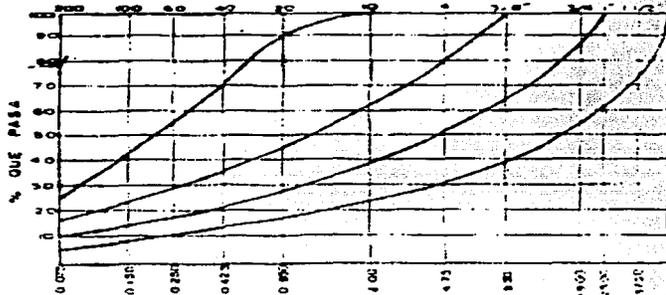
PRODEENCIA:

MUESTRA NUM.

DESCRIPCION:
BASE HIDRAULICA TENDIDO Y COMPACTADO

FECHA DE RECIBO:

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



MALLA NUM.	% RETENIDO
30 0	1 0
37 5	
	% QUE PASA
30 0	100
25 0	88
19 0	79
9 5	61
4 75	47
2 00	40
0 850	33
0 425	25
0 250	22
0 150	17
0 075	13

RE. SECO SUELTO Kg/m ³	1397	V.R.S. (ESTANDAR) %	84.6	PRUEBAS EN MATERIAL MAYOR QUE LA MALLA NUM. 9.5	
P.E.N. MAXIMO Kg/m ³ PORTER	1870	EXPANSION %	0.1	ABSORCION %	5.5
HUMEDAD OPTIMA %	13.5	VALOR CEMENTANTE Kg/cm ² EQUIVALENTE DE ARENA %	21.5	DENSIDAD	3.28
COMPACTACION DEL LUGAR %	102			DURABILIDAD	
HUMEDAD DEL LUGAR %	10.4	PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA NUM. 0.425			
CLASIFICACION PETROGRAFICA		LIMITE LIQUIDO %	31	INDICE PLASTICO %	14
TIPO DE SUELO (SUGS)	GC	LIMITE PLASTICO %	17	CONTRACCION LINEAL %	3.1

OBSERVACIONES:

EL MATERIAL PRESENTA DEFICIENCIAS EN EL V.R.S., EQUIVALENTE DE ARENA Y LIMITE LIQUIDO PORLO QUE NO CUMPLE CON LA CALIDAD PARA SU EMPLEO COMO BASE HIDRAULICA.

FORMULO: I.R.C.	APROBO: ING. J.L.L.	FECHA	INF. No.
---------------------------	-------------------------------	--------------	-----------------

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ESTUDIOS TECNICOS

OBRA: MEXICO-PALMILLAS TRAMO KM 156+288 AL KM 216+600	ENSAYE DE MATERIALES PARA SUB-BASES Y BASES		
DESCRIPCION: SUB-BASE HIDRAULICA TENDIDO Y COMPACTADO	DESCRIPCION: SUB-BASE HIDRAULICA TENDIDO Y COMPACTADO		
PRODEDENCIA: KM 209+200 CUERPO "A"	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">MUESTRA 4</td> <td style="width: 50%; padding: 5px;">FECHA DE RECIBO: 12 SEP-97</td> </tr> </table>	MUESTRA 4	FECHA DE RECIBO: 12 SEP-97
MUESTRA 4	FECHA DE RECIBO: 12 SEP-97		

ENSAYE DE MATERIALES PARA SUB-BASES Y BASES																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;"> UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS </td> <td style="width: 50%; padding: 2px;"> CIENCIAS BÁSICAS MEXICO D.F. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS </td> </tr> </table>		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS	CIENCIAS BÁSICAS MEXICO D.F. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS																										
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS	CIENCIAS BÁSICAS MEXICO D.F. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS																												
PRODEDENCIA:	MUESTRA NUM. 4																												
DESCRIPCION: ASE HIDRAULICA TENDIDO Y COMPACTADO. RAVA DE RIO PARCIALMENTE TRITURADA.	FECHA DE RECIBO:																												
GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">MALLA NUM</th> <th style="text-align: left;">% RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>50.0</td><td>6.0</td></tr> <tr><td>37.5</td><td></td></tr> <tr><td>30.0</td><td>100</td></tr> <tr><td>25.0</td><td>81</td></tr> <tr><td>19.0</td><td>69</td></tr> <tr><td>9.5</td><td>54</td></tr> <tr><td>4.75</td><td>44</td></tr> <tr><td>2.00</td><td>39</td></tr> <tr><td>0.850</td><td>30</td></tr> <tr><td>0.425</td><td>20</td></tr> <tr><td>0.250</td><td>18</td></tr> <tr><td>0.150</td><td>13</td></tr> <tr><td>0.075</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	MALLA NUM	% RETENIDO	50.0	6.0	37.5		30.0	100	25.0	81	19.0	69	9.5	54	4.75	44	2.00	39	0.850	30	0.425	20	0.250	18	0.150	13	0.075	0	
MALLA NUM	% RETENIDO																												
50.0	6.0																												
37.5																													
30.0	100																												
25.0	81																												
19.0	69																												
9.5	54																												
4.75	44																												
2.00	39																												
0.850	30																												
0.425	20																												
0.250	18																												
0.150	13																												
0.075	0																												
E. SECO SUELTO Kg/m³	1511	V.R.S. (ESTANDAR) %	77.2	PRUEBAS EN MATERIAL MAYOR QUE LA MALLA NUM. 9.5																									
F.S. MAXIMO Kg/m³ PORTER	1941	EXPANSION %	0.1	ABSORCION %	3.50																								
UNEDAD OPTIMA %	9.0	VALOR CEMENTANTE Kg/cm²	---	DENSIDAD	2.46																								
COMPACTACION DEL LUGAR %	103	EQUIVALENTE DE ARENA %	20.8	DURABILIDAD	---																								
UNEDAD DEL LUGAR %	6.4	PRUEBAS SOBRE MATERIAL FANIZADO POR LA MALLA NUM. 6.425																											
LASIFICACION PETROGRAFICA	LIMITE LIQUIDO %	32	INDICE PLASTICO %	23																									
TIPO DE SUELO (SUCS)	LIMITE PLASTICO %	10	CONTRACCION LINEAL %	5.1																									
OBSERVACIONES:																													
EL MATERIAL NO CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES S.C.T. DE V.R.S., LIMITE LIQUIDO Y CONTRACCION LINEAL PARA SU USO EN BASE HIDRAULICA.																													
FORMULO: I.R.C.	AFROBO: ING. J.J.L.L.	FECHA	INF. No.																										

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ESTUDIOS TÉCNICOS

TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES						
OBRA: MEXICO PALMILLAS TRAMO KM 156+288 AL KM 216+600						
Procedencia: km 182+600 "B" camil de baja			Fecha de extraccion: 9 de Sep-97			
Descripcion: Sub rasante tendido y compactado			Fecha de Recibo: 12 de Sep-97			
IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR						
Num de ensaye	5					
Estacion	182+600					
Profundidad del sondeo. Cm.	19.5					
% de Compactacion	98					
Contenido de Agua en %	22.3					
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL						
Tamaño máximo mm	50.8					
Pasa Malla Num. 4	66					
Pasa Malla Num. 40	44					
Pasa Malla Num. 200	26					
Peso Volumetrico Suelto	827					
Peso Volumetrico Maximo AASHTO	1260					
Humedad Optima	25.6					
Limite Liquido	44					
Indice Plastico	16					
Contraccion Lineal	3.9					
Clasificacion S.U.C.S	S.M.					
V.R.S Estandar	14.7					
Expansion %	1.8					
ESTUDIO DE PAVIMENTO						
% Compactacion						
Humedad de Prueba						
Valor Relativo Soporte						
% Compactacion						
Humedad de Prueba						
Valor Relativo Soporte						
OBSERVACIONES: El material cumple escasamente con las normas S.C.T. Para uso en Sub-Rasante						

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ESTUDIOS TÉCNICOS

TERRACERIAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y ESTUDIO DE ESPESORES			
OBRA: MEXICO PALMILLAS TRAMO KM 156+288 AL KM 216+600			
Procedencia: km 182+600 "A" camil de baja	Fecha de extraccion: 9 de Sep-97		
Descripcion: Sub rasante tendido y compactado	Fecha de Recibo: 12 de Sep-97		
IDENTIFICACION Y DATOS DEL LUGAR			
Num de ensaye	3		
Estacion	209+200		
Profundidad del sondeo. Cm.	28		
% de Compactacion	91		
Contenido de Agua en %	27.8		
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL			
Tamaño máximo mm	76.2		
Pasa Malla Num. 4	92		
Pasa Malla Num. 40	68		
Pasa Malla Num. 200	35		
Peso Volumetrico Suelto	1168		
Peso Volumetrico Maximo AASHTO	1478		
Humedad Optima	23.3		
Limite Liquido	40		
Indice Plastico	13		
Contraccion Lineal	3.6		
Clasificacion S.U.C.S	S.M		
V.R.S Estandar	49.3		
Expansion %	1.0		
ESTUDIO DE PAVIMENTO			
% Compactacion			
Humedad de Prueba			
Valor Relativo Soporte			
% Compactacion			
Humedad de Prueba			
Valor Relativo Soporte			
OBSERVACIONES: El material cumple escasamente con las normas S.C.T. Para uso en Sub-Pasante			

ESTADO DE AVANCE
DE LA OBRA

CAPITULO III

PROYECTO DE MODERNIZACION

Para el diseño del pavimento utilizamos soluciones específicas, teniendo como referencia el método AASHTO ("AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS"). En este capítulo enlistamos datos y resultados obtenidos, para el diseño del pavimento (espesor de pavimento, juntas, etc.) en cuanto a los planos arquitectónicos y estructurales presentamos algunos dado que la mayoría son del mismo tipo.

**3 MODERNIZACION CARRETERA MEXICO-QUERETARO
TRAMO : PALMILLAS-QUERETARO**

3.1 DISEÑO DEL PAVIMENTO DE CONCRETO

a) datos

DATOS DEL TRAFICO: EJES SENCILLO Eqs DE 18KIPS INTRODUCIDOS 4500000 ESALS

PERIODO DE DISEÑO	25 AÑOS
NUMERO DE EJES EQUIVALENTES A 18 KIPS	45,000,000
NIVEL DE CONFIANZA (R)	95%
DESVIACION ESTANDAR PROMEDIO (So)	0.39
MODULO DE ROPTURA DEL CONCRETO (MR)	680 PSI
MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO (EC)	4590000 PSI
COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA DEL PASAJUNTA (J)	2.7
MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE (K)	334.2
COEFICIENTE DE DRENAJE (CD)	1.00
INDICE DE SERVICIO INICIAL (Po)	4.5
INDICE DE SERVICIO FINAL (Pt)	2.5

VALORES DE DISEÑO

CARACTERISTICAS DE LA SECCION PROPUESTA

LONGITUD DEL PROYECTO	59.5 Km
NUMERO DE CARRILES	3
ANCHO DE CARRIL	3.5 m
ACOTAMIENTO INTERNO	1.5 m
ACOTAMIENTO EXTERNO	3.0 m
SUELO EXISTENTE	Variable
MATERIAL PROPUESTO DE SUB-BASE	Estabilizada

PAVIMENTO DE CONCRETO	ESPESOR	MODULO DE ELASTICIDAD	MODULO DE POISSON
Pavimento de Concreto	30	295,372	0.15
Sub-base Estabilizada	15	35,000	0.25
Suelo Natural	(variable)	1,600	0.45

Se considera que el pavimento cuenta con barras pasajuntas para la transferencia de la carga, además también considerar que el pavimento cuenta con soporte lateral.

Espesor del pavimento 11.75 in = 29.84 cms ≈ 30.00 cms.

A continuación se definen los parámetros que fueron utilizados para el diseño de espesor de la losa de concreto.

b) Espesor del Pavimento

Se asumió un concreto de 48.0 kg/cm² (680 PSI) de resistencia a la flexión, solo se examinó la posibilidad para la transferencia de la carga, con pasajuntas. Se evaluaron las condiciones existentes del suelo de las cuales se hace mención en el anexo "A". De la condición de transferencia de carga y las condiciones de soporte que presenta el sitio de trabajo se obtuvo que el espesor óptimo para ser utilizado en el pavimento de concreto hidráulico será de 30 cm con pasajuntas.

c) Junta de Construcción

Se recomienda que de ser posible se haga coincidir la junta de construcción con la localización de una junta transversal de contracción. Para este propósito se deberá suspender el colado cuando se haya sobrepasado la localización de la junta transversal.

La junta de construcción se formará hincando en el concreto fresco una frontera lo suficientemente rígida para mantener el plano de la junta perpendicular al plano de la superficie de la losa. Dicha frontera deberá de ser metálica y tener orificios por los cuales se instalen las pasajuntas en el alineamiento y espaciamiento indicado en los documentos de construcción. A continuación se procederá a remover el concreto fresco excedente a partir de la junta recién formada. Se deberán colocar pasajuntas en los acotamientos, independientemente de que no se especifiquen en dichos documentos con la finalidad de prevenir pérdida de transferencia de carga en la junta transversal a lo largo de la vida útil del pavimento.

La junta transversal de construcción deberá ser perpendicular al sentido de pavimentación y deberá vibrarse con vibradores de inmersión para garantizar la consolidación del concreto en las esquinas de esta junta.

En caso de emergencia, la junta de construcción será localizada de acuerdo a lo que ya se tenga colado. En caso de que el tramo colado sea menor a un tercio de la longitud de la losa, se removerá el concreto fresco hasta hacer coincidir la junta de construcción con la localización de la junta transversal de contracción. Cuando la emergencia ocurra en el tercio medio de la longitud de la losa, se deberá formar la junta de construcción cuidando que la distancia entre esta y cualquiera de las dos juntas transversales de contracción adyacentes no sea menor a 1.5 metros. Si la emergencia ocurre en el último tercio de la longitud de la losa, se deberá remover el concreto fresco para localizar la junta en el tercio medio. El procedimiento constructivo de estas juntas de emergencia será igual al indicado anteriormente para la junta de construcción.

d) Espaciamiento Entre Juntas

Se calculo un espaciamiento entre juntas mediante el análisis de los esfuerzos creados por las condiciones climatológicas. Este análisis se realizo con el programa desarrollado por el centro de investigación del transporte de la universidad de Texas en Austin con el que se predijeron los esfuerzos para las condiciones climatológicas existentes. Utilizando esta información en conjunto con la resistencia a la flexión asumida para el proyecto, el espaciamiento entre las juntas calculado será de 3.96, 5.49, 5.18 y 3.66 metros, el cual debe de visualizarse como un patrón repetitivo a lo largo de todo el cadenamiento, mismo que deberá de ser verificado cuando conozcan los agregados que serán empleados con el objeto de realizar los ajustes correspondientes.

Siguiendo ciertos datos en el diseño de las juntas, se evitara que el sellador de juntas se pegue a la parte inferior del corte. Esto producirá mayor libertad a la junta y mantendrá el material de sello en su lugar.

e) Losa de Aproximación

La losa de aproximación se construirá en las áreas próximas a los puentes y otras estructuras fijas. Esta losa se propone armada debido a que presenta un anclaje a la cara vertical del puente y su elevación es fija. Debido a que los asentamientos diferenciales son esperados debajo de esta, se propone que la losa de aproximación sea lo suficientemente rígida para puentear dichos asentamientos.

Además de la losa de aproximación, es recomendable construir una losa subyacente a 5 metros de la estructura del puente. Esta losa subyacente proveerá de suficiente transferencia de carga por lo que las pasajuntas no serán necesarias. La losa de aproximación podrá colocarse 24 horas después de haber excavado y colocado la losa subyacente.

f) Junta Pavimento / Cuneta

La junta entre el pavimento de concreto y la cuneta nos es considerada como parte de la estructura del pavimento, por lo que no se requiere de algún esfuerzo de amarre. Sin embargo es probable que se produzca cierta separación con los años. Para evitar esta separación, se deberá de colocar una varilla de amarre del # 4 de 90 cm de longitud a cada 120 cm y se deberá de sellar esta junta con el mismo material empleado en las juntas de pavimento. Las varillas de acero de amarre deberán de ser de grado 40 ($f_y=3250 \text{ kg/cm}^2$) pudiéndose doblar a 90° , para permitir la excavación de las cunetas. Una vez realizada la excavación y colocadas las varillas se procederá a desdoblar cuando la cuneta esté lista para su colado.

g) Modulación de losas

De acuerdo con el espesor encontrado y siguiendo el criterio AASHTO, se recomienda la siguiente modulación de losas.

Separación Máxima de Juntas Transversales 4.50 m
 Rango de Separación de Juntas Longitudinales 1.5-3.50 m

Pasajuntas y Barras de Amarre

Pasajuntas

Diámetro 1.25 in (3.18)
 Longitud 18 in (45.72)
 Espesor 12 in (30.48)

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Barras de Amarre

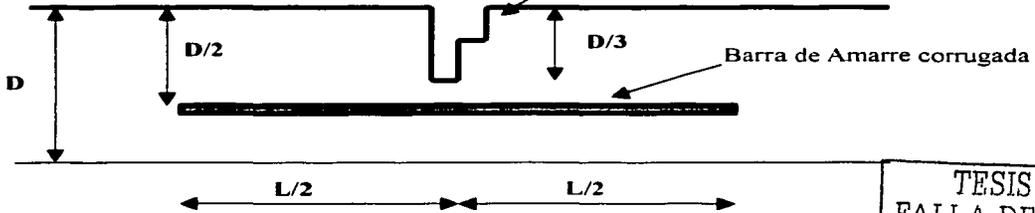
Fig. 3.1.1 Separación en cms. de barras de amarre Según la distancia al extremo libre.

ESPESOR PAVIMENTO cms.	DIAMETRO In	LONGITUD cm.	DISTANCIA AL EXTREMO LIBRE (M)			
			3.05	3.66	4.27	7.32
14	1/2	64	76	76	76	64
18	1/2	71	76	76	76	51
21.6	1/2	79	76	76	71	41
25.4	5/8	81	91	91	91	56
30.5	5/8	91	91	91	79	46

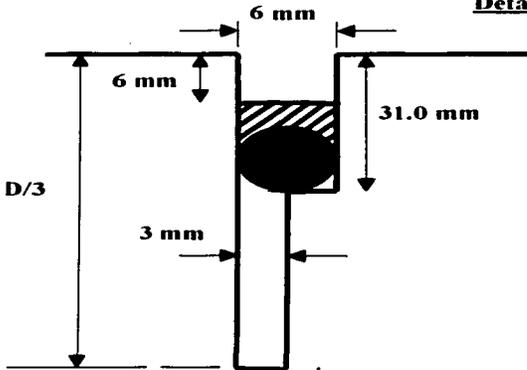
CROQUIS No. 1
CORTE Y SELLADO DE JUNTA DE CONTRACCION LONGITUDINAL
CON BARRA DE AMARRE (TIPO A)

D= Espesor de losa de pavimento.
 L= Longitud de barra de acero

Ver detalle de construcción de la junta



Detalle de construcción de la Junta



 Sellador autonivelante
 Función: sellar el corte

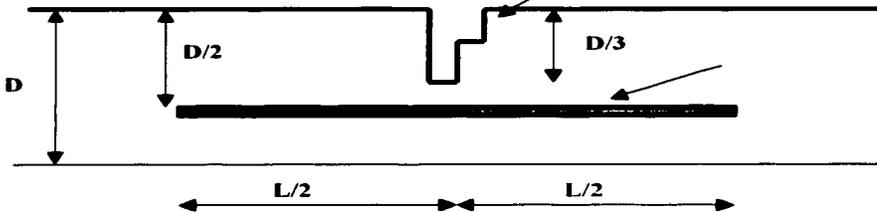
 Backer-Rod (cintilla de poliuretano)
 Función: Proporcionar cama de apoyo al sellado y evitar consumos innecesarios

NOTA: La relación ancho/profundidad del sellador de silicón deberá ser como mínimo 1:1 y como máximo 2:1
 La ranura inicial de 3 mm para debilitar la sección deberá ser hecha en el momento oportuno para evitar el agrietamiento de la losa, la pérdida de agregados en la junta, o el despostillamiento. El corte adicional para formar el depósito de la junta deberá efectuarse cuando menos 72 horas después del colado.

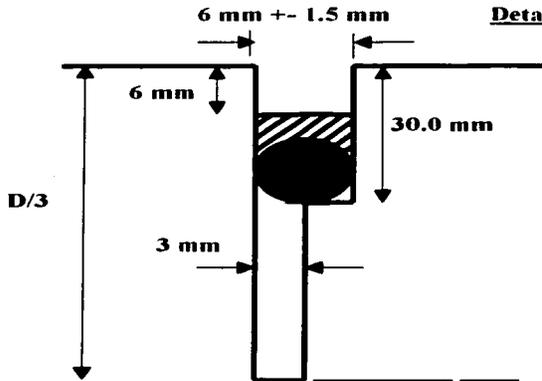
CROQUIS No. 2
CORTE Y SELLADO DE JUNTA DE CONTRACCION LONGITUDINAL
CON BARRA DE AMARRE (TIPO B)

D= Espesor de losa de pavimento.
L= Longitud de barra de acero

Ver detalle de construcción de la junta



Detalle de construcción de la Junta

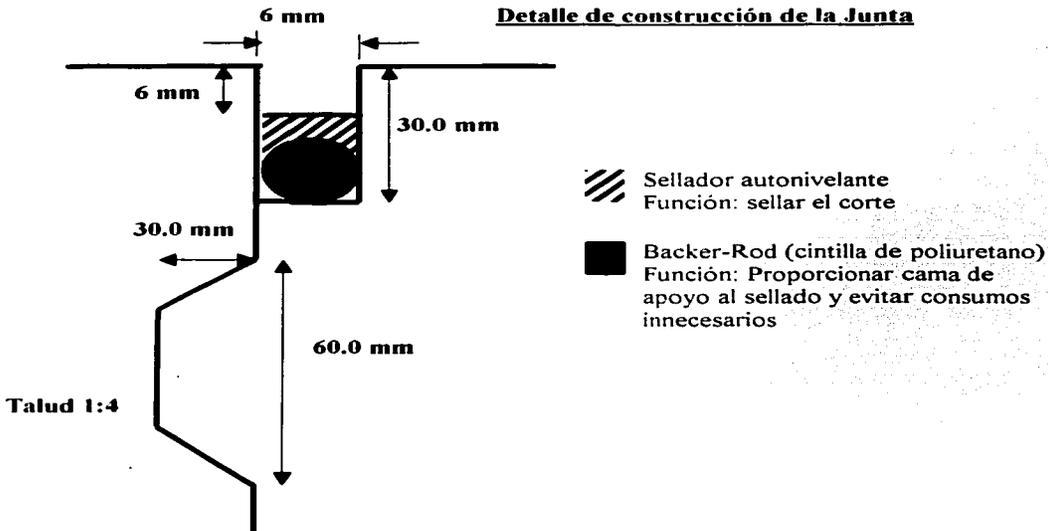
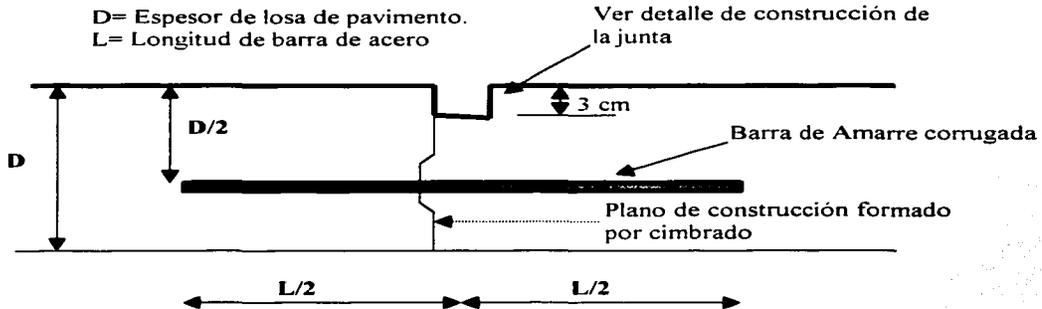


Sellador autonivelante
Función: sellar el corte

Backer-Rod (cintilla de poliuretano)
Función: Proporcionar cama de apoyo al sellado y evitar consumos innecesarios

NOTA: La relación ancho/profundidad del sellador de silicón deberá ser como mínimo 1:1 y como máximo 2:1
La ranura inicial de 3 mm para debilitar la sección deberá ser hecha en el momento oportuno para evitar el agrietamiento de la losa, la pérdida de agregados en la junta, o el despostillamiento. El corte adicional para formar el depósito de la junta deberá efectuarse cuando menos 72 horas después del colado.

CROQUIS No. 3
CORTE Y SELLADO DE JUNTA DE CONTRACCION LONGITUDINAL
CON BARRA DE AMARRE (TIPO C)

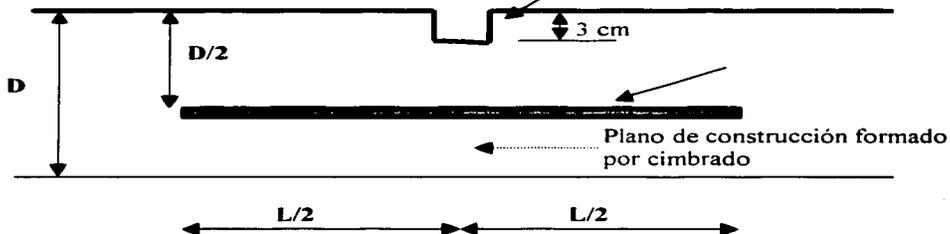


NOTA: La relación ancho/profundidad del sellador de silicón deberá como mínimo 1:1 y como máximo 2:1

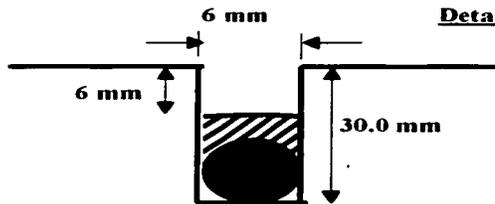
**CROQUIS No. 4
CORTE Y SELLADO DE JUNTA DE CONTRACCION LONGITUDINAL
CON BARRA DE AMARRE (TIPO D)**

D= Espesor de losa de pavimento.
L= Longitud de barra de acero

Ver detalle de construcción de la junta



Detalle de construcción de la Junta

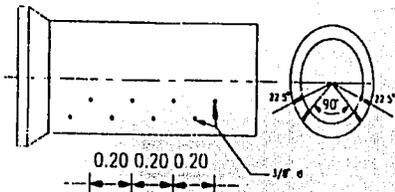


 Sellador autonivelante
Función: sellar el corte

 Backer-Rod (cintilla de poliuretano)
Función: Proporcionar cama de apoyo al sellado y evitar consumos innecesarios

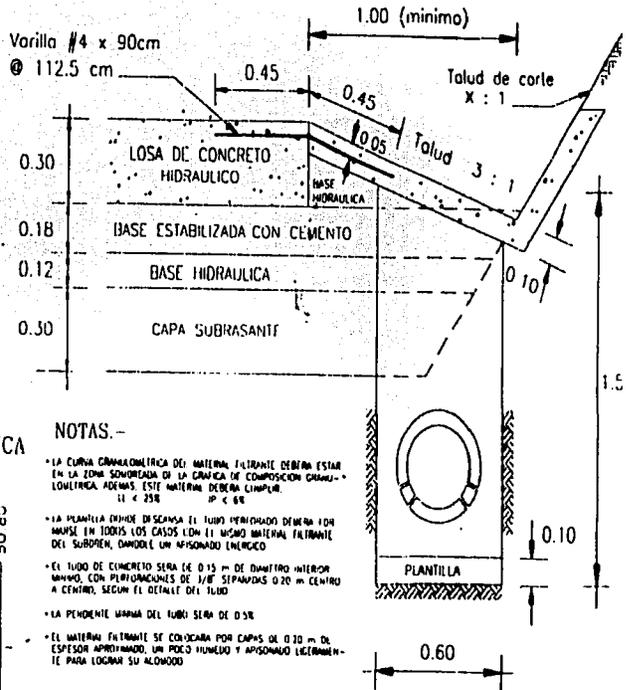
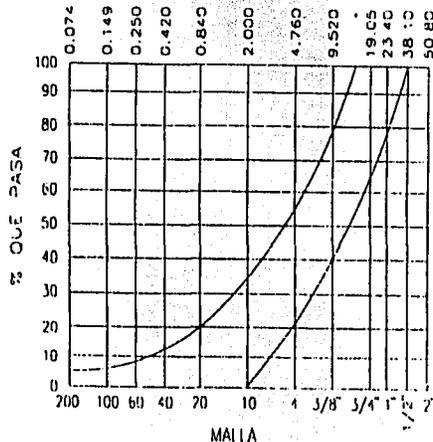
NOTA: La relación ancho/profundidad del sellador de silicón deberá ser como mínimo 1:1 y como máximo 2:1

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS**



DETALLE DEL TUBO DE CONCRETO

**GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA
LIMANO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS**



NOTAS.-

- LA CURVA GRANULOMETRICA DEL MATERIAL FILTRANTE DEBERA ESTAR EN LA ZONA SUPERIOR DE LA GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA. ADEMÁS, ESTE MATERIAL DEBERA CUMPLIR: $IP < 6R$
- LA PLANILLA DEBIE DE DEJAR EL TUBO PERFORADO DENTRO CON MARGEN EN TODOS LOS CASOS CON EL MISMO MATERIAL FILTRANTE DEL SUBDREN, DANDO LE UN APISONADO ENERJICO
- EL TUBO DE CONCRETO SERA DE 0.15 m DE DIAMETRO INTERIOR MINIMO, CON PERFORACIONES DE 3/8" SEPARADAS 0.20 m CENTRO A CENTRO, SEGUN EL DETALLE DEL TUBO
- LA PENDIENTE MAXIMA DEL TUBO SERA DE 0.5%
- EL MATERIAL FILTRANTE SE COLOCARA POR CAPAS DE 0.10 m DE ESPESOR APROXIMADO, UN POCO HUNDIDO Y APISONADO DEBIDAMENTE PARA LOGRAR SU ALICADO

**PROYECTO TIPO
SUB-DREN**

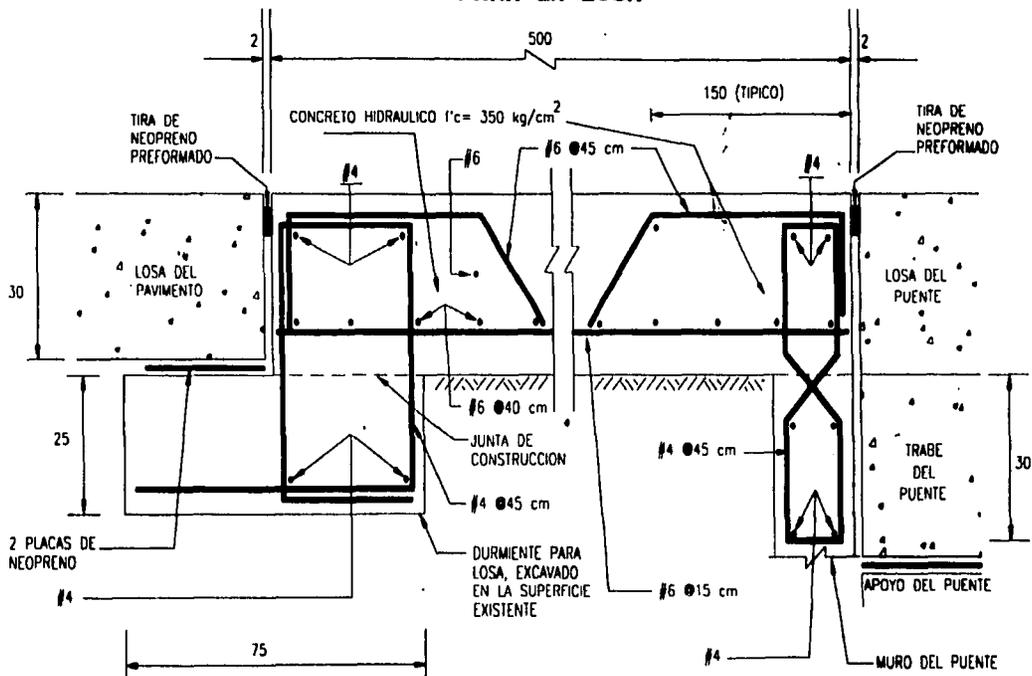


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
CARRETERA: MEXICO-QUERETARTO	ORIGEN: MEXICO D.F.
TRAMO: PALMILLAS-QUERETARTO	REVO: MAL R



**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS**

**LOSA DE APROXIMACION A PUENTES Y DURMIENTE
PARA LA LOSA**



NOTAS:

- LAS VARILLAS DE ACERO DE REFUERZO QUE SE UTILICEN, SERAN CORRUGADAS CON LIMITE DE FLUENCIA DE $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$.
- EL RECUBRIMIENTO MINIMO DEL ACERO SERA DE 8 cm EN LA PARTE INFERIOR DE LA LOSA Y 5 cm EN LA SUPERIOR.
- LA SUPERFICIE DE LA LOSA DE APROXIMACION DEBERA SER TEXTURIZADA DE MANERA SIMILAR A LAS LOSAS DEL PAVIMENTO. LAS DEPRESIONES QUE SE OBSERVEN EN SU SUPERFICIE CON UNA REGLA DE 3 m DE LONGITUD, EN CUALQUIER DIRECCION, NO DEBERA EXCEDER DE 5 mm.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
CARRETERA: MEXICO-QUERETARITO	ORIGEN: MEXCO D.F.
TRAMO: PALMILLAS QUERETARO	RENG: MALR

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

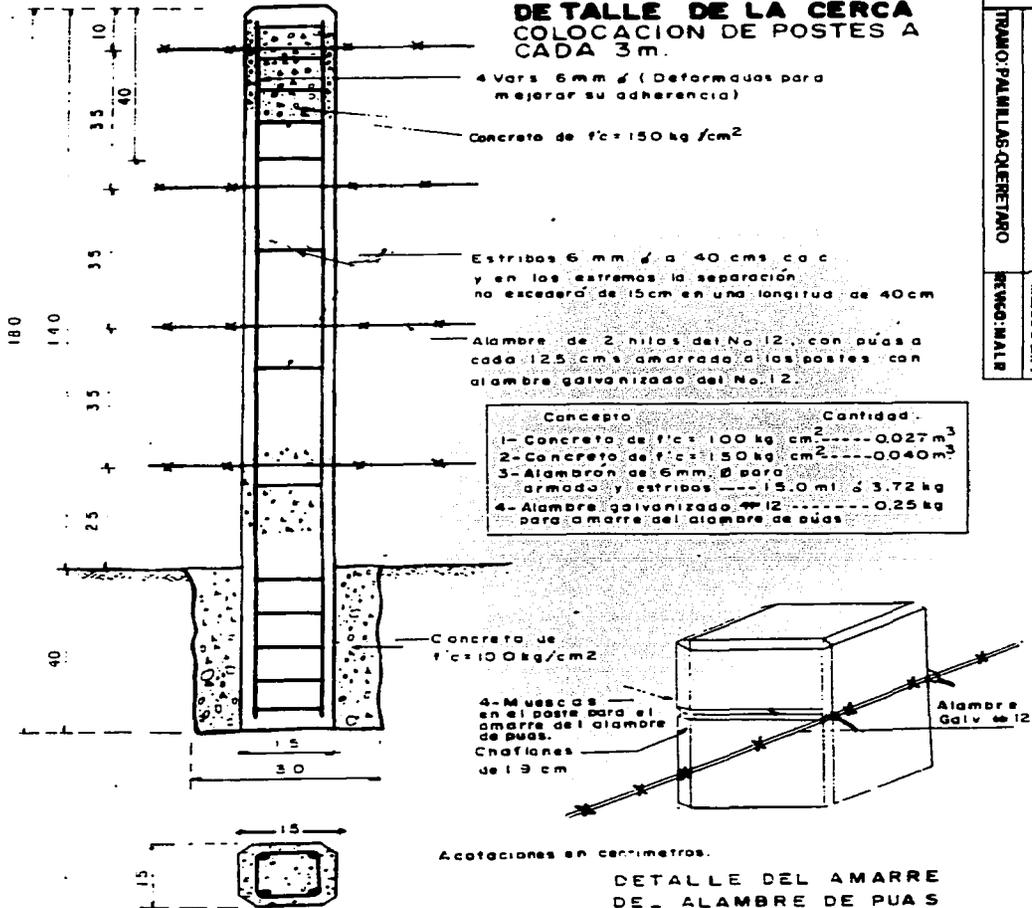
PROYECTO DE MODERNIZACION

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS

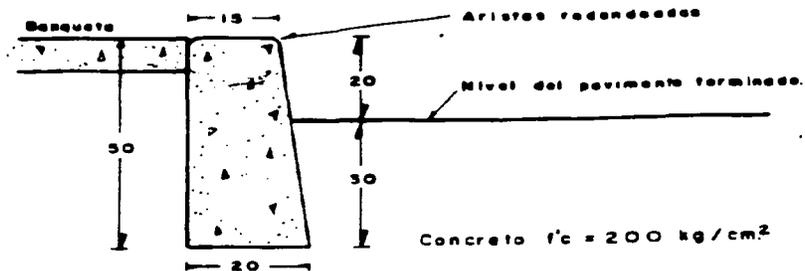


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CARRETERA MEXICO-QUERETARO
TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO
ORIGEN: MEXICO D.F.
REVISOR: MALB

DE TALLE DE LA CERCA COLOCACION DE POSTES A CADA 3 m.

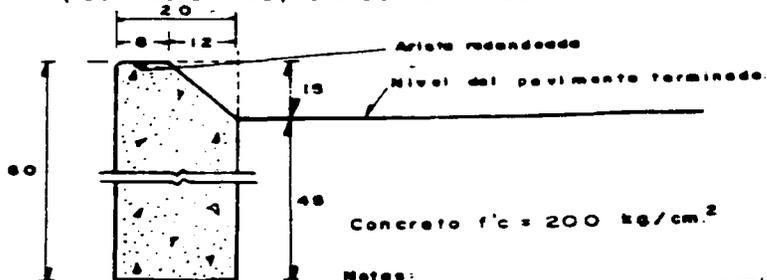


GUARNICIONES EN CAMELONES LATERALES Y BANQUETAS



GUARNICIONES EN CAMELLON CENTRAL

(Con seto vivo, sin barrera de concreto)

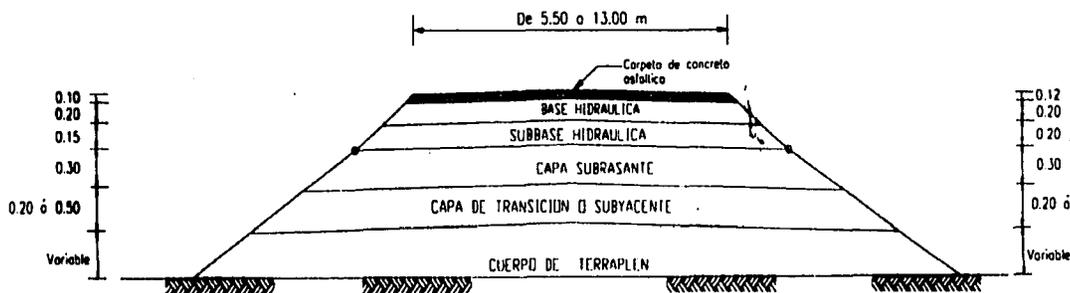


Notas:
En los dos tipos de guarniciones se colocarán juntas de dilatación de corte espacadas de 0.30m. de espesor, cada 6m.
Ambos tipos de guarniciones se colocarán en el sitio.
Dimensiones en centímetros.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	ORIGEN:
CARRETERA MEXICO-QUERETARO	MEXCO D.F.
TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO	MEXCO: M.A.L.R.



SECCION ESTRUCTURAL DE LAS VIALIDADES EN LAS ZONAS DE ENTRONQUES



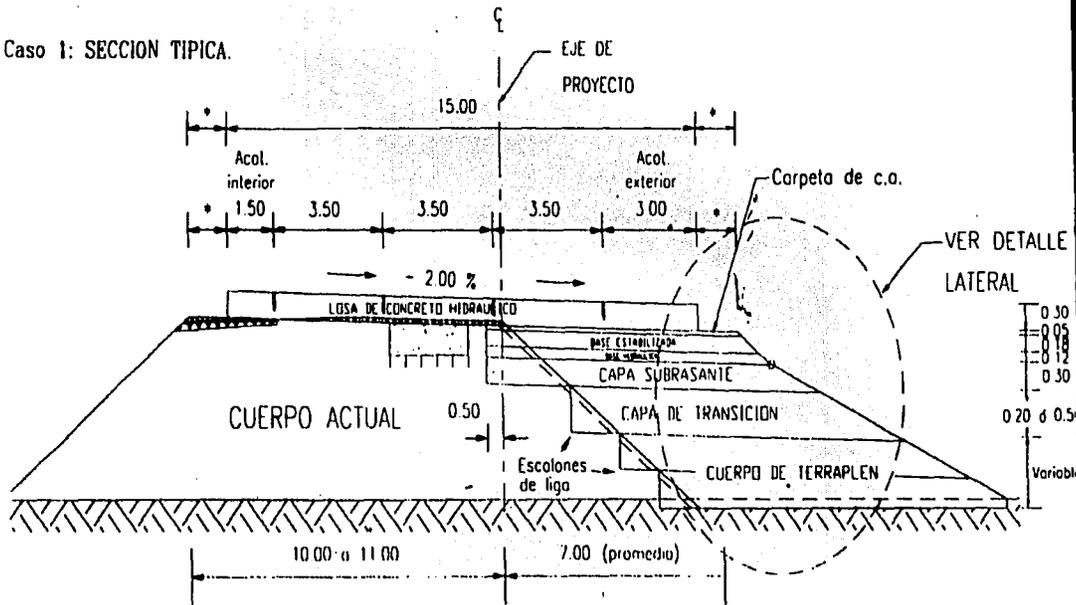
ENTRONQUE	KILOMETRO	RAMAS	LONGITUD
* 1.- TOLUCA	KM 156+736	VARIAS RAMAS	450 m
* 2.- PACHUCA	KM 159+719	41, 42	450 m
3.- PALMILLAS	KM 161+241	22, 11, 12, 21	1210 m
* 4.- SAN JUAN DEL RIO I	KM 167+263	VARIAS RAMAS	2050 m
* 5.- SAN JUAN DEL RIO II	KM 169+000	11, 21, 31, 41	748 m
6.- AMEALCO	KM 170+160	RAMA UNICA	250 m
* 7.- SAN JUAN DEL RIO III	KM 172+120	VARIAS RAMAS	678 m

* ESTRUCTURACION EN BASE AL TIPO DE ENTRONQUE.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
	CARRETERA: MEXICO-QUERETARO	ORIGEN: MEXCO D.F.
	TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO	REVIC: MALR

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS**

Caso 1: SECCION TIPICA.



SIMBOLOGIA

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">  FRESADO DE LA CARPETA EXISTENTE PARA PERFILAR CORONA CON EQUIPO ROTOMILL, EN EL ESPESOR INDICADO POR EL PROYECTO.  RALLADO EMERGICO DE LA CARPETA EXISTENTE MEDIANTE REJILLA EN EL AREA DONDE SE CONSTRUIRA CARPETA DE RENEVIACION (RALLAS DE 2 cm DE ANCHO, 1 cm DE PROF. A CADA 10 cm c.c.c.)  EXCAVACION DE CAJA PARA BACHEO EN ZONAS DEFORMADAS Y CON AGRIETAMIENTO SEVERO EN UNA PROFUNDIDAD MINIMA DE 0.30 m Y DESPERDICIO DEL MATERIAL EXTRAIDO, POSTERIORMENTE SE RELLENARA LA CAJA CON MATERIAL DE CARACTERISTICAS IGUAL A LA BASE HIDRAULICA CON TAMAÑO MAXIMO DE 1 1/2". COMPACTANDO DICHO MATERIAL AL 100% DE SU P.V.M. | <ul style="list-style-type: none">  RECOMPACTACION DEL PISO DESCUBIERTO POR LA CAJA EN UNA PROFUNDIDAD MINIMA DE 0.20 m AL 100% DE P.V.M.  DESPALME DEL TALUD DEL CUERPO ACTUAL (0.15 m MINIMO) Y DEL AREA DE APOYO DE LA AMPLIACION DE ACUERDO CON EL PROYECTO DE TERRACERAS.  CARPETA DE RENEVIACION CON MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE EN EL ESPESOR INDICADO POR EL PROYECTO.  SOBRANCHO PARA PERMITIR EL USO DEL EQUIPO DE PAVIMENTACION DE ACUERDO CON EL PROYECTO DE TERRACERAS. |
|---|---|

SECCION ESTRUCTURAL TIPO (CUERPO DER.)

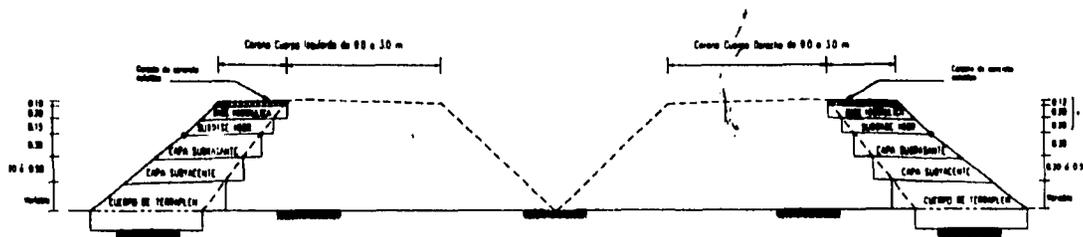
	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
CARRETERA MEXICO-QUERETARTO	ORIGEN: MEXCO D.F.
TRAMO: PALMILLAS-QUERETARTO	REVISOR: MALB

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS**

**SECCIONES EN AREA DE AMPLIACION PARA
LA INCORPORACION EN LA ZONA DE ENTRONQUES**



ENTRONQUE	KILOMETRO	RAMAS	LONGITUD	LADO
* 1.- TOLUCA	KM 156+736	VARIAS RAMAS	450 m	IZQ. Y DER.
* 2.- PACHUCA	KM 159+719	41, 42	450 m	IZQ. Y DER.
3.- PALMILLAS	KM 161+241	22, 11, 12, 21	495 m	IZQ. Y DER.
6.- AMEALCO	KM 170+160	RAMA UNICA	270 m	IZQ.

* ESTRUCTURACION EN BASE AL TIPO DE ENTRONQUE.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CARRETERA: MEXICO-QUERETARO

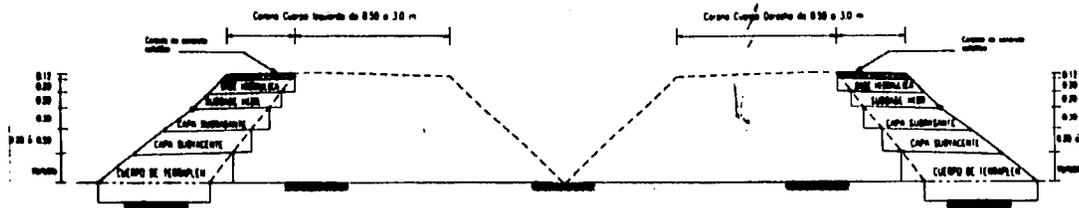
ORIGEN:
MEXC O.D.F.

TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO

RENGO: MAL E

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
 DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
 DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS

SECCIONES EN AREA DE AMPLIACION PARA
 LA INCORPORACION EN LA ZONA DE ENTRONQUES

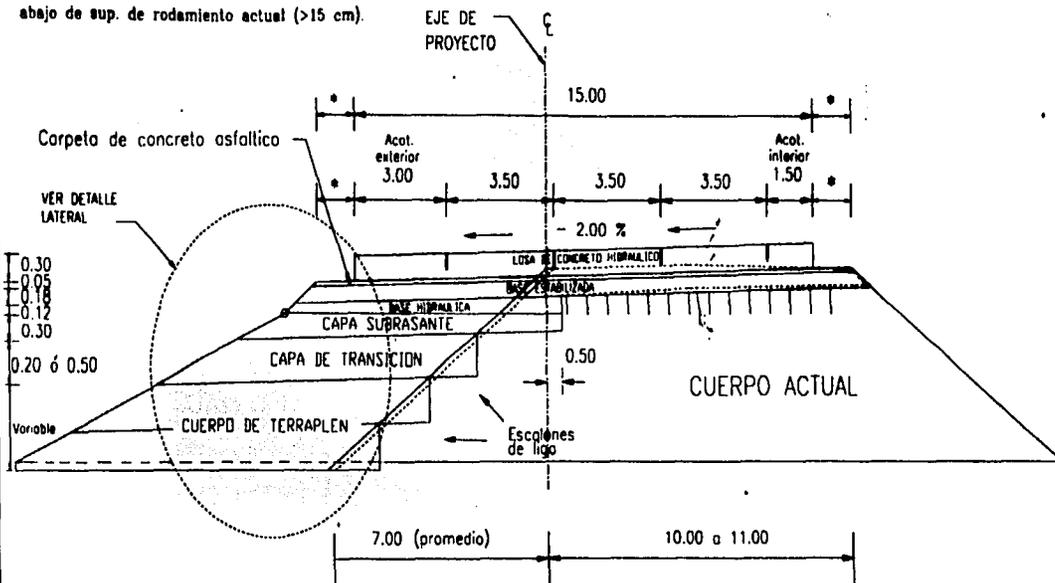


ENTRONQUE	KILOMETRO	RAMAS	LONGITUD	LADO
4.- SAN JUAN DEL RIO I	KM 167+263	VARIAS RAMAS	520 m	IZQ. Y DER.
5.- SAN JUAN DEL RIO II	KM 169+000	11, 21, 31, 41	840 m	IZQ. Y DER.
7.- SAN JUAN DEL RIO III	KM 172+120	VARIAS RAMAS	1027 m	IZQ. Y DER.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
	CARRETERA: MEXICO-QUERETARITO	ORIGEN: MEXCO.D.F.
	TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO	RENGO: MALR

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS**

Caso 3: Línea de desplante de la Losa de C. H.
abajo de sup. de rodamiento actual (>15 cm).



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

SIMBOLOGIA

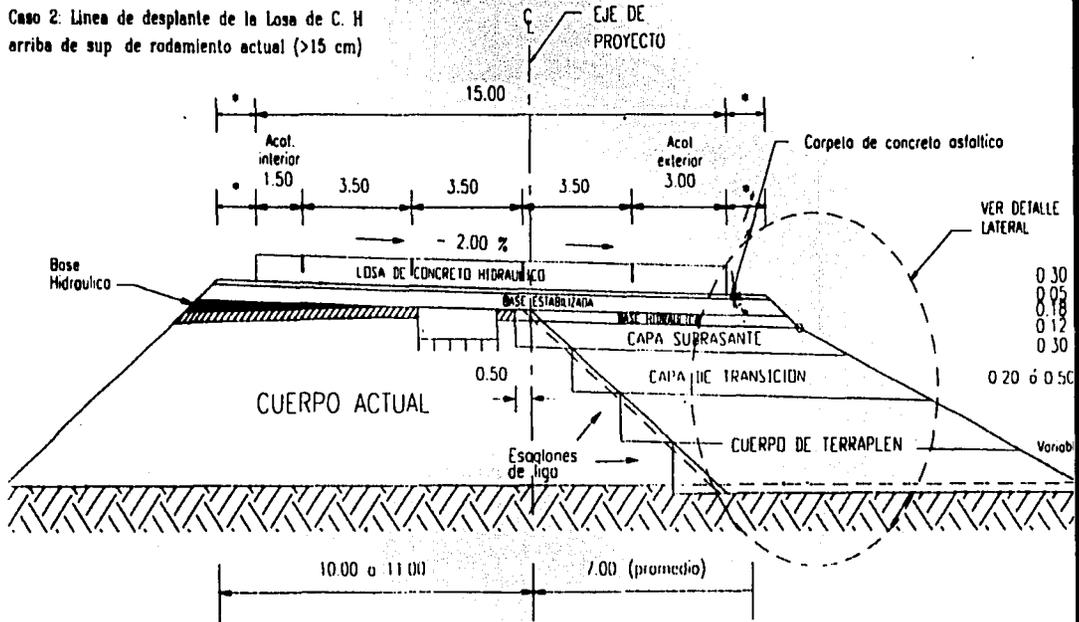
- | | |
|--|--|
| <p> ESCARIFICADO DEL PAVIMENTO ACTUAL EN LA PROFUNDIDAD MARCADA POR EL PROYECTO (EL MATERIAL PRODUCTO DEL RECORTE SE DEBERA UTILIZAR EN LA COMPENSACION DE TERRACERIAS EN TRAMOS SUB-SECUENTES Y/O EN CAPAS DE BASE HIDRAULICA, PREVIA TRITURACION AL TAMAÑO MÁXIMO CORRESPONDIENTE; SU USO SE ACEPTA DE ACUERDO CON LAS PRUEBAS DE CALIDAD CORRESPONDIENTES).</p> <p> CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE AL 95% DE SU PESO VOLUMETRICO MARSHALL.</p> | <p> RECOMPACTACION DE LA CANA DEL AREA ESCARIFICADA AL 100% DE SU PVS.M. EN UNA PROFUNDIDAD MINIMA DE 0.20 m. EN CASO DE EXISTIR CONTAMINACION O SATURACION DE ALGUNA ZONA SE REQUIERE REALIZAR BACHEO DE CAJA.</p> <p> DESPLANTE DEL TALUD DEL CUERPO ACTUAL (0.15 m MINIMO) Y DEL AREA DE APOYO DE LA AMPLIACION DE CUERPO CON EL PROYECTO DE TERRACERIAS.</p> <p> SOBRIANCHO PARA PERMITIR EL USO DEL EQUIPO DE PAVIMENTACION. DE ACUERDO CON EL PROYECTO DE TERRACERIAS.</p> |
|--|--|

SECCION ESTRUCTURAL TIPO (CUERPO IZQ.)
KM 156+288.95 - KM 175+000.00

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
	CARRETERA: MEXICO-QUERETARTO	ORIGEN: MEXC0.D.F.
	TRAMO: PALMILLAS-QUERETARTO	REVISOR: M.A.L.R

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS**

Caso 2: Línea de desplante de la Losa de C. H. arriba de sup de rodamiento actual (>15 cm)



SIMBOLOGIA

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> RALLADO ENERGETICO DE LA CARPETA EXISTENTE MEDIANTE REJILLA EN EL AREA DONDE SE CONSTRUIRA BASE HIDRAULICA Y/O BASE ESTABILIZADA ENCANCAJON DE CAJA PARA BACHEO EN ZONAS DEFORMADAS Y CON AGRIETAMIENTO SEVERO EN UNA PROFUNDIDAD MINIMA DE 0.30 m Y DESPERDICIO DEL MATERIAL EXTRAIDO, POSTERIORMENTE SE RELLENARA LA CAJA CON MATERIAL DE CARACTERISTICAS IGUAL A LA BASE HIDRAULICA CON TAMAÑO MAXIMO DE 1 1/2". COMPACTANDO DICHO MATERIAL AL 100% DE SU PVSIM SOBREAÑO PARA PERMITIR EL USO DEL EQUIPO DE PAVIMENTACION DE ACUERDO CON EL PROYECTO DE TERRACERIAS. | <ul style="list-style-type: none"> RECOMPACTACION DEL PISO DESCUBIERTO POR LA CAJA EN UNA PROFUNDIDAD MINIMA DE 0.20 m AL 100% DE SU PVSIM. DESPALME DEL TALUD DEL CUERPO ACTUAL (0.15 m MINIMO) Y DEL AREA DE APOYO DE LA AMPLIACION DE ACUERDO CON EL PROYECTO DE TERRACERIAS CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE AL 95% DE SU PESO VOLUMETRICO MARSHALL MATERIAL CON CARACTERISTICAS DE BASE HIDRAULICA PARA RENOVACION Y/O PERILLADO PARA RECIBIR BASE ESTABILIZADA |
|--|---|

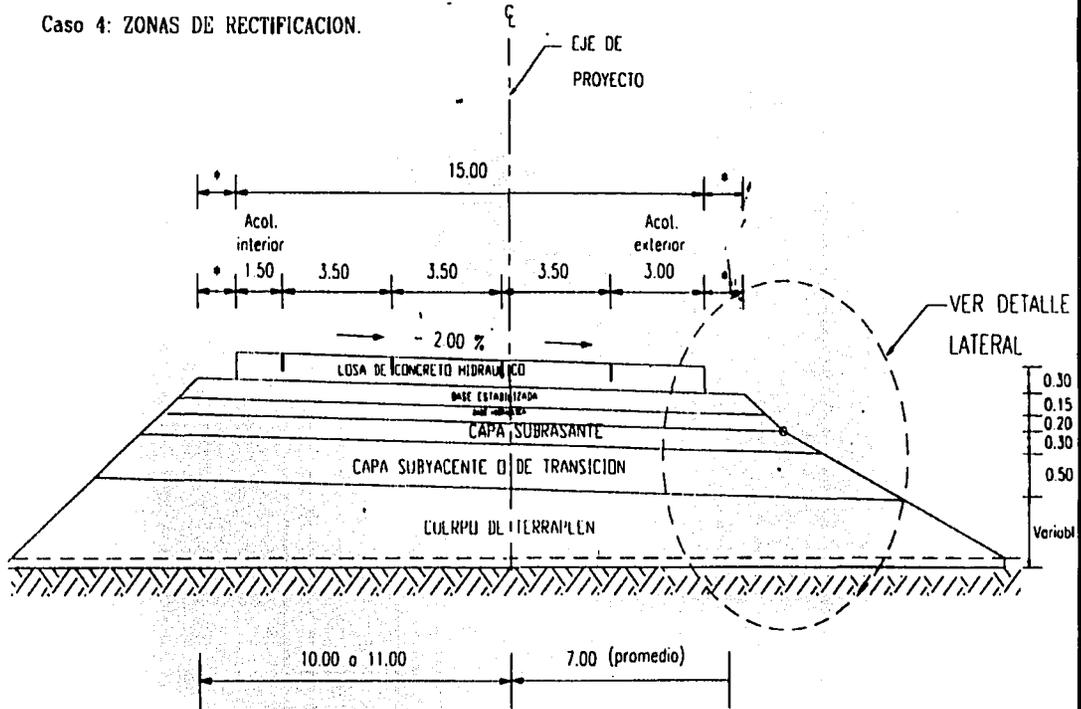
SECCION ESTRUCTURAL TIPO (CUERPO DER.)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
CARRETERA: MEXICO-QUERETARTO	ORIGEN: MEXICO D.F.
TRAMO: PALMILLAS-QUERETARTO	REVO: M A L R

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
 DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
 DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS

Caso 4: ZONAS DE RECTIFICACION.



SECCION ESTRUCTURAL TIPO (CUERPO DER.)

KM 158+565 - KM 158+945

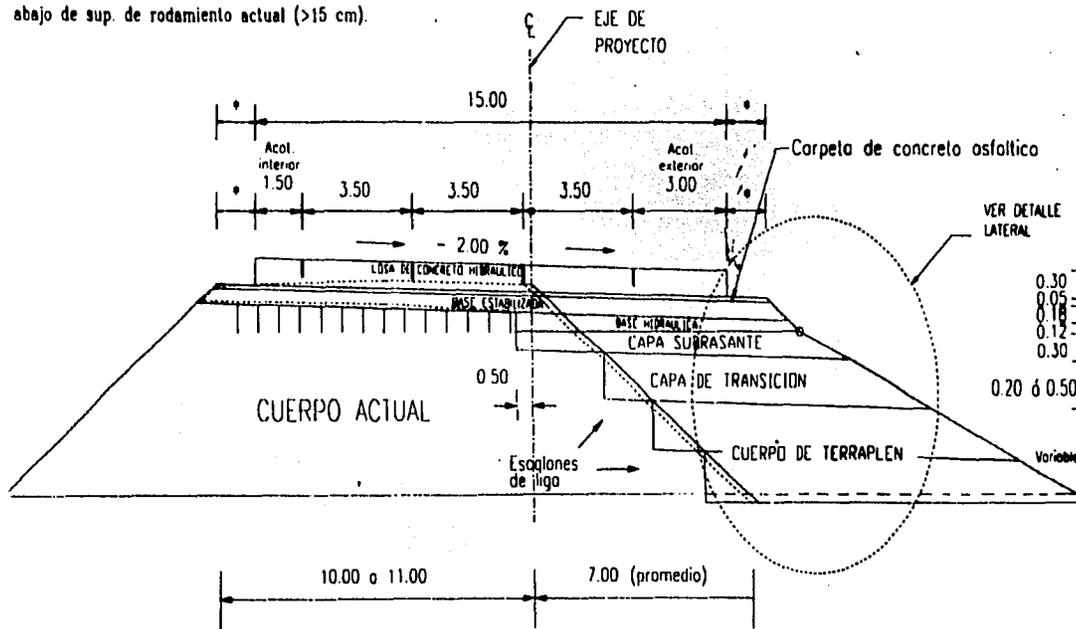
KM 164+525 - KM 164+976



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
CARRETERA MEXICO-QUERETARTO	ORIGEN: MEXCO D.F.
TRAMO PALMILLAS-QUERETARO	RENGO: MALI

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS**

Caso 3. Línea de desplante de la Losa de C. H. abajo de sup. de rodamiento actual (>15 cm).



SIMBOLOGIA

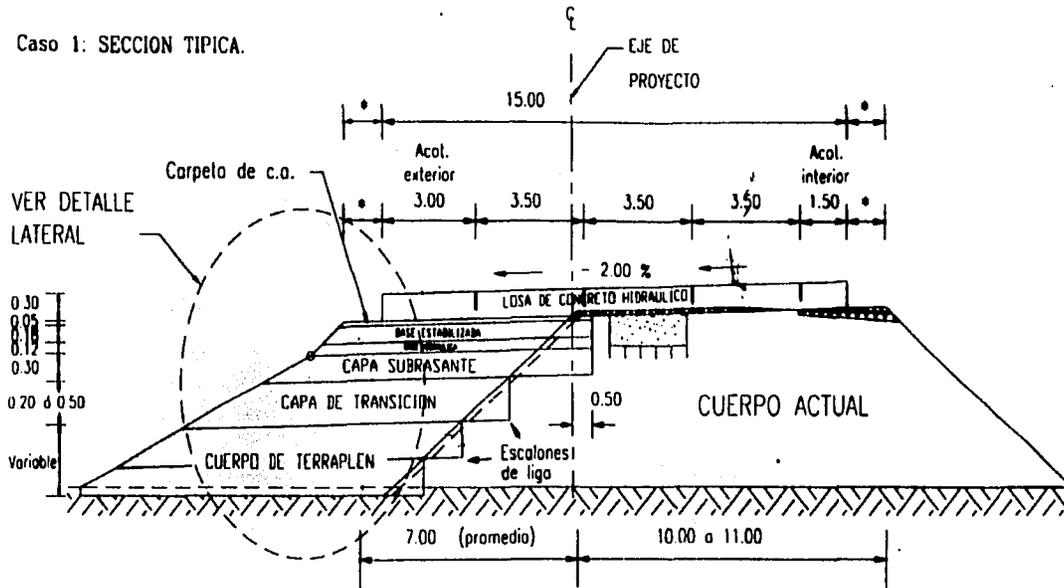
- | | |
|--|---|
| <p> ESCARIFICADO DEL PAVIMENTO ACTUAL EN LA PROFUNDIDAD MARCADA POR EL PROYECTO (EL MATERIAL PRODUCIDO DEL RECORTE SE DEBERA UTILIZAR EN LA COMPENSACION DE TERRACERIAS EN TRAMOS SUB - SECUENTES Y/O EN CAPAS DE BASE HIDRAULICA, PREVIA TRITURACION AL TAMAÑO MÁXIMO CORRESPONDIENTE, SU USO SE ACEPTA DE ACUERDO CON LAS PRUEBAS DE CALIDAD CORRESPONDIENTES).</p> <p> DESPLANTE DEL TALUD DEL CUERPO ACTUAL (0.15 m MÍNIMO) Y DEL AREA DE APOYO DE LA AMPLIACION DE ACUERDO CON EL PROYECTO DE TERRACERIAS.</p> <p> SOBRESANCHO PARA PERMITIR EL USO DEL EQUIPO DE PAVIMENTACION. DE ACUERDO CON EL PROYECTO DE TERRACERIAS.</p> | <p> RECOMPACTACION DE LA CAMA DEL AREA ESCARIFICADA AL 100% DE SU PVS.M, EN UNA PROFUNDIDAD MÍNIMA DE 0.20 m. EN CASO DE EXISTIR CONTAMINACION O SATURACION DE ALGUNA ZONA SE REQUIERE REALIZAR BACHEO DE CAJA.</p> <p> CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE AL 95% DE SU PESO VOLUMETRICO MARSHALL.</p> |
|--|---|

**SECCION ESTRUCTURAL TIPO (CUERPO DER.)
KM 156+288.95 - KM 175+00000**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
CARRETERA: MEXICO-QUERETARTO	ORIGEN: MEXCO.D.F.	
TRAMO: PALMILLAS-QUERETARTO	KILOMETRO: MAL R	

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
 DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
 DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS

Caso 1: SECCION TIPICA.



SIMBOLOGIA

- FRESADO DE LA CARPETA EXISTENTE PARA PERILAR CORONA CON EQUIPO ROTOMILL, EN EL ESPESOR INDICADO POR EL PROYECTO.
- RALLADO ENERGICO DE LA CARPETA EXISTENTE MEDIANTE REJILLA EN EL AREA DONDE SE CONSTRUIRA CARPETA DE RENOVACION (RALLAS DE 2 cm DE ANCHO, 1 cm DE PROF. A CADA 10 cm c.a.c.)
- EXCAVACION DE CAJA PARA BACHED EN ZONAS DEFORMADAS Y CON AGRIETAMIENTO SEVERO EN UNA PROFUNDIDAD MINIMA DE 0.30 m Y DESPERDICIO DEL MATERIAL EXTRAIDO; POSTERIORMENTE SE RELLENARA LA CAJA CON MATERIAL DE CARACTERISTICAS IGUAL A LA BASE HIDRAULICA CON TAMAÑO MAXIMO DE 1 1/2", COMPACTANDO DICHO MATERIAL AL 100% DE SU PYSM.
- RECOMPACTACION DEL PISO DESCUBIERTO POR LA CAJA EN UNA PROFUNDIDAD MINIMA DE 0.20 m AL 100% DE PYSM.
- DESPALME DEL TALUD DEL CUERPO ACTUAL (0.15 m MINIMO) Y DEL AREA DE APOYO DE LA AMPLIACION DE ACUERDO CON EL PROYECTO DE TERRACERAS.
- CARPETA DE RENOVACION CON MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE EN EL ESPESOR INDICADO POR EL PROYECTO.
- SOBRECARGO PARA PERMITIR EL USO DEL EQUIPO DE PAVIMENTACION DE ACUERDO CON EL PROYECTO DE TERRACERAS.

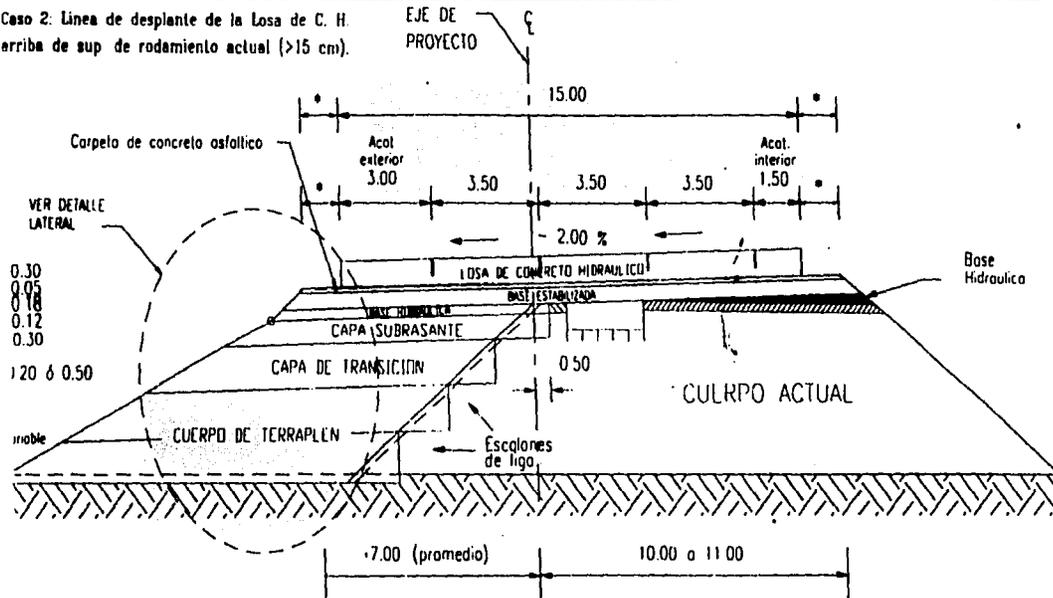
SECCION ESTRUCTURAL TIPO (CUERPO IZQ.)
 KM 156+288.95 - KM 175+00000

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
CARRETERA: MEXICO-QUERETARTO		ORIGEN: MEXC0DF.	
TRAMO: PALMILLAS-QUERETARTO		REVI: MALR	

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS**

Caso 2: Línea de desplante de la Losa de C. H. arriba de sup de rodamiento actual (>15 cm).



SIMBOLOGIA

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> BALLADO ENERGICO DE LA CARPETA EXISTENTE MEDIANTE REJILLA EN EL AREA DONDE SE CONSTRUIRA BASE HIDRAULICA Y/O BASE ESTABILIZADA. EXCAVACION DE CAJA PARA BACHEO EN ZONAS DEFORMADAS Y CON AGRIETAMIENTO SEVERO EN UNA PROFUNDIDAD MINIMA DE 0.30 m Y DESPERDICIO DEL MATERIAL EXTRAIDO. POSTERIORMENTE SE RELLENARA LA CAJA CON MATERIAL DE CARACTERISTICAS IGUAL A LA BASE HIDRAULICA CON TAMAÑO MAXIMO DE 1 1/2". COMPACTANDO DICHO MATERIAL AL 100% DE SU PYSM. SOBREALCANO PARA PERMITIR EL USO DEL EQUIPO DE PAVIMENTACION DE ACUERDO CON EL PROYECTO DE TERRACERAS. | <ul style="list-style-type: none"> RECOMPACTACION DEL PISO DESCUBIERTO POR LA CAJA EN UNA PROFUNDIDAD MINIMA DE 0.20 m AL 100% DE SU PYSM. DESPALME DEL TALUD DEL CUERPO ACTUAL (0.15 m MINIMO) Y DEL AREA DE APOYO DE LA AMPLIACION DE ACUERDO CON EL PROYECTO DE TERRACERAS. CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE AL 95% DE SU PESO VOLUMETRICO MARSHALLI MATERIAL CON CARACTERISTICAS DE BASE HIDRAULICA PARA RENOVACION Y/O PERFILADO PARA RECIBIR BASE ESTABILIZADA. |
|---|--|

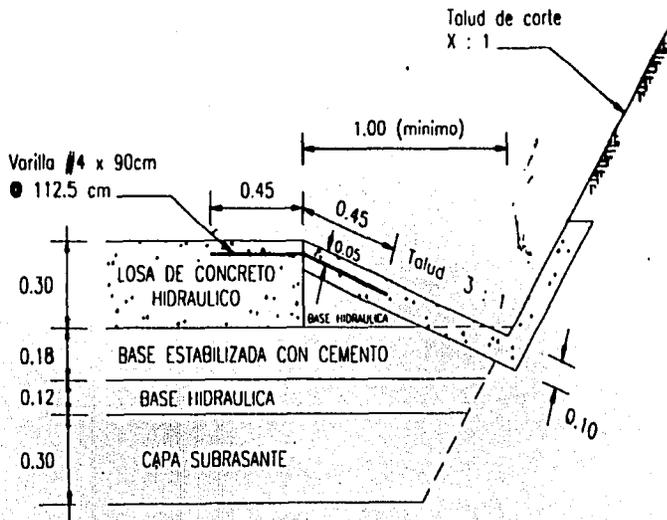
SECCION ESTRUCTURAL TIPO (CUERPO IZQ.)

KM 156+288.95 - KM 175+000.00

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		
CARRETERA: MEXICO-QUERETARO	ORIGEN: MEXCO D.F.	
TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO	REVSQ: MALR	

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS



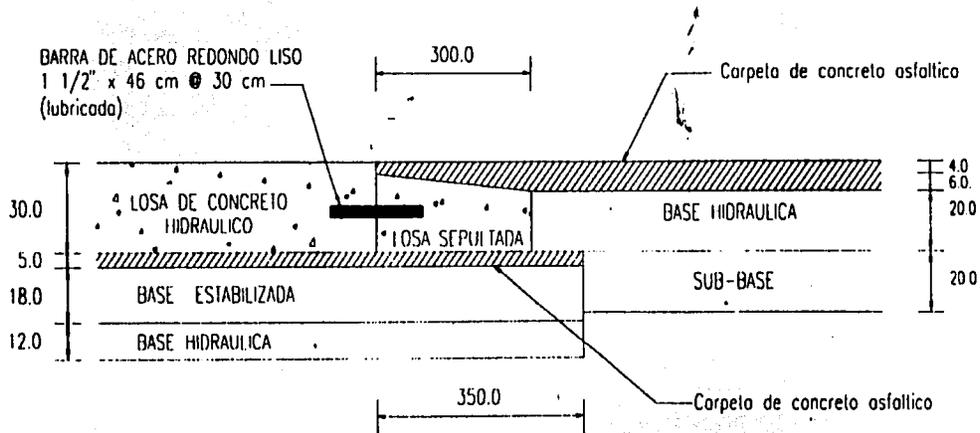
PROYECTO TIPO
CUNETAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
CARRETERA: MEXICO-QUERETARTO	ORIGEN: MEXCO D.F.
TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO	REVO: MALB

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
 DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
 DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



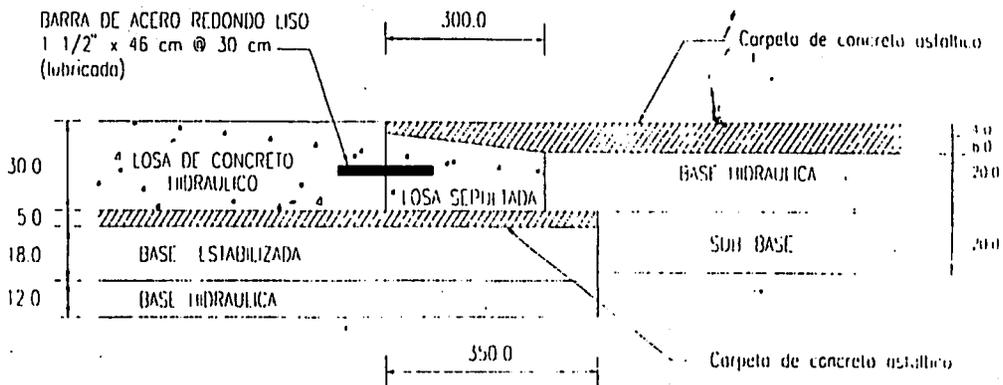
DETALLE DE JUNTA DE CONSTRUCCION
 ENTRE PAVIMENTO RIGIDO Y FLEXIBLE
 ('TRANSICION)

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
	CARRETERA: MEXICO-QUERETARTO	ORIGEN: MEXCO D.F.
	TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO	REVO: MALB



SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
 DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
 DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



DETALLE DE JUNTA DE CONSTRUCCION
 ENTRE PAVIMENTO RIGIDO Y FLEXIBLE
 ("TRANSICION")

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
	CARRETERA: MEXICO-QUERETARO	ORIGEN: MEXCO.D.F.
	TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO	REVO: MALR

CAPITULO IV

PROCESO CONSTRUCTIVO

Para definir el proceso constructivo que se utilizara, es necesario conocer las ventajas y desventajas de las tecnologías de construcción de pavimentos rígidos por lo que analizamos la pavimentación con CIMBRA DESLIZANTE y CIMBRA FIJA, previo a este punto se realizan trabajos preliminares para el desarrollo del proyecto, por lo que también citaremos estos (terracerías, bases estabilizadas, etc.).

Una construcción adecuada y a tiempo, así como un diseño apropiado de las juntas, incluyendo un efectivo sellado, son claves para el buen comportamiento del pavimento. motivo por lo el cual analizaremos las consideraciones para el diseño de juntas.

En este capítulo además mencionaremos el proceso constructivo que se empleara, al igual que las especificaciones para cada ejecución de trabajo, así como especificaciones de materiales y las tolerancias permitidas.

Por ultimo se mencionara la base de pago para cada concepto de trabajo, de uno de los tres frentes.

4 PROCESO CONSTRUCTIVO

Las nuevas tecnologías de construcción de pavimentos rígidos se han desarrollado para cubrir diferentes necesidades y mejorar sustancialmente el comportamiento y confort de los caminos. Estas tecnologías las podemos clasificar de la siguiente manera:

- Pavimentación con Cimbra Deslizante.
- Pavimentación con Cimbra Fija.

Ambos esquemas de pavimentación se pueden utilizar indistintamente, sin embargo, es más común que las Autopistas, Carreteras y Avenidas Urbanas Importantes, utilicen primordialmente la cimbra deslizante y que en pavimentos urbanos en calles se utilice con mayor frecuencia la pavimentación con cimbra fija.

4.1 CIMBRA DESLIZANTE.

En pavimentos de concreto se considera el uso de la cimbra deslizante como la herramienta necesaria para la formación de una figura geométrica consolidada mediante el deslizamiento continuo de una cimbra alrededor de la masa plástica del concreto, la pavimentadora de cimbra deslizante es la maquinaria autopropulsada en la cual va montada la cimbra. El efecto que la pavimentadora hace sobre el concreto se conoce como extrusión, el ejemplo mas simple de extrusión es el realizado sobre la pasta de dientes al salir del tubo bajo presión, es claro que el material toma la forma de la boquilla la cual haría las veces de la cimbra que se desliza.

La pavimentación en concreto con cimbra deslizante debe estar precedida de una planeación minuciosa de la actividad diaria, es muy importante tomar en consideración todos los aspectos que intervienen al momento de planear, para lograr proyectos exitosos. Por lo general este tipo de pavimentaciones manejan grandes volúmenes de concreto y producciones diarias que pueden variar entre los 1,500 m³ a los 2,800 m³. Esta productividad, apoyada con una buena planeación, ha hecho posible optimizar los recursos y eficientar el proceso constructivo.

Antes de iniciar el proceso de elaboración de concreto se deberán estudiar las características de los bancos de materiales disponibles en la zona para su elaboración. Además, deberá de seleccionarse el sitio apropiado para la ubicación de la planta de mezclado central, buscando minimizar las distancias de acarreo tanto de los agregados como del propio concreto elaborado.

Dependiendo de la naturaleza y magnitud del proyecto, su ubicación y las condiciones del lugar, el concreto podrá ser elaborado en: Plantas de mezclado central y plantas dosificadoras.

a) Plantas de Mezclado Central.

Su uso en proyectos de gran magnitud es indispensable, ya que pueden producir en un periodo muy corto, de alrededor de 1.5 minutos, una cantidad de concreto entre los 7 m³ y 9 m³ de manera automatizada.

Estas plantas son generalmente plantas móviles y son diseñadas para lograr un rápido montaje y desmontaje, son de fácil transporte y elaboradas con materiales de altas especificaciones para soportar la carga diaria de trabajo, además su operación es relativamente sencilla y práctica, son de fácil mantenimiento y limpieza, con accesibilidad de sus componentes para mantener una rutina diaria y continua de limpieza.

Los concretos para proyectos carreteros son producidos con las características que se requieren para ser colocados en la vía, siendo solo afectados por el clima y la edad, y son transportados en camiones de volteo ó tipo "Flow Boy".

Dentro de las variedades de plantas de mezclado central, encontramos plantas simples con un sistema de dosificación y una olla de mezclado o las que tienen la inclusión de un tambor premezclador anterior a la mezcladora, este recibe la dosis de materia prima mientras la olla esta descargando el concreto homogeneizado; Son también conocidas como de producción continua en una sola línea; esto implica una mayor capacidad de producción.

Existen plantas de mezclado central "doble mezcladora" que cuentan con dos líneas de carga, con el fin de incrementar la producción, porque permiten hacer más eficiente el sistema de dosificación, pues mientras una mezcladora homogeneiza el concreto, la segunda está siendo dosificada. Un poco más para incrementar la producción, es contar con dos sistemas de dosificación, uno para cada mezcladora, este es el caso de las plantas de doble línea de carga.

Los pasos principales para la habilitación y producción en una planta de mezclado central son:

- Selección del sitio.
- Cimentación de la planta.
- Movilización e instalación de la planta.

Las plantas móviles son transportadas en partes, manteniendo en cada transporte una sección completa de la planta, de tal forma que la instalación se hará manteniendo un orden y secuencia. Normalmente para su instalación se debe contar con una o dos grúas de tamaño suficiente para garantizar el montaje seguro de los equipos (80 – 100 ton) y con el apoyo de personal capacitado y supervisado para hacer un trabajo seguro y estable.

- Básculas (carátulas y celdas).
- Medidores de agua.
- Dosificadores de aditivos.
- Ajuste de las tolerancias de las dosis.
- Ajuste de las señales y la información entregada por las computadoras.
- Ajuste de los controles automáticos.

Para la alimentación de agregados a la planta se debe contar con el número de cargadores frontales que garanticen una operación sin interrupciones. Por lo que se requerirán al menos uno o dos cargadores alimentando dos o más tipos de agregados.

Estas plantas cuentan por lo general con silos horizontales móviles de 150 toneladas de capacidad para almacenamiento de cemento a granel. La ubicación de los silos con respecto a la planta debe ser siempre lateral y buscando reducir al máximo el trabajo necesario para su alimentación a la planta, la descarga de las pipas ya sea a los silos horizontales o al silo de la planta, se hace mientras la planta esta en operación y puede haber varias pipas descargando al mismo tiempo mientras otras están esperando turno.

El agua es necesaria no solo para la mezcla de concreto sino que se requiere una cantidad para el lavado de los camiones y para la limpieza de la planta. La limpieza de los camiones es importante para evitar que el concreto se contamine y para retirar restos de concreto que se hayan quedado adheridos en la anterior descarga. Estas necesidades de la planta pueden requerir aproximadamente de 500 a 600 metros cúbicos de agua potable por día. Es fundamental tener almacenados por lo menos el 20% del consumo diario.

En la producción de concretos para pavimentos se utilizan diversos tipos de aditivos con el fin de lograr las condiciones de mezcla requeridas por el tipo de transporte y la forma de colocación con la pavimentadora. Es usual contar con depósitos móviles de aditivos fáciles de instalar y con capacidad de almacenamiento, lo suficientemente grande, para garantizar el suministro de producto.

Otros elementos que forman parte de la planta son:

- Caseta de operación y generador de energía.
- Área de maniobras en el acceso, espera, carga y salida de los camiones.
- Almacén de insumos, almacén de refacciones y taller.
- Báscula (opcional).
- Laboratorio de planta.
- Área para ubicación de desperdicios.

El tráfico dentro de la planta y el que circula en dirección al frente de pavimentación, debe ser cuidadosamente analizado, para lograr completar adecuadamente el ciclo de suministro de concreto, buscando minimizar los tiempos de recorrido y garantizando la seguridad en planta. Es fundamental desarrollar los patrones de flujo de tránsito interno para todos los vehículos, en ellos se debe separar el tráfico de entrega de materiales y el de acarreo de concreto, además se deben incluir áreas de espera, zonas de lavado de camiones y estacionamientos.

Se deben instalar y construir todos los drenajes que permitan el correcto manejo de las aguas de lavado, limpieza, desperdicios de producción y de servicio humano así como las de lluvia.

b) Plantas Dosificadoras con Camión Revolvedor.

Se recomienda su uso en proyectos de mediana y pequeña magnitud, donde los equipos de colocación no requieran de un gran volumen de concreto, pero que aseguren la calidad en la consistencia y trabajabilidad de la mezcla.

El rendimiento que se puede lograr con estas plantas es de aproximadamente 40 a 50 m³ por hora.

En este caso los materiales que conforman el concreto son dosificados por el operador de la planta directamente en un camión revolvedor que será el encargado de hacer el mezclado adecuado de los elementos para la elaboración del concreto. A este tipo de concreto también se le conoce como Concreto Premezclado y permite producir concretos para pavimentos de alta calidad, que garantizan un rendimiento constante y de buena calidad.

También hay estas plantas del tipo móvil, que se pueden transportar y montar fácilmente para cumplir las necesidades de un proyecto en particular.

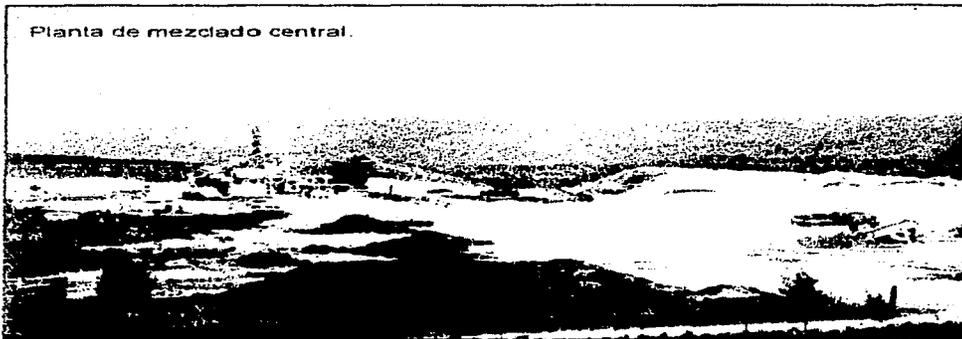


Fig. 4.1.1 Planta de mezclado central

c) Proceso de Pavimentación.

c) 1 Tendido de Línea Guía.

Con la información del cadenamamiento y cotas de los puntos que sirven para la localización de las barras de soporte de la línea, se procede a colocar cada barra o "pin" en su sitio correspondiente. Estos puntos físicos están marcados con elementos como clavos metálicos en trozos de madera y pintados para su fácil reconocimiento, a una distancia de 150 cm del borde de la losa. La barra o "pin" debe quedar a una distancia aproximada de 25 cm del punto proyectado y debe estar clavada lo suficiente dentro de la base para garantizar la estabilidad de la línea ante el paso de la

pavimentadora, la texturizadora y el personal de obra. Esta barra o "pin" debe ser metálica y rígida para soportar los golpes de martillo y el uso prolongado en la obra. La línea que une todos los "pines" se conoce como línea de "pines", la distancia entre estos en un trazo plano debe ser entre 8 y 10 metros, en curvas horizontales o verticales se deben colocar más próximos, con una separación máxima de 5.0 m. La separación de los "pines" no debe ser igual que la de los sensores de altura de la máquina, esto para reducir la sincronización de los movimientos en altura de la pavimentadora. Con el fin de tener mayor precisión en el perfil y en los espesores, es importante tener líneas guías a ambos lados de la pavimentadora.

Después de localizadas todas las barras o "pines" se procede a colocar los brazos que soportan la línea guía, estos brazos son metálicos, con la forma adecuada para no interrumpir el tránsito libre de los sensores de la pavimentadora y la texturizadora sobre la línea guía, también debe contar con el mecanismo para ajuste de altura sobre la barra y de prolongación, para ajustar la distancia de la línea respecto de la barra y permitir localizarla sobre el punto correcto. Los brazos tienen la posibilidad de asegurar la línea guía para que ésta no se suelte al paso de los sensores o por el movimiento del personal cercano.

Los hilos o cuerdas de la línea pueden ser de alambre, cable, nylon tejido, cuerda de poliestireno o cualquier otro material similar, por un lado deben ser suficientemente fuertes como para resistir la tensión a que se someten y deben ser livianos para que no muevan el alineamiento. La razón de la tensión es reducir las catenarias entre apoyos, el tensionamiento se realiza manualmente o con la ayuda de un carrete metálico que se monta sobre barras o "pines" y debe hacerse antes de insertar o montar el hilo en los soportes, a fin de garantizar una tensión uniforme. Es importante usar elementos de seguridad ante posibles rompimientos de la cuerda o hilo, ya que normalmente los brazos metálicos traen rebabas, que es conveniente limar en los puntos de inserción del cable. Si una cuerda se rompe, es señal de que debe ser cambiada, no añadida.

Es importante aclarar que la varilla del sensor de dirección de la máquina, corre contra el interior de la línea guía y la varilla del sensor de altura o elevación corre por abajo, esto para que no haya elementos que desvíen ninguna de las varillas, excepto la misma línea, por otro lado las varillas no deben flexionarla en forma notoria. La longitud de la cuerda que se tensiona no debe ser mayor a 200 metros para reducir errores, el traslape de las cuerdas se debe hacer en una longitud de por lo menos 20 metros.

Una vez tensionada la cuerda o hilo e insertada en el brazo soporte se procede a plomar su punto de contacto con el brazo en el punto físico dado por topografía, esta actividad se inicia soltando las tuercas de ajuste del brazo al "pin" y mediante una plomada de mampostería o un nivel de burbuja se determina el punto al cual debe quedar, para fijar las tuercas. El ajuste en altura se puede realizar simultáneamente y con los datos entregados por la comisión topográfica, soltando la tuerca de ajuste en altura; con ayuda del nivel de burbuja y un flexómetro se determina la altura de cada punto.

Una vez que se tiene instalada la línea guía debe ser verificada visualmente, cualquier duda debe ser verificada y todo error corregido con topografía.

c) 2 Preparación de Equipos.

Todos los equipos que participan en el tirado o extendido del concreto deben ser probados en vacío, antes de iniciar la recepción del concreto.

En el caso de la pavimentadora, deben activarse sus sistemas hidráulicos, tanto motrices como de transporte, compactación y vibrado del concreto, detectando fugas y conductos en mal estado, enfatizando en la respuesta a las indicaciones de los sensores, tanto en altura como en dirección.

Es muy importante prevenir la acción de fragmentos de concreto que no hayan sido eliminados en la limpieza diaria y que obstaculicen el desplazamiento de algunas de las partes de la pavimentadora, se recomienda que la pavimentadora cuente con un sistema neumático que permita el uso de pistolas rompedoras de concreto, para facilitar la limpieza y suministro de agua a presión, de igual forma, debe revisarse la calidad de elementos de acabado del concreto, para verificar el tipo de acabado que pueden ofrecer tanto en textura como en uniformidad. Es muy importante conocer que el perfil de la vía obtenido por la pavimentadora, será el definitivo para el proyecto.

Los vibradores deben estar correctamente localizados, respetando el área frente a cada vibrador o zona de influencia entregado por el fabricante y ajustado de acuerdo a la cabeza hidrostática proyectada en la colocación y el tipo de concreto a colocar, esto último solo influirá de acuerdo a la experiencia del operario o el constructor con mezclas similares.

La apariencia de un vibrador en mal estado es diferente a la de sus vecinos, la alta temperatura alcanzada por el aceite en el interior de un vibrador defectuoso provoca cambios en el aspecto externo. De igual forma se deben identificar fugas de aceite en sus mangueras o uniones. Un vibrador en mal estado definitivamente debe cambiarse, no se debe permitir pavimentar con vibradores defectuosos.

Otros vibradores presentes en la pavimentadora son los vibradores de piso, estos van localizados sobre las placas metálicas (float-pan) que se instalan a la salida del concreto de la placa de extrusado o profile-pan, estos vibradores y las placas que conforman el float-pan deben revisarse tanto en su estado como en su limpieza para garantizar un buen acabado del pavimento.

El float pan igualmente debe tener la posibilidad de dar el bombeo de la vía, su sistema de soporte para que quede "flotando" y el ajuste hidráulico para las pendientes debe ser igualmente revisado.

El dispositivo para formar la corona o bombeo de la carretera se debe probar en todo su conjunto, aunque no todos los proyectos lo requieran, tanto la formación del bombeo a la entrada (en el strike off) como en la placa de extrusado y en las indicaciones que el operador de la máquina recibe de la localización de estos elementos. En la sección de la placa o molde de extrusado (profile-pan), el ajuste se hace liberando cada tuerca de fijación de las planchas de extrusado y alineándolas de acuerdo a la pendiente o pendientes transversales requeridas para una sección, esta alineación se puede hacer mediante un ajuste hidráulico que poseen algunas máquinas o manualmente si no se cuenta con él, y alineando con la ayuda de un hilo o lamina metálica recta, finalmente se asegura todo el sistema.

Se debe recordar que en caso de coronas o bombeos de la losa, otros elementos deben ser ajustados para dar la forma, entre estos se encuentran los vibradores y el tornillo repartidor, este último no tiene ajuste pero se recortan la longitud de los pasos centrales.

El mecanismo hidráulico de ajuste es fundamental para dar la forma correcta en tramos de transición de recto, con doble pendiente, a curvo con una sola y en este sentido debe haber un apoyo continuo de la comisión topográfica del proyecto. Posteriormente se encuentra el final finisher o llana metálica de la pavimentadora, su revisión se hace por la calidad del movimiento en zigzag y el estado de la superficie. Este es un elemento que da un buen acabado siempre que se encuentre en perfecto estado, y el concreto sea muy homogéneo. La decisión de utilizar esta llana ó de dejarle todo el trabajo a las llanas manuales se debe tomar en los primeros metros de pavimento.

En cuanto a los sensores, hay que tener en cuenta que existen muchos tipos de sensores y aunque los más usados en pavimentos son los hidráulicos, existen también eléctricos, láser y sónicos. Cada tipo de sensor debe ser usado e instalado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y por personal de experiencia. Normalmente las pavimentadoras usan cuatro sensores de altura, aunque algunas solo usan dos, con cuatro se puede tener un mayor control del espesor de la losa, sin embargo con dos sensores y un excelente trabajo de topografía y perfilado de la rasante, se pueden lograr muy buenos resultados.

Los sensores de altura están localizados adelante y atrás de la maquina y haciendo contacto en cada extremo con la línea guía. En este caso es importante notar que algunas pavimentadoras traen los sensores traseros unos metros atrás de profile pan o molde de extrusion y en caso de curvas verticales cerradas, se corre riesgo de una variación fuerte del espesor de la losa.

Las varillas de los sensores de altura deben fijarse tan cerca de la horizontal como sea posible y a la misma distancia del equipo a la línea guía, normalmente entre 20 y 25 cm. La presión de la varilla a la línea guía se podrá ajustar cuando sea necesario durante la pavimentación, el sensor tiene o debe tener una contrabalanza a fin de ajustar la presión y, con esta, y el ajuste del tornillo amortiguador se controla la "sensibilidad" del sensor, con el fin de reducir los movimientos bruscos y continuos.

La separación de los pines de la línea guía no debe corresponder a la separación entre sensores, con esto se logrará que los dos sensores no estén al mismo tiempo en valles o en picos de las catenarias, formadas en la línea guía, y mejorar así el perfil de la vía.

En cuanto a la texturizadora se debe probar la respuesta de los sensores a las variaciones de la línea guía, el estado de los elementos de texturizado (tanto yute como peine de cerdas metálicas o plásticas según sea el proyecto) y el estado de los orificios de las espreas o aspersores de membrana de curado, también el estado del depósito de membrana y de los tubos conductores.

Otros equipos que deben ser probados son las cortadoras de discos para el concreto y los reflectores de emergencia. En algunos proyectos se cuenta con equipos esparcidores o colocadores del concreto, para facilitar la labor de la pavimentadora y lograr un mayor rendimiento.

c) 3 Inicio de los Trabajos.

Antes de iniciar la jornada de pavimentación deben revisarse todas las medidas de seguridad y tomar todas las precauciones para el personal de la obra.

Para iniciar se deberán revisar los siguientes puntos:

- Revisión de todo el equipo involucrado en la pavimentación.
- Que se cuente con una distancia aceptable de tramo a pavimentar.
- Disponibilidad de materiales, tanto en volumen como en calidad.
- Reservas en almacén y en obra.
- Equipos de ensayo en buen estado y con personal disponible.
- Herramientas necesarias para la colocación del concreto:
 - flotadores manuales
 - aspersores.
 - vibradores manuales
- Comunicación por radio entre el frente de trabajo y planta.
- Equipo y agua suficiente para humedecer la rasante.
- Colocación de la línea guía.
- Verificar la junta fría y la correcta colocación de las pasajuntas.
- Revisar el pronostico del tiempo.

Es importante tener la base, o rasante, saturada para recibir el concreto, las bases con falta de agua pueden absorber agua del concreto y reducir la hidratación del cemento ocasionando bajas resistencias.

c) 4 Pavimentación con Cimbra Deslizante.

Las pavimentadoras modernas cuentan con un mecanismo para manejo del concreto, este se puede dividir en recepción y acomodamiento, vibrado y compactación, y perfilado o extrusado.

La distribución del concreto al frente de la pavimentadora es el primer contacto entre el concreto y esta, y se logra mediante un tornillo sinfin o gusano que, controlado por el operador, permite transportar el concreto en el frente de la máquina para repartirlo y dosificarlo hacia los lados de la maquina, este trabajo es complementado posteriormente por el "tamper bar".

Algunas pavimentadoras cuentan con un receptáculo entre el gusano y el panel o plancha de cimbrado, donde están los vibradores, que se denomina caja de vibradores o de lechada. Esta caja esta cerrada frontalmente por el strike-off y, eventualmente, la viga estructural o chasis de la maquina. En las máquinas que cuentan con caja de lechada está, inmediatamente después del tornillo repartidor, una lámina metálica horizontal o strike-off que sube o baja de acuerdo a las indicaciones del operador para ampliar o reducir la cabeza estática del concreto dentro de la máquina, y que se antepone a la viga frontal estructural. El strike-off debe ser ajustado a las condiciones de pendiente transversal de la vía, bombeo o corona.

En las pavimentadoras de cimbra deslizante encontramos dos tipos de vibradores, los primeros, o internos, se localizan en la caja de vibradores o de lechada, los segundos, o vibradores de piso, se usan para mejorar el acabado.

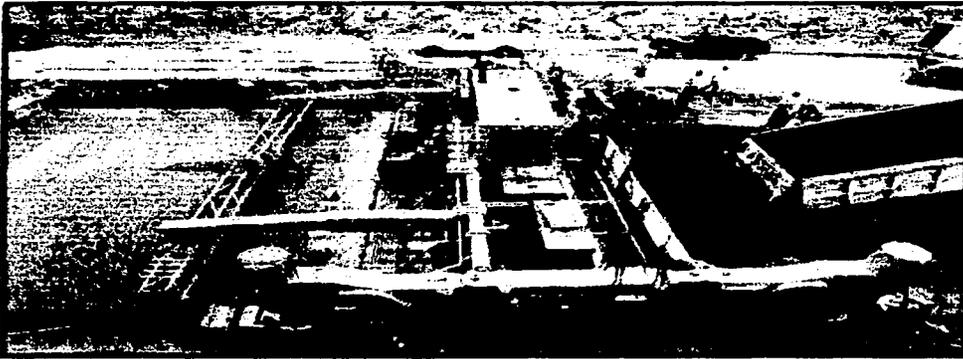


Fig. 4.1.2 Pavimentadora de cimbra deslizante.

En las pavimentadoras que no cuentan con caja de lechada están los vibradores inmediatamente después del tornillo repartidor y antes del molde o placa extrusora.

En las zonas adyacentes a los vibradores excéntricos internos, o zona de influencia de los vibradores se produce la energización, esto es, la movilización de las partículas del concreto, las burbujas de agua y aire suben a la superficie explotan y el volumen de la mezcla se reduce, facilitando su entrada al panel de extrusado.

Los vibradores tienen dos funciones, consolidar el concreto y hacerlo fluido para que pase por el molde o caja extrusora. Físicamente, el efecto deseado es lograr la frecuencia de resonancia de las partículas dentro de la mezcla, o sea que se exciten y se junten logrando eliminación de vacíos. Esta frecuencia es diferente para cada tamaño de partícula y diferente para cada gradación en particular y del diseño de la mezcla.

Un vibrador es un émbolo que gira en el interior de un tubo o cubierta, el émbolo está apoyado en el extremo del que se produce el giro, quedando el otro extremo o cabeza libre, el giro libre de la cabeza (envuelto en aceite) produce la vibración. La energía transmitida por el vibrador (fuerza centrífuga) es directamente proporcional al peso de la cabeza y a la velocidad de rotación, la velocidad es la única variable que se puede controlar y se hace variando la velocidad de giro del motor del vibrador, esta velocidad se mide en VPM y se controla desde el puesto de mando de la pavimentadora. En general la energía requerida varía entre 7.000 y 9.000 VPM.

Con la variación de la energía transmitida por el vibrador varía la zona de influencia. Otras variables que afectan esta zona son:

- La velocidad de la pavimentadora.
- La calidad del montaje aislado del vibrador.

-Las distancias entre la cabeza y el punto de aseguramiento al tubo soporte.

La separación de los vibradores debe hacerse de tal forma que haya un pequeño traslape de las zonas de influencia, el posicionamiento de los vibradores en el tubo soporte debe hacerse de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes y de la experiencia con el tipo de mezcla a usar.

La distancia de traslape entre las zonas de influencia es normalmente de 50 a 75 mm, no traslapar implica segregar la mezcla. Debe tenerse especial cuidado con el vibrado en el borde de la losa.

Cualquier falla en un vibrador se manifestará inmediatamente en el aspecto de la losa de concreto, en este caso debe apoyarse en vibradores manuales y ampliando la zona de influencia de los adyacentes.

El vibrado no es la solución para todos los problemas de la mezcla e incluso pueden ser causa de problemas en la mezcla, excesiva vibración causara segregación y reducción del contenido de aire, poca vibración causara un mal acabado y un volumen alto de vacíos reduciendo su resistencia.

En este mismo receptáculo se encuentra el tamper-bar, barra o cuchilla compactadora, característico solo de algunas pavimentadoras, que se usa para profundizar fragmentos de grava que hayan quedado expuestos superficialmente, aunque para algunos fabricantes su función es mantener el movimiento dentro de la caja de vibradores y de esta forma mantener un flujo continuo y no se pegue a las paredes.

Finalmente encontramos la placa extrusora del concreto (Profile pan), en la cual el concreto toma la forma de la losa, en esta sección es importante el perfecto alineamiento de las planchas que la conforman y el perfecto estado, libre de abolladuras o deformaciones que incidan en el perfil, por insignificantes que parezcan.

La cimbra deslizante de la máquina se encuentra en los lados, misma que los elementos superiores confina al concreto. Se puede dividir en dos secciones, una que confina el concreto para lograr que el gusano lo pueda exparcir y otra que va desde el strike-off hasta la salida posterior del concreto. La primera normalmente va siendo arrastrada sobre la base o puede ser de altura variable según la variación del perfil del suelo; La segunda puede ser completamente levantada para facilitar su limpieza y puede ser ajustada mediante pernos para mejorar la acción de los vibradores laterales y permitir un hombro de losa con un mejor terminado.

El resultado de un buen trabajo con el equipo de cimbra deslizante es una forma geométrica y superficie uniforme tanto en las dimensión horizontal como en la vertical, para esto es fundamental un suministro continuo y homogéneo del concreto y lograr movimientos uniformes de la máquina.

Las pasajuntas pueden ser colocados con su montaje en canastas metálicas que garanticen su correcta disposición en la losa de concreto y que permitan un libre movimiento de las losas de concreto o pueden insertarse mediante elementos mecánicos que aseguren su correcta posición.

Los pasajuntas deben haber sido bañadas con grasa, diesel o pintura para evitar que se adhieran al concreto. La canasta se debe colocaren el lugar indicado por la comisión de tendido de la línea guía y debe ser fijada a la base mediante pernos de fijación, bien sea con ayuda de pistola de

impacto o mediante golpes de martillo, también se pueden usar ganchos metálicos o laminas y clavos.

Es importante garantizar la correcta fijación de la canasta y evitar su movimiento ante la presión de la máquina, si la canasta se mueve al momento de colocar el concreto, la losa no tendrá la libertad para moverse longitudinalmente, lo que puede ocasionar fisuramientos y fracturas de los bordes de la misma.

Los insertadores automáticos de barras hacen el trabajo completo de localización de barras después del vibrado y antes de que se le dé el acabado a la losa, reduciendo costos al eliminar el esqueleto de la canasta y evitando el riesgo de su movimiento por la presión de la pavimentadora.

Es importante la labor de dirección del jefe de pavimentación y su continua comunicación con el operador de la pavimentadora, para lograr una buena repartición del concreto y un movimiento mínimo de las canastas pasajuntas. En esta tarea juega un papel muy importante la labor de los coordinadores de descarga y de colocación de canastas, y sus indicaciones deben ser conocidas por todos los conductores y personal que se localice en este sector y supervisadas por el operador de la pavimentadora y el jefe de pavimentación.

La seguridad se impondrá en todo momento, es prudente considerar alarmas de retroceso, procedimiento de descarga (orden de entrada, salida y señales para avance y parado) y control del tráfico para la entrada y salida de camiones de vías transitadas al sector de carga entre otros.

Cuando se tiene tirada y posicionada la línea guía en una longitud importante al frente de la pavimentadora, esta se puede soltar de los brazos en un tramo de 50 metros y tenerla en el piso sin distensionarla, asegurada por dos elementos pesados (grupo de barras de amarre), para facilitar la entrada y salida de los camiones al tramo.

Las operaciones de pavimentación del día se deben iniciar con la producción de dos o tres bachadas, que por el tipo de equipos usados en estos proyectos corresponden a dos o tres camiones. El concreto de estos camiones debe ser revisado por el laboratorio con las pruebas de revenimiento, contenido de aire y peso volumétrico para ser enviados a la obra, en este momento se inicia la labor de pavimentación propiamente dicha, es decir, se continúa produciendo concreto y enviándolo al frente de pavimentación.

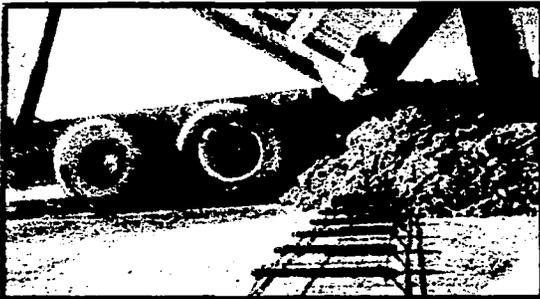


Fig. 4.1.3 Pasajuntas colocadas manualmente.

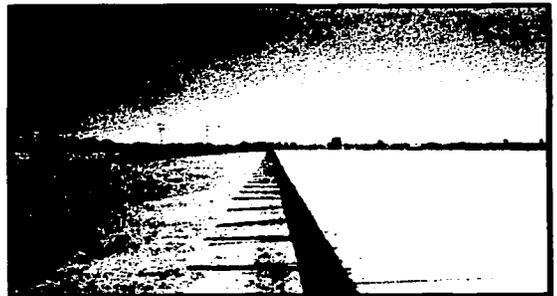


Fig. 4.1.4 Descarga al frente de la pavimentadora.

El concreto, una vez que llega al frente de pavimentación, debe ser revisado, primeramente por el jefe de pavimentación, para determinar rápidamente si se puede descargar y, de ser así, una vez descargado, deberán ser revisado por el laboratorio, de esta forma se determina la pérdida de trabajabilidad que ha sufrido el concreto durante el viaje y se procede a ajustar la producción de la planta.

La uniformidad es el factor mas importante para obtener un buen trabajo, si no se cumple la uniformidad en todas las fases, se dificultará obtener un buen perfil.

La distancia de la planta de producción al sitio de colocación es un factor que determina una entrega oportuna de concreto a la pavimentadora. El tiempo de viaje hacia y desde la entrega del concreto se determina también por las condiciones del tráfico y del estado de la vía y esto debe tenerse en cuenta para ajustar el numero de unidades de transporte.

Es práctica común que los primeros viajes de concreto, este se envíe ligeramente alto en revenimiento para después ir reduciéndolo. Este concreto que se conoce como concreto de carga de la pavimentadora se puede enviar con 8 cm para ajustar en 6 ó 5 cm, con el fin de sobreponerse a pérdidas de trabajabilidad mayores a las esperadas y es válido si se tiene en cuenta que es concreto que será prácticamente colocado a mano pues la máquina no habría podido llenar sus cimbras completamente y es necesario llevar concreto en un cargador para completar el faltante.

Como los dos o tres primeros viajes normalmente no son suficientes para llenar las cimbras y cajas de la pavimentadora, y lograr una carga hidrostática dentro de la máquina, es conveniente contar con una cargador o retroexcavadora para introducir y repartir el concreto frente al gusano de la pavimentadora.

Los puntos a cuidar en esta etapa son:

- Controlar la trabajabilidad de la mezcla.
- Mantener la relación Agua / Cemento de diseño.
- Ajustar los volúmenes suministrados en cada viaje.
- Verificar el espesor colocado.
- Evaluar la calidad de la superficie dejada por la pavimentadora.
- Ajustar la velocidad de avance del tren con respecto al suministro de concreto (recordar que los equipos de pavimentación en lo posible no deben parar).
- Iniciar la rutina de calculo de rendimiento.

Las barras de amarre prácticamente se instalan en todas las juntas longitudinales, la altura de colocación es a la mitad del espesor de la losa, incluso en las juntas machimbradas. En construcción con cimbra deslizante estas barras pueden ser colocadas mediante extensiones ó silletas, antes de la colocación del concreto o bien insertadas en el concreto en estado plástico, con un insertador automático.

Los insertadores automáticos de barras de amarre vienen acondicionados en la parte posterior de la pavimentadora, requieren de una placa flotante que borre la huella de la inserción, cuando el insertador esta en el centro de la losa y el pavimento tiene bombeo, esta placa flotante debe tener la forma para no dañar el ángulo del bombeo.

Las barras de amarre que se utilizan para las juntas longitudinales de carriles adicionales o sobrecanchos, normalmente se instalan con insertadores laterales automáticos o manuales; se acostumbra colocar las barras dobladas para ser enderezadas una vez que el concreto esté endurecido.

También se pueden colocar estas barras manualmente a la salida de la pavimentadora, obviamente previniendo al personal de posibles accidentes con las barras laterales, es probable que al proponer esta practica el calculista solicite una longitud mayor de anclaje de la barra.

c) 5 Acabado Superficial del Pavimento.

Es el proceso para obtener la textura de a superficie del concreto acorde a las especificaciones del proyecto, homogénea, segura y durable, mediante técnicas sencillas y de rápida ejecución usando las herramientas adecuadas. Primero se realiza el afine, para conseguir una superficie adecuada para obtener un buen texturizado, resistente a la fricción del tráfico y sin afectar la geometría dejada por el extrusado. No se debe hacer el terminado mientras se observe la presencia de agua en la superficie.

Para lograr un buen acabado existen en el mercado multitud de herramientas montadas en la pavimentadora, en montaje independiente y guiadas con la línea guía de la pavimentadora o

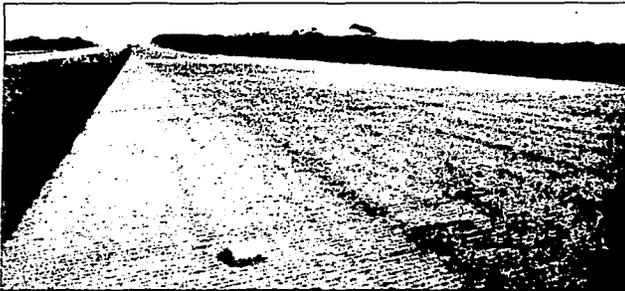


Fig. 4.1.5 Acabado final de un pavimento terminado.

manuales, el éxito en el intento de obtener un buen acabado radica en buena parte, en el criterio de elección del equipo mas adecuado, las variables mas comunes son el tipo de concreto, el clima reinante y la velocidad y condición del concreto dejada por la máquina.

En cuanto a herramientas manuales se cuenta con una gran variedad y su uso depende de las condiciones del proyecto.

En pavimentaciones con cimbra deslizante es necesario usar llanas de gran dimensión, para cubrir un gran espacio y mantener el ritmo y la velocidad de la pavimentadora; normalmente son llanas a las que se les monta un largo mango para cubrir todo el ancho de la carretera desde uno sólo de los lados, en la unión entre mango y llana se instala un pivote que permite ajustar el ángulo de ataque y evitar que penetre la losa. Sin embargo es muy importante aclarar que su diseño incluye un peso adecuado para obtener un acabado acorde con su uso, por esto se recomienda no incluir mangos de materiales distintos de su diseño, ocasionalmente es necesario adicionar algún elemento metálico a la llana para incrementar su peso y obtener un mayor efecto; también se recuerda que

obtener un buen acabado en el borde contrario al usado por el operario o finishero es difícil, si el ancho de la losa es importante, por esto se recomienda un finishero a cada lado como mínimo.

Las llanas metálicas más comúnmente usadas son las tipo perfil acanalado y tratadas con tungsteno o material similar, se conocen como llanas canal o "aviones" si su dimensión es importante.

Llanas metálicas de acabado final. Acabado final de un pavimento terminado. El trabajo del finishero termina cuando obtiene una superficie pareja y sin marcas de la placa extrusora ni de las llanas.

El proceso experimentado superficialmente por el concreto, una vez que sale de la pavimentadora, es la liberación del agua de sangrado y, posteriormente seca esta superficie, adquiere un tono mate que indica el momento del texturizado. Los concretos para pavimentos sangran poco o nada y una buena labor de vibrado deja una superficie con suficiente mortero como para que no haya ninguna dificultad en obtener un buen acabado, el exceso de vibrado creará superficies con exceso de mortero, lo que a su vez ocasiona baja resistencia a la fricción.

Normalmente la primera pasada de la llana abre poros y permite salida de pequeñas cantidades de agua y aire presente cerca a la superficie, la segunda pasada o el uso de otra herramienta busca cerrar los poros abiertos y sacar a la superficie granos de arena, esta otra herramienta puede ser una llana fina tipo fresno.

Un buen diseño de concreto debe tener en cuenta la producción de suficiente mortero superficial que de un buen acabado.

c) 6 Microtexturizado Longitudinal.

Buena parte de la seguridad que una carretera nos pueda ofrecer esta dada por la correcta ejecución de esta etapa, la distancia de frenado de los vehículos tiene relación directa con el grado de adherencia o fricción que hay entre la superficie de contacto neumático - concreto.

El microtexturizado se realiza corriendo una tela de yute húmeda a lo largo del tramo de concreto una vez que se ha logrado un buen afinado y que la superficie esta seca para que permita la presencia de granos de arena después del paso de la tela. Las texturizadoras vienen equipadas con soportes y ganchos para colgar la tela, el soporte puede bajar para que entre en contacto con la superficie y subir cuando se realiza otra actividad.

Las variables a controlar son: la humedad de la tela, el tiempo de aplicación y la velocidad de aplicación. El exceso de humedad se percibe con la presencia de burbujas de agua detrás del paso de la manta, por el contrario la falta de humedad causa levantamiento de concreto. El agua se puede aplicar, rociando con la ayuda de una bomba manual. Algunas texturizadoras vienen acondicionadas con irrigadores que mantienen húmeda la tela.

El tiempo de aplicación debe ser al cambio de tono del concreto de brillante a mate, la velocidad debe ser suficiente para no levantar concreto. Otros aspectos que deben tenerse en cuenta es la limpieza de la tela y procurar que el tejido sea continuo y no coser tramos de yute para dar la

longitud, por un lado una tela con fragmentos de concreto adheridos marcara excesivamente en el concreto y lo mismo ocurre con las costuras de la tela.

Alternativamente se puede utilizar pasto sintético o cuero para realizar esta actividad en sustitución de la tela de yute.

c) 7 Macrotexturizado Transversal.

El macrotexturizado o texturizado transversal que normalmente se realiza con peine metálico, permite la rápida evacuación de agua de la superficie del pavimento, permitiendo el contacto entre los neumáticos de los vehículos a alta velocidad y el pavimento y evitando el peligroso acuaplaneo. El proceso constructivo se logra mediante el uso de una texturizadora. Los sensores de la texturizadora usan como referencia para su movimiento la línea guía de la pavimentadora, lo que le permite obtener un correcto manejo de los traslapes y separaciones de las líneas, sobre todo en las curvas horizontales.

Las variables a tener en cuenta son el tiempo de aplicación, la profundidad del texturizado y la separación de las cerdas.

El tiempo de aplicación depende de la experiencia del operador de la texturizadora bajo el control del jefe de pavimentación, sin embargo una idea es que el microtexturizado avanza unos cien metros y al regreso a su punto inicial la superficie estará lista para recibir el peine, debe evitarse su aplicación tardía ya que obligaría a una mayor presión o profundidad, lo que terminaría sacando agregado del concreto y dejando un acabado irregular.

La profundidad de texturizado debe estar entre los 3 y los 6 mm. Que es suficiente como para que se marque el peine, pero de tal forma que el agregado grueso no se levante o se mueva y no se marque en exceso.

Es importante utilizar peines de texturizado en buen estado, con todos sus dientes, limpios y bien alineados, para no producir un efecto irregular.

c) 8 Curado del Concreto.

Esta operación se efectuará aplicando en la superficie una membrana de curado a razón de un litro por metro cuadrado (1 lt/m²), para obtener un espesor uniforme de aproximadamente un milímetro (1 mm), que deje una membrana impermeable y consistente, de color claro, que impida la evaporación del agua que contiene la mezcla del concreto fresco.

La aplicación de la membrana de curado se hace mediante la irrigación de compuestos curadores sobre la losa de concreto fresco, con ayuda de la texturizadora – curadora.

Este trabajo se hace en la texturizadora, donde hay un depósito de membrana de curado y conductos que llevan el líquido hasta los aspersores o espreas.

Los depósitos de las texturizadoras algunas veces cuentan con agitadores de aire o agitadores de paletas, si el equipo no tiene estos accesorios debe agitarse manual y continuamente, esto para evitar taponamientos de los conductos y las espreas.

Los compuestos curadores mas adecuados tienen un pigmento de color blanco, esto les da la ventaja de no concentrar el calor en el concreto y permiten distinguir las zonas ya tratadas y la uniformidad de su aplicación.

El compuesto curador se aplica inmediatamente después de efectuarse el texturizado transversal, aunque en ocasiones y con el fin de proteger el concreto de la acción del sol y vientos fuertes rasantes, se puede hacer en dos etapas aplicando la primera antes del microtexturizado y la segunda después de el texturizado transversal. Hay que realizar la aplicación de la membrana también sobre los bordes verticales de la losa.

El espesor de la membrana podrá reducirse si, de acuerdo con las características del producto que se use, se puede garantizar su integridad, cubrimiento de la losa y duración, de acuerdo con las especificaciones del fabricante de la membrana de curado.

Durante el tiempo de endurecimiento del concreto, deberá protegerse la superficie de las losas contra acciones accidentales de origen climático, de herramientas o del paso del equipo o seres vivos.

c) 9 Modulación de las Losas.

La modulación de las losas es proveer la geometría de tableros diseñada por el Especificador, para inducir el agrietamiento de manera controlada. El mayor cuidado se debe tener en garantizar que la junta quede en el mismo sitio donde fueron colocadas las pasajuntas y donde fue indicado inicialmente.

La señal para la localización de las canastillas y de la junta debe quedar suficientemente separada de la losa y del sector de tránsito de la maquina, para que no sea borrada en el trabajo de pavimentación para revisar que la modulación se haga con base a las marcas de los dos extremos de la losa y que la señal se haga siempre de la misma forma, a fin de evitar confusiones.

La modulación se debe hacer con polvo mineral de un color que permita ser observada fácilmente por el operario del equipo de corte en la noche y a la luz del mismo equipo.

Las pavimentadoras equipadas con insertador automático de pasajuntas (DBI) tienen un dispositivo que marca la ubicación de la pasajuntas con pintura.

c) 10 Juntas Frias.

Es necesario realizar una planeación adecuada de juntas frias, para mantener la uniformidad en el pavimento y evitar desperdicios o faltantes de concreto.

La junta fria se debe construir en todo el ancho de colado, se deben utilizar canastas de barras pasajuntas para garantizar la transferencia de cargas entre las losas. La alineación de las pasajuntas y su correcta instalación dependen en gran medida de la cimbra utilizada para formar la junta. Siempre que sea posible se deberá de tratar de hacer coincidir la junta fria con una junta de contracción.

c) 11 Corte de Juntas en el Concreto.

El corte de las losas de concreto es una generalidad de todos los pavimentos de concreto, en pavimentos contruidos con cimbra deslizante se debe hacer énfasis en el estado, el tipo y el numero de equipos necesarios para garantizar un trabajo continuo de buena calidad y, principalmente, que permita que se alcance a cortar toda el área pavimentada en una jornada.

La clasificación de las cortadoras se hace normalmente por la potencia de su motor en Kw. y es conveniente que sean autopropulsadas. En proyectos carreteros las cortadoras deben ser con potencias del orden de los 50 a 60 Kw. Autopropulsadas y diseñadas para hacer corte en húmedo, o sea que el disco de corte es enfriado continuamente por agua.

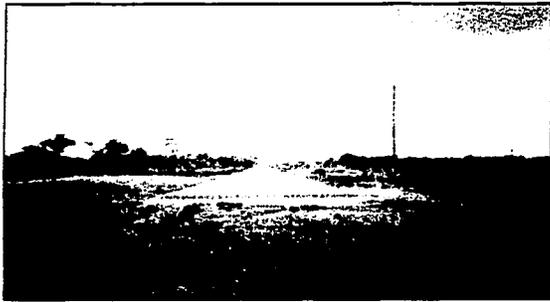


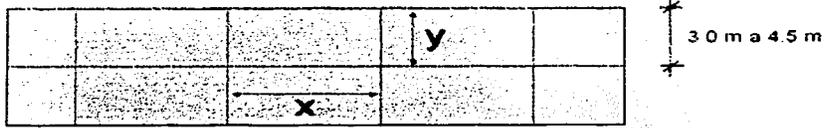
Fig. 4.1.6 Aplicación de membrana.



Fig. 4.1.7 Junta fria al fin de cada día

Modulación de losas

Deberán realizarse primero los cortes transversales y posteriormente los longitudinales. Para realizar los cortes longitudinales es común utilizar una guía ajustable a los bordes de la losa y de esta forma garantizar un correcto seguimiento del alineamiento de la vía.



$$0.71 < x / y < 1.4$$

Fig. 4.1.8 La relación entre largo y ancho de un tablero de losas no deberá estar fuera de los límites 0.71 a 1.4.

El tipo de disco de corte debe ser escogido dependiendo del tipo de agregado para determinar qué composición de material abrasivo cortador es el mas indicado.

La Profundidad del Corte es de un Tercio del Espesor de la Losa.

Este corte deberá realizarse cuando el concreto presente las condiciones de endurecimiento propicias para su ejecución y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados. Es importante iniciar el corte en el momento adecuado, ya que de empezar a cortar antes de tiempo podemos generar despostillamientos de las losas, en el caso de realizar el corte en forma tardía se estaría permitiendo que el concreto definiera los patrones de agrietamiento y de nada servirían los cortes por realizar. Este tiempo depende de las condiciones de humedad y clima en la zona, así como de la mezcla de concreto; por lo general, el de corte debe iniciarse a las 4 ó 6 horas de haber colocado el concreto y deberá terminar antes de 12 horas después del colado.

c) 12 Ensanche de Juntas.

El ensanche de la junta o segundo corte se realiza para obtener suficiente espacio donde alojar el material que se usará en el sello y de esta forma ofrecer un factor de forma apropiado (en profundidad y ancho) para el correcto desempeño del sellador.

El factor de forma especificado para cada proyecto debe ser incluido en las especificaciones constructivas. El corte de ensanche se hace con cortadoras de corte húmedo y la forma se obtiene ya sea con un disco de 6 mm de espesor o apilando dos discos de 3 mm de espesor y cortando a una profundidad menor.

c) 13 Limpieza y Sello de Juntas.

La limpieza de juntas es necesaria para evitar que dentro de ellas se alojen materiales incompresibles y para permitir una perfecta adherencia entre el sellador y el concreto.

Las actividades generales de esta etapa son:

- Lavado de la junta con agua a presión.
- Limpieza de la junta o rasqueteo.
- Secado con aire a presión.
- Inserción de la Cintilla de Respaldo o Backer- Rod.
- Aplicación del material de sello.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Los equipos requeridos para estas actividades son:

- Tanque de agua con bomba para suministrar agua a presión.
- Compresor para limpieza y aplicación del material de sello.
- Herramientas para limpieza y para insertar el cordón o Baker-Rod.
- Bomba de silicón para la aplicación del material de sello.

La bomba de silicón es un equipo de pistón que se introduce dentro del depósito de material de sello.

c) 14 Personal Especializado Necesario.

- Jefe de Pavimentación. Es el responsable de la colocación del concreto y de todas las etapas siguientes en la obra.

Responde por todas las actividades ejecutadas en el tramo, incluidas las previas al inicio de la pavimentación, como revisión de los datos topográficos, hasta la apertura al tráfico. Su principal

función es coordinar las actividades del equipo de trabajo en el tramo y mantener la comunicación con la planta y con otros involucrados en el proyecto.

El jefe de pavimentación coordina al grupo de personas capacitadas para las diferentes actividades que trabajan en equipo.

- Jefe de Línea. Responde por la interpretación y evaluación de los datos topográficos entregados por el constructor de la base así como por el tendido de la línea guía para la pavimentadora y texturizadora. Su importancia radica en la coordinación con el personal de topografía del proyecto para hacer los ajustes del trazado requeridos y de esta forma reducir las variaciones en los espesores de la losa.

- Operador de Pavimentadora. Interactúa continuamente con el operador de planta de concreto, con el coordinador de descarga de camiones y colocación de canastas y con los tornilleros, quienes están encargados de vigilar el tránsito normal de los sensores por la línea guía y de la cimbra lateral, su función es de vital importancia, no solo para obtener un buen acabado sino para producir un pavimento de concreto durable y respetar la geometría del proyecto.

- Jefe de Finishers o Jefe de Terminado. Responde por la obtención de un buen acabado superficial de la losa antes de iniciar su texturizado, interactúa con el jefe de pavimentación para que a su vez le dé instrucciones al operador de la pavimentadora, en caso que se presenten problemas en el acabado dejado por la máquina, por problemas en los insertadores de pasajuntas o barras de amarre (en caso de que se utilicen), o por problemas en el acabado del hombro o borde de la losa. El jefe de finishers debe coordinar al personal de herramientas de acabado.

- Operador de Texturizadora – Curadora. Se encarga del microtexturizado longitudinal con tela de yute, del texturizado transversal y de la aplicación de la membrana de curado. Lo más importante de su trabajo es conocer el momento en el cual debe iniciar su labor, la texturizadora debe ser guiada por el mismo tendido de la línea guía que uso la pavimentadora.

Jefe de Corte y Sello. El trabajo de corte está a cargo del jefe de corte, el cual se hace acompañar de un grupo de operarios y equipos de corte, que deben tener un continuo suministro de agua. Este grupo también le reporta al jefe de pavimentación. Sobre esto hay que tener en cuenta que contamos con variables como la dureza de los agregados, la calidad de los discos, la potencia de los equipos y el suficiente suministro de agua. En las responsabilidades del jefe de corte está el ensanche de la junta, la limpieza y aplicación del sello.

4.2 CIMBRA FIJA.

En proyectos de tamaños menores, como los proyectos denominados urbanos, en donde la producción del concreto se realiza en las plantas dosificadoras que se tienen instaladas en las ciudades, el procedimiento de construcción de pavimentos que comúnmente se utiliza es el de cimbra fija, apoyados con rodillos y reglas vibratorias para su ejecución. El procedimiento constructivo con estos equipos es prácticamente el mismo y, en general, es muy parecido al de cimbra deslizante, con algunas variantes propiciadas por las diferencias en equipos y por el menor tamaño de las obras.

a) Elaboración de Concreto Hidráulico.

Se recomienda que el concreto sea Premezclado Profesionalmente, de resistencia a la Flexión $S'c$ ó Módulo de Ruptura igual a la especificada en el proyecto.

El Revenimiento apropiado para colocación del concreto con cimbra fija es:

- En superficies planas con pendientes ligeras. 10 ± 2 cm.
- En superficies con pendientes mayores al 8%. 8 ± 1 cm.

Es importante garantizar la calidad del concreto y que el suministro sea constante y continuo para mantener la homogeneidad del pavimento, se recomienda que entre el tendido de una olla mezcladora y otra no transcurran más 25 minutos, aunque de preferencia este tiempo deberá ser menor.

b) Cimbrado del Pavimento.

El cimbrado consiste en colocar Montenes metálicos calibre 10 cuyo peralte corresponda con el espesor del pavimento. Estos deberán ser reforzados con soleras @ 30 cm para darle rigidez. La colocación de la cimbra deberá ir siguiendo el alineamiento y niveles que nos indique la brigada de topografía, se sujetan con troqueles de varilla #3 a #5 cuya longitud mínima es igual al doble del espesor del pavimento y se colocan @ 1.0 m aproximadamente. Es conveniente revisar los niveles de la cimbra con topógrafo después de colocada la misma para garantizar un buen perfil longitudinal del pavimento. Se deberá de contar con una cantidad suficiente de tramos de cimbra para alcanzar avances significativos de colado continuo durante varias jornadas de trabajo.

La cimbra deberá realizarse en franjas previamente establecidas para mantener las condiciones de igualdad superficial entre losa y losa.

c) Colado del Pavimento.

El concreto se que se mezcla en ollas revolvedoras se vacía sobre la sub-base y se esparce a todo lo ancho del pavimento a paleo manual. Deberá limpiarse y humedecerse previamente la superficie que recibe al concreto para evitar que se absorba el agua de la mezcla. Se deberán colar franjas longitudinales correspondientes a un día de pavimentación.



Fig. 4.2.1 Colado y colocación de pavimento

Barras de Amarre.- En las juntas que muestre el proyecto y/o en los sitios que indique el Supervisor, se colocarán barras de amarre, para evitar el corrimiento o desplazamiento de las franjas de losas. Las barras serán corrugadas, de acero estructural con un límite de fluencia (F_y) de cuatro mil doscientos (4200) kilogramos por centímetro cuadrado, debiendo quedar

ahogadas en las losas a la mitad del espesor y en la posición indicada en el proyecto. Todas las barras corrugadas deberán protegerse contra la corrosión si es que los estudios climatológicos y químicos del lugar demuestran que puede presentarse este fenómeno. Las barras de amarre se colocan en las juntas longitudinales, independientemente de si son juntas frías o de corte; el diámetro, longitud y separación serán los mostrados en el proyecto.

Pasajuntas.- En el caso de que el proyecto considere la colocación de barras pasajuntas en las juntas de contracción transversales, estas se colocarán perfectamente alineadas al sentido longitudinal del pavimento y a la mitad del espesor. La función de estas barras es la de garantizar una efectiva transferencia de fuerzas cortantes en losas adyacentes, permitiendo el libre movimiento de las franjas de losas en el sentido longitudinal. Las barras serán lisas, de acero estructural con un límite de fluencia (F_y) de cuatro mil doscientos (4200) kilogramos por centímetro cuadrado, debiendo estar engrasadas en toda su longitud para evitar que se adhieran al concreto. Las barras pasajuntas se colocan en las juntas transversales de contracción cuando así están especificadas en el diseño, sin embargo deberán colocarse en todas las juntas transversales de construcción para garantizar la transferencia de cargas entre colados de días distintos.

d) Vibrado y Perfilado.

Una vez colocado el concreto se deberá acomodar en las orillas cercanas a la cimbra utilizando un vibrador manual, posteriormente se pasa la regla o el rodillo vibratorio que le dan el vibrado final a la masa del concreto, si en el proyecto se especificaron barras de amarre estas deberán colocarse en los lugares especificados en proyecto inmediatamente antes de que pase la regla ó el rodillo, en los, con ayuda de un escantillón para colocarlas exactamente a la mitad del espesor. Después de pasado el rodillo deberá utilizarse una flotadora de aluminio o magnesio en sentido transversal para dar el perfilado definitivo al pavimento.



Fig. 4.2.2 Vibrador de inmersión en bordes.

e) Microtexturizado Longitudinal.

El acabado superficial longitudinal del concreto recién colado podrá realizarse después de la aplicación de las flotadoras mecánicas mediante el arrastre de tela de yute húmeda o pasto sintético en sentido longitudinal del pavimento.

Este proceso se puede realizar, para este tipo de pavimentos, de manera muy sencilla y en forma prácticamente manual, se fija perfectamente la tela de yute a un tubo o solera que mida un poco más que el ancho de pavimentación, se humedece y se arrastra en sentido longitudinal con el apoyo de 2 personas, uno a cada lado del pavimento.

f) Macrotexturizado Transversal.

Posteriormente se realiza el texturizado transversal mediante una rastra de alambre en forma de peine, con una separación entre dientes de acuerdo con la especificación del proyecto, con una profundidad entre los 3.0 mm. y los 6.0 mm. A todo lo ancho de la superficie pavimentada. Esta operación se realizará cuando el concreto esté tan plástico como para permitir el texturizado pero lo suficientemente seco para evitar que el concreto fluya hacia los surcos, que pudieran cerrarse perdiendo su funcionalidad.

Durante el tiempo de endurecimiento del concreto, deberá protegerse la superficie de las losas contra fenómenos climáticos, de herramientas y/o del paso de equipo o seres vivos.

g) Aplicación de Membrana de Curado.

El curado deberá hacerse inmediatamente después del texturizado transversal, cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial. Esta condición se efectúa aplicando en la superficie una membrana de curado en la cantidad adecuada, obteniendo así, un espesor uniforme, que deje una membrana impermeable y consistente y que evite la evaporación del agua que contiene la mezcla de concreto fresco. Su aplicación deberá hacerse preferentemente con aspersores manuales de irrigadores a presión.



Fig. 4.2.3 Microtexturizado manual.



Fig. 4.2.4 Aplicación de membrana de curado.

El espesor de la membrana se fijará de acuerdo con las características del producto que se utilice y deberá garantizar su integridad, cubrimiento de la losa y cumplimiento de las especificaciones del fabricante de la membrana de curado. Las membranas de curado que se aplican adecuadamente cubren perfectamente toda la superficie del concreto, dejando una película de color blanco que minimiza el aumento en la temperatura de la superficie del concreto.

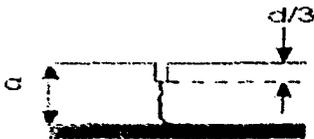
El proceso de curado es importantísimo para la obtención de resistencias, ya que todo concreto, si no se cura adecuadamente puede dejar de ganar hasta el 50% de la resistencia especificada.

h) Formación de Juntas.

El concreto se contrae durante su etapa de fraguado y por estar apoyado sobre toda una superficie fija, se generan esfuerzos de tensión que a su vez producen agrietamientos. La función de realizar juntas de contracción cortadas con disco es para indicarle al concreto la ruta que deben de seguir sus agrietamientos por contracción y evitar que se propaguen en cualquier dirección.

Las juntas de contracción se realizan con equipo de corte con discos de diamante cuando el concreto tiene un cierto grado de endurecimiento y las contracciones son inferiores a aquellas que causan el agrietamiento (4 a 6 hrs. aproximadamente).

Después del curado de las losas se procederá al corte de las juntas transversales y longitudinales con discos con punta de diamante. Este corte deberá realizarse cuando el concreto presente ciertas características de endurecimiento; las juntas de contracción se realizan con equipo de corte con discos de diamante cuando el concreto tiene un cierto grado de endurecimiento y las contracciones son inferiores a aquellas que causan el agrietamiento (4 a 6 hrs. Aproximadamente). Las cortadoras utilizadas en este tipo de proyectos deberán ser autopropulsadas y con una potencia que esté entre el 20 HP y los 40 HP. Las juntas deberán ajustarse a las dimensiones y características descritas en el proyecto.



La relación de Largo / Ancho de las losas debe estar entre los límites de 1.0 a 1.4, relaciones mayores originan que se generen grietas en la mitad de las losas.

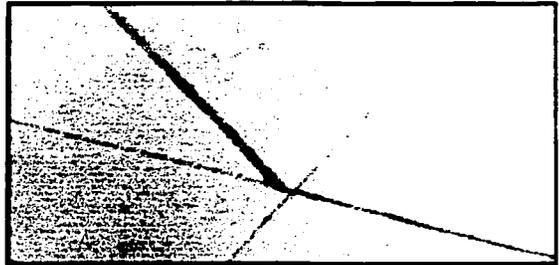
Deberá realizarse un primer corte para garantizar la inducción adecuada de las grietas de contracción, con un ancho de 3 mm. (1/8 de pulgada) utilizando un solo disco de corte y cortando a una profundidad de un tercio del espesor. Posteriormente se deberá hacer el ensanche de las juntas a 6 mm. (1/4 de pulgada) utilizando para esto dos discos de corte empalmados y la profundidad de este corte será menor de un tercio del espesor y estará regida por el factor de forma que se le vaya a dar al sellador de las juntas.

i) Limpieza y Sello de Juntas.

La limpieza de juntas se hará con agua a presión y apoyados con una rastra para dejar perfectamente limpia de material la totalidad de la junta, posteriormente se realizará el secado de la junta con aire a presión, una vez seca y perfectamente libre de polvo en sus paredes, se procederá a colocar una cintilla de respaldo (Backer Rod) cuya función principal es la de minimizar la utilización del sellador, e inmediatamente después se coloca el sellador dentro de la junta respetando las indicaciones del fabricante en cuanto a su factor de forma y modo de aplicación.

Fig. 4.2.5 Sello de Junta.

Los cortes deben realizarse a una profundidad de un tercio del espesor. No debe cortarse toda la profundidad de la losa ó todo su espesor. Cortar la parte superior le permite que en la parte inferior se genere una grieta que le permite transmitir fuerzas cortantes por la trabazón que existe en los agregados del concreto, entre una losa y otra.



Es importante que el sellador sea un material autonivelante, de un solo componente, elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotrices, con propiedades adherentes al concreto y que permita las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas sin agrietarse, y que solidifique a temperatura ambiente. Es necesario que la superficie del sellador se aloje por debajo de la superficie de rodamiento entre 3 mm. Y 6 mm. con el fin de evitar que entre en contacto con los neumáticos de los vehículos y se pueda deteriorar.

La función del sellador es la de evitar que partículas incompresibles (piedras) penetren en la junta y puedan generar despostilladuras en los bordes de las losas debido al movimiento de las mismas. Otra función es la de impedir que el agua de la superficie pueda penetrar a la estructura de soporte y evitar problemas de expulsión de finos, pérdida de soporte y reducción de resistencia del material de sub-base.

4.3 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE JUNTAS

El diseño de juntas en los pavimentos de concreto es el responsable del control del agrietamiento, así como de mantener la capacidad estructural del pavimento y su calidad de servicio en los más altos niveles al menor costo anual.

Además las juntas tienen funciones más específicas:

- El control del agrietamiento transversal y longitudinal provocado por las restricciones de contracción, combinándose con los efectos de pandeo o alabeo de las losas, así como las cargas del tráfico.
- Dividir el pavimento en incrementos prácticos para la construcción (por ejemplo los carriles de circulación).
- Absorber los esfuerzos provocados por los movimientos de las losas.
- Proveer una adecuada transferencia de carga.
- Darle forma al depósito para el sellado de la junta.

Una construcción adecuada y a tiempo, así como un diseño apropiado de las juntas incluyendo un efectivo sellado, son elementos claves para el buen comportamiento del sistema de juntas.

Como ya se mencionó, la necesidad del sistema de juntas es el resultado del deseo de controlar el agrietamiento transversal y longitudinal. Este agrietamiento se presenta por la combinación de varios efectos, entre los que podemos mencionar la contracción por secado del concreto, los cambios de humedad y de temperatura, la aplicación de las cargas del tráfico, las restricciones de la subrasante o terreno de apoyo y también por ciertas características de los materiales empleados.

En orden para diseñar un adecuado sistema de juntas se recomienda evaluar las siguientes recomendaciones:

- **Consideraciones Ambientales:** Los cambios en la temperatura y en la humedad inducen movimientos de la losa, resultando en concentraciones de esfuerzos y en alabeos.
- **Espesor de losa:** El espesor del pavimento afecta los esfuerzos de alabeo y las deflexiones para la transferencia de carga.
- **Transferencia de carga:** La transferencia de carga es necesaria a lo largo de cualquier junta del pavimento, sin embargo la cantidad requerida de transferencia de carga varía para cada tipo de junta. Cuando se empleen barras de amarre ó pasajuntas, el tipo y el tamaño de las barras influyen en el diseño de juntas.
- **Tráfico.** El tráfico es un factor extremadamente importante para el diseño de juntas. Su clasificación, canalización y la predominancia de cargas en el borde influyen en los requerimientos de transferencia de carga para el comportamiento a largo plazo.
- **Características del concreto:** Los componentes de los materiales afectan la resistencia del concreto y los requerimientos de juntas. Los materiales seleccionados determinan las contracciones de la losa, por ejemplo del agregado grueso influye en el coeficiente térmico del concreto, en adición a esto los agregados finos tienen una influencia perjudicial en el comportamiento de las juntas. En muchas ocasiones el despostillamiento es resultado de concentraciones de materiales malos a lo largo de las juntas.

- Tipo de subrasante o terreno de apoyo: Los valores de soporte y las características friccionantes en la interfase del pavimento, con el terreno de apoyo para diferentes tipos de suelos, afectan los movimientos y el soporte de las losas.
- Características del sellador: El espaciamiento de las juntas influye en la selección del tipo de sellador. Otras consideraciones, como adecuados factores de forma, costos y ciclos de vida también deben tomarse en cuenta para la selección del sellador.
- Apoyo lateral: El tipo de acotamiento (de concreto y amarrado, de asfalto, de material granular) afecta el soporte de la orilla del pavimento y la habilidad de las juntas centrales para realizar la transferencia de carga.
- Experiencia pasada: Los datos locales del comportamiento de los pavimentos son una excelente fuente para establecer un diseño de juntas, sin embargo las mejoras a los diseños del pasado con la tecnología actual pueden mejorar significativamente su comportamiento.

a) Agrietamiento.

Un adecuado sistema de juntas está basado en controlar el agrietamiento que ocurre de manera natural en el pavimento de concreto y las juntas son colocadas en el pavimento precisamente para controlar su ubicación y su geometría.

a) | Contracción.

La mayor parte de la contracción anticipada del concreto ocurre a muy temprana edad en la vida del pavimento, provocado principalmente por cambios de temperatura. El calor de hidratación y temperatura normalmente alcanza su valor máximo muy poco tiempo después de su colocación y una vez alcanzado, la temperatura del concreto baja debido a la reducción de la actividad de hidratación y también debido al efecto de la baja temperatura ambiente durante la primer noche del pavimento.

Otro factor que contribuye a la contracción inicial es la reducción de volumen por la pérdida de agua en la mezcla. El concreto para aplicaciones de caminos requiere de mayor cantidad de agua de mezcla que la requerida para hidratar el cemento, esta agua extra ayuda a conseguir una adecuada trabajabilidad para la colocación y para los trabajos de terminado, sin embargo durante la consolidación y el fraguado, la mayor parte del agua en exceso sangra a la superficie y se evapora provocando que el concreto ocupe menos volumen.

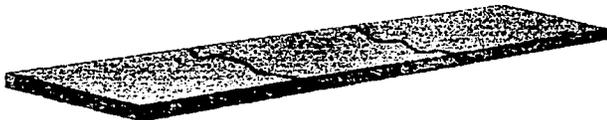


Fig. 4.3.1 Agrietamiento inicial en un pavimento de concreto sin juntas.

La fricción de la subrasante o terreno de apoyo se resiste a la contracción del pavimento por lo que se presentan en el interior algunos esfuerzos de tensión, los cuáles, de no ser considerados, pueden provocar grietas transversales como las mostradas en la figura

El espaciamiento de las grietas iniciales del pavimento varían entre 1.20 y 5.00 metros y dependen de las propiedades del concreto, espesor, fricción de la base y de las condiciones climáticas durante y después de la colocación. Los intervalos de las grietas son más cortos cuando los pavimentos se apoyan en bases rígidas o estabilizadas por lo que hay menor abertura en cada grieta, mientras que la separación entre ellas será mucho mayor para pavimentos sobre bases granulares, por lo que al tener una separación mayor en las grietas iniciales se puede anticipar una mayor abertura y movimiento para cada una.

a) 2 Gradientes.

Los esfuerzos, provocados por gradientes de temperatura y de humedad en el interior del pavimento, también pueden contribuir al agrietamiento, la diferencia es que estos ocurren generalmente después de fraguado el concreto. La cara superior del pavimento (expuesta a la superficie) experimenta diariamente grandes variaciones en temperatura y en contenido de humedad, y estos cambios diarios son mucho menores en el fondo o cerca del fondo del pavimento.

El alabeo de las losas es principalmente el resultado del gradiente de temperatura a través de la profundidad de la estructura del pavimento. Estos gradientes de temperatura varían con las condiciones del clima y la hora del día, por ejemplo, el alabeo de las losas en el día se presenta cuando la porción superior de la losa se encuentra a una temperatura superior que la porción del fondo, la porción superior de la losa se expande más que en el fondo provocando una tendencia a pandearse. El peso propio de la losa opone resistencia al pandeo e induce esfuerzos de tensión en dirección al fondo de la losa y esfuerzos de compresión hacia la parte superior de la losa. De noche el patrón de esfuerzos se presenta de manera inversa, es decir que se presentan esfuerzos de tensión hacia la parte superior de la losa y esfuerzos de compresión hacia el fondo del pavimento.

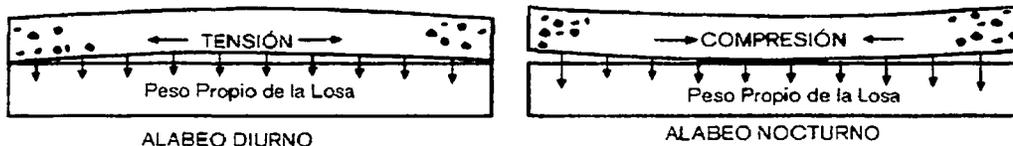


Fig. 4.3.2 Alabeo de las losas de los pavimentos de concreto.

El alabeo por humedad es un factor que intenta contrarrestar el alabeo por gradientes de temperatura de día. Este pandeo por humedad es provocado por un diferencial de ella desde la parte superior hasta el fondo de la losa. La parte superior se encuentra más seca que el fondo y un decremento en el contenido de humedad provoca una contracción, mientras que un incremento provoca una expansión. El diferencial tiende a presentar esfuerzos de compresión en la base de la losa donde contrarresta a la carga y a los esfuerzos de tensión inducidos por el alabeo de día.

Sin embargo es sumamente complicado evaluar el efecto combinado de los alabeos por temperatura y los provocados por gradientes de humedad, debido a su natural contradicción. Es principalmente por esto que los esfuerzos de alabeo calculados con fórmulas que únicamente consideran gradientes

de temperatura son muy altos comparados con valores medidos en el comportamiento de un pavimento.

La combinación de las restricciones que provocan los cambios de humedad y de temperatura con las cargas, también provocarán grietas transversales, adicionales a las grietas iniciales y en pavimentos con dos carriles de circulación además se formará una grieta longitudinal a lo largo de la línea central del pavimento.

La figura a muestra el resultado de un padrón natural de agrietamiento, mientras que un adecuado sistema de juntas (figura b) provee una serie de juntas espaciadas para controlar (ubicación y geometría) la formación de estas grietas.

Patrón de agrietamiento provocado por el medio ambiente y los esfuerzos de las cargas en un pavimento de concreto sin juntas (b) Diseño adecuado de las juntas para controlar la ubicación y geometría de las grietas en un pavimento de concreto.

b) Eficiencia de la Junta.

La transferencia de carga es la habilidad de la junta de transferir una parte de la carga aplicada de uno al otro lado de la junta (figura) y se mide por lo que llamamos como "eficiencia de la junta".

Una junta es 100 % efectiva si logra transferir la mitad de la carga aplicada al otro lado de la junta, mientras que un 0% de efectividad significa que ninguna parte de la carga es transferida a través de la junta.

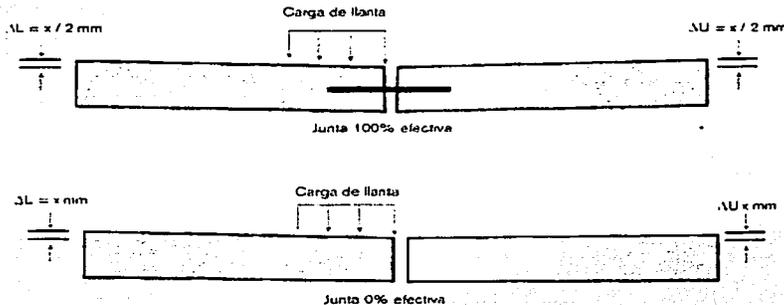


Fig. 4.3.3 Eficiencia de las juntas.

La evaluación en campo de la transferencia de carga se realiza midiendo las deflexiones en cada lado de la junta dada una aplicación de carga.

De manera que conociendo las deflexiones en las juntas, por medio de la siguiente ecuación podemos conocer el % de eficiencia de la junta (E):

$$E = \frac{2D_U}{DL + DU} \cdot 100$$

Donde: DL = Deflexión del lado cargado de la junta.

DU = Deflexión del lado no cargado de la junta.

c) Factores que Contribuyen a la Transferencia de Carga.

c) 1 Trabazón de Agregados.

La trabazón de agregados depende de la resistencia al cortante entre las partículas del agregado en las caras de la junta, debajo del corte inducido. Este sistema de transferencia de carga es más efectivo para pavimentos construidos con una corta separación de las juntas y bases estabilizadas no erosionables o bases permeables que experimenten bajos volúmenes de tráfico pesado.

Para incrementar la trabazón de agregados y minimizar la diferencia de elevación en las juntas, se recomienda:

- Losas con espesores grandes, ya que una mayor área para trabazón de agregado provee una mejor transferencia de carga.
- Poca separación de juntas, menor a 4,5 metros.
- Bases rígidas (estabilizadas) con valores altos de módulo de subreacción del suelo (k).
- Apoyo lateral mediante acotamientos de concreto.
- Subrasantes con suelos de agregado grueso (drenaje).
- Mejoras al drenaje, mediante drenes colectores y subrasantes permeables.

c) 2 Transferencia de Carga Mecánica – Pasajuntas –

La trabazón de agregados, por sí sola, no provee la suficiente transferencia de carga para un buen comportamiento a largo plazo en la mayoría de los pavimentos, principalmente en los proyectos carreteros donde se tienen altos volúmenes de tráfico pesado. Por lo que en caso inverso a las cantidades de tráfico mencionadas, para la trabazón de agregados se recomienda usar las barras pasajuntas y dejar la transferencia de carga en las juntas a medios mecánicos, como las barras pasajuntas en proyectos con un tráfico superior a los 120 vehículos pesados diarios ó más de 5 millones de ESAL's rígidos (Ejes Equivalentes Sencillos de 18 kips).

Las pasajuntas son barras de acero liso y redondo colocadas transversalmente a las juntas para transferir las cargas del tráfico, sin restringir los movimientos horizontales de las juntas. Además mantienen a las losas alineadas horizontal y verticalmente. Dado que las pasajuntas llegan de un lado a otro de la junta, las aperturas diarias y de temporadas no afectan la transferencia de carga a lo largo de las juntas con pasajuntas, como si lo hacen en el caso de las juntas que no cuentan con ellas.

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

c) 3 Bases Estabilizadas.

Las bases estabilizadas reducen las deflexiones en las juntas, mejoran y mantienen la efectividad de la junta bajo la repetición de las cargas del tráfico. Además son una muy estable y suave plataforma de apoyo para los trabajos de pavimentación.

4.4 PROCESO CONSTRUCTIVO PALMILLA-QUERETARO (ejecución)

En este proyecto se efectuarán algunas modificaciones de alineamiento tanto vertical como horizontal de los cuerpos actualmente en servicio.

Deberá tomarse en cuenta que con el fin de evitar molestias innecesarias a los usuarios será necesario primeramente construir las ampliaciones proyectadas de pavimento, drenaje y obras complementarias en su totalidad para desviar por ellas el tránsito actual y posteriormente proceder a la reconstrucción según sea el caso del pavimento, drenaje y obras complementarias en su totalidad para desviar por ellas el tránsito actual y posteriormente proceder a la reconstrucción según sea el caso del pavimento, drenaje y obras complementarias de la porción de la corona en servicio.

En este subtramo se contempla una ampliación de aproximadamente 7.0 m desde los hombros exteriores de los cuerpos actuales para formar una sección con un ancho de corona de 15.0 m en cada cuerpo. Dicha sección constará de tres carriles de circulación de 3.50 m de ancho; acotamiento interior de 1.50 m y acotamiento exterior de 3.00 m de ancho. El pavimento considerado será de tipo rígido de concreto hidráulico con pasajuntas con un espesor de 0.30 m y con un bombeo de 2.0% hacia el acotamiento exterior para proporcionar un drenaje adecuado.

a) Terracerías

- Los trabajos de despalme y limpieza general del arrea por construir así como la limpieza de los taludes del cuerpo actual en las zonas de ampliación se basará en el proyecto de terracerías correspondiente.
- En el caso de cortes en cajón, una vez efectuado el despalme se abrirá una caja cuyas dimensiones estarán debidamente indicadas en el proyecto de terracerías, el piso de corte o caja deberá compactarse al 90% de su PVSM en una profundidad de 0.20 m o bandearse según sea el caso.
- Para el caso de terraplenes se construirá el cuerpo de terraplén con altura variable dependiendo de la rasante de proyecto y se compactará al 90% de su PVSM.
- La capa de transición se construirá dependiendo de la altura del cuerpo de terraplén debiendo construirse de 0.20 m, si la altura de este es menor de 0.80 m y si es mayor se construirá de 0.50 m; en cualquier caso deberá compactarse el material que constituya dicha capa al 95% de PVSM.
- Finalmente se construirá la capa subrasante con un espesor de 0.30 m en todo el ancho de la ampliación y aproximadamente 0.50 m dentro del cuerpo actual a partir del eje de proyecto quedando en promedio 0.35 m debajo del nivel de la superficie actual de rodamiento. El material que constituya dicha capa deberá compactarse al 100% de su PVSM.
- Con objeto de asegurar la estabilidad entre la ampliación y el cuerpo actual se excavarán escalones de liga en el caso de terraplenes y/o balcón cuyo peralte no excederá de 0.30m; el piso

de los escalones deberá compactarse al mismo grado de compactación de la capa que se construya en dicha ampliación.

- Los materiales empleados en la formación de las diferentes capas deberán ser procedentes del banco propuesto para este fin y de acuerdo con lo indicado en el proyecto de tercerías correspondiente.



Los estudios de calidad que se realizan a las terracerías son:

- Valor Relativo de Soporte del material (VRS).
- Humedad óptima de compactación.
- Peso Volumétrico Seco Máximo.
- Porcentaje de Compactación.

Los porcentajes de compactación convencionales para terracerías varían entre un 90% a un 100% de su peso volumétrico seco máximo.

Calidades de materiales para cuerpos de terracerías:

VRS	CLASIFICACION
0-5	Subrasante muy mala
05-10	Subrasante mala
10-20	Subrasante regular a buena
20-30	Subrasante muy buena
30-50	Sub-base buena
50-80	Base buena
80-100	Base muy buena

b) Zonas de Corte o Relleno del Pavimento Existente

Dadas las depresiones y asentamientos que ha sufrido el pavimento existente se prevé que la línea de desplante de la losa de concreto hidráulico en algunas ocasiones no coincida con la línea de rasante del camino actual como se considera en el caso 1 descrito en los títulos III.A, IIIB y IIIC, IIID enunciados anteriormente. Lo anterior implica que en algunas zonas no sea suficiente el fresar o renivelar el pavimento existente, por lo que cuando se requiera cortar o rellenar un espesor en promedio mayor a 15 cm, se deberá proceder a los siguientes trabajos:

b) 1 Bacheo

Previo rehabilitación de la superficie actual de rodamiento de acuerdo con lo indicado en el inciso correspondiente a bacheo se procederá de la siguiente manera:

Para la ejecución del trabajo se requieren taladros neumáticos, picos, escarificador de motoconformadora, u otro equipo apropiado para remover las capas de la estructura existente, cargador, vehículos de transporte de materiales, elementos adecuados para la compactación del fondo de la excavación y herramientas menores.

La excavación deberá tener bordes verticales bien definidos, sus caras longitudinales y transversales deberán ser paralelas y perpendiculares al eje de la vía, respectivamente; su fondo deberá ser plano, uniforme y firme. El fondo de la excavación deberá ser compactado en un espesor no menor de 15 cm. de acuerdo con los niveles de compactación que se indican a continuación. Si la superficie expuesta corresponde a una subrasante o una sub-base granular, ningún ensayo podrá dar lugar a un porcentaje de compactación inferior al noventa y cinco por ciento (95%) con respecto a la densidad máxima del ensayo Proctor modificado. Cuando se trate de una capa de base granular, la exigencia se incrementará al cien por ciento (100%).

Deberán retirarse todos los materiales inadecuados, los cuales deberán ser cargados en camiones cubriéndolos con lonas u otros protectores, debidamente asegurados a la carrocería y transportados a los sitios de disposición, indicados en los documentos del proyecto, o definidos por el Especificador.

El bacheo se debe realizar en los sitios en donde existen huecos que comprometan la integridad de la base. Con el siguiente procedimiento:

- Identificación de la falla.
- Demarcación de la caja, alrededor del bache.
- Demolición y retiro de la carpeta asfáltica, excavación y retiro del material de base, hasta encontrar material sano.
- Compactación de la base remanente.
- Colocación de Relleno Fluido hasta el nivel superior de la carpeta asfáltica.

b) 2 Base de Relleno Fluido

De acuerdo con lo especificado en planos, en los sitios donde corresponda se colocara una base de relleno de fluido de resistencia, tiempo de apertura, revenimiento y espesor especificados en planos. La colocación de la base se hace directamente del camión revolador sobre la subrasante, ayudando a su colocación con herramientas manuales; no deberá ser vibrado para evitar que salga el aire incluido que tiene la mezcla, no requiere ser compactado con medios mecánicos ya que es autocompactable al 100%, así mismo no requiere de curado, dependiendo del revenimiento especificado se requieren cimbras para darle la forma especificada. En rellenos fluidos convencionales la apertura al tráfico se deberá dar hasta después de 24 hrs. De haberlo colocado.

b) 3 Rallado

Se realizara un rallado enérgico de la superficie de rodamiento mediante el empleo de un equipo adecuado (rejilla), con el cual se rallara la superficie con rallas de 2 cm de ancho y un cm de profundidad a cada 10 cm de separación.

Una vez efectuados los trabajos enunciados anteriormente se procederá a la construcción de una sobrecarpeta de revelación para dar el bombeo del 2% hacia el acotamiento exterior y dar el nivel necesario para desplantar la losa de concreto hidráulico siguiendo los mismos lineamientos indicados en el inciso a.4 correspondiente a la construcción de la carpeta de concreto asfáltico en la zona de ampliación.

c) Construcción de Base Hidráulica

Una vez efectuado el rallado se procederá a construir las capas de base hidráulica, base estabilizada y carpeta de concreto asfáltico con los espesores indicados en la sección estructural tipo y siguiendo los mismos lineamientos indicados en el inciso A.1, A.2, A.3 y A.4 de este procedimiento constructivo relativos a la construcción del pavimento en la zona de ampliación.

d) Escarificación y Recompactacion

Se procederá a escarificar el pavimento existente hasta 35 cm por debajo del nivel de desplante de la losa de concreto hidráulico y se recompactara la superficie descubierta al 100% de su PVSM.

e) Zonas de rectificación del alineamiento horizontal

En las zonas de rectificación donde la línea de proyecto no coincida con el trazo del camino actual se deberá construir un cuerpo nuevo.

El pavimento para estas zonas de rectificación estará constituido por

- Base Hidráulica de 20 cm de espesor
- Base Estabilizada de 15 cm de espesor y
- Losa de concreto Hidráulico de 30 cm de espesor.

El procedimiento para la construcción de esta sección de pavimento deberá apegarse a los lineamientos indicados en los incisos A.1, A.2, e inciso A.3 de este procedimiento constructivo para la capa de base hidráulica, base estabilizada y riego de impregnación respectivamente.

La losa de concreto hidráulico se deberá construir en dos franjas de 8.50 y 6.50 m de ancho de acuerdo a lo indicado en el inciso de este procedimiento.

f) Pavimento Asfáltico

Las cláusulas e incisos a que se hacen mención en los párrafos siguientes corresponden a las normas de construcción e instalaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) edición 1983, libro 3, parte 01, Título 03 y 04, parte 01, título 02 y 03 edición 1986 de las normas de calidad de los materiales también de la S.C.T; así como del libro 6 de las normas de muestreo y pruebas de los materiales, Equipos y sistemas, Parte 01, Título 03, tomos 1 y 11 y parte 01 del mismo libro, adicionalmente dichos trabajos estarán acordes con las especificaciones particulares que en cada caso se requiera.

f) 1 Ampliación Exterior de 7.0 m En los Cuerpos Actuales

- base hidráulica

Sobre la capa subrasante de la ampliación debidamente terminada, se construirá una capa de base hidráulica de 0.12m de espesor, utilizando material procedente del banco indicado para este fin en CUADRO DE BANCOS de este proyecto. El material que forme esta capa deberá compactar al 100% de su PVSM de la prueba Porter Estándar, los materiales utilizados deberán de ser de los tipos indicados en la cláusula 0.73-D del libro 3, parte 01, Título 03, además, estos deberán cumplir con las normas de calidad establecidas en el inciso 009-C.06 del libro 4: Parte 01, Título 03 y para su ejecución se deberán seguir los alineamientos indicados en la cláusula 074-F del libro 3, parte 01, Título 03.

- Base Estabilizada con Cemento

Sobre la base hidráulica debidamente terminada se construirá una capa de base estabilizada con cemento de 0.18 m de espesor. La construcción de la base estabilizada se ejecutara de acuerdo a lo indicado en las "especificaciones para base estabilizada con Cemento" anexa a este procedimiento constructivo. La proporción de cemento Pórtland a utilizarse deberá determinarse mediante pruebas de laboratorio esto con el fin de obtener una resistencia a la compresión axial simple de 21 kg/cm2 como mínimo a los 7 días. En ningún caso, el porcentaje de cemento Pórtland podrá ser menor que cuatro por ciento (4%) respecto al Peso Volumétrico Seco Máximo (P.V.S.M) del material pétreo.

- Riego de Impregnación

Sobre la base estabilizada debidamente terminada, superficialmente seca y barrida, se aplicara en todo el ancho de la corona y en los taludes del material que forme dicha capa, un riego de impregnación con emulsión asfáltica cationica de rompimiento lento o superestable a razón de 1.01/m2 aproximadamente.

El producto asfáltico deberá ser del tipo mencionado en la cláusula 0.76-D del libro 3 Parte 01, Título 03, mismo que deberá cumplir con las normas de calidad establecida en el inciso 011-B.04, Parte 01, Título 03 y para su aplicación con la cláusula 078 -F del libro 01, Título 03.

- **Carpeta de Concreto Asfáltico**

Terminada la capa de base estabilizada aproximadamente 0.05 m por debajo del nivel de la superficie de rodamiento y sobre el riego de impregnación aplicado en esta capa se procederá a la aplicación de un riego de liga en todo el ancho de la misma con emulsión asfáltica cationica de rompimiento lento en proporción de 0.6 lt/m². El producto será del tipo mencionado en la cláusula 0.76-D del libro 3, parte 01, Título 03 y deberá cumplir con las normas de calidad establecidas en el inciso 011-B.04.f del libro 4 Parte 01, Título 03 y para su aplicación con las cláusulas 0.80-F del libro 3. Parte 01, Título 03.

Después de la aplicación del riego de liga se construirá una carpeta de concreto asfáltico de 0.05 m de espesor en todo el ancho de la base estabilizada para llegar al nivel de desplante de la losa de concreto: esta se construirá con mezcla asfáltica en caliente y con materiales procedentes de los bancos indicados en la TABLA DE BANCOS de este proyecto y cemento asfáltico No.6 o AC-20 con una dosificación aproximada de 125 lts/m³ de material pétreo seco y suelto. Dicha mezcla asfáltica se hará con material pétreo de tamaño máximo de 19.1 mm (3/4"): el material que forme dicha capa se compactara al 95% de su peso volumétrico determinado en la prueba Marshall.

Los materiales pétreos y el cemento asfáltico que formen la sobrecarpeta de revelación deberán cumplir con las normas específicas en los incisos 0.10-C.01 y 011-B.04.b respectivamente del libro 4. Parte 01, Título 03.

La mezcla se proyectara por el procedimiento Marshall para que cumpla con los requisitos de diseño que se indican en la columna de intensidad de tránsito de mas de 2000 vehículos diarios del cuadro del inciso 011-D.03 del libro 4, Parte 01, Título 03.

En los sitios del cuerpo actual indicados por la Secretaria se deberán realizar los trabajos de bacheo superficial y bacheo de caja a una profundidad de 0.30 m como mínimo en toda el área afectada. La excavación deberá ser de forma regular, con sus lados alineados longitudinal y transversalmente a la carretera, con paredes verticales y cuidando no afectar el material mas allá de los límites de la excavación. El material producto de la excavación deberá desperdiciarse en los sitios indicados por la secretaria o en su caso cuando tenga la calidad requerida se podrá compensar en tramos subsecuentes para la formación de las terracerías.

La superficie descubierta por la excavación deberá compactarse al 100% del PVSM en una profundidad mínima de 0.20 m para rellenar posteriormente la caja excavada con material de características de base hidráulica procedente del banco indicado en la TABLA DE BANCOS de este proyecto debiéndose compactar dicha capa al 100% de su PVSM la cual quedara terminada al mismo nivel de la superficie de rodamiento actual.

g) Fresado

Con la finalidad de conformar la rasante de proyecto y en todo lo ancho y largo de las zonas inestables de la superficie del pavimento actual que acusen deformaciones así como en los sitios que expresamente señale la Secretaria, se efectuara corte mediante fresado en frío con equipo ROTOMILL del tipo PR-500 o similar con el espesor y respetando los niveles indicados por la Secretaria la cual señalara también el lugar de almacenamiento o desperdicio del material producto del fresado.

h) Aditivos

Con el objeto de mejorar la adherencia de los materiales pétreos con los productos asfálticos se deberá prever el uso de aditivos cuyo tipo y dosificación serán proporcionados por el laboratorio de control de la secretaria cuando el agregado pétreo haya sido debidamente tratado; estos se utilizan en una proporción aproximada del 1% en peso que se ajustaran de acuerdo con las pruebas realizadas por el laboratorio de control de la secretaria

i) Emulsiones

El fabricante deberá de indicar el tipo de emulsión asfáltica a emplear para efectos de control de calidad y recepción de la obra; se requiere además obtener la dosificación adecuada en cada caso conforme a las pruebas de laboratorio necesarias según el trabajo a realizar.

4.5 LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO (Whitotopping) SOBRE EL PAVIMENTO EXISTENTE

Esta especificación particular comprende los trabajos a realizar sobre la superficie de la carpeta de concreto asfáltico, para construir el pavimento de concreto con cemento Pórtland, en las áreas y con la forma, dimensiones, resistencias, procedimientos, calidad, tolerancias y acabados indicados en este proyecto y/o ordenados por la S.C.T.

Inicialmente se deberá construir la losa de concreto hidráulico en la sección correspondiente al acotamiento interior y dos carriles de 3.50 m comprendiendo una sección de 8.50 m sobre el pavimento existente. Posteriormente y una vez que el concreto adquiera la resistencia suficiente se desviara el tránsito sobre esta sección y se procederá a construir la losa de concreto hidráulico de 6.50 metros de ancho correspondiente al carril y acotamiento exterior sobre la ampliación.

Una vez terminados los trabajos de rehabilitación del cuerpo existente se procederá a la construcción de la losa de concreto de 0.30 m de espesor, cuya mezcla se hará en la planta de mezclado de acuerdo con los lineamientos y especificaciones de la S.C.T. y particulares de este proyecto.

La mezcla de concreto hidráulico para elaborar la losa tendrá un módulo de ruptura a la flexión de 48 kg/cm². Medido a los 28 días, el tendido de dicha mezcla se hará mediante el uso de extendedora tipo SLIPFORM-PAVER (CMI-SF- 450) o similar de cimbra deslizante, colocándose el concreto hidráulico con el espesor de proyecto. El equipo deberá contar con sensores de nivel y la orilla deberá formar un ángulo de 90° respecto a la superficie construida, además este equipo deberá tener capacidad de insertar las barras de amarre, en las juntas longitudinales de acuerdo con el espaciamiento requerido.

En esta sección se colocaran barras de amarre perpendicularmente a las juntas longitudinales con varillas corrugadas del # 5 x 110 cm a cada 64.3 cm c. a c. en la junta longitudinal de construcción y con varillas corrugadas del # 4 x 90 cm a cada 64.3 cm c. a c. en la junta entre carriles de acuerdo al Croquis de Distribución de Tableros del presente proyecto.

El espaciamiento entre juntas transversales de contracción será de 4.50 m en las juntas transversales de contracción se colocaran barras lisas (pasajuntas) de acero para transmisión de cargas de $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$, dichas pasajuntas serán de 38.1 mm (1 1/2") de diámetro con una longitud de 46 cm a cada 30 cm c. a c. y deberán estar apoyadas sobre monturas y silletas de alambren de 8 mm (5/16") de diámetro las cuales deberán anclarse a la capa de apoyo de la losa a fin de evitar desplazamientos durante el proceso de colado. Las barras se engrasaran en forma uniforme en por lo menos la mitad de la longitud con aceite mineral con el objeto de evitar la adherencia con el concreto. Asegurando con ello el movimiento libre de las mismas.

Una vez terminados los trabajos de tendido del concreto se procederá a un texturizado de la superficie de la losa con una tela de yute en el sentido longitudinal, posteriormente con un equipo de texturizado del tipo CMI-T-250 o similar se procederá a realizar un texturizado transversal con un ancho de surco de 3 mm a una profundidad cuando menos de 3 mm y no mayor de 6 mm.

Posteriormente se procederá al curado de la losa con un equipo del tipo CMI-C-250 o similar con el que se aplicara un componente cuya base será agua y parafina de pigmentación blanca. Esta operación se efectuara aplicando en la superficie una membrana de curado a razón de 1.0 lt/m² (un litro por metro cuadrado). Para obtener un espesor uniforme de 1 mm (un milimetro) que deje una membrana impermeable y consistente de color claro y que impida la evaporación del agua que contiene la mezcla del concreto fresco.

Después del curado de la losa se procederá al corte de las juntas transversales y longitudinales. Para este propósito se emplearan cortadoras del tipo MAGNUM o similar con discos abrasivos en caso de que se realicen los cortes en seco, y con discos de diamante en caso de que el corte se realice con agua. Se deberá comenzar por el corte de las juntas transversales de contracción, e inmediatamente después de continuar con las longitudinales. Se deberá tener cuidado que el corte se realice cuando el concreto presente las condiciones propicias para su ejecución; sin embargo, todas las operaciones para el primer corte deberán llevarse a cabo dentro de las siguientes 18 horas después del colado. El cortar demasiado pronto conllevara a problemas de despostillamiento y perdida del agregado en las juntas. Cortar demasiado tarde resultara en probables agrietamientos no controlados siguiendo patrones tanto transversales como longitudinales, dependiendo del caso.

Inmediatamente después de concluido el corte de las juntas se deberá proceder a curado de las nuevas superficies expuestas.

En el caso de que se requiera de cortes de juntas en dos etapas (escalonados). El segundo corte no deberá realizarse antes de 72 horas después del colado.

Posteriormente el trabajo de corte se procederá al sellado de las juntas previa limpieza de las mismas mediante agua a presión. Sand blast y aire a presión los cuales deberán ser aplicados siempre en una misma dirección. El uso de este procedimiento deberá garantizar la limpieza total de la junta y la eliminación de todos los residuos del corte y de la membrana de curado. Una vez que la junta este limpia y seca, se colocara la tirilla de respaldo (Backer rod) a la profundidad especificada y después el material sellante en el espesor indicado por el proyecto.

Para la aceptación de la superficie terminada de la losa se requerirá realizar una evaluación del perfil longitudinal del camino con un perfilometro del tipo California o Texas. Esta evaluación se deberá realizar según las especificaciones adjuntas.

Los cambios en las especificaciones o procedimientos constructivos deberán estar avalados por el diseñador bajo la aprobación de SCT:

La apertura al tránsito vehicular del pavimento no podrá realizarse antes de catorce (14) días contados a partir de la terminación del pavimento, o hasta que el concreto haya alcanzado una resistencia a la tensión por flexión del ochenta por ciento (80%) de la de proyecto como mínimo.

4.6 LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO SOBRE LA AMPLIACIÓN

Una vez que la losa de concreto hidráulico adquiera la resistencia suficiente se desviará el tránsito sobre esta sección y se procederá a construir la losa de concreto hidráulico en el carril y acotamiento exterior sobre la ampliación.

A partir de la junta de construcción longitudinal de la primer franja de concreto hidráulico y con las barras de amarre colocadas durante su construcción se procederá a construir la sección restante de 6.50 metros sobre la ampliación del cuerpo existente.

Previo a la construcción de la losa de concreto hidráulico en esta sección se deberán detectar y reparar los deterioros que se hayan originado en el pavimento de la ampliación por la desviación del tránsito sobre esta.

Para la construcción de la losa de concreto hidráulico en esta sección se deberán seguir los lineamientos indicados en el inciso C de este procedimiento correspondiente a la construcción de la losa de concreto sobre el pavimento existente.

En esta sección las barras de amarre en la junta longitudinal entre el carril exterior y el acotamiento serán varillas del # 4 x 90 cm a cada 112.5 cm. c. a. c. de acuerdo al croquis de distribución de tableros del presente proyecto.

4.7 ESPECIFICACIONES DE EJECUCION

Previamente a la construcción de los pavimentos de concreto, se deberá realizar un tramo, de doscientos (200) metros de longitud y doce (12) metros de ancho, fuera del derecho de vía de la autopista, sea en una plataforma espacial, en el área de la planta de producción de la mezcla o en el sitio que apruebe la secretaría. Este tramo tendrá el propósito de verificar la calidad de todos los materiales, el equipo a emplear y los procedimientos de ejecución que seguirá el contratista. El proponente deberá contemplar, dentro de su precio, la construcción del tramo de prueba, por lo que no se pagará ningún monto adicional por este concepto.

En general los procedimientos de ejecución se llevarán a cabo, de acuerdo a los lineamientos indicados en el inciso 3.01.0.084-F de las normas de la SCT, con el espesor compactado, la forma y dimensiones indicadas en el proyecto y de acuerdo a lo siguiente:

a) Elaboración de la Mezcla

El control del proporcionamiento de todos los materiales para elaborar la mezcla de concreto fresco, incluyendo el agua, debe realizarse en peso, utilizando básculas previamente calibradas y aprobadas por la secretaría. El área donde se realicen las operaciones de pesado del cemento. Deberá estar sellada y contar con un sistema de filtración para evitar fugas del material hacia el medio ambiente.

El manejo de los agregados deberá garantizar que no se produzcan segregaciones o contaminaciones con los materiales ajenos al concreto y/o sustancias perjudiciales. Antes de ser mezclados, los agregados deberán ser separados por lo menos en dos tamaños, para ser pesados.

La elaboración de la mezcla deberá realizarse en una planta central. En todo caso, el tiempo de mezclado, que termina en el momento de la descarga de la mezcla, no deberá ser menor a (40) ni mayor a cien (100) segundos.

b) Transporte

El transporte de los agregados y/o la mezcla se efectuara de preferencia en camiones, sean mezcladores o no, pero previniendo cualquier pérdida de humedad o material; así mismo, se procederá a su lavado con agua a presión cuando se tengan residuos que puedan afectar el buen comportamiento del concreto. La secretaría fijara de acuerdo con el contratista los intervalos de esta operación.

En el caso de emplear camiones, estos deberán de contar con caja revestida de lamina, cubierta que evite la evaporación de la mezcla y mecanismos que depositen la mezcla en forma satisfactoria, sin segregaciones. La caja deberá estar perfectamente limpia antes de ser utilizada por nuevas mezclas.

Cuando el concreto fresco se deposite en el lugar del colado con canales o tubos, se dispondrán estos de tal manera que se prevenga cualquier segregación de los materiales. El ángulo de caída deberá ser lo suficientemente pronunciado para lograr el fácil movimiento de las revolturas, pero sin que se clasifiquen los agregados.

En cualquier punto durante el transporte y durante la colocación en la superficie por pavimentar, la caída libre del concreto no deberá exceder de 1.0 m.

c) Colado

La superficie sobre la que se colocara el concreto fresco deberá estar perfectamente limpia, ligeramente humedecida y libre de sustancias ajenas al concreto, terminada dentro de los niveles y tolerancias que mas adelante se indican.

La colocación y compactación del concreto se hará dentro de los treinta (30) minutos siguientes a su elaboración.

El concreto se colocara por los medios apropiados para evitar la segregación de los materiales, esparciéndolo con extendedoras o pavimentadoras autopropulsadas, con cimbra deslizante del tipo SLIP FORM PAVER 450 (CMI-SF-450) o similar.

La pavimentadora a emplear deberá estar diseñada para el propósito de esparcir, consolidar y dar forma al concreto fresco en una sola pasada del equipo de modo que se requiera de un mínimo de terminado manual para proporcionar un pavimento denso y homogéneo con los requisitos de rasante, tolerancias y sección transversal de acuerdo a las especificaciones de proyecto. Este equipo deberá tener el peso y potencia suficiente para construir el ancho y espesor máximos requerido por el proyecto con la velocidad adecuada, sin presentar inestabilidad transversal, longitudinal o vertical y sin deslizamientos.

La pavimentadora deberá de contar con sensores de nivel y la orilla de la losa deberá formar un ángulo de 90 grados con respecto a la superficie. Este equipo deberá tener también la capacidad de insertarlas barras de amarre para las juntas longitudinales en forma automática. En ningún caso se aceptara que la inserción de las barras de amarre se haga manualmente. En el caso de especificar pasajuntas, el concreto deberá colocarse directamente encima de las canastillas para prevenir que se muevan cuando la pavimentadora pase sobre ellas. Las cimbras laterales y la enrasadora deberán ser ajustadas para cumplir con las tolerancias en los bordes y en la superficie enrasadora deberán ser ajustables para cumplir con las tolerancias en los bordes y en la superficie. Las cimbras laterales deberán ser de las dimensiones, forma y resistencia necesaria para soportar al concreto lateralmente por un lapso de tiempo necesario de modo que no se produzca deformación.

De los bordes de la losa en exceso de las tolerancias especificadas. El terminado final deberá lograrse mientras el concreto esta aun es estado plástico.

En caso de presentarse deficiencias en la consistencia del concreto o en caso de ocurrir cualquier otro defecto estructural o de superficie que, ha criterio de la Secretaria, no pueda ser corregido dentro de las tolerancias permitidas, se deberán parar inmediatamente las operaciones de la pavimentadora hasta que se efectúen los ajustes necesarios del equipo o se modifiquen los procedimientos. Cualquier concreto no corregido dentro de las tolerancias establecidas, deberá ser removido y reemplazado con cargo al contratista.

PROPIEDAD	ESPECIFICACION
Peso del equipo	45.0 Ton Máximo
Potencia	>325 HP (240 Kw.)
Sobrecancho de pavimentación	1.20 a cada lado (incluye espacio para fijar estacas de control)
Sistema automatizado de control	Electrónico/Hidráulico
Sistema de orugas	Mínimo de cuatro Orugas propulsadas hidráulicamente
Presión de piso	< 1.4 kg/cm ² (20.0 psi)

El contratista deberá de considerar las obras de acceso, apuntalamiento, maniobras o en su defecto, el tiempo necesario para ensamblar y desensamblar el equipo, en el evento de que se requiera el paso del mismo por puentes o estructuras que no se tengan la capacidad estructural suficiente para esa eventualidad.

Las orugas de la pavimentadora deberán tener la capacidad de plegarse en el ángulo tal que permita el paso del equipo en el ancho de calzada de los puentes o estructuras.
La compactación del concreto se llevara a cabo adecuadamente con vibradores de inmersión desde la superficie.

d) Limitaciones de mezclado y limitación

No se deberán de realizar operaciones de mezclado u operaciones sobre los pavimentos cuando la luz natural es insuficiente, a menos que se utilice un sistema adecuado de iluminación artificial.

d) 1 Pavimentación en clima frio

A menos que se autorice por escrito por la secretaria, las operaciones de mezclado y colaboración del concreto deberán descontinuarse cuando la temperatura del aire en descenso a la sombra alcance 4° C y no deberá continuarse hasta que se produzca una temperatura en ascenso a sombra de 2° C.

Los agregados no deberán presentar hielo, nieve o partículas congeladas antes de alimentarse en la planta de mezclado. La temperatura del concreto mezclado no deberá ser menor a 10° C al momento de colocación. El concreto no deberá colocarse en áreas congeladas.

Cuando se autorice la pavimentación durante clima frio, el agua y los agregados deberán calentarse a no más de 66° C.

d) 2 Pavimentación en clima caliente

Durante periodos de clima caliente cuando la temperatura máxima diaria del aire exceda los 30° C, se deberán de tomar las siguientes precauciones:

Se deberán de humedecer las cimbras y/o la superficie a pavimentar inmediatamente antes de la colocación del concreto. El concreto deberá colocarse con la temperatura mínima posible, y en ningún caso la temperatura del concreto al momento de la colocación excederá de 35° C, los agregados y/o el agua de mezclado deberán enfriarse en caso de ser necesario para mantener temperatura del concreto a no mas de 35° C.

Las superficies terminadas del pavimento recién colocado deberán mantenerse húmedas mediante la aplicación de agua en forma de rocío utilizando equipo aprobado para este fin hasta que se aplique la membrana de curado. En caso de requerirse, se deberán de levantar rompedientos de modo que se proteja al concreto de una evaporación en exceso de 0.2 lb/pie²/hr (1 kg/m²/hr) determinada de acuerdo a las recomendaciones de la Portland Cement Association (PCA)

Cuando las condiciones sean tales que se esperen problemas por agrietamiento plástico, y en especial, si comienzan a presentarse este tipo de agrietamientos, el contratista deberá tomar las medidas adicionales necesarias para proteger la superficie del concreto. Si tales medidas no evitan efectivamente la ocurrencia de agrietamientos plásticos, se deberán suspender inmediatamente las operaciones de pavimentación.

e) Acabado Superficial

El acabado superficial longitudinal del concreto recién colado podrá proporcionarse mediante llanas metálicas, y a continuación, mediante el arrastre de tela de yute o bandas de cuero. Posteriormente con un equipo de texturizado del tipo CMI-TC- O similar, se procederá a realizar el texturizado transversal mediante una rastra de alambre en forma de peine, con una separación entre dientes de 20 milímetros y mínima de milímetros a todo lo ancho de la superficie pavimentada. Esta operación se realizará cuando el concreto este lo suficientemente plástico para permitir el texturizado, pero lo suficientemente seco para evitar que el concreto fluya hacia los surcos formados por esta operación.

El acabado final deberá proporcionar una superficie de rodamiento con las características mínimas de seguridad (coeficiente de fricción) y de comodidad (índice de perfil) que se indican enseguida.

Una vez terminados los trabajos de construcción de las losas correspondientes a un día, y durante las siguientes cuarenta y ocho horas, el contratista se obligará a realizar los estudios necesarios para garantizar el final de la superficie de rodamiento. Dichos estudios consistirán en la determinación del índice del perfil de acuerdo con la especificación complementaria correspondiente a la determinación de la calidad de la superficie terminada (rugosidad). El contratista deberá garantizar que el índice de perfil del pavimento construido cumpla con la especificación complementaria correspondiente y con las tolerancias incluidas en esta especificación.

Para efectos de frenado, el contratista deberá garantizar mediante estudios que realice que la superficie terminada presenta una resistencia al rozamiento que, al medirse con el equipo Mu-Meter, arroje un valor igual o mayor de siete décimas (0.7) en condiciones de pavimento mojado y a velocidad de setenta y cinco (75) kilómetros por hora; la medición se realizará por lo menos sobre la huella de la rodera externa de cada carril (ASTME 670).

f) Curado

El curado deberá de hacerse inmediatamente después del acabado final, cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial. Esta operación se efectuara aplicando en la superficie una membrana de curado a razón de un (i) litro por metro cuadrado, para obtener un espesor uniforme de (1) milímetro, que deje una membrana impermeable y consistente de color claro y que impida la evaporación del agua que contiene la mezcla del concreto fresco. Su aplicación debe realizarse perfectamente con irrigadores mecánicos a presión, con equipo del tipo CMI-TC-250 o similar. La membrana de curado no deberá aplicarse durante periodos de lluvia.

Las caras expuestas de las juntas aserradas deberán ser recubiertas con membrana, de curado inmediatamente después de que concluya el corte.

El espesor de la membrana podrá reducirse si de acuerdo con las características del producto que se use puede garantizar su integridad, cubrimiento de la losa y duración de acuerdo con las especificaciones del fabricante de la membrana de curado.

g) Juntas

Las juntas deberán ajustarse al alineamiento, dimensiones y características consignadas en el proyecto.

Después del curado de las losas se procederá al corte de las juntas transversales y longitudinales con discos abrasivos si se realizan los cortes en seco, o con discos de diamante en caso que se realicen con agua. El corte de las juntas deberá comenzar por las transversales de contracción, e inmediatamente después continuar con las longitudinales. Este corte deberá realizarse cuando el concreto presente las condiciones de endurecimiento propicias para su ejecución y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados. El contratista será el responsable de elegir el momento propicio para efectuar esta actividad sin que se presente pérdida de agregado en la junta o despostillamientos de la losa, sin embargo, una vez comenzado el corte deberá continuarse hasta finalizar todas las juntas, esto dentro de las siguientes 18 horas después del colado. Las losas que se agrieten por serrado importuno deberán ser demolidas y/o reparadas de acuerdo y a satisfacción de la secretaria.

Cuando el corte de las juntas correspondiente a un día de colado no pueda ser finalizado dentro de las 18 horas establecidas, el colado del siguiente día será limitado a un tramo equivalente al que si pudo ser cortados a tiempo el día anterior.

En el caso de que se requiera de cortes de juntas en dos etapas (escalonados), el segundo corte deberá realizarse antes de 72 horas después del colado.

En la construcción de las juntas deberá considerarse la siguiente clasificación:

- Longitudinales de construcción aserradas con barras de amarre (TIPO A)
- Transversales de contracción aserradas con pasajuntas (TIPO B)
- Longitudinales de construcción con barras de amarre y machihembrado (TIPO C)
- Transversales de construcción cimbradas con pasajuntas (TIPO D)

Las juntas longitudinales de contracción aserradas y con barras de amarre (TIPO A) se construirán en los sitios que indique la sección típica del proyecto de acuerdo con lo indicado en el Croquis No 1)

Las juntas transversales de contracción aserradas (TIPO B) se construirán en los sitios que indica la sección típica del proyecto de acuerdo con lo indicado en el croquis No 2.

La junta longitudinal de construcción con barras de amarre y machihembrado (TIPO C) quedara formada en la unión de la junta fría entre las dos franjas de pavimentación como se indica en el croquis No 3.

Las juntas transversales de construcción con pasajuntas (TIPO D) se construirán en los lugares predeterminados para finalizar el colado del día, coincidiendo siempre con una junta transversal de contracción y alineada perpendicularmente al eje del camino, estas juntas se construirán a tope, de acuerdo con lo indicado en el croquis No. 4 y se colocaran pasajuntas a todo lo ancho de la sección transversal.

Cuando por causas de fuerza mayor sea suspendido el colado por mas de 30 minutos, se procederá a construir una junta transversal de emergencia con la que se suspenderá el colado hasta que sea posible reiniciarlo. La configuración de las juntas transversales de emergencia esta exactamente igual que la de las juntas transversales de construcción (TIPO D).

La localización de la junta transversal de emergencia se establecerá en función del tramo que se haya colado a partir de la última junta transversal de contracción trazada. Si el tramo colado es menor que un tercio de la longitud de la losa, se deberá remover el concreto fresco para hacer coincidir la localización de la junta de emergencia con la transversal de contracción inmediata anterior. En caso de que la emergencia ocurra en el tercio medio de la losa, se deberá establecer la localización de la junta de emergencia cuidando que la distancia de esta a cualquiera de las dos juntas transversales de contracción adyacentes no sea menor que 1.5 metros. Si la emergencia ocurre en el último tercio de la longitud de la losa, se deberá remover el concreto fresco para que la localización de la junta transversal de emergencia sea en el tercio medio de la losa.

Las juntas transversales de construcción y las juntas transversales de emergencia deberán formarse hincando en el concreto fresco una frontera metálica que garantice la perpendicularidad del plano de la junta con el plano de la superficie de la losa. Esta frontera o cimbra deberá de contar con orificios que permitan la instalación de pasajuntas en todo lo ancho de la losa con el alineamiento y espaciamiento correctos, independientemente de que los documentos de construcción no indiquen pasajuntas en los acotamientos. Estas juntas serán vibradas con vibradores de inmersión para garantizar la consolidación correcta del concreto en las esquinas y bordes de la junta.

Las ranuras aserradas deberán inspeccionarse para asegurar que el corte se haya efectuado hasta la profundidad especificada. Toda materia extraña que se encuentre dentro de todos los tipos de juntas deberá extraerse mediante agua a presión, sand blast y aire a presión los cuales deberán ser aplicados siempre en una misma dirección. El uso de este procedimiento deberá garantizar la limpieza total de la junta y la eliminación de todos los residuos del corte. A continuación procederá al curado de sus superficies laterales, inmediatamente después de que se hayan resanado, si esto hubiere sido necesario.

La longitud de las losas en el sentido longitudinal sería de acuerdo a lo indicado en el proyecto con una tolerancia de 5 centímetros en más o menos y coincidiendo siempre el aserrado de las juntas transversales con el centro de la longitud de las pasajuntas. El alineamiento de las juntas longitudinales será el indicado por el proyecto, con una tolerancia de 5 centímetros en más o menos.

Deberán tomarse las precauciones necesarias para evitar que se dañen los bordes de las juntas por impactos del equipo o de la herramienta que se este utilizando en la obra. En el caso de que produzcan daños en las juntas, el contratista deberá corregirlos sin cargo alguno formando una caja mínima de 50 centímetros de ancho por 50 centímetros de largo por un medio del espesor de la losa de profundidad por medio de la utilización de cortadoras de disco. Se deberá evitar el uso de equipos de impacto para el formato de la caja, con el fin de no producir daño estructural alguno en la losa. El concreto a ser empleado en la reparación deberá ser del tipo que no presente contracción ni cambio alguno por las reacciones de hidratación del cemento.

h) Protección del Pavimento

Durante el tiempo de endurecimiento del concreto, deberá protegerse la superficie de las losas contra acciones accidentales de origen climático, de herramientas o del paso de equipo o seres vivos. Se deberá tener personal para controlar el tránsito y se deberán instalar y mantener señales de precaución y alumbrado. El contratista será responsable único del costo y trabajos correspondientes para la reparación de desperfectos causados en la losa de concreto por cualquiera de las causas arriba mencionadas. El procedimiento para la reparación deberá ser previamente autorizada por la

secretaria. Los trabajos de reparación quedaran cubiertos por la misma garantía que aplica a los trabajos de pavimentación.

El contratista deberá tener disponible en todo tiempo materiales para la protección de los bordes y superficie de concreto no endurecido. Estos materiales, deberán consistir de membranas de polietileno de al menos 0.1 mm de espesor, de longitud y ancho suficiente para cubrir la superficie y bordes de las losas de concreto en estado plástico. La membrana podrá montarse en la pavimentadora o en un puente móvil del cual se pueda desarrollar sin arrastrarse sobre el concreto. Cuando se presente lluvia, se deberán parar todas las operaciones de pavimentación y todo el personal disponible deberá comenzar a cubrir la superficie del concreto en estado plástico con las cubiertas protectoras.

i) Calidad del Concreto

El concreto deberá de ser uniformemente plástico, cohesivo y manejable. Concreto trabajable es definido como aquel que puede ser colocado sin producir demasiados poros en el concreto y en la superficie del pavimento.

Cuando aparezca agua en la superficie del concreto en cantidades excesivas después del acabado deberá ser inmediatamente corregido por medio de una o mas de las siguientes medidas:

Rediseño de la mezcla

Adición de relleno mineral o agregados finos

Incremento del contenido del cemento

Uso de un aditivo de aire o equivalente, previamente probado.

La mezcla de concreto para pavimentación con cimbra deslizante deberá ser diseñada para producir un revenimiento de 4 centímetros, obtenido siguiendo los lineamientos de la prueba ASTM C 143. El revenimiento no deberá de ser menor que 2.5 centímetros ni mayor que 6 centímetros. Las mezclas de concreto que no cumplan con este requisito en el momento de su colocación deberán ser rechazadas y utilizadas en alguna otra obra complementaria.

j) Diseño de la mezcla

Será responsabilidad del contratista suministrar el diseño de la mezcla empleando un factor de agregado grueso aceptable, el cual no deberá ser menor que 0.66 ni mayor de 0.85, el contratista deberá de llevar acabo, a su cuenta, el trabajo requerido para establecer y verificar la mezcla, incluyendo las pruebas de resistencia de especímenes. El desarrollo completo de la mezcla, incluyendo los resultados de las pruebas de resistencia, deberá ser sometido a revisión para obtener la aprobación de la secretaria.

Después de que la relación agua-cemento y las proporciones de la mezcla hayan sido establecidas para producir el concreto con la resistencia y trabajabilidad requerida, se podrá proceder a la colocación del mismo. La resistencia del concreto en el pavimento acabado deberá de ser determinada por medio de la prueba de la resistencia a la tensión de los especímenes hechos, curados y ensayados por y en un laboratorio de pruebas siguiendo la especificación ASTM C 78. Sin embargo, de así desearlo. La secretaria podrá especificar algún método alternativo apropiado para determinar la resistencia del concreto. Modificaciones al diseño de la mezcla serán necesarios si estos especímenes no cumplen con la especificación de la resistencia.

Los cambios en la relación agua-cemento y el diseño de la mezcla en general, incluyendo un crecimiento en el factor cemento, si es necesario, deben hacerse cuando el promedio de las resistencias a la flexión (modulo de ruptura) a los siete días de edad de los especímenes de concreto, calculado con los últimos valores obtenidos de la prueba de vigas hechas de concreto con la misma relación agua-cemento, se aleje del valor mínimo deseado de resistencia a la flexión por mas de 4 por ciento. La secretaria, a su elección, podrá rechazar cualquier valor individual de resistencia a la flexión por ser considerado como no representativo en cada grupo de 10, cuando valores 10 por ciento mayores o menores que el promedio de todo el grupo sean obtenidos, y podrá calcular el promedio con los valores restantes.

Si las pruebas de resistencia de las muestras representando 3 días continuos de producción indican consistentemente una diferencia significativa con la resistencia mínima especificada, a pesar de estar dentro de los límites aquí indicados previamente, deberán efectuarse los cambios correspondientes en la relación agua-cemento y proporciones de la mezcla para producir un concreto adecuado.

k) Especímenes de Prueba

Se deben de tomar muestras del concreto para hacer especímenes de prueba para determinar la resistencia a la flexión durante el colado del concreto. Especímenes de prueba adicionales podrán ser necesarios para determinar adecuadamente la resistencia del concreto cuando la resistencia del mismo a temprana edad limite la apertura del pavimento al tránsito. El procedimiento seguido para el muestreo del concreto deberá cumplir con la norma ASTM C 172

La frecuencia del muestreo será de 4 especímenes para prueba de modulo de ruptura, y seis especímenes en total para determinar el modulo elástico, resistencia a la compresión, y prueba brasileña por cada 150 m3 de producción de concreto. En el caso de la determinación del modulo de ruptura, se ensayaran dos especímenes a los 7 días de colado, y los otros dos restantes a los 28 días. En el caso de la determinación del modulo de elasticidad, resistencia a la compresión y de la prueba brasileña, se ensaya un espécimen por cada prueba a los 7 días de colado, y el restante a los 28 días de transcurrido el colado.

4.8 TOLERANCIAS

Para dar por terminada la construcción de las losas de concreto hidráulico se verificaran el alineamiento, la sección en su forma, espesor, anchura y acabado, de acuerdo con lo fijado en el proyecto y/o lo ordenado por la Secretaria con las siguientes tolerancias.

Pendiente transversal con respecto a la del proyecto	+ - 0.5%
Anchura de la superficie, del eje a la orilla	+ - 1.0 cm
Espesor de las losas con respecto al de proyecto Para cada tramo de 500 m de longitud	-0.5 cm
Resistencia al rozamiento	0.7 mínimo
Índice de perfil para cada tramo de 200 m de longitud	16.0 cm/kg. máximo
Profundidad de las depresiones observadas con regla De 3 m en cualquier dirección	0.5 cm máximo

a) Alineamiento de las Pasajuntas

Se deberá revisar la posición y alineamiento correcto de las pasajuntas. La tolerancia máxima permisible en el alineamiento de las pasajuntas no deberá exceder del 2 por ciento o de 6.0 mm por cada 300 mm en el plano horizontal y vertical.

b) Espesor de la losa de Concreto

Se deberán extraer núcleos del pavimento de concreto en los lugares especificados por la Secretaría después de que se hayan llevado a cabo todas las correcciones requeridas y antes de que se efectúe la aceptación final del pavimento. El espesor del pavimento se deberá determinar siguiendo los lineamientos de la especificación ASTM 42 y ASTM C 174

Para el propósito de establecer un precio unitario ajustado del pavimento, se consideran unidades de 500 metros de longitud en cada carril de circulación comenzando por el extremo del pavimento con el cadenamamiento menor. La última unidad en cada carril de circulación será de 500 metros más la fracción restante para el final del pavimento.

La secretaría extraerá un núcleo del pavimento por cada unidad de 500 metros en cada carril de circulación en el lugar especificado o seleccionado aleatoriamente. Cuando el espesor del pavimento medido según los lineamientos de la especificación ASTM C 174 no sea deficiente en más de 5 milímetros con respecto al especificado en los documentos de construcción, se efectuará el pago completo de la unidad. Cuando el espesor del pavimento sea deficiente en más de 5 milímetros, pero en menos de 20 milímetros, se deberán obtener dos núcleos adicionales dentro de la unidad en estudio a costo del contratista. Los dos núcleos adicionales para cualquier unidad de 500 metros deberán ser obtenidos a intervalos no menores a 150 metros. Si el promedio del espesor de la losa obtenido de los tres núcleos no es deficiente en más de 5 milímetros, se efectuará el pago completo de la unidad. En el caso de que el promedio del espesor de la losa obtenido a partir de los tres núcleos sea deficiente en más de 5 milímetros, pero no menos de 20 milímetros, se pagará un precio ajustado de la unidad según se indica en el inciso **-AJUSTE DE PRECIO POR ESPESOR** de estas especificaciones, empleando para esto el espesor de la losa promedio obtenido a partir de los tres núcleos de concreto.

Para el cálculo del espesor de la losa promedio, aquellos espesores que sean mayores que el espesor indicado en los documentos de construcción por más de 5 milímetros serán considerados como el espesor indicado más 5 milímetros. De la misma forma, aquellos espesores de la losa que sean menores que el espesor indicado en los documentos de construcción en más de 20 milímetros serán considerados como el espesor indicado menos 20 milímetros.

Cuando el espesor de cualquier núcleo de concreto sea deficiente por más de 20 milímetros, el espesor del pavimento en esta área se determina por medio de la extracción de núcleos a intervalos de 5 metros paralelos al eje del camino en ambas direcciones a partir del núcleo que se encontró deficiente hasta que se obtenga en cada una de las direcciones un núcleo que no sea deficiente por más de 20 milímetros. Estos núcleos de exploración no serán incluidos para el cálculo del espesor promedio de la losa con el fin de obtener un precio ajustado. Los núcleos de exploración serán empleados solamente para determinar la longitud de pavimento dentro de la unidad en estudio que será dejada en el lugar o removida sin que el contratista reciba pago alguno por esa área.

Cualquier área del pavimento que sea deficiente por mas de 20 milímetros, pero no por mas del valor entre 25 milímetros o 1/8 del espesor indicado en los documentos de construcción no será sujeta de pago al contratista.

Cualquier área de pavimento que se encuentre deficiente en mas de 25 milímetros o 1/8 del espesor indicado de la losa en los documentos de construcción, lo que sea mayor, deberá ser removida y remplazada con concreto del espesor indicado en los documentos de construcción sin que el contratista reciba pago alguno por los trabajos adicionales.

c) Espesor Total del Pavimento

Para la aceptación final de las losas de concreto, deberá verificarse que los espesores promedio realmente obtenidos en toda la estructura del pavimento, sean iguales que los correspondientes de proyecto, con las tolerancias en menos que se indican en la siguiente tabla:

ESPESOR PROMEDIO	TOLERANCIA
Base	-1.0 cm
Estructura total del pavimento (base + losa)	-1.0 cm

d) Resistencia del Concreto Hidráulico

La resistencia del concreto se determinara mediante ensayos de tensión por flexión realizados a especímenes de quince por cincuenta (15x15x50) centímetros. Que serán modelados durante el colado del concreto, compactando las muestras por vibrocompresion. Una vez curados adecuadamente los especímenes, se ensayaran conforme al procedimiento establecido en la Norma ASTM C 78.

Se deberán obtener cuatro especímenes para la prueba de tensión por flexión por cada ciento cincuenta (150) metros cúbicos o fracción del concreto colado en un día, siguiendo el procedimiento establecido en la Norma ASTM C 172. Dos especímenes serán ensayados a los siete (7 días) de edad y los otros dos a los veintiocho (28) días.

Cuando la resistencia del concreto a temprana edad limite la apertura del pavimento al transito, podrá ser necesario obtener especímenes adicionales.

Cuando el promedio de la resistencia a la tensión por flexión a los siete días de edad de los especímenes, calculando con los valores obtenidos en los diez (10) últimos ensayos realizados con una misma relación agua-cemento del concreto, resulte menor al valor mínimo de la resistencia a esa edad por mas de cuatro por ciento (4%), deberán realizarse ajustes en la relación agua-cemento y en el diseño de la mezcla en general, incluyendo el consumo unitario de cemento si fue necesario.

La secretaria podrá rechazar cualquier valor individual de resistencia a la tensión por flexión en cada grupo de diez (10), considerarlo no representativo cuando difiera del promedio de todo el grupo en mas o menos de diez por ciento (10%) y procederá a calcular el promedio con los valores restantes.

Si la resistencia de las muestras obtenidas durante (3) días continuos de producción presentan consistentemente una diferencia significativa con la resistencia mínima especificada, a pesar de estar dentro de los límites indicados previamente, deberán realizarse ajustes en la relación agua-cemento y el diseño de la mezcla en general, incluyendo el consumo unitario de cemento si fuera necesario. La secretaria podrá solicitar la realización de algún tipo de pruebas para determinar la resistencia del concreto. En el caso de requerir la determinación del modulo de elasticidad, resistencia a la compresión y/o la prueba brasileña, se obtendrán dos (2) especímenes por cada una de esas pruebas, simultáneamente que los especímenes para la prueba de tensión por flexión, es decir, por cada ciento cincuenta (150) metros cúbicos o fracción del concreto colado en un día.

Se considera que un concreto hidráulico cumple con el requisito de resistencia fijada en el proyecto cuando se verifique lo siguiente.

Que el promedio de la resistencia a la tensión por flexión, de cada cinco (5) especímenes consecutivos. Sea igual o mayor que la resistencia a la tensión por flexión fijada en el proyecto, a los veintiocho (28) días de edad.

Que en los mismos cinco (5) especímenes a que se refiere el subparrafo anterior, cuando menos cuatro (4) tengan una resistencia igual o mayor que el noventa por ciento (90%) de la resistencia fijada en el proyecto para los mismos veintiocho (28) días de edad.

e) Resistencia al Rozamiento

La resistencia al rozamiento, se medirá con el equipo Mu-Meter, tal y como se establece en el inciso ACABADO SUPERFICIAL de esta especificación, sobre la rodiera exterior de cada carril, siguiendo el procedimiento indicado en la Norma ASTM E 670.

f) Índice de Perfil

El contratista deberá proveer y mantener durante el tiempo que dure la obra un perfilometro que cumpla con las especificaciones ASTM E 1274, la calibración del equipo, siguiendo los lineamientos de la misma especificación, deberá ser verificada por la Secretaria antes de su uso en el proyecto. Los resultados del ensaye del perfilometro serán evaluados por la Secretaria.

El ensaye de la superficie de pavimento será limitado a aquellos pavimentos con mas de 200 metros de longitud de construcción.

Aquellos pavimentos con curvas horizontales que tengan un radio de curvatura al eje del camino menor que 30 metros no serán ensayados mediante este método, al igual que las transiciones de la sobre-elevación correspondiente a dichas curvas. El pavimento comprendido dentro de los 5 metros subsecuentes a un pavimento existente no colocado dentro de este proyecto, o una estructura o losa de aproximación, no será ensayado por medio del perfilometro. Para estos casos deberá emplearse una regla de 3 metros de longitud, y las irregularidades comprendidas en cualquier dirección (en el caso de que existan) no deberán exceder 5 milímetros. Para la corrección de irregularidades que no cumplan con la tolerancia aquí especificada se empleara aquel método aprobado previamente por la Secretaria con cargo al contratista.

Cada carril de circulación deberá ser evaluado como a continuación se indica.

La medición del perfil del pavimento comenzara a 5 metros dentro del concreto previamente colocado, y será medido a lo largo de las líneas imaginarias que son paralelas a aquellas que delimiten cada carril de circulación, y que están ubicadas aproximadamente a 1 metro dentro del carril que esta siendo evaluado. Las mediciones efectuadas a lo largo del pavimento siendo evaluado serán divididas en tramos consecutivos de 200 metros cada uno, con el fin de establecer secciones que podrán tener un premio o una deducción debido a la calidad de la superficie terminada. El índice de perfil a considerar para evaluar cada sección de 200 metros será el promedio de las dos mediciones tomadas dentro del ancho de cada carril de circulación evaluado.

Alternativamente, cuando se lleve a cabo la pavimentación completa del ancho de corona en una sola pasada del tren de pavimentación, y la sección transversal del pavimento este compuesta por al menos dos carriles de circulación mas los acotamientos correspondientes, se podrá obtener solo un perfil del pavimento por carril de circulación para efectos de esta evaluación. El índice de perfil a considerar par evaluar cada sección de 200 metros será el promedio de todas las mediciones tomadas en la sección transversal que cumpla con lo aquí estipulado.

Arranque de las operaciones de pavimentación

Durante el comienzo de las operaciones de pavimentación, ya sea el arranque de la pavimentación o después de tiempos prolongados de inactividad, la superficie del pavimento será ensayada con el perfilometro tan pronto como sea posible sin que se dañe la superficie del pavimento. El propósito de este ensaye es ayudar al contratista y al propietario a evaluar los métodos y equipos de pavimentación. La longitud de esta sección de prueba inicial no deberá exceder 400 metros. Cuando los métodos de pavimentación empleados y el equipo empleado produzcan un índice de perfil de 16 centímetros por kilómetro o menos, el contratista podrá proceder con las operaciones de pavimentación. En el caso de que este índice de perfil inicial exceda 16 centímetros por kilómetro, el contratista deberá efectuar correcciones en sus operaciones de pavimentación, las cuales deberán ser aprobadas por la Secretaria, antes de que pueda proceder a pavimentar y evaluar otra sección de prueba de 400 metros.

Índice de perfil promedio diario

Un día de pavimentación será definido como un mínimo de 200 metros de longitud de pavimento colocado durante un mismo día. Cuando la colocación de concreto de un solo día no exceda 200 metros de longitud, dicha pavimentación deberá ser agrupada con la del día de pavimentación inmediato siguiente. Los perfiles del pavimento deberán medirse tan pronto como sea practico y posible, pero no mas tarde que el siguiente día de trabajo.

El índice de perfil promedio diario deberá ser determinado para cada día de pavimentación por medio del promedio aritmético de todos los índices de perfil calculados para cada una de las secciones de 200 metros comprendidas dentro de la longitud de pavimentación del día correspondiente. Cuando el índice de perfil promedio exceda 25 centímetros por kilómetro, las operaciones de pavimentación deberán ser suspendidas inmediatamente hasta que el contratista efectué las correcciones pertinentes que sean aprobadas por la Secretaria. Para reanudar las operaciones de pavimentación, el contratista deberá cumplir con lo estipulado en el procedimiento correspondiente al arranque de las operaciones de pavimentación, incluido en esta especificación.

g) Evaluación del Pavimento y Correcciones

Después de que la superficie del pavimento sea ensayada, todas aquellas áreas que presentan una desviación igual o mayor a 10 milímetros en 7.5 metros o menos deberán corregirse. Después de su corrección deberán ensayarse de nuevo para verificar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

Después de la corrección individual de todas las desviaciones, cualquier sección de 200 metros de longitud que presente un índice de perfil mayor a 25 centímetros por kilómetro deberá ser corregida para reducir dicho índice a 16 centímetros por kilómetro o menor. Estas secciones de pavimento donde se han requerido correcciones deberán ser ensayadas una vez que dichas correcciones estén concluidas para asegurar que efectivamente se ha reducido el índice de perfil a 16 centímetros por kilómetro o menos.

Cuando el índice de perfil de cualquier sección de 200 metros exceda 16 centímetros por kilómetro. Pero no exceda 25 centímetros por kilómetro, el contratista podrá elegir entre corregir la calidad de la superficie terminada o aceptar una penalización dentro de su precio unitario de pavimento debido a la calidad deficiente de dicha superficie terminada. Esta penalización o ajuste de precio deberá basarse conforme a lo indicado - AJUSTE DE PRECIO POR CALIDAD DE LA SUPERFICIE TERMINADA de estas especificaciones.

Todos los trabajos de corrección que deberán efectuarse a la superficie terminada del pavimento serán con cargo al contratista. Todo método de corrección de la superficie del pavimento deberá ser aprobado por la secretaria. No se le permitirá al contratista efectuar trabajos de corrección por medio del empleo de equipos de impacto que puedan dañar la estructura de pavimento ni mediante resanes superficiales adheridos

Una vez que se efectúen los trabajos de corrección de la superficie del pavimento deberán ser efectuados antes de que se determinen los espesores de losa para pago según la especificación complementaria correspondiente.

Todos los trabajos de corrección de calidad de superficie del pavimento deberán ser efectuados antes de que se determinen los espesores de losa para pago según la especificación complementaria correspondiente.

h) Fresado

El fresado máximo permisible no deberá exceder de 1.0 % del área total de la pavimentación.

En caso de que se requiera corregir mas del 1.0% del área de pavimentación, el área excedente al 1.0% deberá corregirse mediante remoción y reemplazo de las losas de concreto.

No se deberá corregir mediante fresado cuando se tengan diferencias de nivel con respecto a la sección de proyecto de mas de 13 mm por cada 5 m. En estos casos, la corrección se deberá realizar mediante remoción y reemplazo de las losas de concreto.

En caso de optarse por corregir las deficiencias de perfil de la losa de concreto mediante fresado con cuchillas de diamante se deberán seguir los siguientes lineamientos.

- 1 La longitud mínima por desbastar en cada zona por corregir no deberá ser menor de 5.0 m lineales. El fresado deberá ser de manera continua en toda la superficie y se deberá aplicar en todo el ancho del pavimento incluyendo el área de acotamientos.
- 2 El fresado deberá comenzar y terminar en líneas perpendiculares al centro de línea del pavimento y siempre deberá realizarse en forma longitudinal.
- 3 El material producto del fresado (slurry) deberá ser depositado en camiones equipados para transportar material líquido y deberá ser desechado en los lugares indicados por la Secretaría.

i) Medición

Las losas de concreto hidráulico, por unidad de obra terminada, se medirán tomando como unidad el metro cúbico de concreto, con el modulo de resistencia a la tensión por flexión fijado en el proyecto, las tolerancias de acabado, de espesor de losa, y de alineamiento. Los volúmenes construidos se cubicaran en las mismas losas por medio de seccionamiento a cada 10 metros siguiendo el método de promedio de áreas extremas.

4.9 BASE DE PAGO

En las losas de concreto hidráulico que constituirán el pavimento, se considera el volumen fijado por el proyecto y se pagara al precio fijado en el contrato para el metro cúbico, sujeto a los ajustes de precio correspondientes al cumplimiento de las tolerancias indicadas, en estas especificaciones en cuanto a espesores de losa e índice de perfil.

El precio unitario incluye lo que corresponda por: derechos y regalías para la extracción o adquisición del agua extracción del material aprovechable y del desperdicio de los almacenes temporales, cualquiera que sea la clasificación instalaciones y desmantelamiento de la planta alimentación de la planta, cribados, desperdicios de los cribados, trituración total o parcial; lavado, cargas y descargas de los materiales, todos los acarrees y maniobras necesarios para los materiales y los desperdicios de ellos, adquisición del cemento Portland, del tipo fijado en el proyecto y sus acarrees y desperdicios y de los Aditivos que se requieran en el lugar de la obra, carga, acarrees y descarga de los materiales, formación de los almacenamientos en la obra, de todos los materiales, la amortización del valor de fabricación o adquisición de los moldes y su transporte; preparación, colocación, materiales necesarios y remoción de los moldes, elaboración del concreto con el cemento y aditivos que se requieran, acarreo de la mezcla desde el sitio de su fabricación hasta el sitio de su colocación, agua para el humedecimiento de la base de apoyo de las losas, humedecimiento de los moldes; acabado superficial y corrección de imperfecciones mediante lana o Fresado, texturizado, curado de las losas y de juntas aserradas. Aserrado de juntas y corrección de sus bordes si es necesario; limpieza de las juntas y sellado, incluyendo la reposición de sellos por defectos de colocación o daño resultante de la construcción; el acero para las pasajuntas y barras de

amarre, incluyendo sus transportes y colocación; neoprenos y adhesivos necesarios, incluyendo su colocación; los tiempos de los vehículos empleados en los transportes, durante las cargas y descargas; construcción del tramo de prueba previo a los trabajos de pavimentación; protección a las estructuras o parte de ellas, precauciones para no mancharlas durante la construcción; verificación de los acabados y texturizado y en general de todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos, a satisfacción de la secretaria, así como todos los trabajos inherentes a la corrección de desperfectos en el pavimento según lo indique la Secretaria.

El contratista estará obligado a construir y conservar transitables todo el tiempo requerido, tanto las desviaciones como los caminos de acceso adecuados para comunicar los frentes de trabajo.

Todas las obras temporales como recargues o trabajos adicionales necesarios para dar apoyo al equipo de pavimentación se deberán considerar en la elaboración del precio unitario.

a) Ajuste de Precio por Espesor

El pago de la losa de concreto para cada unidad de análisis de 500 metros por carril se efectuara de acuerdo a la siguiente tabla de tolerancias. La deficiencia en espesor determinada por núcleos será el resultado de aplicar los procedimientos anteriormente descritos para cada unidad de análisis de 500 metros por carril de circulación.

Tolerancias en el Espesor de la losa	
Deficiencia en Espesor de Losa Determinada por Núcleos por cada sección de 500 m	Factor de ajuste Aplicable Sobre el precio Unitario Contratado
De 0.0 a 5.0 mm	1.00
De 5.1 a 7.5 mm	0.85
De 7.6 a 10 mm	0.75
De 10.1 a 12.5 mm	0.65
De 12.6 a 20.0 mm	0.50
De 20.1 a 25.0 mm	0
Mayor que 2.5 mm o 1/8 Espesor de proyecto	SUBSTITUIR

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

b) Ajuste de precio Por Calidad de Superficie terminada

Los ajustes en el precio unitario de la losa de concreto por calidad de la superficie terminada del pavimento serán de acuerdo a la siguiente tabla.

AJUSTE DEL PRECIO UNITARIO POR CALIDAD DE SUPERFICIE TERMINADA DEL PAVIMENTO	
Indice de perfil en cm Por km. por cada sección De 200 m	Factor de Ajuste Aplicable sobre el precio contratado
5.0 o menos	1.05
5.1 a 6.5	1.04
6.6 a 8.0	1.03
8.1 a 9.5	1.02
9.6 a 11.0	1.01
11.1 a 16.0	1.0
16.1 a 18.5	0.98
18.6 a 20.0	0.96
20.1 a 21.5	0.94
21.6 A 25.0	0.92
23.1 a 25.0	0.90
mayor que 25.0	CORREGIR

El premio o deducción por calidad de superficie terminada del pavimento será para cada sección de 200 metros.

No se pagara premio alguno por aquellas secciones que originalmente presentan indice de perfil mayor a 16 centímetros por kilómetro.

4.10 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

Para la elaboración de un pavimento de concreto hidráulico es primordial contar con materiales de la más alta calidad que garanticen su durabilidad y perfecto funcionamiento.

a) Cemento.

El cemento a utilizar para la elaboración del concreto será preferentemente Pórtland, de marca aprobada oficialmente, el cual deberá cumplir lo especificado en las normas NMX - C-414 - 1999 - ONNCCE. Si los documentos del proyecto o una especificación particular no señalan algo diferente, se emplearán los denominados CPO (Cemento Pórtland Ordinario) y CPP (Cemento Pórtland Puzolánico), dependiendo del caso y con sub-clasificaciones 30R, 40 y 40R. Estos cementos corresponden principalmente a los que anteriormente se denominaban como Tipo I y Tipo IP.

Es importante que se cumpla respectivamente con los requisitos físicos y químicos que se señalan en las cláusulas 4.01.02.004-B y 4.01.02.004-C de las Normas de Calidad de los Materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

El cemento en sacos se deberá almacenar en sitios secos y aislados del suelo, en acopios de no más de siete metros (7 m) de altura.

Si el cemento se suministra a granel, se deberá almacenar en sitios aislados de la humedad. La capacidad mínima de almacenamiento deberá ser la suficiente para el consumo de un día o una jornada de producción normal.

Todo cemento que tenga más de dos (2) meses de almacenamiento en sacos o tres (3) en silos, deberá ser examinado por el Supervisor del proyecto, para verificar si aún es susceptible de utilización.

b) Agua.

El agua que se emplee en la fabricación del concreto deberá cumplir con la norma NMX-C-122, debe ser potable, y por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc. En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano. No deberá contener cantidades mayores de las sustancias químicas que las que se indican en la siguiente tabla, en partes por millón:

SUBSTANCIAS PERJUDICIALES	ppm Máximo
Sulfatos (convertidos a Na_2SO_4)	1,000
Cloruros (convertidos a NaCl)	1,000
Materia Orgánica (óxido consumido en medio ácido)	50
Turbiedad y/o lignito	1,500

Tabla 4.10.1 Especificaciones - Materiales - Sustancias Perjudiciales en el Agua.

El contenido de sulfatos, expresado como $\text{SO}_4=$, no podrá ser mayor de un gramo por litro (1g/l). Su determinación se hará de acuerdo con la norma ASTM D-516.

Su contenido de ión cloro, determinado según norma ASTM D-512, no podrá exceder de seis gramos por litro (6 g/l).

c) Materiales Pétreos.

Estos materiales se sujetarán al tratamiento necesario para cumplir con los requisitos de calidad que se indican en cada caso, debiendo el contratista prever las características en el almacén y los tratamientos necesarios para su posterior utilización. El manejo y/o almacenamiento subsecuente de los agregados deberá hacerse de tal manera que se eviten segregaciones o contaminaciones con sustancias u otros materiales perjudiciales; se debe mantener una condición de humedad uniforme, antes de ser utilizados en la mezcla.

c) 1 Grava

El agregado grueso será grava triturada totalmente, con tamaño máximo de treinta y ocho (38) milímetros, resistencia superior a la resistencia del concreto, señalada en el proyecto, y con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Tabla 4.10.2 Especificaciones - Materiales – Granulometría de la Grava.

MALLA		% QUE PASA
2"	50.00 mm	100
1 1/2"	37.50 mm	95-100
3/4"	19.00 mm	35-70
3/8"	9.50 mm	10-30
Núm. 4	4.75 mm	0-5

El contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso no deberá exceder los porcentajes máximos que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 4.10.3 Especificaciones – Materiales - Sustancias Perjudiciales en Grava.

SUSTANCIAS PERJUDICIALES	%
Partículas Deleznales	0.25
Partículas Suaves	5.00
Pedernal como impureza	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

El agregado grueso, además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

- ° Desgaste "Los Angeles" 40% máximo.
- ° Intemperismo Acelerado 12% máximo (utilizando sulfato de sodio).

Cuando la muestra esté constituida por material heterogéneo y se tengan dudas de su calidad, el Especificador podrá ordenar que se efectúen pruebas de desgaste de los Angeles, separando el material sano del material alterado o de diferente origen, así como pruebas en la muestra constituida por ambos materiales, en la que estén representados en la misma proporción en que se encuentren en los almacenamientos de agregados, ya tratados o en donde vayan a ser utilizados. En ninguno de los casos mencionados se deberán obtener desgastes mayores que cuarenta por ciento (40%).

En el caso de que se tengan dudas acerca de la calidad del agregado grueso, a juicio del Supervisor se llevará a cabo la determinación de la pérdida por intemperismo acelerado, la cual no deberá ser mayor de doce por ciento (12%), en el entendido de que el cumplimiento de esta característica no excluye las mencionadas anteriormente.

c) 2 Arena.

El agregado fino, o arena, deberá tener un tamaño máximo de nueve punto cincuenta y un milímetros (9.51 mm) con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Tabla 4.10.4 Especificaciones – Materiales – Granulometría de la arena.

MALLA		% QUE PASA
3/8"	9.50 mm	100
Núm. 4	4.75 mm	95-100
Núm. 8	2.36 mm	80-100
Núm. 16	.18 mm	50-85
Núm. 30	00 mm	25-60
Núm. 50	00 mm	10-30
Núm. 100	50 mm	2-10
Núm. 200	5 mm	4 máximo

• El porcentaje de material que pasa la malla #200 está modificado según los límites de consistencia, lo cual se indica en la siguiente tabla:

Límite líquido.	Índice de plástico.	Material máximo permisible en masa que pasa por la criba 0.075 (#200), en porcentaje.
Hasta 25	Hasta 5	18.0
Hasta 25	5-10	16.0
Hasta 25	10-15	6.0
Hasta 25	15-20	4.0
Hasta 25	20-25	1.0
25-35	Hasta 5	16.0
25-35	5-10	14.0
25-35	10-15	11.0
25-35	15-20	8.0
25-35	20-25	1.0
35-45	Hasta 5	15.0
35-45	5-10	9.0
35-45	10-15	6.0
35-45	15-20	2.0
35-45	20-25	1.0
45-55	Hasta	59.0
45-55	5-10	8.0
45-55	10-15	5.0
45-55	15-20	4.0
45-55	20-25	1.0

Tabla 4.10.5 La arena deberá estar dentro de la zona que establece esta tabla, excepto en los siguientes casos:

• Cuando se tengan antecedentes de comportamientos aceptables en el concreto elaborado con ellas, o bien, que los resultados de las pruebas realizados a estos concretos sean satisfactorios; en este caso, los agregados se pueden usar siempre que se haga el ajuste apropiado al proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría.

La arena no deberá tener un retenido mayor de cuarenta y cinco por ciento (45%), entre dos (2) mallas consecutivas; además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

- Equivalente de arena** 80% máximo.
- Módulo de finura 2.30 mínimo y 3.10 máximo.
- Intemperismo Acelerado 10% máximo (empleando Sulfato de Sodio).

** Al ser modificado el porcentaje de material que pasa la malla #200, según los límites de consistencia, el equivalente de arena también debe de ser modificado.

El contenido de sustancias perjudiciales en la arena no deberá exceder los porcentajes máximos siguientes:

Tabla 4.10.6 Especificaciones – Materiales – Sustancias perjudiciales en la arena.

SUBSTANCIAS PERJUDICIALES	% máx.
Partículas Deleznales.	1.00
Carbón mineral y/o lignito.	1.00

En el caso de que se tengan dudas acerca de la calidad del agregado fino, a juicio de la Secretaría se llevará a cabo la determinación de la pérdida por intemperismo acelerado, la cual no deberá ser mayor de 10%, en el entendido de que esta condición no excluye las mencionadas anteriormente.

c) 3 Reactividad.

Deberá verificarse mediante análisis petrográficos y/o la prueba química rápida que los agregados (grueso y fino), para la elaboración de la mezcla de concreto, no sean potencialmente reactivos.

d) Aditivos.

Deberán emplearse aditivos del tipo "D", reductores de agua y retardantes, con la dosificación requerida para que la manejabilidad de la mezcla permanezca durante dos (2) horas a partir de la finalización del mezclado, a la temperatura estándar de veintitrés grados centígrados (23° C) y no se produzca el fraguado después de cuatro (4) horas a partir de la finalización del mezclado. Los aditivos deberán ser certificados por la casa productora.

Para asegurar la trabajabilidad de la mezcla, también se utilizará un agente inclusor de aire, con los requisitos que señala la norma ASTM C 260.

Estos aditivos se transportarán, desde la fábrica hasta la planta de concreto, en camiones cisternas y se depositarán en tanques especialmente diseñados para su almacenamiento y dosificación.

e) Concreto

El diseño de la mezcla, utilizando los agregados provenientes de los bancos ya tratados, será responsabilidad del productor de concreto, quien tiene la obligación de obtener la resistencia y todas las demás características para el concreto fresco y endurecido, así como las adecuadas para lograr los acabados del pavimento. Durante la construcción, la dosificación de la mezcla de concreto hidráulico se hará en peso y su control durante la elaboración se hará bajo la responsabilidad exclusiva del Proveedor, es conveniente que el suministro se realice por proveedores profesionales de concreto.

e)1 Resistencia.

La resistencia de diseño especificada a la tensión por flexión ($S'c$) o Módulo de Ruptura (MR) a los 28 días, se verificará en especímenes moldeados durante el colado del concreto, correspondientes a vigas estándar de quince por quince por cincuenta (15 x 15 x 50) centímetros, compactando el concreto por vibro-compresión y una vez curados adecuadamente, se ensayarán a los 3, 7 y 28 días aplicando las cargas en los tercios del claro. (ASTM C 78).

Especímenes de Prueba.

Se deberán tomar muestras de concreto para hacer especímenes de prueba y determinar la resistencia a la flexión durante el colado. Especímenes de prueba adicionales podrán ser necesarios para determinar adecuadamente la resistencia del concreto, por temprana edad, limite la apertura del pavimento al tránsito. El procedimiento seguido para el muestreo del concreto deberá cumplir con la norma ASTM C 172.

La frecuencia de muestreo será de 6 especímenes para prueba de módulo de ruptura y 3 más para determinar el módulo elástico y resistencia a la compresión por cada 150 m³ de producción de concreto. En el caso de la determinación del módulo de ruptura, se ensayarán dos especímenes a los 3 y 7 días de colado, y los otros dos restantes a los 28 días. En el caso de la determinación del módulo de elasticidad, resistencia a la compresión, se ensayará un espécimen por cada prueba a los 3 y 7 días de colado y el restante a los 28 días de transcurrido el colado.

La apertura al tránsito vehicular del pavimento no podrá realizarse antes de que el concreto haya alcanzado una resistencia a la tensión por flexión o Módulo de Ruptura del setenta y cinco por ciento (75%) como mínimo, de la especificada en el proyecto. En caso de ser necesario, con ayuda de un consultor capacitado, se podrán revisar los esfuerzos actuantes a los que estará sometido el pavimento y se permitirá abrir al tráfico cuando la relación entre esfuerzo actuante y resistente sea de 0.5.

Tabla 4.10.7 Especificaciones – Materiales – Resistencia de concreto recomendado.

TIPO DE PROYECTO	MR Kg/cm ²
Autopistas y Carreteras	48.00
Zonas Industriales y Urbanos Principales	45.00
Urbanos Secundarios	42.00

2 Trabajabilidad.

El revenimiento promedio de la mezcla de concreto deberá especificarse de acuerdo con el procedimiento de colocación a utilizar:

- Para Tendido con Cimbra Deslizante deberá ser de cinco centímetros (5 cm.) más–menos un punto cinco centímetros (± 1.5 cm.) al momento de su colocación.
- Para Colados con Cimbra Fija deberá ser de diez centímetros (10 cm.) más– menos dos centímetros (± 2 cm.) al momento de su colocación.

Las mezclas que no cumplan con este requisito deberán ser destinadas a otras obras de concreto como cunetas y drenajes; no se permitirá su colocación para la losa.

El concreto deberá de ser uniformemente plástico, cohesivo y manejable. El concreto trabájale es definido como aquel que puede ser colocado sin que se produzcan demasiados vacíos en su interior y en la superficie y no debe presentar una apariencia pastosa.

Cuando aparezca agua, en la superficie del concreto, en cantidades excesivas después del acabado, se deberá efectuar inmediatamente una corrección por medio de una o más de las siguientes medidas:

- a) Rediseño de la mezcla.
- b) Adición de relleno mineral o de agregados finos.
- c) Incremento del contenido de cemento.
- d) Uso de un aditivo inclusor de aire o equivalente, previamente aprobado.

f) Membrana de Curado

Para el curado de la superficie del concreto recién colado, deberá emplearse una Membrana de Curado de emulsión en agua y base parafina de color claro, el que deberá cumplir con los requisitos de calidad que se describen en las normas ASTM C171, ASTM C309, Tipo 2, Clase A, AASHTO M 148, Tipo 2, Clase A, FAA Item P-610-2.10. Este tipo de membranas evitan que se tapen las espreas de los equipos de rociado.

Deberá aplicarse apropiadamente para proveer un sello impermeable que optimiza la retención del agua de la mezcla. El pigmento blanco refleja los rayos solares ayudando a mantener la superficie más fresca y prevenir la acumulación de calor.

a) Acero de Refuerzo

El acero de refuerzo necesario para la construcción del pavimento se utiliza en las juntas, ya sea como pasadores de cortante, pasajuntas o como barras de amarre para mantener los cuerpos del pavimento unidos.

g)1 Barras de Amarre.

En las juntas que muestre el proyecto y/o en los sitios que indique el Especificador del proyecto, se colocarán barras de amarre con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas en el sentido perpendicular al de circulación. Las barras de amarre serán de varilla corrugada, de acero estructural, con límite de fluencia (f_y) de cuatro mil doscientos kilogramos por centímetro cuadrado ($4,200 \text{ kg/cm}^2$), debiendo quedar ahogadas en las losas, con las dimensiones y en la posición indicada en el proyecto. Estas barras siempre deberán estar colocadas a la mitad del espesor del pavimento.

g) 2 Barras de Amarre.

Las barras de amarre se colocan a lo largo de la junta longitudinal para amarrar dos losas, con la finalidad de que se mantengan juntas y asegurar que la carga se transfiera a través de la junta.

La cantidad de acero requerido para las barras de amarre se determina de la siguiente manera:

$$A_s = \frac{\gamma_c \cdot h \cdot L' \cdot f_a}{f_s}$$

Donde:

A_s = Área requerida de acero por unidad de longitud de la losa.

γ_c = Peso volumétrico del concreto.

h = Espesor del pavimento.

f_a = Coeficiente promedio de fricción entre la losa y el terreno de soporte, que normalmente se considera de 1.5.

f_s = Esfuerzo permisible en el acero.

L' = Distancia desde la junta longitudinal hasta el borde libre donde no existe barra de amarre. Para autopistas de 2 o 3 carriles, L' es el ancho del carril. Si las barras de amarre se usan en las tres juntas longitudinales de una carretera de 4 carriles, L' es igual al ancho del carril para las dos juntas exteriores y el doble del ancho para la junta interna.

La longitud de la barra de amarre está determinada por el esfuerzo de adhesión permitido. Este esfuerzo para barras corrugadas, se puede asumir en 350 psi. La longitud de la barra, se debe basar en su resistencia total.

$$t = 2 (A_1 \cdot f_s / \mu \cdot \sum o)$$

Donde:

t = Longitud de la barra de amarre.

m = Esfuerzo permisible.

A_1 = Área transversal de una barra.

$\sum o$ = Perímetro de la barra.

Para un diámetro de barra d , $A_1 = p \cdot d^2 / 4$ y $\sum o = p \cdot d$, así que la ecuación anterior se simplifica a:

$$t = 1/2 [(f_s \cdot d) / \mu]$$

La longitud "t" se debe incrementar en 3 in. Por desalineamiento.

Varios organismos usan el diseño estándar de barras de amarre para simplificar la construcción. Las barras de 0.5 pulgadas de diámetro por 36 pulgadas de longitud y separación de 30 a 40 pulgadas son las que comúnmente se usan.

Tabla 4.10.8 Recomendaciones de espaciamiento máximo.

Espesor Pavimento (cm)	Tamaño de varilla (cm)	Distancia al extremo libre			
		305 cm	366 cm	427 cm	732 cm
12.7	1.27 x 61	76 cm	76 cm	76 cm	71 cm
14.0	1.27 x 64	76 cm	76 cm	76 cm	64 cm
15.2	1.27 x 68	76 cm	76 cm	76 cm	58 cm
16.5	1.27 x 69	76 cm	76 cm	76 cm	53 cm
17.8	1.27 x 71	76 cm	76 cm	76 cm	51 cm
19.1	1.27 x 74	76 cm	76 cm	76 cm	46 cm
20.3	1.27 x 76	76 cm	76 cm	76 cm	43 cm
21.6	1.27 x 79	76 cm	76 cm	71 cm	41 cm
22.9	1.59 x 76	91 cm	91 cm	91 cm	61 cm
24.1	1.59 x 79	91 cm	91 cm	91 cm	58 cm
25.4	1.59 x 81	91 cm	91 cm	91 cm	56 cm
26.7	1.59 x 84	91 cm	91 cm	91 cm	53 cm
27.9	1.59 x 86	91 cm	91 cm	91 cm	51 cm
29.2	1.59 x 89	91 cm	91 cm	91 cm	48 cm
30.5	1.59 x 91	91 cm	91 cm	91 cm	46 cm

g)3 Barras de Pasajuntas.

En las juntas transversales de contracción, en las juntas de construcción, en las juntas de emergencia y/o en los sitios que indique el Supervisor del proyecto se colocarán barras pasajuntas como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Las barras serán de acero redondo liso y deberán quedar ahogadas en las losas en la posición y con las dimensiones indicadas por el proyecto.

Estas barras deberán estar perfectamente alineadas con el sentido longitudinal del pavimento y con su plano horizontal, colocándose a la mitad del espesor de la losa. Ambos extremos de las pasajuntas deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes. El acero deberá cumplir con la norma ASTM A 615 Grado 60 ($f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$), y deberá ser recubierta con asfalto, parafina, grasa o cualquier otro medio que impida efectivamente la adherencia del acero con el concreto y que sea aprobado por el Especificador del proyecto.

El diseño de pasajuntas se basa mucho en la experiencia, aunque algunos métodos teóricos sobre el diseño de pasajuntas están disponibles. El tamaño de las pasajuntas depende del espesor de la losa. La tabla 4.10.9 muestra el diámetro y longitud de las pasajuntas para diferentes espesores de losa como lo recomienda la PCA (1975). Se puede apreciar que su diámetro es igual a un octavo

del espesor de la losa. En una edición reciente de diseño de juntas, la PCA (1991) recomienda el uso de pasajuntas de 1.25 in de diámetro para pavimentos de autopistas con espesores menores a 10 in y de 1.5 in para pavimentos con espesores mayores a 10 in. Se necesitan pasajuntas con un diámetro mínimo de 1.25 a 1.5 in para controlar fallas mediante la reducción del esfuerzo de carga en el concreto.

Tabla 4.10.9 Diámetros y longitudes recomendadas en pasajuntas.

Espesor de Losa		Barras Pasajuntas					
		Diámetro		Longitud		Separación	
mm	In	mm	In	cm	In	cm	In
13 a 15	5 a 6	19	3/4	41	16	30	12
15 a 20	6 a 8	25	1	46	18	30	12
20 a 30	8 a 12	32	1 1/4	46	18	30	12
30 a 43	12 a 17	38	1 1/2	51	20	38	15
43 a 60	17 a 20	45	1 3/4	56	22	46	18

Las pasajuntas se usan en las juntas transversales para transferir las cargas a las losas adyacentes. El esfuerzo y la deflexión en la junta son mucho más pequeños cuando las cargas son soportadas por dos losas. El uso de pasajuntas puede minimizar las fallas de bombeo y de diferencia de elevación de juntas, las cuales han sido considerados por la PCA como factores importantes en el diseño de espesor.

Fig. 4.10.1 Diámetros y longitudes recomendadas en pasajuntas.



Las pasajuntas podrán ser instaladas en la posición indicada en el proyecto por medios mecánicos, o bien por medio de la instalación de canastas metálicas de sujeción; éstas deberán asegurar las pasajuntas en la posición correcta, como se indica en el proyecto durante el colado y acabado del concreto, mas no deberán impedir el movimiento longitudinal de la misma.

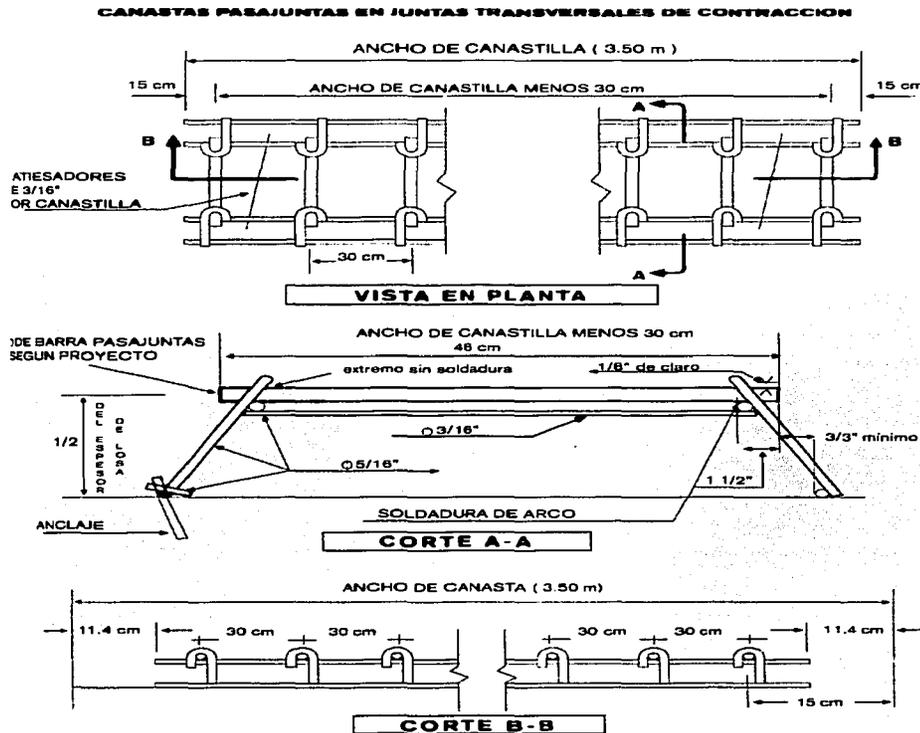


Fig. 4.10.2 Canastas pasajuntas en juntas transversales de contracción

b) Sellador para Juntas.

El material sellante para las juntas transversales y longitudinales deberá ser elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotrices, con propiedades adherentes con el concreto y que permita las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas de concreto sin degradarse, debiéndose emplear productos a base de silicona, poliuretano -asfalto o similares, los cuales deberán ser autonivelantes, de un solo componente y solidificarse a temperatura ambiente.

El sellador de silicona de bajo módulo deberá cumplir con los siguientes requisitos y especificaciones de calidad:

Tabla - 4.10.10 Especificaciones - Materiales - Especificaciones del silicón.

ESPECIFICACIÓN	MÉTODO DE ENSAYE	REQUISITO
Esfuerzo de tensión a 150% de elongación (7 días de curado a 25°C ± 5°C, y 45% a 55% de humedad relativa).	ASTM D 412.	3.2 kg/cm ² max.
Flujo a 25°C ± 5°C.	ASTM C 639 (15% Canal A).	No deberá fluir del canal.
Tasa de extrusión a 25°C ± 5°C.	ASTM C 603 (1/8" @ 50 psi).	75-250 gms/min.
Gravedad Específica.	ASTM D 792 (método A).	1.01 a 1.51.
Dureza a - 18°C (7 días de curado)	ASTM C 661.	10 a 25.
Resistencia al intemperismo después 5,000 horas de exposición continua.	ASTM C 793.	No agrietamiento, pérdida de adherencia o superficies polvosas por desintegración.
Superficie seca a 25°C ± 5°C, y 45% a 55% de humedad relativa.	ASTM C 679.	Menor de 75 minutos.
Elongación después de 21 días de curado a 25°C ± 5°C, y 45% a 55% de humedad relativa	ASTM D 412.	1,200 %.
Fraguado al tacto a 25°C ± 5°C, y 45% a 55% de humedad relativa.	ASTM C 1640.	Menos de 75 minutos.
Vida en el contenedor a partir del día de embarque	--	6 meses mínimo.
Adhesión a bloques de mortero.	AASHTO T 132.	3.5 kg/cm ²
Capacidad de movimiento y adhesión. Extensión de 100% a 18°C después de 7 días curado al aire a 25°C ± 5°C, seguido por 7 días en agua a 25°C ± 5°C.	ASTM C 719.	Ninguna falla por adhesión o cohesión después de 5 ciclos.

A menos de que se especifique lo contrario, el material para el sellado de juntas deberá de cumplir con estos requerimientos, también deberá adherirse a los lados de la junta o grieta con el concreto y deberá formar un sello efectivo contra la filtración de agua o incrustación de materiales incompresibles. En ningún caso se podrá emplear algún material sellador no autorizado por el Especificador.

Para todas las juntas de la losa de concreto se deberá emplear un sellador de silicón o similar de bajo módulo autonivelable. Este sellador deberá ser de un solo componente sin requerir la adición de un catalizador para su curado; deberá presentar fluidez suficiente para autonivelarse y no requerir de formado adicional, asimismo se deberá colocar respetando el factor de forma, (altura de silicón/ancho del silicón en el depósito), que recomendará el fabricante.

La tirilla de respaldo a emplear deberá impedir efectivamente la adhesión del sellador a la superficie inferior de la junta. La tirilla de respaldo deberá ser de espuma de polietileno y de las dimensiones indicadas en los documentos de construcción. La tirilla de respaldo deberá ser compatible con el sellador de silicón a emplear y no se deberá presentar adhesión alguna entre el silicón y la tirilla de respaldo.

1) Recomendaciones Generales.

Cuando, por causas de fuerza mayor sea suspendido el colado un tiempo tal que sea necesario realizar una junta fría, se procederá a construir una junta transversal de emergencia, con la que se suspenderá el colado hasta que sea posible reiniciarlo. Esta junta deberá llevar pasajuntas.

Las ranuras aserradas deberán inspeccionarse para asegurar que el corte se haya efectuado hasta la profundidad necesaria. Toda materia extraña que se encuentre dentro de cualquier tipo de junta deberá extraerse mediante aire, agua o arena a presión; la limpieza de la junta debe garantizarse.

La longitud de las losas en el sentido longitudinal estará marcada en la secciones Tipo correspondientes, con una tolerancia de diez (10) centímetros. Deberán tomarse las precauciones necesarias para evitar que se dañen los bordes de las juntas por impactos del equipo o de la herramienta que se esté utilizando.

CUADRO DE BANCOS DE MATERIAL PARA PAVIMENTO

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
 DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS
 DEPARTAMENTO DE PROYECTO DEFINITIVO
 OFICINA DE PROYECTO GEOTECNICO

CARRETERA: MEXICO-QUERETARO
 TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO
 ORIGEN: MEXICO D.F



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
CARRETERA MEXICO-QUERETARO	ORIGEN MEXICO D.F.
TRAMO PALMILLAS-QUERETARO	REVISOR: MAL R

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

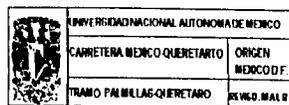
BCO No. 1	DENOMINACION	LOCALIZACION	CLASIFICACION GEOLOGICA	CLASIFICACION P/PRESUPUESTO	DESPALME (m)	UTILIZACION	TRATAMIENTO	VOLUMEN
1	Palma de Romero	km 160+580 d/d 950m de Proyecto	Basalto fracturado e intemperizado (Rie)	00-20-80	0.30	Subbase y base hidraulica Carpeta asfaltica Sello	Trituracion Total y cribado a tamaño máximo de 38.1 mm (1 1/2") y despolvo Trituracion Total y cribado a tamaño máximo de 19.1 mm (3/4") y despolvo Trituracion Total y cribado para obtener material petreo tipo 3-S	200.000
2	Palmillas (El peon)	km 161 +330 d/d 1940 m	Basalto poco alterado y poco fracturado (Rie)	00-00-100	0.30	Losa de concreto hidraulico a) agregado grueso (gravas) b) Agregado fino (arena)	Trituracion Total y cribado a Tamaño máximo de 38.1 mm (1 1/2") Trituracion total y cribado de fragmentos chicos retenidos en la malla de 76.2 mm (3")	700.000
3	La Mora	km 163+960 d/i 500m (cad, cuerpo izquierdo)	Basalto intemperizado (Rie)	00-40-60	0.4	Subbase, base hidraulica y Base estabilizada con cemento Carpeta asfaltica Sello	Trituracion Parcial y cribado a Tamaño máximo de 38 mm (1 1/2") y despolvo Trituracion Parcial y cribado a Tamaño máximo de 19.1 mm (3/4") y lavado Trituracion Parcial y cribado a Tamaño máximo para obtener material tipo 3 S	100.00

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CUADRO DE BANCOS DE PAVIMENTO

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
 DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS
 DEPARTAMENTO DE PROYECTO DEFINITIVO
 OFICINA DE PROYECTO GEOTECNICO

CARRETERA: MEXICO-QUERETARO
 TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO
 ORIGEN: MEXICO D.F.



BCO No. 1	DENOMINACION	LOCALIZACION	CLASIFICACION GEOLOGICA	CLASIFICACION P/PRESUPUESTO	DESPALME (m)	UTILIZACION	TRATAMIENTO	VOLUMEN
4	San jose	km 165+370 d/d 50m (cuerpo derecho) o km 165 +250 d/d 150 m (cuerpo izquierdo)	Basalto	00-20-80	0.30	Subbase y base hidraulica y base estabilizada con cemento Carpeta asfaltica Sello	Trituracion Total y cribado a tamaño maximo de 38.1 mm (1 1/2") y despolve Trituracion Total y cribado a tamaño maximo de 19.1 mm (3/4") y lavado Trituracion Total y cribado para obtener material petreo tipo 3-S	200.000
5	San Miguel Galindo	km 180+827 d/d 8.000m (sobre carretera hacia Amealco, Edo Mex.)	Arena de mina tipo basaltica	30-70-00	0.30	Losa de concreto hidraulico a) agregado fino (arena)	Extraccion de arena negra "Limpia" previa eliminacion de estratos pequeños de arena fina blanqueza y lavado	200.000
<p>Nota: Este banco puede presentar problemas de reactividad de alkalis con el cemento. Por lo que se requiere verificar si se tendria dicha condicion. En caso de presentarse, se requerira considerar el empleo de cemento tipo puzolanico.</p>								
6	El rosario (Ejido de la Nachorra)	km 212+500 d/d 4,500 m	Basalto alterado y fracturado (Rie)	00-30-70	0.30	Losa de concreto hidraulico: Agregado grueso (grava)	Material total y cribado a tamaño maximo de 38.1 mm (1 1/2") previa eliminacion de material contaminado mediante el uso de rejilla con separacion entre rieles de 6" (15 cm.) (Trituracion total del retenido)	500.000

CUADRO DE BANCOS DE PAVIMENTO

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
 DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS
 DEPARTAMENTO DE PROYECTO DEFINITIVO
 OFICINA DE PROYECTO GEOTECNICO

CARRETERA: MEXICO-QUERETARO
 TRAMO: PALMILLAS-QUERETARO
 ORIGEN: MEXICO D.F.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
CARRETERA MEXICO-QUERETARO	ORIGEN MEXICO D.F.
TRAMO PALMILLAS-QUERETARO	REV. 6. MAR 81

BCO No. 1	DENOMINACION	LOCALIZACION	CLASIFICACION GEOLOGICA	CLASIFICACION P/PRESUPUESTO	DESPALME (m)	UTILIZACION	TRATAMIENTO	VOLUMEN
6 (cont)	El rosario (Ejido la Machorra)	km 212+500 d/i 4.500 m	Basalto alterado y fracturado (Rie)	00-30-70	0.30	Subbase, Base hidraulica y base estabilizada con cemento Carpeta asfaltica Sello	<p>Trituracion Total y cribado a tamaño maximo de 38.1 mm (1 1/2") y despolve</p> <p>Material total y cribado a tamaño maximo de 38.1 mm (1 1/2") previa eliminacion de material contaminado mediante el uso de rejilla con separacion entre rieles de 6" (15 cm) (Trituracion total del retenido)</p> <p>Trituracion Total y cribado para obtener material petreo tipo 3-S</p>	

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES - SCT

CARRETERA MEXICO-QUERETARO
 TRAMO PALMILLAS-QUERETARO
 SUBTRAMO KM 156+288 A 175+260 (CUERPO IZQUIERDO)
 ORIGEN MEXICO
 CONSTRUCTORA MARHNNS SA DE CV

PRECIOS UNITARIOS

	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Base Hidráulica de 0.12 m de espesor	M3	17347
2	Base estabilizada de 0.18 m de espesor	M3	27275
3	Cemento Pórtland tipo 1, para estabilizar base	Kg	2345650
4	Barrido de base estabilizada	Ha	15
5	Riego de Impregnación con emulsión cationica en capa de base en proporción de 1.0 lt/m ²	Lt	153186
6	Riego de liga para carpeta de concreto asfáltico en zonas de ampliación con emulsión cationica a razón de 0.6 lt/m ²	Lt	91911
7	Carpeta de concreto asfáltico para recibir losa de concreto hidráulico, con agregado pétreo de 3/4" (19.1mm) de tamaño máximo.	M3	7628
8	Cemento asfáltico No 6 o A.C 20 para carpeta de concreto asfáltico	Kg	953510
9	Losa de concreto hidráulico de 0.30 m de espesor con modulo de ruptura a la flexión de 48 kg/cm ² a los 28 días (El tendido del concreto hidráulico se hará con extensora del tipo SLIP-FORM PAVER 450 (CM1-SF450) o similar, de cimbra deslizante, con capacidad de insertar las barras de amarre en las juntas longitudinales).	M3	80388
10	Excavación y remoción del material en baches, zonas deformadas y con agrietamiento severo	M3	4127
11	Recompactacion del piso de la caja de bacheo al 100% del PVSM	M3	2751
12	Bacheo de caja en superficie de cuerpo actual (sustitución por material con características de base hidráulica compactado al 100% del PVSM)	M3	4127
13	Riego de impregnación de la superficie del bacheo con emulsión asfáltica cationica en una proporción de 1.0 lt/m ²	Lt	13755
14	Escarificado del pavimento actual para su perfilado y para recibir las capas de pavimentación correspondientes (en zonas donde se ubique la rasante debajo de la superficie de rodamiento actual en una profundidad promedio mayor de 15 cm	M3	3930

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROCESO CONSTRUCTIVO

15	Recompactación de la cama del área escarificada en 20 cm de profundidad al 100% de su PVSM	M3	1965
16	Fresado o perfilado de la carpeta existente con equipo Rotomill PR-500 o similar	M3	5498
17	Rallado enérgico de la carpeta existente en zonas de revelación mediante rejilla (rallas de 2.0 cm de ancho y 1.0 cm de Profundidad a cada 10.0 cm c.a.c.)	M2	78067
18	Riego de liga para sobrecarpeta de revelación con emulsión asfáltica cationica a razón de 0.6 lt/m ²	Lt	41481
19	Sobrecarpeta de revelación con concreto asfáltico para recibir losa de concreto hidráulico, con agregado pétreo de 3/4" (19.1mm) de tamaño máximo.	M3	5579
20	Cemento asfáltico No. 6 A.C 20 para sobrecarpeta de revelación	Kg	697348
21	Aditivos para cemento asfáltico No. 6 o A.C.-20 en carpeta y sobrecarpeta de revelación	Lt	16508

OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE CONCEPTO

	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Bordillos de concreto Hidráulico (f _c =150 kg/cm ²) de 145 cm ² , según proyecto tipo (P.U.O.T.)	M M3	32155 466
2	Lavadero de 1/2 tubo de lamina Cal. 16, de 0.61m de Diámetro	M3	2144
3	Material con características de base hidráulica para relleno en zonas laterales de la losa del pavimento compactado en dos capas al 95% de su PVSM.	M3	9127
4	Cunetas de concreto Hidráulico, f _c = 150/cm ² de 0.10 m de espesor según proyecto tipo (P.U.O.T)	M m3	3573
5	Despalme del talud del cuerpo actual en un espesor de 0.15m	M3	5426
6	Arrope del talud con material producto del despalme del terreno natural en un espesor de 0.12 m aproximadamente (P.U.O.T)	M3	7621
7	Cerca para derecho de vía, según proyecto tipo (P.U.O.T.)	M	17864
8	Sub-dren longitudinal de zanja (P.U.O.T.) según proyecto tipo	M	536
9	Pozos de visita para subdrenes (P.U.O.T.) según proyecto tipo	Pza	9
10	Contracunetas revestidas con concreto hidráulico f _c =kg/cm ² (P.U.O.T) según proyecto tipo	M3	-----
11	Reforestación de taludes mediante tepes (P.U.O.T)	M2	50645
12	Reforestación de taludes mediante tepes (P.U.O.T)	Pza	297
13	Demolición de obras complementarias de drenaje (incluye bordillos, lavaderos, cunetas y guarniciones de concreto hidráulico)	M3	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROCESO CONSTRUCTIVO

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES - SCT

CARRETERA MEXICO-QUERETARO
 TRAMO PALMILLAS-QUERETARO
 SUBTRAMO KM 164+976 A 173+960 (CUERPO DERECHO)
 ORIGEN MEXICO
 CONSTRUCTORA MARHNS SA DE CV

PRECIOS UNITARIOS

	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Base Hidráulica de 0.12 m de espesor	M3	8726
2	Base estabilizada de 0.18 m de espesor	M3	13715
3	Cemento Pórtland tipo 1, para estabilizar base	Kg	1179490
4	Barrido de base estabilizada	Ha	7.70
5	Riego de Impregnación con emulsión cationica en capa de base en proporción de 1.0 lt/m2	Lt	77038
6	Riego de liga para carpeta de concreto asfáltico en zonas de ampliación con emulsión cationica a razón de 0.6 lt/m2	Lt	46222
7	Carpeta de concreto asfáltico para recibir losa de concreto hidráulico, con agregado pétreo de 3/4" (19.1mm) de tamaño máximo.	M3	3836
8	Cemento asfáltico No 6 o A.C 20 para carpeta de concreto asfáltico	Kg	479513
9	Losa de concreto hidráulico de 0.30 m de espesor con modulo de ruptura a la flexión de 48 kg/cm2 a los 28 días (El tendido del concreto hidráulico se hará con extensora del tipo SLIP-FORM PAVER 450 (CM1-SF450) o similar, de cimbra deslizante, con capacidad de insertar las barras de amarre en las juntas longitudinales).	M3	40422
10	Excavación y remoción del material en baches, zonas deformadas y con agrietamiento severo	M3	2075
11	Recompactacion del piso de la caja de bacheo al 100% del PVSM	M3	1383
12	Bacheo de caja en superficie de cuerpo actual (sustitución por material con características de base hidráulica compactado al 100% del PVSM)	M3	2075
13	Riego de impregnación de la superficie del bacheo con emulsión asfáltica cationica en una proporción de 1.0 lt/m2	Lt	6918
14	Escarificado del pavimento actual para su perfilado y para recibir las capas de pavimentación correspondientes (en zonas donde se ubique la rasante debajo de la superficie de rodamiento actual en una profundidad promedio mayor de 15 cm	M3	1976

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

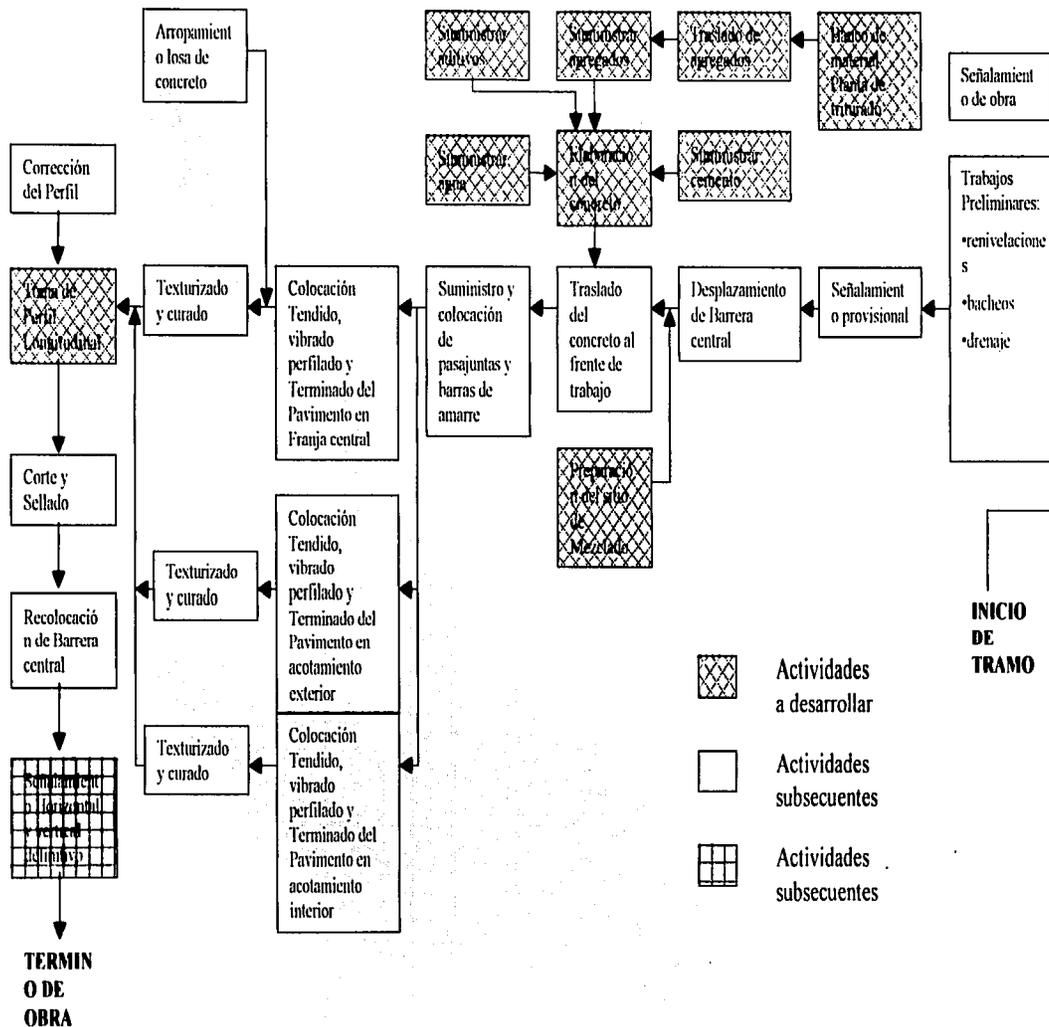
PROCESO CONSTRUCTIVO

15	Recompactación de la cama del área escarificada en 20 cm de profundidad al 100% de su PVSM	M3	988
16	Fresado o perfilado de la carpeta existente con equipo Rotomill PR-500 o similar	M3	2765
17	Rallado energético de la carpeta existente en zonas de revelación mediante rejilla (rallas de 2.0 cm de ancho y 1.0 cm de Profundidad a cada 10.0 cm c.a.c.)	M2	39260
18	Riego de liga para sobrecarpeta de revelación con emulsión asfáltica cationica a razón de 0.6 lt/m ²	Lt	20861
19	Sobrecarpeta de revelación con concreto asfáltico para recibir losa de concreto hidráulico, con agregado pétreo de 3/4" (19.1mm) de tamaño máximo.	M3	2806
20	Cemento asfáltico No. 6 A.C 20 para sobrecarpeta de revelación	Kg	350709
21	Aditivos para cemento asfáltico No. 6 o A.C.-20 en carpeta y sobrecarpeta de revelación	Lt	8302

OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE CONCEPTO

	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Bordillos de concreto Hidráulico (fc=150 kg/cm ²) de 145 cm ² , según proyecto tipo (P.U.O.T.)	M M3	16171 235
2	Lavadero de 1/2 tubo de lamina Cal. 16, de 0.61m de Diámetro	M3	1078
3	Material con características de base hidráulica para relleno en zonas laterales de la losa del pavimento compactado en dos capas al 95% de su PVSM.	M3	4591
4	Cunetas de concreto Hidráulico, fc= 150/cm ² de 0.10 m de espesor según proyecto tipo (P.U.O.T)	M m3	3573 618
5	Despalme del talud del cuerpo actual en un espesor de 0.15m	M3	2729
6	Arrope del talud con material producto del despalme del terreno natural en un espesor de 0.12 m aproximadamente (P.U.O.T)	M3	3833
7	Cerca para derecho de vía, según proyecto tipo (P.U.O.T.)	M	8984
8	Subdren longitudinal de sanja (P.U.O.T.) según proyecto tipo	M	269
9	Pozos de visita para subdrenes (P.U.O.T.) según proyecto tipo	Pza	5
10	Contracunetas revestidas con concreto hidráulico fc=kg/cm ² (P.U.O.T) según proyecto tipo	M3	-----
11	Reforestación de taludes mediante tepes (P.U.O.T)	M2	25470
12	Reforestación de taludes mediante tepes (P.U.O.T)	Pza	150
13	Demolición de obras complementarias de drenaje (incluye bordillos, lavaderos, cunetas y guarniciones de concreto hidráulico)	M3	363

DIAGRAMA DE ACTIVIDADES DE REPAVIMENTACION DE CARRETERA PALMILLAS-QUERETARO



5 CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo de mejorar la capacidad de servicio de esta carretera, al incrementarse los rangos de seguridad, rapidez y confort para los usuarios, los cuales se habían visto disminuidos y rebasados en los últimos años, por el explosivo crecimiento vehicular. Se mejoró sustancialmente la superficie de rodamiento; incrementándose el número de carriles; Se corrigieron los alineamientos horizontal y vertical de aquellas curvas que representaban un alto riesgo para los conductores por su alto grado de curvatura asimismo se sustituyeron totalmente los señalamientos horizontal y vertical por unos de mayores dimensiones, características de sus símbolos y mensajes que mejoraron su visibilidad, etc.

1. - La estructura del pavimento de concreto hidráulico es más rentable desde un punto de vista económico, debido a que hay una importante reducción de los costos de operación de vehículos a pesar de una inversión fuerte al inicio.
2. - El mantenimiento para la alternativa de ampliación y reconstrucción con concreto hidráulico es prácticamente nulo durante el periodo de análisis.
3. - A pesar de no ser evaluadas las ventajas en cuanto a la seguridad que se proporciona a los usuarios, reducción de tiempos de recorrido de carga y de los pasajeros debido a la ampliación, son los valores agregados que tiene la alternativa de ampliación y reconstrucción con concreto hidráulico con respecto a seguir manteniendo y rehabilitando un pavimento de asfalto.
4. - En señalamiento horizontal, las rayas amarillas que delimitan el carril izquierdo con la zona de seguridad y del carril derecho con el acotamiento, son franjas continuas y a cada 30 cms, tienen un sobreespesor que, al circular sobre estas, producen una vibración que alerta al conductor.
5. - Para la construcción de esta obra se consumieron importantes volúmenes de cemento, acero, combustibles, refacciones, equipos y servicios, generando fuentes de empleo directos e indirectos constituyéndose en una importante derrama económica para la región.
6. - Todos los componentes de diseño, tecnología y procedimientos de construcción de esta obra, tienen como objetivo primordial: proporcionar a los usuarios directos e indirectos, un grado de mayor seguridad, rapidez y comodidad en el transporte de personas y productos, ocasionando ahorros en tiempos de recorridos que resultan benéficos para el país.
7. - Este tramo carretero, por el que actualmente transita un promedio de 40 mil vehículos diarios, de los cuales el 42 % son de carga pesada de hasta 75 toneladas se integra al catálogo de las modernas autopistas y carreteras de altas especificaciones de que dispone el país.
8. - Para aumentar la seguridad de los usuarios, se instalaron defensas metálicas de protección con sistema de amortiguamiento de impacto.
9. - Pavimento de concreto hidráulico con espesor de 30 cms. Para una "Vida" útil de 35 años, evitando trabajos de conservación que causa riesgos y retrasos a los usuarios.

10. - Pasos peatonales de nuevo diseño con rampas de acceso que requieren de menor esfuerzo a los peatones, ciclistas y motociclistas.

11. - El señalamiento vertical preventivo restrictivo e informativo, generalmente es tipo puente. Es una estructura metálica elevada sobre los tres carriles de circulación que soporta los tableros informativos con una inclinación adecuada que refleja hacia el conductor los mensajes de una manera mas eficaz.

12. - Si bien el pavimento de concreto hidráulico resulta al inicio una mayor inversión que el pavimento asfáltico, a mediano y largo plazo resulta mas rentable por resultar de una "Vida" útil mas larga y requerir de un menor costo de mantenimiento, evitando trastornos a los usuarios, que inciden en los costos de transportación.

13. - Calzadas amplias para 3 carriles de circulación con zonas de seguridad interior y acotamiento exterior.

JUSTIFICACION DE LA OBRA

El tramo carretero Palmillas - Querétaro, por ser un tramo de libre acceso en sus 38 años de servicio ha permitido el desarrollo urbano, industrial, artesanal, agrícola y comercial, en todo el trayecto de sus 59.3 kilómetros; este desarrollo sumado al explosivo crecimiento vehicular e incremento en las cargas del autotransporte público, provocó que en los últimos años su capacidad de servicio se hubiera visto rebasada, reflejándose lo anterior en continuos embotellamientos y severos daños estructurales en su superficie de rodamiento, teniendo como consecuencia un alto índice de accidentes.

Por lo anterior el gobierno federal a través de la secretaria de comunicaciones y transporte, dirección general de carreteras federales y centro s.c.t. Querétaro, inició su modernización en julio de 1997 y la concluyeron en agosto de 1998. dicha modernización considero la ampliación de las coronas de ambos cuerpos y el reforzamiento estructural de las capas de terracerías y pavimento, sustituyendo la superficie de rodamiento asfáltico por una losa de concreto hidráulico de 0.30 m. de espesor, que aloja seis carriles de circulación de 3.5 metros cada uno, 3 en cada sentido; dos acotamientos exteriores de 3.0 metros cada uno, uno en cada sentido y dos franjas interiores de seguridad de 1.5 metros cada una, una en cada sentido; se ampliaron y/o construyeron nuevos 25 entronques, 222 obras de drenaje y alrededor de 15 kilómetros de calles laterales, y para salvar canales, ríos y/o cruces con otros caminos se requirió de la construcción de 53 estructuras, divididas en 29 pasos vehiculares a desnivel, 11 puentes naturales, 2 pasos ferrocarrileros y 11 puentes peatonales.

Con lo anterior, se logro restituir la capacidad de servicio de esta carretera, al mejorarse sustancialmente la superficie de radamiento y disponerse de un mayor numero de carriles que incrementaron los rangos de seguridad, rapidez y confort de los usuarios. Es importante destacar que esta autopista, por su estratégica ubicación es una de las mas importantes del país ya que además de unir a la ciudad de México con la ciudad de Querétaro une también las regiones del bajo mexicano, occidente y norte de la republica mexicana, siendo el puente principal en el movimiento de mercancías del tratado de libre comercio con estados unidos de Norteamérica y Canadá.

COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

Para cualquier país de tamaño pequeño, mediano o grande es indispensable conocer la necesidad de nuevas vialidades y la situación que guardan estas actualmente, para utilizar de forma eficiente y oportuna los recursos que se disponen atendiendo el aspecto técnico, a la sociedad y satisfaciendo las conveniencias políticas.

El tener claro un plan de crecimiento a mediano y largo plazo es la base para tomar decisiones correctas y que propicien el bienestar social.

Es conveniente que los ingenieros encargados de la diseño de vialidades recopilen una base de datos que sea alimentada cada año y que se emplee de forma útil en la selección de las técnicas de construcción (modernización y ampliación), operación y conservación de las vialidades aprovechando la experiencia adquirida con la aplicación de estas.

Cuando se realiza el estudio para el diseño de carpetas nuevas, no se debe de actuar con procedimientos típicos o cotidianos que puedan resultar obsoletos, se debe procurar utilizar técnicas y procesos vigentes, analizando la situación particular de cada nuevo proyecto. Como se aprecia en el capítulo II se han empleado diversos métodos de diseño los cuales dependerán de las variables que se tengan para su correcta aplicación.

Al diseñar un pavimento se debe de tomar en cuenta la aplicación de técnicas, materiales y procedimientos que proporcionen condiciones adecuadas de resistencia al derrapamiento, de reflexión de luz, de textura, de bajo nivel de ruido y que además proporcionen una superficie durable manteniendo tales propiedades durante el mayor tiempo posible, con una conservación mínima y finalmente compatible con el contexto carretero. Además de tener una excelente apariencia, factor que también se debe tomar en cuenta.

La evaluación económica es sin duda muy importante, ya que las características de diseño de cualquier obra dependen principalmente de este factor, por lo que es muy importante optimizar los recursos con los que se cuente y tomar en cuenta la acción de variables en el diseño de toda vialidad, tales como el volumen de tránsito (composición, variación y tasa de crecimiento) y las condiciones ambientales, para lograr que nuestras obras sean económicas y funcionales.

Por último, en la actualidad, dada la importancia que tiene en el desarrollo nacional las vías terrestres, es necesario establecer prioridades entre los distintos proyectos propuestos y construir solo aquellos que proporcionen los mayores beneficios al país. Siguiendo los siguientes lineamientos en materia de carreteras.

1. Conservar en buen estado la red existente, para asegurar el servicio en forma eficaz permanente, ya que si se descuida este aspecto, aunque se construyan caminos

nuevos, no se podrá satisfacer la demanda actual, lo que implicara un retroceso en el ritmo de desarrollo.

2. Terminar al ritmo adecuado, las obras iniciadas, buscando la oportuna obtención de los beneficios previstos.
3. Construir nuevas carreteras que sirvan a núcleos de población actualmente incomunicados y propicien la incorporación de zonas capaces de aumentar la producción.
4. Construir obras que mejoren el sistema carretero en zonas ya comunicadas, cuando la demanda así lo requiera, tal es el caso de ampliaciones, acortamientos y autopistas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Estructuración de vías terrestres.- Olivera Bustamante Fernando.- CECSA
- Ingeniería de carreteras.-Wright H. Paúl.- LIMUSA
- Seminario de pavimentos rigidos (1998).- IMCYC
- Vías de comunicación.- Villalaz Crespo Carlos.- LIMUSA
- Manual de tecnología del concreto.- CFE
- Manual de diseño y construcción de pavimentos (2000).- CEMEX
- Manual de construcción de pavimentos de concreto hidráulico.- IMCYC
- Matriz de causas de fallas de pavimentos.- Yáñez Santillán. Tercer seminario de asfalto (2001)
- Programa de administración de Pavimentos de la dirección general de obras publicas.- Raúl Vicente Orozco y compañía, S.A.
- Catalogo de deterioros en los pavimentos de carreteras mexicanas.- Publicación Técnica No. 21, SCT: Instituto mexicano del transporte (1990).
- Normas para la construcción e instalación (carreteras y aeropistas)
- Terracerias S.C.T. FACULTAD DE INGENIERIA
- Apuntes de pavimentos rigidos y flexibles FACULTAD DE INGENIERIA
- Dirección de proyecto de carreteras SCT
- Departamento de supervisión CAPUFE
- "Mecánica de suelos" Tomo 1.- Juárez B Rico Rodriguez (1996) LIMUSA
- Durabilidad del concreto.- México; Instituto Mexicano del Concreto (1979)
- Pavimentos de concreto: Procedimientos para autoconstrucción.- Gustavo G. Méndez F. México DF. Instituto Mexicano del Cemento y del concreto, (1992).
- Practica recomendable para la medición, mezclado, transporte y colocación del concreto México.-Instituto Mexicano del Cemento y concreto (1974).

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN