



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

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

**"CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO RÍGIDO
PARA EL TRAMO PALMILLAS-QUERÉTARO"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A:
O S V A L D O S A L I N A S Á V I L A

ASESOR:

MTRO. MEJORADA MOTA JOSÉ PAULO

SAN JUAN DE ARAGÓN ESTADO DE MÉXICO, SEPTIEM.BRE 2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ESTA LIBRO NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Oswaldo Salmas Aule

FECHA: 8/11/04

FIRMA: 

Porque nosotros somos nuestro principal rival, nuestro único adversario

Tenemos que aprender a dominarnos y a dominar los miedos que nos rodean

La inteligencia tiene que superar a la cobardía, y la cobardía se tiene que transformar en deseo

El deseo es la principal fuente de motivación y la motivación es la única razón para seguir

Al seguir irremediamente llegaremos a algún lado y trataremos que ese lado sea la cima

Cuando estés ahí acuérdate de donde vienes y cuando lo hagas sabrás a donde vas

Cuando llegues a donde vas, ayuda a los demás a llegar a donde tu estas

Cuando estén donde tu estas, déjalos y sigue tu camino todavía más lejos

Cuando estés lejos disfruta lo que eres porque gracias a ti pudiste vencerte.

Dedico este trabajo y esfuerzo a...

...mi padre, mi madre, mis hermanos,
compañeros y maestros

CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO RIGIDO PARA EL TRAMO PALMILLAS – QUERETARO

ASESOR: MTRO. MEJORADA MOTA JOSE PAULO
PRESENTA: SALINAS AVILA OSVALDO

Pagina

INDICE

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

8

CAPITULO II ANTECEDENTES

II. 1	GENERALIDADES	11
II. 2	PRIMERAS CARRETERAS DE CONCRETO HIDRÁULICO EN MÉXICO	12
II. 3	FALLAS QUE PRESENTAN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES	14
II. 4	VENTAJAS DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS	16
	II.4.1 Durabilidad	
	II.4.2 Bajo Costo de mantenimiento	
	II.4.3 Seguridad	
	II.4.4 Altos índices de servicio	
	II.4.5 Mejor distribución de esfuerzos bajo las losas	
	II.4.6 Deterioros	
II.5	INDICE DE SERVICIO	19
II.6	MARCO DE REFERENCIA CON OTROS PAISES	19
	II.6.1 Experiencia adquirida	
II.7	EL CASO DEL TRAMO PALMILLAS-QUERÉTARO	21
	II.7.1 Datos estadísticos	

CAPITULO III MARCO TEORICO

III.1	DEFINICIONES	24
	III.1.1 Pavimento	
	III.1.2 Corona	
	III.1.3 Pendiente transversal	
	III.1.4 Calzada	
	III.1.5 Acotamiento	
III.2	TIPOS DE PAVIMENTO	25
	III.2.1 Pavimentos flexibles	
	III.2.2 Pavimentos rígidos	
III.3	PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO	25
	III.3.1 Definición de concreto hidráulico	
	III.3.2 Cemento Pórtland	
	III.3.3 Clinker	
	III.3.4 Cemento Portland Puzolánico	

III.4 TIPOS DE PAVIMENTOS RIGIDOS	26
III.4.1 Convencional	
III.4.2 CCR (Concreto Compactado con Rodillos)	
III.4.3 Sobre carpeta ultra delgada	
III.4.4 White topping	
III.5 LOSAS DE CONCRETO	26
III.5.1 Losas de concreto con refuerzo continuo	
III.5.2 Losas de concreto hidráulico con pasajuntas	
III.6 DISEÑO DE JUNTAS	27
III.6.1 Consideraciones para el diseño de juntas	
III.6.2 Contracción en pavimentos de concreto	
III.6.3 Grados de temperatura en el concreto	
III.6.4 Forma de trabajo de los pavimentos rígidos (Eficacia de la junta)	
III.6.5 Factores que contribuyen a la transferencia de carga	
III.6.6 Transferencia de carga. Pasajuntas	
III.6.7 Bases estabilizadas	
III.6.8 Tipos de juntas	
III.7 RESISTENCIA DEL CONCRETO	35
III.8 MODULO DE RUPTURA (MR)	36
III.9 METODOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS	37
III.9.1 Método AASHTO	
III.9.1.1 Variables del Método AASHTO	
III.9.2 Método PCA	
III.9.2.1 Procedimiento de diseño	
III.9.2.2 Factores de diseño	
III.9.3 Comparativa de los Métodos de diseño	
III.10 SUELOS	48
III.10.1 Plasticidad	
III.10.2 Compactación	
III.10.2.1 Prueba Proctor	
III.10.2.2 Prueba Porter Estándar	
III.11 TRANSITO VEHICULAR	52
III.11.1 Ingeniería de Transporte	
III.11.2 Volumen de tránsito	
III.11.3 Tránsito Diario Promedio Anual	
III.11.4 Tránsito en el carril de diseño	
III.11.5 Distribución y Composición del tráfico	
III.11.6 Tipos de vehículos	
III.11.7 Incremento del tránsito	
III.11.8 Variación del volumen de tránsito	
III.11.9 Tasa de Crecimiento	
III.11.10 Tránsito a futuro	

CAPITULO IV PROYECTO DE PAVIMENTO RIGIDO

IV.1 LOCALIZACION	61
IV.2 SITUACION PREVIA DEL TRAMO	62

	Pagina
IV.3 ESTUDIOS PREVIOS	63
IV.3.1 Estudio del clima	
IV.3.2 Valores de laboratorio	
IV.3.2.1 Determinación del VRS de diseño	
IV.3.2.2 Determinación del PVSM y porcentaje de compactación	
IV.3.2.3 Determinación de k (Módulo de reacción de la sub-base)	
IV.3.3 Características del terreno de apoyo	
IV.3.4 Localización de los bancos de materiales	
IV.3.4.1 Croquis de localización	
IV.4 DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO	71
IV.4.1 Método para determinar el espesor de la losa	
IV.4.2 Aspectos complementarios de diseño	
IV.4.2.1 Modulación de losas	
IV.4.2.2 Pasajuntas	
IV.4.2.3 Barras de amarre	
IV.4.3 Secciones estructurales tipo	
 CAPITULO V	
ESPECIFICACIONES Y CONTROL DE CALIDAD	
V.1 MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO HIDRAULICO	81
V.1.1 Materiales pétreos	
V.1.1.1 Grava	
V.1.1.2 Arena	
V.1.2 Cemento	
V.1.3 Agua	
V.1.4 Aditivos	
V.2 RESISTENCIA	84
V.3 TRABAJABILIDAD	84
V.4 ELEMENTOS PARA LOSAS DE CONCRETO	85
V.4.1 Barras de amarre	
V.4.2 Pasajuntas	
V.5 JUNTAS	86
V.5.1 Formación de juntas	
V.5.2 Juntas de contracción o de control	
V.5.3 Juntas de dilatación o aislamiento	
V.5.4 Juntas de construcción	
V.5.5 Neopreno en tiras para juntas	
V.5.6 Material sellante para juntas	
V.6 ELABORACION DEL CONCRETO HIDRAULICO Y PROCESO DE PAVIMENTACION	90
V.6.1 Proporcionamiento de la mezcla	
V.6.2 Preparación de la superficie	
V.6.3 Condiciones climáticas	
V.6.4 Elaboración del concreto	
V.6.5 Transporte	
V.6.6 Colado	
V.6.7 Acabado superficial	
V.6.8 Fraguado y curado	
V.6.9 Juntas	

V.7	CONTROL DE CALIDAD	96
V.7.1	Tolerancias	
V.7.2	Espesor de losa determinado por medio de núcleos	
V.7.3	Calidad de la superficie terminada	
V.7.4	Perfiles del pavimento	
V.7.5	Tramo de prueba	

CAPITULO VI

EQUIPO Y PROCESO CONSTRUCTIVO

VI.1	EQUIPO PARA PAVIMENTOS RIGIDOS	100
VI.1.1	Plantas de mezclado central	
VI.1.2	Plantas dosificadoras de concreto	
VI.1.3	Equipos de transporte de concreto	
VI.1.3.1	Camiones de volteo	
VI.1.3.2	Camiones revolvedores	
VI.1.4	Pavimentadora de cimbra deslizante	
VI.1.5	Texturizadora- curadora	
VI.1.6	Fresadoras	
VI.1.7	Cortadoras de concreto fresco	
VI.1.8	Estaciones ambientales portátiles	
VI.1.9	Bomba de silicón	
VI.1.10	Perfilógrafo computarizado	
VI.2	PROCESO CONSTRUCTIVO	108
VI.2.1	PRELIMINARES	
VI.2.1.1	Terracerías	
VI.2.1.2	Ampliación exterior de 7.0m en los cuerpos actuales	
VI.2.1.3	Rehabilitación del cuerpo existente	
VI.2.2	PAVIMENTACION CON CIMBRA DESLIZANTE	115
VI.2.2.1	Actividades preliminares	
VI.2.2.2	Proceso de pavimentación	
a)	Tendido de línea guía	g) Tendido del concreto
b)	Colocación de pasajuntas	h) Pavimentación con cimbra deslizante
c)	Colocación de barras de amarre	i) Acabado superficial del pavimento
d)	Junta de construcción	j) Modulación de losas
e)	Junta pavimento cuneta	k) Limpieza y sello de las juntas
f)	Inicio de los trabajos de pavimentación	
VI.3	ACTIVIDADES FINALES Y RESULTADOS	140

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1	CONCLUSIONES	144
VII.2	RECOMENDACIONES	145
VII.2.1	Problemas y reparación del concreto	
VII.2.1.1	Clasificación de problemas del concreto	
VII.2.1.2	Conservación de pavimentos de concreto	
VII.2.1.3	Técnicas de reparación	

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO

I

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

A lo largo de este trabajo analizaremos el uso del concreto hidráulico como medio principal para resolver el deterioro que se presenta en el tramo Palmillas –Querétaro, el cual es un problema constante en la red carretera nacional. El objetivo principal es aumentar la capacidad de circulación del tramo, mejorando la infraestructura de transporte en la región, así como su integración regional y nacional

El presente proyecto plantea una ampliación de carriles así como la rehabilitación del cuerpo existente por medio de una sobrecarpeta de concreto hidráulico. A lo largo del proyecto de rehabilitación del tramo Palmillas –Querétaro, nos enfocamos principalmente en el aspecto constructivo y de especificación de obra para cubrir todos lo referente al control de calidad en pavimentos de concreto durante todas sus etapas, con el fin de obtener un pavimento seguro, funcional y duradero; reduciendo el costo de mantenimiento y dando a la ciudad una vía de comunicación que se adapte a sus necesidades actuales y futuras.

En el capítulo II se presentan los antecedentes históricos del uso del concreto hidráulico en nuestro país, así como los primeros caminos construidos o rehabilitados con este mismo material; también se enlistan las ventajas que tiene la utilización del concreto hidráulico con respecto al asfalto y el desarrollo de este tipo de pavimentos en México.

El capítulo III contiene las definiciones y teorías principales que utilizaremos a lo largo del trabajo. Aquí conoceremos la forma de trabajo de los pavimentos rígidos así como su clasificación y los aspectos necesarios para realizar un diseño completo abarcando los temas principales como lo son las características del suelo de soporte y el tránsito vehicular.

El capítulo IV presenta el proyecto de pavimento rígido para el tramo Palmillas – Querétaro de aproximadamente 60 Km de longitud el cual esta construido originalmente con pavimento asfáltico y dos carriles por sentido. El proyecto abarca los estudios previos realizados al suelo de soporte, el clima de la región, así como los datos del tráfico obtenidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes que se utilizaron para determinar el espesor del pavimento y posteriormente los aspectos complementarios de diseño, obteniendo las secciones estructurales tipo que se utilizarán a lo largo del procedimiento constructivo.

A partir del capítulo V iniciamos la parte principal del trabajo, el cual inicia con las especificaciones y normas para el control de calidad requeridas para la construcción de pavimentos de concreto en particular. Estas normas en nuestro país las elabora la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, que es la encargada de regular todas las actividades de proyección, especificación y construcción en lo que concierne a carreteras.

El seguimiento adecuado de estas especificaciones asegura en gran medida que el pavimento desarrolle la mayor ventaja del concreto hidráulico, que es la durabilidad. Las especificaciones y el control de calidad están presentes a lo largo de todo el procedimiento constructivo por lo que es importante su correcto seguimiento e interpretación.

El capítulo VI presenta el aspecto constructivo, tanto de la ampliación de ambos cuerpos del pavimento, como la colocación de la carpeta de concreto hidráulico sobre dicha ampliación y posteriormente sobre el cuerpo existente.

Al principio del capítulo se enlista el equipo principal que se usa en la construcción de los pavimentos de concreto, nombrando sus características principales tanto físicas como de su funcionamiento, para entonces pasar al procedimiento constructivo.

Este proyecto presenta la construcción de un pavimento nuevo constituido por capas de apoyo con material granular y losa de concreto combinado con la rehabilitación del pavimento de asfalto que presenta deterioro superficial y ha tenido numerosas rehabilitaciones con sobrecarpeta asfáltica. La construcción y el control de calidad es la parte principal de todo el proyecto, ya que cualquier defecto en las etapas del procedimiento constructivo influye directamente en el costo de la obra, en la calidad y comportamiento del pavimento durante su vida útil.

Finalmente se presentan los resultados de la rehabilitación del tramo con la utilización del concreto hidráulico y las actividades finales para concluir el proyecto permitiendo la apertura del tráfico al usuario. Para concluir, se presentan las conclusiones del tema y las recomendaciones principales para la construcción de pavimentos de concreto, así como los problemas y soluciones que presenta el concreto.

CAPITULO

II

CAPITULO II

ANTECEDENTES

En el presente capítulo hacemos una revisión de la historia y la evolución de la red carretera en México, así mismo presentamos la introducción de los pavimentos rígidos en el país como alternativa de construcción y rehabilitación de carreteras así como su desarrollo tanto en diseño, procedimientos constructivos y equipo. También realizamos una comparativa con los pavimentos flexibles o de asfalto para observar claramente las ventajas y desventajas en cuestión de durabilidad, seguridad y costo.

II.1 GENERALIDADES

Las crecientes necesidades de desarrollo, la búsqueda de soluciones perdurables y la demanda de más y mejores caminos, han contribuido para lograr en México una modernización y ampliación de la red carretera. En nuestro país de los 330,000 km. de carreteras existentes sólo 95,000 km. están pavimentados y sus condiciones de servicio no son las óptimas, de hecho la mayoría de los caminos están catalogados por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (S.C.T.) 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 y 1970. La red fue proyectada para soportar cargas vehiculares que varían entre 6 y 8 toneladas, pero en la actualidad circulan camiones cargados que en algunos casos alcanzan a pesar hasta 60 toneladas; tampoco se contó con el crecimiento del tráfico diario que tenía entonces entre los 500 y 1,000 vehículos; sin embargo en la actualidad se tienen valores significativamente mayores, de hasta 4,000 vehículos.

Ante el deterioro de las carreteras en la red y considerando las necesidades del país en materia de comunicación, la S.C.T. se dedicó a 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 S.C.T. orientó a una solución con pavimentos de concreto hidráulico que ante tales exigencias representaba un costo razonable, con una capacidad estructural adecuada tanto para el volumen de tránsito como para la intensidad del mismo y un período de vida costeable de acuerdo a la magnitud de la inversión.

Durante la década de los ochenta la inversión en la infraestructura de carreteras en México se puede considerar prácticamente nula; los pocos recursos fueron aplicados a la conservación y en algunas acciones la rehabilitación. Esto originó el aplazamiento de los programas de modernización y terminación de los tramos carreteros en donde se pudo aplicar el pavimento rígido.

La principal causa por la que la especificación y construcción de pavimentos de concreto en México fuera relativamente escasa, era que el país siendo un gran productor de petróleo, también lo era de asfalto por lo que los pavimentos flexibles resultaban de 2 a 2.5 veces mas baratos en su inversión inicial que los de concreto debido a que existía un subsidio importante en el precio del asfalto.

Antes de 1990 la utilización de los pavimentos de concreto fue principalmente en vialidades urbanas como avenidas, calles y bulevares de acceso a ciudades. Como ejemplo tenemos el caso de Guadalajara, segunda del país con cerca de 5 millones de habitantes y en la cual se tienen 24 millones de metros cuadrados de calles y 17 millones están pavimentados correspondiendo el 59 % a los de concreto hidráulico, proporción que aumenta cada vez más. En 1920 se utilizó concreto hidráulico para la construcción del tramo San Ángel al Desierto de los Leones, la avenida Reforma y otras vialidades de la ciudad de México.

En el año de 1993 la S.C.T. con el apoyo de Cementos Mexicanos construyó el Libramiento Ticumán, Morelos con una longitud de 8.5 Km. Que fue la primera carretera de concreto hidráulico en el país, donde se utilizaron las nuevas tecnologías de pavimentación cumpliendo con especificaciones internacionales, siguiendo estrictas normas de calidad tanto en la producción como en el tendido del concreto.

A partir de este proyecto y con los resultados obtenidos del mismo se continuó con la especificación y construcción de otras carreteras de concreto hidráulico en el país. La longitud de pavimentos de concreto construidos o en proceso de construcción desde Noviembre de 1993 hasta Agosto de 1998 suma alrededor de 2,100 km. De carril de los cuales en el 28 % se ha utilizado una sobrecarpeta (white topping) mientras que el restante 72 % forma parte de una estructura nueva. Para 1998 se construyeron otros 980 kilómetros de estos carriles; y se tienen proyectados 253 kilómetros de carriles equivalentes.

II. 2 PRIMERAS CARRETERAS DE CONCRETO HIDRÁULICO EN MÉXICO

1993	Libramiento Ticumán, Morelos
1994	Autopistas Guadalajara – Tepic Tuxpan – Tihuatlán Tihuatlán – Poza Rica Cárdenas – Agua Dulce
1995	Yautepec - Jojutla Atlapexco – Tianguistengo Juitepec – Zapata Querétaro – San Luis Potosí
1996	Entronque Aeropuerto San Luis Potosí – Libramiento S.L.P. Libramiento San Luis Potosí – El Huizache Tramo Aeropuerto Ixtapa – Zihuatanejo

1997 – 1998

Autopistas

Pirámides – Tulancingo
Cancún - Tulum
Huizache – Matehuala
Libramiento Uman en Yucatán
Libramiento Rincón de Ramos en Aguascalientes
Bulevard Aeropuerto – La paz
Chihuahua - Aldama
Palmillas – Querétaro

1999

Se proyectan las Autopistas

Rosario – Escuinapa en Sinaloa
Vallarta- Río Ameca en Jalisco
Río Ameca – Cruz de Huanacastle en Nayarit
Cárdenas - Agua dulce en Tabasco
Yautepec – Oacalco
Poxila – Limite de estados en Yucatán
Libramiento de Colima
Chajul – Flor de café en Chiapas
Entronque Feliciano - Lázaro Cárdenas en Michoacán
Acceso al puerto fronterizo de Laredo
Matehuala –San Roberto
San Roberto – Puerto México en Nuevo León
Acceso al Puerto de Altamira
Tramos Huayacocotla y la Chimantla en Veracruz
Libramiento Nororiente de Querétaro



Fotos II. 1 y II. 2 Libramiento Tucumán Morelos antes y después

Poco a poco se ha logrado obtener una mayor experiencia en el diseño, especificación y construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México, estas experiencias han mostrado las ventajas de esta solución, de tal modo que cada vez más son las entidades gubernamentales responsables de la construcción, mantenimiento y operación de los caminos a los que les interesa aplicar y desarrollar las ventajas de un pavimento de concreto hidráulico

II.3 FALLAS QUE PRESENTAN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

En esta parte enlistamos las diferentes fallas que se presentan a lo largo de la vida útil de un pavimento asfáltico, las cuales podemos comprobar y ver en las calles y avenidas de la ciudad así como en carreteras de mediana y alta circulación.

Las fallas que se consideran en una superficie de asfalto son las siguientes:

- a) **Huecos o baches abiertos:** Cavidades o depresiones producidas por desprendimiento de la carpeta asfáltica y de capas granulares.

Se consideran 3 tipos de huecos:

- **Superficiales:** solo comprometen la capa de rodamiento y su profundidad es menor de 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 de la base granular



Foto II.3 Huecos y baches abiertos

- b) **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 deficiencias en la capacidad de carga o asentamientos en las capas de soporte.
- c) **Desgaste superficial:** Son las irregularidades que se observan en la superficie en áreas aisladas o en forma generalizada y son producto del desgaste de las partículas superficiales o el desprendimiento de alguna de ellas por acción del tránsito o inclemencias del tiempo.

El desgaste superficial 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.
- d) **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 para posteriormente ensancharse y ocasionar desprendimientos



Foto II. 4 Daño superficial severo (piel de cocodrilo)

Se consideran tres niveles de daño:

- **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 de material asfáltico y aparición del material de base.

- e) **Ondulaciones:** Son deformaciones grandes en la plataforma de la vía, que alteran su perfil longitudinal por asentamientos del terraplén o por levantamientos causados por las raíces de los árboles.

II. 4 VENTAJAS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

Los pavimentos de concreto hidráulico ofrecen ventajas considerables sobre los pavimentos de asfalto, entre las más significativas están: La durabilidad, los bajos costos de mantenimiento, seguridad, altos índices de servicio y mejor distribución de esfuerzos

II. 4. 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.

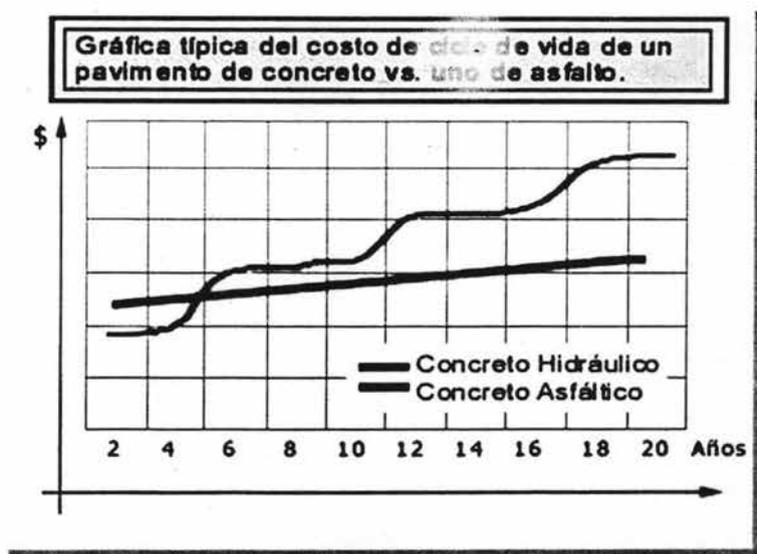
Para la colocación del concreto hidráulico, se deben de usar las proporciones específicas, con ciertas relaciones agua / cemento, utilizando aditivos que permitan una reducción de agua en la mezcla y que den la trabajabilidad adecuada al concreto, aun con revenimientos bajos, como los utilizados en las autopistas. Es importante conocer las características de los materiales que forman la estructura de soporte y sus grados de compactación, apoyados en los estudios de mecánica de suelos para lograr óptima durabilidad.



Foto II. 5 Losas de concreto en pista de aeropuerto

II. 4. 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. La significativa reducción en los costos en una vía permite que el concreto sea una opción muy económica. El mantenimiento que requieren los pavimentos de concreto es mínimo, sin embargo es muy importante que el mismo se provea en tiempo y forma adecuados para garantizar las propiedades del pavimento.



Gráfica II-1 Pavimento Rígido contra Pavimento Flexible
Fuente: Manual de Pavimentos de concreto hidráulico Cemex

II. 4. 3 Seguridad

El concreto hidráulico colocado bajo las especificaciones y con los equipos especializados en buenas condiciones de operación, permite lograr una superficie de rodaje con alto grado de planicidad y dada su rigidez permanece así durante toda su vida útil, evitando la formación de roderas, así como de severas deformaciones en las zonas de arranque y frenado, haciendo a los pavimentos de concreto más seguros para el usuario. El color del pavimento, permite mejor visibilidad en caso de transitar de noche o en días nublados.

II. 4. 4 Altos índices de servicio

Los pavimentos de concreto 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, sobre todo en tramos donde el tráfico es más pesado.

II. 4. 5 Mejor distribución 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 en lo 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.



Foto II. 6 Pavimento Rígido en zona urbana

II. 4. 6 Deterioros

Entre los deterioros encontrados en los diferentes proyectos, los más representativos son las grietas longitudinales, transversales, de esquina y múltiples, también se ha encontrado despostillamiento de juntas y algunos desprendimientos. En menor cuantía aquellos deterioros por texturizado, grietas por contracción, y prácticamente en todos los proyectos diferencias en el índice de perfil.

La ocurrencia de los deterioros está muy localizada a lo largo de los tramos construidos y nunca ha representado porcentajes mayores del 2 % del área total construida. Caso particular son las secciones construidas en terraplén en donde por circunstancias ajenas al comportamiento de la losa de concreto se han presentado deterioros de los ya mencionados debidos a los asentamientos del cuerpo del terraplén en estas zonas.

Las reparaciones según el caso, han consistido en el sellado con productos epóxicos, resanes o la inserción de varillas para el caso de los agrietamientos, el desbastado de la superficie cuando el índice de perfil no ha cumplido con las especificaciones de proyecto y el cambio de losas cuando así se ha requerido.

Cada deterioro ha sido evaluado y analizado para determinar sus causas posibles encontrándose que son debidas principalmente a deficiencias en los procedimientos constructivos y en algunas ocasiones a la falta de uniformidad en la producción del concreto hidráulico.

II. 5 ÍNDICE DE SERVICIO

El índice de servicio es un parámetro que nos ayuda a clasificar el pavimento según su estado, esto depende del control de calidad durante su construcción y el tiempo transcurrido de su vida útil. Los pavimentos rígidos alcanzan un adecuado índice de servicio inicial, el cual depende de la calidad durante su construcción. En nuestro país se alcanza un índice de 4.2; uno de los problemas que presentan los pavimentos de asfalto es que su índice de servicio decrece en forma acelerada lo que implica un mantenimiento de 12 a 20 veces más costoso que en un pavimento de concreto hidráulico.

Índice de Servicio	
5	Excelente
4	bueno
3	regular
2	malo
1	pésimo
0	intransitable

Tabla II.1 Valores para calificar el índice de servicio en carreteras

II. 6 MARCO DE REFERENCIA CON 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.

En muchos países del mundo se han utilizado, por muchos años los pavimentos de concreto hidráulico, tanto en 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 perfeccionado y las técnicas de construcción y evaluación de los pavimentos rígidos haya evolucionado. Continuando con la experiencia de más de 50 años, se sigue experimentando e investigando para perfeccionar la tecnología actual de pavimentos.

En los países de América Latina se han utilizado los pavimentos de concreto principalmente en 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 inicio 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 en 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.

II. 6. 1 Experiencia adquirida

A lo largo del tiempo se ha presentado el intercambio de conocimientos de contratistas diseñadores, supervisores y entidades gubernamentales para determinar las modificaciones o implementaciones necesarias, propiciando con ello la construcción de tramos de prueba en los que se analiza el buen comportamiento del pavimento y se evalúan los equipos que van a intervenir a lo largo del proyecto.

La experiencia adquirida ha ido mejorando día tras día con los procedimientos de construcción para evitar los agrietamientos no controlados debido al corte de las juntas transversales fuera de tiempo, la falta de las mezclas de concreto hidráulico y los índices de perfil fuera de especificación. Cada uno de ellos son factores de peso que desmeritarán el buen comportamiento de este tipo de pavimentos.

A medida que los pavimentos de concreto se incorporan en nuestro país como una opción para mejorar nuestra deteriorada red carretera, los constructores en México han venido mejorando los proyectos, usando productos y equipos nuevos para la optimización de los trabajos. Así como realizar estudios completos con datos confiables para evitar pavimentos sobre diseñados o sub diseñados.

II. 7 EL CASO DEL TRAMO PALMILLAS-QUERÉTARO

El crecimiento de la Ciudad de Querétaro exige de una vía de comunicación moderna, cómoda y segura que le permita su integración y la de las poblaciones circunvecinas con la capital del país. Por lo que enfocaremos nuestra atención al tramo carretero Palmillas- Querétaro el cual es parte de la principal vía para comunicar, no sólo al Estado de Querétaro, sino también a las ciudades de San Luis Potosí y Guanajuato con la Ciudad de México.

El Tránsito promedio anual de la carretera México-Querétaro, así como de los tramos que conectan a las ciudades de San Luis Potosí , Irapuato y Guanajuato con el estado de Querétaro, están cercanos a los 3000 vehículos por día, considerando a estas dentro de las carreteras con mayor demanda en el país. Debido a esto el tramo Palmillas-Querétaro presenta la necesidad de una ampliación de sus carriles para satisfacer adecuadamente las necesidades de comunicación durante un largo período de tiempo y a su vez favorezca el desarrollo económico y social del estado. Para aumentar la capacidad y eficiencia del tramo se proyecta una ampliación de ambos cuerpos en sus terracerías de siete metros a partir de los hombros exteriores, para obtener una corona de quince metros aumentando de dos a tres carriles de circulación delimitados por acotamiento interior y exterior.

Sobre la ampliación proyectada y el pavimento actual, se construirá una base estabilizada con cemento y una carpeta asfáltica de cinco centímetros para desplantar una losa de concreto de treinta centímetros de espesor, con juntas tanto transversales como longitudinales y pendiente transversal hacia el acotamiento exterior para brindar un drenaje adecuado. Este elemento tendrá la función de transmitir las cargas a las capas inferiores del pavimento, así como constituir una superficie para el tránsito de vehículos con diversos volúmenes.

Los pavimentos rígidos son la opción más eficiente que existe actualmente para la construcción y rehabilitación de carreteras. En 1993 se implementó en México este tipo de pavimento y desde entonces se ha comprobado que reducen drásticamente el costo de mantenimiento y ofrecen una superficie de rodamiento más resistente y durable que el asfalto.

De esta forma, tenemos un proyecto que presenta la combinación de dos tipos de pavimentos rígidos para llevarlo a cabo; el convencional, que es un pavimento nuevo construido sobre una base granular compactada y el white topping (sobrecarpeta blanca) que se desplanta sobre un pavimento flexible ya existente con daños superficiales.

Para llevar a cabo este proyecto se requiere de un estudio completo del terreno de apoyo, para posteriormente realizar el diseño adecuado del pavimento y lo más importante su adecuada ejecución en todas sus etapas atendiendo el control de calidad y las especificaciones que en nuestro país en materia de carreteras quedan establecidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.)

II. 7.1 Datos estadísticos

En esta parte se presentan datos estadísticos que junto con los altos costos de mantenimiento que requería el tramo Palmillas Querétaro y el crecimiento de la ciudad, fueron factores para considerar la ampliación y rehabilitación del pavimento del tramo Palmillas – Querétaro.

Año	% Tipos de Vehículos			TDPA	% CRECIMIENTO
	A	B	C		
1987	64	10	26	24,698	
1988	60	9	31	25,833	4.39
1989	62	10	27	27,048	4.70
1990	64	10	26	26,967	-0.30
1991	60	8	32	26,159	-3.00
1992	61	7	32	27,499	5.00
1993	58	10	32	28,350	3.00
1994	56	9	36	29,499	4.05
1995	54	11	35	27,730	-5.99
1996	58	15	27	27,704	-0.09

Tabla II- 2 Aforo vehicular en el tramo Palmillas – Querétaro. Estación Tepeji del Río
Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos (Secretaría de Comunicaciones y Transportes)

- Los datos de este cuadro fueron obtenidos de los aforos en estaciones cercanas a la mitad del tramo, y son considerados como representativos del tránsito con origen y destino en el centro de la Ciudad de Querétaro.
- TDPA Tránsito Diario Promedio Anual (en los dos sentidos)
A automóviles de menos de 3 toneladas, B Autobuses, C Camiones de carga con peso mayor a 3 ton

En base a los datos publicados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes mediante la Dirección General de Servicios Técnicos, podemos establecer la situación previa del tramo, en donde se puede mostrar que el porcentaje de crecimiento del Tránsito Diario Promedio Anual va de 0 a 1% lo que es indicativo de una vía que comienza a saturarse. El crecimiento del tránsito normal de una autopista es del 1 al 5% anual, la reducción brusca de este crecimiento y el estado físico de la carretera así como los costos de mantenimiento son factores para considerar una rehabilitación mayor del tramo.

CAPITULO

III

CAPITULO III

MARCO TEORICO

A continuación enlistaremos los términos y definiciones utilizados durante el estudio de los pavimentos de concreto, así como su forma de trabajo y los aspectos principales necesarios para su correcto diseño.

III. 1 DEFINICIONES

III. 1. 1 Pavimento

Estructura formada por capas de material seleccionado que dan lugar en su parte superior a una superficie de rodamiento. Este elemento tiene como función soportar y transmitir las cargas al suelo así como constituir una superficie adecuada para el tránsito de vehículos.

III. 1. 2 Corona

Es la superficie del camino y esta limitada por los hombros. Los elementos que definen la corona son la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos.

III. 1. 3 Pendiente transversal

Está definida por el grado de inclinación que tiene el camino en el sentido perpendicular al eje del camino. Su función es la de proporcionar un drenaje adecuado al camino y puede ser en uno o dos sentidos.

III. 1. 4 Calzada

Es la superficie por la cual circulan los vehículos, está delimitada por los acotamientos y dividida por carriles de circulación.

III. 1. 5 Acotamiento

Son las fajas contiguas a la calzada comprendidas entre sus orillas y los hombros del camino. Las principales ventajas son las siguientes:

- Dan seguridad al usuario al proporcionar una franja adicional fuera de la calzada
- Protege contra la humedad y posibles erosiones a la calzada
- Mejora la visibilidad en las curvas
- facilita los trabajos de conservación

El ancho de los acotamientos depende del volumen del tránsito y del nivel de servicio.

III. 2 TIPOS DE PAVIMENTO

III. 2. 1 Pavimentos flexibles

Pavimentos constituidos en la parte superior por concreto asfáltico soportado por capas de material proveniente de banco.

III. 2. 2 Pavimentos rígidos

Constituidos por una losa de concreto hidráulico en la parte superior y en la inferior capas de material de banco o bien pavimento flexible deteriorado.

III. 3 PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

III. 3. 1 Definición de concreto hidráulico

El concreto hidráulico es una combinación de Cemento Pórtland, agregados pétreos, agua y aditivos para formar una mezcla moldeable que al fraguar forme un elemento rígido resistente.

III. 3. 2 Cemento Pórtland.

Es un conglomerado hidráulico propiedades tanto adhesivas como cohesivas resultado de la pulverización del Clinker frío, a un grado de finura determinado al cual se le adiciona sulfato de calcio natural y agua.

III. 3. 3 Clinker

Material sintético granular resultado de la cocción a una temperatura del orden de 16730 K (1400°) de materias primas de naturaleza calcárea y arcillo ferruginosa previamente triturada, proporcionadas y mezcladas.

III. 3. 4 Cemento Pórtland puzolánico

Se obtiene al moler juntas o combinar mezclas de cemento Pórtland y puzolana. La puzolana es un material natural o artificial que contiene sílice en una forma reactiva y puede representar hasta el 40 % de la cantidad total de material del cemento.

III. 4 TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

III. 4. 1 Convencional

Colocado sobre una sub-base granular compactada de espesor regular (10 a 20 cms) y juntas de contracción debidamente selladas, textura superficial con peine metálico. De uso general tanto para vialidades urbanas como para proyectos carreteros.

III. 4. 2 CCR (Concreto Compactado con Rodillos)

Es una alternativa de pavimentación utilizada principalmente para proyecto con tráfico pesado y velocidades de operación bajas. Se utiliza concreto de revenimiento cero que posteriormente se compactará con rodillos, lo que le da mayor resistencia a la flexión que el concreto convencional.

III. 4. 3 Sobrecarpeta ultra delgada

Tipo de pavimento cuyas aplicaciones son únicamente para vialidades urbanas de tráfico ligero; la losa de concreto se coloca sobre un pavimento flexible que este deteriorado pero en buenas condiciones para funcionar como soporte, se utiliza un espesor recomendado de 10 cms.

III. 4. 4 White topping

El white topping (sobrecarpeta blanca) consiste en la colocación de una losa de concreto hidráulico sobre un pavimento que presente daños superficiales y que ha sido superado por las condiciones ambientales, por el volumen y el peso del tránsito al que se encuentra sometido.

La utilización principal de este tipo de pavimentos tiene como fin eliminar los mantenimientos continuos y sus correspondientes costos obteniendo después de su colocación una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura.

III. 5 LOSAS DE CONCRETO

III. 5. 1 Losas de concreto hidráulico con refuerzo continuo

Son aquellas que se construyen mediante el colado del concreto hidráulico sin juntas y con acero de refuerzo colocado longitudinalmente en forma continua con el objeto de resistir los esfuerzos a tensión.

III. 5. 2 Losas de concreto hidráulico con juntas

Son aquellas que se construyen mediante el colado del concreto hidráulico con juntas longitudinales y transversales con o sin pasajuntas para formar elementos rectangulares.

III. 6. DISEÑO DE JUNTAS

Las juntas tienen como finalidad evitar fisuras debidas a las dilataciones y contracciones que sufre el concreto al variar la temperatura. El buen diseño de juntas en pavimentos de concreto ayuda al 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 provocando 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 al tiempo, así como un diseño apropiado de las juntas incluyendo un efectivo sellado, son elementos claves para el buen comportamiento del sistema de juntas. El agrietamiento que se presenta es ocasionado por la combinación de varios efectos, entre los que podemos mencionar la contracción por el 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 y también por ciertas características de los materiales empleados.

III. 6.1 Consideraciones para el diseño de juntas

Para diseñar un adecuado sistema de juntas se recomienda evaluar las siguientes condiciones:

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

Según su función y colocación pueden ser

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

c) Transferencia de carga: La transferencia de carga 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 o pasajuntas, el tipo y tamaño de las barras influyen en el diseño de las juntas.

d) 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.

e) 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; en muchas ocasiones el despostillamiento es resultado de concentraciones de materiales malos a lo largo de las juntas.

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

g) Características del sellador: El espaciamiento de las juntas influye en la selección del tipo de sellador. Otras consideraciones, como adecuados factores de forma, costos y ciclos de vida también deben tomarse en cuenta para la selección del sellador.

h) Apoyo lateral: el tipo de acotamiento (de concreto, 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.

i) 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.

j) Agrietamiento: Un adecuado sistema de juntas esta 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 geometría.

III. 6.2 Contracción en pavimentos de concreto

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 primera 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. 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 cuales, de no ser considerados, pueden provocar grietas transversales.

III. 6. 3. Grados de temperatura en el concreto

Los esfuerzos provocados por los grados 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 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 se encuentra a una temperatura mayor 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 padrón 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.

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 la carga y a los esfuerzos de tensión inducidos por el alabeo del día.



ALABEO DIURNO



ALABEO NOCTURNO

Figura III.1 Alabeo de las losas de los pavimentos de concreto

III. 6. 4 Forma de trabajo de los pavimentos rígidos (Eficacia de la junta)

Para lograr una correcta transferencia de cargas mediante la estructura de pavimento, así como para controlar el agrietamiento natural del concreto, es necesaria la formación de losas preferentemente rectangulares. Esto se hace mediante la utilización de juntas de contracción tanto de forma transversal como longitudinal, su construcción permite la formación de tableros así como crear una línea de falla, para inducir y direccionar las grietas.

La transferencia de carga es la habilidad de la junta de transferir parte de la carga aplicada de uno al otro lado de la junta. Una junta 100 % efectiva es cuando se logra transferir la mitad de la carga aplicada a la losa adyacente, mientras que un 0 % de efectividad implica que todo el peso se queda de un solo lado de la junta.

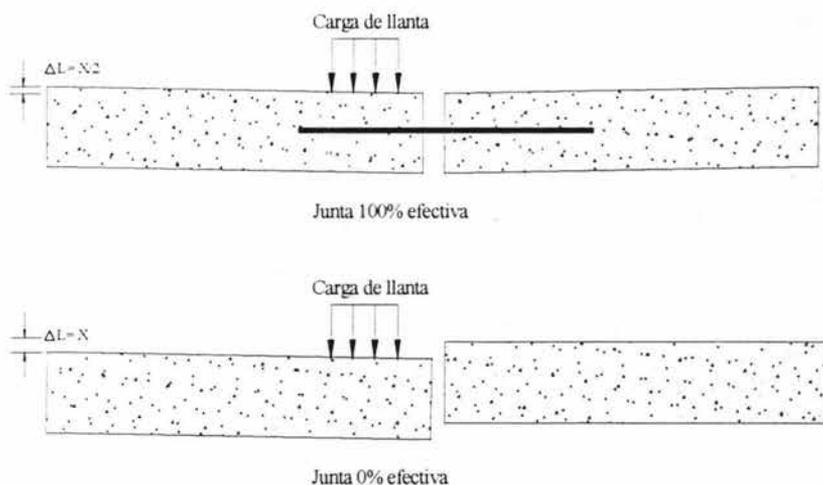


Figura III.2 Eficacia de juntas

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 la junta por medio de la siguiente ecuación podemos conocer el % de eficacia en la junta (E):

$$E = \frac{2\Delta u}{\Delta L + \Delta u} (100)$$

Donde:

ΔL = Deflexión del lado cargado de la junta

Δu = Deflexión del lado no cargado de la junta

III. 6. 5 Factores que contribuyen a la transferencia de carga

La trabazón de agregados contribuye de forma importante a la transferencia de carga, esta se presenta en las caras de la junta debajo del corte inducido, la transferencia de cargas depende de la resistencia al cortante entre las partículas del agregado. Este sistema de transferencia es recomendable sólo para proyectos urbanos con tráfico ligero.

Para incrementar la trabazón de agregados y aumentar la eficacia de las juntas, es recomendable realizar las siguientes acciones:

- Diseñar losas con espesores grandes debido a que existe una mayor área para trabazón de agregados y se provoca una mayor transferencia de carga.
- Poca separación de juntas, menor de 4.5 metros, en carreteras no es recomendable la utilización de losas tan pequeñas ya que aumenta los costos por la construcción de muchas juntas de contracción.
- Construir sobre bases rígidas (estabilizadas) con valores altos de modulo de reacción del suelo "k"
- Apoyo lateral mediante acotamientos de concreto
- Subrasantes con suelos de agregado grueso para un mejor drenaje
- Mejoras al drenaje, mediante drenes colectores y Subrasantes permeables.

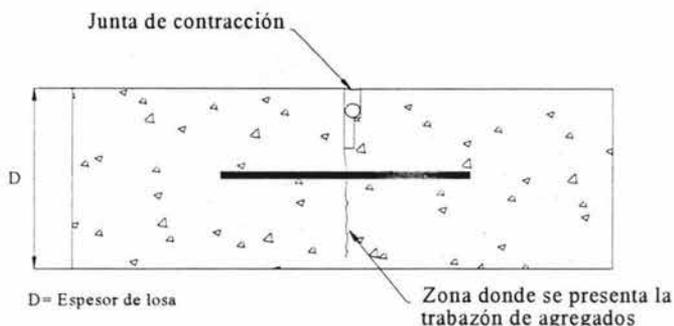


Figura III. 3 Trabazón de agregados en losas de concreto

Para un medio ambiente con clima seco, árido y sin nieve, las variaciones de temperatura y los movimientos de las juntas serán pequeños, por lo que la transferencia de carga a través de la trabazón de agregados puede comportarse bien, siempre y cuando no se tengan muy altos volúmenes de tráfico pesado, sin embargo si se requerirá una corta separación de juntas. El agregado en si, es también importante para la transferencia de carga, por ejemplo la grava triturada se comporta mejor que la no triturada debido a que esta provoca que las caras de las juntas sean más ásperas, por lo que se desgastan menos que las caras redondeadas de los agregados no triturados. De la misma manera el agrietamiento inicial del concreto incrementa la aspereza de las caras de las juntas debido a que las grietas se forman alrededor del agregado en vez de a través de el.

En general, se recomienda dejar la transferencia de carga únicamente a la trabazón de agregados para proyectos con menos de 5 millones de ESAL's rígidos (Ejes Sencillos Equivalentes de 8.2 ton.) o con tráfico inferior a los 80 o 120 vehículos pesados diarios, ya que un tráfico mayor produce fallas en las juntas, como lo son los escalonamientos.

III. 6. 6. Transferencia de carga. 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 superior a los 120 vehículos pesados diarios o más de 5 millones de ESAL's rígidos.

Los medios que se utilizan son las pasajuntas, que son barras de acero redondo liso colocadas en las juntas transversales de contracción que no se deben adherir al concreto permitiendo el libre movimiento de losas longitudinalmente pero sí debe transferir verticalmente parte de la carga aplicada en una losa adyacente. Las pasajuntas disminuyen la deflexión y los esfuerzos de la losa de concreto y reducen el potencial de falla y rotura en las esquinas.

Las evaluaciones del comportamiento de pavimentos de concreto para carreteras en servicio, han demostrado que el empleo de pasajuntas reduce la falla en el pavimento. El Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC) establece que cuando el tráfico de camiones sobrepase los 120 vehículos por día y para losas de 20 cms o más de espesor se recomienda el uso de pasajuntas en aplicaciones viales.

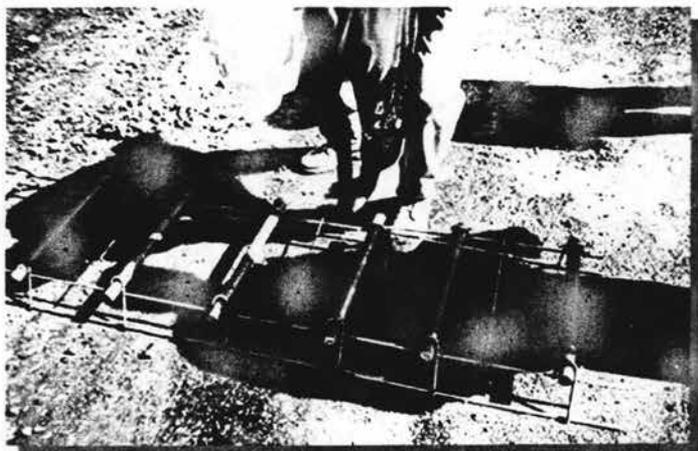


Foto III. 1 Pasajuntas de acero redondo liso colocadas en canastillas de alambón

III. 6. 7. 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.

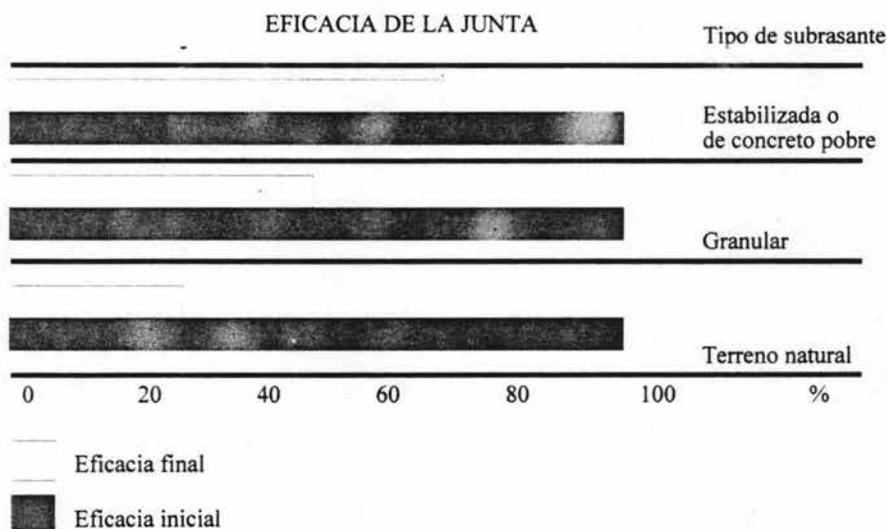


Figura III.4 Eficacia de la junta para varios tipos de terrenos de apoyo basada en una losa de 9" de espesor después de 1 millón de aplicaciones de carga

III. 6. 8 Tipos de juntas

Estas juntas se forman por medio del aserrado con maquinas de corte, esto se realiza una vez que el concreto obtenga un cierto grado de resistencia. El corte se hace en los lugares preseleccionados y con las dimensiones establecidas en el proyecto. De acuerdo a su ubicación y forma se clasifican de la siguiente manera:

- **Juntas transversales de contracción:** Son las juntas que se construyen transversalmente al eje central del pavimento y que son espaciadas para controlar el agrietamiento provocado por los efectos de las contracciones como por los cambios de temperatura y humedad
- **Juntas transversales de construcción:** Son las juntas colocadas al final de un día de pavimentación o por cualquier otra interrupción a los trabajos.

- **Junta transversales de expansión y/o aislamiento:** Estas juntas son colocadas en donde permita el movimiento de la carpeta sin dañar estructuras adyacentes (puentes, estructuras de drenaje, etc.) o el mismo pavimento.
- **Junta longitudinal de contracción:** Son las juntas que dividen los carriles de tránsito y controlan el agrietamiento donde van a ser colados, en una sola franja, dos o mas carriles.
- **Junta longitudinal de construcción:** Estas juntas unen carriles adyacentes cuando van a ser pavimentados en tiempos diferentes.

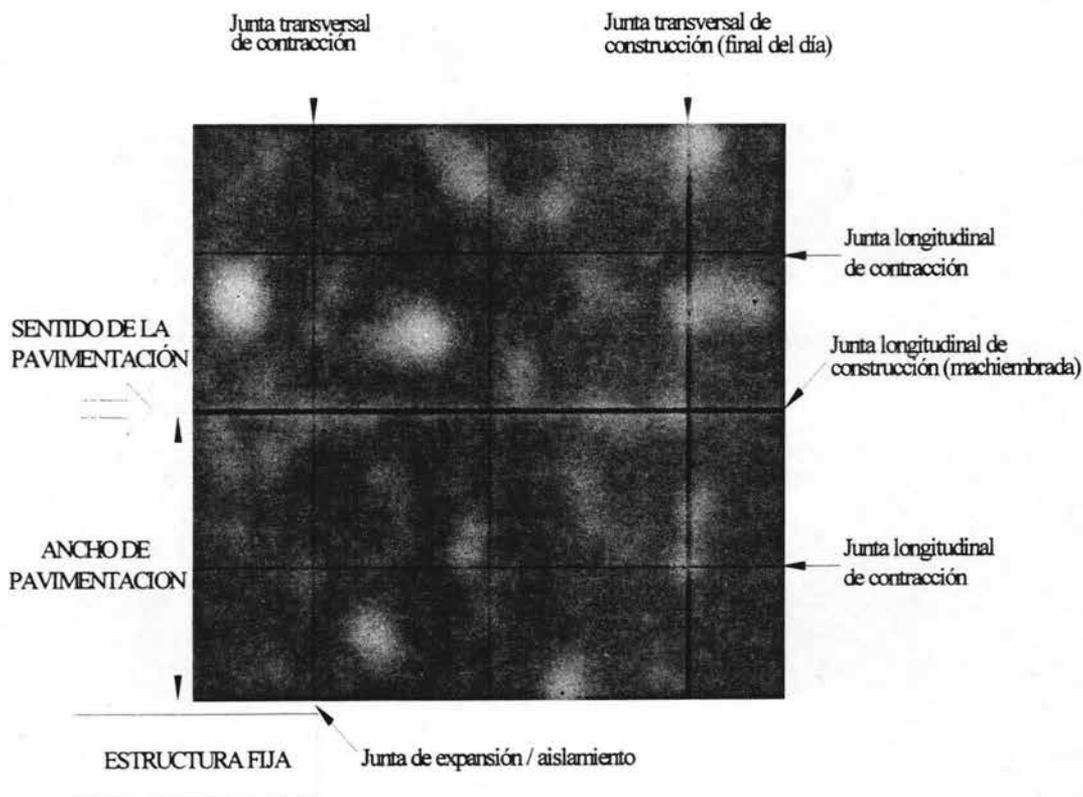


Figura III. 5 Croquis de los tipos de juntas en un pavimento de concreto

III. 7 RESISTENCIA DEL CONCRETO

En el cálculo de pavimentos de concreto se emplea el módulo de ruptura a la flexión debido a que la forma de trabajo de las losas de concreto y el daño por la carga de los vehículos es a tensión y no a compresión como estamos acostumbrados a trabajar con las estructuras de concreto. La resistencia del presente proyecto es de 48 kg/cm² a la flexión, equivalente a aproximadamente de 350 a 400 kg/cm² de resistencia a la compresión.

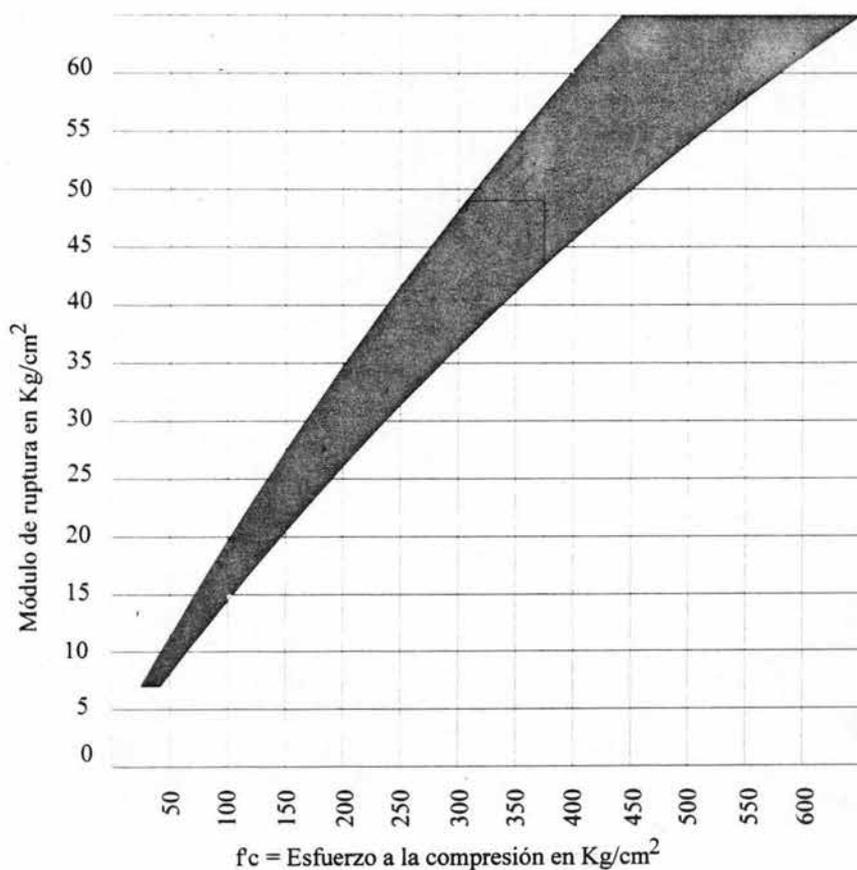


Fig. III.6 Relación promedio entre el esfuerzo a la compresión de un cilindro de 15 x 30cm y el módulo de ruptura de una viga con cargas en los tercios del claro

III. 8 MODULO DE RUPTURA (MR)

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. (American Society of Testing and Materials) 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 AASHTO 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.

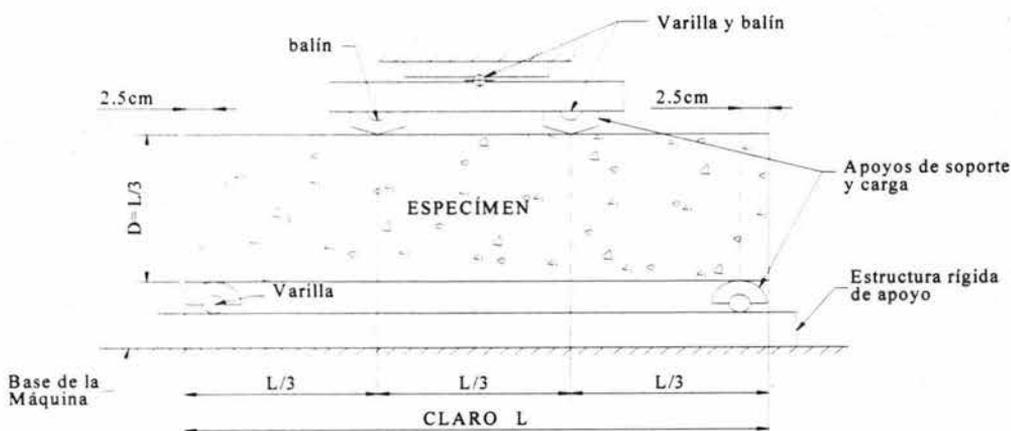


Figura III.7 Ensayo para determinar el módulo de resistencia a la tensión por flexión del concreto

III. 9 MÉTODOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

Los métodos para el diseño de pavimentos de concreto son el de la American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO) y el de la Portland Cement Association (PCA), que corresponden a los métodos de diseño de espesores más ampliamente usados en el ámbito mundial.

III. 9. 1 Método AASHTO

Esté método de diseño está basado en los resultados obtenidos de la prueba de carreteras concebida y promovida por la organización que ahora conocemos como AASHTO, realizada para estudiar el comportamiento de estructuras de pavimento bajo cargas móviles de magnitudes y frecuencias conocidas y bajo el efecto del medio ambiente en secciones de pavimentos rígidos y flexibles. La planeación empezó en 1951, la construcción del proyecto inicio en 1956 muy cerca de Ottawa, Canadá. El tráfico controlado se aplicó desde Octubre de 1958 a Noviembre de 1960 y el método estuvo listo para 1961.

III. 9. 1. 1 Variables del Método AASHTO

Conocer las consideraciones más importantes que intervienen en cada una de las variables de cada método es necesario para así poder realizar diseños confiables y óptimos.

a) Espesor

El espesor de concreto es la variable que pretendemos determinar al realizar un diseño. El resultado del espesor se ve afectado por todas las demás variables que intervienen en los cálculos. Es importante especificar lo que se diseña, ya que a partir de espesores regulares una pequeña variación puede significar una variación importante en la vida útil. El procedimiento de diseño AASHTO predice el porcentaje de pérdida de serviciabilidad (Δ PSI) para varios niveles de tráfico y cargas de ejes. Entre mayor sea el Δ PSI, mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar.

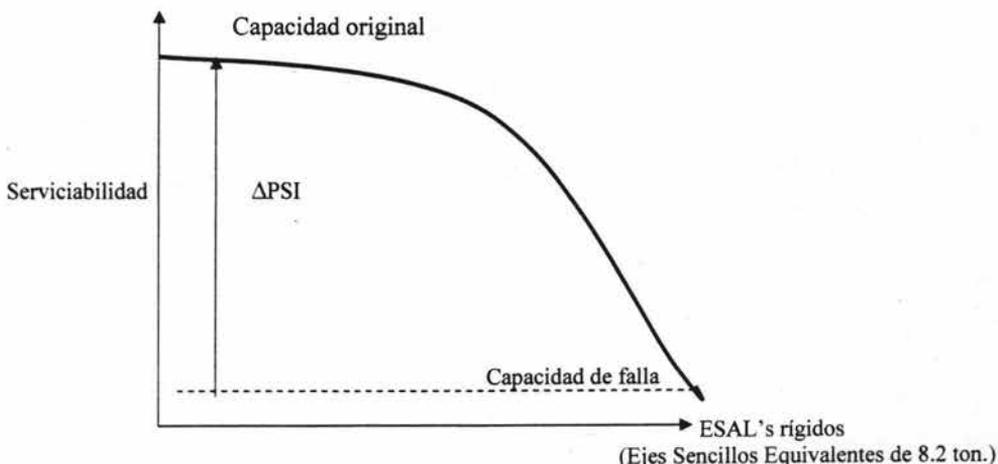


Fig. III.8 Gráfica de la pérdida de serviciabilidad de un pavimento

b) Serviciabilidad inicial y final

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, lo son: el índice de perfil, índice de rugosidad, coeficiente de fricción, distancias de frenado, visibilidad, etc.

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

Tabla III.1 Valores del índice de servicio que considera el método AASHTO

• Serviciabilidad 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 $P_o = 4.7$ o 4.8 . Mientras mejor se construya inicialmente un pavimento, es mejor índice de serviciabilidad inicial tenga, mayor será su vida útil.

• Serviciabilidad final (P_t)

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 (P_t) 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

c) Tráfico

El Tráfico es una de las variables más significativas del diseño de pavimentos y la información al respecto debe ser lo más precisa posible. La metodología AASHTO considera la vida útil de un pavimento relacionada al número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final predeterminadas para el camino.

Existen factores que ayudan a determinar con precisión el tráfico que circulará por el carril de diseño. El AASHTO diseña los pavimentos de concreto por fatiga. La fatiga se puede definir como el número de repeticiones o ciclos de carga y descarga que actúan sobre un elemento. Al establecer una vida útil de diseño estimamos el número de repeticiones de carga a las que estará sometido el pavimento. La vida útil mínima con la que se debe diseñar un pavimento rígido es de 20 años, es común realizar diseños de 30, 40 o 50 años. También se considera el crecimiento del tráfico durante su vida útil, que depende en gran medida del desarrollo económico-social de la zona de proyecto.

Es normal que el tráfico vehicular vaya aumentando con el paso del tiempo, hasta que llega a un punto tal de saturación en el que se mantiene prácticamente sin crecimiento. Es conveniente prever este crecimiento del tráfico, tomando en consideración una tasa de crecimiento anual con la que se calcula un factor de crecimiento del tráfico.

La tasa de crecimiento pudiera variar de acuerdo a los tipos de vehículos, pueden crecer más unos tipos que otros. A medida que un camino se va congestionando su crecimiento se va haciendo más lento, por lo que para estimar el tráfico al final de su vida útil hay que considerar una tasa de crecimiento equivalente.

$$T_{vu} = T_{pa} \times FCT$$

Donde:

T_{vu} = Tráfico en la vida útil

T_{pa} = Tráfico durante el primer año

FCT = Factor de crecimiento que depende de la tasa de crecimiento anual y de la vida útil

- **Factor de crecimiento del tráfico**

El factor de crecimiento considera los años de vida útil, más un número de años adicionales debido al crecimiento propio de la vía

$$FCT = (1 - g)^n - 1$$

Donde:

g = Tasa de Crecimiento.

n = Años de Vida Útil.

- **Factor de carril**

El factor de carril es un coeficiente que nos permite estimar que tanto tráfico en el sentido de diseño circula por el carril de diseño. En una vía de un solo carril obviamente circulará el 100% del tráfico, pero en una vía con dos o tres carriles de circulación, por el carril de diseño circularán el 50% o el 80% del tráfico en el sentido del diseño.

Número de carriles	Factor de carril
1	1.00
2	0.80 a 1.00
3	0.60 a 0.80
4	0.50 a 0.75

Tabla III.2 Valores del factor de carril usados para el diseño

d) 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. 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

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 más conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas, se recomienda 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. El Coeficiente de Transferencia de Carga considera el esfuerzo de transferencia a través de la junta o grieta.

e) Propiedades del concreto

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

- Resistencia a la Tensión por Flexión ($S'c$) o Módulo de Ruptura (MR).
- Módulo de Elasticidad del Concreto (E_c).

Enseguida se muestran valores recomendados, que el diseñador deberá elegir de acuerdo a un buen criterio.

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

Tabla III.3 Valores del módulo de ruptura recomendados para cada tipo de proyecto

Módulo de Elasticidad. - El Módulo de Elasticidad del concreto esta 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:

$$E_c = 6,750 * MR.$$

$$E_c = 26,454 * MR^{0.77}.$$

Nota: formulas para unidades inglesas

f) Resistencia de la subrasante

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 que tiene el terreno natural en donde se soportará el cuerpo del pavimento.

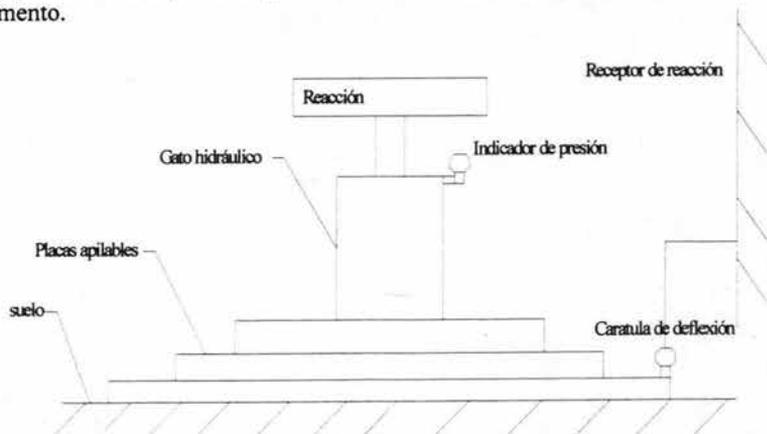


Fig. III. 9 Esquema de la prueba de placa

g) 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.

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.

h) Confiabilidad

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.

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

Tabla III.4 Valores de confiabilidad recomendadas por el método AASHTO

III. 9. 2 Método PCA

El método de diseño de la Portland Cement Association es exclusivamente para el diseño desarrollado de pavimentos de concreto. Teniendo como base el conocimiento de varias teorías y aunado a la experiencia en el comportamiento de varias pruebas, investigaciones y proyectos de la PCA se generó finalmente este método de diseño.

III. 9. 2. 1 Procedimiento de diseño

El método de la PCA considera dos criterios de diseño

- Fatiga
- Erosión

El criterio del esfuerzo de fatiga reconoce que el pavimento puede fallar presentando agrietamiento derivado de excesivas repeticiones de carga. Este análisis por fatiga (para controlar el agrietamiento), influye principalmente en el diseño de pavimentos de tráfico ligero (calles y caminos secundarios) y pavimentos con tráfico mediano con pasajuntas.

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

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 considero losas de dimensiones finitas (180 x 144 pulg.), colocación variable de las cargas por eje y el modelaje de la transferencia de carga en las juntas transversales, así como también en las juntas ubicadas entre el pavimento y el acotamiento. Después de analizar diferentes posiciones de los ejes de la losa, se ha encontrado posición crítica con las siguientes conclusiones:

1. Los esfuerzos críticos ocurren cuando el camión se coloca cerca de los bordes del pavimento y a la mitad de las juntas transversales

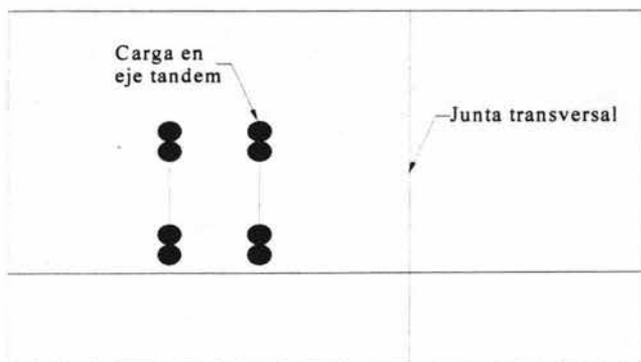


Figura III. 10 Ubicación de las cargas de eje críticas para la deformación

2. Las deformaciones más críticas del pavimento ocurren en las esquinas de las losas cuando una carga se coloca sobre la junta con las ruedas cerca o sobre la esquina

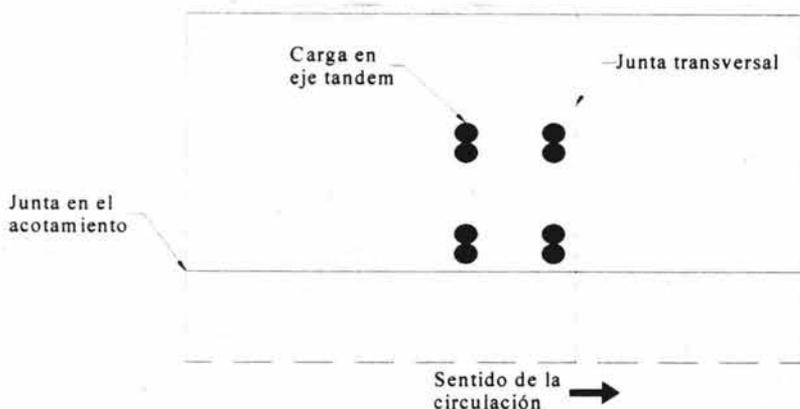


Fig. III. 11 Ubicación de las cargas de eje críticas para la deformación

Las cargas de los camiones, ubicados en el borde exterior del pavimento, provocan las condiciones más severas que cualquier otra ubicación, si esta la movemos unas cuantas pulgadas al interior del pavimento, el efecto decrece sustancialmente. Solamente una pequeña fracción de todos los camiones circulan con sus llantas exteriores sobre los bordes del pavimento. La mayoría de los camiones circulan a una distancia de 60 centímetros del borde del pavimento.

III. 9. 2. 2 Factores de Diseño

Las variables que intervienen en el diseño son las siguientes:

- Espesor inicial del pavimento
- Modulo de reacción k del suelo
- Tráfico
- Factor de seguridad de carga
- Transferencia de carga y soporte lateral
- Propiedades del concreto
 - Modulo de ruptura (considera una reducción del 15% por seguridad)
 - Modulo de elasticidad fijo $E_c = 4,000,000$ psi (libras por pulgada cuadrada)
 - Modulo de Poisson fijo igual a 0.15

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 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 para influir en el diseño. 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.

1. 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 consecuencia cuanto tráfico soportará durante su vida útil.

2. Número de repeticiones esperadas por 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 tenemos que obtener varios factores:

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

Donde:

TDPA = Tránsito Promedio Anual

Te = % del TDPA para cada tipo de eje

FS = Factor de sentido

FC = Factor de carril

Pd = Periodo de diseño

FCA = Factor de Crecimiento Anual

365 = Días en el año

El TDPA puede obtenerse de aforos especializados o de algún organismo relacionado con el transporte, ya sea municipal, estatal o federal. Lo importante es que se especifique la composición de este tráfico, es decir que se detalle el tráfico por cada tipo de vehículo, para que así se puedan identificar los tipos y pesos de los ejes que van a circular por el pavimento. En nuestro país la dependencia encargada de llevar a cabo las labores de medición del tráfico es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de estaciones de aforo a cargo de Caminos y Puentes federales

3. 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 empleando la siguiente fórmula:

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

Donde: **FCA** = Factor de crecimiento anual
g = Tasa de Crecimiento Anual (% en décimas)
n = Vida Útil en años

4. 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 0.50 y para vialidades en un solo sentido un factor de 1.

5. 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 emplea la siguiente tabla, en donde este factor depende del número de carriles por sentido o dirección del tráfico y del tránsito promedio anual en un solo sentido.

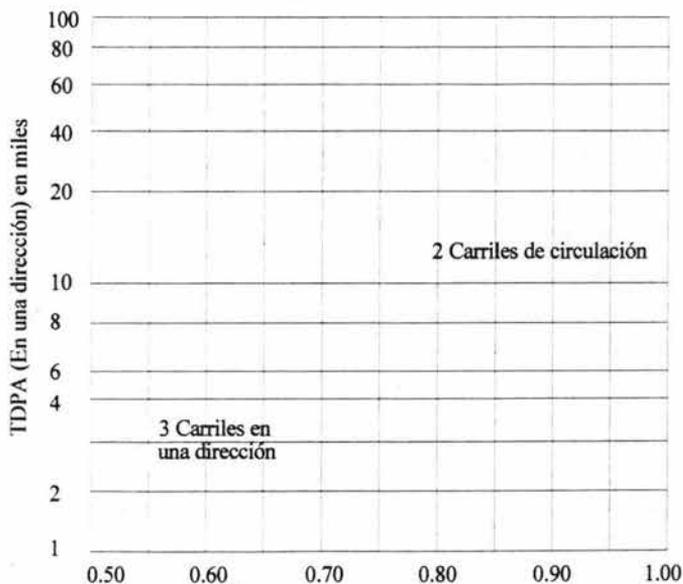


Fig. III. 12 Gráfica para obtener el Factor del carril de diseño

6. Factores de seguridad de carga

Una vez que conocemos el número de repeticiones por cada eje se utiliza el factor de seguridad de carga para multiplicarse por las cargas por eje

Los factores de seguridad que se utilizan en el método de la PCA, son

- 1.3 Casos especiales con muy altos volúmenes de tráfico pesado y cero mantenimiento
- 1.2 Para autopistas o 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

- **Variación en la Resistencia del concreto**

El procedimiento de diseño reconoce que puede haber variaciones en la resistencia del concreto y así lo manifiesta en sus ecuaciones, nomogramas y tablas de diseño, al reducir en un 15% el módulo de ruptura. Es importante aclarar que el encargado del diseño no aplica esta reducción directamente, ya que el método lo considera automáticamente.

- **Desarrollo de la resistencia a través del tiempo**

La resistencia a los 28 días (módulo de ruptura) es usada como la resistencia de diseño, sin embargo el método de la PCA incorpora el efecto de la resistencia ganada después de 28 días. Esta modificación esta basada en el análisis de la resistencia incrementada y las repeticiones de carga mes por mes, por 20 y 40 años de periodos de diseño. El efecto esta incluido en las gráficas y tablas para que el diseñador simplemente dé el valor de 28 días.

III. 9. 3 Comparativa de los métodos de diseño

Ambos métodos de diseño son apropiados para el diseño de espesores de pavimentos rígidos en cualquier tipo de proyecto, sin embargo el método AASHTO hace intervenir un mayor numero de variables que ayudan a modelar las condiciones del proyecto, entre ellas la Serviciabilidad inicial y final, que no se consideran en el de la PCA, sin embargo este considera de una manera más real la contribución del tráfico, involucrando una tasa de crecimiento y un factor de seguridad que aporta mayor seguridad al volumen de tránsito a considerar.

III.10 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:

III. 10. 1 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 se 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) Límite Líquido.

Se define como el porcentaje de humedad con respecto al peso seco de la muestra, con lo 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 (25 kg/cm^2).

El procedimiento para determinar el límite líquido de un suelo es:

- 1) Se toman 100g de material que pasa por 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.
- 2) Se coloca un poco de esta mezcla en la copa Casagrande, formando una masa aislada de un espesor de 1 cm. en la parte de máxima profundidad.
- 3) El suelo colocado en la copa Casagrande se divide en la parte media en dos porciones utilizando un ranurador.
- 4) Se acciona la copa a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que la parte inferior del talud de la ranura hecha se cierre precisamente a 1.27cm. (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.
- 5) Cuando se cierra en un número de golpes entre los 6 y los 35 golpes, se toman 10g aproximadamente de un 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 ensayos consecutivos den una conveniente serie de números.

- 6) Se repiten los pasos del 2 al 5, teniendo el suelo otros contenidos de humedad. De este modo se debe 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.
- 7) 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.
- 8) 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 del suelo.

b) 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 3.17mm (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.

$$LP = \frac{(Ph - Ps) \times 100}{Ps}$$

Donde: LP = Humedad correspondiente al límite plástico en %

Ph = Peso de los filamentos húmedos en gramos

Ps = Peso de los filamentos secos en gramos

III. 10. 2 Compactación

Para asegurar el buen funcionamiento del pavimento las capas inferiores de este deberán construirse con el grado de compactación que marque el proyecto, para determinar que dicho grado de compactación es el indicado existen dos pruebas de laboratorio aplicables para suelos con características diferentes.

III. 10. 2. 1 Prueba Proctor.

La prueba proctor se refiere a al determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por el procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad.

El objetivo de la prueba Proctor es determinar el P.V.S.M. (Peso Volumétrico Seco Máximo (γ_{max})) que puede alcanzar un material y la humedad óptima (γ_o) con que deberá hacerse la compactación, determinará también el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o cuando ya se hayan construido 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 Porter estándar, en lugar de determinarlos con la prueba Proctor, así como también cuando se trate de arenas de río 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, continuando 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 al ser comprimido en la palma de la mano.

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 (centímetros cúbicos) 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:

$$\gamma_h = Ph / V_t$$

Donde: (γ_h) = Peso volumétrico húmedo en g/cm^3 .

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

V_t = Volumen del molde en cm^3 .

El contenido de humedad se calcula con la siguiente fórmula:

$$W = ((P_h - P_s) / P_s) \times 100$$

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.

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

$$\gamma_s = \gamma_h / (1 + (w/100))$$

γ_s = Peso volumétrico seco, en g/cm³.

γ_h = Peso volumétrico húmedo, en g/cm³.

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.

III. 10. 2. 2 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 le 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.

$$\gamma_h = Ph / Vt$$

Donde:

γ_h = Peso volumétrico húmedo en g/cm^3 o kg/m^3 .

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

Vt = Volumen del espécimen en cm^3 o m^3 .

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.

III. 11 TRANSITO VEHICULAR

Conocer las características del tránsito que tendrá un camino en operación es vital para el proyecto de la sección transversal de un pavimento y se convierte en el elemento principal a tomar en cuenta para el diseño del espesor de la losa de concreto.

III. 11. 1 Ingeniería de Transporte

La Ingeniería de transporte (ITE) 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 manera segura, rápida, comfortable, 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

III. 11. 2 Volumen de tránsito

Al proyectar una calle o una carretera, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones o los accesos y servicios, dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulara 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 ocasionarán que la carretera o calle funcione con volúmenes de tránsito muy inferiores a los esperados o con problemas de congestiónamiento por volúmenes de tránsito 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 o 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 período determinado y se expresa como:

$$Q = N / T$$

Donde:

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

N = Número total de vehículos que pasan (vehículos)

T = Período determinado (unidades de tiempo)

Las características de los volúmenes de tránsito necesarias para efectuar el diseño del pavimento son:

- Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)
- Tránsito en el carril de diseño
- Distribución y composición del Tránsito
- Incremento del tránsito
- Tránsito a futuro

III. 11. 3 Tránsito Diario Promedio Anual

Se le llama así al número total de vehículos que pasan por una carretera en ambos sentidos durante un año, dividido entre 365 días. Para determinar el TDPA de un camino en operación se toma en cuenta en forma directa el tránsito mediante una operación llamada aforo y que pueden realizar operarios o contadores mecánicos. El conteo puede llevarse durante todo el año o sólo en ciertas temporadas de alta demanda y proyectarlo a un año. Al calcular el TDPA de varios años consecutivos se puede conocer la tendencia de incremento anual.

III. 11. 4 Tránsito en el carril de diseño

Del TDPA se necesita conocer el porcentaje de vehículos que usan el carril en donde se carga más el movimiento, llamado carril de diseño. Por experiencia se considera que el carril de diseño lleva de un 60% a un 80% del TDPA dependiendo del porcentaje de vehículos pesados que circulan por los carriles de la derecha y por lo tanto son los que más daño causan al pavimento.

Factores del carril de diseño	
Número de carriles	Factor
1	1.00
2	0.80 a 1.00
3	0.60 a 0.80
4	0.50 a 0.75

Tabla III.5 Valores asignados al carril de diseño

III. 11. 5 Distribución y composición del tráfico

La distribución de los volúmenes de tránsito por carriles debe ser considerada tanto en el proyecto como en la operación de calles y carreteras. Tratándose de tres o más carriles de operación en un sentido, el flujo se asemeja a una corriente hidráulica. Así al medir los volúmenes de tránsito por carril, en zona urbana, la mayor velocidad y capacidad se logran, generalmente, en el carril del medio, las fricciones laterales, como paradas de autobuses, taxis y las vueltas causan un flujo más lento en los carriles extremos, llevando el menor volumen el carril cercano a la acera.

En carretera, a volúmenes bajos y medios suele ocurrir lo contrario, por lo que se reserva el carril cerca de la faja separadora central para vehículos más rápidos y para rebases, y se presentan mayores volúmenes en el carril inmediato al acotamiento.

En los estudios de volúmenes de tránsito es muy útil conocer la composición y variación de los distintos tipos de vehículos. La composición vehicular se mide en términos de porcentajes sobre el volumen total. Por ejemplo porcentaje de automóviles de autobuses y de camiones. En los países mas adelantados con un mayor grado de motorización, los porcentajes de autobuses y camiones en los volúmenes de tránsito son bajos. En nuestro medio a nivel rural es muy común encontrar porcentajes típicos o medios del orden de 60% de automóviles, 10% autobuses y 30% camiones, con variaciones de $\pm 10\%$ dependiendo del tipo de carretera, la hora del día y el día de la semana.

III. 11. 6 Tipos de vehículos

Para el diseño de los pavimentos de concreto los vehículos se clasifican de acuerdo a su tamaño y al número de ejes que tienen ya que esto determina el nivel de daño que causan al pavimento, en México los tipos de vehículos que circulan con más frecuencia son los siguientes:

- **Vehículos tipo A:** Automóviles y camionetas con peso hasta 3 Toneladas (ejes sencillos y tandem)

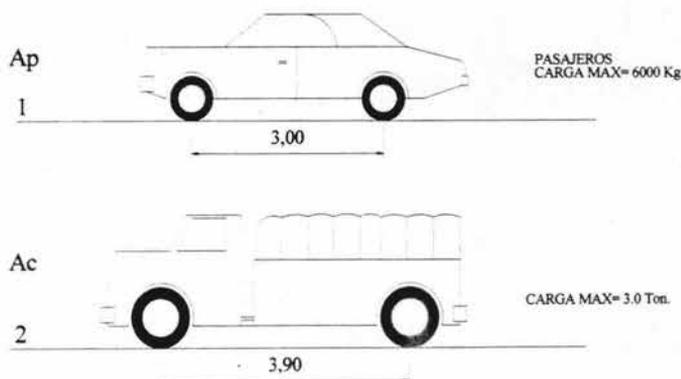


Fig. III. 13 Vehículos tipo A

- **Vehículos tipo B:** Autobuses (ejes sencillos y tandem)

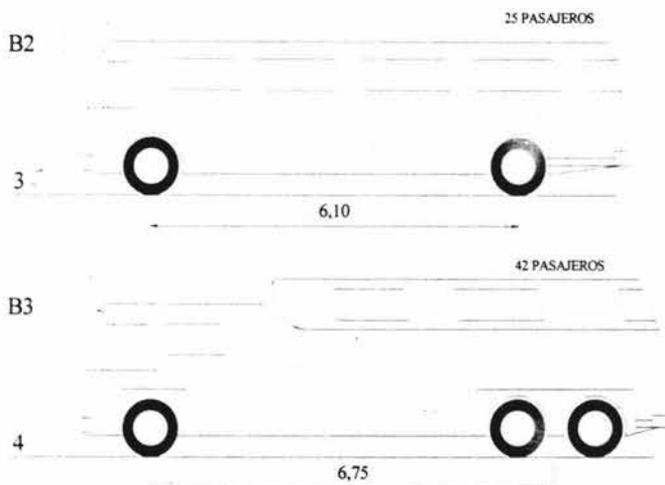


Fig. III. 14 Vehículos tipo B

- **Vehículos tipo C:** Camiones de carga con peso hasta 15 Toneladas (eje sencillo, tandem)

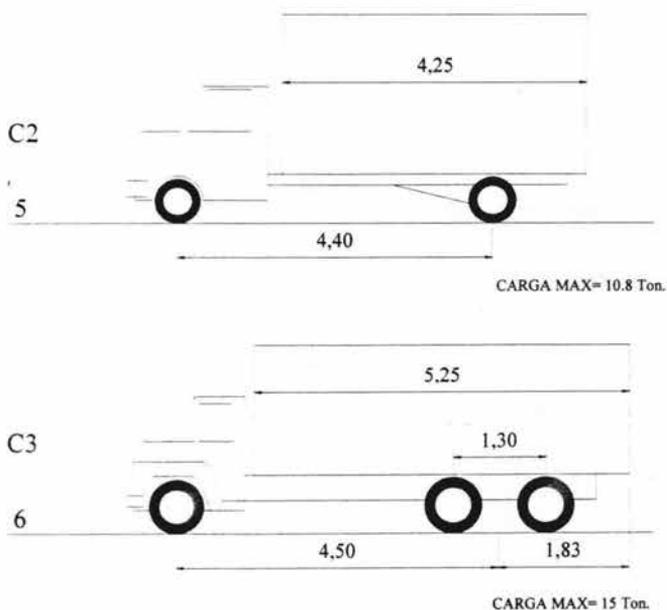


Fig. III. 15 Vehículos tipo C

- **Vehículos tipo T:** Camiones de carga con peso mayor de 15 Toneladas (eje sencillo, tandem y tridem)

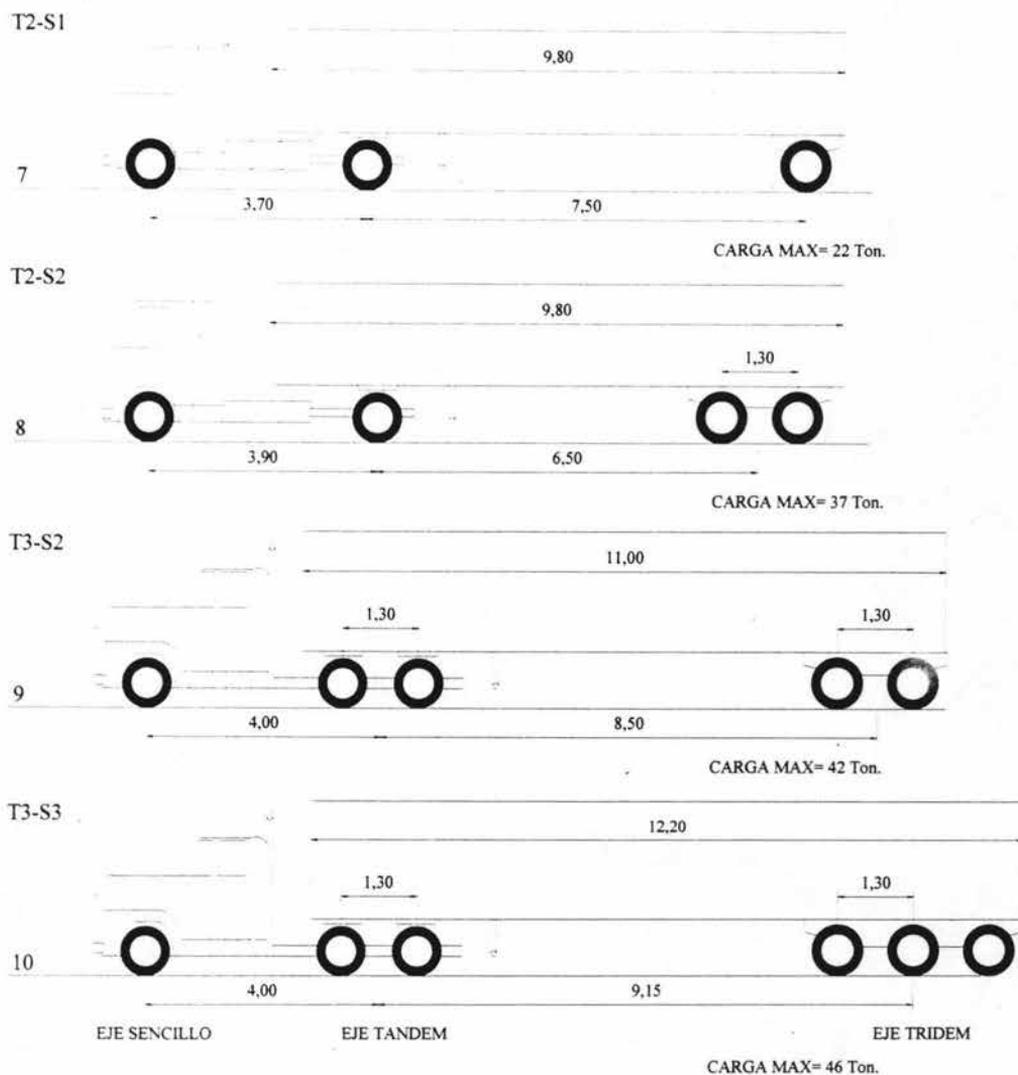


Fig. III. 16 Vehículos tipo T

III. 11. 7 Incremento del tránsito

El incremento del tránsito (IT) es el volumen que se espera use la nueva carretera en el año futuro seleccionado como de proyecto. Este incremento se compone del crecimiento normal del tránsito (CNT), del tránsito generado (TG) y del tránsito desarrollado. El crecimiento normal del tránsito es el incremento del volumen debido al aumento normal en el uso de los vehículos. El deseo de las personas por movilizarse, la comodidad ofrecida por el vehículo y la producción industrial de mas vehiculos cada día hacen que esta componente del tránsito siga aumentando.

El tránsito generado (TG) consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los de transporte público, que no se realizarían si no se construyera la nueva carretera. El tránsito generado se compone de tres categorías: el tránsito inducido o nuevos viajes realizados previamente por ningún otro modo de transporte; el tránsito convertido o nuevos viajes que previamente se hacían masivamente en taxi, autobús, tren o barco y que por razón de la nueva carretera se harían en vehículos particulares y el tránsito trasladado, consistente en viajes previamente hechos a destinos completamente diferentes, atribuibles a la atracción de la nueva carretera y no al cambio en el uso de suelo.

Al tránsito generado se le asignan tasas de incremento entre el 5 y el 25% del tránsito actual, con un periodo de generación de uno a dos años después de que la carretera ha sido abierta al servicio. El tránsito desarrollado continúa actuando por muchos años después que la nueva carretera ha sido puesta en servicio. El incremento del tránsito debido al desarrollo normal del suelo adyacente forma parte del crecimiento normal del tránsito, por lo tanto este no se considera como una parte del tránsito desarrollado. Pero la experiencia indica que en carreteras construidas con altas especificaciones, el suelo lateral tiende a desarrollarse más rápidamente de lo normal, generando valores del orden del 5% del tránsito actual.

El incremento del tránsito (IT) se expresa así: $IT = CNT + TG + TD$

III. 11. 8 Variación del volumen de tránsito.

Se han estudiado cuales son los días de la semana que llevan los volúmenes normales de tránsito. Para carreteras principales, de lunes a viernes los volúmenes son muy estables, los máximos se registran, generalmente durante el fin de semana, ya sea el sábado o el domingo, debido a que estos días por estas carreteras circula una alta demanda de usuarios de tipo turístico y recreacional. En carreteras secundarias de tipo agrícola, los máximos volúmenes se presentan entre semana.

Hay meses que las calles y carretera presentan variaciones notables de volumen. Los más altos volúmenes de tránsito se registran en semana santa, en las vacaciones escolares y a fin de año. Los volúmenes de tránsito promedio diarios que caracterizan cada mes son diferentes dependiendo también de la categoría y del tipo de servicio que presten las calles y carreteras.

III. 11. 9 Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento puede variar de acuerdo al tipo de vehiculos. A medida que un camino se va congestionando su crecimiento se va haciendo más lento, este efecto debemos considerarlo estimando una tasa de crecimiento incluyendo las variaciones durante su vida útil.

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

Tabla III. 6 Porcentaje de crecimiento en carreteras

III. 11. 10 Tránsito a futuro

Los volúmenes de tránsito futuro (TF) esperado al final del período o año meta seleccionado. Para efectos de proyecto se derivan a partir del (TA) y de la tasa de crecimiento.

El TA (Tránsito Actual) es el volumen de tránsito que usará la carretera mejorada, o la nueva carretera en el momento de quedar completamente en servicio. En el mejoramiento de una carretera existente, el tránsito actual se compone del tránsito existente (TE) antes de la mejora, mas el tránsito atraído (TAt) a ella de otras carreteras, una vez finalizada su reconstrucción total.

En el caso de la apertura de una nueva carretera, el tránsito actual se compone completamente de tránsito atraído. El tránsito actual (TA) se puede establecer a partir de aforos vehiculares sobre las vialidades de la región que influyan en la nueva carretera, estudios de origen y destino, o utilizando parámetros socioeconómicos que se identifiquen plenamente con la economía de la zona. En áreas rurales cuando no se dispone de estudios de origen y destino ni datos de tipo económico para estudios preliminares, es suficiente la utilización de las series históricas de los aforos vehiculares en términos de los volúmenes de tránsito promedio diario anual (TDPA) representativos de cada año.

De esta manera el tránsito actual (TA) se expresa como:

$$TA = TE + TAt$$

Para la estimación del tránsito atraído (TAt) se debe tener conocimiento completo de las condiciones locales, de los orígenes y destinos vehiculares y del grado de atracción de todas las vialidades comprendidas.

A su vez, la cantidad de tránsito atraído depende de la capacidad y de los volúmenes de las carreteras existentes, así como por ejemplo, si están saturadas o congestionadas, la atracción será mucho más grande. Los usuarios componentes del tránsito atraído a una nueva carretera, no cambian ni su origen, ni su destino, ni su modo de viaje, pero la eligen motivados por una mejora en los tiempos de recorrido, en la distancia, en las características geométricas, en la comodidad y en la seguridad. Como no se cambia su modo de viaje, a este volumen de tránsito también se le denomina tránsito desviado.

Los volúmenes de tránsito futuro (TF), esperado al final del periodo o año meta seleccionado, para efectos de proyecto, se derivan a partir del tránsito actual (TA) y del incremento del tránsito (IT). Por lo que se plantea:

$TF = TA + IT$ Sustituyendo en la ecuación del tránsito futuro (TF), tenemos que:

$$TF = (TE + TAt) + (CNT + TG + TD)$$

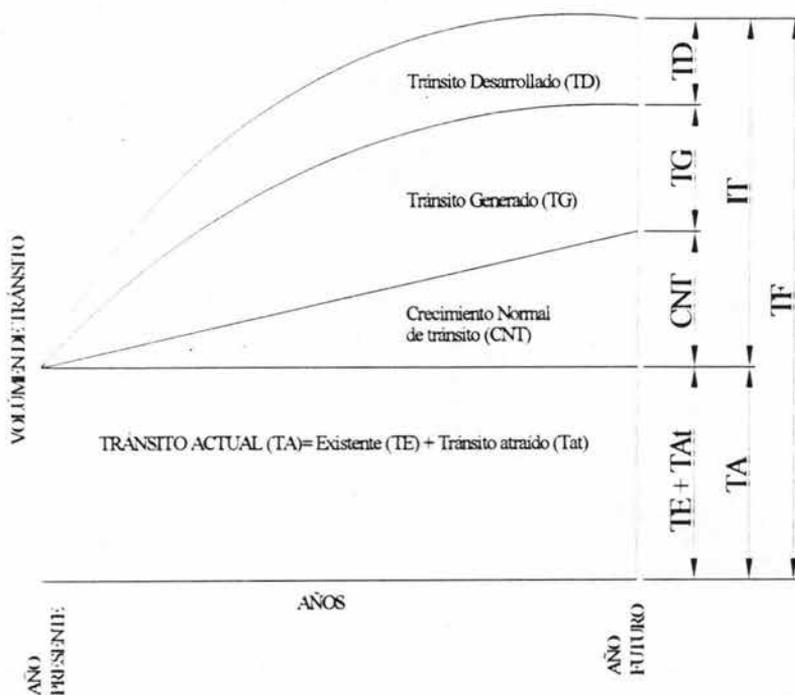


Fig. III.17 Componentes del volumen de tránsito futuro

CAPITULO

IV

CAPITULO IV

PROYECTO DE PAVIMENTO RIGIDO

IV. I LOCALIZACIÓN

Estado de Querétaro, Capital: Santiago de Querétaro

Superficie 11,769 km²

Población 1, 404,306 habitantes distribuidos en 18 municipios; el 45.63% de ellos se encuentra en el municipio de Querétaro. (Fuente INEGI Censo 2000)

Se distinguen dos sectores: la zona SO correspondiente a la altiplanicie meridional y la NE a la Sierra Madre Oriental. Querétaro de Arteaga colinda al norte con Guanajuato y San Luis Potosí; al este con San Luis Potosí e Hidalgo; al sur con Hidalgo, México y Michoacán de Ocampo; al oeste con Guanajuato.



Figura IV. 1 Carretera México – Querétaro Tramo Palmillas – Querétaro Subtramo de Km 156 + 288.90 a Km 216 + 600 Origen México DF.

La amplia cobertura de la red caminera del estado, permite una ágil comunicación entre la mayoría de sus localidades, así como son las ciudades de México, Guanajuato y San Luis Potosí, entre otras. Los ejes federales que comunican el territorio Querétaro son: la autopista México-Querétaro (No. 57), la carrera federal No.120, que proviene de Morelia, Michoacán y el eje No. 45 que entronca con la carretera No. 57. Esta infraestructura vial se fortalece con los caminos estatales y vecinales que se derivan de las rutas antes mencionadas

El proyecto para el tramo Palmillas-Querétaro incluye la construcción de 22 entronques, 222 obras de drenaje, 15 kilómetros de calles laterales, 11 puentes naturales, 29 pasos vehiculares a desnivel, 2 pasos de ferrocarril, 11 puentes peatonales y la parte más importante que es donde nos vamos a enfocar que es la ampliación de ambos cuerpos y la construcción del pavimento rígido. Para completar los trabajos, una vez terminado el pavimento rígido se requiere de un proyecto de señalización del tramo que será la actividad final para posteriormente, abrir el tramo al público. Para llevar a cabo en forma correcta la construcción esta obra, contamos con un proyecto de pavimento que contiene los estudios realizados al cuerpo actual para conocer las características del terreno de apoyo, así como los necesarios para localizar los bancos de materiales en lugares cercanos al sitio de obra. Con base a esto y a los registros del tránsito se diseñó el pavimento para el tramo, el cual está proyectado para un mínimo de 20 años.

IV. 2 SITUACIÓN PREVIA DEL TRAMO

El tramo Palmillas – Querétaro fue construido originalmente con carpeta asfáltica con dos cuerpos de dos carriles cada uno. Debido al crecimiento de la ciudad y al aumento en el volumen de los vehículos el daño al pavimento era cada vez más grande, lo que ocasionaba que los periodos de mantenimiento fueran más cortos y por lo tanto los costos de conservación eran cada vez mayores. A lo largo de 23 años se han colocado capas de pavimento asfáltico que van desde los 16 cm. hasta los 25 cm. de espesor. Debido a esto se realiza el proyecto que incluye la reparación del pavimento actual, la ampliación de ambos cuerpos para convertirlos a tres carriles y la colocación de una losa de concreto hidráulico tomando como base el pavimento flexible ya reparado así como la ampliación en terracerías.

IV. 3 ESTUDIOS PREVIOS

IV. 3. 1 Estudio del clima

El clima de la región indica las condiciones a que estará sujeto el pavimento y servirá de apoyo para proyectar las mezclas de concreto y satisfacer así los requisitos necesarios de durabilidad y resistencia. Para el caso del tramo Palmillas – Querétaro tenemos un clima templado en zonas altas y cálido en el resto del estado por lo que un aditivo inclusor de aire puede ayudar a una mejor manejabilidad, menor tendencia a la segregación y aumento de su durabilidad.

IV. 3. 2 Valores de laboratorio

Para el diseño y construcción de pavimentos rígidos es necesario recopilar suficiente información de campo y laboratorio con el fin de establecer las características del terreno de apoyo existente en el sitio.

Los estudios que el laboratorio debe realizar a los materiales tanto para la formación de terracerías como para determinar los bancos de materiales son los siguientes

- Valor Relativo de Soporte
- Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM)
- Porcentaje de compactación
- Determinación de k

IV. 3. 2 .1 Determinación del VRS de diseño

El objeto de esta prueba es determinar la calidad de los suelos en cuanto al valor de soporte se refiere y midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un determinado período de saturación.

El VRS se expresa como 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 triturada. La carga estándar es de 1360 Kg. y la profundidad es de 2.54 mm, por lo tanto

$$\text{VRS} = \frac{P_2}{1360} (100)$$

Donde:

- P₂ es la carga necesaria para introducir el pistón 2.54 mm en el suelo de estudio
1360 es la carga en Kg. para penetrar la misma profundidad en la muestra tipo de piedra triturada
100 es el factor de conversión a %

La determinación del VRS es muy importante para la elección de los sitios que se utilizarán como bancos de materiales tomando en cuenta el siguiente criterio

VRS	Clasificación
0 – 5	Subrasante muy mala
5 – 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

IV. 3. 2. 2 Determinación del PVSM (Peso Volumétrico Seco Máximo) y porcentaje de compactación

El valor del Peso Volumétrico Seco máximo del suelo compactado es determinado por medio de la prueba Proctor o la Prueba porter estándar dependiendo del tamaño máximo del agregado. La prueba Proctor está limitada a los suelos que pasen totalmente la malla #4 o que cuando mucho tengan retenido de 10% que pase por la malla de 3/8". Cuando el material este retenido en la malla 3/8" debe determinarse la humedad óptima y el PVSM con la prueba porter estándar. Los porcentajes de compactación en terracerías son altos y varían entre un 90% a un 100% de su Peso Volumétrico Seco Máximo.

IV. 3. 2. 3 Determinación de k (Módulo de reacción de la sub-base)

El terreno de apoyo está definido en términos del módulo de reacción de la subrasante de Westergaard. Su valor numérico depende de la textura, compacidad y humedad y otros factores que afectan la resistencia y se obtiene mediante una placa circular de 30" de diámetro bajo presión tal que produzca una deformación del suelo de 0.127 cm. (0.05"). Debido a que la prueba de placa para la determinación de k toma tiempo y dinero generalmente los valores de k son determinados mediante la correlación con los obtenidos para el VRS ya que esto nos arroja valores con alto grado de aproximación respecto a lo real.

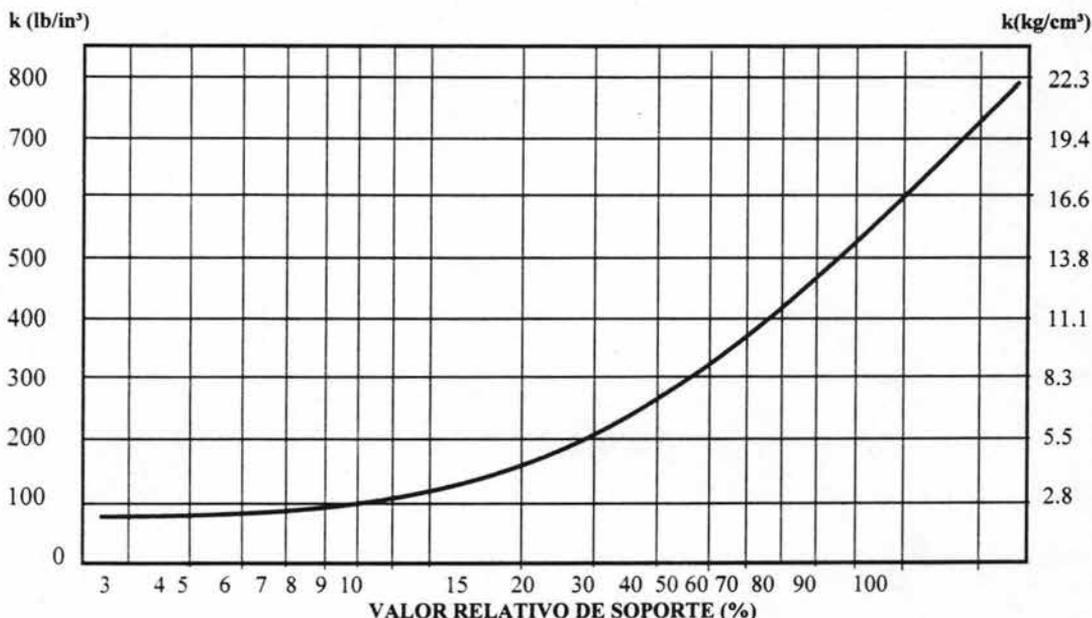


Figura IV. 2 Relación entre el valor relativo de soporte y el modulo de reacción de la sub-base

Por la necesidad de conocer la calidad de los materiales que constituyen la estructura del camino y los espesores de las diferentes capas, se efectuaron sondeos a cielo abierto en ambos cuerpos, logrando obtener el grado de compactación así como el espesor de cada capa. De los materiales extraídos de base, subrasante, se tomaron muestras representativas para aplicarles las pruebas de calidad correspondientes.

IV. 3. 3 Características del terreno de apoyo

En base a los análisis se presentan los siguientes resultados.

CUERPO IZQUIERDO	CUERPO DERECHO
Terreno de apoyo	
<p>Del Km. 148 al 155 se encuentra grava arcillosa con 80 % y 93% de grado de compactación. Del Km. 155 al 211 el material se clasifica como arcilla de media a alta plasticidad cuyo VRS varía de 5 al 13%. El espesor de la sección total del camino es mayor de 0.60 m.</p>	<p>Se encuentra suelo residual que del Km. 148+000 al 185+000 y del Km. 200+000 al 211+000 se clasifica como arena arcillosa y limosa color café la cual presenta VRS que varía de 6 a 9%. En el Subtramo Km. 185+000 al 200+000 se encuentra arcilla de mediana a alta plasticidad cuyo contenido de arena y grava varía del 9 al 40%, el VRS varía de 4 a 6%. En general el espesor de la estructura del camino, cuerpo del terraplén y pavimento es mayor de 0.60 m.</p>
Capa subrasante	
<p>Se construyo con material el banco se clasifica como arena y grava arcillosa con VRS mayor a 70%, el grado de compactación es del orden de 95%</p>	<p>Esta capa se construyo con material de préstamo el cual se clasifica como arena y grava arcillosa y limosa con un VRS muy alto del orden de 70% en el Km. 193+000 el material se clasifica como arcilla de mediana y alta plasticidad con VRS de 8%, el espesor de la estructura del pavimento es de 77 cm., el grado de compactación mayor es de 95%, con excepción de la estación 167+500 que fue de 89%.</p>
Sub-base y base hidráulica	
<p>Se forma con material de préstamo el cual se clasifica como grava y arena bien y mal graduada limo arcillosa con espesor conjunto mínimo de 15 cm. y máximo de 34 cm. El grado de compactación es mayor al 100% y el VRS también.</p>	<p>En general se forma del mismo material el cual se clasifica como arena y grava bien y mal graduada limo arcillosa. El espesor de estas capas varía de 8 cm. para el Km. 157+000 a 52 cm. para el Km. 193+000 a 27 cm. El grado de compactación es mayor a 100% y el VRS se considera de 50%.</p>
Carpeta asfáltica	
<p>Se forma con material pétreo triturado totalmente y mezclado en planta estacionaria de cemento asfáltico. El espesor medio de la carpeta por las capas que se han colocado es de 20 cm. con mínimo de 9 cm. y máximo de 30 cm.</p>	<p>Se ha usado en su formación mezcla elaborada en planta estacionaria y material pétreo triturado totalmente a través del tiempo se han colocado capas que llegan a medir hasta 25 cm., se considera como espesor resistente el 90%</p>

IV. 3. 4 Localización de los bancos de materiales

La localización de los bancos de materiales que se requieren para la construcción de la obra constituye un factor económico muy importante siendo el laboratorio de campo el encargado de realizar esta tarea.

Después de efectuar la localización de los bancos y hechas las pruebas de laboratorio para determinar la calidad del material y su aplicación, se hace el estudio económico que comprende extracción, carga y transporte. Los bancos son utilizados principalmente para:

- **Terracerias:** Se procura en este caso localizar el mayor número de bancos para terracerias que pueden aceptarse para disminuir las distancias de acarreo ya que los volúmenes que se mueven son los de mayor importancia
- **Sub-base:** Los bancos de material para sub-base serán de número más reducido, en primer lugar porque no se encuentran fácilmente y presentan dificultades mayores para su ataque y extracción por tratarse de materiales seleccionados.
- **Agregados fino y grueso para el concreto:** Los bancos para agregados son explotados por empresas particulares y pueden ser de cantera, de mina o de río, en cualquiera de estos casos su composición granulométrica se encuentra controlada por medio de cribas.
- **Carpeta asfáltica:** Para la carpeta asfáltica se utilizarán los mismos bancos que se han empleado para la construcción y mantenimiento de la carretera actual que en general son de roca basáltica sana que requieren el uso de explosivos para su extracción y de tratamiento de trituración y cribado.

El laboratorio indicará la calidad de los materiales y si estos cumplen con las señaladas en el proyecto, también si los materiales se utilizarán en estado natural o habrán de someterse a tratamientos que pueden consistir en trituración, cribado, mezclado, lavado o cualquier otro procedimiento necesario para su mejoramiento.

Durante la construcción de la obra la supervisión podrá ordenar al contratista la explotación de otros bancos de materiales no señalados en el proyecto, en este caso si las características físicas del nuevo banco son similares a juicio de la supervisión, a las de alguno de los bancos indicados en el proyecto e igual tratamiento, ya sea eliminación del desperdicio, cribado, trituración parcial o total, se le aplicara el mismo precio tomando en cuenta explotación, acarreo y tratamiento.

La supervisión deberá establecer con anticipación la ubicación de los bancos de material y los de depósito, pudiendo determinar durante el transcurso de la obra nuevos bancos, así como aceptar o rechazar los que pudiera proponer el contratista. Se deberán prever todos los arreglos necesarios para la utilización y explotación de los bancos, esto será responsabilidad exclusiva del contratista el cual lo deberá considerar en su precio unitario

En la siguiente tabla se muestran los bancos de materiales más cercanos al lugar de la obra. Algunos de ellos se han empleado para la construcción y mantenimiento del tramo.

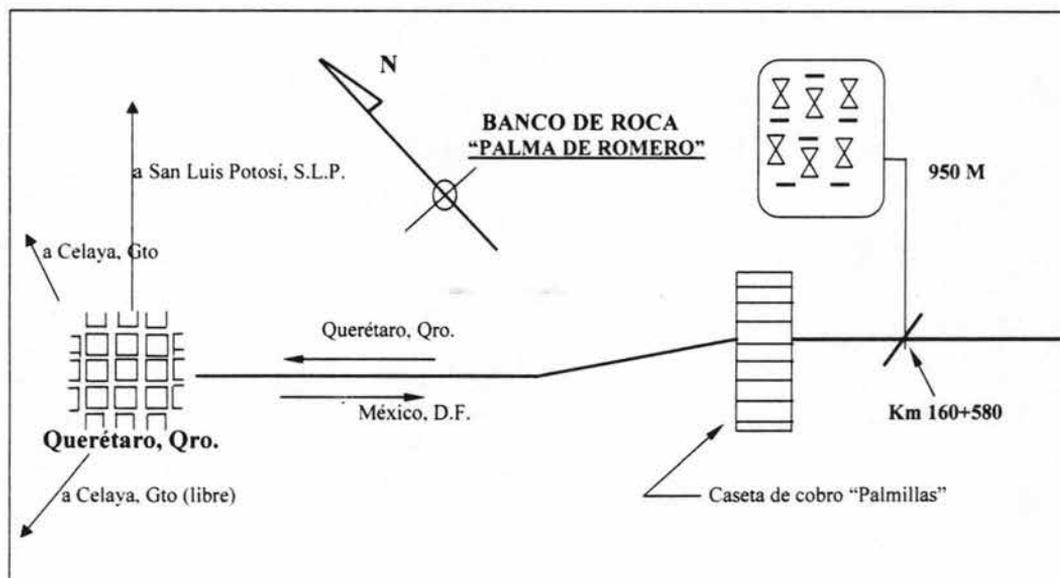
CUADRO DE BANCOS PARA PAVIMENTO

Banco No.	Denominación	Localización	Clasificación Geológica	Utilización	Tratamiento
1	Palma de Romero	Km. 160+580 Desviación derecha 950 m	Basalto fracturado e intemperizado	Sub-base y base hidráulica Carpeta asfáltica Sello	Trituración total y cribado a tamaño máximo de 38.1 mm (1 1/2") y despolve. Trituración total y cribado a tamaño máximo de 19.1 mm (3/4") y lavado Trituración total y cribado para obtener material pétreo.
2	Palmilla (El peón)	Km. 161+330 Desviación derecha 1940 m	Basalto poco alterado y poco fracturado	Losa de concreto a) Agregado grueso (gravas) b) Agregado fino (arenas)	Trituración total y cribado a tamaño máximo de 38.1 mm (1 1/2") Trituración total y cribado de fragmentos chicos retenidos en la malla 76.2 mm (3")

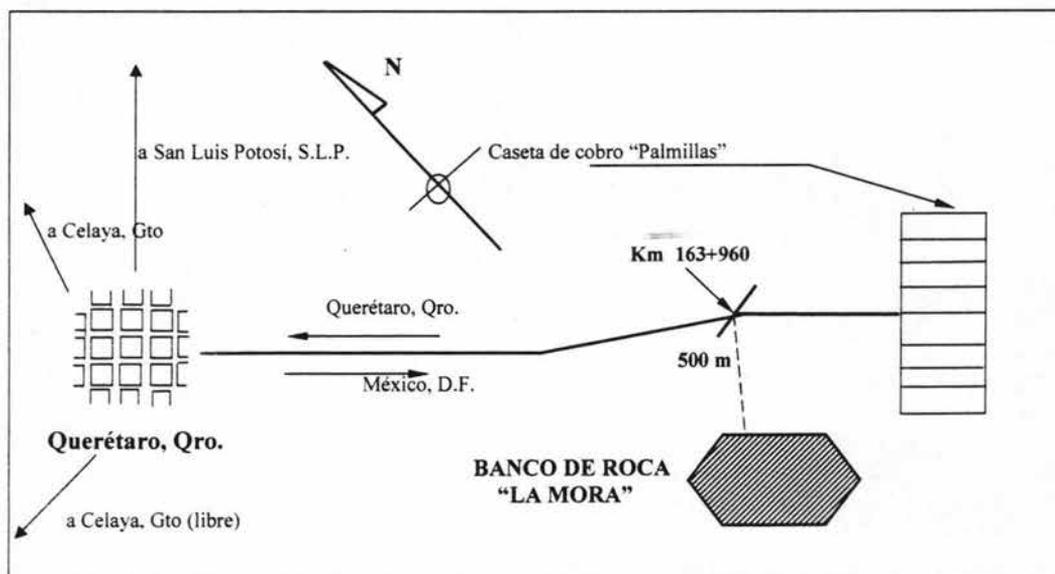
CUADRO DE BANCOS PARA PAVIMENTO (Continuación)

Banco No.	Denominación	Localización	Clasificación Geológica	Utilización	Tratamiento
3	La mora	Km. 163+960 Desviación izquierda 500m	Basalto intemperizado	Sub-base y base hidráulica Base est. C/ cemento Carpeta asfáltica Sello	Trituración total y cribado a tamaño máximo de 38.1 mm (1 1/2") y despolvo. Trituración total y cribado a tamaño máximo de 19.1 mm (3/4") y lavado Trituración total y cribado para obtener material pétreo.
4	San José	Km. 165+250 Desviación derecha 150 m Cuerpo izquierdo	Basalto	Sub-base, base Hidr. y Base est. C/ cemento Carpeta asfáltica Sello	Trituración total y cribado a tamaño máximo de 38.1 mm (1 1/2") y despolvo. Trituración parcial y cribado a t.m.a. de 19.1 mm (3/4") y lavado Trituración total y cribado para obtener material pétreo.
5	San Miguel Galindo	Km. 180+827 Desviación izquierda 8000 m sobre carretera hacia Amealco, Edo. De México	Arena de mina tipo basáltica	Losa de concreto Agregado fino (arena)	Extracción de arena negra previa eliminación de extractos pequeños de arena fina y lavado
6	El Rosario (Ejido la Machorra)	Km. 212+500 Desviación izq. 4500 m	Basalto alterado y fracturado	Losa grava Sub-base, base Hidr. y Base est. C/ cemento Carpeta asfáltica Sello	Trituración total y cribado a t.m.a. de 38.1 mm (1 1/2") Trituración total y cribado a tamaño máximo de 38.1 mm (1 1/2") y despolvo Trituración parcial y cribado a t.m.a. de 19.1 mm (3/4") y lavado Trituración total y cribado para obtener material pétreo.

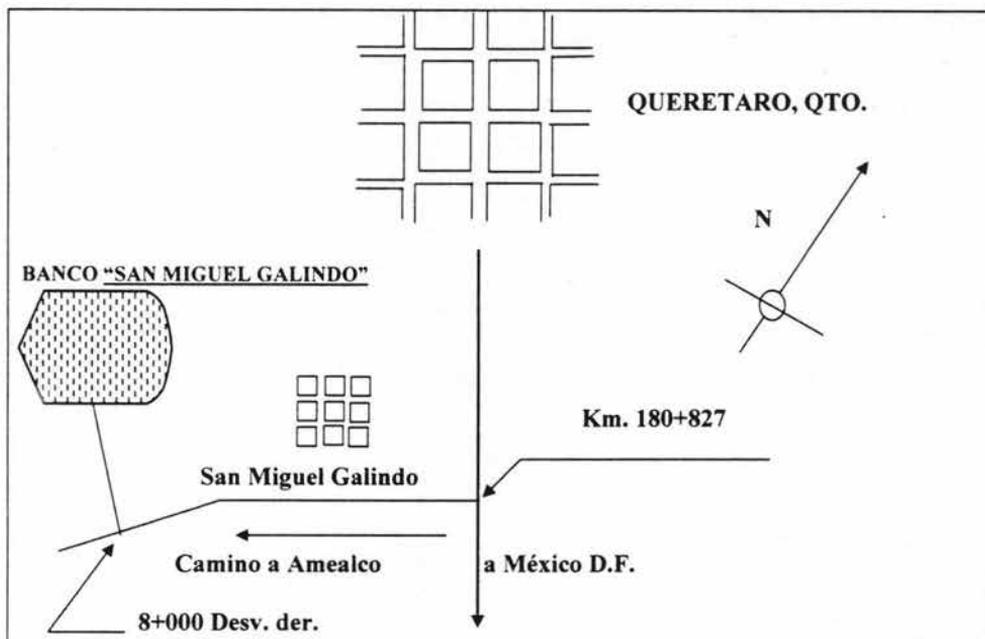
IV. 3. 4. 1 Croquis de localización



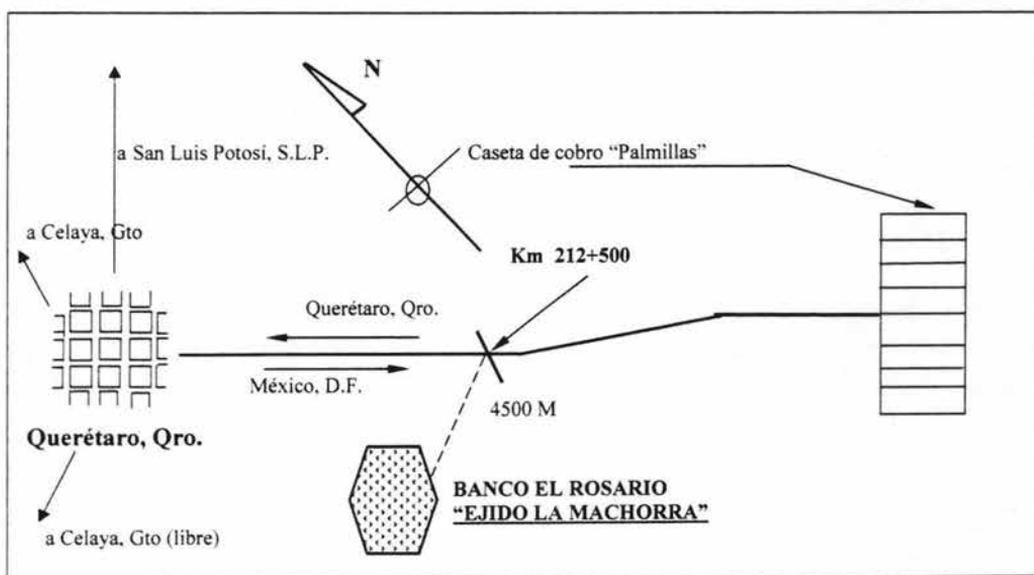
BANCO "PALMA DE ROMERO"
KM 160 + 580 Desv. Der. 950 m



BANCO "LA MORA"
KM 163 + 960 Desv. Izq. 500 m



BANCO "SAN MIGUEL GALINDO"
 KM 180 + 827 Desv. Izq. 8000 m
 sobre carretera hacia Amealco Edo. México



BANCO EL ROSARIO "EJIDO LA MACHORRA"
 KM 212+500 Desv. Izq. 4500 m

IV. 4 DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO

El factor más importante a considerar en el diseño de los pavimentos rígidos es el tránsito vehicular que va a soportar el camino a lo largo de su vida útil. Por medio de estaciones llamadas de aforo se obtienen los volúmenes que han circulado por el tramo y en base a esto se proyecta el tránsito futuro.

Para el tramo Palmillas – Querétaro los datos fueron proporcionados por la ciudad de Querétaro por la Unidad de Proyectos y Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) que para el año de 1995 indicaba un tránsito promedio anual de 27730 vehículos

La composición vehicular indica los tipos de vehículos que circularon por el camino así como el porcentaje de estos. Estos datos fueron proporcionados por Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), se puede notar que el porcentaje de vehículos pesados es muy alto y esto es debido al crecimiento de la ciudad así como su incorporación como una de las vías más importantes de comunicación nacional.

Vehículos Tipo	A = 56.24 %	T3 S2 = 9.06 %
	B = 10.62 %	T3 S3 = 5.85 %
	C2 = 8.25 %	T3 S2 R2 = 0.25%
	C3 = 8.50 %	T3 S2 R3 = 0.13%
	T2 S2 = 0.4 %	T3 S2 R4 = 0.70%

IV. 4. 1 Método para determinar el espesor de la losa

La incógnita principal a determinar con el diseño de un pavimento rígido es el espesor que deberá tener la losa de concreto, la cual será la encargada de transmitir los esfuerzos al suelo de forma efectiva. Para completar el diseño del pavimento son necesarios otros aspectos como lo son las dimensiones de las losas, las pasajuntas y las barras de amarre, pero el elemento que deberá resistir las repeticiones de carga debidas al tránsito de vehículos será la losa de concreto por lo que la determinación de su espesor es muy importante. Para esto existen dos métodos de diseño de pavimentos de concreto que son los más utilizados a nivel mundial, el método AASHTO y el de la PCA.

El método escogido para el diseño fue el de la PCA debido a que es un método exclusivo para pavimentos de concreto y considera de manera más real el tránsito, pero esto no quiere decir que el método AASHTO no resulte igualmente efectivo. Actualmente se diseña utilizando programas de computadora para obtener el espesor del pavimento por ambos métodos.

Se determino el espesor de la losa de concreto hidráulico que se requiere colocar por encima del pavimento actual (White topping) para esto se uso el método de la Portland Cement Association (PCA) con los siguientes parámetros:

MR = 48.0 kg/cm ²		espesor tentativo 30 cms.
Factor de seguridad	1.2	tasa de crecimiento 3%
Carga por eje sencillo	10 ton.	TDPA 27,730
Carga por eje tandem	18 ton.	Vehiculos en el carril de diseño 80%
Período de diseño	20 años	
Factor de sentido	0.5 (Datos del aforo en los dos sentidos)	
Uso de pasajuntas	SI	
Apoyo lateral	SI	

El método consiste en revisar la capacidad de carga y resistencia a los esfuerzos inducidos por las cargas para las losas de concreto hidráulico de resistencia determinada y espesor considerado

- a) De acuerdo a los pesos de los vehículos se toman los ejes de peso máximo tanto sencillo como tandem (10 toneladas y 18 toneladas)
- b) Se fija la f_c para el concreto y su módulo de resistencia a la flexión por tensión de 48 Kg./cm²
- c) Se determina el módulo de reacción de los materiales de la subrasante, sub-base y base combinados (260 PCI = 7.2 Kg./cm³)
- d) Se fija un factor de seguridad de 1.2
- e) Se determina el esfuerzo que inducen los pesos de los ejes considerados mediante un nomograma o carta de la PCA quedando
 - Esfuerzo eje sencillo
 - Esfuerzo eje tandem
- f) Para la determinación final del espesor se utilizan nomogramas y tablas de la PCA dando como resultado el espesor de proyecto.
- g) El objetivo del método es obtener resultados de tanteos con diferentes espesores sin que el valor final de los análisis por erosión y fatiga sobrepase el 100%. Así se realizan varios tanteos para optimizar el diseño del espesor, siendo el adecuado aquel espesor que provoque daños los más cercanos al 100% sin rebasarlos.

DISEÑO DE WHITE TOPPING

CARRETERA: MEXICO – QUERETARO
 TRAMO: PALMILLAS - QUERETARO
 ORIGEN: MÉXICO D.F.
 DEL KM. AL KM: 148 + 000 AL 211 + 000

NUMERO DE CARRILES : 3 POR CUERPO	CARPETA Y BASE: 0.45 M	
MODULO DE REACCION K = 260 PCI	FACTOR DE SEGURIDAD F.S. = 1.2	
ESPESOR PROPUESTO 0.30 M	MODULO DE RUPTURA 682 PSI = 48 KG / CM ²	PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

TIPO DE EJE	PESO POR EJE TON.	F.S.	PESO FINAL POR EJE (TON)	(*)ESFUERZO POR CARGA KG/CM ²	ESFUERZO CONCRETO KG/CM ²	RELACION DE ESFUERZOS	REPETICIÓN DE EJES ADMISIBLES
SENCILLO	10	1.20	12	22.3	45.7	0.42	ILIMITADA
TANDEM	18	1.20	21.6	22.3	45.7	0.43	ILIMITADA

* Valor obtenido por nomograma PCA
 1 PCI (Libra por pulgada cúbica) = 0.0277 Kg/cm³
 1 PSI (Libra por pulgada cuadrada) = 0.07 kg/cm²

La revisión efectuada es para losa con espesor de 30 cms, resistencia a la tensión de 48 Kg./cm² y periodo de 20 años. Al obtener la relación de esfuerzos menor a 1.00 el número de repeticiones de carga es el adecuado y por lo tanto el espesor se considera correcto.

IV. 4. 2 Aspectos complementarios de diseño

Son los factores que no inciden en el cálculo del espesor de los pavimentos pero que son necesarios para completar el proyecto de un pavimento.

Estos son principalmente:

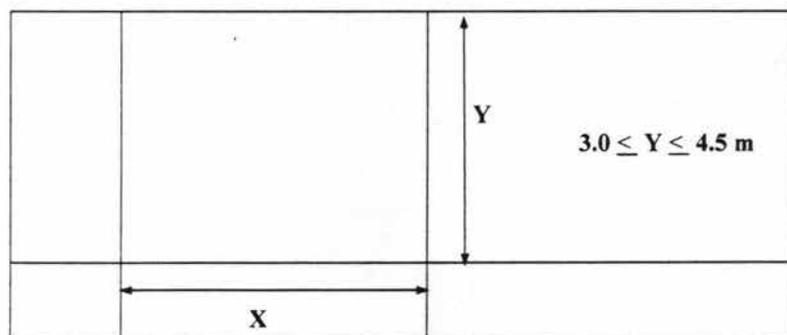
- La modulación de losas
- La determinación de la separación, la longitud y el diámetro de las barras de amarre y las pasajuntas

IV. 4. 2 .1 Modulación de losas

La modulación de losas se refiere a definir la forma que tendrán los tableros de losas de concreto, así como sus dimensiones, para determinar la separación de las juntas tanto transversales como longitudinales.

A lo largo de la utilización del concreto en diversos elementos se ha observado que la tendencia en cuanto a la aparición de grietas es la formación de cuadros, ya que no siempre es posible tener losas perfectamente cuadradas se debe considerar un cierto grado de rectangularidad.

La relación ancho – largo de una losa no deberá estar fuera de los límites 0.71 y 1.40 ya que se pueden presentar grietas entre las juntas. La separación máxima entre las juntas transversales son 5 metros y la separación de juntas longitudinales va de 3.0 a 4.5 m.



$$X \leq 5.0 \text{ m}$$

Carretera México – Querétaro

$$X = 4.5 \text{ m}$$

$$Y = 3.5 \text{ m}$$

$$0.71 < X/Y < 1.40$$

$$X/Y = 1.286$$

Figura IV. 3 Modulación de losas

Para la Carretera México - Querétaro el ancho de carril está establecido de 3.50 metros y la distancia máxima entre juntas transversales será de 4.50 m. Las losas estarán contenidas por acotamientos con calidad de base hidráulica.

IV. 4. 2. 2 Pasajuntas

Las barras pasajuntas son las que nos van a permitir la transferencia correcta de las cargas entre las losas del pavimento. Son barras de acero liso y engrasado para no restringir su movimiento durante la transferencia de cargas y evitar así la presencia de grietas.

Por medio de la siguiente tabla podemos establecer el diámetro, longitud y separación de las barras en relación con el espesor de la losa. Esta tabla es aplicable para ambos métodos de diseño (AASHTO y PCA).

Espesor de losa	BARRAS PASAJUNTAS						
	Cms.	Diámetro		Longitud		separación	
		Mm	Pulg	Cm	Pulg.	cm.	Pulg.
13 a 15	19	¾	41	16	30	12	
15 a 20	25	1	46	18	30	12	
▶ 20 a 30	32	1 ¼	46	18	30	12	
▶ 30 a 43	38	1 ½	51	20	38	15	
43 a 50	45	1 ¾	56	22	46	18	

En base a esto podemos establecer pasajuntas de 1 ½" de diámetro de 46 cms. de largo @ 30 cms. La colocación será mediante canastillas de alambón conforme a lo establecido en esta parte del diseño, actualmente existe la posibilidad de colocarlas mediante un insertador de pasajuntas automático que se provee en la pavimentadora como un aditamento especial.

IV. 4. 2. 3 Barras de amarre

Las barras de amarre restringen el movimiento de las losas en el sentido transversal, estas son de acero corrugado y sus características principales se determinan de forma similar para ambos métodos de diseño.

Para determinar la cantidad de acero requerido para las barras de amarre se utiliza la siguiente expresión:

$$A_s = \frac{b f_a \gamma_c e}{f_s}$$

Donde: A_s = Área de acero requerida por metro de longitud de losa

γ_c = peso volumétrico del concreto

e = espesor del pavimento

f_a = coeficiente promedio de fricción entre la losa y el terreno de soporte (1.5)

f_s = esfuerzo permisible del acero

b = distancia entre la junta y la orilla más próxima

por lo tanto:

$$\gamma_c = 2400 \text{ Kg. /cm}^3$$

$$h = 30 \text{ cms.} = 11.81 \text{ pulg.}$$

$$b = 3.5 \text{ m} = 138 \text{ pulg.}$$

$$f_s = 27,000 \text{ psi} = 1898.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_a = 1.5$$

$$A_s = \frac{3.50 (1.5) 2400 (0.3)}{1898.7} = 1.99 \text{ cm}^2/\text{m} = \mathbf{0.02 \text{ cm}^2/\text{cm}}$$

El uso más común es el de las barras de 1/2" y 5/8" para las barras de amarre para los dos métodos de diseño. Utilizamos barras del #4 con un área de 1.27 cm², así podemos calcular la separación que deben tener conforme al acero calculado

$$S = 1.27 \text{ cm}^2 / 0.02 \text{ cm}^2/\text{cm.} = \mathbf{64.3 \text{ cms}}$$

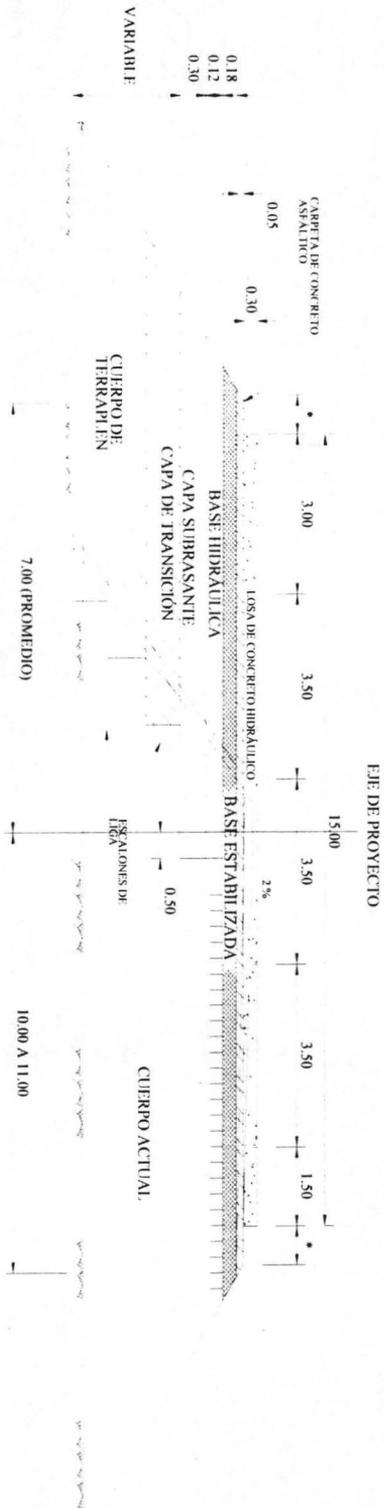
Para el uso en carreteras, la longitud de la barra de 1/2" de diámetro equivale a una distancia de 36 pulg. (91.4 cms.) y su separación varía de 30 a 40 pulgadas.

En base a esto las barras de amarre en las juntas longitudinales serán de 1/2" de diámetro con una longitud de 90 cm. y separación máxima de 64.3 cms. En la junta más cercana al acotamiento exterior la separación máxima será de 112.5 cms. debido a que se circulará sobre un carril y no por el acotamiento. A lo largo de la junta longitudinal de construcción se presenta un plano desfavorable ya que se unirá el cuerpo existente y la ampliación proyectada, debido a esto el movimiento de las losas en el sentido transversal en este punto se restringirá de forma mayor por lo que el diámetro de las barras será de 5/8" con una longitud de 110 cms y una separación de 64.3 cms.

IV. 4. 3 Secciones Estructurales tipo

A continuación presentamos las secciones estructurales más representativas de este proyecto en lo que se refiere a la construcción del pavimento rígido.

LINEA DE DESPLANTE DE LA LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO
DEBAJO DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO ACTUAL.



ESCARPADO DEL PAVIMENTO ACTUAL EN LA PROFUNDIDAD MARCADA
POR EL PROYECTO EL MATERIAL PRODUCTO DEL RECORTE SE DEBERA
UTILIZAR EN LA COMPRESION DE TIERRAS EN LAS TRAMAS SUESTRAS
Y CORRESPONDIENTE. LA HIDRATACION DEBERA SER EN LA MISMA
CAPA DE CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE.

RECOMENDACION DE LA CANA DEL AREA ESCARPADA AL 100%
DE SU PSM EN UNA PROFUNDIDAD MINIMA DE 0.20 M
DESPLANTE DEL TALUD DEL CUERPO ACTUAL (0.15 M MINIMO) Y DEL
AREA DE APOYO DE LA AMPLIACION DE ACUERDO CON EL PROYECTO
DE TERRACERIAS
* SOBREALCANTO PARA REPARAR EL USO DEL EQUIPO DE PAVIMENTACION

FIGURA IV.4
SECCION ESTRUCTURAL TIPO (CUERPO IZQ.)
KM. 156+288.95 - KM. 216+600.00

CARRETERA
TRAMO:
SUBTRAMO:
ORIGEN:

MEXICO - QUERETARO
PALMILLAS - QUERETARO
DEL KM. 156 + 288.90 AL KM. 216+600.00
MEXICO D.F.

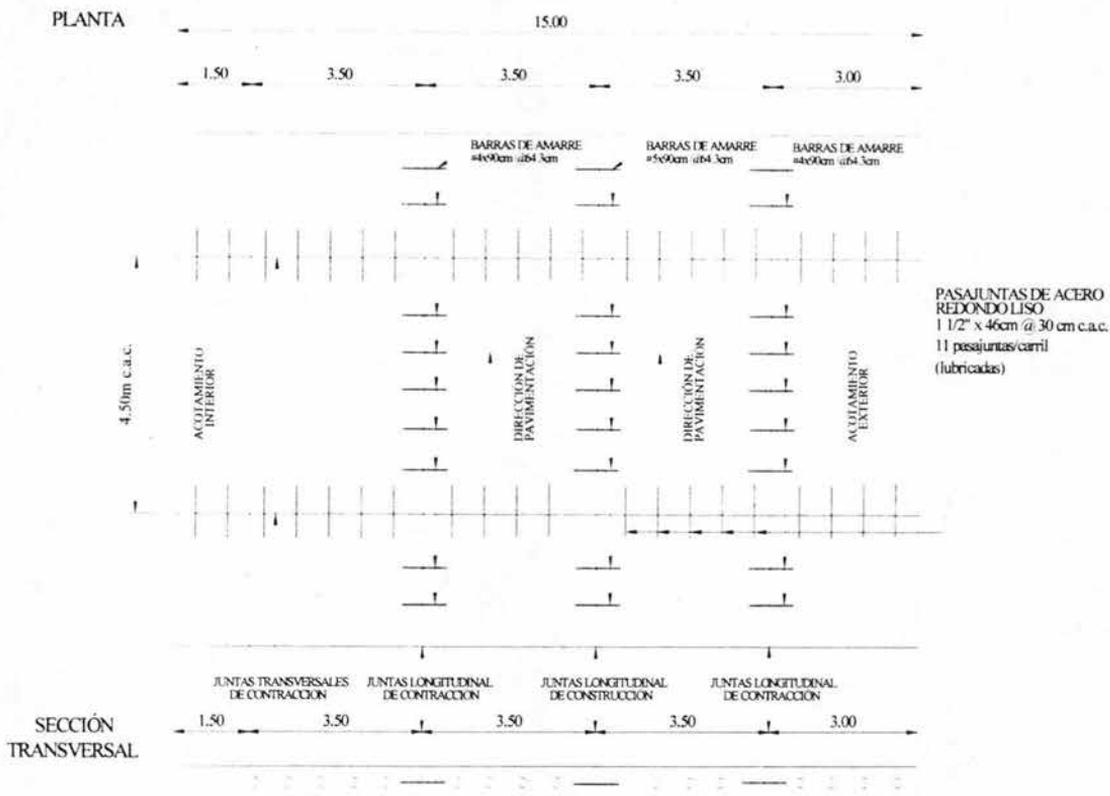


Fig. IV.5 Detalles de distribución de tableros, sección 15.0m para Tres carriles, cuerpo izquierdo y derecho

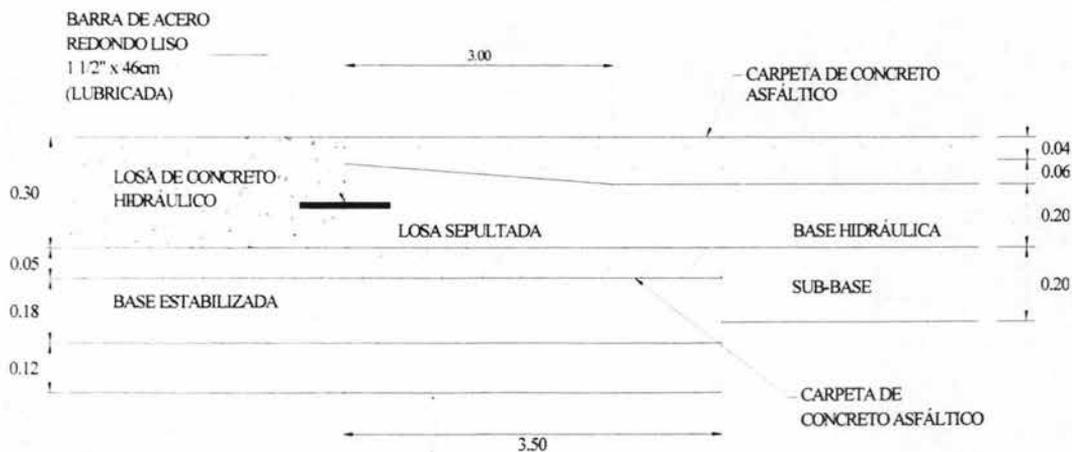


Fig. IV.6 Detalle de junta de construcción entre

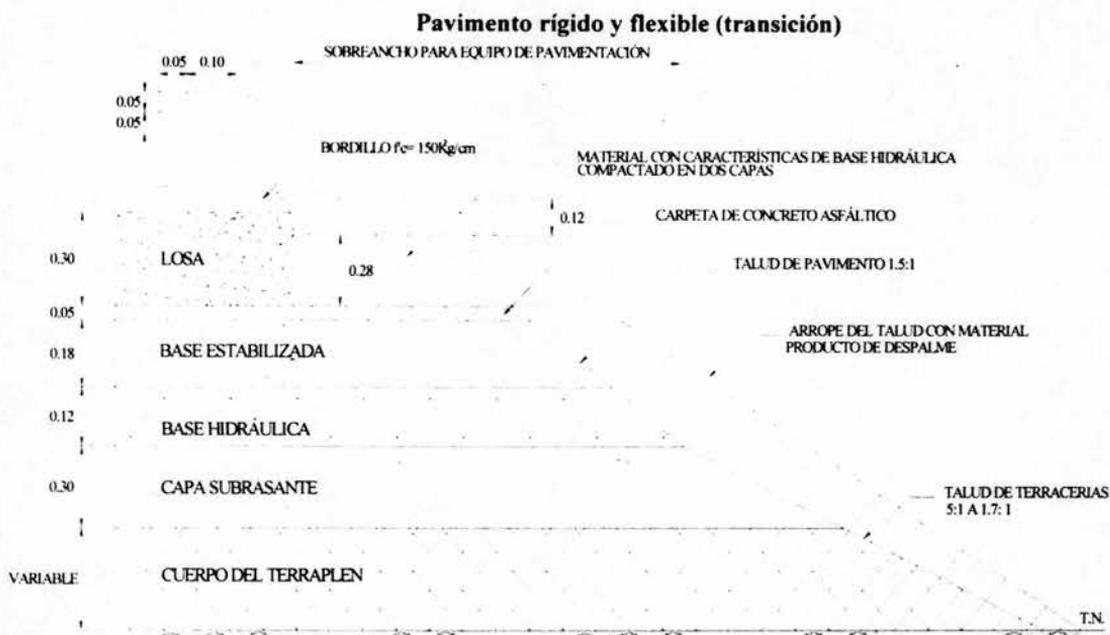


Fig. IV.7 Detalle lateral del pavimento

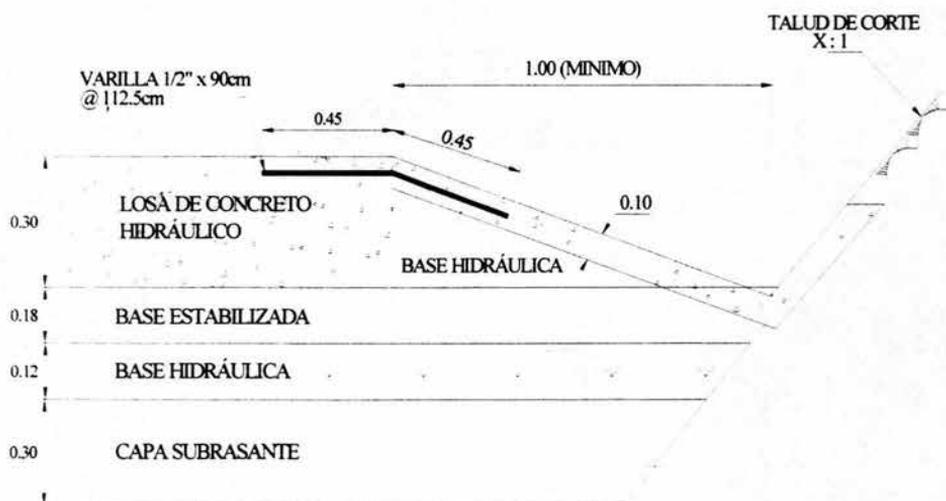


Fig. IV.8 Proyecto tipo cuneta

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

CAPITULO

V

CAPITULO V

ESPECIFICACIONES Y CONTROL DE CALIDAD

Las siguientes especificaciones comprenden los trabajos a realizar para construir pavimentos de concreto hidráulico con la forma, dimensiones, resistencias, procedimientos, calidad, tolerancias y acabados indicados y ordenados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Todos los materiales utilizados para la elaboración del concreto hidráulico deberán cumplir con las normas editadas por la S.C.T.

V. 1 MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO HIDRAULICO

V. 1. 1 Materiales Pétreos

Estos materiales se sujetarán al tratamiento necesario para cumplir con los requisitos de calidad que se indican en el proyecto. El contratista deberá prever el correcto almacenamiento de los agregados para evitar contaminaciones con sustancias u otros materiales perjudiciales y de que mantengan una condición de humedad uniforme antes de ser utilizados en la mezcla.

V. 1. 1. 1 Grava

El agregado grueso será grava triturada totalmente con tamaño máximo de treinta y ocho (38) milímetros, resistencia superior a la del concreto señalada en el proyecto y con la secuencia granulométrica siguiente:

GRAVA		
Denominación de la malla	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.0	100
1 ½"	37.50	95-100
¾"	19.00	35-70
3/8"	9.50	10-30
Num. 4	4.75	0-5

El contenido de las sustancias perjudiciales en el agregado grueso no deberá exceder los porcentajes máximos que se indican en la siguiente tabla:

Substancias Perjudiciales	% Máximo
Partículas deleznales	0.25
Partículas suaves	5.00
Pedernal como impureza	1.00
Carbón mineral	1.00

En caso de que la muestra este constituida por material heterogéneo y se tengan dudas de su calidad, la supervisión podrá ordenar se efectúen las pruebas necesarias, separando el material sano del material alterado o de diferente origen para asegurarse de que cumplan con lo indicado en la norma ya que por ningún motivo se aceptarán valores menores a los especificados.

V. 1. 1. 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

ARENA	
Denominación de la malla	% que pasa
3/8"	100
Num. 4	95-100
Num. 8	80-100
Num. 16	50-85
Num. 30	25-60
Num. 50	10-30
Num. 100	0-10

El contenido de sustancias perjudiciales en la arena no deberá exceder los porcentajes máximos siguientes:

Substancias Perjudiciales	% Máximo
Partículas deleznable	1.00
Carbón mineral	1.00

V. 1. 2 Cemento

Se empleará Cemento Pórtland tipo I y II o bien puzolánico del tipo IP. Es responsabilidad del contratista mantener el cemento en sacos y colocados en silos secos y aislados del suelo a no más de 7 mts de altura. Si el elemento se suministra a granel se deberá mantener en silos aislados de la humedad. La capacidad mínima del almacenamiento deberá ser suficiente para el consumo de un día o una jornada de producción normal. Todo cemento que tenga más de dos meses de almacenamiento en sacos o tres, deberá ser examinado por el supervisor del proyecto para verificar si aún es susceptible de utilización.

V. 1. 3 Agua

El agua que se emplee en la fabricación del concreto deberá ser potable y por lo tanto debe estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica etc. Así mismo no deberá contener cantidades mayores a las sustancias químicas de las que se indican en la siguiente tabla en partes por millón. Siempre que se tengan dudas acerca de la calidad del agua o cuando se desconozca su origen se tomaran las muestras pertinentes para comprobar su calidad

Substancias Perjudiciales	Ppm Máximo
Sulfatos	1,000
Cloruros	1,000
Materia orgánica	50
Turbiedad	1,500

V. 1. 4 Aditivos

Los aditivos son sustancias diferentes del agua, los agregados y del cemento que se pueden agregar al concreto con el fin de modificar algunas de sus propiedades, o para inducirle algunas características adicionales.

ADITIVOS			
ADITIVO Y DOSIFICACIÓN USUAL	PROPIEDADES LOGRADAS EN EL CONCRETO	APLICACIONES RECOMENDADAS	LIMITACIONES
INCLUSOR DE AIRE 0.03% al 0.05% del peso del cemento	Incorpora micro poros al concreto, lo cual induce: -Resistencia a ciclos de hielo y deshielo -Mayor trabajabilidad -Menor permeabilidad -Menor exudación	-Protección contra cambios bruscos de temperatura. -Pavimentaciones -Protección contra agentes químicos	Menor resistencia mecánica
PLASTIFICANTES O REDUCTORES DE AGUA 0.1% al 0.4% del peso del cemento	Mejora la lubricación entre partículas con lo que se obtiene: -Mejor trabajabilidad -Mayor facilidad de colocación y compactación.	-Concretos bombeables y del tipo premezclado -Concretos en zonas estrechas y/o prefabricados -Concretos de alta resistencia	
FLUIDIFICANTES Para aumentar la trabajabilidad (0.4% al 1.0% del peso del cemento) Para reducir el agua (1.0% al 3.0% del peso del cemento)	Aumentan de manera importante la trabajabilidad permitiendo: -Reducir el agua de mezclado para trabajabilidad constante con alto incremento de resistencia	-Colocación de concreto en zonas estrechas y de difícil acceso -Concretos bombeados -Colocación de concreto en climas calurosos -Concretos de alta resistencia -Concretos de elementos prefabricados -En reparaciones	-El efecto se disipa relativamente pronto
ACELERANTES DE FRAGUADO En concreto no armado: 1:2 a 1:5 (aditivo : agua) En concreto armado: 1:6 máx. (aditivo : agua) medidas en peso	Aumentan las resistencias iniciales	-Colocación de concreto en climas fríos -Concretos para prefabricados -Reducción del lapso para descimbrado -Reparaciones	Estos productos generalmente contienen materiales corrosivos por lo que en concretos armados se extremarán precauciones
RETARDANTES DE FRAGUADO 0.3% al 1.5% del peso del cemento	-Retrasan el inicio del fraguado manteniendo la trabajabilidad por más tiempo -Reducen el riesgo de figuración al permitir la disipación del calor de hidratación durante más tiempo	-Concretos en climas calurosos -Concretos premezclados -Concretos masivos -Transporte a distancias considerables -Evitar juntas frías al colocar el concreto en capas -Concretos bombeados	Una sobre dosificación puede originar una demora excesiva
IMPERMEABILIZANTES 0.5% al 4.0% del peso del cemento	-Disminuye la absorción de humedad -Aumenta la impermeabilidad	-Concretos subterráneos -Losas de cubierta -Estanques de concreto -Pisos impermeables empastados exteriores	El empleo de impermeabilizantes se debe completar con una buena dosificación, compactación y curado de las mezclas.
EXPANSORES 2.0 A 3.0 gramos por saco de cemento	-Producen una ligera expansión de la masa del concreto contrarrestando las contracciones de este.	-Rellenos de cavidades y grietas -Anclajes de pernos y estructuras -Lechareado	

Podrá emplearse un aditivo del tipo D, reductor de agua y retardante, con la dosificación requerida para que el fraguado inicial de la mezcla a la temperatura estándar de veintitrés grados (23° C) no se produzca antes de dos (2), ni después de cuatro (4) horas a partir de la finalización del mezclado. Para asegurar la trabajabilidad de la mezcla. También se utilizará un agente inclusor de aire. 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.

V. 2 RESISTENCIA

La mezcla deberá tener un módulo de resistencia a la tensión por flexión (S_r) mínimo de 48 kilogramos por centímetro cuadrado (48 kg/cm²), a los veintiocho días (28). La resistencia a la tensión por flexión se verificará en especímenes moldeados durante el colado del concreto correspondientes a vigas estándar de quince por quince por cincuenta (15x15x50) centímetros, compactando el concreto por vibro compresión y una vez curados adecuadamente, se ensayarán aplicando las cargas en los tercios del claro, la frecuencia de muestra será de 6 especímenes para prueba de módulo de ruptura y 3 más para determinar el módulo elástico y la resistencia a la compresión por cada 150 m³ de producción de concreto. El módulo de resistencia varía dependiendo el tipo de proyecto del que se trate.

Tipo de proyecto	MR Kg/cm ²
Autopistas y carreteras	48.00
Zonas industriales y Urbanos principales	45.00
Urbanos secundarios	42.00

V. 3 TRABAJABILIDAD

El revenimiento promedio de la mezcla de concreto hidráulico deberá ser de cuatro (4) centímetros al momento de su colocación, nunca deberá ser menor de dos punto cinco (2.5), ni mayor de seis (6) centímetros. Las mezclas que no cumplan con este requisito deberán ser destinadas a otras obras de concreto como cunetas y drenajes y no se permitirá su colocación para la losa de concreto.

El concreto deberá ser uniformemente plástico, cohesivo y manejable, el concreto trabajable es definido como aquel que puede ser colocado sin que se produzcan demasiados vacíos en su interior y en la superficie y no deberá 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:

- Rediseño de la mezcla
- Adición de relleno mineral o de agregados finos
- Incremento del contenido de cemento
- Uso de un aditivo inclusor de aire

V. 4 ELEMENTOS PARA LOSAS DE CONCRETO HIDRAULICO

V. 4. 1 Barras de amarre

En las juntas que muestre el proyecto y/o en sitios que indique el especificador del proyecto se colocarán barras de amarre con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas. Las barras serán corrugadas, de acero estructural, con límite de fluencia (f_y) de cuatro mil doscientos (4200) kilogramos por centímetro cuadrado, debiendo quedar ahogadas en las losas, con las dimensiones y en la posición indicada en el proyecto.

V. 4. 2 Pasajuntas

En las juntas transversales de contracción, de construcción, de emergencia y en los sitios que indique el supervisor del proyecto, se colocarán pasajuntas como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes.

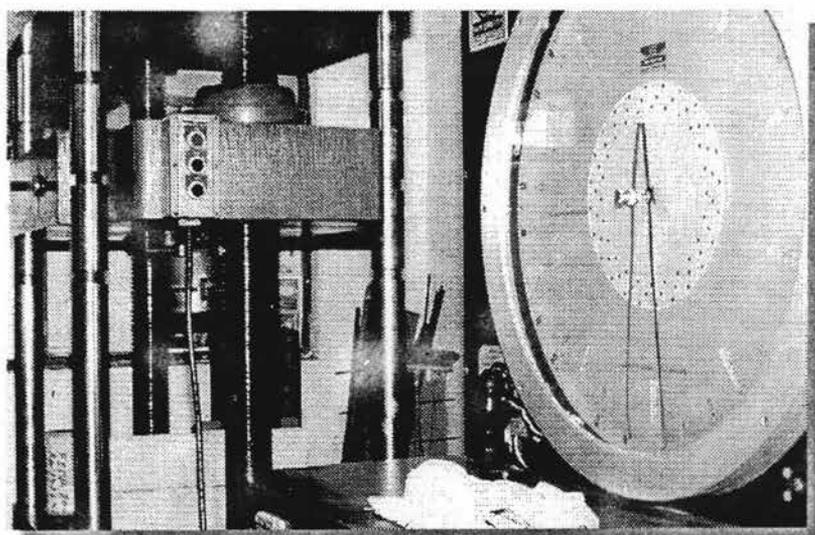


Foto V. 1 Ensaye de acero de refuerzo en la unidad de Laboratorio de la D.G.S.T. (Dirección General de Servicios Técnicos) Querétaro

Las barras serán de acero redondo liso y deberán quedar ahogadas en las losas en la posición y con las dimensiones indicadas en el proyecto. Ambos extremos de las pasajuntas deberán ser recubiertas con parafina, grasa o cualquier otro medio que impida efectivamente la adherencia del acero con el concreto.

V. 5 JUNTAS

La formación correcta de las juntas así como su correcto dimensionamiento garantiza el buen funcionamiento de las losas de concreto. Las características de cada una de ellas estarán definidas por el espesor del pavimento.

V. 5.1 Formación de Juntas

El método más común para la formación de juntas es por medio del corte con discos de diamante, esta acción debe realizarse tan pronto como el concreto haya alcanzado suficiente resistencia ya que un corte prematuro provoca despostillamiento y desmoronamientos a lo largo de la cara de la junta, mientras un corte tardío provoca agrietamientos en otras partes de la losa.

V. 5.2 Juntas de contracción o de control

Las juntas de contracción permiten el movimiento en el mismo plano e inducen el agrietamiento de contracción causado por el secado y los cambios de temperatura en los sitios preseleccionados, ya sea longitudinal o transversalmente al sentido de la circulación. Su función principal es evitar que las grietas se propaguen en cualquier dirección.

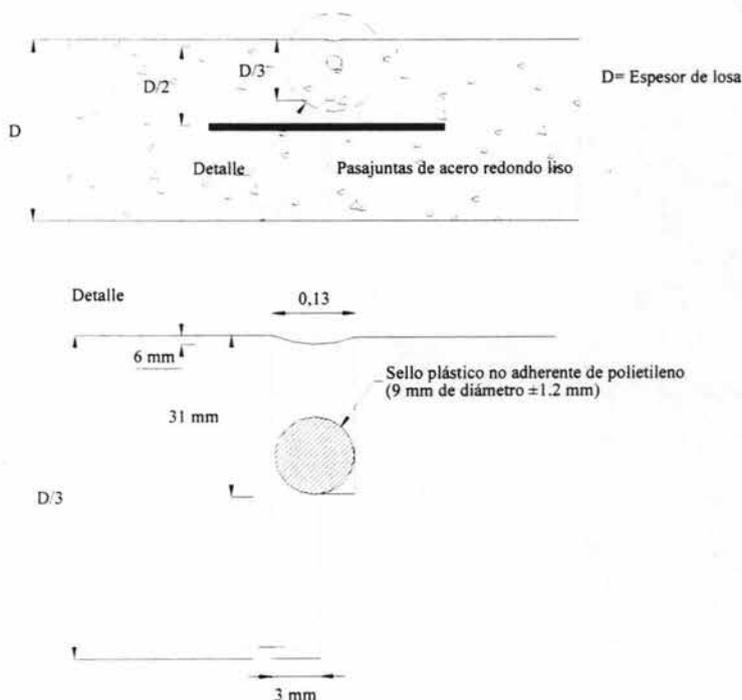


Figura V. 1 Junta transversal de contracción

Junta longitudinal de contracción

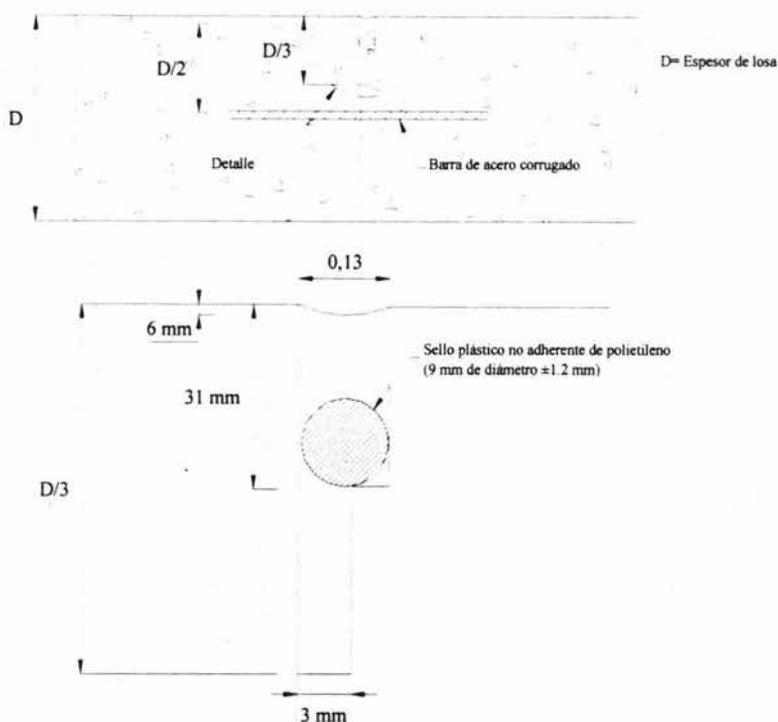


Figura V. 2 Junta Longitudinal de contracción

V. 5. 3 Juntas de dilatación o de aislamiento

Este tipo de juntas separan a una losa de otros elementos estructurales como pisos, muros columnas, guarniciones y otros puntos donde pudieran ocurrir restricciones de movimiento. Esto evita las grietas causadas por los movimientos diferenciales.

V. 5. 4 Juntas de construcción

Se colocan en los lugares en donde ha concluido la jornada de trabajo o se presenta algún tipo de interrupción. En las losas para pavimentos, las juntas de construcción comúnmente se alinean con las juntas transversales de contracción para que funcionen también como estas últimas.

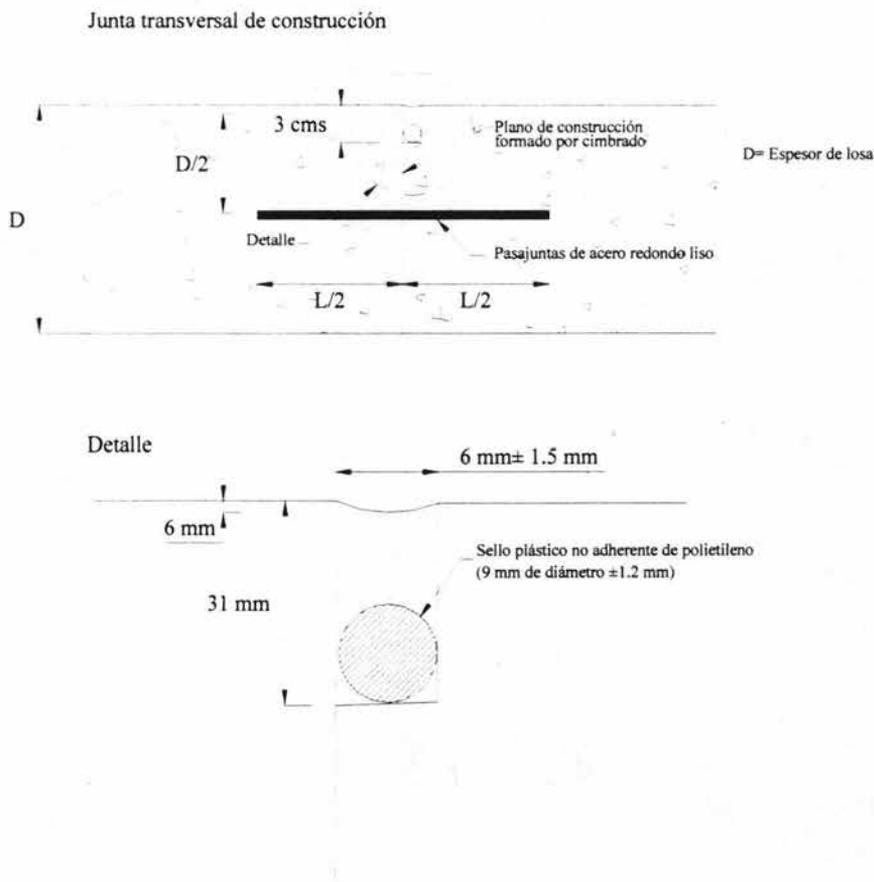


Figura V. 3 Junta transversal de construcción

Junta longitudinal de construcción (machihembrada)

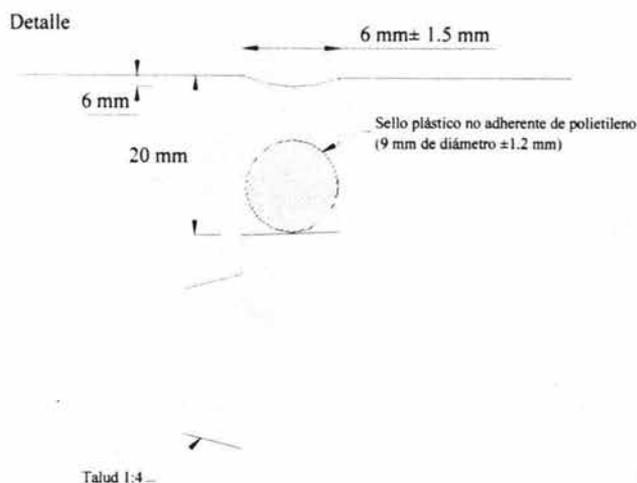
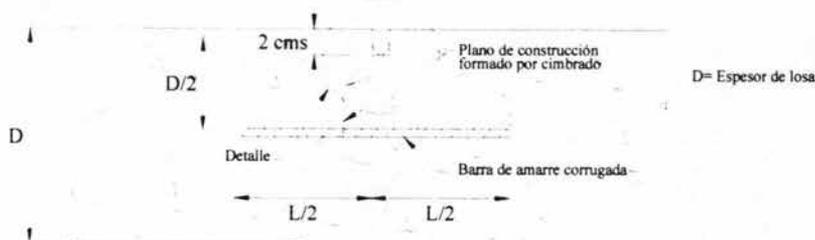


Figura V. 4 Junta longitudinal de construcción (machihembrada)

V. 5. 5 Neopreno en tiras para juntas

La tirilla de respaldo a emplear deberá impedir efectivamente la adhesión del sellador a la superficie inferior de la junta, la tirilla deberá ser de espuma de polietileno en las dimensiones indicadas en el proyecto, esta 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.

V. 5. 6 Material sellante para juntas

El material sellante para las juntas transversales y longitudinales deberá ser elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotores con propiedades adherentes con el concreto y permitir las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas de concreto sin agrietarse, debiéndose emplear productos a base de silicón, los cuales deberán solidificarse a temperatura ambiente.

El material se deberá adherir a los lados de la junta o grieta del concreto y deberá formar un sello efectivo contra la filtración del agua o incrustación de materiales incompresibles. Este sellador deberá ser un compuesto de un solo componente sin requerir la adición de un catalizador para su curado

V. 6 ELABORACION DEL CONCRETO HIDRÁULICO Y PROCESO DE PAVIMENTACIÓN

V. 6. 1 Proporcionamiento de la mezcla

Los materiales pétreos, el cemento Pórtland y los aditivos que se empleen en la elaboración del concreto hidráulico, se mezclarán en las proporciones necesarias para producir un concreto homogéneo con las características establecidas en el proyecto, si es necesario las dosificaciones se ajustarán en obra ante cambios en los agregados pétreos o por el efecto de la temperatura en el sitio, entre otros factores, para que la mezcla cumpla con dichas características.

Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la supervisión, con las dosificaciones de los distintos tipos de agregados pétreos, del cemento Pórtland y los aditivos utilizados en la elaboración del concreto hidráulico, no se obtiene un concreto con las características de proyecto, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto el contratista las corrija por su cuenta y costo.

V. 6. 2 Preparación de la superficie

Inmediatamente antes del colado del concreto hidráulico, toda la superficie por cubrir estará debidamente preparada exenta de materias extrañas, polvo o grasa. No se permitirá el colado sobre las superficies que no haya sido previamente aceptadas por la supervisión de la obra. Si así lo indica el proyecto, la superficie por cubrir se mantendrá húmeda desde el momento en que se termine la limpieza, hasta la colocación del concreto.

V. 6. 3 Condiciones climáticas

Los trabajos serán suspendidos en el momento en que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras estas no sean las adecuadas, considerando que no se colocará concreto hidráulico:

- Cuando exista amenaza de lluvia o este lloviendo. En caso de que se presente una lluvia durante la colocación, se protegerán convenientemente las superficies de concreto fresco, para evitar deslaves o defectos en el acabado.
- Cuando la temperatura ambiente sea inferior a cinco (5) grados centígrados, salvo en aquellos casos en que se apliquen procedimientos o se utilicen aditivos que indique el proyecto o apruebe la supervisión
- Cuando la evaporación sobre la superficie de la losa sea mayor de un (1) kilogramo por metro cuadrado por hora, determinada de acuerdo a las recomendaciones de la Portland Cement Association (PCA), a menos que se levanten rompevientos para proteger el concreto hidráulico y lo apruebe la supervisión.

V. 6. 4 Elaboración del Concreto

El control del proporcionamiento de todos los materiales para elaborar la mezcla de concreto fresco incluyendo el agua deberá realizarse en peso, utilizando básculas previamente calibradas y aprobadas por la supervisión. 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 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.

El procedimiento que se utilice para la elaboración del concreto hidráulico es responsabilidad del contratista de obra, quien tendrá los cuidados necesarios para el manejo de los materiales a lo largo de todo el proceso para que el concreto cumpla con los requerimientos de calidad establecidos en el proyecto.

El concreto podrá ser elaborado en planta o en obra, siempre que ahí se cuente con el equipo apropiado para producir un concreto con las características de proyecto.

Cuando así lo indique el proyecto, los agregados pétreos se protegerán de cambios en su contenido de agua o bien se ajustará la cantidad de agua necesaria para la mezcla en dichos cambios. Si los agregados son regados con agua antes de su utilización, serán drenados el tiempo suficiente para contener un contenido de agua uniforme.

El tiempo de drenado de los materiales será de:

- Ocho horas (8) horas para arena
- Cinco (5) horas para grava menor de diecinueve (19) milímetros ($\frac{3}{4}$ ")
- Tres (3) horas para grava entre diecinueve (19) milímetros y treinta y siete punto cinco (37.5) milímetros ($1\frac{1}{2}$ ")

Durante el proceso de producción no se cambiará de un tipo de concreto a otro, hasta que la mezcladora o las tolvas de las plantas hayan sido vaciadas completamente y los depósitos de alimentación de los agregados pétreos sean cargados con el nuevo material, si esto es necesario.

La mezcla no debe permanecer más de veinte (20) minutos en la revolvedora después de terminado el mezclado; si por algún motivo, la revoltura permanece dentro de la revolvedora más del tiempo indicado, se desechará y no será objeto de medición y pago.

Si por alguna razón la mezcla no fue vaciada inmediatamente después del mezclado, antes de vaciarla, se volverá a mezclar por lo menos durante un (1) minuto. El contenido de la revolvedora se retirará por completo del tambor antes de que los materiales para la siguiente revoltura sean introducidos en el mismo. Cuando se suspenda el trabajo de una revolvedora por más de treinta (30) minutos, se lavará la tolva, el tambor y los canales, retirando completamente los residuos de concreto antes de volver a utilizarla.

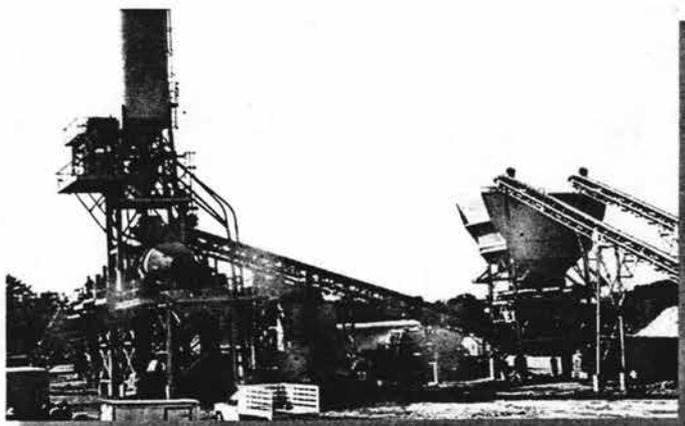


Foto V. 2 Planta de mezclado

V. 6. 5 Transporte

El transporte de la mezcla desde la planta de mezclado central al sitio de la obra se efectuará en camiones sean mezcladores o no, pero previendo 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.

En el caso de emplear camiones no mezcladores; estos deberán contar con una caja revestida de lámina, cubierta que evite la evaporación d la mezcla en forma satisfactoria, sin segregaciones, la caja deberá estar perfectamente limpia antes de ser utilizada con nuevas mezclas.



Foto V. 3 Limpieza de caja

Cuando se empleé un camión mezclador o agitador para transportar el concreto, se llenará como máximo al ochenta (80) por ciento de su capacidad. La descarga del concreto se completará dentro de la hora y media inmediata o antes de que la olla del camión mezclador haya girado trescientas vueltas, lo que suceda primero, después de la incorporación del agua a los ingredientes mezclados.

Los canales o tubos para el transporte del concreto, se dispondrán de tal manera que prevengan cualquier segregación o clasificación de los componentes de la mezcla. El ángulo de caída será el adecuado para permitir el flujo de la revoltura sin provocar velocidades excesivas que propicien segregación. Esta pendiente será constante en toda su longitud y cuando sea necesario cambiar de dirección, se colocarán deflectores que obliguen al chorro de concreto a incidir verticalmente sobre el siguiente tramo de canalón o tubo.

El equipo de bombeo se instalará fuera de la zona de colado de tal manera que no produzca vibraciones que puedan dañar al concreto fresco. La operación de bombeo se hará con flujo continuo de la revoltura, para que el concreto pueda bombearse con facilidad la mezcla será plástica, cohesiva y de consistencia media.

Se establecerá un revenimiento óptimo, el cual se mantendrá a lo largo de toda la obra; no se emplearán revenimientos menores a cinco (5) centímetros ni mayores a doce (12) centímetros.

Antes de iniciar el bombeo del concreto se lubricará la tubería mediante el bombeo de un mortero cemento - arena en un volumen suficiente para recubrir interiormente la tubería con objeto de facilitar el flujo de concreto. Cuando se suspenda el bombeo durante veinte (20) minutos o al término de cada colado, la revoltura que permanezca en la tubería se removerá y desechará y todo el equipo se lavará.

V. 6. 6 Colado

La colocación y compactación del concreto se hará dentro de los treinta (30) minutos siguientes a su elaboración. El colado será continuo hasta la terminación del elemento estructural o hasta la junta de construcción que indique el proyecto.

El concreto se colará por los medios apropiados para evitar la segregación de los materiales esparciéndolo con pavimentadora autopropulsada con cimbra deslizante del tipo SLIP FORM PAVER (CMI-SF-450). Este equipo deberá contar con sensores de nivel en la orilla de la losa formando un ángulo de 90 grados con respecto a la superficie. Este equipo deberá tener también la capacidad de insertar las barras de amarre para las juntas longitudinales en forma automática. En ningún caso se aceptará que la inserción de las barras de amarre se haga manualmente. La compactación del concreto se llevará a cabo adecuadamente con vibradores de inmersión desde la superficie. Cuando se requiera iluminación artificial durante los colados está se hará de tal forma que exista la visibilidad suficiente en todo el elemento por colar y demás sitios que se requiera.

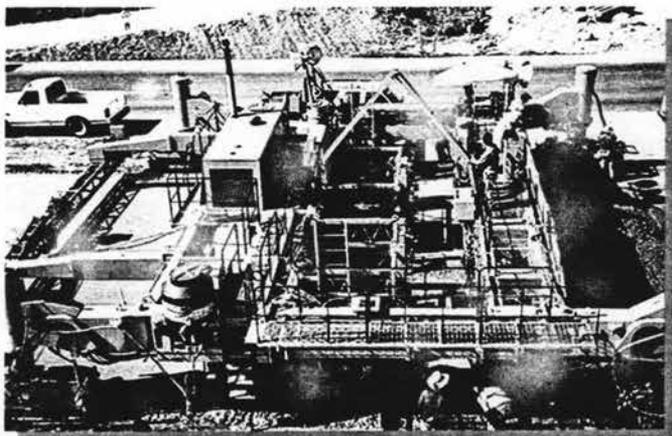


Foto V. 4 Pavimentadora Slip Form Paver (CMI-SF-450)

V. 6. 7 Acabado superficial

El acabado superficial longitudinal del concreto recién colado podrá proporcionarse mediante llanas mecánicas y a continuación mediante el arrastre de tela de yute. Posteriormente con un equipo de texturizado del tipo CMI-TC-250 o similar, se podrá realizar el texturizado transversal mediante una rastra de alambre en forma de peine, con una separación entre dientes de 20 milímetros y ancho de dientes de 3 milímetros a todo el ancho de la superficie pavimentada. Esta operación se realizará cuando el concreto esté lo suficientemente plástico para permitir el texturizado, pero lo suficientemente seco para evitar que el concreto fluya por 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) indicados en el proyecto. Una vez terminados los trabajos de construcción de las losas correspondientes a un día y durante las siguientes cuarenta y ocho (48) horas, el contratista debe realizar los estudios necesarios para garantizar el acabado final de la superficie de rodamiento.

V. 6. 8 Fraguado y Curado

Durante las diez (10) primeras horas que sigan a la terminación del colado se evitará que el agua de lluvia o alguna corriente de agua deslave el concreto. Una vez iniciado el fraguado y por lo menos durante las primeras cuarenta y ocho (48) horas de efectuado el colado, se evitará toda clase de sacudidas, trepidaciones y movimientos en las varillas que sobresalgan, que interrumpan el estado de reposo y alteren el acabado superficial con huellas o marcas.

Se evitará la pérdida de agua del concreto para que alcance su resistencia y durabilidad potencial, protegiéndolo mediante una membrana de emulsión de agua y base de parafina de color claro. Deberá aplicarse apropiadamente para proveer un sello impermeable que optimiza la retención de agua.

El curado deberá hacerse inmediatamente después del acabado final, cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial. Esta operación se efectuará aplicando en la superficie una membrana de curado a razón de un litro por metro cuadrado (1 lt/m²) que deje una membrana impermeable y consistente de color claro. Su aplicación deberá realizarse con irrigadores mecánicos a presión del tipo CMI-TC-250 o similar, este tipo de membranas evitan que se tapen las espreas de los equipos de rociado.

Las caras expuestas de las juntas aserradas deberán ser recubiertas con membrana de curado inmediatamente después que se concluya el corte. Durante el tiempo del 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. El contratista será el responsable único del costo y trabajos correspondientes para la reparación de desperfectos causados a la losa de concreto.

V. 6. 9 Juntas

Después del curado de las losas se procederá al corte de las juntas transversales y longitudinales con discos abrasivos de diamante. 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, 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 aserrado inoportuno deberán ser demolidas y/o reparadas.

El contratista tiene la responsabilidad de contar con el equipo suficiente para realizar el corte de las juntas correspondiente a un día de colado, de lo contrario la producción del concreto se adecuará a lo que el contratista pueda cortar dentro de las 18 horas posteriores al colado. En el caso de los cortes en dos etapas (escalonados), el segundo corte deberá realizarse antes de 72 horas después del colado.

Al final de la jornada o cuando el suministro del concreto se haya detenido por más de 30 minutos se construirá una junta transversal de construcción o de emergencia. Estas deberán formarse hincando en el concreto fresco una frontera metálica que garantice la perpendicularidad del plano de la junta con el plano de la losa. Esta frontera o cimbra deberá contar con orificios que permitan la instalación de pasajuntas en todo el ancho de la junta con alineamiento y espaciamientos correctos.

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 y aire a presión los cuales deberán ser aplicados siempre en la misma dirección.

V. 7 CONTROL DE CALIDAD

V. 7. 1 Tolerancias

Para dar por terminada la construcción de losas de concreto hidráulico se verificará el alineamiento, la sección en su forma, espesor, ancho y acabado de acuerdo con lo fijado en el proyecto o lo ordenado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes con las siguientes tolerancias:

Pendiente Transversal con respecto a la del proyecto (2%)	$\pm 0.5\%$
Coefficiente de fricción inicial de la Superficie de rodamiento	0.40 mínimo

V. 7. 2 Espesor de la losa determinado por medio de la extracción de núcleos

Se deberán extraer núcleos del pavimento de concreto en lugares especificados por la supervisión después que se hayan llevado a cabo todas las correcciones requeridas y antes de que se efectúe la aceptación final del pavimento. La supervisión extraerá un núcleo del pavimento por cada 500 metros en cada carril de circulación en el lugar seleccionado aleatoriamente.

Para el ajuste del precio unitario ajustado del pavimento se consideran unidades de 500 metros en cada carril de circulación, aplicando la siguiente tabla:

Tolerancias en el espesor de la losa	
Deficiencia en el espesor de losa determinada por núcleos por cada sección de 500 metros	Factor de ajuste aplicable al 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 10.0 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 de 25 mm o 1/8 del Espesor de proyecto	SUBSTITUIR

Cuando el espesor de cualquier núcleo sea deficiente por más de 20 milímetros, el espesor del pavimento se determinará 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. Los núcleos de exploración serán empleados únicamente para determinar la longitud del pavimento dentro de la unidad en estudio que será removida sin que el contratista reciba pago alguno por esa área.

V. 7. 3 Calidad de la superficie terminada

El contratista deberá mantener durante el transcurso de la obra un perfilógrafo cuya calibración deberá ser verificada por la supervisión. El ensaye de la superficie del pavimento será limitado a aquellos pavimentos con más de 200 metros de longitud.

V. 7. 4 Perfiles del pavimento

La medición del perfil del pavimento comenzará a 5 metros dentro del concreto previamente colocado, y será medido a lo largo de las líneas imaginarias que son paralelas a aquellas que delimitan cada carril de circulación, y que están ubicadas aproximadamente a 1 metro dentro del carril que está siendo evaluado, las mediciones efectuadas a lo largo del pavimento 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.

Cuando se lleve a cabo la pavimentación completa de la corona en una sola pasada del tren de pavimentación y la sección estructural este compuesta por al menos dos carriles de circulación más 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 para cada sección de 200 metros será el promedio de todas las mediciones tomadas en la sección transversal.

Tolerancias de calidad de Superficie terminada del pavimento	
Índice de perfil en cms. por Km. Por cada sección de 200 metros.	Factor de ajuste aplicable al precio unitario 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	1.00
16.1 a 18.5	0.98
18.6 a 20.0	0.96
20.1 a 21.5	0.94
21.5 a 23.0	0.92
23.0 a 25.0	0.90
más de 25	CORREGIR

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 debido a la calidad deficiente de dicha superficie, pero no se pagará premio alguno por aquellas secciones que originalmente presentaron un índice de perfil mayor a 16 centímetros por kilómetro.

V. 7. 5 Tramo de prueba

Sobre la superficie donde se construirá la carpeta de concreto hidráulico, el contratista efectuará un tramo de prueba en todo el ancho de la corona o de la franja a construir, con una longitud de doscientos (200) metros, con la finalidad de evaluar el procedimiento y los equipos que utilizará considerando que dicho tramo deberá cumplir con lo establecido en las especificaciones, en caso contrario el construirá el número de tramos de prueba necesarios hasta que cumpla con los índices de calidad requeridos para el proyecto.

Si el tramo de prueba construido cumple con el proyecto, podrá considerarse como parte de la obra y será sujeto a medición y pago, de lo contrario no se medirá ni pagará y se determinará si el contratista retira el tramo de prueba por su cuenta y costo.

CAPITULO

VI

CAPÍTULO VI

EQUIPO Y PROCESO CONSTRUCTIVO

VI. 1 EQUIPO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

Para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico con nuevas tecnologías se requiere de equipos especializados para lograr una calidad adecuada durante el proceso constructivo. Los equipos que intervienen en el proceso son:

VI. 1. 1 Plantas de mezclado central

Son plantas que permiten la elaboración del concreto con altos rendimientos y capacidades de producción. Las especificaciones y características generales de este tipo de plantas son:

- Producción promedio de 150 m³/hr a 250 m³/hr
- Capacidad de almacenamiento en silos de 500 a 800 ton.
- Móviles (opcional)
- Automatizadas y computarizadas
- Potencia requerida 120 HP
- Caseta de control
- Tambores mezcladores de 10 a 12 yardas cúbicas
- Con capacidad 2 o 3 tipos de agregados
- Con sistema colector de polvos
- Tiempos de mezclado de 60 a 90 seg.
- Sistema de basculas de precisión
- Sistema automático de corrección de humedad
- Cargadores frontales para alimentación de agregados
- Depósito de almacenamiento de agua
- Depósito de almacenamiento de aditivos.



Foto VI. 1 Planta de concreto

VI. 1. 2 Plantas dosificadoras de concreto

Permiten tener un control adecuado de las cantidades de materiales que se van a utilizar para la mezcla, sin embargo estas plantas no realizan el mezclado del concreto sino que se apoyan en camiones revolvedores que son los que hacen el mezclado de los materiales convirtiéndolos en concreto. Las especificaciones y características generales de este tipo de plantas son las siguientes:

- Producción promedio de 30 m³/hr a 70 m³/hr
- Capacidad de almacenamiento en silos de 60 a 150 ton.
- Móviles (opcional)
- De fácil instalación y desmontaje
- Computarizadas
- Potencia requerida 120 HP
- Caseta de control
- Con capacidad 2 o 3 tipos de agregados
- Tiempos de mezclado de 60 a 90 seg.
- Cargadores frontales para alimentación de agregados
- Con sistema de generación de energía propia
- Depósito de almacenamiento de agua
- Depósito de almacenamiento de aditivos.

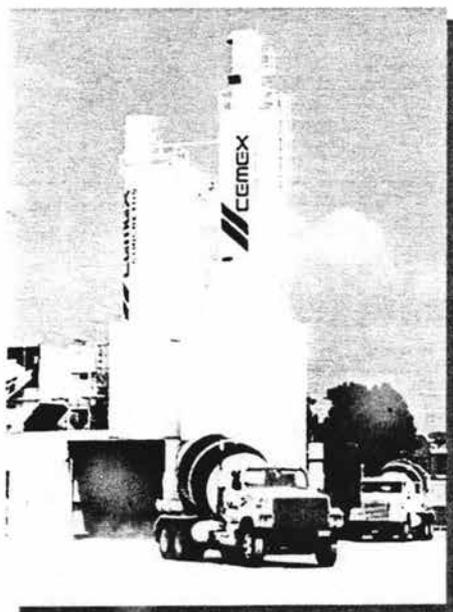


Foto VI. 2 Planta Dosificadora

VI.1.3 Equipos de transporte de concreto

Dependiendo del tipo de planta se podrán utilizar diferentes tipos de transporte para el concreto, sin embargo en el caso de las plantas dosificadoras únicamente se podrán utilizar los camiones revolvedores.

VI.1.3.1 Camiones de volteo

- Peso vehicular bruto 29.9 ton
- Peso vehicular 8.4 ton.
- Eje delantero sencillo
- Eje trasero tandem
- Motor de 365 HP a 2,100 r.p.m.
- Capacidad de 14 m³
- Ancho total 2.46 m
- Altura total 3.02 m



Foto VI.3 Camión de volteo

VI.1.3.2 Camiones revolvedores

- Tapa trasera especial para concreto
- Banda transportadora de descarga horizontal
- Sección transversal de la caja trapezoidal (60 grados)
- Adaptable a varios tipos de cabinas
- Diferentes configuraciones de ejes
- Capacidad de 15 m³



Foto VI.4 Camión revolvedor

VI. 1. 4 Pavimentadora de Cimbra deslizante

Existen diferentes tipos de pavimentadoras que se diferencian por su tamaño y habilidades, así como las que se utilizan en proyectos carreteros y urbanos.

Pavimentadora de 4 tracks Tipo SLIP FORM – PAVER 450

- Apoyada en 4 orugas
- Motor de 400 HP a 2,100 r.p.m.
- Transmisión hidráulica hacia delante y hacia atrás
- Velocidad de pavimentación de hasta 9.14 metros por minuto
- Velocidad de transportación hasta de 18.3 metros por minuto
- Dirigida por sensores
- Ancho de pavimentación variable de 5.5 m hasta 15.2 m
- Espesor máximo de pavimento 61.0 cm.
- Altura de pavimentadora 4.42 m
- Operación manual o automática
- Con insertador de barras de amarre (opcional)
- Con vibradores de inmersión 10,000 r.p.m.
- Ajustable a pendiente transversal en uno y dos sentidos
- Con flotadora oscilante final
- Peso aproximado de 65.5 ton.
- Tanque de combustible de 700 lts
- Tanque de aceite hidráulico de 250 lts.
- Dimensiones durante el transporte
 - Ancho 3.15 m.
 - Largo 22.2 m
 - Altura 2.96 m.



Foto VI. 5 Pavimentadora de cimbra deslizante

VI. 1. 5 Texturizadora - Curadora

Equipo que provee el texturizado longitudinal y transversal, así como la aplicación de la membrana de curado.

Texturizadora - Curadora (tipo C - 250)

- Se apoya en 4 ruedas neumáticas
- Motor de 56 HP a 2,500 r.p.m.
- Transmisión hidráulica hacia delante y hacia atrás
- Dirigida por sensores
- Con marco de soporte de yute
- Con control de profundidad de texturizado.
- Con marco para colocación de peine metálico
- Para anchos de pavimentación hasta de 15.2 m
- Sistema hidráulico
- Sistema de aspersión para membrana de curado
- Operación manual o automática
- Peso aproximado 5.9 ton.
- Dimensiones durante le transporte
 - Ancho 2.44 m
 - Largo 8.85 m
 - Altura 2.49 m.

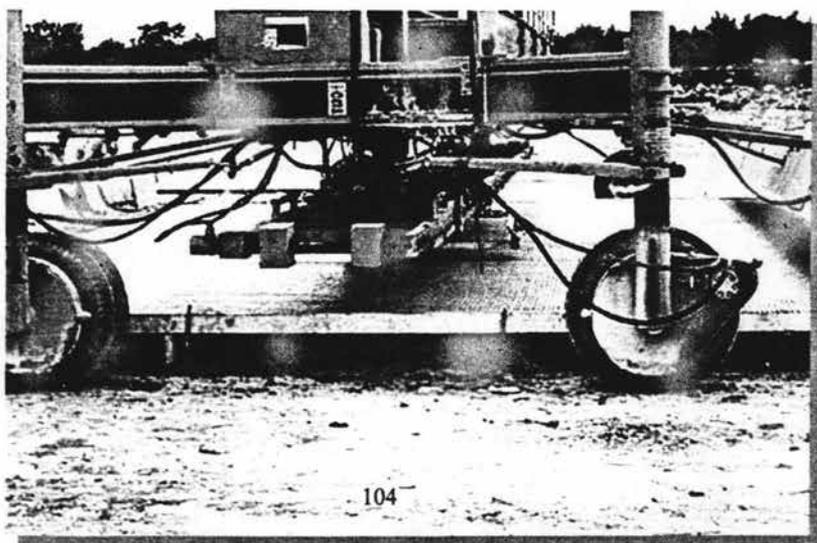


Foto VI. 6 Texturizadora - curadora

VI. 1. 6 Fresadoras

Las fresadoras se utilizan para corregir el acabado de las losas de concreto o devastar pavimentos asfálticos para obtener el nivel requerido por el proyecto, sus principales características son:

- Cabezas de corte de aproximadamente 1 metro de ancho o más montadas en marcos interiores que permiten controlar la profundidad del fresado
- Discos de corte con diamante para cortar las protuberancias o ranurar la superficie del pavimento. Cada cabeza con el ancho indicado anteriormente, tiene entre 54 y 59 discos uniformemente distribuidos en todo su ancho
- El tamaño, la cantidad y la pasta de adherencia de los diamantes, son los adecuados para la dureza de los agregados pétreos del concreto por tratar y cilindros hidráulicos para mantener la presión sobre las cabezas de corte.

VI. 1. 7 Cortadoras de concreto fresco

Se utilizan para formar las juntas tanto transversales como longitudinales con las dimensiones indicadas en el proyecto. Sus características principales son:

- Autopropulsadas
- Motores de 20 HP, 35 HP y 65 HP a 2750 r.p.m.
- Profundidad máxima de corte 16.5 cm.
- Enfriado de disco con agua
- Encendido eléctrico
- Motor enfriado por aire
- Peso variable entre 280 Kg. a 660 Kg.
- Avance hacia delante y atrás
- Se alimenta con discos de diamante.



Foto VI. 7 Cortadoras con discos de diamante

VI. 1. 8 Estaciones ambientales portátiles

Las estaciones ambientales son necesarias para controlar el buen comportamiento de la mezcla de concreto a edades tempranas sobre todo en climas donde la humedad es baja y los vientos y el calor son altos.

Los aspectos relevantes de las estaciones ambientales

- Son portátiles
- Permiten medir las condiciones climáticas
- Temperatura
- humedad
- Velocidad del viento
- Calcula y puede monitorear la tasa de evaporación del agua en el concreto
- Mantiene el control de los problemas por contracción del concreto
- Conectividad a una computadora
- Software de Cálculo apropiado
- Completamente automatizada.

VI. 1. 9 Bomba de silicón

Se utiliza para el sellado final de las juntas, la bomba de silicón permite utilizar tambos de 208 lts. de sello.

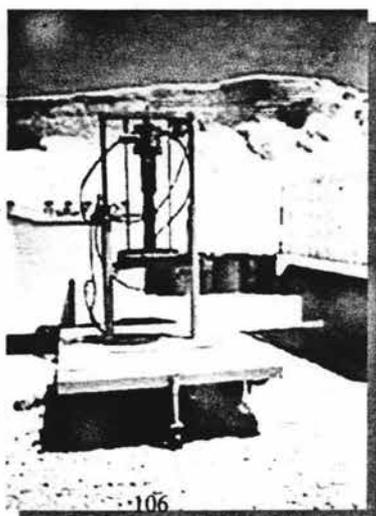


Foto VI. 8 Bomba de silicón para el sello de juntas

VI. 1. 10 Perfilógrafo computarizado

Existen varios tipos de perfilógrafos, sin embargo en este caso nos vamos a referir al perfilógrafo tipo California que es el más común en pavimentos. Sus características principales son:

- Armadura de aluminio
- Longitud 7.62 m
- Ancho 0.40 m
- Altura 1.40 m
- Computadora de uso rudo
- Con impresora
- Utiliza rollo de papel térmico
- Equipado con freno de estacionamiento
- Incluye software para medición de perfil
- Sistema métrico inglés
- Ruedas de 31 cm. de la estructura
- Diámetro de la rueda central 15 cm.
- Peso aproximado 204.5 Kg.
- Puede ser desarmado y transportado en un remolque o camioneta.



Foto VI. 9 Perfilógrafo computarizado



Foto VI. 10 Lectura del índice de perfil en el Km. 200 + 500 cuerpo izquierdo

VI. 2 PROCESO CONSTRUCTIVO

A continuación se presentan las distintas etapas que conforman el proceso constructivo de un pavimento rígido, cada una de las etapas estarán sujetas a un estricto control de calidad para dar como resultado un pavimento seguro y confiable.

Las 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.

En este proyecto se contempla una ampliación de aproximadamente 7.0 m. Desde los hombros exteriores de los cuerpos actuales para formar una sección de ancho de corona de 15 m. en cada cuerpo. Cada uno constará de tres carriles de circulación de 3.5 m, acotamiento interior de 1.5 m y acotamiento exterior de 3.0 m de ancho. El pavimento que se construirá sobre la ampliación y el cuerpo actual será del tipo rígido de concreto hidráulico con pasajuntas, con un espesor de 30 cm. y con un bombeo de 2.0% hacia el acotamiento exterior para proporcionar un drenaje adecuado.

VI. 2.1 PRELIMINARES

En la construcción de pavimentos de concreto se requieren de algunas actividades previas, necesarias para el desarrollo del proyecto. Estas actividades se realizan para un pavimento nuevo tanto como para una sobrecarpeta de concreto. A continuación se describen de manera breve algunas de las actividades previas a la colocación del pavimento de concreto.

VI. 2. 1. 1 Terracerias

Para el caso de pavimentos nuevos, es normal que se requiera de la formación de cuerpos de terracerias como la construcción de un terraplén y capa subrasante. Estos elementos deberán apegarse a las Normas de Construcción vigentes de la entidad especificadora.

Los cuerpos de terracerías se conforman de acuerdo con el trazo geométrico del camino, los trabajos de despalme y limpieza general del área por construir, así como los cortes en cajón en las zonas de ampliación se basan en el proyecto de terracerías ilustrados en los planos correspondientes.

En el caso de cortes en cajón una vez efectuado el despalme, se abrirán con las dimensiones indicadas en proyecto, el piso de corte deberá compactarse al 90 % de su PVSM (Peso Volumétrico Seco Máximo) en una profundidad de 0.20 m. Para los terraplenes se construirá el cuerpo con altura variable dependiendo de la rasante de proyecto y también se compactará al 90% de su PVSM.

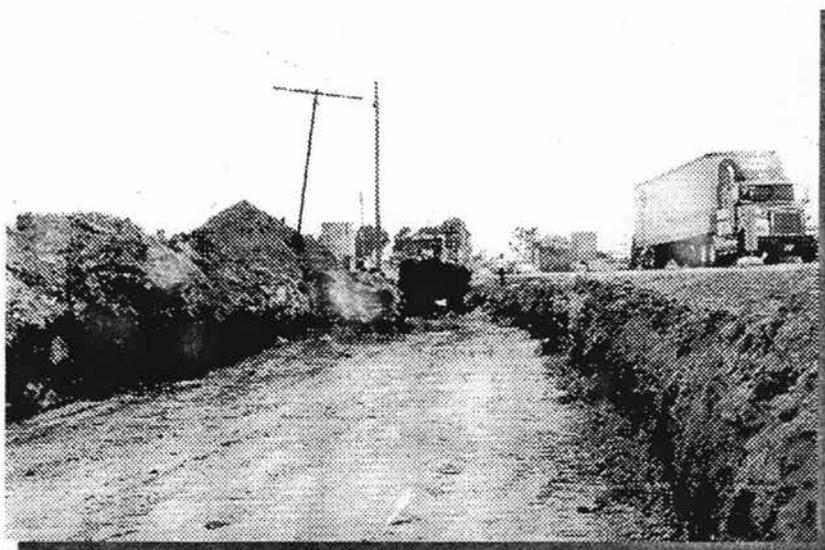


Foto VI. 11 Caja para cuerpo de terraplén KM. 158 Cuerpo derecho

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 constituirá dicha capa al 95% de su 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 del proyecto quedando en promedio 0.35 m debajo del nivel de la superficie actual del pavimento.

Con objeto de asegurar la estabilidad entre la ampliación y el cuerpo actual se excavarán escalones de liga en el caso de terraplenes cuyo peralte no excederá de 0.30 m; el piso de los escalones deberá compactarse al grado de la capa que se construya en dicha ampliación.

VI. 2. 1. 2 Ampliación exterior de 7.0 m en los cuerpos actuales

1. Base hidráulica

Sobre la capa subrasante de la ampliación debidamente terminada se construirá una capa de base hidráulica de 0.12 m de espesor utilizando material procedente de banco. El material que conforme esta capa deberá cumplir con las normas de calidad indicadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

2. 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 proporción de Cemento Pórtland a utilizar deberá determinarse mediante pruebas de laboratorio, esto con el fin de obtener una resistencia a la compresión de 21 kg/cm² como mínimo a los 7 días. En ningún caso el porcentaje de cemento podrá ser menor del 4% respecto al PVSM del material pétreo.



Foto VI. 12 Colocación de base estabilizada Km. 159 Cuerpo derecho

3. Riego de impregnación

Sobre la base estabilizada debidamente terminada, superficialmente seca y barrida, se aplicará en todo el ancho de la corona y en los taludes del material que forme dicha capa, un riego de impregnación con emulsión asfáltica a razón de 1.00 lt/m² aproximadamente. El producto asfáltico deberá cumplir con las Normas de Calidad establecidas por la entidad especificadora.

4. 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 a esta capa, se aplicará un riego de liga en todo el ancho de la misma con proporción de 0.60 lt/m².

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 dicha mezcla se hará con material pétreo de tamaño máximo de 19.1 mm (3/4").

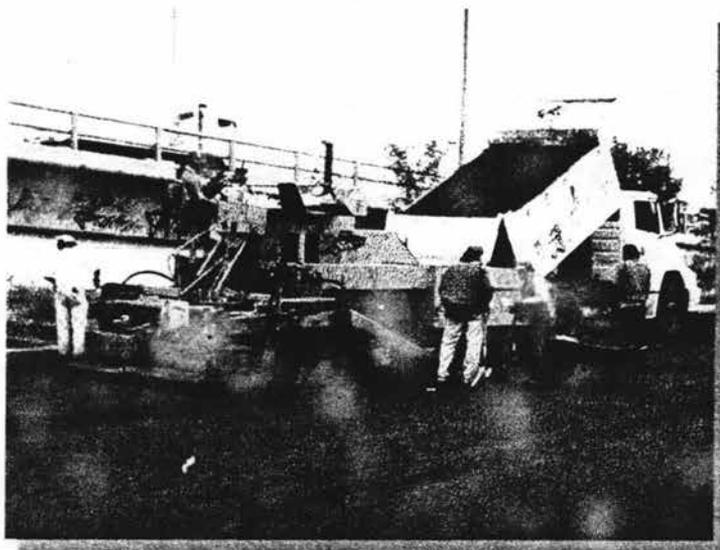


Foto VI. 13 Colocación de carpeta asfáltica

VI. 2. 1. 3 Rehabilitación del cuerpo existente

Terminados los trabajos de terracerías y la construcción de la base estabilizada y carpeta asfáltica en la ampliación del cuerpo actual, se redireccionará el tránsito por esta ampliación para posteriormente continuar con el reacondicionamiento del pavimento existente.

1. Bacheo

En los sitios del cuerpo actual indicados por la supervisión, se deberán realizar los trabajos de bacheo superficial y bacheo de caja a una profundidad de 0.3 m como mínimo en toda el área afectada. Para la ejecución del trabajo se requiere 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. 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 de proyecto, o definidos por el especificador.

Los materiales deberán disponerse de manera que cumplan todas las reglamentaciones legales vigentes al respecto, en especial las referentes a la protección del medio ambiente. Una vez terminada la compactación de la capa del fondo se deberá reponer el material desalojado con relleno fluido auto-compactable, con una resistencia a la compresión no menor a los 30 kg/cm². El relleno fluido deberá rellenar hasta el nivel original del pavimento existente y se podrá colocar en una sola capa. 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.

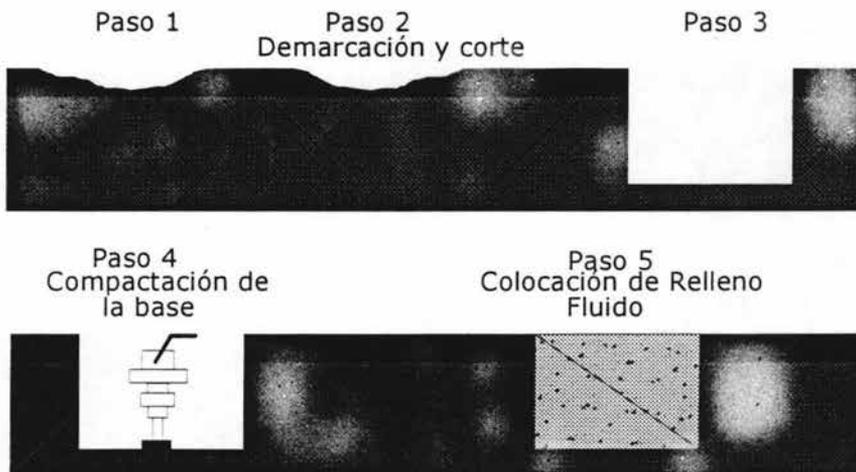


Figura VI. 1 Bacheo en caja

2. Fresado de Pavimento Asfáltico.

Con el fin de conformar la rasante de proyecto se deberá realizar el trabajo de fresado en todo el ancho y largo de las zonas inestables de la superficie del pavimento actual que acuse deformaciones, así como en los sitios que expresamente señale la supervisión. Esta última deberá señalar también los sitios de almacenamiento o desperdicio del fresado.

Este trabajo consiste en la obtención de un nuevo perfil longitudinal y Transversal de un pavimento asfáltico existente, mediante su fresado en frío, de acuerdo con los lineamientos y dimensiones indicados en los documentos del proyecto y las instrucciones del especificador, para lograr la colocación de un espesor de pavimento constante que es más fácil de cuantificar.

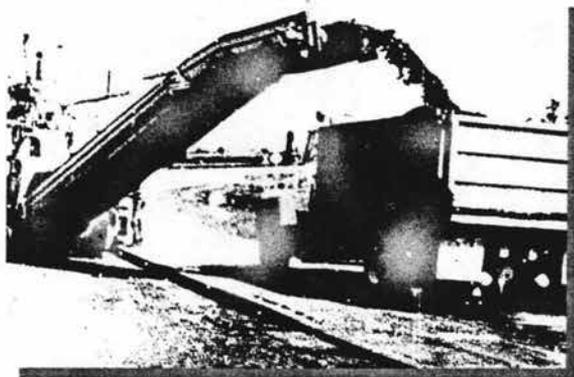


Foto VI. 14 Fresado en frío de asfalto antiguo

El equipo para la ejecución de los trabajos deberá ser una máquina fresadora cuyo estado, potencia y capacidad productiva, garanticen el correcto cumplimiento del plan de trabajo. Si durante el transcurso de los trabajos el Supervisor observa deficiencias o mal funcionamiento de la máquina, ordenará su inmediata reparación o reemplazo. Inmediatamente antes de las operaciones de fresado, la superficie de pavimento deberá encontrar se limpia y con operaciones de barrido y/o soplado que se requieran para lograr tal condición.

El fresado se efectuará sobre el área que determine la supervisión, a temperatura ambiente y sin adición de solventes u otros productos ablandadores que puedan afectar la granulometría de los agregados o las propiedades del asfalto existente. El espesor del mismo será el indicado en las especificaciones del proyecto. El material extraído deberá ser transportado y acopiado en los lugares que indiquen los documentos del proyecto. Durante la manipulación del material fresado, deberá evitarse su contaminación con suelos u otros materiales extraños.

3. Rallado y Sobrecarpeta de renivelación

En las zonas donde se requiera construir la sobrecarpeta de renivelación se realizará previamente un rallado enérgico de la superficie de rodamiento. Este trabajo se hará con rallas de 2 cms. de ancho y 1 cm. de profundidad a cada 10 cms. de separación.

Una vez efectuados los trabajos anteriormente mencionados se procederá a la construcción de una sobrecarpeta de renivelación para dar el bombeo del 2% hacia el acotamiento exterior y dar el nivel necesario para desplantar la losa de concreto.

4. 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, lo que 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:

Caso 1. Línea desplante de la losa de concreto hidráulico por arriba de la línea de rasante del camino actual.

Previa rehabilitación de la superficie actual de rodamiento de acuerdo con lo indicado en la etapa de bacheo se procederá de la siguiente manera:

a) Rallado

Se realizará un rallado enérgico de la superficie de rodamiento mediante el empleo de un equipo adecuado (rejilla), con el cual se rallará la superficie con rallas de 2 cm. de ancho y 1 cm. de profundidad a cada 10 cm. de separación.

b) Construcción del pavimento

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 del procedimiento constructivo relativos a la construcción del pavimento en la zona de ampliación.

Caso 2. Línea desplante de la losa de concreto hidráulico por debajo de la línea de rasante del camino actual.

a) Escarificación y Recompactación

Se procederá a escarificar el pavimento existente hasta 35 cm. debajo del nivel de desplante de la losa de concreto hidráulico y se recompactará la superficie descubierta al 100% de su PVSM.

b) Construcción del pavimento

Una vez recompactada la superficie se procederá a construir las capas de base hidráulica y base estabilizada con los espesores y siguiendo los mismos lineamientos del procedimiento constructivo relativos a la construcción del pavimento en la zona de ampliación.

5. Zonas de rectificación de alineamiento horizontal

En las zonas de rectificación donde la línea de proyecto no coincide 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 20cm. de espesor
- Base estabilizada de 15 cm. de espesor y,
- Losa de Concreto hidráulico de 30 cm. de espesor.

El procedimiento de construcción de esta sección de pavimento deberá apegarse a los lineamientos indicados en el 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 8.5 m. y 6.5 m. de ancho de acuerdo a lo indicado para este procedimiento.

VI. 2. 2 PAVIMENTACIÓN CON 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.

VI. 2. 2. 1 Actividades Preliminares

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 hacer más eficiente 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) Ubicación y operación de 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 homogeniza 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.

Antes de iniciar la producción de concreto se deben calibrar los elementos de medida de la planta y mantener este control periódicamente. Los elementos que se calibran son:

- Básculas, carátulas y celdas mecánicas o de carga
- 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.



Foto VI. 15 Montaje de Planta de mezclado central

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) Equipos de Laboratorio.

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 más 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 número 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 8cm. para ajustar en 6 ó 5cm., 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 un 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 cálculo 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 machihembradas.

c) 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 ultimo 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.

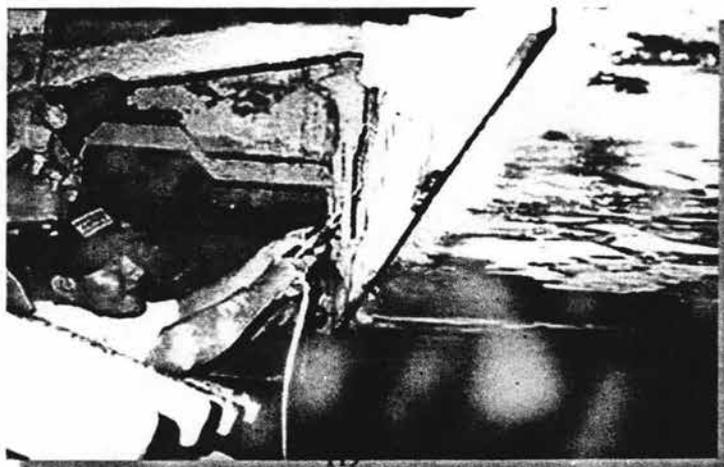


Foto VI. 16 Revisión del equipo

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 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 encuentren 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. 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.

d) 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 funciones 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.

VI. 2. 2. 2 Proceso de Pavimentación.

a) Tendido de Línea Guía.

El sistema de nivelación y dirección de la máquina pavimentadora de cimbra deslizante, está basado en la utilización de sensores hidráulicos, estos indican a la pavimentadora tanto el nivel al que deberá extender la carpeta para dar los espesores y el nivel de rasante especificado como la dirección en que deberá moverse

Con la información del cadenamiento 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.

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 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.



Foto VI. 17 Tensión de línea guía

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. 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 tensión a 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 tensada 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.

b) Colocación de pasajuntas

En las juntas transversales de contracción, en las juntas de emergencia y en los sitios que indique la supervisión 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 la losa en la posición y con las dimensiones indicadas en el proyecto.



Foto VI. 18 Barras pasajuntas en canastillas de alambón

Para la colocación de las barras pasajuntas se utilizarán monturas y silletas de alambón 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 engrasan en forma uniforme con aceite mineral con objeto de evitar adherencia con el concreto, asegurando con ello el movimiento libre de las mismas.

Se deberán colocar pasajuntas en los acotamientos, independientemente 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.

c) Colocación de barras de amarre

En la junta longitudinal, entre carriles y en la junta de construcción se colocarán barras de amarre con varillas corrugadas y deberán quedar ahogadas en la posición y con las dimensiones especificadas para cada junta. En este proyecto en particular, la colocación de las barras de amarre se hará mediante un insertador automático con el que cuenta la pavimentadora. 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, dicho dispositivo asegura la correcta colocación de las barras conforme al proyecto.

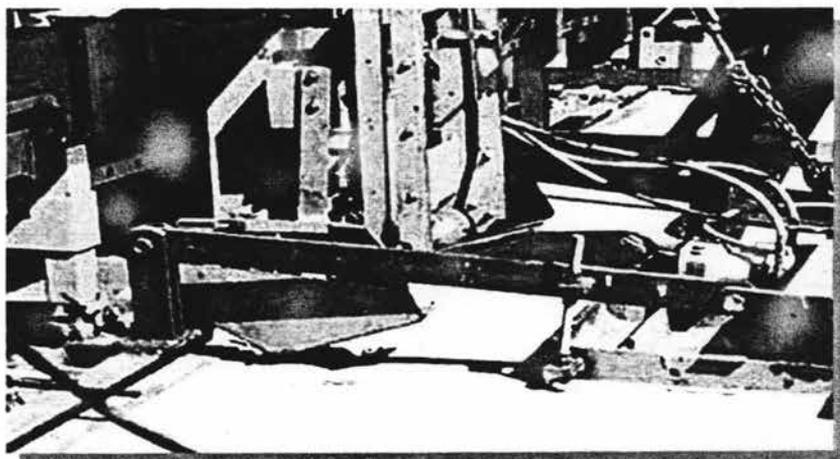


Foto VI. 19 Insertador automático de barras de amarre



Foto VI. 20 Barras de amarre en junta longitudinal

d) Junta de construcción

Es recomendable que 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 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.

La junta transversal de construcción deberá ser perpendicular al sentido de la 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 el 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.

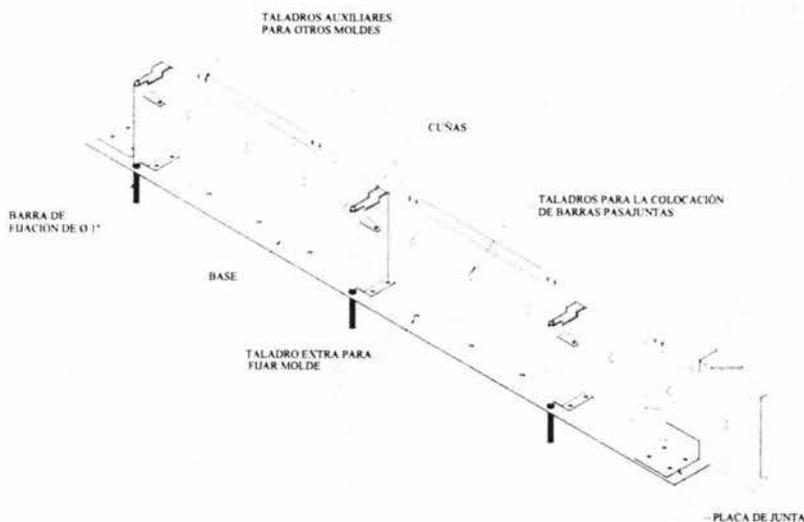


Fig. VI.2 Molde de acero para junta transversal de construcción

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 el mismo que el indicado anteriormente para la junta de construcción.

e) Junta pavimento cuneta

La junta entre el pavimento de concreto y la cuneta no es considerada como parte de la estructura del pavimento, por lo que no se requiere de algún refuerzo de amarre. Sin embargo, es probable que se produzca cierta separación con los años. Para evitar esta separación, se deberá colocar una varilla de amarre del #4 de 90 cm. de longitud a cada 112.5 cm. y se deberá sellar esta junta con el mismo material empleado en las juntas del pavimento.

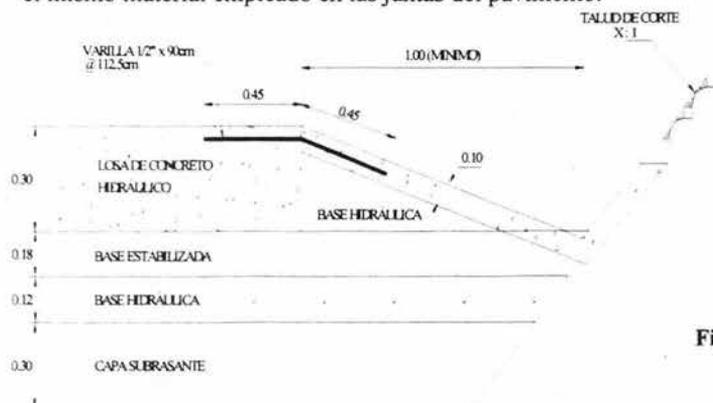


Fig. VI.3 Proyecto Tipo cuneta

Las varillas de acero de amarre deberán 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.

f) Inicio de los trabajos de pavimentación

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 humedecerla rasante.
- Colocación de la línea guía.
- Verificar la junta fría y la correcta colocación de las pasajuntas.
- Revisar el pronóstico 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.

g) Tendido del concreto

El transporte de la mezcla de concreto se efectuará en camiones no mezcladores previendo cualquier pérdida de humedad o material. La superficie sobre la que se colocará el concreto fresco deberá estar perfectamente limpia, ligeramente humedecida y libre de sustancias ajenas al concreto. Se debe mantener un ciclo constante y continuo para asegurar que la colocación y compactación del concreto se lleve a cabo dentro de los treinta minutos siguientes a su elaboración evitando paros en el proceso de pavimentación.



Foto VI. 21 Tendido de concreto

h) Pavimentación con Cimbra Deslizante.

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

El trabajo ejecutado por una pavimentadora de cimbra deslizante puede describirse en cuatro etapas:

1) Distribución de las cargas de concreto:

Esto se logra mediante un elemento sin fin (gusano) situado al frente de la pavimentadora el cual distribuye el concreto proveniente de los camiones de volteo a todo el ancho del pavimento, inmediatamente después se encuentra la placa extrusora del concreto (Profile- pan), con la cual el concreto toma la forma de la losa dejándolo ligeramente arriba del nivel final del pavimento, 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.

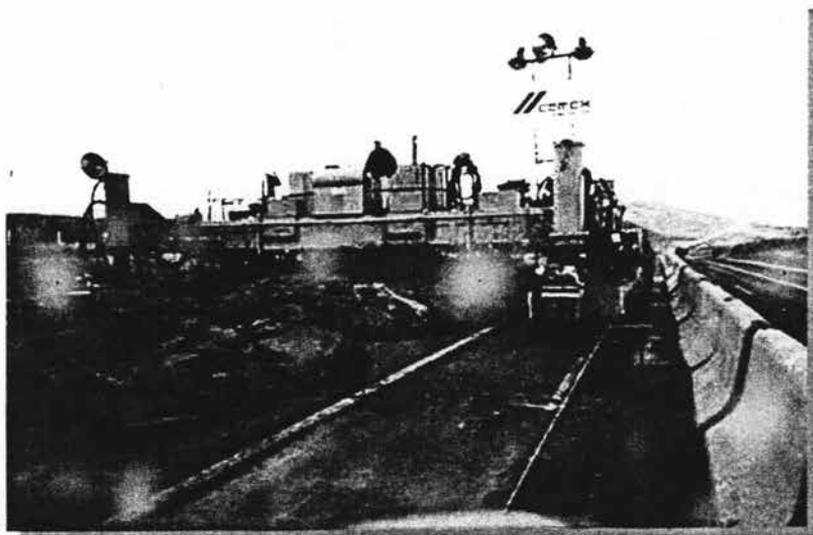


Foto VI. 22 Distribución del concreto

2) Consolidación del concreto:

Esto se logra mediante una batería de vibradores de inmersión situados en el panel medio de la pavimentadora, conocida como caja de vibradores. Los vibradores tienen dos funciones, consolidar el concreto y hacerlo fluido para que pase por el molde.

Cualquier falla en un vibrador se manifestará inmediatamente en el aspecto de la losa de concreto, en este caso debe apoyarse con vibradores manuales. 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.

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 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 (Vueltas por minuto) y se controla desde el puesto de mando de la pavimentadora. En general la energía requerida varía entre 7.000 y 9.000 VPM.

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.

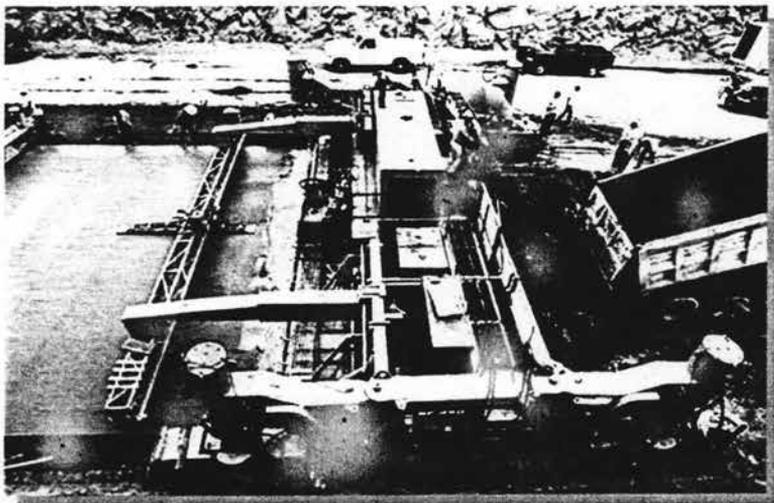


Foto VI. 23 Pavimentación con cimbra deslizante

3) Conformación del cuerpo del pavimento:

La cimbra deslizante de la máquina se encuentra en los lados, misma que los elementos superiores confinan al concreto. Se puede dividir en dos secciones, una que confina el concreto para lograr que el gusano lo pueda esparcir y otra que va desde la lámina metálica horizontal o strike-off que da las condiciones de pendiente transversal de la vía, 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. 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.



Foto VI. 24 Avance del tren de Pavimentación

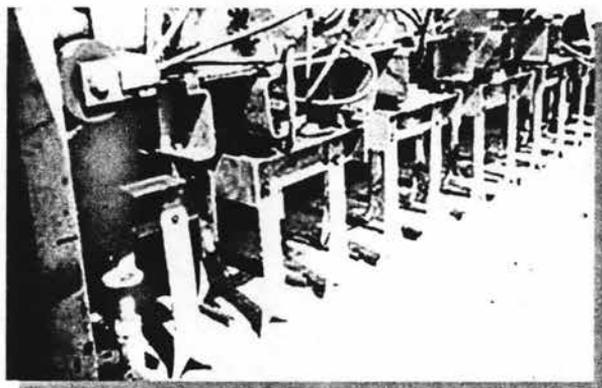


Foto VI. 25 Insertador automático de pasajuntas (opcional)

4) Terminado de la superficie del Pavimento. :

Es el proceso para obtener la textura de la 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 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.

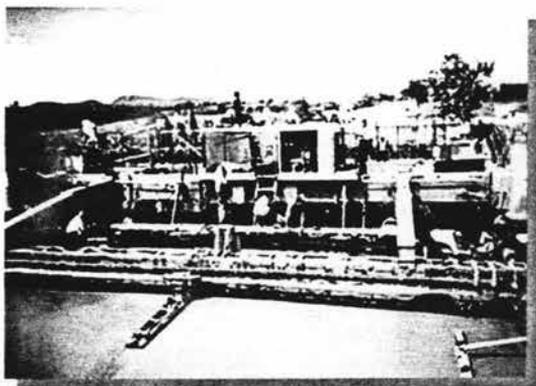


Foto VI. 26 Llana mecánica oscilatoria

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.

Las llanas metálicas mas 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. 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.

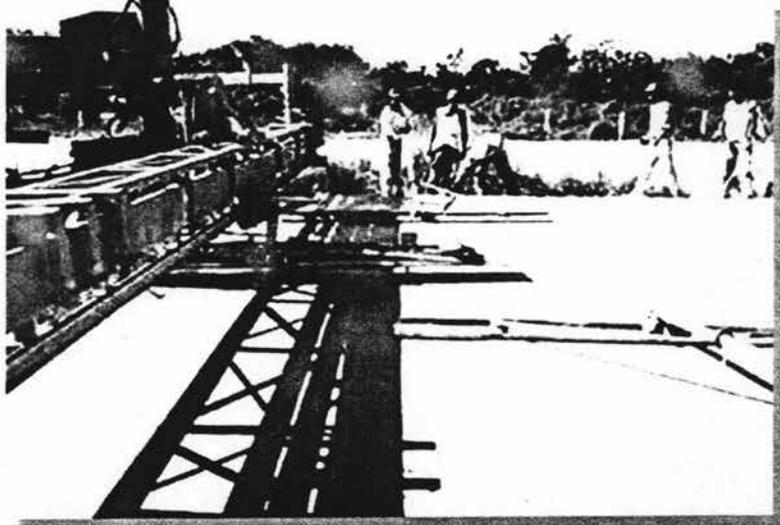


Foto VI. 27 Llana mecánica y llanas manuales

i) Acabado superficial del pavimento

Es el proceso para obtener la textura de la superficie de concreto acorde a las especificaciones del proyecto, homogénea segura y durable mediante técnicas sencillas y de rápida ejecución. Para este proyecto se cuenta con una texturizadora-curadora. Este equipo realiza los tres procesos necesarios para brindarle al pavimento las condiciones requeridas.

1. 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 superficies 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.

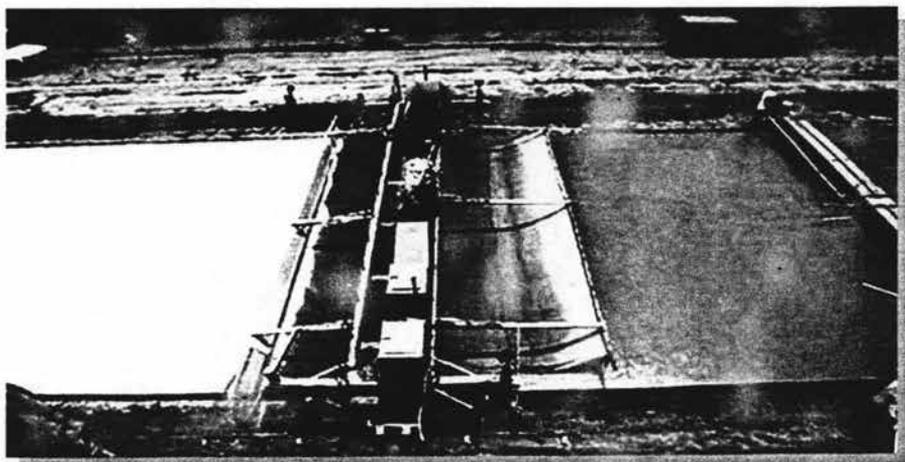


Foto VI. 28 Microtexturizado longitudinal

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.

2. Macrotexturizado Transversal:

El macrotexturizado o texturizado transversal se realiza con peine metálico generalmente con una separación entre dientes de 20 mm. y ancho de 3 mm. Este proceso 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 las 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.

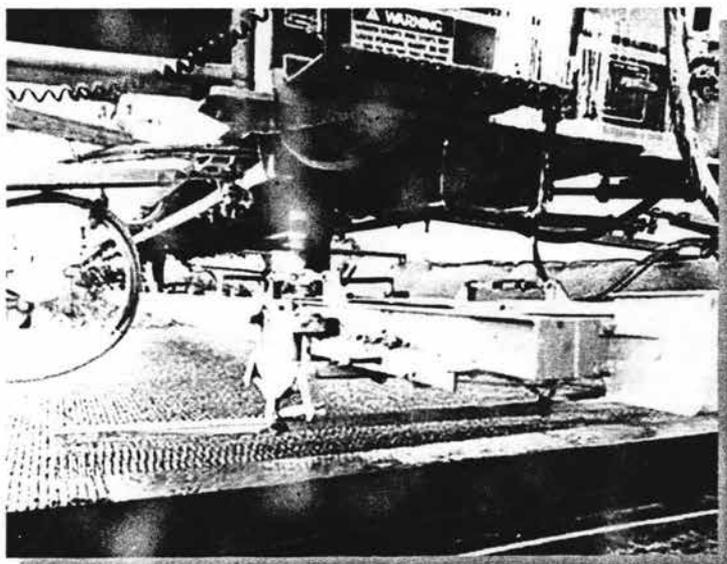


Foto VI. 29 Macrotexturizado transversal

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.

3. Curado del Concreto:

Posteriormente al proceso de texturizado tanto transversal como longitudinal se procederá al curado de la losa. Esta operación se efectuará aplicando en la superficie una membrana de curado compuesta a base de agua y parafina de pigmentación blanca colocándose a razón de un litro por metro cuadrado (1 lt /m^2), 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.

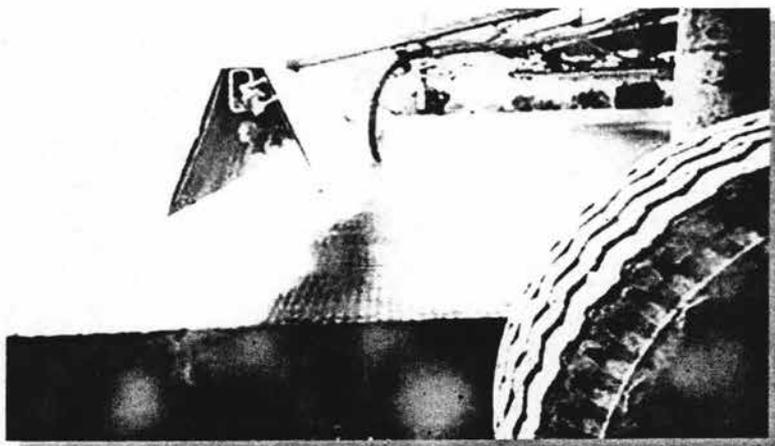


Foto VI. 30 Aplicación de membrana de curado

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 es una 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 del 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.

j) 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.

1. Juntas Frías (juntas de construcción o de emergencia)

Es necesario realizar una planeación adecuada de juntas frías, para mantener la uniformidad en el pavimento y evitar desperdicios o faltantes de concreto. La junta fría 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 fría con una junta de contracción.

2. Corte de Juntas.

El proceso de corte se realiza para inducir el agrietamiento controlado del concreto debido a su contracción por secado, se realiza en juntas transversales y posteriormente en las juntas longitudinales previamente localizadas y marcadas para la correcta formación de los tableros.

El corte de las losas de concreto es una generalidad de todos los pavimentos de concreto, en pavimentos construidos con cimbra deslizante se debe hacer énfasis en el estado, el tipo y el número 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.

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 iniciar a las 4 ó 6 horas de haber colocado el concreto y deberá terminar antes de 12 horas después del colado.

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



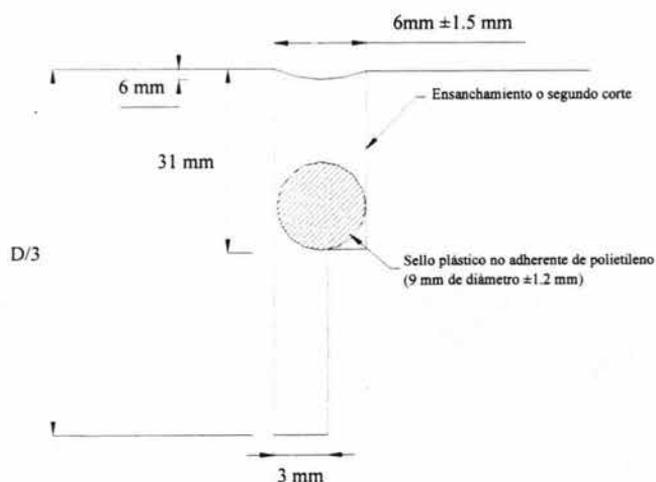
Foto VI. 31 Equipo de Corte

3. Ensanche de Juntas.

El primer corte de juntas se hará a una profundidad de 10 cm. con un ancho de 3 mm. Dentro de las 18 horas después del colado. Posteriormente se realizará el ensanche de la junta o segundo corte para obtener suficiente espacio donde alojar el material que se usará en el sello y de esta manera obtener una forma escalonada que permita el correcto desempeño del sellador.



Foto VI. 32 Segundo Corte



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.

k) 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.



Foto VI. 33 Limpieza con agua a presión

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 la tirilla de respaldo
- 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.



Foto VI. 34 Secado con aire



Foto VI. 35 Equipo para secado con aire



Foto VI. 36 Tirilla de respaldo

VI. 3 ACTIVIDADES FINALES Y RESULTADOS

Concluyendo el proceso de pavimentación se presentan actividades finales necesarias para que el pavimento de concreto cumpla con las condiciones de servicio para las que fue proyectado.

1. Losa de concreto hidráulico 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 el pavimento en el carril y acotamiento exterior sobre la ampliación.

A partir de la junta de construcción longitudinal de la primera franja de concreto hidráulico y con las barras de amarre colocadas durante la primera etapa se procederá a construir la sección restante de 6.50m., no sin antes haber detectado y reparado los daños que pudiera haber sufrido la ampliación por la desviación del tránsito sobre esta.

2. Apertura al tráfico

Concluyendo el proceso de pavimentación la apertura al tráfico 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 de ochenta por ciento (80%) de la de proyecto como mínimo.



Foto VI. 37 Entrada a la ciudad de Querétaro

3. Actividades finales

Al cerrar la construcción se presentan nuevas etapas como las de señalización y protección en donde es necesaria la colocación de:

- señales elevadas
- señales bajas
- defensas metálicas
- defensas de choque
- pintura termoplástica
- cercado de derecho de vía
- limpieza general del tramo



Foto VI. 38 Acotamiento izquierdo, cuerpo derecho

4. Características finales del tramo

- Considerando la estructura final del pavimento (sub-base, base hidráulica y losa de concreto) el tramo está diseñado para cumplir su vida útil en condiciones aceptables de servicio y con un mantenimiento mínimo, basado en la limpieza de juntas.
- Los materiales empleados en la construcción de la sección total del camino (terraceras y pavimento) reúnen características de calidad deseable.
- De acuerdo al T.D.P.A. (superior a los 3000 vehículos) el camino es de muy alto tránsito, de los de más circulación en México.
- La rehabilitación del tramo con carpeta asfáltica de espesor de 17 cm. sería suficiente para habilitar el tramo por 15 años aproximadamente, pero con el pavimento de concreto su vida útil aumenta un mínimo de 20 años (de acuerdo a diseño) y con un adecuado mantenimiento podría aumentarse a 30 o más años.
- Se colocaron pasajuntas en los acotamientos para evitar pérdida de carga a lo largo de la vida útil del pavimento
- Se trata de la primer autopista en México con un ancho de corona de 15 m, en razón del aforo vehicular que la transita.
- El proceso constructivo se realizó en dos etapas: una franja de 6.50 m con una máquina CMI- SF350 del Grupo Cemex y la otra de 8.50 m con una máquina CMI-6004 del grupo Marnhos
- La elaboración del concreto se realizó en dos plantas de mezclado central, marca Rexcon de 12 yardas cúbicas, con un volumen de 9 m^3 . La capacidad de producción de cada planta es de 35 bachadas de 9 m^3 por hora, lo cual da en teoría un rendimiento nominal de $3,600 \text{ m}^3$ al día
- La prueba de reactividad álcalis-agregados reveló que tanto la grava como la arena a utilizar resultaban reactivos con el cemento, lo que origino el uso de un cemento Pórtland Puzolánico.



Foto VI. 39 Pavimento terminado

CAPITULO

VII

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas por la utilización del concreto hidráulico en la rehabilitación del tramo Palmillas – Querétaro, así como las recomendaciones para evitar o solucionar problemas a lo largo de la vida útil de la carretera.

VII.1 CONCLUSIONES

Al finalizar el procedimiento constructivo de una forma adecuada, tanto en su metodología como en su control de calidad, podemos concluir que los pavimentos rígidos ofrecen las siguientes ventajas:

- Permiten su colocación sobre carpetas asfálticas que exhiban cualquier deterioro superficial requiriendo un mínimo trabajo para la colocación del concreto
- La vida útil del camino se incrementa 20 años disminuyendo drásticamente los costos de mantenimiento
- Una vez terminado el pavimento presenta un color blanco que aumenta el reflejo del sol, pero al poco tiempo de circulación y por los efectos del clima este se va volviendo opaco; lo que ya no representa un riesgo para los usuarios.
- Se tiene una mejor visibilidad nocturna debido al color claro del pavimento de esta manera aporta un factor más de seguridad
- Con el concreto hidráulico se logra una superficie de rodamiento con alto grado de planicidad y dada su rigidez permanece plana durante toda su vida útil evitando la formación de roderas, la piel de cocodrilo y demás imperfecciones que se presentan en los pavimentos flexibles.
- Requieren de un mantenimiento mínimo el cual consiste principalmente en la limpieza o resello de las juntas. Aproximadamente de 12 a 20 veces de costo más bajo que en los pavimentos flexibles.
- El pavimento rígido ofrece una superficie sin deformaciones en zonas de arranque o frenado así como un mejor drenaje superficial aumentando la seguridad y calidad del mismo. La losa de concreto tiene dos tipos de textura, una longitudinal que le da mayor resistencia al derrape y otra transversal que ayuda a un buen drenaje del pavimento.
- El pavimento rígido requiere de una inversión inicial de un 5 a un 20% mayor que el flexible; sin embargo si se consideran los costos de mantenimiento a lo largo de la vida útil, el pavimento de concreto resulta entre un 40% y 50% más económico.

- Los pavimentos rígidos requieren de una estructura de soporte de ancho menor que la de los pavimentos flexibles; debido a que la losa de concreto toma un mayor porcentaje de carga que las capas inferiores.
- La mayor ventaja del concreto en las carreteras es que se comporta mejor ante el tráfico pesado, cosa que no ocurre con el asfalto, ya que los vehículos con peso mayor a 3 toneladas deterioran el pavimento de manera rápida y permanente lo que ocasiona la rehabilitación constante.

En los pavimentos de concreto adquiere gran importancia el proceso constructivo debido a que si este se realiza conforme a las especificaciones correspondientes, el mantenimiento se reduce y el comportamiento de la carretera resulta favorable ante las solicitaciones de carga.

VII. 2 RECOMENDACIONES

A continuación se enlistan algunos aspectos que hay que tomar en cuenta durante el proceso constructivo de los pavimentos rígidos, ya que hay que cuidar todos los aspectos en la obra para evitar pérdidas económicas, así como de calidad.

Ampliación de pavimento

- El periodo de diseño de la sobrecarpeta como de la nueva construcción ha ampliarse deben ser las misma para evitar la necesidad de una rehabilitación futura a edades significativamente diferentes.
- La sección transversal ampliada generalmente debe corresponder lo mejor posible con la sección transversal en tipo de material, espesor, refuerzo y espaciamiento de juntas
- A lo largo de la junta longitudinal deben colocarse barras de amarre o sujeción preferentemente del #5 x 75cm espaciadas a no mas de 80cm. Esto con el fin de evitar el corrimiento de las losas en el punto donde se efectuó la ampliación.
- La sobrecarpeta debe tener el mismo espesor sobre la ampliación que en el resto de la calzada.

Terracerias

- Es recomendable para cualquier proyecto la utilización de bases tratadas con cemento o bases de relleno fluido, debido a que tienen como componente al cemento Pórtland y su estructura interna no se ve tan afectada por la humedad como las bases y las sub-bases de materiales granulares no ligadas
- Los bancos de materiales deben localizarse en lugares cercanos a la obra, para así disminuir en lo posible los costos de acarreo. En caso de tratarse de una rehabilitación es posible utilizar los mismos bancos para la construcción del tramo.

- Mantener un constante trabajo de laboratorio durante la compactación de las capas de soporte del pavimento, para que estas cumplan con el grado de compactación de proyecto; ayuda de gran forma al comportamiento del pavimento.
- La protección de los taludes contra la erosión es muy importante; es necesario el arroje de los taludes para evitar la erosión en las capas de soporte. Esto se puede lograr utilizando material con características de base hidráulica compactado en capas.

Proceso de pavimentación

- Antes de recibir el concreto es importante tener la base o rasante saturada para recibir el concreto ya que las bases con falta de agua pueden absorber agua del concreto y reducir la hidratación del cemento ocasionando bajas resistencias.
- Es fundamental un suministro continuo y homogéneo del concreto. Así como lograr movimientos uniformes de la pavimentadora
- Evitar lo mas posible el paro de la pavimentadora ya que esto puede repercutir directamente en la geometría y superficie del pavimento
- 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.
- 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 trafico 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.
- El concreto 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 deberá ser revisado por el laboratorio para determinar la pérdida de trabajabilidad y ajustar la producción en la planta

Colocación de pasajuntas

- Evitar el uso de canastas fabricadas con alambón de calibre inferior al necesario para soportar el peso de la descarga directa del concreto desde un camión de volteo.
- Nunca utilizar pasajuntas oxidadas y/o sin engrasar (lo cual impedirá el libre movimiento horizontal de la pasajunta)
- Fijar bien la canastilla a la superficie de la base (lo que generaría movimientos de la misma)

Acabado superficial

- El tiempo de aplicación entre el microtexturizado longitudinal y el macrotexturizado transversal es responsabilidad del operador de la texturizadora bajo el control del jefe de pavimentación, sin embargo una idea es que la tela de yute avanza 100 metros al regresar al punto inicial, el pavimento estará listo para recibir el peine metálico.

Curado

- Un concreto que no se cura adecuadamente puede dejar de ganar hasta un 50% de su resistencia, por esto la importancia de proveer un perfecto curado al pavimento.
- Los compuestos curadores más 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 la aplicación.
- Las muestras cilíndricas obtenidas durante el proceso de pavimentación deberán colocarse a un lado del tramo con la finalidad de que reciban la misma membrana de curado que la losa de concreto. Esto servirá para determinar el momento que el concreto haya alcanzado la resistencia necesaria para abrir la circulación del tramo.

Juntas

- Evitar losas de forma irregular, manteniendo en la medida de lo posible losas tan cuadradas como sea posible, ya que losas angostas y largas tienden a agrietarse más que las cuadradas
- La separación máxima entre juntas transversales deberá de ser 24 veces el espesor de la losa, no excediendo los 5.0m.
- En pavimentos construidos con cimbra deslizante se debe cuidar el estado, el tipo y número de equipos de corte para garantizar un trabajo continuo de buena calidad y que permita cortar toda el área pavimentada durante una jornada de trabajo.

- El corte de las juntas en nuestro país debe iniciar a las 4 o 6 horas de haber colocado el concreto y deberá terminar antes de 12 horas después del colado.
- Deberán realizarse primero los cortes transversales y posteriormente los longitudinales, procurando marcar en los bordes de la losa exactamente la localización de las juntas transversales para evitar un corte erróneo.
- Evitar el sello de las juntas con asfalto aunque tiene un aceptable comportamiento su vida útil no rebasa los 10 años; por lo que su uso se limita a pavimentos en zonas urbanas. En cambio los selladores a base de silicón tienen una durabilidad cercana a los 20 años.

VII. 2. 1 Problemas y reparación del concreto

El concreto como material de construcción tiene como principal ventaja su durabilidad. Sin embargo esta expuesto a una gran variedad de factores ambientales por lo que requiere de algún tipo de reparación durante su vida útil

VII. 2. 1. 1 Clasificación de problemas en el concreto

Para seleccionar el tipo de técnicas y materiales de reparación que deberán usarse y poder obtener buenos resultados en la reparación, es esencial determinar las causas que provocaron el deterioro.

- **Expansión álcali-agregado**

Es la reacción química entre ciertos componentes de algunos agregados y los álcalis del cemento Pórtland que puede iniciarse desde el mismo momento en que el concreto ha sido colocado o bien podría aparecer después de varios años. Esta es una reacción interna cuya manifestación en la superficie puede variar desde pequeñas grietas, hasta la total destrucción del concreto.

Esta reacción es progresiva, especialmente en presencia de humedad es necesario hacer un examen petrográfico. La solución adecuada a este problema es reemplazar totalmente el concreto, utilizando agregados no reactivos o un cemento con bajo álcali.

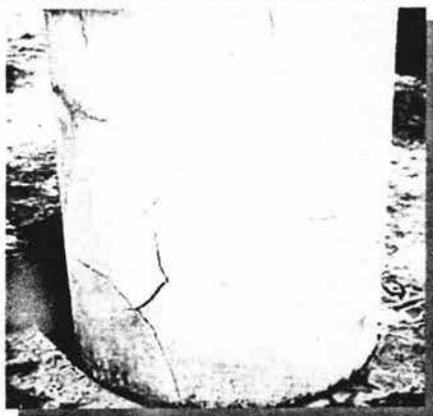


Foto VII. 1 Presencia de grietas ocasionadas por la reacción álcali-agregado

- **Cavitación**

Es la erosión del concreto, causada por el rápido movimiento de un líquido sobre la masa de concreto. La cavitación es especialmente intensa cuando la superficie de concreto es irregular con lo cual se altera el flujo de los líquidos. La erosión típica por cavitación de líquidos se presenta en agrietamiento y desgaste en forma de panal.

- **Agrietamiento superficial**

Son grietas hexagonales que se presentan generalmente después de que el concreto ha endurecido. Este agrietamiento resulta de la contracción del concreto en la superficie en forma más rápida que en el interior de la masa de concreto y es causada por una mezcla demasiado rica o con alto revenimiento, por iniciar rápidamente la operación de acabado o de acabado excesivo, o subrasante absorbente. Aun cuando el agrietamiento es inactivo, al estar expuesto el concreto a condiciones ambientales adversas puede llevar a un deterioro progresivo del concreto.

- **Permeabilidad**

Es un problema resultante de grietas, huecos, poca densidad del concreto, insuficiente espesor del elemento de concreto, en general deterioro o exposición a presiones hidrostáticas para las cuales el elemento no fue diseñado.

- **Formación de superficies polvosas**

Ocurre cuando la superficie de concreto es suave y se desprende rápidamente por la acción del tránsito o la abrasión. Este fenómeno se manifiesta como un polvo fino y es más frecuente donde el tránsito es muy pesado. Las causas más comunes de este fenómeno son: mezclas de concreto con exceso de agua, puesta en servicio en forma prematura o esfuerzos excesivos del elemento, materiales orgánicos en los agregados o curado inadecuado.

VII. 2. 1. 2 Conservación de Pavimentos de concreto

La mejor disposición posible para la conservación del concreto consiste en emplear materiales de buena calidad y los mejores métodos de construcción, ya que de este modo serán poco frecuentes las reparaciones. Los defectos que aparecen en un pavimento de concreto casi siempre tienen su origen en alguna falla ya sea en los materiales, en la elaboración y colocación del concreto o por descuidar algún aspecto importante en la preparación de la sub-base.

a) Clasificación de las reparaciones

Las reparaciones más importantes que requiere un pavimento de concreto son las siguientes:

- Reposición del pavimento en donde se ha tenido que demoler para sustituir la losa o instalar tubería o algún otro servicio.
- Reparación de las depresiones o porciones deterioradas, causadas ya sea por fallas propias de la construcción o por el efecto normal del uso
- Limpieza o reposición del material de sello en las juntas para evitar el paso del agua en las capas de soporte.

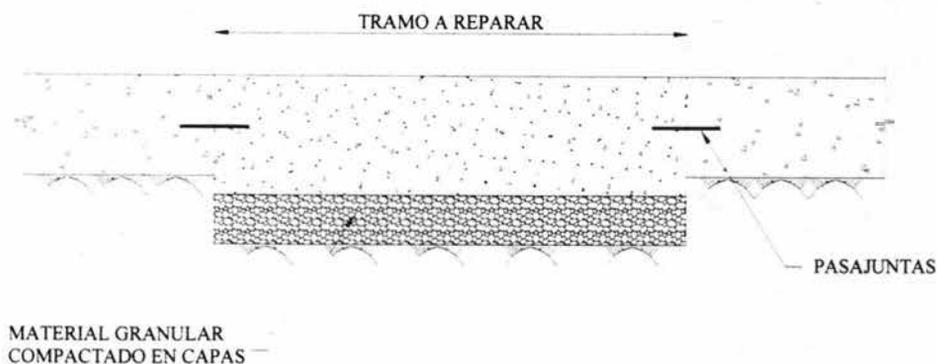


Fig. VII.1 Reposición de losa de concreto por falla del terreno de apoyo

b) Tipos de grietas

Las grietas pueden ser ocasionadas por defecto en la elaboración del concreto, que presenta el agrietamiento antes del fraguado del concreto; y otras las que se presentan después del fraguado ocasionadas por fallas en la sub-base. Estas grietas se pueden clasificar según su forma o posición en la losa de concreto.

- **Grieta en forma de pata de cuervo**

Pueden ser paralelas a la orilla del pavimento o formando un ángulo y pueden ser originadas por falta de sello en las juntas ocasionando el depósito de materias extrañas.

- **Rotura de esquina**

Estas grietas generalmente forman un triángulo con lados de cuando menos 45cm de longitud y son originadas por haber sobrepasado los esfuerzos permisibles.

- **Grieta diagonal**

Son causadas por diferencia en la capacidad de soporte de la sub-base. Estas diferencias pueden ser debidas a asentamientos.

- **Grietas transversales**

Estas pueden ser causadas por la falta de una junta de contracción o por un espaciamiento demasiado grande entre juntas.

- **Grietas por contracción**

Este tipo de grietas se forma por la pérdida rápida de agua cuando el concreto está fresco, la cual puede ser debida a la falta o escasez del curado inicial, a la rápida evaporación o a la absorción del agua por la sub-base por encontrarse seca.

- **Grietas activas**

Son aquellas grietas que se presentan como inicio de un daño mayor, y pueden llegar hasta la destrucción total del concreto.

- **Grietas inactivas**

Se presentan en la losa de concreto antes o después del fraguado pero no deterioran de mayor forma al concreto, causando generalmente un daño superficial.

VII. 2. 1. 3 Técnicas de reparación

Una vez que se hayan establecido las causas y tipos de deterioro, se procede a definir la técnica de reparación más efectiva y económicamente posible, ya que el objetivo de cualquier reparación debe ser devolverle al concreto su condición de comportamiento estructural satisfactorio, durabilidad y apariencia a un costo accesible. En la siguiente tabla se presentan los principales problemas en los pavimentos de concreto, así como su material y técnica de reparación.

DAÑO EN EL CONCRETO	TÉCNICA DE REPARACIÓN	MATERIAL DE REPARACIÓN
Reacción álcali-agregado	Recubrimientos Reposición del concreto Revestimientos Reemplazo total	Concreto de cemento Pórtland Material de revestimiento Utilización de cemento Pórtland Puzolánico
Cavitación	Recubrimientos Reposición del concreto Mortero aplicado reumáticamente	Materiales para revestimiento Mortero Pórtland

DAÑO EN EL CONCRETO	TÉCNICA DE REPARACIÓN	MATERIAL DE REPARACIÓN
Grietas activas	Retaque Revestimiento Amarre Tensado	Selladores elásticos Materiales para revestimiento Grapas de acero en forma de "u"
Grietas inactivas	Retaque Recubrimientos Reposición del concreto Pulido Lechada Mortero aplicado neumáticamente Revestimientos	Selladores elásticos Morteros para revestimiento Concreto de cemento Pórtland
Agrietamiento superficial	Recubrimientos Revestimientos Limpieza con chorro de arena	Materiales para revestimiento Arena Materiales de fraguado rápido
Descostamiento	Recubrimientos Reposición del concreto Empacado Reemplazo con mortero Reemplazo total	Morteros expansivos Materiales de fraguado rápido Concreto de cemento Pórtland Lechada de Cemento Pórtland Mortero de cemento Pórtland
Pequeños huecos	Recubrimientos Reemplazo con mortero Sobrecarpetas con o sin adherencia Empacado en seco	Mortero de cemento Pórtland Concreto de cemento Pórtland Lechada de Cemento Pórtland
Grandes huecos	Recubrimientos Reparación con corte Reposición del concreto Reemplazo total	Material epóxico Concreto de cemento Pórtland Material granular para la sub-base
Permeabilidad	Recubrimientos Reemplazo total Mortero aplicado neumáticamente	Materiales para revestimiento Concreto de cemento Pórtland Mortero de cemento Pórtland

En caso de presentarse alguno de estos problemas en el pavimento de concreto deberá atacarse inmediatamente para evitar daños mayores que puedan causar problemas al usuario. De no presentarse ningún problema durante la construcción del pavimento y se sigue un estricto control de calidad, el mantenimiento consistirá en la limpieza periódica de las juntas y en algunos casos el resello de las mismas.

GLOSARIO

- **Aditivo**

Es un material diferente del agua, de los agregados y del cemento hidráulico, que se puede emplear como componente del concreto o mortero, que se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado, y que modifica algunas características del concreto.

- **Aglutinante hidráulico o cementante**

Es el cementante que al agregarle agua, ya sea solo mezclado con arena u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar formando una masa endurecida.

- **Agregados**

Son los materiales naturales, manufacturados o artificiales, que se mezclan con los cementantes para hacer concretos o morteros.

- **Alabeo**

Deformación curva que presentan las losas de concreto debido a variaciones de temperatura y humedad.

- **ASTM**

American Society of Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales)

- **Consistencia**

Es el grado de plasticidad del concreto fresco o del mortero para fluir. La forma usual de medirlo es con la prueba de revenimiento y resistencia a la penetración para la pasta de cemento.

- **Contracción**

Disminución del volumen en el concreto o mortero causado por la pérdida de agua, cambio químico y temperatura a través del tiempo

- **Durabilidad**

La característica del concreto para resistir la acción de la intemperie, ataque químico y sus condiciones de servicio a través del tiempo.

- **ESAL's**

Ejes Sencillos Equivalentes de 8.2 ton.

- **Fraguado**

La condición alcanzada por una pasta de cemento, mortero o concreto cuando pierde plasticidad con un grado arbitrario, usualmente medida en términos de resistencia a la penetración o deformación. El fraguado inicial se refiere al primer endurecimiento; el fraguado final se refiere a la obtención de una rigidez significativa.

- **Grieta**

Abertura en el concreto de magnitud importante que puede ser o no el inicio de una falla estructural

- **Núcleo o corazón**

Muestra cilíndrica de concreto endurecido o roca, extraído por medio de una broca hueca.

- **Pci**

Libras por pulgada cúbica $1 \text{ pci} = 0.0277 \text{ kg/cm}^3$

- **Psi**

Libras por pulgada cuadrada $1 \text{ psi} = 70.32 \text{ kg/cm}^2$

- **Relación agua -cemento**

La relación en peso entre la cantidad de agua, excluyendo la absorbida por los agregados, y la cantidad de cemento empleado en la mezcla.

- **Resistencia**

Es la oposición que presenta un elemento a solicitaciones de fuerzas que actúan en dicho elemento.

- **Resistencia a la compresión**

La oposición que presenta un espécimen o elemento de mortero o concreto bajo carga axial, expresada como la fuerza por unidad de área directa, generalmente presentada en (kg/cm^2)

- **Resistencia a la flexión**

Es la oposición que presenta un elemento o miembro estructural a solicitaciones de fuerzas combinadas de tensión y compresión.

- **Revenimiento**

Prueba realizada al concreto fresco para medir su consistencia antes de ser utilizado. Generalmente se mide en centímetros; en cuanto menor sea el revenimiento la consistencia es mayor y es posible alcanzar mayor resistencia.

- **Segregación**

Es la separación de los constituyentes de un todo ordenado, de modo que la distribución de las partículas deja de ser uniforme.

- **Textura**

El acabado aparente de una superficie expuesta

- **Trabajabilidad**

Es la facilidad o dificultad que presenta un concreto para colocarlo, compactarlo y darle acabado superficial en función del elemento de que se trate y del equipo que se disponga.

- **Vibrador**

Equipo de agitación empleado para facilitar el acomodo de las partículas y la eliminación del aire atrapado.

BIBLIOGRAFIA

Manual de Construcción de Pavimentos de Concreto hidráulico
Cementos Mexicanos (CEMEX)
México año 2000

Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres A.C.
XIII Reunión Nacional de Vías Terrestres
Situación actual y futura de la infraestructura de transporte en México
18 al 22 de Agosto de 1998, Oaxtepec Morelos

IMCYC – FICEM. "Primer Foro Interamericano de Pavimentos de Concreto Hidráulico"
Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto–Federación Interamericana del Cemento.
México 27, 28, 29 y 30 de Mayo, 1998.

Normas y especificaciones técnicas para construcción de carreteras
Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) 2003
Construcción de Pavimentos de concreto hidráulico
Acero para pavimentos de concreto

Salazar, Aurelio. "Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos"
IMCYC México, 1998.

Darter, Michael "Avances en la Guía de Diseño AASHTO del 2002"
ERES Consultant Inc.
México 1999.

Crespo, Carlos. "Mecánica de suelos y cimentaciones"
Editorial Limusa, México, 1991.

Mayor, Rafael. "Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones"
Grupo Editor Alfa omega
México, 1998