

36



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**COSTOS DISEÑO Y CONSTRUCCION
DE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRAULICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A:

ERIK ALFONSO FERNANDEZ LOPEZ



DIRECTOR DE TESIS: ING. LUIS CANDELAS RAMIREZ

MEXICO. D.F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

2002



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/ 079/02

Señor
ERIK ALFONSO FERNÁNDEZ LÓPEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. LUIS CANDELAS RAMÍREZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"COSTOS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO"

- INTRODUCCIÓN**
- I. ANÁLISIS ECONÓMICO DE PROYECTOS CARRETEROS**
 - II. DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**
 - III. PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**
 - IV. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 20 de mayo de 2002
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

Agradecimientos:

- ❖ Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme brindado la oportunidad de cursar una carrera profesional en una de las mejores escuelas del país.
- ❖ Agradezco a la Facultad de Ingeniería por haberme brindado la oportunidad de prepararme en mi formación académica, para enfrentar los problemas que se presenten durante mi desempeño profesional.
- ❖ Agradezco a todos los profesores por transmitirme los conocimientos teóricos y su experiencia profesional.
- ❖ Agradezco a mis tíos Ing. Virgilio Alfonso López Posada e Ing. Rubén Darío López Posada por apoyarme y por servirme de ejemplo durante mis estudios.
- ❖ Agradezco al Ing. Luis Candelas Ramírez por apoyarme como director de esta tesis.

DEDICATORIAS

Dedicatoria

A mis mamas Elia, Silvia, Andrea, Clotilde por apoyarme en todos los aspectos durante mis estudios y hasta hoy, GRACIAS.

A mi Papá José Luis, que siempre me brindo confianza y apoyo además de ganarse ese lugar desde que yo era muy pequeño.

A mis tíos Ángel, Alfonso, Rubén, que siempre nos han apoyado y han permitido que seamos una familia unida en muchos aspectos.

A mis primos mas cercanos Ángel y Edgar por ser como mis hermanos ya que los tres somos hijos únicos.

A todos MUCHAS GRACIAS

ÍNDICE

ÍNDICE

**COSTOS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE
PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
I ANÁLISIS ECONÓMICO DE PROYECTOS CARRETEROS.....	3
I.1 Análisis de Costos en Proyectos con Pavimentos.....	4
I.1.1 Costos de una Carretera.....	5
I.1.1.1 Costos de Inversión Inicial.....	5
I.1.1.2 Costos de Operación.....	6
I.1.1.3 Costos de Mantenimiento.....	6
I.1.1.4 Costos de los Usuarios.....	7
I.1.2 Comparación de Pavimentos de Concreto Hidráulico con Pavimentos de Concreto Asfáltico.....	8
I.1.2.1 Comparación General.....	8
I.1.2.2 Comparación Económica.....	10
I.1.2.2.1 Nivel de Servicio.....	10
I.2 Ventajas de Utilizar Concreto Hidráulico en Pavimentos.....	15
I.3 Incorporación de Pavimentos de Concreto Hidráulico en México.....	16
II DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO	20
II.1 Estructura de Pavimentos de Concreto hidráulico.....	21
II.1.1 Terreno natural.....	22
II.1.2 Cuerpo de Terraplén.....	22
II.1.3 Subyacente	23
II.1.4 Subrasante.....	23
II.1.5 Sub-Base.....	24
II.1.6 Pavimento.....	25

II.2 Características del Tránsito.....	29
II.2.1 Volumen de Tránsito.....	29
II.2.2 Volumen de Tránsito Futuro.....	32
II.3 Especificaciones para Materiales de Construcción.....	35
II.3.1 Cemento.....	35
II.3.2 Agua.....	35
II.3.3 Grava.....	36
II.3.4 Arena.....	38
II.3.5 Concreto.....	40
II.3.6 Membrana de Curado.....	41
II.3.7 Acero.....	42
II.3.8 Sellador para Juntas.....	44
II.4 Diseño del Espesor de la Carpeta de Concreto	
Hidráulico.....	45
II.4.1 Prueba AASHO.....	45
II.4.2 Método AASHTO.....	52
II.4.2.1 Espesor de la Carpeta.....	53
II.4.2.2 Serviciabilidad.....	53
II.4.2.3 Tráfico.....	55
II.4.2.4 Coeficiente de Transferencia de Cargas.....	59
II.4.2.5 Módulo de Ruptura del Concreto.....	62
II.4.2.6 Módulo de Elasticidad del Concreto.....	64
II.4.2.7 Módulo de Reacción del Suelo.....	64
II.4.2.8 Coeficiente de Drenaje.....	65
II.4.2.9 Confiabilidad.....	66
II.5 Diseño de Juntas.....	68
II.5.1 Tipos de Juntas.....	72
II.6 Diseño de Pasajuntas.....	73
II.7 Diseño de Barras de Amarre.....	74
III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO.....	77
III.1 Construcción de terracerías.....	78
III.2 Construcción de sub base.....	79
III.3 Construcción de losa de concreto hidráulico.....	

ÍNDICE

con cimbra deslizante.....	83
III.3.1 Plantas de Mezclado Central.....	85
III.3.2 Plantas Dosificadoras con Camión Revolvedor.....	86
III.3.3 Proceso de Pavimentación.....	87
III.4 Construcción de losa de concreto hidráulico con cimbra fija.....	110
III.5 Control de Calidad en la Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico.....	117
IV CONCLUSIONES	120
BIBLIOGRAFÍA	122

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El trabajo que se presenta a continuación, fue desarrollado a causa de una inquietud que surgió a partir de una experiencia profesional que tuve anteriormente, esta experiencia consistió en trabajar para una constructora que tenía el contrato para construir una calle con pavimento de concreto hidráulico, la inquietud surgió porque al ver como se estaban llevando a cabo los trabajos, me di cuenta que los resultados obtenidos no eran los que yo esperaba y al desarrollar esta tesis pude apreciar cuales eran las causas de estos resultados. Estos trabajos eran realizados como la supervisión nos lo pedía, pero ahí empezaba el problema ya que los supervisores no eran ingenieros y realmente no sabían como debían hacerse estos trabajos, solo se hacían como lo hacían en otras obras.

En el primer capítulo " Análisis económico de proyectos carreteros " se trata un tema importantísimo para la evolución de las carreteras y la consideración del concreto hidráulico como una opción técnica y económicamente viable para pavimentos, ya que como se menciona en ese capítulo, anteriormente se pensaba que el concreto hidráulico era muy caro para este tipo de proyectos y en este capítulo se analiza esta aseveración.

En el segundo capítulo " Diseño de pavimentos de concreto hidráulico" se analiza como se diseña cada una de las partes fundamentales de un pavimento de concreto hidráulico, además, se mencionan diferentes métodos de diseño de espesores para la carpeta de concreto hidráulico y se desarrolla ampliamente el método AASHTO, para esto se incluyen una serie de conceptos importantes que se deben tener presentes al diseñar un pavimento.

En el tercer capítulo " Proceso constructivo de pavimentos de concreto hidráulico" se desarrollan todos y cada uno de los trabajos que deben realizarse para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico. Aquí se analizan dos procesos constructivos que difieren por la magnitud del proyecto y por tal motivo la maquinaria necesaria es diferente.

Las conclusiones muestran lo que yo pude percibir al desarrollar este trabajo y puede ser que alguien no este de acuerdo conmigo, pero es un punto de vista personal y que cada quien debe formularlo a través de su experiencia.

CAPITULO I

ANÁLISIS ECONÓMICO DE PROYECTOS
CARRETEROS

I.1 Análisis de Costos en Proyectos con Pavimentos

Las carreteras, como parte de las vías terrestres, son un medio importantísimo por donde se efectúa una gran parte del transporte en el mundo, y al referirnos a transporte se debe hacer hincapié de que al hablar de él, se habla de transporte de personas y de carga. Hablando en particular de nuestro país México, es de mayor importancia el sistema carretero ya que una cantidad muy considerable de transporte se hace por este medio, esto no es lo más deseable pero las circunstancias así lo han ido requiriendo, por ejemplo: el transporte de grandes cargas y de medianas a largas distancias es mucho más económico hacerlo por ferrocarril pero en México no existe la suficiente infraestructura ni organización de ferrocarriles y por ello en los lugares donde no se cuenta con ferrocarril se debe hacer el transporte por carretera o por otro medio.

Debido a la importancia de las carreteras, antes mencionada, ha ido cambiando la ideología de los Gobiernos respecto a la elaboración de proyectos carreteros, en un principio se construían carreteras que no reunían altas especificaciones de proyecto, esto era debido a que al proyectar solo se tomaban en cuenta aspectos funcionales, demanda de transporte y la necesidad de comunicar todas las regiones del país pero cuando se terminó de unir por medio de la red de carreteras todas estas regiones de la República, ante el empuje de las fuerzas económicas y sociales, el crecimiento demográfico y la expansión de la industria automotriz, las carreteras se saturaron, y los usuarios demandaban carreteras mejores, más seguras y sobretodo económicas, motivando a que el Gobierno Federal construyera carreteras con altas especificaciones, incrementando los aspectos que se tomaban en cuenta para proyectar carreteras, construyéndose en 1952 un nuevo camino entre México y Cuernavaca.

Las carreteras de altas especificaciones que operan en la República Mexicana a partir de estos tiempos fueron proyectadas para mejorar los índices de seguridad, de velocidad y economía. Cuentan con mejores especificaciones geométricas de curvatura, mayor distancia de visibilidad, pendientes moderadas, señalamientos, mayores dimensiones de sus carriles y acotamientos, características que las convierten en mejores y más seguras.

En este capítulo nos interesa la parte económica de que se está hablando ya que en ella se encuentran los costos de proyectos carreteros, cabe mencionar que el cambio de ideología que han experimentado los gobiernos se trata precisamente en contabilizar costos que antes no se tomaban en cuenta al

proyectar una carretera y que son de igual o mayor importancia que los tradicionalmente usados.

I.1.1 Costos de una Carretera

Los costos tradicionales que en un principio se analizaban para la evaluación de proyectos carreteros eran: costos de inversión inicial, costos de operación y tal vez los costos de mantenimiento pero estos costos no eran evaluados correctamente.

La nueva ideología nos dice que los costos de mantenimiento son de igual importancia y además que debemos considerar los costos de los usuarios ya que aunque el gobierno no hace ese gasto, los usuarios si lo hacen y deben tomarse en cuenta.

I.1.1.1 Costos de Inversión Inicial

Estos costos como su nombre lo indican, son los gastos que deberán hacerse desde el principio de la planeación de la carretera, hasta la puesta en operación de esta misma.

Los costos de inversión inicial se dividen a su vez en:

Costos de Derecho de Vía.- En estos costos se consideran los gastos que deben realizarse en la compra de terrenos, expropiaciones y todo lo necesario para poder tener acceso a todo lo largo de la ruta trazada para la carretera, cabe mencionar que en ocasiones estos costos se elevan demasiado, esto debido a que en estos tramites se recurre a abogados y cuestiones legales, además de los intereses políticos y sociales que en todos los ámbitos podemos encontrar. Este tipo de problemática es muy común encontrarla cuando se esta construyendo una carretera y en ocasiones es difícil poder resolverla ya que mucha veces se le da prioridad a cuestiones técnicas del proyecto y estos problemas se van haciendo cada vez mas grandes hasta que llega el momento en que hay que parar los trabajos para solucionar estos problemas.

Costos de Diseño de Proyecto.- En estos costos se consideran todos los gastos necesarios que se deben realizar para hacer el diseño ingenieril de la carretera, esto se inicia desde la exploración para hacer el trazo mas conveniente, levantamientos topográficos, diseño geométrico, diseño estructural, etc. La mayor parte de este trabajo se hace en gabinete y lo hace por lo general en nuestro país

la SCT y en algunas ocasiones se contrata a empresas especializadas en este ramo que cuentan con tecnología avanzada, lo que hace que estos costos se reduzcan además de lograr hacer el diseño mucho mas rápido.

Costos de Construcción.- Dentro de los costos de inversión inicial, los costos de construcción son los de mayores dimensiones y se consideraban anteriormente el principal parámetro para la evaluación de proyectos carreteros, cosa que ha ido cambiando como ya se ha mencionado anteriormente pero que aun sigue causando polémicas entre algunas personas y organismos. Los trabajos que se consideran dentro de los costos de construcción abarcan desde la construcción de caminos de acceso hacia el trazo, limpieza y despalme de terreno natural, construcción de terracerías, estructura del pavimento, obras de drenaje, Obras complementarias, dispositivos de control de tránsito, señalamientos instalaciones para brindar servicio a los usuarios y todo lo necesario para que la carretera se pueda abrir al tránsito y empezar a operar en las condiciones para las que fue diseñada.

I.1.1.2 Costos de Operación

Tenemos que los costos de operación son los costos que se necesitan en cuanto la carretera entra en funcionamiento. Dentro de estos costos se encuentran los costos de control de tránsito, costos de alumbrado, limpieza de las carreteras, servicios que requieren los usuarios como sanitarios, auxilio vial, servicios médicos, servicios de emergencias, casetas telefónicas y algunos otros servicios, todos estos costos incluyen salarios de trabajadores, consumos de combustible, consumos de energía eléctrica, etc.

I.1.1.3 Costos de Mantenimiento

Las carreteras a lo largo de su vida útil requieren reparaciones de diferentes magnitudes a las que se les llama conservación y rehabilitación de carreteras. La conservación se refiere a diversos trabajos que se hacen de poca magnitud y que sirven para mantener la carretera en las mismas condiciones de servicio que se tenían al termino de la construcción de la misma. La rehabilitación se refiere a reparaciones mayores debido a que las condiciones de servicio ya son muy deplorables, esto nos lleva a realizar inversiones considerables.

Todo lo anterior esta dentro de los costos de mantenimiento y en la nueva ideología debe dársele la importancia necesaria para la toma de decisiones dentro de la evaluación de proyectos carreteros.

Cabe señalar que al hacer los trabajos de mantenimiento se produce otro problema, esto debido a que mientras se hacen los trabajos, las condiciones del tránsito se ven afectadas y esto se traduce en un incremento en los costos de los usuarios, dependiendo de la magnitud de los trabajos estos incrementos pueden ser muy altos, lo que nos lleva a tratar de conservar las carreteras en las mejores condiciones posibles sin tener que recurrir a reparaciones mayores.

I.1.1.4 Costos de los Usuarios

El costo de los usuarios, incluyen los costos de operación de los vehículos, el valor del tiempo de viaje y los costos de los accidentes de tránsito.

Costos de operación de los vehículos.- dentro de estos costos por lo general en los análisis económicos de carreteras se incluyen los costos que tienen que ver con los kilómetros de viaje, que son los costos de combustible, costos de llantas, costos de aceite para el motor, mantenimiento general de los vehículos y una parte de depreciación.

Costos del valor del tiempo de viaje.- Este costo se puede determinar mediante un valor unitario de tiempo, este valor varia dependiendo el porque del viaje y que es lo que se esta transportando.

Costos de los accidentes de tránsito.- Los accidentes que ocurren cada año en las carreteras representan grandes perdidas junto con la pena y sufrimiento que provocan.

Los costos mencionados, con la ideología antigua no eran analizados ni tomados en cuenta para realizar los proyectos carreteros, tal vez porque la prioridad en esos tiempos era comunicar comunidades entre si y no se contaba con los fondos suficientes como para dotar la carreteras con altas especificaciones, también tal vez por la falta de evaluación de proyectos integrales donde intervinieran todos los factores necesarios. En el caso de México era un poco difícil asimilar estos conceptos debido a intereses politos y personales de los gobernantes pero afortunadamente esto ha ido cambiando paulatinamente.

1.1.2 Comparación de Pavimentos de Concreto Hidráulico con Pavimentos de Concreto Asfáltico

En las obras viales los pavimentos constituyen una parte esencial para el movimiento del tránsito vehicular. En forma general se puede definir a un pavimento como la sección de rodamiento de un camino, este concepto se tratara con mas amplitud en el capitulo siguiente.

1.1.2.1 Comparación General

Aquí hablaremos de un tema bastante polémico ya que en algunas ocasiones se dice que las comparaciones no son buenas pero en este caso es bastante interesante tocar este tema debido a que solo así se puede lograr tener un buen criterio para evaluar correctamente, y así optar por la mejor opción en el caso de proyectos de pavimentos carreteros.

Una comparación inicial que se puede hacer para estos dos tipos de pavimentos es por los materiales que los componen. Los pavimentos de concreto asfálticos están constituidos básicamente por materiales pétreos y asfalto, los materiales pétreos reúnen ciertas características de granulometría, dureza, forma y adherencia con el asfalto, y el asfalto es el material aglutinante que se licua al calentarse y logra así formar la estructura. Los pavimentos de concreto hidráulico están formados por materiales pétreos que a su vez se dividen en agregado grueso y agregado delgado, el aglutinante en este caso se trata de cemento Pórtland mezclado con agua. Como se puede observar la diferencia básica entre estos dos tipos de pavimentos es el aglutinante que en un caso se trata de asfalto y en el otro de cemento Pórtland mezclado con agua .

De ahí se despliega un conjunto de características y comportamientos propios de cada uno y es por ello que a los pavimentos de concreto asfáltico esta dentro de la clasificación de los pavimentos flexibles y los pavimentos de concreto hidráulico dentro de la clasificación de los pavimentos rígidos.

Esta clasificación como su nombre lo dice se debe a las características que tiene cada uno de los pavimentos de resistencia a la deformación y por ello es diferente la transferencia de cargas a las capas inferiores de la carretera.

En los pavimentos flexibles, por esta característica que su nombre nos indica tiene una distribución de cargas, por cada llanta que tiene contacto con el pavimento, similar a la que se muestra en la figura siguiente:

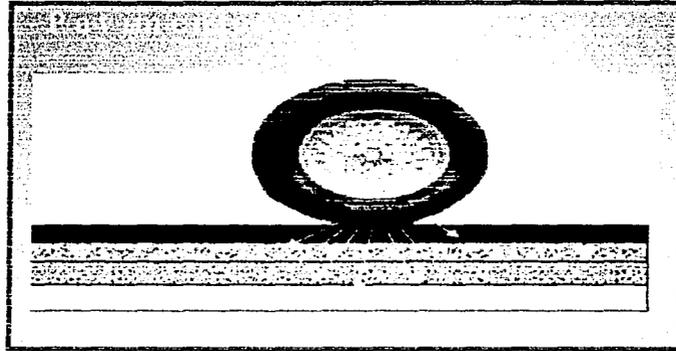


Figura 1. Distribución de cargas en pavimentos flexibles

En cambio los pavimentos rígidos por sus propiedades de rigidez tiene una distribución de cargas como las siguientes:

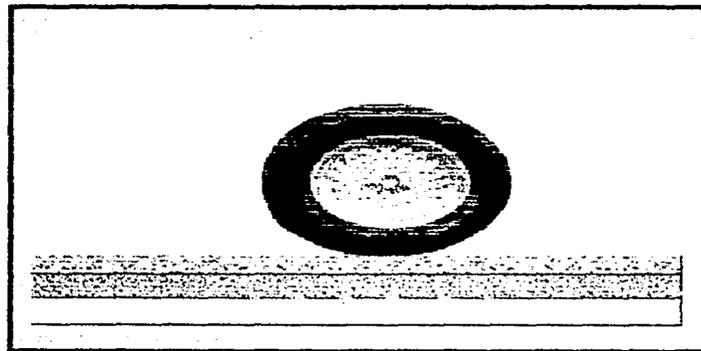


Figura 2. . Distribución de cargas en pavimentos rígidos.

Esta comparación nos muestra que los pavimentos de concreto hidráulico distribuyen las cargas de manera mas eficiente, como consecuencia de esto tenemos que en los pavimentos de concreto asfáltico debemos contar con una estructura de pavimento que tenga mayor capacidad de carga y mejor calidad en los materiales, además que en los pavimentos de concreto hidráulico basta con tener una sub-base y en ocasiones solo con la Subrasante, esto se analizara mas a fondo en capítulos posteriores.

1.1.2.2 Comparación Económica

Las características propias de cada tipo de pavimento nos llevan a una comparación que en particular aquí nos interesa, "comparación económica", para hacer este tipo de comparaciones es importante tener claros los conceptos de costos que se trataron anteriormente y darles la importancia requerida como lo marca la nueva ideología de que se hablaba.

El objetivo principal de esta comparación, como ya se mencionó, es tener un criterio mas amplio para así poder evaluar correctamente los proyectos carreteros desde una visión integral y objetiva.

En el caso de los pavimentos de concreto asfáltico y los pavimentos de concreto hidráulico, en la ideología antigua, se comparaban únicamente tomando como referencia los costos de los concretos de forma aislada, esto lógicamente se interpretaba como que los pavimentos de concreto hidráulico eran mas caros, sin embargo en la nueva ideología esto a cambiado para bien de todos y hoy en día se debe hacer una comparación económica del proyecto durante toda la vida útil del proyecto.

1.1.2.2.1 Nivel de Servicio

Antes de continuar, introduciremos un concepto importante que nos ayudara a evaluar el servicio que brinda un pavimento, este concepto se llama nivel de servicio.

El nivel de servicio 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. El nivel de servicio es una medida subjetiva acerca del pavimento, sin embargo la tendencia es

poder definirla con parámetros medibles, como los que son: el Índice de perfil, índice de rugosidad internacional, coeficiente de fricción, distancias de frenado, visibilidad, etc.

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

Figura 3. Niveles de servicio

Cabe mencionar que los niveles 0 y 5 son totalmente ideales ya que en el caso de el nivel 0 estaríamos hablando de que no existe pavimento y en el nivel 5 hablaríamos de un pavimento que nos brindara una total seguridad, una comodidad inmejorable y una máxima rapidez de viaje.

Por lo anterior la AASHTO recomienda los siguientes valores para una carretera nueva.

Pavimentos de Concreto Hidráulico = 4.5

Pavimentos de Concreto Asfáltico = 4.2

Esta organización tiene registros de pavimentos de concreto hidráulico donde los niveles de servicio han llegado hasta 4.8. Esto se logra teniendo técnicas y procesos constructivos impecables.

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

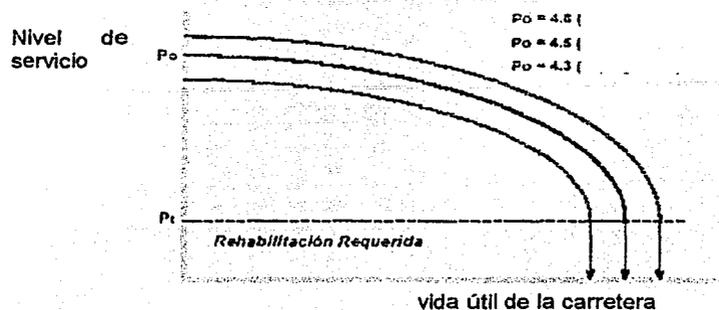


Figura 4. Curvas de deterioro de las carreteras.

En la figura se pueden apreciar 2 valores límites importantes, el P_o , que es el nivel de servicio inicial de la carretera y el P_t que es el nivel de servicio final y a partir de este valor se necesita una rehabilitación mayor a la carretera, este último es un valor que se ha fijado de común acuerdo entre diversas organizaciones para distintas vialidades y a continuación se presentan los valores recomendados:

	P_t
Autopistas.	2.5
Carreteras.	2.0
Zonas industriales.	1.8
Pavimentos urbanos principales.	1.8
Pavimentos urbanos secundarios.	1.5

Los pavimentos de concreto asfáltico tienen como una de sus características que requieren trabajos de conservación desde el primer año de su vida útil, esto quiere decir que rápidamente baja el nivel de servicio y para tratar de contrarrestar este fenómeno se realizan trabajos como pueden ser: bacheo, riego de sello, calafateo de grietas y algunas otras. Pero aun con estos trabajos el nivel de servicio baja y llega un momento en que es necesario realizar trabajos de rehabilitación, como puede ser re-encarpetados, rehabilitación de terracerías y

otros, según estadísticas la rehabilitación de pavimentos de concreto asfáltico se realiza a los 4 o 5 años de su construcción.

Los pavimentos de concreto hidráulico se caracterizan por el bajo mantenimiento que requieren durante toda su vida útil que en algunos casos rebasa los 50 años, este mantenimiento consiste principalmente en cambio de juntas, limpieza de juntas, calafateo en grietas y algunos otros.

En el caso de pavimentos de concreto asfáltico, los costos de mantenimiento son relativamente bajos los primeros 4 o 5 años pero al llegar a la rehabilitación estos costos se incrementan de manera considerable. Los costos de los usuarios se ven afectados dramáticamente cuando se están realizando estos trabajos de mantenimiento y es muy probable que todos hayamos sufrido al estar en largas filas que se forman en las carretera.

En los pavimentos de concreto hidráulico, los costos de mantenimiento son considerablemente bajos durante toda su vida útil y debido a que este mantenimiento no es continuo los costos de los usuarios no se ven afectados. Es importante señalar que en la mayoría de los casos en que se tienen problemas con pavimentos de concreto hidráulico no es debido al pavimento en particular sino a errores en los procesos constructivos que entre otras razones es por falta de supervisión.

A continuación se presenta una tabla comparativa de los costos entre pavimentos de concreto hidráulico y los pavimentos de concreto asfáltico.

PAVIMENTOS / COSTOS	INICIAL	OPERACIÓN	MANTENIMIENTO	USUARIOS
CONCRETO HIDRÁULICO	alto	regular	muy bajo	bajo
CONCRETO ASFÁLTICO	regular	regular	alto	alto

CUADRO 1. Comparación de costos

En el cuadro anterior se observa la dramática diferencia que ocurre en los costos de los usuarios, entonces de aquí se explica que los gobiernos anteriores tomaran la idea de que los pavimentos de concreto hidráulico eran muy caros,

pero esto era debido a que no se consideraban los costos de los usuarios como importantes .

Otra posible razón por la que probablemente se tomaban decisiones erróneas era debido a razones políticas ya que al durar las administraciones 6 años en México la evaluación de proyectos se hacia con este periodo de diseño lo cual es una cosa que no debe hacerse de esa manera ya que a fin de cuentas no son los gobiernos los que pagan los proyectos del país sino los propios Mexicanos, y nosotros somos los que sufriremos las consecuencia de sus decisiones.

Así pues, se muestra a continuación una grafica típica comparativa de costos totales de una carretera para un periodo de diseño de 20 años.

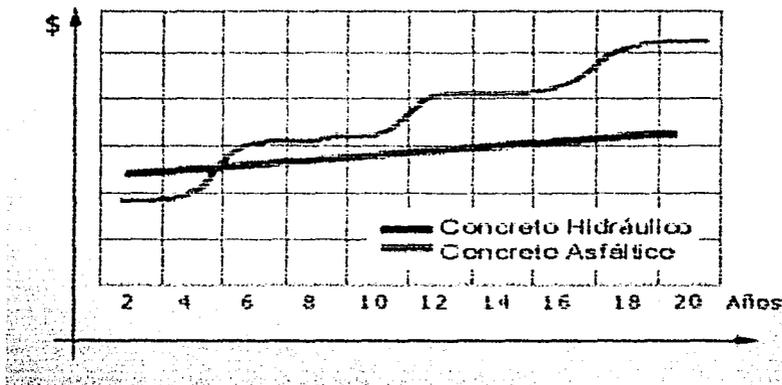


Figura 5. Gráfica típica comparativa de costos

En esta gráfica se puede apreciar claramente que de 5 años en adelante el pavimento de concreto hidráulico es una mejor opción económicamente hablando, lo que nos lleva a realizar evaluaciones de proyectos con periodos de vida útil a largo plazo.

I.2 Ventajas de Utilizar Concreto Hidráulico en Pavimentos

La ventaja mas importante como ya se puede observar en el tema anterior es la durabilidad y el poco mantenimiento que requiere este tipo de pavimento, sin embargo se pueden mencionar algunas otras como a continuación se presentan:

Durabilidad.- Una de las ventajas más significativas de los pavimentos de concreto hidráulico es la durabilidad del concreto, para lograr esta durabilidad es importante considerar además de la resistencia adecuada del concreto ante las sollicitaciones mecánicas todos los agentes externos de exposición a los que estará sujeto el pavimento para elaborar la mezcla apropiada y definir las recomendaciones para la colocación del concreto hidráulico. Se deben de realizar los proporcionamientos de mezcla adecuados, con ciertas relaciones agua / cemento, utilizando aditivos que permitan una reducción de agua en la mezcla y que den la trabajabilidad adecuada al concreto aún con revenimientos bajos como los utilizados en autopistas. Otro aspecto importante para lograr esta durabilidad tiene que ver con los materiales que forman la estructura de soporte, es importante conocer con detalle las características de los mismos y sus grados de compactación apoyados con los estudios de mecánica de suelos de la ruta. Es importante que el diseñador cuente con la suficiente información para poder estimar de forma precisa el volumen de tráfico y las cargas vehiculares que estarán transitando por el pavimento con el objeto de realizar un diseño estructural adecuado para cubrir adecuadamente la durabilidad del proyecto por efectos de fatiga.

Seguridad.- Al tener superficies rígidas y planas con pavimentos de concreto hidráulico, en época de lluvias se reduce significativamente la acumulación de agua sobre la superficie. Además, gracias a la textura longitudinal y micro textura con que se les da el acabado a las superficies de rodamiento de los pavimentos de concreto hidráulico, se aumenta la fricción existente entre los neumáticos y el pavimento, lo cual se traduce en menores distancias de frenado y menor deslizamiento en curvas. La eliminación de irregularidades genera caminos más seguros, más confortables y más económicos para los usuarios.

Superficies más uniformes.- la superficie de rodamiento de los pavimentos de concreto hidráulico permanece sin alteraciones por más tiempo que las de los pavimentos de concreto asfáltico, esto debido a la rigidez del concreto, que permite un manejo más suave y sin "brincos" a lo largo del camino. los pavimentos de concreto hidráulico pueden resistir hasta las condiciones de tráfico más

pesadas, sin que se presente la formación de "roderas", "lavaderos" o desprendimientos de pavimento con los consecuentes "baches".

Versatilidad.- El concreto es un material que por su naturaleza en estado fresco adquiere la forma o textura del molde que lo confina, es por eso que se pueden lograr diseños armónicos con el medio ambiente o con la arquitectura de la localidad donde se esté planteando el proyecto.

Ahorros en energía y combustibles.- Si comparamos el consumo de energía asociado a todos los procesos que intervienen tanto en la construcción como en el mantenimiento que se requiere para un tramo carretero de un kilómetro de longitud construido con pavimento de concreto, contra el mismo tramo pero en pavimento de asfalto, observaremos ahorros significativos, los cuales se traducen en reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera. También podemos tener ahorros de energía en tramos carreteros o calles urbanas donde exista alumbrado público, esto es debido a que el concreto hidráulico tiene un color gris claro el cual refleja la luz, lo que se traduce como colocar bombillas de menor potencia o mejor aun colocar los postes con una separación mayor entre uno y otro.

Valor Agregado.- Aun y cuando la inversión inicial de un pavimento de concreto hidráulico fuera mayor que la requerida para un pavimento de concreto asfáltico, por las expectativas de vida útil así como por la poca inversión anual que se requiere para su mantenimiento, el pavimento de concreto hidráulico es la mejor elección si se piensa en brindar soluciones de largo plazo en proyectos de vialidad, con lo que se asegura una mejor utilización de los recursos asignados para este tipo de proyectos.

I.3 Incorporación de Pavimentos de Concreto Hidráulico en México

La extensión territorial de México cuenta con una gran diversidad de climas, tipos de suelos, zonas ambientales y etnias, su heterogeneidad nos ha ido marcando el camino del desarrollo y crecimiento, de alguna manera esta diversidad ha influido en la conformación de nuestra infraestructura carretera.

En México tenemos aproximadamente 95,000 km de caminos pavimentados cuyas condiciones de servicio no son las óptimas, de hecho la mayoría de ellos esta catalogado por las propias autoridades como pavimentos en regulares y malas condiciones. Una razón importante del bajo nivel de servicio es debido a

que estas carreteras se proyectaron, diseñaron y construyeron en su mayoría entre los años de 1925 a 1970. La red estuvo proyectada para soportar cargas vehiculares que varían entre las 6 y 8 toneladas y en la actualidad llega a tener camiones cargados los cuales en algunos casos alcanzan a pesar hasta 60 toneladas. Además de no considerar el aumento en los pesos de los vehículos, no se consideró tampoco el crecimiento del tránsito de camiones pesados en la red, ya que se consideró en el diseño el tráfico diario que anteriormente se tenía y que variaba entre los 500 y 1,000 vehículos, sin embargo en la actualidad se tienen valores significativamente mayores de hasta 15,000 vehículos.

Antes del año de 1993 la especificación y construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México fue relativamente escasa. Se considera que esto se debió principalmente a que nuestro país es un importante productor de petróleo y por consiguiente de asfalto y como anteriormente existía un subsidio importante en el precio del asfalto, los pavimentos asfálticos en nuestro país resultaban en costo muy inferiores a los del concreto hidráulico. Adicionalmente existía una gran desinformación y desconocimiento sobre el diseño y construcción con nuevas tecnologías de los pavimentos de concreto hidráulico. Otro factor importante es que cuando se diseñaron los caminos de México para el tránsito que se pensaba tenían que soportar, los pavimentos de asfalto parecían ser una alternativa suficiente.

Ante la preocupación acerca del deterioro de las carreteras en la red y considerando los puntos anteriormente planteados la secretaría de comunicaciones y transportes (SCT) se dio a la tarea de buscar soluciones alternativas a tal situación que pudieran soportar adecuadamente las cargas y el volumen de tráfico pesado buscando que los niveles de servicio permanecieran en buen nivel durante períodos mayores. Tales exigencias orientaron a la SCT a la solución con pavimentos de concreto hidráulico, que representaban 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.

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

los pavimentos de concreto hidráulico. Así en 1993 el libramiento Ticumán ya era una realidad en concreto hidráulico, con una longitud de 8.5km.

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

A pesar de la crisis económica que sufrió el país, para el año de 1995 ya se estaban realizando los trabajos de algunas carreteras como: Yautepec - Jojutla, Atlapexco – Tianguistengo, Jiutepec – Zapata y un tramo de la Autopista Querétaro – San Luis Potosí.

Durante el año de 1996 se construyeron también de concreto los tramos: Entronque Aeropuerto de San Luis Potosí – Entronque Libramiento de San Luis Potosí, Libramiento de San Luis Potosí – El Huizache y el tramo Aeropuerto de Ixtapa – Zihuatanejo.

Para los años de 1997 y 1998 se especificaron y construyeron los siguientes tramos: Autopista Pirámides – Tulancingo, un segundo tramo de Ixtapa – Aeropuerto, el Libramiento Ruta Dos en Nuevo Laredo, la Autopista Cancún – Tulum, la Autopista Huizache – Matehuala, tres tramos de la Autopista Querétaro – Palmillas, el Libramiento Uman en el estado de Yucatán, el Libramiento Rincón de Romos en el estado de Aguascalientes, Boulevard Aeropuerto La Paz y el tramo de Chihuahua – Aldama. En este período se realizó una ampliación a la aeropista del aeropuerto de Mérida con la tecnología del concreto hidráulico.

Para 1999 se estuvieron realizando los trabajos de construcción de los tramos de: la Autopista Rosario – Escuinapa en el estado de Sinaloa, Aeropuerto Vallarta – Río Ameca en Jalisco, Río Ameca - Cruz de Huanacaxtle en Nayarit, el segundo tramo de la Cárdenas – Agua Dulce en Tabasco, la carretera Yautepec – Oacalco, el tramo Poxila – Límite de Estados en Yucatán, Libramiento de Colima, Chajul – Flor de Café en el estado de Chiapas, Entronque Feliciano – Lázaro Cárdenas Michoacán, Acceso al Puerto Fronterizo Laredo puente Internacional III, Matehuala – San Roberto y San Roberto – Puerto México en el estado de Nuevo León, el acceso al puerto de Altamira (API), las laterales del Paseo Tollocán en Toluca Estado de México, los tramos de Huayacocotla y la Chinantla en Veracruz, el Libramiento Nororiente de Querétaro, así como la aeropista del aeropuerto de Kaua en el estado de Yucatán.

Como se ha descrito en la información presentada anteriormente el crecimiento y evolución de los pavimentos de concreto hidráulico ha aumentado de una manera que resulta muy favorable para el país, por las ventajas que los mismos representan, esto ha propiciado que la demanda de caminos de excelente calidad haya ido en aumento.

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

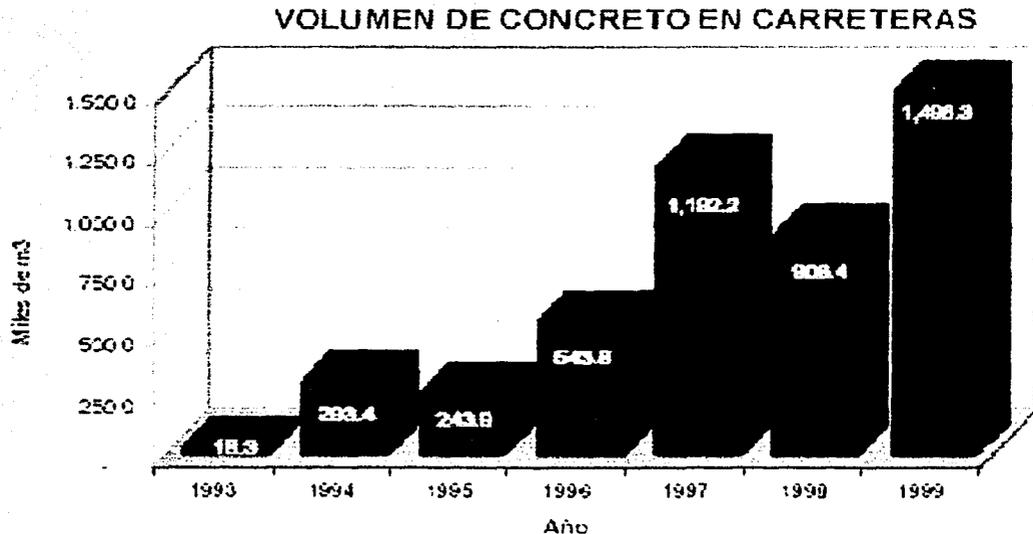


Figura 6. Consumo de concreto hidráulico en carreteras. Fuente Cemex

CAPITULO II

**DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO
HIDRÁULICO**

En este capítulo daremos tratamiento a uno de los problemas a resolver dentro del tema de los pavimentos de concreto hidráulico, este problema es el diseño de todos y cada uno de los componentes que los forman, para ello se necesita conocer y comprender algunos conceptos y características de los suelos, del tránsito y de los componentes en particular del pavimento por lo que iniciaremos con una descripción de las estructuras de pavimento.

II.1 Estructura de Pavimentos de Concreto hidráulico

Los pavimentos de concreto hidráulico tienen una estructura y esta se define como el conjunto de capas constituidas con diversos materiales que tienen características específicas en cuanto a granulometría, valor relativo de soporte, humedad óptima de compactación, porcentaje de compactación, peso volumétrico máximo etc.

Una estructura típica de pavimentos de concreto hidráulico sería como la que a continuación se presenta:

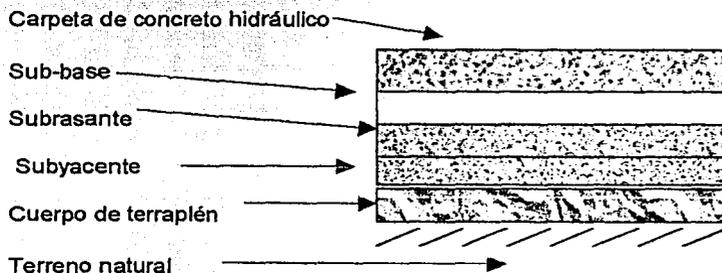


Figura 7. Estructura típica de pavimentos

Es importante destacar que a diferencia de los pavimentos de concreto asfáltico, en los pavimentos de concreto hidráulico no se requiere de una base hidráulica sino que basta con una sub-base, esto es debido a la eficiencia que tiene la carpeta de concreto hidráulico para distribuir las cargas transmitidas por

los vehículos que transitan por la carretera, incluso en pavimentos de bajo nivel de tránsito basta solamente con la capa Subrasante como plantilla.

Cada una de estas capas tiene sus características propias y su función, y a continuación se analizara cada una de ellas.

II.1.1 Terreno natural

El terreno natural se define como la franja de terreno incluida en el derecho de vía, cuyo estado de esfuerzo original resulta afectado por la construcción de la carretera y que recibe las cargas del tránsito distribuidas a través de las capas superiores.

En general, cuando la resistencia del terreno natural es mayor que 1 kg / cm^2 y los terraplenes o cortes no son mayores que 3 m, el comportamiento de la estructura es adecuado. Sin embargo, cuando no se tienen estas condiciones se requiere ejecutar estudios de mecánica de suelos relativos a resistencia y deformación, mediante pruebas triaxiales y de consolidación, así como estudios de estabilidad de los taludes. De todas maneras es conveniente que una vez aceptada la ruta por donde se construirá la carretera se realicen estudios geológicos, de mecánica de suelos, hidráulicos e hidrológicos para hacer un mejor proyecto y no tener problemas durante la construcción del mismo.

II.1.1 Cuerpo de Terraplén

El cuerpo de terraplén esta dentro de lo que se conoce como terracerías. Las terracerías se definen como los volúmenes de materiales que se extraen o que sirven de relleno en la construcción de una carretera. La extracción puede hacerse a lo largo de la línea de la obra y si este volumen de material se usa en la construcción de los terraplenes o rellenos, las terracerías son compensadas y los volúmenes de corte que no se usan se denominan desperdicio. Si el volumen que se extrae de la línea de la obra no es suficiente para construir los terraplenes o los rellenos, se necesita extraer material fuera de ella, o sea, en zonas de préstamo. Si estas zonas se ubican cerca de la obra, 10m a 100m, a partir del centro de la línea se llaman zonas de préstamo laterales, si se encuentran a mas de 100m, son de préstamo de banco.

Las finalidades de esta parte de la estructura del pavimento son las siguientes:

- ❖ Alcanzar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas.
- ❖ Resistir las cargas del tránsito transmitidas por las capas superiores.
- ❖ Distribuir los esfuerzos a través de su espesor para transportarlos en forma adecuada al terreno natural.

Los materiales empleados para formar los cuerpos de terraplén deben cubrir con ciertas características, una de ellas es que el valor relativo de soporte debe ser mayor a 5% y sus tamaños máximos pueden ser de hasta 75 cm. Estos materiales se dividen en compactables y no compactables aunque los dos son susceptibles de compactarse, pero esta clasificación se hace debido a la facilidad que se tenga en cada uno de ellos para compactarse por los métodos tradicionales.

II.1.2 Subyacente

Esta capa esta formada por materiales compactables y de calidad semejante a los materiales que se utilizan en la capa Subrasante, por ello se puede tomar como semejantes las descripciones para una y otra a diferencia de que esta capa se incluye en la estructura cuando el tránsito que va a pasar por la carretera es mayor de 5000 vehículos diarios y por lo general su espesor varia entre los 20 cm y los 50 cm dependiendo del proyecto.

II.1.3 Subrasante

La capa Subrasante al igual que la subyacente esta formada materiales compactables y su espesor generalmente es de 30cm. Aquí al igual que en las otras capas el VRS es una característica muy importante para saber la calidad del material que se requiere y para ello se presenta la siguiente tabla:

VRS	CLASIFICACIÓN
0 - 5	SUBRASANTE MUY MALA
5 - 10	SUBRASANTE MALA
10 - 20	SUBRASANTE REGULAR A BUENA
20 - 30	SUBRASANTE MUY BUENA

Cuadro 2. Criterio de calidad para Subrasante. Fuente Cemex

En el cuadro anterior podemos observar un criterio para analizar la calidad de los materiales utilizados para la construcción de la capa Subrasante.

Las principales funciones de la capa Subrasante son:

- ❖ Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas por las capas superiores.
- ❖ Transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.
- ❖ Evitar que los materiales finos y plásticos que forman las capas inferiores contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas debe estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén y las granulares del pavimento.
- ❖ Evitar que las terracerías, cuando están formadas principalmente por fragmento de roca, absorban el pavimento. En este caso, la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo de terraplén y los granulares de la capa superior(sub-base).
- ❖ Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- ❖ Uniformar los espesores de pavimento, sobre todo cuando varían mucho los materiales de terracerías a lo largo del camino.
- ❖ Economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren espesores grandes.

II.1.4 Sub-Base

Esta capa de la estructura tiene una finalidad específica, esta es no permitir que se produzca el fenómeno de "bombeo", se dice que hay bombeo cuando los materiales finos suben hacia el exterior de la estructura de pavimentos, provocando la falla del pavimento de concreto hidráulico por erosión en juntas o grietas alojadas en la superficie de rodamiento, este fenómeno se produce por una combinación de factores, los cuales son:

- ❖ Un excedente de agua en la capa Subrasante.
- ❖ Ocurrencias frecuentes de cargas muy pesadas.
- ❖ La presencia de un suelo en la Subrasante susceptible al bombeo.

En la siguiente figura se muestra un esquema del fenómeno de bombeo.

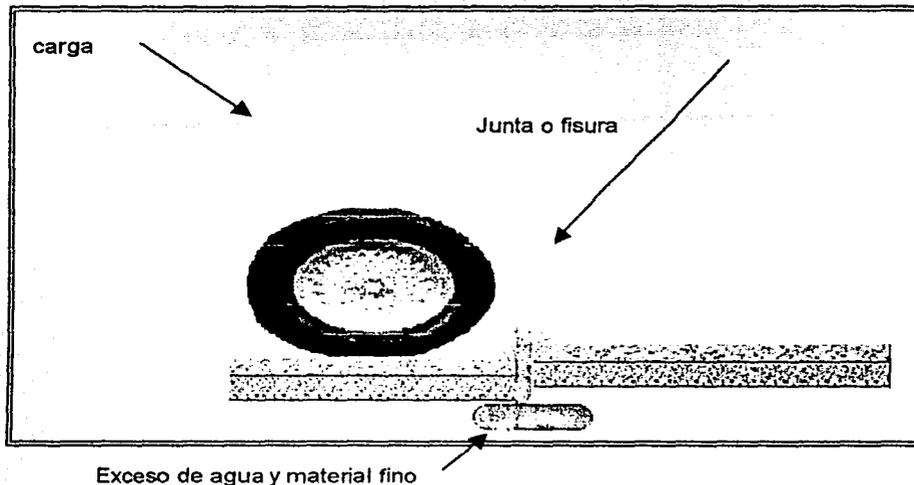


Figura 8. Fenómeno de Bombeo

Por lo anterior es muy importante construir la capa Sub-base en todos los proyectos de pavimentos de concreto hidráulico.

Además de la función mencionada anteriormente la capa Sub-base tiene las siguientes funciones dentro de la estructura de pavimento:

- ❖ Recibir y resistir las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento.
- ❖ Transmitir las cargas, adecuadamente distribuidas, a las terracerías.
- ❖ Impedir que la humedad de las terracerías ascienda por capilaridad.
- ❖ En caso de introducirse agua por la parte superior, permitir que el líquido descienda hasta la capa Subrasante, donde se desaloja al exterior.

II.1.5 Pavimento

El pavimento es la capa superficial de la estructura de una carretera, esta capa recibe en forma directa las cargas del tránsito y las transmite a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una

fricción adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Los pavimentos deben cumplir con las características de seguridad, economía y comodidad para los usuarios que transitan por la carretera. En este caso el pavimento esta formado por una losa de concreto hidráulico que con la experiencia se ha comprobado cumple con estas características.

Existen diversas técnicas aplicables dentro de los pavimentos de concreto hidráulico las cuales se presentan a continuación:

- ❖ Pavimentos Convencionales.
- ❖ Pavimentos con Acero de Refuerzo.
- ❖ Pavimentos Whitetopping.
- ❖ Pavimentos Whitetopping Ultra delgado.

Los Pavimentos Convencionales son pavimentos nuevos y los mas recomendables a utilizar por sus características en carreteras, por ello son los pavimentos de los que se ha venido hablando y los que seguiremos analizando.

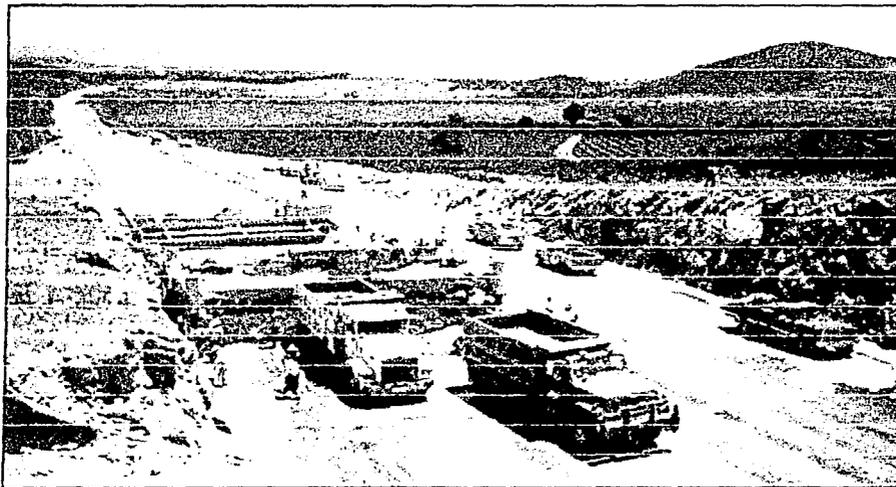


Figura 9. Pavimentos Convencionales

Los Pavimentos con Acero de Refuerzo también son pavimentos nuevos pero la diferencia es que en este caso se adiciona acero de refuerzo, se ha observado en la práctica que este acero no aporta grandes beneficios estructurales sin embargo es utilizado cuando en las especificaciones de proyectos en particular se requiere que las deformaciones de los pavimentos sean las mínimas.



Figura 10. Acero de refuerzo.

Los Pavimentos Whitetopping son una técnica de rehabilitación y mejoramiento de vialidades, que consiste en el tendido o colocación de una carpeta delgada de concreto hidráulico sobre una superficie de rodamiento existente cuyas condiciones de servicio ya no son satisfactorias. Hoy en día Whitetopping sustituye la tradicional repavimentación con asfalto y es la solución más eficiente para el revestimiento de esas superficies. Y aunque pueda parecer tan simple como sólo poner una losa, implica un trabajo muy cuidadoso y de gran conocimiento técnico.

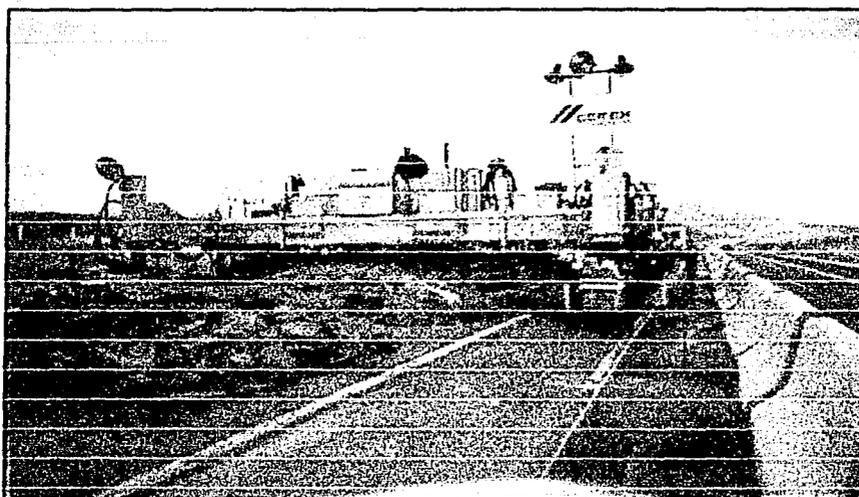


Figura 11. Whitetopping

Los Pavimentos Whitetopping Ultra delgado tienen la misma finalidad que el Whitetopping normal pero su aplicación es diferente ya que el Whitetopping Ultra delgado se utiliza solo en calles residenciales donde no se espera recibir el tránsito de grandes cargas, esto implica que el espesor de la carpeta se reduzca de una manera importante.

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



Figura 12. Calle residencial pavimentada

II.2 Características del Tránsito

Como ya se mencionó anteriormente es importante conocer las características del tránsito ya que las carreteras se construyen para diferentes condiciones de trabajo, y una de estas condiciones, es el tránsito.

II.2.1 Volumen de Tránsito

Al proyectar una calle o carretera, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del

volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y de su composición.

Se define Volumen de Tránsito, como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de unas calzada, durante un periodo determinado de tiempo. Se expresa como:

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

Donde:

Q = Vehículos que pasan por unidad de tiempo
 N = Número total de Vehículos que pasan
 T = Periodo determinado de tiempo

Los errores que se cometan en la determinación de estos datos ocasionará que la carretera o calle funcione, con volúmenes de tránsito muy inferiores a los esperados, o mal, con problemas de congestión por volúmenes de tránsito altos, muy superiores a los proyectados. Los estudios sobre volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos sobre puntos ó secciones específicas dentro de un sistema vial. Estos datos de volúmenes de tránsito son expresados con respecto al tiempo y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de estimaciones razonables de la calidad de servicio prestado a los usuarios.

Los volúmenes de tránsito siempre deben ser considerados como dinámicos, por lo que solamente son precisos para el periodo de duración de los aforos. Sin embargo, debido a que sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, es importante tener un conocimiento de sus características para programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo y lugar, así como prever, con la debida anticipación, la actuación de dispositivos dedicados al control del tránsito. Por lo tanto es fundamental, en la planeación y operación de la circulación vehicular, conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las horas de máxima demanda, durante el día, la semana y los meses del año. Aún más, también es importante conocer las variaciones de los volúmenes de tránsito en función de su distribución por carriles, su distribución direccional y su composición.

De una manera general, los datos sobre volúmenes de tránsito se utilizan ampliamente en los siguientes campos:

Planeación.

- ❖ Clasificación sistemática de redes de carreteras
- ❖ Estimación de los cambios anuales en los volúmenes de tránsito
- ❖ Modelos de asignación y distribución del tránsito
- ❖ Desarrollo de programas de mantenimiento, mejoras y prioridades
- ❖ Análisis económico
- ❖ Estimación de la calidad del aire
- ❖ Estimación del consumo de combustible

Proyecto

- ❖ Aplicación a normas de proyecto geométrico
- ❖ Requerimientos de nuevas carreteras
- ❖ Análisis estructural de superficies de rodamiento

Ingeniería de Tránsito

- ❖ Análisis de capacidad y niveles de servicio en todo tipo de vialidades
- ❖ Caracterización de flujos vehiculares
- ❖ Zonificación de velocidades
- ❖ Necesidad de dispositivos para el control del tránsito
- ❖ Estudios de estacionamiento

Seguridad

- ❖ Cálculo de índice de accidentes y mortalidad
- ❖ Evaluación de mejoras por seguridad

Usos comerciales

- ❖ Hoteles y restaurantes
- ❖ Urbanismo
- ❖ Autoservicios
- ❖ Actividades recreativas y deportivas

II.2.2 Volumen de Tránsito Futuro

El pronóstico del volumen de tránsito futuro, en el mejoramiento de una carretera existente o en la construcción de una nueva, deberá basarse no solamente en los volúmenes normales actuales, sino también en los incrementos del volumen de tránsito que se espera en la nueva carretera.

Los volúmenes de tránsito futuro (TF), para efectos de proyecto se derivan a partir del tránsito actual (TA) y del incremento del tránsito (IT), esperado al final del periodo de diseño de acuerdo a esto se puede plantear la siguiente expresión:

$$TF = TA + IT$$

El tránsito actual (TA) 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, más 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 (TPDA) 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 un 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 por ejemplo, si están saturadas ó 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.

El incremento del tránsito (IT) es el volumen de tránsito 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 (TD).

El crecimiento normal del tránsito (CNT) es el incremento del volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos. El deseo de las personas por movilizarse, la flexibilidad ofrecida por el vehículo y la producción industrial de más vehículos cada día, hacen que esta componente del tránsito siga aumentando. Sin embargo, deberá tenerse cuidado en la utilización de los indicadores del crecimiento del parque vehicular nacional para propósitos de proyecto, ya que no necesariamente reflejan las tasas de crecimiento en el área local bajo estudio, aunque sí existe cierta correlación entre el crecimiento del parque vehicular y el crecimiento del TPDA. El tránsito generado (TG) consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los del 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 no realizados previamente por ningún modo de transporte; el tránsito convertido o nuevos viajes que previamente se hacían masivamente en taxi, autobús, tren, avión 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 del 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 o dos años después de que la carretera ha sido abierta al servicio.

El tránsito desarrollado (TD) es el incremento del volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera. A diferencia del tránsito generado, el tránsito desarrollado continúa actuando por mucho años después que la nueva carretera ha sido puesta al servicio. El incremento del tránsito debido al desarrollo normal del suelo adyacente forma parte del crecimiento normal del tránsito, por lo tanto éste 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:

$$IT = CNT + TG + TD$$

Sustituyendo en la ecuación del tránsito futuro (TF), encontramos que:

$$TF = TA + IT$$

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

En la siguiente figura se presentan de manera gráfica los componentes de volumen de tránsito futuro.

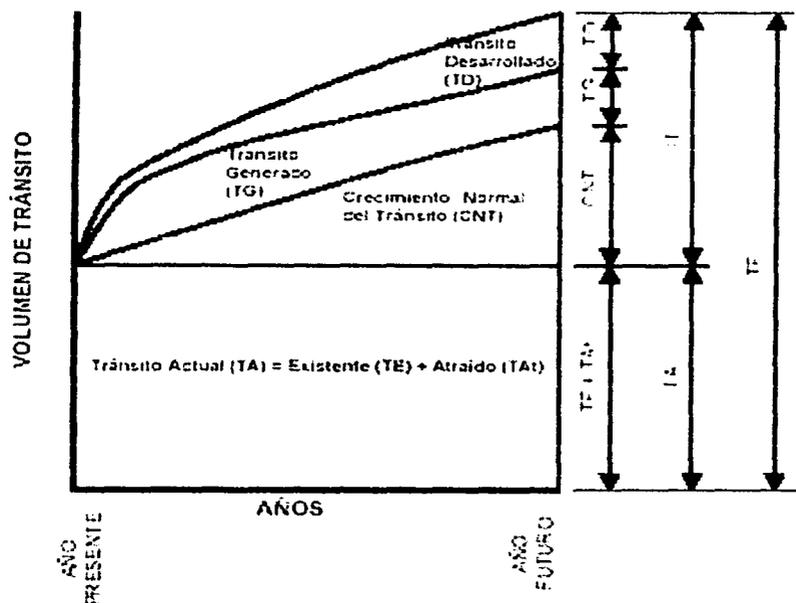


Figura 13. Volumen de tránsito futuro.

II.3 Especificaciones para Materiales de Construcción

Cuando se construye una carretera o una calle con pavimentos de concreto hidráulico se debe cuidar que la calidad de los materiales de construcción cumplan con especificaciones establecidas por diversos organismo dedicados a la investigación, por ello se presentan las principales especificaciones para dichos materiales.

II.3.1 Cemento

El cemento a utilizar para la elaboración del concreto será preferentemente Portland, de marca aprobada oficialmente, el cual deberá cumplir lo especificado en las normas NMX - C-414 - 1999 - ONNCCE. Si los documentos del proyecto o una especificación particular no señalan algo diferente, se emplearán los denominados CPO (Cemento Portland Ordinario) y CPP (Cemento Portland Puzolánico), dependiendo del caso y con la clase resistente 30R, 40 y 40R. Estos cementos corresponden principalmente a los que anteriormente se denominaban como Tipo I y Tipo IP según la ASTM.

Es importante que se cumpla respectivamente con los requisitos físicos y químicos que se señalan en las cláusulas 4.01.02.004-B y 4.01.02.004-C de las normas de calidad de los materiales de la secretaria de comunicaciones y transportes.

El cemento en sacos se deberá almacenar en sitios secos y aislados del suelo, en acopios de no más de siete metros (7 m.) de altura.

Si el cemento se suministra a granel, se deberá almacenar en sitios aislados de la humedad. La capacidad mínima de almacenamiento deberá ser la suficiente para el consumo de un día o una jornada de producción normal.

II.3.2 Agua

El agua que se emplee en la fabricación del concreto deberá cumplir con la norma NMX-C-122, debe ser potable, y por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc. En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano. No deberá contener cantidades mayores de las substancias químicas que las que se indican en la siguiente tabla, en partes por millón:

SUBSTANCIAS PERJUDICIALES	ppm Máximo
Sulfatos (convertidos a Na ₂ SO ₄)	1,000
Cloruros (convertidos a NaCl)	1,000
Materia Orgánica (óxido consumido en medio ácido)	50
Turbiedad y / o lignito	1,500

Cuadro 3. Sustancias perjudiciales para el agua. Fuente Cemex

El pH, medido según la norma ASTM D-1293, no podrá ser inferior a cinco.

El contenido de sulfatos, expresado como SO₄⁼, no podrá ser mayor de un gramo por litro (1g/l). Su determinación se hará de acuerdo con la norma ASTM D-516.

Su contenido de ión cloro, determinado según norma ASTM D-512, no podrá exceder de seis gramos por litro (6 g / l).

II.3.3 Grava

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

CAPITULO II DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

MALLA		% QUE PASA
2"	50.00 mm	100
1 1/2"	37.50 mm	95-100
3/4"	19.00 mm	35-70
3/8"	9.50 mm	10-30
Núm.4	4.75 mm	0-5

Cuadro 4. Granulometría para la grava. Fuente Cemex

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

SUBSTANCIAS PERJUDICIALES	%
Partículas Deleznales	0.25
Partículas Suaves	5.00
Pedernal como impureza	1.00
Carbón mineral y / o lignito	1.00

Cuadro 5. Sustancias perjudiciales para grava. Fuente Cemex

El agregado grueso, además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

Desgaste "Los Angeles"	40% máximo.
Intemperismo Acelerado	12% máximo (utilizando sulfato de sodio).

II.3.4 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:

MALLA		% QUE PASA
3/8"	9.50 mm	100
Núm. 4	4.75 mm	95-100
Núm. 8	2.36 mm	80-100
Núm. 16	1.18 mm	50-85
Núm. 30	0.600 mm	25-60
Núm. 50	0.300 mm	10-30
Núm. 100	0.150 mm	2-10
Núm. 200	0.075 mm	4 máximo

Cuadro 6 Granulometría para arena. Fuente Cemex

La arena deberá estar dentro de la zona que establece esta tabla, excepto en los siguientes casos:

- ❖ Cuando se tengan antecedentes de comportamientos aceptables en el concreto elaborado con ellas, o bien, que los resultados de las pruebas realizados a estos concretos sean satisfactorios; en este caso, los agregados se pueden usar siempre que se haga el ajuste apropiado al proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría.
- ❖ El porcentaje de material que pasa la malla #200 está modificado según los límites de consistencia, lo cual se indica en la siguiente tabla:

Límite líquido.	Índice de plástico.	Material máximo permisible en masa que pasa por la criba 0.075 (#200), en %.
Hasta 25	Hasta 5	18.0
Hasta 25	5-10	16.0
Hasta 25	10-15	6.0
Hasta 25	15-20	4.0
Hasta 25	20-25	1.0
25-35	Hasta 5	16.0
25-35	5-10	14.0
25-35	10-15	11.0
25-35	15-20	8.0
25-35	20-25	1.0
35-45	Hasta 5	15.0
35-45	5-10	9.0
35-45	10-15	6.0
35-45	15-20	2.0
35-45	20-25	1.0
45-55	Hasta 5	9.0a
45-55	5-10	8.0
45-55	10-15	5.0
45-55	15-20	4.0
45-55	20-25	1.0

Cuadro 7. ajuste granulométrico de la arena. Fuente Cemex

La arena no deberá tener un retenido mayor de cuarenta y cinco por ciento (45%), entre dos (2) mallas consecutivas; además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

Equivalente de arena**	80% máximo.
Módulo de finura	2.30 mínimo y 3.10 máximo.
Intemperismo Acelerado	10% máximo (empleando Sulfato de Sodio).

** Al ser modificado el porcentaje de material que pasa la malla #200, según los límites de consistencia, el equivalente de arena también debe de ser modificado.

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

SUBSTANCIAS PERJUDICIALES	% máx.
Partículas Deleznales.	1.00
Carbón mineral y/o lignito.	1.00

Cuadro 8. Sustancias perjudiciales en arena. Fuente Cemex

En el caso de que se tengan dudas acerca de la calidad del agregado fino, a juicio del especificador se llevará a cabo la determinación de la pérdida por intemperismo acelerado, la cual no deberá ser mayor de 10%, en el entendido de que esta condición no excluye las mencionadas anteriormente.

II.3.5 Concreto

El diseño de la mezcla, utilizando los agregados provenientes de los bancos ya tratados, será responsabilidad del productor de concreto, quien tiene la obligación de obtener la resistencia y todas las demás características para el concreto fresco y endurecido, así como las adecuadas para lograr los acabados del pavimento. Durante la construcción, la dosificación de la mezcla de concreto hidráulico se hará en peso y su control durante la elaboración se hará bajo la responsabilidad exclusiva del proveedor, es conveniente que el suministro se realice por proveedores profesionales de concreto.

Algunos de los parámetros que se deben considerar para realizar el diseño de la mezcla son los siguientes:

- ❖ Que el concreto tenga la mas alta consistencia(revenimiento mas bajo) que se puede colocar eficientemente para colocar una masa homogénea.
- ❖ El concreto debe tener un agregado grueso con tamaño máximo disponible en forma económica y que sea consecuente con una colocación adecuada.

CAPITULO II DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

- ❖ El concreto debe contar con suficiente durabilidad para soportar de manera adecuada los agentes atmosféricos y otros medios destructivos a los que puede estar expuesto.
- ❖ El concreto debe tener la resistencia necesaria para soportar las cargas impuestas sin peligro de llegar a la falla.

Los esfuerzos a los que trabaja particularmente el pavimento son principalmente esfuerzos de flexión así que la resistencia que se requiere en pavimentos se mide con el modulo de ruptura, dependiendo del proyecto es el modulo de ruptura que se necesita, tal como lo marca la siguiente tabla:

TIPO DE PROYECTO	MR Kg / cm ²
Autopistas y Carreteras	48.00
Zonas Industriales y Urbanos Principales	45.00
Urbanos Secundarios	42.00

Cuadro 9. Modulo de ruptura. Fuente Cemex

El revenimiento promedio de la mezcla de concreto deberá especificarse de acuerdo con el procedimiento de colocación a utilizar:

Para tendido con cimbra deslizante deberá ser de cinco centímetros (5 cm.) (± 1.5 cm.) al momento de su colocación.

Para colados con cimbra fija deberá ser de diez centímetros (10 cm.) (± 2 cm.) al momento de su colocación.

Las mezclas que no cumplan con este requisito deberán ser destinadas a otras obras de concreto como cunetas y drenajes; no se permitirá su colocación para la losa.

II.3.6 Membrana de Curado

Para el curado de la superficie del concreto recién colado, deberá emplearse una membrana de curado de emulsión en agua y base parafina de color claro, la que deberá cumplir con los requisitos de calidad que se describen en la normas

ASTM C171, ASTM C309, Tipo 2, Clase A, AASHTO M 148, Tipo 2, Clase A, FAA Item P-610-2.10. Este tipo de membranas evitan que se tapen las espreas de los equipos de rociado. Deberá aplicarse apropiadamente para proveer un sello impermeable que optimiza la retención del agua de la mezcla. El pigmento blanco refleja los rayos solares ayudando a mantener la superficie más fresca y prevenir la acumulación de calor.

II.3.7 Acero

El acero de refuerzo necesario para la construcción del pavimento se utiliza en las juntas, ya sea como pasadores de cortante, pasa juntas o como barras de amarre para mantener los cuerpos del pavimento unidos.

Barras de amarre.- En las juntas que muestre el proyecto y / o en los sitios que indique el especificador del proyecto, se colocarán barras de amarre con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas en el sentido perpendicular al de circulación. Las barras de amarre serán de varilla corrugada, de acero estructural, con límite de fluencia (f_y) de cuatro mil doscientos kilogramos por centímetro cuadrado ($4,200 \text{ kg/cm}^2$), debiendo quedar ahogadas en las losas, con las dimensiones y en la posición indicada en el proyecto. Estas barras siempre deberán estar colocadas a la mitad del espesor del pavimento.

Barras pasa juntas.- En las juntas transversales de contracción, en las juntas de construcción, en las juntas de emergencia y/o en los sitios que indique el especificador del proyecto se colocarán barras pasa juntas como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Las barras serán de acero redondo liso y deberán quedar ahogadas en las losas en la posición y con las dimensiones indicadas por el proyecto. Estas barras deberán estar perfectamente alineadas con el sentido longitudinal del pavimento y con su plano horizontal, colocándose a la mitad del espesor de la losa. Ambos extremos de las pasa juntas deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes. El acero deberá cumplir con la norma ASTM A 615 Grado 60 ($f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$), y deberá ser recubierta con asfalto, parafina, grasa o cualquier otro medio que impida efectivamente la adherencia del acero con el concreto y que sea aprobado por el especificador del proyecto.

Las pasa juntas podrán ser instaladas en la posición indicada en el proyecto por medios mecánicos, o bien por medio de la instalación de canastas metálicas de sujeción; éstas deberán asegurar las pasa juntas en la posición correcta, como

CAPITULO II DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

se indica en el proyecto durante el colado y acabado del concreto, mas no deberán impedir el movimiento longitudinal de la misma.

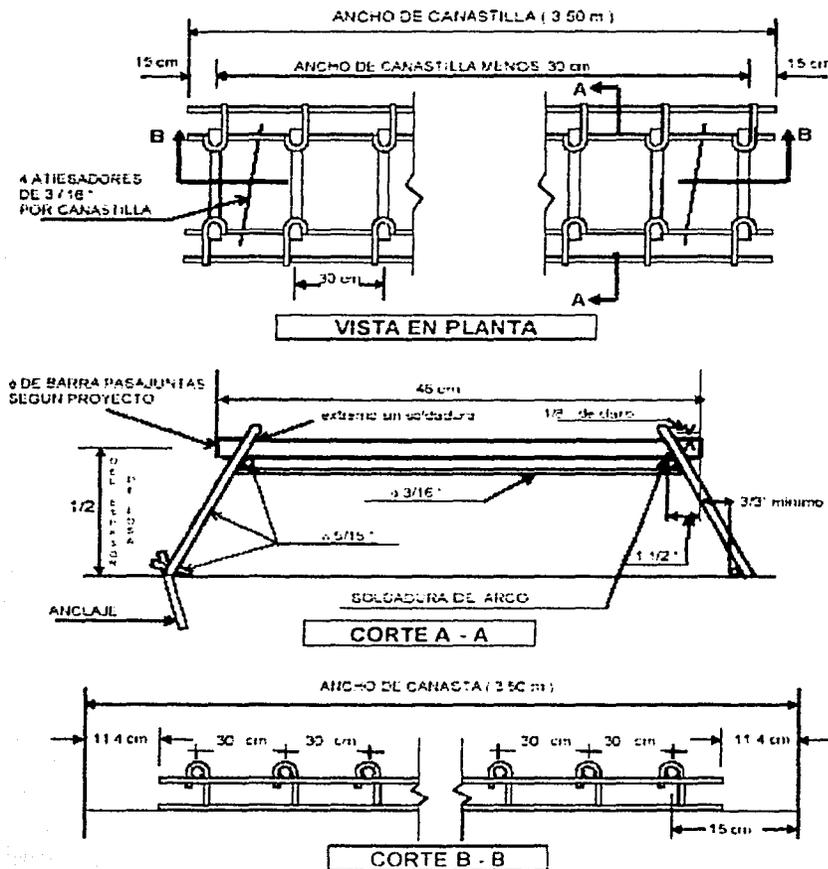


Figura 14. Canastillas para pasa juntas

II.3.8 Sellador para Juntas

Existen muchos materiales aceptados para el sellado de juntas en los pavimentos de concreto. La clasificación más simple los divide como líquidos (ó moldeados en el campo) y los pre-moldeados (compresión).

Sellos líquidos.

Los sellantes líquidos pueden ser colocados en frío, con un solo componente; autonivelables, toman la forma del depósito y dependen en gran parte de la adhesión de las caras de la junta para un sellado satisfactorio.

Sellos a compresión.

Los sellantes pre-moldeados son moldeados durante su fabricación y dependen en gran parte de la recuperación de la compresión para un sellado satisfactorio.

El material sellador para las juntas transversales y longitudinales deberá ser elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotrices, con propiedades adherentes con el concreto y que permita las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas de concreto sin degradarse, debiéndose emplear productos a base de silicona, poliuretano -asfalto o similares, los cuales deberán ser autonivelantes, de un solo componente y solidificarse a temperatura ambiente. A menos de que se especifique lo contrario, el material para el sellado de juntas deberá de cumplir con estos requerimientos, también deberá adherirse a los lados de la junta o grieta con el concreto y deberá formar un sello efectivo contra la filtración de agua o incrustación de materiales incompresibles. En ningún caso se podrá emplear algún material sellador no autorizado por el Especificador.

La tirilla de respaldo a emplear deberá impedir efectivamente la adhesión del sellador a la superficie inferior de la junta. La tirilla de respaldo deberá ser de espuma de polietileno y de las dimensiones indicadas en los documentos de construcción. La tirilla de respaldo deberá ser compatible con el sellador de silicón a emplear y no se deberá presentar adhesión alguna entre el silicón y la tirilla de respaldo.

II.4 Diseño del Espesor de la Carpeta de Concreto Hidráulico

Para realizar el diseño del espesor de la carpeta de Concreto Hidráulico deben tomarse en cuenta varios factores importantes y se debe tener claro que el objetivo de este diseño es obtener el espesor mínimo de la carpeta, que soporte las cargas para las que sea proyectado el pavimento.

Existen diversos métodos para realizar el diseño del espesor de la carpeta de Concreto Hidráulico, esto es debido a que desde hace algunos años diversas organizaciones han dirigido su atención a resolver este problema.

Los Métodos mas conocidos y utilizados en el mundo son:

- ❖ Método AASTHO ("American Association of State Highway and Transportation Officials")
- ❖ Método PCA (Asociación de cemento Pórtland)
- ❖ Método PCA para calles y avenidas de las ciudades
- ❖ Método de la FAA (Oficina de la administración federal de aeropuertos)

Estos son solo algunos de los Métodos pero no son todos.

En esta tesis desarrollaremos el Método AASTHO, esto debido principalmente a la investigación práctica que se realizó para su desarrollo dentro de la misma AASTHO.

II.4.1 Prueba AASHO

La prueba de pavimentación que en su momento se conoció como AASHO, por sus siglas en inglés y debido a que en aquel entonces no estaba integrado el departamento del transporte de EU a esta organización. Fue concebida y promovida gracias a la organización que ahora conocemos como AASHTO ("*American Association of State Highway and Transportation Officials*") para estudiar el comportamiento de estructuras de pavimento de espesores conocidos, bajo cargas móviles de magnitudes y frecuencias conocidas y bajo el efecto del medio ambiente. Fue formulada por el consejo de investigación de carreteras de la academia nacional de ciencias – consejo nacional para la investigación.

La prueba consistió en construir circuitos con diferentes espesores en la estructura de pavimentos, además de tener secciones con pavimentos de concreto asfáltico y secciones con pavimentos de concreto hidráulico, estos circuitos estaban debidamente instrumentados y por ellos se haría pasar tránsito controlado. La planeación empezó en 1951, la construcción del proyecto comenzó en 1956 muy cerca de Ottawa, Illinois. EL tráfico controlado de la prueba se aplicó de octubre de 1958 a noviembre de 1960, o sea, durante más de dos años.

El objetivo principal de las pruebas consistía en determinar relaciones significativas entre el comportamiento de varias secciones de pavimento y las cargas aplicadas sobre ellas, o bien para determinar las relaciones significativas entre un número de repeticiones de ejes con cargas, de diferente magnitud y disposición, y el comportamiento de diferente espesores de pavimentos, conformados con bases y sub-bases, colocados en suelos de características conocidas.

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

Se realizaron 6 circuitos de prueba, todos eran tramos de dos carriles y tenían la mitad del tramo en pavimento de concreto y la otra en pavimento flexible.

El Circuito 1 se dejó sin cargas para evaluar el impacto del Medio Ambiente en los pavimentos.

El Circuito 2 se utilizó con aplicaciones de cargas de camiones ligero.

En los Circuitos de 3 al 6 se realizaron aplicaciones de carga con camiones pesados.

Los circuitos 5 y 6 tuvieron idénticas configuraciones y combinaciones de carga.

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

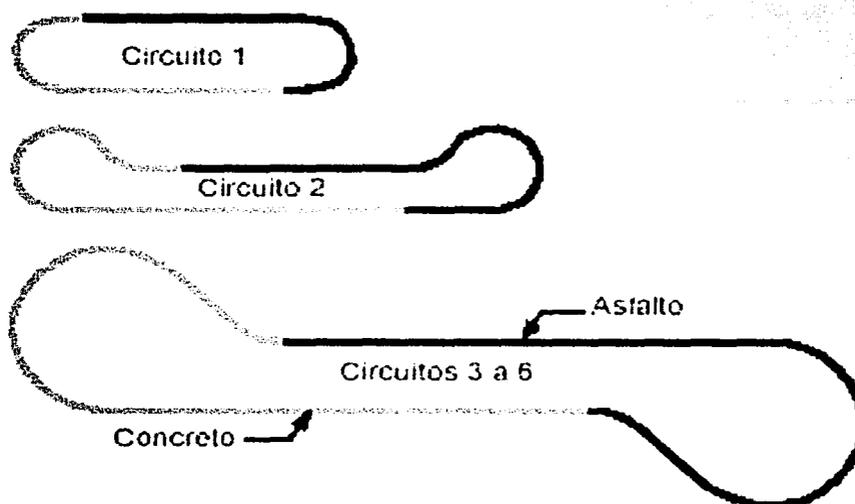


Figura 15. Geometría de los circuitos.

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

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

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

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

- ❖ inicialmente 6 vehículos por carril
- ❖ posteriormente se aumento a 10 vehículos por carril (en enero 1960)

El tiempo de Operación de los vehículos fue de:

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

En Total se aplicaron:

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

Al finalizar la prueba se hizo una evaluación de las condiciones en que quedaron los circuitos, para esto se analizó el nivel de servicio del pavimento al final de la prueba.

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

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

A continuación se muestra a manera de ejemplo una de las tablas de resultado para el circuito 3.

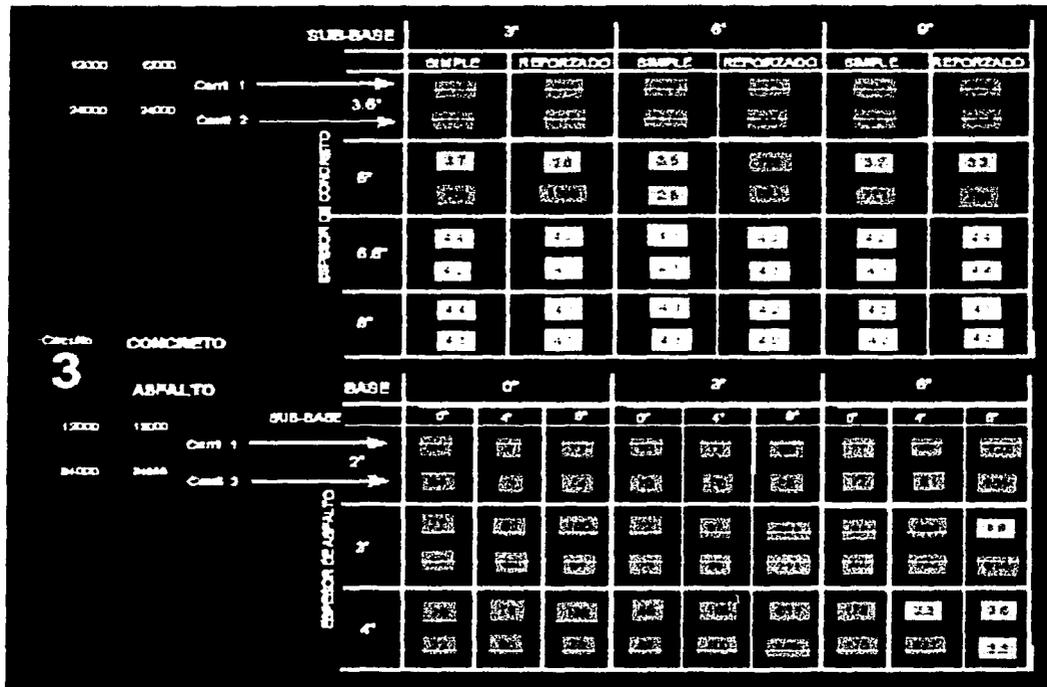


Figura 16 Diferentes secciones probadas tanto de concreto como de asfalto con las diferentes combinaciones de sub-base, base y carpeta.

La nomenclatura utilizada es la siguiente:

 Secciones que permanecieron en buenas condiciones, el número interior corresponde al índice de servicio al final de la prueba.

 Secciones que permanecieron en regulares condiciones, el número interior corresponde al índice de servicio al final de la prueba.

 Secciones que llegaron a la falla, el número interior corresponde al número de aplicaciones de carga con el que llegaron a la falla.

CAPITULO II DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Las secciones de la parte superior corresponden al concreto y las de la parte inferior corresponden al asfalto.

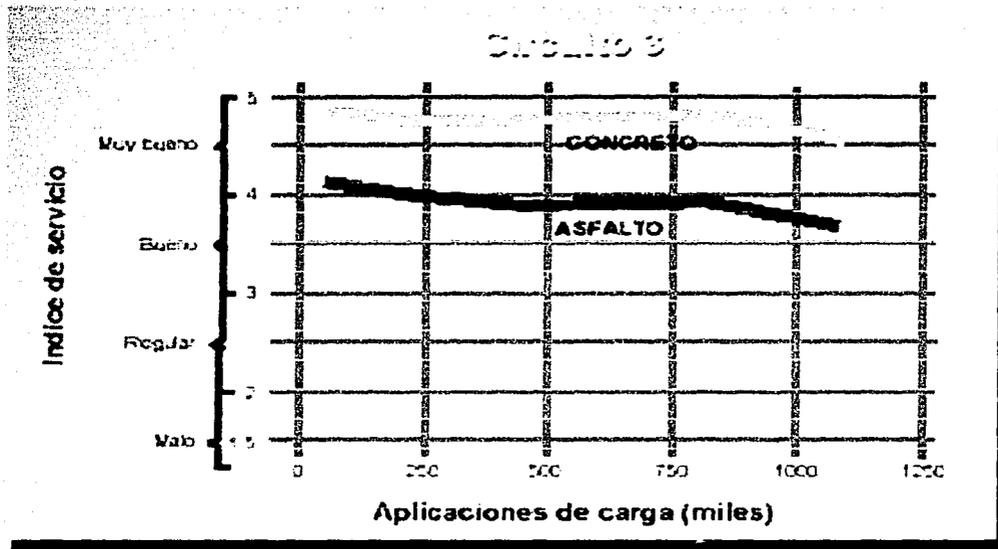


Figura 17. Niveles de servicio durante la prueba.

En general, como se puede apreciar, los pavimentos de concreto hidráulico tuvieron un mejor comportamiento durante la prueba.

Una de las conclusiones que se obtuvieron durante la prueba de pavimentos es con referencia a los pavimentos con acero de refuerzo. Como se muestra a continuación, el acero de refuerzo en los pavimentos de concreto prácticamente no incrementa su capacidad portante, debido a que el pavimento se apoya en toda la superficie de la sub-base y por lo tanto no existen las deformaciones que harían que el acero de refuerzo trabajara para dar una contribución significativa.

Por lo tanto no es recomendable utilizar acero de refuerzo en pavimentos de concreto hidráulico, ya que su aportación estructural es mínima.

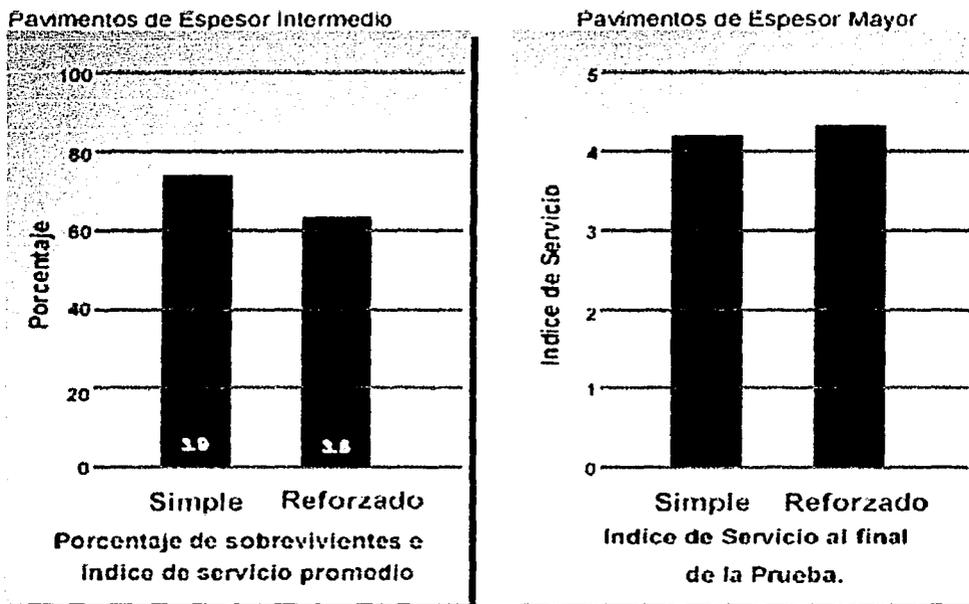


Figura 18. Aportación estructural del acero

Aproximadamente después de un año de terminar la prueba AASHO para 1961 salió publicada la primer "Guía AASHO para Diseño de Pavimentos Rígidos y Flexibles". Posteriormente para 1972 se realizó una revisión y se publicó como la "Guía AASHO para Diseño de Estructuras de Pavimento - 1972"; Para 1981 se hizo una Revisión al Capítulo III, correspondiente al Diseño de Pavimentos de Concreto con Cemento Portland;

Para 1986 se publicó una revisión de la "Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento"; En 1993 se realizó una Revisión del Diseño de Sobrecarpetas de pavimento; Para 1998 se publicó un método alternativo para diseño de

pavimentos, que corresponde a un "Suplemento a la guía de diseño de estructuras de pavimento".

II.4.2 Método AASHTO

Este método consiste básicamente en la aplicación de la formula que se obtuvo y se publicó en la "Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimento".

Dicha formula es la siguiente:

$$\log_{10}(E_{18}) = \left[\begin{array}{l} \text{Desviación Estándar Normal} \\ Z_r \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.6-1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.48}}} \\ \text{Error Estándar Combinado} \\ \text{Espesor} \\ \text{Diferencia de Serviciabilidad} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Serviciabilidad Final} \\ (4.22 - 0.32 \times pt) \times \log_{10} \left[\frac{S_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times \left[D^{0.75} \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right] \\ \text{Tráfico} \\ \text{Módulo de Ruptura} \\ \text{Coeficiente de Drenaje} \\ \text{Coeficiente de Transferencia de Carga} \\ \text{Módulo de Elasticidad} \\ \text{Módulo de Reacción} \end{array} \right]$$

Figura 19. Formula para el diseño del espesor de la carpeta

Por la complejidad de la ecuación el método de solución que se recomienda es sustituir todos los valores necesarios y proponer un espesor para la carpeta, si

no se cumple la ecuación se cambia el valor propuesto y se itera hasta llegar al valor correcto.

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

Las variables que se tienen para el diseño del pavimento son:

- ❖ Espesor
- ❖ Serviciabilidad
- ❖ Tráfico
- ❖ Transferencia de Carga
- ❖ Propiedades del Concreto
- ❖ Resistencia de la Subrasante
- ❖ Drenaje
- ❖ Confiabilidad

II.4.2.1 Espesor de la Carpeta

El espesor del pavimento 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 en el espesor puede significar una variación importante en la vida útil.

En la formula se puede apreciar que el espesor esta marcado con la letra "D"

II.4.2.2 Serviciabilidad

La Serviciabilidad esta relacionada con el índice de servicio del pavimento que se mostró en el capítulo I, y para la aplicación de la formula necesitamos 3 variables que son: p_o , p_t y ΔPSI

Numéricamente se relacionan de la siguiente manera:

$$p_o - p_t = \Delta PSI$$

p_o = Nivel de servicio inmediatamente después de la construcción de la carretera.

Los valores recomendados por la AASTHO para el p_o son:

- ❖ Para pavimento de Concreto 4.5
- ❖ Para pavimento de Asfalto 4.2

P_t = Nivel de servicio al final de la vida útil del pavimento.

Los valores recomendados por la AASTHO para el p_t son:

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

ΔPSI = Diferencia de Serviabilidad.

Gráficamente se puede apreciar esto a continuación.
Gráficamente se puede apreciar esto a continuación.

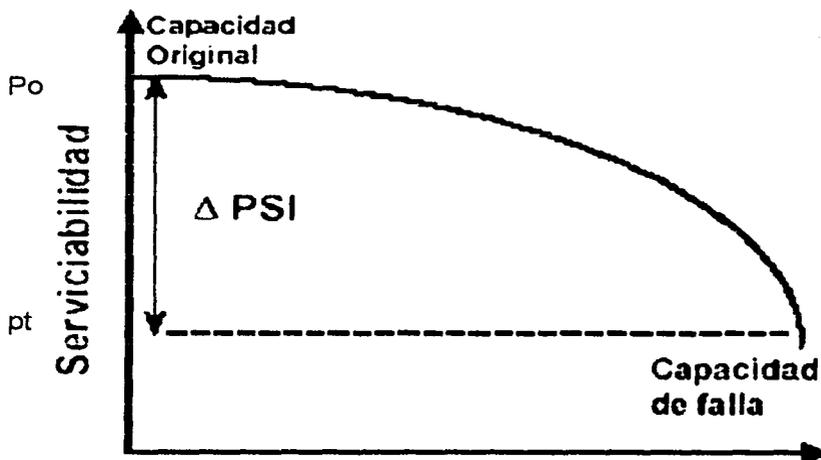


Figura 20. Serviabilidad.

II.4.2.3 Tráfico

El Tráfico es una de las variables más significativas del diseño de pavimentos y sin embargo es una de las que más incertidumbre presenta al momento de estimarse. Es importante hacer notar que debemos contar con la información más precisa posible del tráfico para el diseño, ya que de no ser así podríamos tener diseños inseguros o con un grado importante de sobre diseño.

Dentro de la ecuación la variable que nos relaciona el tráfico es "E18" que representa el numero de ESAL's.

La metodología AASHTO considera la vida útil de un pavimento relacionada con el número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final predeterminadas para el camino. El método AASHTO utiliza en su formulación el número de repeticiones esperadas de carga de Ejes Equivalentes, es decir, que antes de entrar a las fórmulas de diseño, debemos transformar los Ejes de Pesos Normales de los vehículos que circularán por el camino, en Ejes Sencillos Equivalentes de 18 kips (8.2 Ton) también conocidos como ESAL's.

Lo siguiente es realizar los cálculos para el carril de diseño, seleccionado para estos fines por ser el que mejor representa las condiciones críticas de servicio de la calle o camino. Existen algunos factores que nos ayudan a determinar con precisión el tráfico que circulará por el carril de diseño.

La AASHTO diseña los pavimentos de concreto por fatiga. La fatiga la podemos entender como el número de repeticiones ó ciclos de carga y descarga que actúan sobre un elemento. Al establecer una vida útil de diseño, en realidad lo que estamos haciendo es tratar de estimar, en un período de tiempo, el número de repeticiones de carga a las que estará sometido el pavimento.

Como ya se mencionó, para poder conocer el numero de ESAL's debemos hacer unos cálculos iniciales y para ello debemos conocer algunos conceptos de ingeniería de tránsito.

Tráfico en la vida útil

La vida útil mínima con la que se debe diseñar un pavimento rígido es de 20 años, es común realizar diseños para 30, 40 ó más de 50 años. Adicionalmente se deberá contemplar el crecimiento del tráfico durante su vida útil, que depende en

gran medida del desarrollo económico - social de la zona en cuestión, del mejoramiento de las características del pavimento se puede generar tráfico atraído e igualmente se debe considerar la capacidad de tráfico de la vía.

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

donde:

T_{vu} = Tráfico en la vida útil

T_{pa} = Tráfico durante el primer año

FCT = Factor de crecimiento del tráfico, que depende de la Tasa de Crecimiento Anual y de la Vida Útil

Tasa de Crecimiento Anual

Dependiendo de muchos factores, tales como el desarrollo económico - social, la capacidad de la vía, etc. 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 el tráfico se mantiene prácticamente sin crecer.

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 de tráfico su crecimiento se va haciendo mas lento, este efecto debemos considerarlo pudiendo estimar una Tasa de Crecimiento Equivalente, para considerar las variaciones en el crecimiento durante la vida útil.

Es importante investigar adecuadamente la tasa de crecimiento apropiada para el caso en particular que se este considerando pero podemos señalar que esta tasa varía entre el 1 y 5% en los primeros 5 años.

Factor de Crecimiento del Tráfico

El factor de crecimiento del tráfico considera los años de vida útil más un número de años adicionales debidos al crecimiento propio de la vía.

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

donde:

g = Tasa de Crecimiento

n = Años de Vida Útil

Factor de Sentido

Del total del tráfico que se estima para el diseño del pavimento deberá determinarse el correspondiente a cada sentido de circulación, esto se realiza mediante la introducción del Factor de Sentido, cuyos valores recomendados son:

Un sentido de Circulación	1.0
Doble sentido de Circulación	2.0

Factor de Carril

El factor de Carril es un coeficiente que nos permite estimar que tanto del tráfico en el sentido de diseño circula por el carril de diseño. En una vía de un solo carril en el sentido de circulación de diseño, obviamente el 100% del tráfico circulará por ese carril que al mismo tiempo será nuestro carril de diseño. Una vía con dos carriles en el sentido de diseño, dependiendo del tipo de camino: carretero ó urbano, y de que tan saturada esté la vía, pueda ser que sobre el carril de diseño circule entre un 50% a un 80% del tráfico en ese sentido.

La AASHTO recomienda algunos valores, sin embargo no necesariamente deben utilizarse.

Numero 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

Factor de Equivalencia del Tráfico

Las fórmulas que permiten convertir el número de ejes de pesos normales a ejes equivalentes dependen del espesor del pavimento, de la carga del eje, del tipo de eje y del nivel de servicio final que pretendemos para el pavimento. A continuación se muestran dichas fórmulas:

$$Fec = \frac{E_{18}}{E_x}$$

$$\log \frac{E_x}{E_{18}} = 4.62 \log (18+1) - 4.62 \log (L_x + L_2) + 3.28 \log (L_2) + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}}$$

$$G_t = \log \frac{4.5 - p_t}{4.5 - 1.5} \quad \beta_x = 1 + \frac{3.63 (L_x + L_2)^{5.20}}{(D + 1)^{8.46} (L_2)^{3.52}}$$

En Donde:

E_x = # Aplicaciones de carga definida al final del tiempo t

E_{18} = # Aplicaciones de carga equivalente al final del tiempo t

L_x = Carga del eje en kips

L2 = Código de eje cargado:

L2 = 1 Para eje Sencillo

L2 = 2 Para eje Tandem

L2 = 3 Para eje Tridem

$$G_t = f (P_t)$$

β_{18} = Valor de β_x cuando $L_x = 18$ y $L_2 = 1$

El tráfico pesado es el que mayor daño produce a los pavimentos por lo que deberá estimarse con la mayor precisión posible. Como ejemplo podemos mencionar que el daño que produce una sola aplicación de carga de un camión semi-remolque de 36 Ton. equivale al daño que producen 9,523 repeticiones de carga de un vehículo tipo automóvil.

II.4.2.4 Coeficiente de Transferencia de Cargas

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

El método AASHTO considera la transferencia de cargas mediante el factor de transferencia de cargas que en la ecuación aparece como "J".

La efectividad de la transferencia de carga entre losas adyacentes depende de varios factores:

- ❖ Cantidad de Tráfico
- ❖ Utilización de Pasa juntas
- ❖ 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.

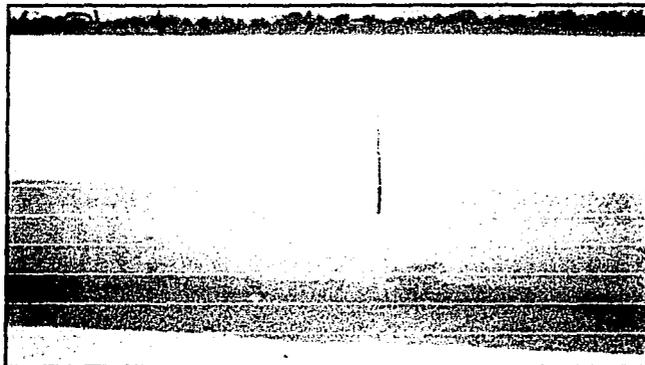


Figura 21. Trabazón de agregados.

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

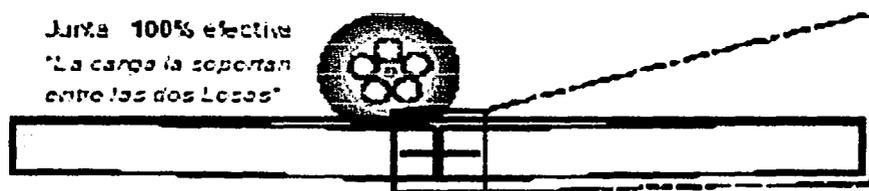


Figura 22. Juntas con pasa juntas

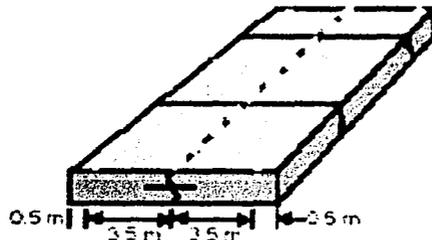
Los valores recomendados por PCA que fueron tomados para el desarrollo de este método para el coeficiente "J" son:

Millones ESAL's	de Trabazon de agregados		Con pasa juntas	
	Con soporte lateral	Sin soporte lateral	Con soporte lateral	Sin soporte lateral
Menos de 0.3	2.8	3.2		
0.3 a 1.0	3.0	3.4		
1.0 a 3.0	3.1	3.6		
3.0 a 10	3.2	3.8	2.7	3.2
10 a 30	3.4	4.1		
mas de 30	3.6	4.3		

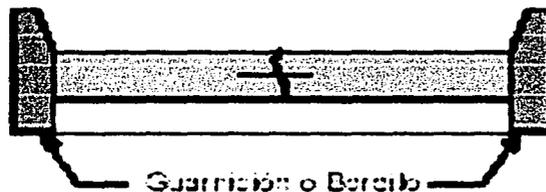
Cuadro 10. Valores para el coeficiente de carga J. Fuente Cemex

Soporte Lateral . - El confinamiento que produce el soporte lateral contribuye a reducir los esfuerzos máximos que se generan en el concreto por efecto de las cargas. Un pavimento de concreto puede considerarse lateralmente soportado cuando tenga algunas de las siguientes características en su sección:

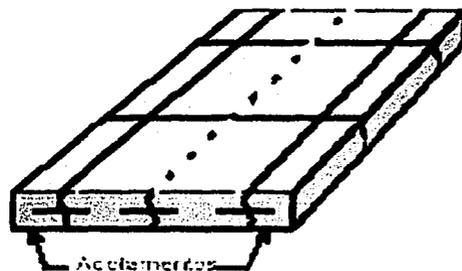
Ancho ≥ 4.0 m



Confinamiento con Guarniciones o Banquetas



Con Acotamientos Laterales



II.4.2.4 Módulo de Ruptura del Concreto

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

Dentro de la expresión de diseño se encuentra esta variable como $S'c$.

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

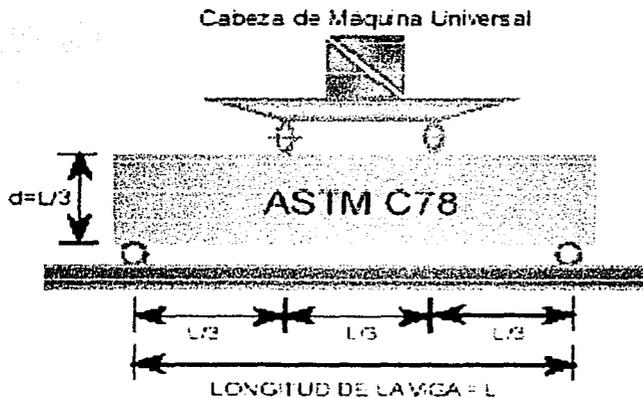


Figura 23. Esquema de prueba a la flexión.

Los valores recomendados para el módulo de ruptura varían desde los 41 kg/cm^2 (583 psi) hasta los 50 kg/cm^2 (711 psi) a 28 días dependiendo del uso que vayan a tener. En seguida se muestran valores recomendados, sin embargo el diseñador deberá elegir de acuerdo a un buen criterio.

Tipo de Pavimentos	MR recomendado	
	Kg / cm ²	psi
Autopistas	48	682.7
Carreteras	48	682.7
Zonas Industriales	45	640.1
Urbanas Principales	45	640.1
Urbanas Secundarias	42	597.4

Cuadro 11. Modulo de Ruptura recomendado. Fuente Cemex

II.4.2.6 Módulo de Elasticidad del Concreto

El módulo de elasticidad del concreto esta intimamente relacionado con su módulo de ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el módulo de elasticidad a partir del módulo de ruptura. Los dos más utilizados son:

$$E_c = 6,750 * MR$$

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

Estas formulas aplican con unidades inglesas.

II.4.2.7 Módulo de Reacción del Suelo

El módulo de reacción de suelo corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural en donde se soportará el cuerpo del pavimento. El valor del módulo de reacción (K) se puede obtener directamente del terreno mediante la prueba de placa ASTM D1195 y D1196. El valor de K representa el soporte

(terreno natural y terraplén si lo hay) y se puede incrementar al tomar la contribución de la sub-base.

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

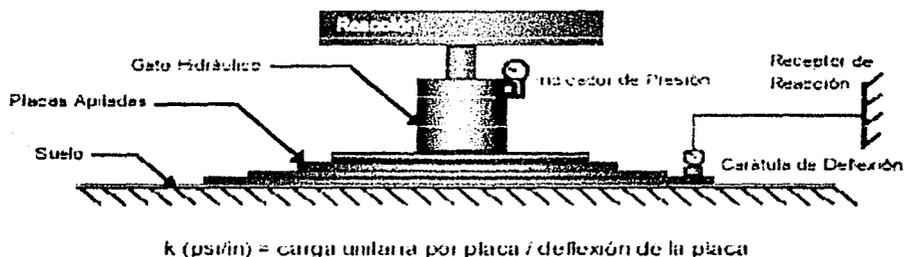


Figura 24. Esquema de la prueba de placa.

La prueba de placa consiste en aplicar una carga conocida, mediante una placa circular de dimensiones conocidas, directamente sobre la plantilla de suelo que va a soportar la estructura del pavimento. Con estos datos conocidos se mide la deformación experimentada por el suelo, sobre la placa se colocan otras placas que van disminuyendo de diámetro para evitar deformaciones en ella.

II.4.2.8 Coeficiente de Drenaje

En cualquier tipo de pavimento, el drenaje, es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento 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, dado que en caso de presentarse esta situación afectará en gran medida la respuesta estructural del pavimento.

Dentro de la ecuación de diseño podemos encontrar al coeficiente de drenaje como Cd.

Los aspectos que debemos de cuidar para evitar que el agua penetre en la estructura de soporte son:

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

Tener agua atrapada en la estructura del Pavimento produce efectos nocivos en el mismo, como pueden ser:

- ❖ 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

Los valores recomendados para el coeficiente de drenaje deberán estar entre 1.0 y 1.10. El primero de estos valores se tienen para las mejores condiciones de drenaje y el segundo para las peores condiciones.

II.4.2.9 Confiabilidad

Sabemos que en todas las acciones necesarias, tanto para elaborar el concreto hidráulico como en el proceso constructivo, tenemos variaciones tanto en los materiales como en los procesos, debido a esto contamos con factores estadísticos que influyen el comportamiento de los pavimentos, y estos son:

- ❖ Confiabilidad R
- ❖ Desviación Estándar

Confiabilidad.- La confiabilidad esta definida como "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 80% de las losas del pavimento alcancen al final de su vida útil una serviciabilidad igual a la serviciabilidad final seleccionada en el diseño.

CAPITULO II DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

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

Cuadro 12. Confiabilidad recomendada por AASHTO. Valida para Estados Unidos.

También podemos entender a la confiabilidad como un Factor de Seguridad y ante esa situación debemos reflexionar en los valores de confiabilidad que debemos utilizar en México, con el mejor de los criterios, al hacer un diseño para un pavimento.

Tipo de Pavimento	Confiabilidad R
Autopistas	95 %
Carreteras	80 %
Rurales	70 %
Zonas Industriales	65 %
Urbanas Principales	60 %
Urbanas Secundarias	50 %

Cuadro 13. Confiabilidad recomendada para México. Fuente Cemex

Dentro de la ecuación de diseño encontramos las variables Z_r y S_o las cuales representan "desviación normal estándar" y "desviación estándar" consecutivamente, estas dos variables se relacionan con la confiabilidad como a continuación se presenta:

Tipo de pavimento	So
Pavimentos nuevos	0.35
Whitetopping	0.39

Cuadro 14. Desviación estándar recomendada según AASHTO

So/R	50%	60%	70%	80%	90%	95%
0.35	1.00	1.23	1.53	1.97	2.81	3.76
0.39	1.00	1.26	1.60	2.13	3.16	4.38

Cuadro 15. Valores para Zr recomendados por AASHTO

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

Con esto cubrimos todas las variables que se encuentran dentro de la ecuación de diseño para el método AASHTO y sustituyéndolas podemos empezar a iterar para dar solución al problema de diseño de espesor de la carpeta de concreto hidráulico.

II.5 Diseño de Juntas

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

Además las juntas tienen funciones más específicas, como lo son:

- ❖ El control del agrietamiento transversal y longitudinal provocado por las restricciones de contracción combinándose con los efectos de pandeo ó 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.

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

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

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

comportamiento de las juntas. En muchas ocasiones el despostillamiento es resultado de concentraciones de materiales malos a lo largo de las juntas.

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

Uno de los factores antes mencionados que provocan los agrietamientos es la contracción del concreto, y esta ocurre a muy temprana edad en la vida del pavimento provocado principalmente por cambios de temperatura. El calor de hidratación y temperatura del pavimento normalmente alcanza su valor máximo muy poco tiempo después de su colocación y una vez alcanzado su valor máximo, 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 a causa de la pérdida de agua en la mezcla. El concreto para aplicaciones de caminos requiere de una mínima cantidad de agua de mezcla, esto 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 con la pérdida de agua el concreto ocupe menos volumen.

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

En resumen no podemos evitar que surjan grietas en el concreto pero si podemos hacer que las grietas surjan en donde a nosotros nos convengan, esto es, de una forma controlada.

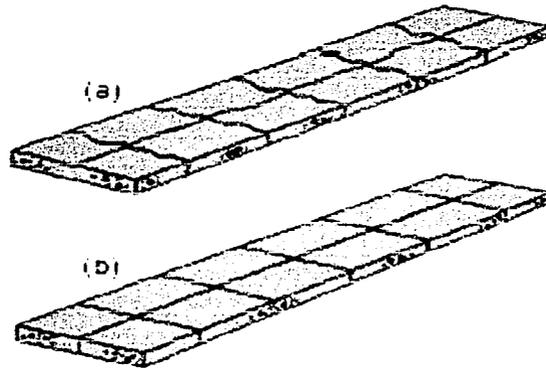


Figura 25. a) Agrietamiento natural. b) Agrietamiento controlado.

En los pavimentos de concreto, la junta es diseñada para formar un plano de debilidad para controlar la formación de grietas transversales y la separación de las juntas se diseña para que no se formen grietas transversales intermedias ó aleatorias.

Lo más recomendable es que el espaciamiento se base en las experiencias locales ya que un cambio en el tipo de agregado grueso puede tener un efecto significativo en el coeficiente térmico del concreto y por consecuencia en el espaciamiento adecuado para las juntas.

Existe una regla práctica que nos permite dimensionar los tableros de losas para inducir el agrietamiento controlado bajo los cortes de losas, sin necesidad de colocar acero de refuerzo continuo:

$$SJT = (21 \text{ a } 24) D$$

Donde:

SJT = Separación de Juntas Transversales (≤ 5.0 m)
 D = Espesor del Pavimento

Normalmente se utiliza el 21 cuando tenemos mayor fricción entre la sub-base y el pavimento de concreto, como en los casos en donde tenemos bases estabilizadas, bases con textura muy cerrada o *whitetting*. El valor de 24 se utiliza cuando la fricción entre la sub-base y el pavimento corresponde valores normales, como en el caso de sub-bases granulares.

La separación de juntas transversales que arroja esta fórmula no debe ser mayor de 5.0m, en tal caso deberá limitarse a este valor de 5.0 m.

La otra dimensión es la separación de juntas longitudinales, sin embargo esta está referenciada a la forma de los tableros de losas. La forma ideal de un tablero de losa es la cuadrada, sin embargo no siempre es posible y conveniente tener las losas perfectamente cuadradas, por lo que nos vemos obligados a considerar un cierto grado de rectangularidad.

La relación entre largo y ancho de un tablero de losas no deberá estar fuera de estos límites:

$$0.71 < x / y < 1.4$$



II.5.1 Tipos de Juntas

Los tipos de juntas más comunes en los pavimentos de concreto son:

1. **Juntas Transversales de Contracción:** Son las juntas que son construidas 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 de humedad.

2. **Junta Transversales de Construcción:** Son las juntas colocadas al final de un día de pavimentación ó por cualquier otra interrupción a los trabajos (por ejemplo los accesos ó aproches a un puente).
3. **Junta Transversal de Expansión / Aislamiento:** Estas juntas son colocadas en donde se permita el movimiento del pavimento sin dañar estructuras adyacentes (puentes, estructuras de drenaje, etc.) ó el mismo pavimento.

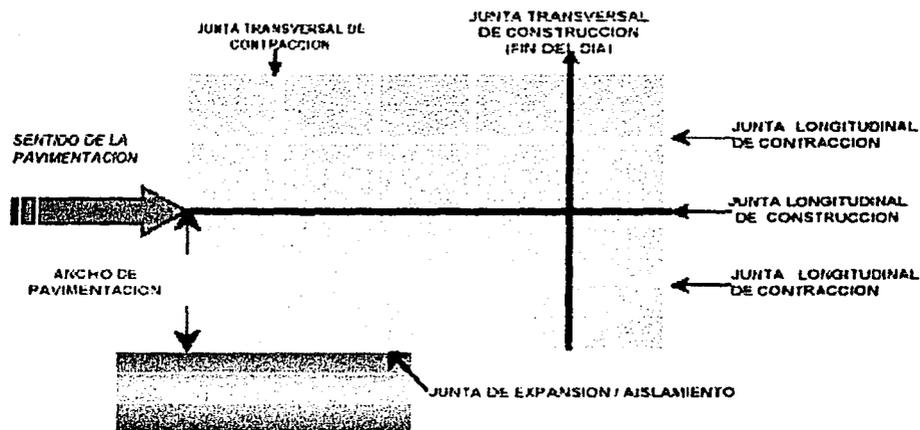


Figura 26. Tipos de juntas

4. **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 ó más carriles.
5. **Junta Longitudinal de Construcción:** Estas juntas unen carriles adyacentes cuando van a ser pavimentados en tiempos diferentes.

II.6 Diseño de Pasa juntas

El diseño de pasa juntas se basa mucho en la experiencia, aunque algunos métodos teóricos sobre el diseño de pasa juntas están disponibles. El tamaño de

las pasa juntas depende del espesor de la losa. En la siguiente tabla se muestra el diámetro y longitud de las pasa juntas para diferentes espesores de losa como lo recomienda la PCA (1975). Se puede apreciar que el diámetro de las pasa juntas es igual a un octavo del espesor de la losa. En una edición reciente de diseño de juntas, la PCA (1991) recomienda el uso de pasa juntas de 1.25 in de diámetro para pavimentos de autopistas con espesores menores a 10 in y pasa juntas de diámetro de 1.5 in para pavimentos con espesores mayores a 10 in. Se necesitan pasa juntas con un diámetro mínimo de 1.25 a 1.5 in para controlar fallas mediante la reducción del esfuerzo de carga en el concreto.

Espesor de losas		Barras Pasa juntas					
cm	in	Diámetro		Longitud		Separación	
		mm	in	cm	in	cm	in
13 a 15	5 a 6	19	3/4	41	16	30	12
15 a 20	6 a 8	25	1	46	18	30	12
20 a 30	8 a 12	32	1 1/4	46	18	30	12
30 a 43	12 a 17	38	1 1/2	51	20	38	15
43 a 50	17 a 20	45	1 3/4	56	22	46	18

Cuadro 16. Diámetros y longitudes de pasa juntas recomendados.

Las pasa juntas se usan en las juntas transversales para transferir las cargas a las losas adyacentes. El esfuerzo y la deflexión en la junta son mucho más pequeños cuando las cargas son soportadas por dos losas que cuando es por una sola. El uso de pasa juntas puede minimizar las fallas de bombeo y de diferencia de elevación de juntas, las cuales han sido considerados por la PCA como factores importantes en el diseño de espesor.

II.7 Diseño de Barras de Amarre

Las barras de amarre se colocan a lo largo de la junta longitudinal para amarrar dos losas, con la finalidad de que se mantengan juntas y de que se asegure que la carga se transfiera a través de la junta.

La cantidad de acero requerido para las barras de amarre se determina de la siguiente manera:

$$As = \frac{\gamma_o h L' f_a}{f_s}$$

Donde :

As = Área requerida de acero por unidad de longitud de la losa.

γ_o = Peso volumétrico del concreto

h = Espesor del pavimento.

f_a = Coeficiente promedio de fricción entre la losa y el terreno de soporte, que normalmente se considera de 1.5

f_s = Esfuerzo permisible en el acero.

L' = Distancia desde la junta longitudinal hasta el borde libre donde no existe barra de amarre. Para autopistas de 2 o 3 carriles, L' es el ancho del carril. Si las barras de amarre se usan en las tres juntas longitudinales de una carretera de 4 carriles, L' es igual al ancho del carril para las dos juntas exteriores y el doble del ancho para la junta interna.

La longitud de la barra de amarre, está controlada por el esfuerzo de adhesión permitido. El esfuerzo de adhesión permitido para barras corrugadas se puede asumir en 350 psi. La longitud de la barra, se debe basar en la resistencia total de la barra.

$$t = \frac{2 (A_1 f_s)}{(\mu P)}$$

Donde:

t = Longitud de la barra de amarre.

μ = Esfuerzo permisible.

CAPITULO II DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

A_1 = Área transversal de una barra.

P = Perímetro de la barra.

f_s = Esfuerzo permisible en el acero.

Varios organismos usan el diseño estándar de barras de amarre para simplificar la construcción. Barras de 0.5 in de diámetro por 36 in de longitud y separación de 30 a 40 in son las que comúnmente se usan.

Aquí terminamos con el diseño de las partes fundamentales, aunque no las únicas, de un pavimento de concreto hidráulico.

**CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE
CONCRETO HIDRÁULICO**

CAPITULO III

**PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS
DE
CONCRETO HIDRÁULICO**

En este capítulo trataremos todo lo que se refiere a la construcción de pavimentos de concreto hidráulico y en general la construcción de carreteras aunque por los alcances de esta tesis se desarrollen de una forma más completa los temas de construcción de la losa de concreto hidráulico.

III.1 Construcción de terracerías

Desmonte y desenraice

La construcción de terracerías se inicia desde que tenemos el terreno natural, los primeros trabajos que se realizan es el **desmonte** que consiste en quitar la vegetación dentro del derecho de vía, este trabajo puede realizarse en forma manual o con máquinas como: tractores, en este trabajo se incluye el **desenraice**, donde si quedan hoyos, se rellenan con material de buena calidad y compactado adecuadamente.

Despalme

A continuación se proceden a realizar los trabajos de **despalme** que consiste en extraer la capa de material que contenga material vegetal. El espesor de esta capa puede variar de 10 a 50 cm y llega como máximo a 1 m si se tiene un espesor fuerte de material altamente compresible. Este trabajo es realizado por tractores.

Cuerpo de terraplén

Lo que sigue puede variar dependiendo el proyecto ya que tal vez se necesite un **cuerpo de terraplén** para satisfacer las especificaciones geométricas, o tal vez necesitemos un **corte** y dependiendo del tipo de material que se nos presente será la técnica que se utilice, pero básicamente se reduce a movimiento de tierras y en el caso del terraplén, los materiales deberá tener ciertas características y llegar a un grado de compactación alrededor del 90% del PVSM dependiendo de lo que mande el proyecto.

Subyacente y subrasante

Después de esto seguimos con la construcción de la subyacente y la subrasante, estas capas están formadas por materiales obtenidos de cortes o materiales extraído de bancos de préstamo, este material es acarreado por

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

camiones hasta el lugar donde se necesita, ahí es depositado a volteo donde es extendido por un tractor, el cual hace también la función de compactar, ya que al pasar varias veces por el mismo punto y con sus más de 20 ton logra este cometido. Al mismo tiempo se riega con una pipa el material para lograr la compactación. Estas dos capas tienen alrededor de entre 30 y 50cm pero se construye en capas de 15cm. Al llegar a la elevación de proyecto se continúa con la afinación de la superficie, la cual se inicia poniendo datos con topografía



Figura 1. Construcción de terracerías

a cada 20 m longitudinalmente y en varios puntos transversalmente a la carretera, en donde con la ayuda de un nivel y un estadal se colocan estacas de madera, con un listón amarrado para que no se pierda, a la elevación que nos marque el proyecto, estas estacas son las guías para el operador de una motoconformadora ya que por medio de la cuchilla deja la superficie a una elevación exacta. Después se le da unas pasadas con un rodillo compactador para así tener la capa terminada.

III.2 Construcción de sub base

El proceso constructivo para una sub base, incluidas las etapas de muestreo y pruebas preliminares son:

Exploración

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Se requiere efectuar un reconocimiento completo de la zona donde se construirá la obra vial, a fin de encontrar posibles bancos de materiales. Para este fin es muy útil usar fotografías aéreas y hacer reconocimientos de tipo terrestre. Los materiales con que se puede construir la sub base, son gravas, arenas de ríos, depósitos, roca masiva, etc. Cuando los materiales finos son de baja plasticidad se comportan muy bien en esta capa, en cambio otros materiales que pueden parecer a simple vista buenos pueden no comportarse de esta manera.

Muestreo

Una vez localizados los probables bancos, se realizan sondeos preliminares para tener un idea de la calidad de los materiales y, si son resultados positivos, se efectúan más sondeos definitivos para conocer la extensión del banco y la variabilidad del material.

Extracción de materiales

Para extraer los materiales es preciso que aquellos que se encuentren en forma masiva se obtengan con tamaños accesibles, que en obras viales son de 75 cm como máximo. Para ello se debe tener conocimiento en técnicas de explosivos.

Tratamientos previos

Los tratamientos previos de cribado o de trituración se llevan a cabo antes de llegar a la obra. En la mayoría de los casos en que se necesita la estabilización, también se realiza antes como tratamiento previo y se cuenta con plantas para realizar con eficiencia los trabajos necesarios.

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO



Figura 2 Construcción de terracerías

Acarreo a la obra

Los materiales tratados previamente a los que pueden llevarse en forma directa del banco se acarrean a la obra, mediante camiones de volteo, en donde se depositan y se acamellonan, esto se realiza con una motoconformadora.

Tratamiento en la obra

En el tramo se aplican los tratamientos a los materiales que lo necesitan. Estos regularmente son estabilizaciones mecánicas aunque también en algunas ocasiones químicas. Para ello, el material que constituye el mayor volumen se acamellona para formar una capa en la parte de la corona de la obra. Sobre esta capa se coloca el material con que se mezclará en forma acomodada, si es necesario se disgregan con motoconformadoras hasta homogenizarlos.

Compactación

En seguida se compacta el material, para lo cual se humedece con una cantidad semejante a la óptima, el agua no se riega toda de una sola vez, sino que la pipa da varias pasadas procurando no formar grandes charcos ya que esto daría lugar a la formación de baches.

El material acamellonado se abre parcialmente hacia la corona de la obra y pasa la pipa haciendo el primer riego, luego, la motoconformadora abre otra cantidad de material y la coloca sobre el que ya esta húmedo, vuelve a pasar la pipa y el proceso se repite hasta proporcionar toda el agua necesaria. A continuación se homogeniza la humedad en todo el material por medio de la motoconformadora, que hace cambios sucesivos del material hacia un lado y el otro. Cuando se consigue uniformar la humedad en todo el material, se distribuye por la corona para formar la capa con el espesor suelto necesario. Se debe cuidar que el material no se segregue, es decir, que no se separen los materiales finos de los gruesos, ya que esto provocaría problemas en este trabajo.

Una vez extendido el material, se compacta hasta alcanzar el grado de proyecto que en general esta alrededor del 95 % del PVSM. Este proceso se logra mediante máquinas de rodillos sin salientes, ya sea metálicos lisos o de caja con neumáticos. El peso de estos equipos varia de 15 a 25 ton y si cuentan con una unidad vibratoria la eficiencia para obtener compactación es mayor.



Figura 3. Vibrocompactador.

III.3 Construcción de losa de concreto hidráulico 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 al rededor de la masa plástica del concreto, la pavimentadora de cimbra deslizante es la maquinaria autopropulsada en la cual va montada la cimbra. El efecto que la pavimentadora hace sobre el concreto se conoce formalmente como extrusión, el ejemplo mas simple de extrusión es el realizado sobre la pasta de dientes al salir del tubo bajo presión, es claro que el material toma la forma de la boquilla la cual haría la función de la cimbra que se desliza.

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

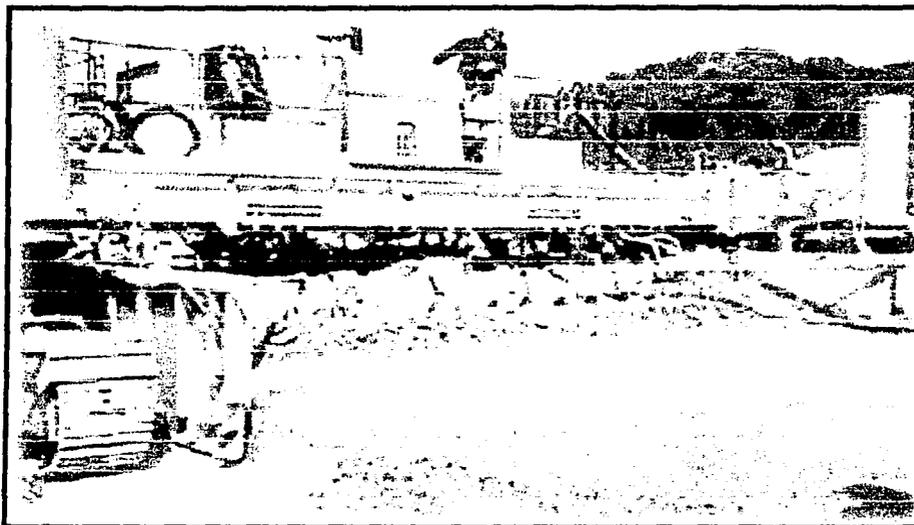


Figura 4. Pavimentadora de cimbra deslizante.

Antes de iniciar el proceso de elaboración de concreto, se deberán estudiar las características de los bancos de materiales disponibles en la zona para la elaboración del concreto. 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 para el concreto 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
- ❖ Plantas Dosificadoras

III.3.1 Plantas de Mezclado Central

Su uso en proyectos de gran magnitud es indispensable, ya que pueden producir en un período 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, desmontaje y son de fácil transporte, elaboradas con materiales de altas especificaciones para soportar la carga diaria de trabajo. 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".

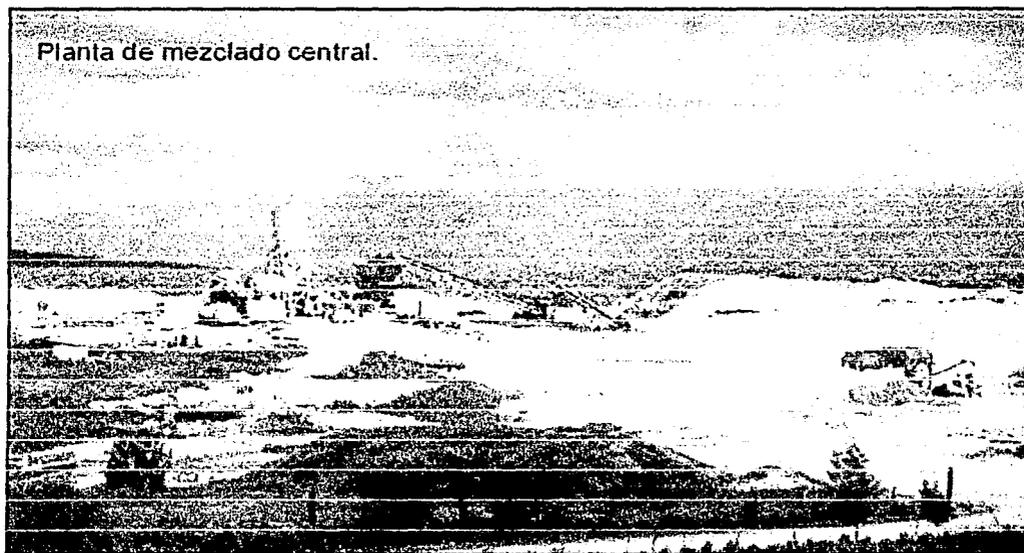


Figura 5. Planta de mezclado central

III.3.2 Plantas Dosificadoras con Camión Revolvedor

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

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

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

Estas plantas también las hay del tipo móvil, las cuales se pueden transportar y montar fácilmente para cumplir las necesidades de un proyecto en particular.

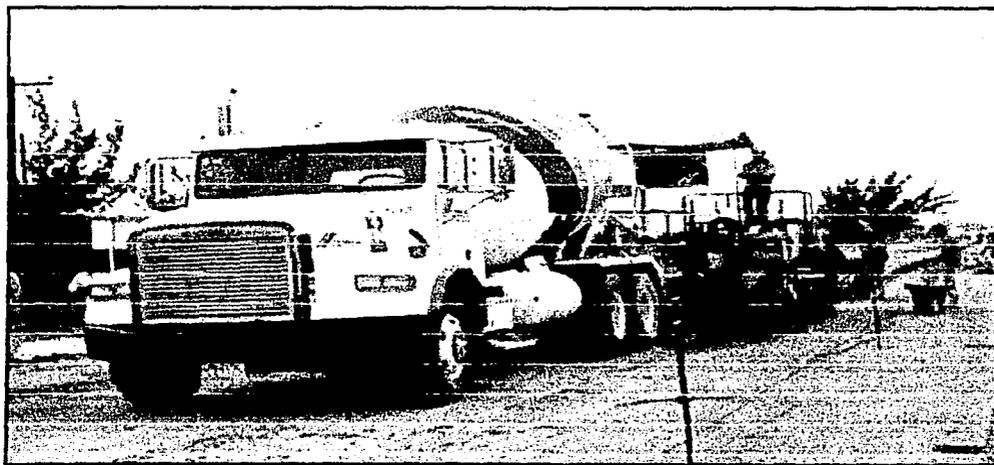


Figura 6. Camión revolvedor descargando en pavimentadora.

III.3.3 Proceso de Pavimentación

Tendido de Línea Guía

Con la información del cadenamamiento y cotas de los puntos que sirven para la localización de las barras de soporte de la línea, se procede a colocar cada barra o "pin" en su sitio correspondiente. Estos puntos físicos normalmente están marcados con elementos como clavos metálicos en trozos de madera y pintados para su fácil reconocimiento, normalmente están localizados a una distancia de 150 cm del borde de la losa. La barra o "pin" debe quedar a una distancia aproximada de 25 cm del punto proyectado y debe estar clavada lo suficiente dentro de la base como 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 lo suficientemente rígida para soportar los golpes de martillo usados para su clavado en la base y su uso prolongado en la obra. La línea que une todos los "pines" se conoce como línea de "pines", la distancia entre "pines" 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.



Figura 7. Preparación de línea guía

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

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 localizar la línea sobre el punto correcto. Los brazos tienen la posibilidad de asegurar la línea guía para que esta no se suelte al paso de los sensores o por el movimiento del personal cercano.

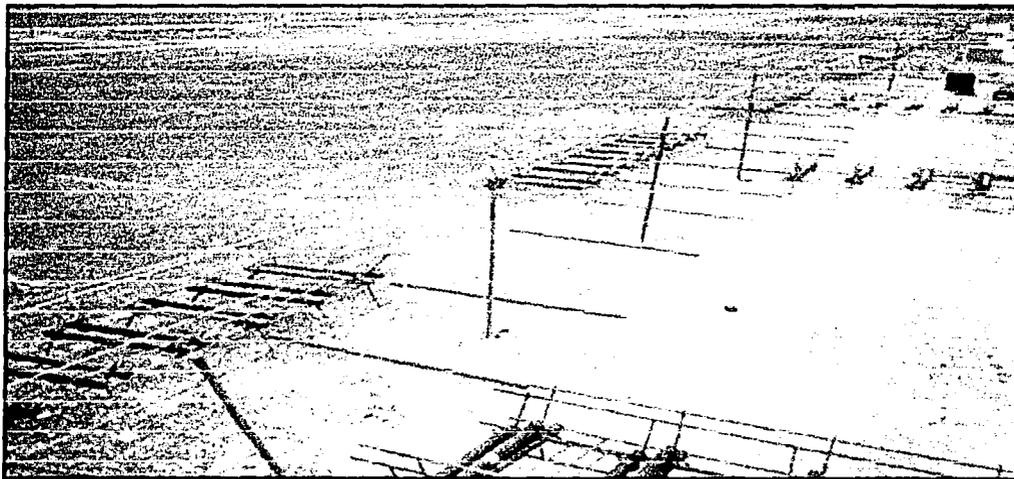


Figura 8. Colocación de línea guía

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 somete y debe ser liviano para que no mueva el alineamiento. La razón de la tensión es reducir las catenarias entre apoyos, el tensionamiento se realiza manualmente o con la ayuda

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

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 un tensionamiento uniforme. En esta actividad es importante usar elementos de seguridad ante posibles rompimientos de la cuerda o hilo, ya que normalmente los brazos metálicos traen rebabas en los puntos de inserción del cable, es conveniente limarlas.

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 bajo la línea guía, esto para que no haya elementos que desvíen ninguna de las varillas, excepto la misma línea y puedan transitar libremente, por otro lado las varillas no deben flexionar la línea en forma notoria. La longitud de la cuerda que se tensiona no debe ser mayor a 200 metros, esto para reducir errores, el traslape de las cuerdas se debe hacer en una longitud de por lo menos 20 metros.

Una vez tensionada la cuerda o hilo e insertada en el brazo soporte se procede a plomar el punto de contacto entre la cuerda y el brazo con el punto físico dado por topografía, esta actividad se inicia soltando las tuercas de ajuste del brazo al "pin" y mediante una plomada de mampostero o un nivel de burbuja se determina el punto al cual debe quedar para proceder a fijar las tuercas.



Figura 9. Ajuste con plomada de línea guía.

El ajuste en altura de la línea guía se puede realizar simultáneamente con los datos topográficos obtenidos con anterioridad, esto se logra por medio de la tuerca de ajuste de altura que se coloca en la varilla .



Figura 10. Ajuste de altura de la línea guía.

Preparación de equipos

Todos los equipos que participan en el tirado o extendido del concreto en la obra 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 y con énfasis 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, es recomendable que la pavimentadora cuente con un sistema neumático que permita el uso de pistolas rompedoras de concreto con el fin de facilitar su limpieza y de suministro de agua a presión, de igual forma debe revisarse la calidad de elementos de acabado del

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

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.

El dispositivo para formar la corona o bombeo de la carretera se debe probar en todo su conjunto, aunque no todos los proyectos lo requieran.

Posteriormente se encuentra el final finisher o llana metálica de la pavimentadora, su revisión se hace en cuanto a la calidad del movimiento en zigzag y el estado de la superficie. Este es un elemento que da un buen acabado siempre que se encuentre en perfecto estado siempre que 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.

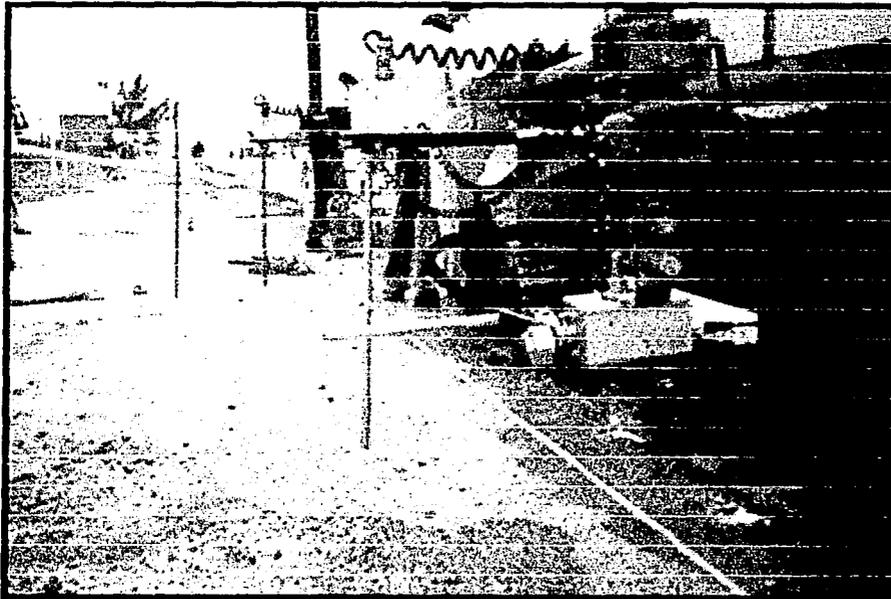


Figura 11. Sensores hidráulicos

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

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

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

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, así como el estado del deposito de membrana y de los tubos conductores.

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

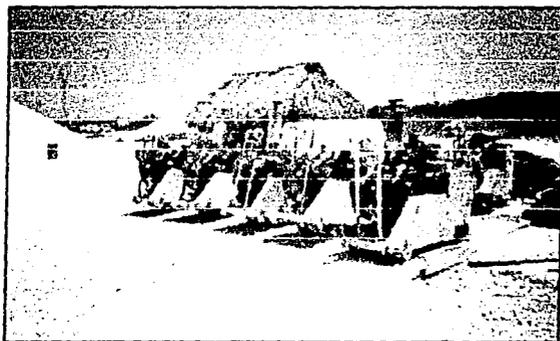


Figura 12. Cortadoras de concreto.

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Inicio de los Trabajos.

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

Para iniciar se deberán revisar los siguientes puntos:

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

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

La distribución del concreto al frente de la pavimentadora es el primer contacto entre el concreto y la pavimentadora y se logra mediante un tornillo sinfín o gusano que, controlado por el operador permite transportar el concreto en el frente de la máquina a fin de repartirlo y dosificarlo hacia los lados de la máquina.

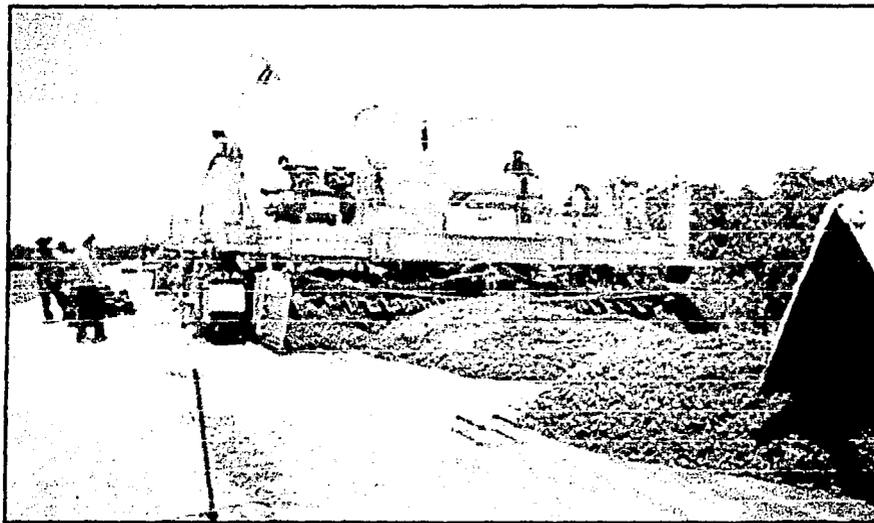


Figura 13. Tornillo sin fin.

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.

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

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

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

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

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

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

La cimbra deslizante de la máquina se encuentra en los lados, misma que los elementos superiores confina al concreto.

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

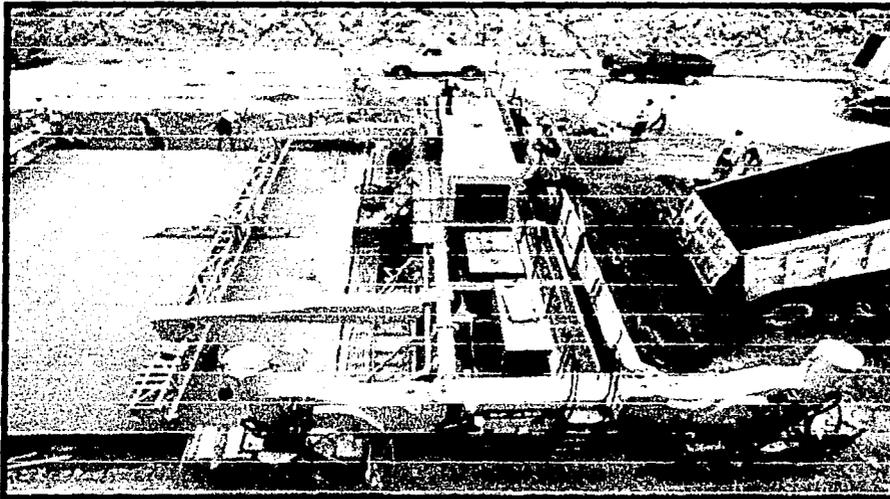


Figura 14. Pavimentadora de cimbra deslizante.

Colocación de pasajuntas

Las pasajuntas pueden ser colocados mediante su montaje en canastas metálicas que garantizan su correcta disposición en la losa de concreto y que permiten un libre movimiento de las losas de concreto, ó pueden insertarse mediante elementos mecánicos que aseguren su correcta posición.

Los pasajuntas deben haber sido bañados con grasa, diesel o pintura para evitar que se adhieran al concreto. La canasta se debe colocar en el lugar indicado por la comisión de tendido de la línea guía y debe ser fijada a la base mediante pernos de fijación bien sea con ayuda de pistola de impacto o mediante golpes de martillo, también se pueden usar ganchos metálicos o laminas y clavos. Es importante garantizar la correcta fijación de la canasta y evitar su movimiento ante la presión de la máquina, si la canasta se mueve al momento de colocar el concreto, la losa no tendrá la libertad para moverse longitudinalmente, lo puede ocasionar fracturas de los bordes de la misma losa.

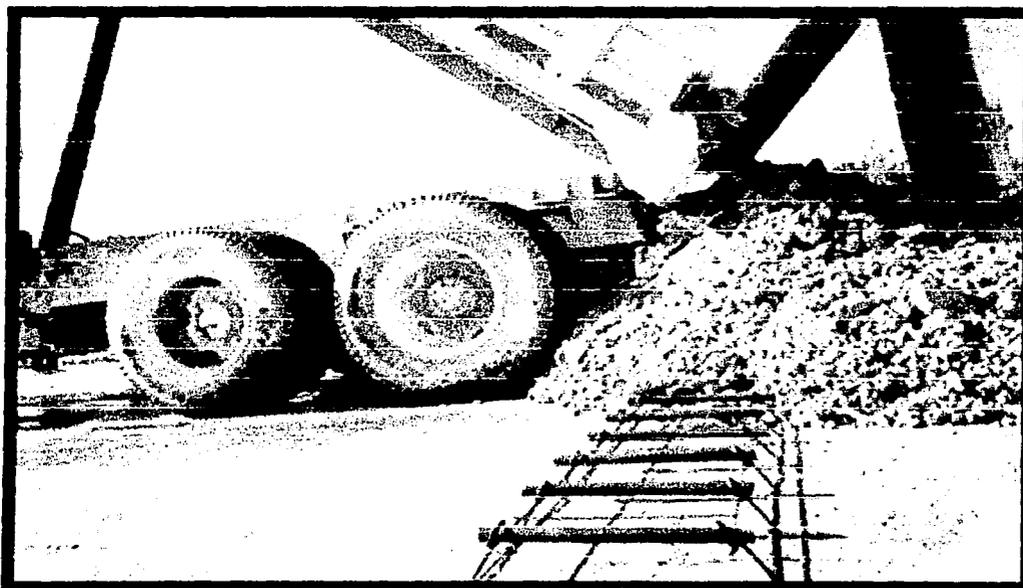


Figura 15. Colocación de pasajuntas

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Es importante la labor de dirección del jefe de pavimentación y su continua comunicación con el operador de la pavimentadora, esto con el fin de 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.

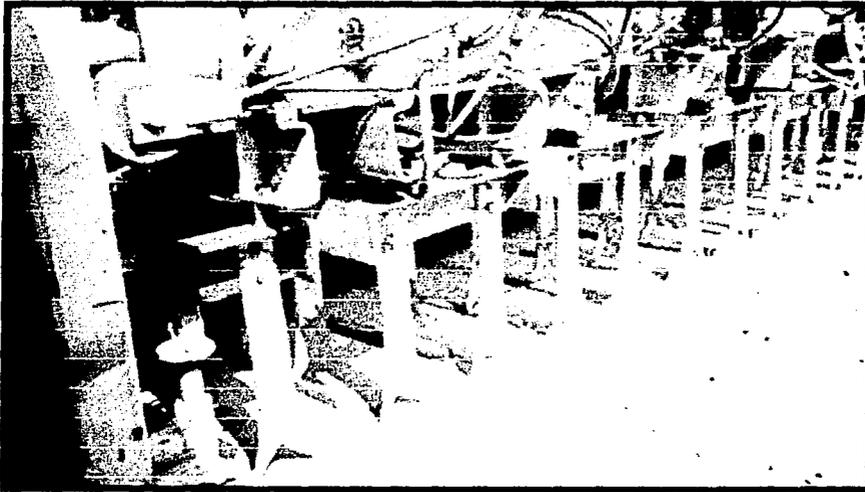


Figura 16. Colocación de pasajuntas

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

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

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

de pavimentación propiamente dicha, es decir, se continua produciendo concreto y enviándolo al frente de pavimentación.

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

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

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

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

Las barras de amarre prácticamente se instalan en todas las juntas longitudinales, la altura de colocación es a la mitad del espesor de la losa incluso en las juntas machimbradas.



Figura 17. Colocación de barras de amarre.

Los insertadores automáticos de barras de amarre vienen acondicionados en la parte posterior de la pavimentadora, requieren entonces 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 la pendiente bombeo.

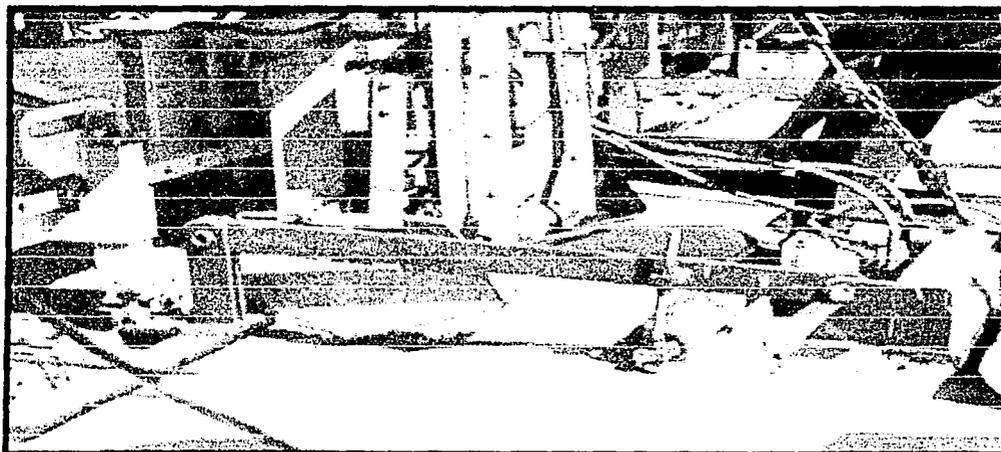


Figura 18. Insertadores de barras de amarre.

Las barras de amarre que se utilizan para las juntas longitudinales de carriles adicionales o sobreechamientos normalmente se instalan con insertadores laterales automáticos o manuales, se acostumbra colocar las barras dobladas para ser enderezadas una vez el concreto este endurecido y ya no entorpezca las labores.

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

Acabado superficial del pavimento

Es el proceso para obtener una textura acorde a las especificaciones del proyecto, homogénea, segura y durable, mediante técnicas sencillas y de rápida ejecución y usando las herramientas adecuadas.

Primero se realiza el afine, con el afine se busca conseguir una superficie adecuada para obtener un buen texturizado, resistente a la fricción del tráfico y sin afectar la geometría del proyecto. 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 más comunes son el tipo de concreto, el clima reinante y la velocidad y condición del concreto dejada por la máquina.

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 solo de los lados, en la unión entre mango y llana se instala un pivote que permite ajustar el ángulo de ataque de la llana y evitar que penetre la losa.

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 fresco.

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

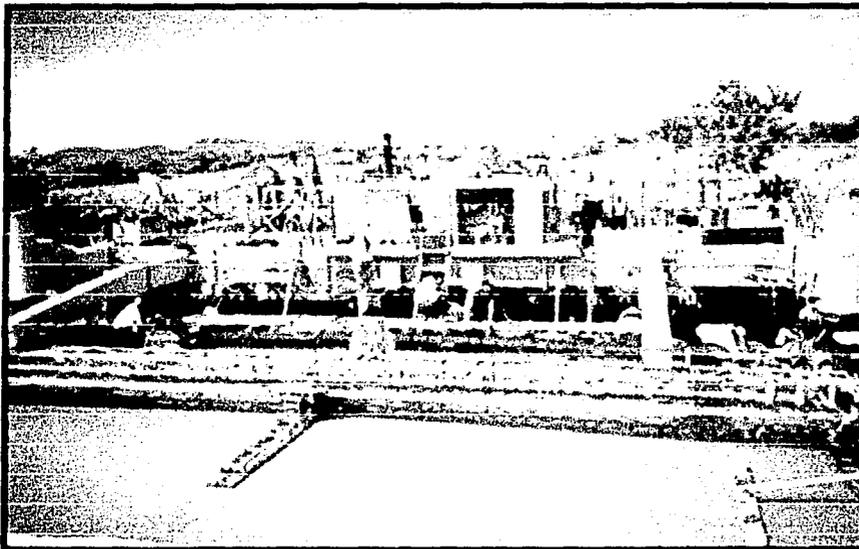


Figura 19. Acavado con llanas.

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.

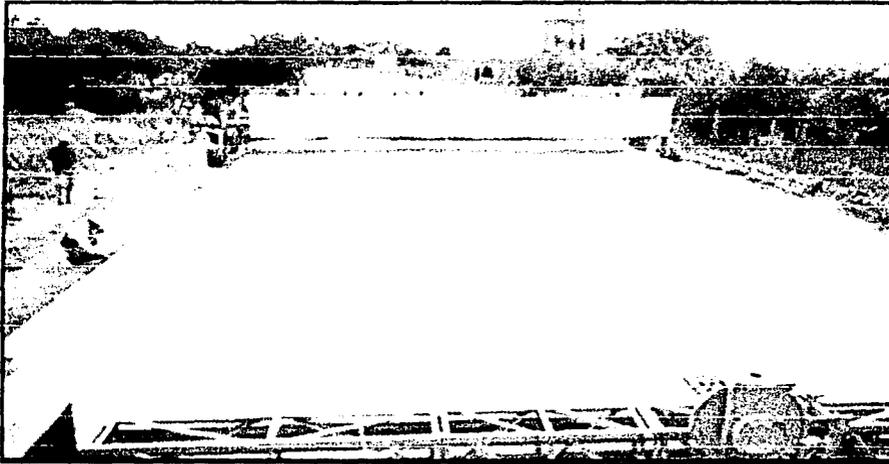


Figura 20. Microtexturizado longitudinal.

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.

Macrotexturizado Transversal

El macrotexturizado o texturizado transversal que normalmente se realiza con peine metálico, permite la rápida evacuación de agua de la superficie del pavimento, permitiendo el contacto entre los neumáticos de los vehículos a alta

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

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 sobretodo en las curvas horizontales.

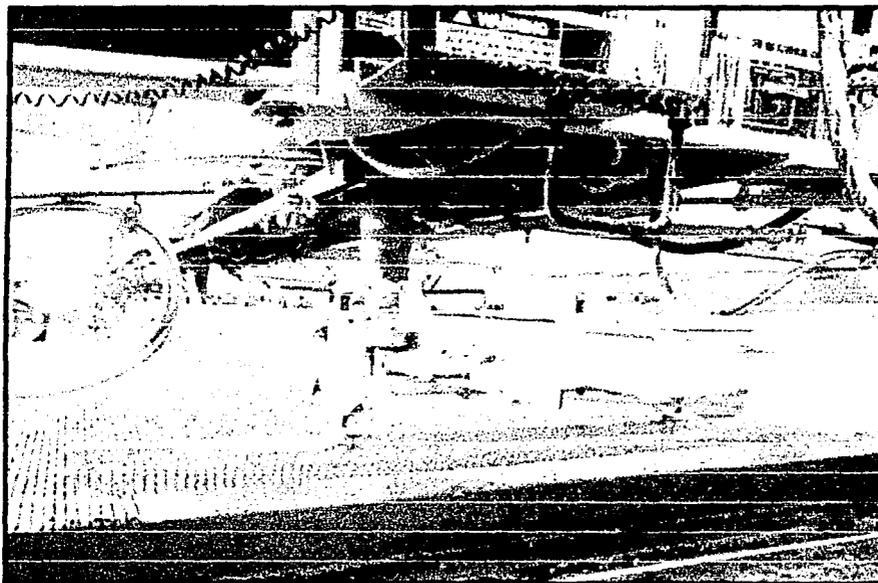


Figura 21. Microtexturizado transversal.

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

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

La profundidad de texturizado debe estar entre los 3 mm y los 6 mm que es suficiente como para que se marque suficientemente 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 a fin de no producir un efecto irregular.

Curado del Concreto

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

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

Este trabajo se hace en la texturizadora donde hay un depósito de membrana de curado y conductos que llevan el líquido hasta los aspersores o espreas. Los depósitos de las texturizadoras algunas veces cuentan con agitadores de aire o agitadores de paletas, si el equipo no tiene estos accesorios deben agitarse manual y continuamente, esto para evitar taponamientos de los conductos y las espreas.

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

El compuesto curador se aplica inmediatamente después de efectuarse el texturizado transversal, aunque en ocasiones y con el fin de proteger el concreto de la acción del sol y vientos fuertes rasantes, se puede hacer en dos etapas aplicando la primera antes del microtexturizado y la segunda después de el texturizado transversal.

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.

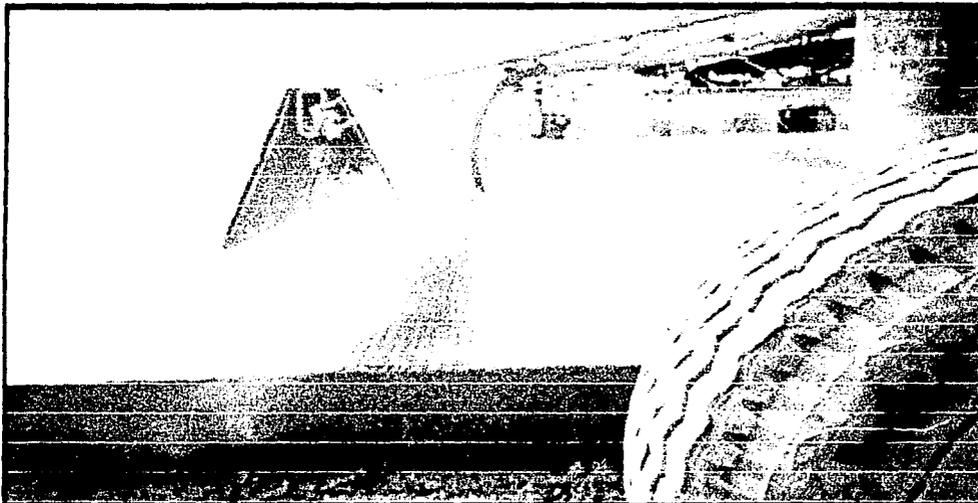


Figura 22. Aplicación de membrana de curado.

Juntas Frías

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.

Corte de Juntas en el Concreto

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 de buena calidad, continuo 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 proceso de corte debe iniciar entre las 4 ó 6 horas de haber colocado el concreto y deberá terminar antes de 12 horas después del colado del pavimento.

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

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

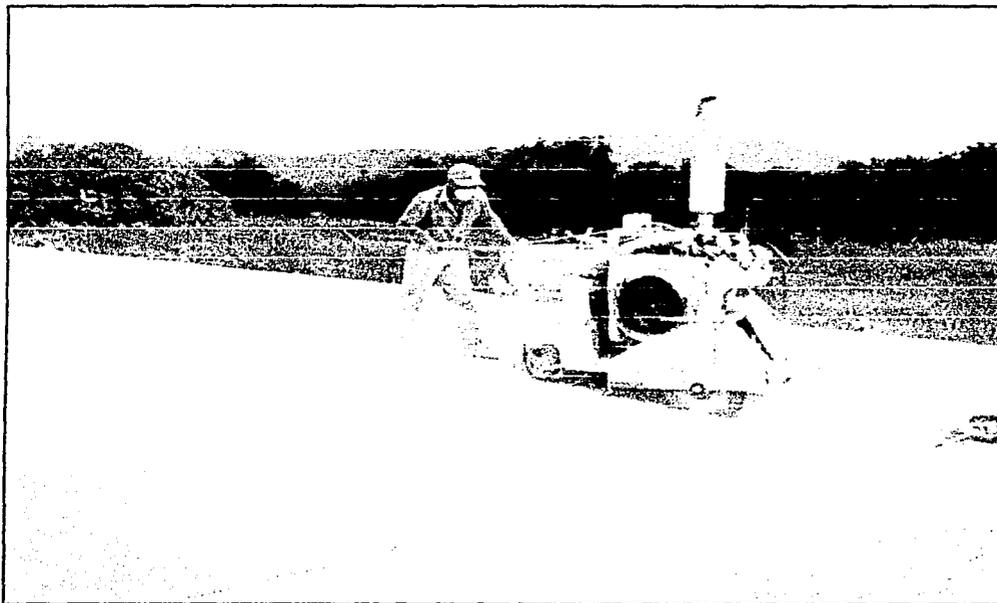


Figura 23. Corte de juntas

Ensanche de Juntas

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

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

Limpeza y Sello de Juntas

La limpieza de juntas es necesaria para evitar que dentro de la junta se alojen materiales incompresibles y 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

Los equipos requeridos para estas actividades son:

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

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

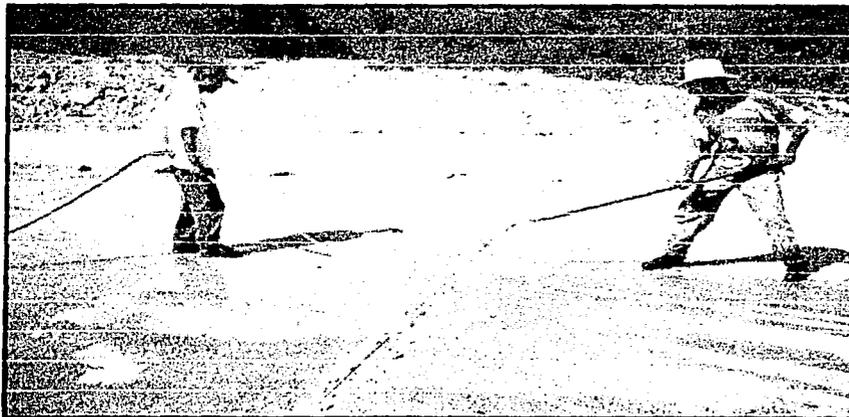


Figura 23. Limpieza de la junta



Figura 24. Secado de la junta con aire a presión.

Terminando estos trabajos se procede a colocar la cintilla en la junta y el sellador con la ayuda de la bomba de silicón y se da por terminado el proceso de pavimentación.

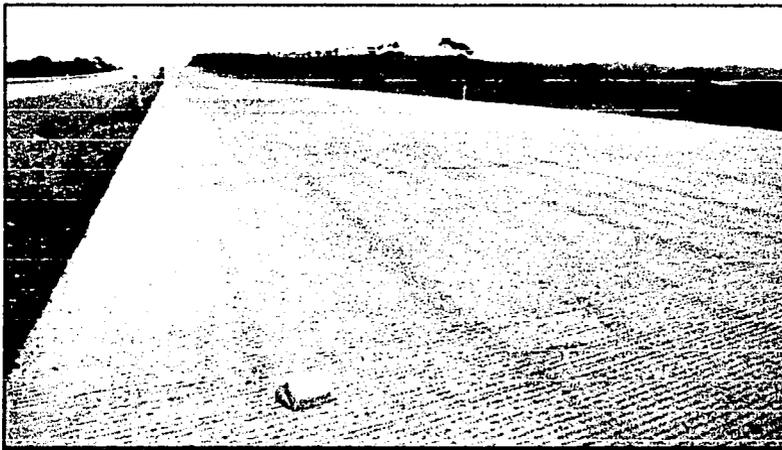


Figura 25. Pavimento terminado.

III.4 Construcción de losa de concreto hidráulico con cimbra fija

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

Elaboración de Concreto Hidráulico

El Concreto se recomienda que sea Premezclado Profesionalmente de resistencia a la Flexión S^c ó Módulo de Ruptura igual a la especificada en el proyecto. Como ya se vio este valor oscila entre los 42 y los 48 kg / cm².

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

En superficies planas con pendientes ligeras. 10 ± 2 cm

En superficies con pendientes mayores al 8%. 8 ± 1 cm

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

Cimbrado del Pavimento

El cimbrado consiste en colocar perfiles metálicos calibre 10 cuyo peralte corresponda con el espesor del pavimento. Estos deberán ser reforzados con soleras @ 30 cm para darle rigidez. La colocación de la cimbra deberá ir siguiendo el alineamiento y niveles que nos indique la brigada de topografía, se sujetan con troqueles de varilla #3 a #5 cuya longitud mínima es igual al doble del espesor del pavimento y se colocan @ 1.0 m aproximadamente. Es conveniente revisar los

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

niveles de la cimbra con topógrafo después de colocada la misma para garantizar un buen perfil longitudinal del pavimento. Se deberá de contar con una cantidad suficiente de tramos de cimbra para alcanzar avances significativos de colado continuo durante varias jornadas de trabajo.

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

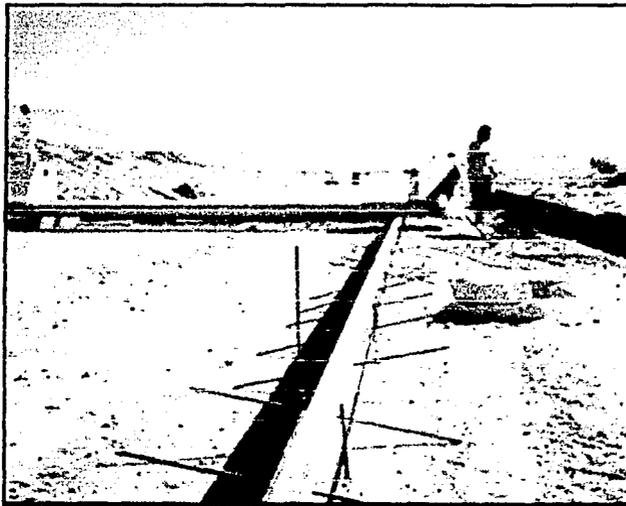


Figura 26. Cimbra metálica.

Colocación de pasajuntas

La colocación de pasajuntas se hace en forma manual con la ayuda de canastillas, al igual que en la cimbra deslizante y se deben seguir las mismas indicaciones que se dieron anteriormente.

Colado del Pavimento

El concreto que se mezcla en ollas revolvedoras se vacía sobre la sub-base, se esparce a lo todo lo ancho del pavimento a paleo manual. Deberá limpiarse y humedecerse previamente la superficie que recibe al concreto para evitar que se

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

absorba el agua de la mezcla. Se deberán colar franjas longitudinales de longitud correspondiente a un día de pavimentación.

Vibrado y Perfilado

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

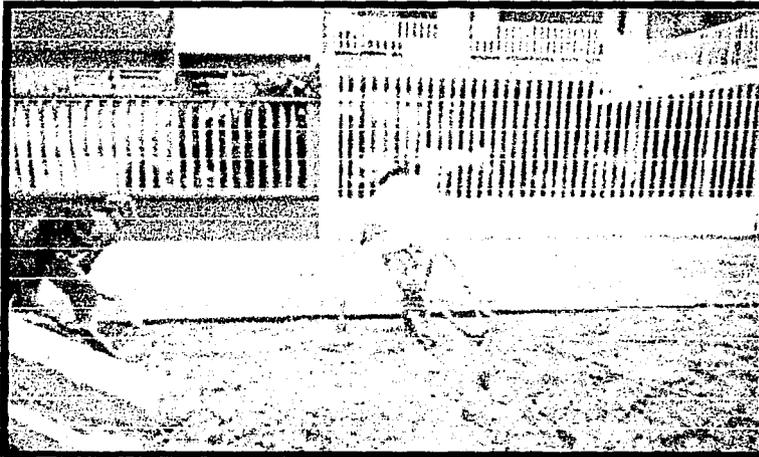


Figura 26. Vibrado del concreto con vibrador manual.



Figura 27. Vibrado del concreto con rodillo vibratorio.

Microtexturizado Longitudinal

El acabado superficial longitudinal del concreto recién colado podrá proporcionarse después de la aplicación de las flotadoras mecánicas, mediante el arrastre de tela de yute húmeda o pasto sintético en sentido longitudinal del pavimento. Este proceso se puede realizar para este tipo de pavimentos de manera muy sencilla y en forma prácticamente manual, se fija perfectamente la tela de yute a un tubo o solera que mida un poco más que el ancho de pavimentación, se humedece y se arrastra en sentido longitudinal con el apoyo de 2 personas, uno a cada lado del pavimento.

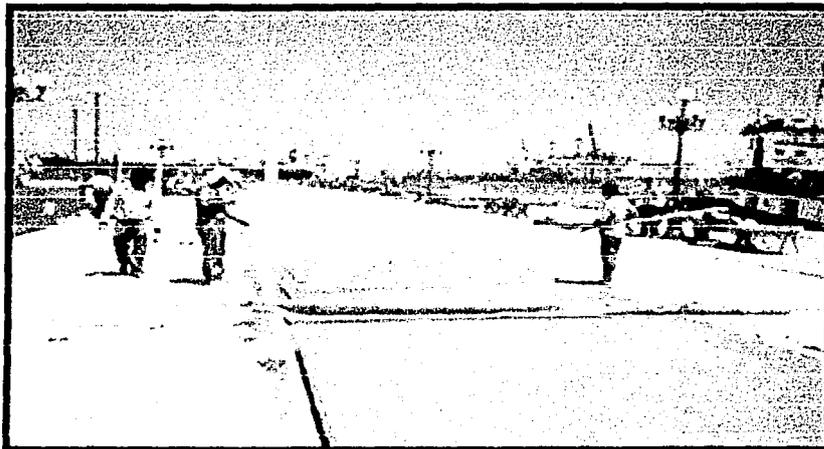


Figura 28. Microtexturizado longitudinal.

Texturizado Transversal

Posteriormente se realiza el texturizado transversal mediante un peine que tiene una rastra de alambre en forma de peine, con una separación entre dientes de acuerdo con la especificación del proyecto, con una profundidad entre los 3.0 mm y los 6.0 mm a todo lo ancho de la superficie pavimentada.

Esta operación se realizará, cuando el concreto esté lo suficientemente plástico para permitir el texturizado pero lo suficientemente seco para evitar que el concreto fluya hacia los surcos formados por esta operación y que pudieran cerrarse debido a esto perdiendo su funcionalidad.

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

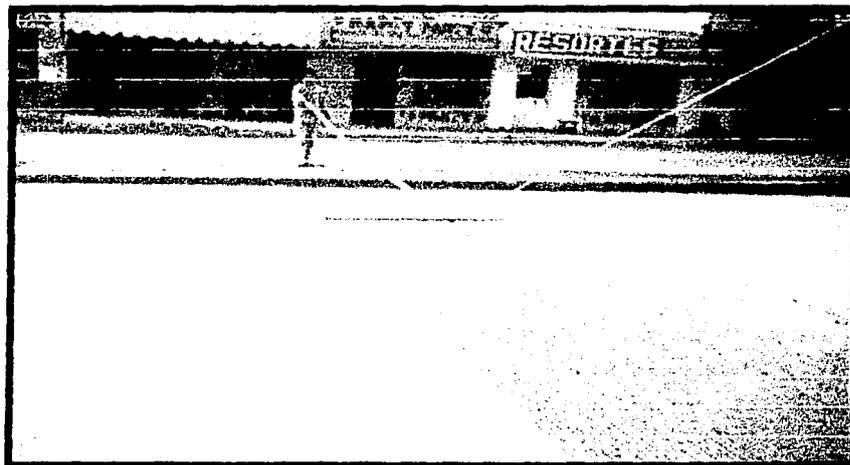


Figura 29. Texturizado transversal

Aplicación de Membrana de Curado

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

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

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

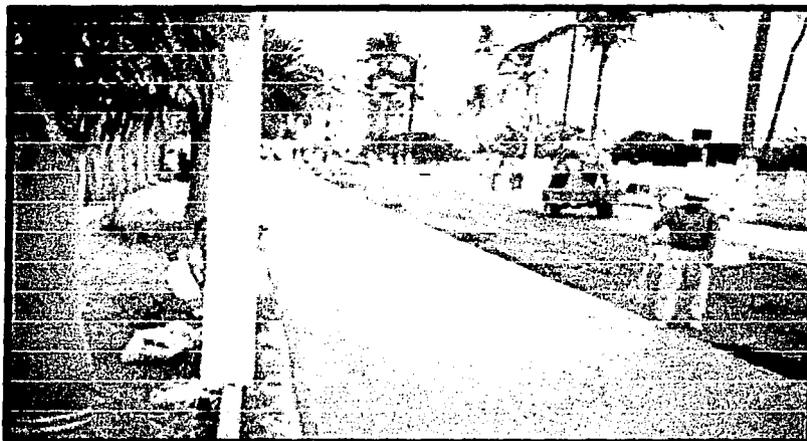


Figura 30. Aplicación de membrana de curado.

Formación de Juntas

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

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

Al igual que en el proceso constructivo con cimbra deslizante después de esta actividad, se procede a limpiar la junta para después colocar la cintilla y el sellador, dando por terminados los trabajos de pavimentación.

III.5 Control de Calidad en la Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico

Para llevar un buen control de calidad en cualquiera que sea la obra se debe planear un programa de control de calidad, donde se especifica cuales son las actividades que deberán cubrirse para garantizar una buena calidad en el producto terminado.

Este programa depende de la naturaleza y del tamaño del proyecto. En obras pequeñas sólo se justifica una cantidad limitada de muestreos y pruebas, pero en obras mayores es importante emplear un programa que asegure la calidad del proyecto basado en conceptos estadísticos. El programa debe especificar que el contratista, el productor de concreto y los proveedores de los materiales constituyentes son responsables del control del producto y que el propietario se hace responsable de su aceptación. Esto significa que el productor, el proveedor o el contratista harán pruebas y muestras del producto para poder controlar que el proceso y los materiales empleados se encuentran dentro de los límites especificados y que el concreto resultante sea de calidad uniforme.

Los sistemas modernos de Aseguramiento de la Calidad están diseñados para que el producto se logre "bien a la primera vez". El productor lleva a cabo acciones que garantizan lo anterior, facilitando así la verificación por parte del comprador de todas las etapas de la producción y un muestreo mucho menos intenso del producto.

El presente tema describe los procedimientos a seguir para evaluar el producto, además de señalar los requisitos de operación aplicables a todos los que participan en la construcción: productor, comprador, laboratorio de verificación, etc. En vista de que el vigilar que estos procedimientos se cumplan es indispensable para lograr la definición completa de la calidad, también se señalan los criterios y métodos de implementación más usuales para realizar dicha inspección.

Para realizar la evaluación del cumplimiento de las especificaciones básicas se requiere:

- ❖ El tipo de pruebas apropiadas al tipo de concreto, y
- ❖ Las reglas para valorar el resultado de las pruebas.

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

La obtención de las muestras y la ejecución de las pruebas deben hacerse de acuerdo con las Normas Mexicanas en vigor para métodos de prueba, salvo que exista previo acuerdo entre el comprador y el productor para la elección de otras normas.

La resistencia a la compresión del concreto premezclado solamente podrá ser juzgada tomando como base el uso de probetas en forma de cilindros de 15 x 30 cm.

En el procedimiento para evaluar el cumplimiento de las mezclas es necesario:

- ❖ Normas o Reglamento de Construcción aplicados.
- ❖ Muestreo y prueba de acuerdo con NMX C-161 "Muestreo de concreto fresco", NMX C-160 "Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto", NMX C-83 "Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto", salvo previo acuerdo entre el comprador y el productor para usar otros métodos que no difieran esencialmente de las Normas Mexicanas en vigor.
- ❖ Número de especímenes de prueba que componen una muestra representativa de la cantidad de concreto colado.
- ❖ Edad de prueba del concreto, dependiendo del tipo de cemento usado. Generalmente son 28 días para la resistencia normal y 14 días para los concretos de resistencia rápida.
- ❖ Tipo de muestreo y volumen, representado por las pruebas.
- ❖ Normas para evaluar el cumplimiento de las pruebas.

Pueden efectuarse acuerdos previos para garantizar la resistencia a otras edades que no sean las estándar. Estos acuerdos deberán tomarse en base a pruebas previas de laboratorio.

En el caso de los pavimentos de concreto hidráulico es muy importante hacer muestreos para realizar pruebas de resistencia a la flexión ya que como se mencionó en el capítulo II el módulo de ruptura es un parámetro que hay que

CAPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

guardar dentro de los límites marcados. Esta prueba está normalizada por la ASTM C78. Este tema ya fue profundizado en el capítulo II.

La trabajabilidad debe ser juzgada con base en la medida del revenimiento. La muestra y la prueba deben realizarse de acuerdo con la norma NMX C-156 "Determinación del revenimiento del concreto fresco".

Cuando se utilizan otras pruebas (además de la del revenimiento) para verificar los requerimientos de trabajabilidad, éstas deben ser establecidas de común acuerdo entre el comprador y el productor.

Cuando se requiera conocer el peso unitario del concreto por razones de algún convenio, éste debe ser medido de acuerdo con la norma NMX C-162 "Determinación del peso unitario, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico".

El volumen del concreto representado por la muestra debe ser considerado como satisfactorio si el cálculo arrojado, realizado con el valor del peso unitario determinado, brinda un valor con una aproximación del $\pm 2\%$.

Se puede especificar, como medida opcional, la temperatura dentro de ciertos límites para condiciones especiales, y debe ser medida a través de una muestra representativa obtenida de acuerdo con la norma NMX C-161 "Muestreo del concreto fresco".

La determinación del contenido de aire incluido de una muestra representativa, tomada en el punto de descarga de la unidad revolvente, se hará de acuerdo con la norma NMX C-157 "Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión". La muestra se aceptará con una tolerancia de $\pm 2\%$ del valor requerido. La frecuencia de muestreo debe establecerse previo acuerdo entre el comprador y el productor.

Asimismo, podrá especificarse el momento de la toma de la muestra y los tiempos máximos de espera, sin que estas especificaciones expongan criterios diferentes a los expresados en las Normas Mexicanas.

Llevando a cabo todas las actividades que el programa de control de calidad nos indique, se puede garantizar que la calidad del concreto nos dará buenos resultados en pavimentos y en cualquiera que sea su aplicación.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Al terminar este trabajo se pueden concluir diferentes puntos y uno de ellos es que el concreto hidráulico es una buena opción para la construcción de pavimentos, pero esto no quiere decir que esta sea la mejor opción, lo que esta tesis me lleva a concluir es que al iniciar un proyecto de carreteras se deben analizar todas las posibles opciones y se debe tomar la decisión correcta tomando en cuenta todos los factores que intervienen en el proyecto como son: factores económicos, factores de operación de la carretera durante su vida útil, el ciclo de vida del pavimento, la magnitud del proyecto, la importancia del proyecto, el tipo de suelo que existe en el lugar de la obra, etc. Esta debe ser la forma de trabajar de las dependencias encargadas de proyectar y construir carreteras.

Otra conclusión importante es señalar que en nuestro país cayó en desuso la técnica y tecnología en el campo de pavimentos de concreto hidráulico, esto se ve reflejado en las normas para la construcción de carreteras de la secretaria de comunicaciones y transportes ya que en ediciones anteriores a la del 2000, se puede apreciar en sus 10 o 12 páginas un desinterés en reglamentar debidamente la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, ya que estas normas son muy escuetas además de que no estaban actualizadas. En la edición del 2000 se puede apreciar un cambio en este aspecto. Esto también lo podemos visualizar en el temario de la materia de Estructuras de Pavimentos que se imparte en la Facultad, ya que en sus 12 capítulos solo uno esta dedicado a los pavimentos de concreto hidráulico y es el último capítulo, lo que en ocasiones implica que los alumnos por falta de tiempo no aprendan aunque sea un poco de esta alternativa.

También podemos concluir que es importante tener un conocimiento pleno de las técnicas que existen para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico ya que un buen porcentaje de los problemas que se tienen en este tipo de pavimentos son atribuidos a errores en los procesos constructivos.

Una de las instituciones que apoya por razones obvias la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, tanto en investigación como en inversión es Cemex. La primera gran inversión se realizó al construir la carretera Guadalajara – Tepic con pavimento de concreto hidráulico con costos en la producción del concreto hidráulico igualados a costos de concreto asfáltico, esto para promover y comprobar la eficiencia de las carreteras con pavimento de concreto hidráulico. Cemex también ofrece servicios como cursos, asesoría técnica y operación de maquinaria por medio del Centro de Tecnología Cemento y Concreto.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Wright, Paul H. Ingeniería de Carreteras, México, Limusa, 1993, Traducción de la 5ª edición del inglés.

Comité ACI 316. Recomendaciones para la construcción de pavimentos y bases de concreto, México, Limusa, 1989.

Olivera Bustamante, Fernando. Estructuración de Vías Terrestres, México, CECSA, 1999, Segunda edición.

Reyes Epindola, Rafael Cal y Mayor. Ingeniería de Tránsito, México, Alfaomega, 1998, Séptima Edición.

Cemex Concretos. Pavimentos de Concreto, México, Cemex, 2000.

Página Web de la SCT, www.sct.gob.mx

Página Web Cemex, www.cemexconcretos.com