

21121
10



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"

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

NOMBRE: ZIRO LIVERMAN

FUENTES OROZCO

FECHA: 28-MARZO-2003

FIRMA: [Firma]



"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL FLEXOCRETO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

ZIRO LIVERMAN FUENTES OROZCO

ASESOR:

ING. FRANCISCO ANZURES ROSAS

MARZO 2003.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIAS.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO.
Por abrirme sus puertas y permitirme formar parte de la
máxima casa de estudios, por lo cual me encuentro
infinitamente agradecido, a lo que prometo siempre
llevarla muy en alto y en cualquier sitio que me encuentre
demostraré hasta mi último día de vida que
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU".

A DIOS. Ya que un hombre sin fe
no tiene el deseo de llegar al final
Conduciéndose por el buen camino.

A mi asesor, el Ing. Francisco Anzures Rosas
Por su dirección del presente trabajo, y
por ayudarme a dejar plasmado en esta
tesis, mi evolución en la Universidad.

A todos los profesores que intervinieron
En mi formación académica, en especial
a los ingenieros Abel López Martínez,
Víctor Jesús Perusquia Montoya,
Manuel Gómez Gutiérrez,
Pablo Miguel Pavía Ortiz.
Quienes dirigieron el presente trabajo.

A mi esposa Susana, ya que con su amor,
apoyo, y fe. Todo lo poseo.
" Un gran hombre existe, por que hay
una gran mujer a su lado". Te amo.

A mi hija Samantha (bolita de carnita)
Por que con cada sonrisa suya, me motiva
A luchar contra todo y nunca darme por vencido
Y enseñarle que en la vida hay que culminar
Lo que se empieza. Te amo.

DEDICATORIAS

A mis padres **Ciro y Alba**
Por su apoyo, enseñanzas, tiempo,
comprensión y sobre todo amor.
"Espero nunca defraudarlos".

A mis hermanos **Valdemar y Rabel**,
Como motivación para ser mejores personas
En cualquier profesión que elijan.
"siempre tendrán mi apoyo"

A mi queridas abuelitas **Guadalupe y
Nicandra**. Por su amor incondicional.

A mis amigos
**Luis Angel, Salvador, Enrique Alejandro,
Jorge, Alberto, Javier, Alejandro, Héctor, Arlette,
Luis Alfonso, Federico, Mario.**

A todas las personas de las cuales
he tomado lo mejor de ellas,
para ser un mejor ser humano.

c

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.	1
ANTECEDENTES.	3
A.- CONCEPTOS GENERALES.	3
B.- ESTRUCTURACIÓN DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.	7
C.- EXPERIENCIAS CON LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.	9
D.- CARGAS DEL TRÁNSITO.	10
E.- TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.	11
CAPITULO 1. MÉTODOS TRADICIONALES DE REHABILITADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.	18
1.1 BASES ASFÁLTICAS.	19
1.1.1 Materiales y Equipo empleado en su elaboración.	19
1.1.1.1 Asfaltos.	19
1.1.1.2 Materiales pétreos para bases.	33
1.1.1.3 Equipo.	38
1.1.2 Resultados observados en su empleo.	50
1.1.3 Ventajas y Desventajas en su empleo.	50
1.2 CARPETAS ASFÁLTICAS.	52
1.2.1 Materiales y Equipo empleado en su elaboración.	56
1.2.1.1 Emulsiones asfálticas.	56
1.2.1.2 Equipo.	58
1.2.2 Resultados observados en su empleo.	62
1.2.3 Ventajas y Desventajas en su empleo.	63
1.3 SELLOS.	66
1.3.1 Materiales y Equipo empleado en su elaboración.	67
1.4 PERFILADO DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO FORMADAS POR CAPAS ASFÁLTICAS.	68
1.4.1 Materiales y Equipo empleado en su elaboración.	70
1.4.2 Resultados observados en su empleo.	72
1.4.3 Ventajas y Desventajas en su empleo.	74
1.5 RECICLADO DE CAPAS ASFÁLTICAS	75
1.5.1 Materiales y Equipo empleado en su elaboración.	75
1.5.2 Resultados observados en su empleo.	76
1.5.3 Ventajas y Desventajas en su empleo.	77

	Página
CAPITULO 2. MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL FLEXOCRETO.	78
2.1 DEFINICIÓN DEL FLEXOCRETO.	78
2.2 PROCESO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DEL FLEXOCRETO.	79
2.3 CARACTERÍSTICAS DEL FLEXOCRETO.	85
2.4 MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DEL FLEXOCRETO.	103
2.5 MANO DE OBRA REQUERIDA EN EL USO DEL FLEXOCRETO.	105
2.6 EQUIPO NECESARIO PARA EL FLEXOCRETO.	106
2.7 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL FLEXOCRETO.	107
CAPITULO 3. RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN PROYECTOS CON EL USO DEL FLEXOCRETO.	115
3.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN ESTADOS UNIDOS.	115
3.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN MÉXICO.	121
3.2.1 Resultados obtenido en el proyecto de Tijuana, B.C.	122
3.2.1.1 Objetivo general.	122
3.2.1.2 Objetivos particulares.	123
3.2.1.3 Metodología.	123
3.2.1.3.1 Introducción.	123
3.2.1.3.2 Diseño del experimento.	124
3.2.1.3.3 Instrumentación.	126
3.2.1.3.4 Construcción del tramo experimental.	127
3.2.1.3.5 Prueba de carga.	128
3.2.1.3.6 Análisis e interpretación de pruebas.	130
3.2.2 Resultados obtenidos en proyectos realizados en el Estado de Chihuahua.	135
3.2.2.1 Estudios preliminares.	135
3.2.2.2 Diseño.	136
3.2.2.3 Construcción.	137
CAPITULO 4. COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS TRADICIONALES DE REHABILITADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y DEL FLEXOCRETO.	140
4.1 COSTO DE LOS DIFERENTES MÉTODOS.	141
4.1.1 Costos iniciales.	142
4.1.2 Costos del ciclo de vida.	142
4.2 CALIDAD.	143
4.3 VIDA ÚTIL DEL PROYECTO.	144
4.3.1 Mantenimiento.	146
4.3.1.1 Costos.	146

F

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

	Página
4.3.1.2 Tiempos.	148
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	149
BIBLIOGRAFÍA	151

INTRODUCCIÓN.

En el presente estudio nos enfocaremos al rehabilitado de pavimentos flexibles, esto se debe a que nuestro sistema de caminos y calles en México están compuestos predominantemente por pavimentos flexibles con carpeta asfáltica, los cuales requieren de altos costos de mantenimiento continuo. La acción combinada del tránsito y los escurrimientos pluviales producen daños que pueden variar desde la destrucción parcial o total de la superficie de rodamiento, hasta el deterioro de las capas subyacentes con la consecuente pérdida de la capacidad estructural del pavimento. Este problema se ve acentuado en las intersecciones de calles o cruceros donde se localizan semáforos.

La limitada vida útil observada en los pavimentos flexibles, además de generar inconformidad ciudadana y el rechazo hacia los mismos, ha dado lugar a costosos programas de mantenimiento continuo para reintegrar a nuestro sistema de caminos niveles aceptables en sus condiciones de resistencia y de servicio, esta situación actual restringe la aplicación de recursos presupuestales para la construcción de nuevos caminos.

Los métodos tradicionales empleados en México para la rehabilitación de pavimentos flexibles, han consistido desde el bacheo y riegos de sellos hasta la reconstrucción de la carpeta asfáltica, reiniciándose con ello el ciclo de mantenimiento. Es un hecho conocido y comprobado empíricamente que los métodos tradicionales de mantenimiento proporcionan una limitada vida útil a los pavimentos flexibles, y no resuelven el problema de los altos costos requeridos para su mantenimiento.

Por lo cual hoy en día los requerimientos para optimizar el uso de los recursos y mejorar la calidad de vida generan tecnologías novedosas y simples de practicar. En esta iniciativa se han unido empresarios y gobierno para aplicar aquellas que mejor respondan a los intereses sociales.

El se realiza con la intención de mostrar experiencias efectuadas en el campo del rehabilitado de pavimentos flexibles con el uso del concreto. En el presente estudio se mostrará lo que ha realizado un equipo multidisciplinario compuesto por técnicos de empresas relacionadas con el ramo del concreto, con la finalidad de buscar alternativas que resuelvan el honroso gasto que representa el continuo mantenimiento requerido por las calles pavimentadas con asfalto.

El sistema de rehabilitación que se utilizó, se denomina "**FLEXOCRETO**", el cual consiste en una capa de concreto ultradelgada sobre el asfalto existente.

Esta técnica nació debido principalmente a que la rehabilitación de pavimentos flexibles recibe cada vez mas atención en los países con redes desarrolladas de autopistas y carreteras principales, construidas en gran parte en los años 50's y se dispone ya de métodos de gran rendimiento, procedimientos y reparación relativamente rápidos y técnicas de rehabilitación y refuerzo adaptándose a las necesidades actuales. Los avances en este campo tienen mucho interés por una gestión moderna de los pavimentos.

Para ello es necesario disponer de unas bases integradas de datos, la definición de unos umbrales de intervención y el establecimiento de unas estrategias de conservación. En esta dirección se concentran actualmente los esfuerzos en varios países.

En las condiciones actuales de la red carretera mexicana, parece oportuno analizar el uso de pavimentos de concreto hidráulico.

En particular, se requiere un análisis sistemático de esta tecnología en proyectos de construcción de nuevas carreteras y en la rehabilitación y reconstrucción de tramos de la red federal con altos niveles de tránsito.

Por lo anterior la Secretaria de Comunicaciones y Transportes estudia diversos esquemas para facilitar la apropiada consideración de los pavimentos de concreto hidráulico y lograr que se establezcan como una alternativa tecnológica viable en el campo de la ingeniería de caminos. Para ello, esta analizando opciones para instrumentar nuevos esquemas de mantenimiento y generar condiciones propicias para la introducción juiciosa de estos pavimentos en la construcción de nuevas autopistas y en la rehabilitación de tramos existentes.

El estudio se encuentra conformado por siete puntos de gran importancia los cuales en resumen tratan de los siguientes puntos:

- Antecedentes.
- Capítulo 1. Una presentación de los métodos tradicionales de rehabilitado.
- Capítulo 2. Presentación del flexocreto.
- Capítulo 3. Comportamiento en proyectos con la aplicación flexocreto.
- Capítulo 4. Costos y calidad.
- Conclusiones y recomendaciones.
- Bibliografía.

ANTECEDENTES.

A.- CONCEPTOS GENERALES.

Es primordial que antes de adentrarse al tema de estudio de la presente tesis, se posea un conocimiento elemental de los "Pavimentos Flexibles", por lo que a continuación se presentan algunas generalidades de este tipo de pavimento.

El Pavimento flexible, también conocido como de pavimento asfáltico, es una estructura formada por varias capas, por lo general estas son: sub-base, base y carpeta asfáltica. Estas capas pretenden satisfacer los siguientes puntos:

- Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito.
(Figura 1).

Un Pavimento flexible debe estar formado de tal forma que las cargas que sobre él se apliquen no provoquen deformaciones permanentes y perjudiciales en la subrasante sobre la cual está colocado, y al mismo tiempo, no permita la formación de grietas internas en la estructura del mismo y el movimiento de partículas ocasionadas por la acción de amasadura del tránsito. De lo anterior se deriva, que un pavimento flexible debe poseer el espesor necesario para soportar y distribuir las cargas del tránsito.

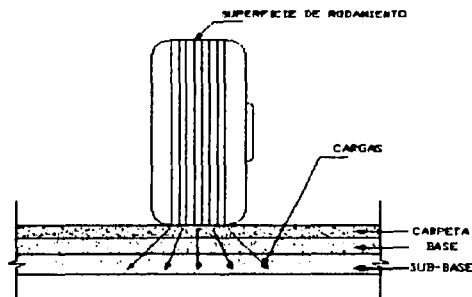


FIGURA 1. Resistencia y distribución de las cargas en el pavimento

- Poseer impermeabilidad. (Figura 2).

El Pavimento debe tener la suficiente impermeabilidad para no permitir la infiltración del agua de lluvia, ya que si esto sucede y es en exceso, provoca la lubricación de las partículas con su eminente pérdida en la capacidad de soporte. Por lo cual es necesario contar con un excelente proyecto de drenaje, que nos aporte una obra estable.

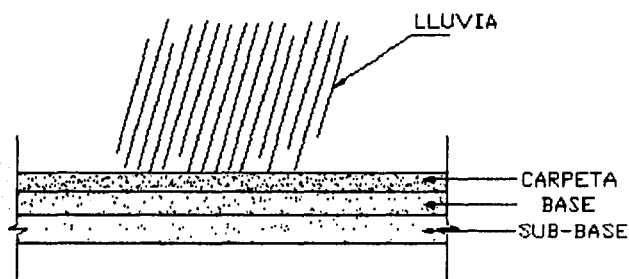


FIGURA 2. Impermeabilidad en el pavimento

- No permitir la acción destructora por parte de los vehículos. (Figura 3).

La acción abrasiva de las llantas de los vehículos provoca desgaste de la superficie y desprendimiento de partículas del pavimento. Es conocido también que el tránsito provoca cierta acción de amasado y molienda. Por lo que es necesario que el pavimento resista a estas acciones.

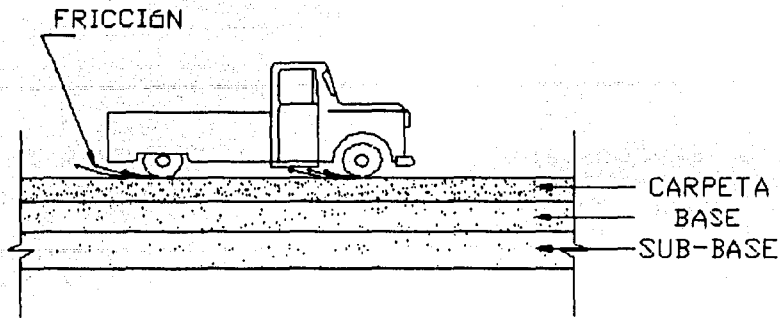


FIGURA 3. Resistencia a la acción destructora de los vehículos

- Resistencia a los agentes atmosféricos. (Figura 4).

Los agentes atmosféricos actúan continuamente sobre la superficie de los pavimentos provocando la alteración y meteorización de los materiales que lo forman. De lo anterior se deduce que la vida económica y útil del pavimento aumenta en cuanto mayor sea la capacidad de resistencia a los agentes físicos y químicos de los materiales por los cuales se encuentre formado.

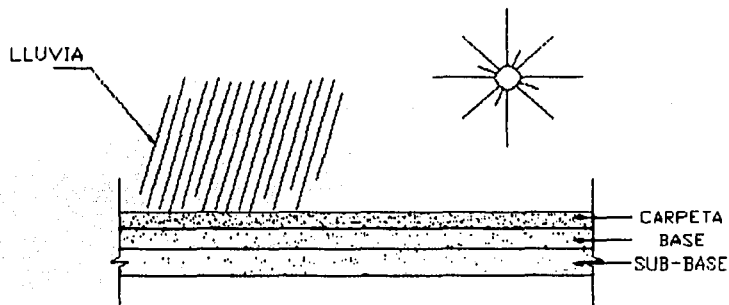


FIGURA 4. Resistencia del pavimento a los agentes atmosféricos

- Superficie de rodamiento adecuada. (Figura 5).

La superficie de rodamiento de cualquier tipo de pavimento debe poseer las siguientes características:

1. Segura para la conducción de los vehículos que por esta transitan.
2. Poseer una superficie uniforme para proporcionar una marcha confortable y una larga vida de los vehículos, sin olvidar que al mismo tiempo debe ser antideslizante cuando se encuentre húmeda.

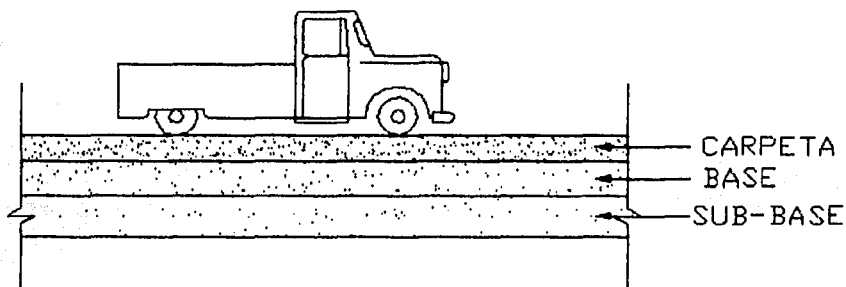


FIGURA 5. Superficie de rodamiento adecuada del pavimento

- Poseer flexibilidad para adaptarse a algunas fallas en caso de presentarse en la base o sub-base. (Figura 6).

En frecuentes ocasiones, se presentan pequeños asentamientos ya sea de la base o de la sub-base, los cuales no son generalmente perjudiciales, de ahí que convenga que el pavimento posea cierta flexibilidad que la haga capaz de adaptarse a esas pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones con altos costos.

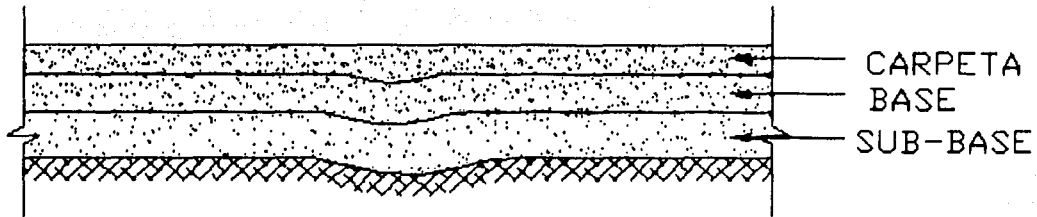


FIGURA 6. Flexibilidad del pavimento para adaptarse a las fallas

Todos estos puntos anteriores presentan los requisitos principales que debe satisfacer un pavimento flexible.

B.- ESTRUCTURACIÓN DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Para una mejor comprensión de los Pavimentos Flexibles, se explica de una forma más amplia como se encuentran estructurados. Se ejemplifica con un sistema, el cual es el más típicamente usado, para estructurar la mayor parte de los pavimentos flexibles que se construyen en la actualidad. Lo que se pretende es valorar la importancia de cada una de las capas de las cuales se encuentra constituido.

A continuación se muestra una estructuración para una sección en balcón, para ejemplificar al mismo tiempo una sección en corte y en terraplén. (Figura 7).

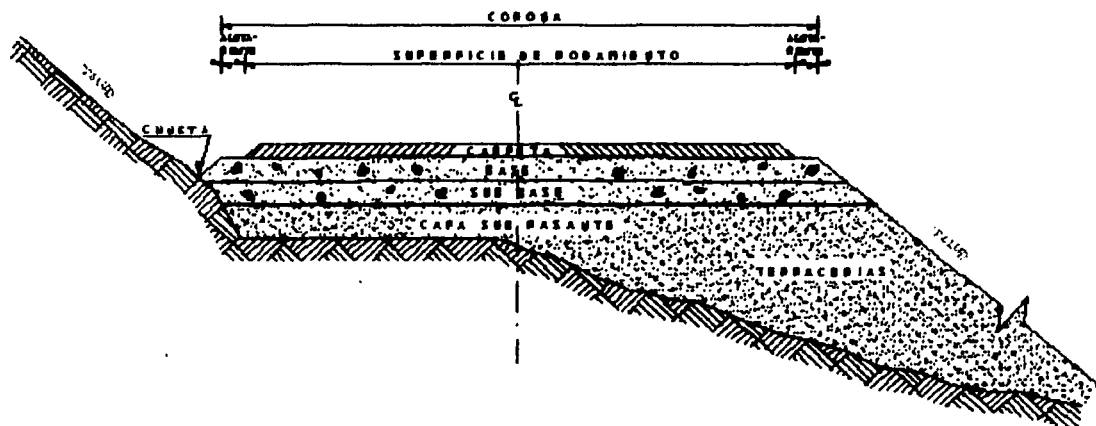


FIGURA 7. Estructuración para una sección en balcón

En la figura anterior se puede observar, que en la parte inferior de una carpeta, por lo general formada por un aglutinante asfáltico y un agregado pétreo, se disponen de varias capas más, las cuales son:

1. Base
2. Sub-base
3. Capa Subrasante
4. Terracerias

En donde la base se encuentra formada por material granular, y la sub-base ya sea por el mismo material pero con menos requisitos en cuanto a calidad, es decir con mayor contenido de finos y una no muy buena granulometría, esto se debe principalmente a que cuanto más alejada se encuentre la capa de la superficie de rodamiento, estas recibirán esfuerzos de menor intensidad y viceversa.

En cuanto a la capa subrasante, esta es de menor calidad, en cuanto al material por el que se encuentra formada debido a lo anteriormente explicado.

De igual manera sucede con las terracerías las cuales cuentan, con materiales simplemente tratados mecánicamente, es decir con una compactación de este material dejando a un lado la calidad de este.

C.- EXPERIENCIAS CON LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

De acuerdo a estudios y hechos experimentales se han llegado a conclusiones válidas, las cuales debemos tomarlas como provisionales, ya que día con día se encuentra evolucionando el área de los pavimentos y nuevas teorías comienzan a surgir, pero por el momento se han obtenido estos resultados:

- En las terracerías la resistencia al esfuerzo cortante no es de gran importancia, debido a que los niveles de esfuerzo que recibe, los cuales van disminuyendo en su camino por su paso entre las demás capas anteriores, quedan cubiertos por la capacidad de carga a la falla, ya que estos siempre son muy pequeños.
- Un punto muy importante es determinar que tanto se le permite deformarse a las Terracerías, ya que este es el requisito básico para la aceptación o rechazo de un material que pretenda ser utilizado con este fin. Por lo que es recomendable que el tipo de material a emplear siempre este bien graduado, también hay que tener mucho cuidado para utilizar lo menos posible suelos compresibles y arcillosos. Todo estos parámetros se basan en que una terracería deformable obligará al uso de pavimentos muy espesos, dando por consecuencia, pavimentos antieconómicos, logrando que los esfuerzos lleguen a ser muy bajos. Y de no tomase en cuenta la deformabilidad, en el diseño nunca se cuenta con un pavimento que posea un buen comportamiento en ese sitio por mejor que se conserve y por mucho que se reconstruya.
- La acción climática juega un papel muy importante, ya que de esta debe cuidarse toda terracería, ya que de esto cuenta que el pavimento posea un buen apoyo.

Es importante mencionar que una vía terrestre puede estar en muy buenas condiciones generales en un lugar de clima desfavorable, si su trazo la protege y, en tal caso, la condición de equilibrio a que llegue sea desfavorable; de igual manera, en lugar de clima aparentemente bueno, una vía puede alcanzar condiciones de equilibrio que impliquen grandes peligros a su vida futura. Por lo que en secciones de la carretera en que se presente saturación, es necesario que se cuente con un excelente proyecto de subdrenaje.

D.- CARGAS DEL TRÁNSITO.

Para los proyectos de pavimentos flexibles, todas las variables que influyen en estos, deben reducirse a un concepto constante o bien que este pueda ser manejado en las fórmulas matemáticas o en los criterios de diseños de una forma cómoda e integral. Se ha logrado identificar al siguiente conjunto de factores como los que ejercen influencia dentro del conjunto denominado "carga del tránsito"; el cual distingue cuatro factores de influencia principal y tres de efecto secundario, los cuales se mencionan a continuación:

1.- Factores Principales

Carga transmitida por la rueda
Área de influencia de la carga
Número de Repeticiones de la carga
Velocidad

2.- Factores Secundarios

Área de contacto de la llanta, que determina la presión de contacto
Número de llantas en el arreglo
Espaciamiento entre ejes

E.- TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

El objetivo que todo ingeniero debe tener como fin al crear tecnología en el área de pavimentos, es de evitar la aparición de todo el conjunto de deterioros y fallas que llegan a presentarse en los pavimentos. Para lo cual se ha logrado establecer una relación causa-efecto, que ha permitido desarrollar todo un conjunto de normas de criterio de proyecto y conservación, el cual es la mejor aportación que varios ingenieros han legado al acervo de la ingeniería, gracias a la experiencia de cada técnico.

El estudio de las fallas de los pavimentos, no es muy fácil, debido a su variedad y diferencia de formas. Es muy importante tener el conocimiento suficiente al utilizar la palabra "falla". Ya que en pavimentos es común que se utilice esta palabra tanto para verdaderos colapsos o desastres locales, como también para describir deterioros simples o sitios de posible evolución futura desfavorable.

El problema se complica aún más si se comprende que están íntimamente ligados el concepto de deterioro y el nivel de servicio, lo cual es subjetivo, ya que se encuentra en función de quién lo establece, es decir de sus niveles de exigencia o de riqueza. Por lo regular se cae en describir como fallas a los comportamientos que simplemente se apartan de lo que el proyectista considero "perfecto" idealizando el proyecto.

Por su origen las fallas se clasifican en tres grandes grupos:

1) Fallas por insuficiencia estructural

Se trata de pavimentos contruidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesor insuficiente. En términos generales ésta es la falla que se produce cuando las combinaciones de la

resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y los respectivos espesores no son los adecuados para que se establezca un mecanismo de resistencia adecuado.

2) Fallas por defectos constructivos

Se trata de pavimentos quizá bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, en cuya construcción se han producido errores o defectos que comprometen el comportamiento conjunto.

3) Fallas por fatiga

Se trata de pavimentos que originalmente estuvieron quizá en condiciones apropiadas, pero que por la continuada repetición de las cargas del tránsito presentan efectos de fatiga, degradación estructural y, en general, pérdida de resistencia y deformación acumulada. Como quiera que estos fenómenos están grandemente asociados al número de repeticiones de la carga, las fallas de fatiga resultan claramente influidas por el tiempo de servicio; son las fallas típicas de un pavimento que durante mucho tiempo trabajó sin problemas.

Además de la anterior clasificación, por su origen conviene agrupar las fallas de los pavimentos flexibles por el modo en que suceden y se manifiestan. A continuación se presenta una clasificación, con todas las fallas primariamente referidas a tres tipos: fracturamiento, deformación y desintegración (Tabla 1). La clasificación presenta también una diferenciación posterior de estos tres tipos en otros varios en que pueden subdividirse según la gravedad del defecto, asociando a éstos las causas mecánicas más comunes y, en algunas ocasiones, los orígenes típicos.

TABLA 1. Tipos y manifestaciones de las fallas de los pavimentos flexibles.

TIPO	MANIFESTACIÓN	CAUSAS
Fracturamiento	Agrietamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Exceso de carga (insuficiencia estructural) • Repetición de carga (fatiga) • Cambios de temperatura • Cambios de humedad (defecto constructivo) • Ondulamiento por fuerzas horizontales (deficiencia estructural o defecto constructivo) • Contracción
Fracturamiento	Dstrucción por agrietamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Exceso de carga (insuficiencia estructural) • Repetición de carga (fatiga) • Cambios de temperatura • Cambios de humedad (defecto constructivo)
Deformación	Deformación permanente	<ul style="list-style-type: none"> • Exceso de carga (insuficiencia estructural) • Proceso de deformación viscosa (fatiga, Insuficiencia estructural y defecto constructivo) • Aumento de compacidad (defecto constructivo) • Rotura de granos • Consolidación • Expansión
Deformación	Falla	<ul style="list-style-type: none"> • Exceso de carga (insuficiencia estructural) • Aumento de compacidad (defecto constructivo) • Rotura de granos • Consolidación • Expansión
Desintegración (falla de la carpeta)	Remoción	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de adherencia en la carpeta • Reactividad química • Abrasión por efecto del tránsito
Desintegración (falla de carpeta)	Desprendimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de adherencia en la carpeta • Reactividad química • Abrasión por efecto del tránsito • Degradación de los agregados

De la clasificación anterior se puede observar que en general, las causas últimas son las mismas para los tres tipos de fallas principales mencionadas con anterioridad y se relacionan siempre con el efecto del tránsito. Por lo que se requiere agrupar qué características de las tres causas finales influyen más en cada uno de los tres tipos principales de fallas (Tabla 2).

TABLA 2. Principales factores que afectan a los tres tipos básicos de fallas de un pavimento flexible.

Tipo de falla	Causa última		
	Tránsito	Pavimento	Cimentación (apoyo)
Fracturamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Carga por rueda (magnitud) • Repeticiones • Área de influencia de la carga • Velocidad • Arreglo y disposición de ruedas y ejes 	<ul style="list-style-type: none"> • Rigidez de las diversas capas • Flexibilidad (adaptabilidad a la fatiga) • Durabilidad • Deformación plástica • Deformación elástica 	<ul style="list-style-type: none"> • Rigidez en base y sub-base • Deformación plástica • Deformación elástica
Deformación	<ul style="list-style-type: none"> • Carga por rueda (magnitud) • Repeticiones • Área de influencia de la carga • Velocidad • Arreglo y disposición de ruedas y ejes 	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor • Resistencia • Compresibilidad • Susceptibilidad a cambios de volumen • Deformación plástica • Deformación elástica 	<ul style="list-style-type: none"> • Susceptibilidad a los cambios de volumen • Deformación plástica • Deformación elástica
Desintegración (fallas de carpeta)	<ul style="list-style-type: none"> • Presión de la llanta • Repeticiones • Velocidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Características del asfalto • Características del agregado (porosidad, falta de adherencia con el asfalto) 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de resistencia en las capas de pavimento • Infiltración de agua • Cambios de temperatura

Como resumen, puede deducirse, que las fallas por insuficiencia estructural, defecto constructivo o fatiga son a fin de cuentas de cualquiera de los tres tipos fundamentales:

- 1.- Fracturamiento
- 2.- Deformación
- 3.- Desintegración

Y si en un momento dado una deficiencia da origen a uno u otro tipo de falla, esta en función de cómo se conjuguen en el caso todas las variables que genéricamente se agrupan bajo los encabezados "efecto del tránsito", "características y estructuración de los materiales en el pavimento" y "apoyo de capas inferiores, de la terracería ,o en última instancia, del terreno de cimentación".

Bajo una visión meramente mecánica, las fallas de los pavimentos suelen ser resultado de la deformación bajo esfuerzos cortantes o de la deformación por consolidación o por aumento de compacidad; estos procesos se llevan a cabo en cualquiera de las capas del pavimento o bien de la terracería.

A continuación se describen las fallas más comunes en los Pavimentos Flexibles, y estas son:

1.- Agrietamiento en "piel de cocodrilo"

Este es un agrietamiento que se extiende sobre toda la superficie de rodamiento o, por lo menos, en su mayoría, a lo cual dicha superficie adquiere el aspecto que da nombre al fenómeno. Este aspecto representa movimiento excesivo de una o más de las capas del pavimento o de fatiga, originándose muchas veces en la propia carpeta. Este tipo de agrietamiento se presenta generalmente en pavimentos flexibles construidos sobre terracerías con baja resistencia o dentro de las

cuales, la subrasante muestre baja resistencia. También suele presentarse cuando se tienen bases débiles o insuficientemente compactadas. Este fenómeno puede ser o no progresivo, de ser así, termina provocando destrucciones locales del pavimento, el cual se identifica por desprendimientos de la carpeta en lugares afectados y en rápida remoción de los materiales granulares expuestos. Y cuando el fenómeno alcanza estos niveles de destrucción, es por seguro que representa deficiencias estructurales en la base.

2.- Surcos

Entendiendo por "surco", a la deformación permanente en la superficie del pavimento, frecuentemente se le asocia a un aumento de compacidad en las capas granulares de base o sub-base, lo anterior debido a una carga excesiva, carga repetida (ya que debido a la vibración incrementa la compacidad) ó rotura de granos; en ocasiones se debe a consolidación en la subrasante o bien que se presente esta en el cuerpo de la terracería.

3.- Fallas por cortante

Están típicamente asociadas a la falta de resistencia al esfuerzo cortante en la base o sub-base del pavimento y más raramente en la subrasante. Consisten generalmente en surcos profundos, nítidos y bien marcados, cuyo ancho no excede mucho al de la llanta. En este caso suele haber también elevación del material de carpeta a ambos lados del surco, pero la falla se distingue fácilmente de un simple desplazamiento de carpeta por la mayor profundidad afectada.

4.- Agrietamiento longitudinal

Consiste en la aparición de grietas longitudinales de no gran abertura (del orden de 0.5 cm) en toda el área que corresponde a la de circulación de las cargas

más pesadas. Agrietamientos de este tipo son debidos a movimientos de las capas de pavimento que tienen lugar predominante en dirección horizontal, el fenómeno puede ocurrir en la base, en la sub-base o, con cierta frecuencia, en la subrasante. Son indicativos de fenómenos de congelamiento y deshielo o de cambios volumétricos por variación del contenido de agua sobre la subrasante.

5.- Consolidación del terreno de cimentación

La consolidación de terrenos de cimentación blandos produce distorsión del pavimento, independientemente de los espesores o de la condición estructural del mismo. Las deformaciones de la sección transversal producen agrietamientos longitudinales. Cuando por falta de resistencia en el terreno de cimentación, se compromete la estabilidad de los terraplenes, también se producen agrietamientos típicos con trayectoria circular, marcando lo que puede ser la cabeza de la falla eventual, estas grietas perjudican, como es natural, al pavimento.

Es muy importante la mención de estos tipos de fallas ya que en estas se aplica el estudio de la tesis en cuestión. Y es a estos tipos de fallas lo que se pretende dar una solución para su tratamiento, cuando se presentan en los pavimentos flexibles, como se observará en los capítulos posteriores.

CAPÍTULO 1.

" MÉTODOS TRADICIONALES DE REHABILITADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES "

El objetivo del presente capítulo es presentar una visión global de los materiales y equipos, resultados observados, ventajas y desventajas de los métodos tradicionales de rehabilitado.

Todos estos métodos entran en la categoría de " Mantenimiento Mayor ", entendiéndose por mantenimiento mayor a todas las obras de rehabilitación que en forma periódica o eventual son necesarias para que un camino ofrezca las condiciones adecuadas de servicio de acuerdo con las normas y especificaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Entre las actividades principales que constituyen el mantenimiento mayor son:

1. reconstrucción de terraplenes
2. rehabilitación de bases
3. reconstrucción de carpetas
4. riego de sellos
5. restitución de señalamientos horizontales
6. obras de prevención de derrumbes

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Estos trabajos resultan necesarios debido al desgaste causado a través del tiempo por el tránsito vehicular y la erosión natural de las carreteras.

Generalmente son obras de volúmenes considerables a cargo de contratistas privados, razón por la cual resulta necesario la mejor planeación

posible que coordine, controle y programe la ejecución de los trabajos de acuerdo con los niveles de inversión, la disponibilidad de fondos y las prioridades establecidas por la estrategia para conservar y reconstruir la red.

1.1 BASES ASFÁLTICAS.

Se entiende por base la estructura formada por un material pétreo, mezclado con un asfalto. Estas bases se han utilizado en diversas autopistas y carreteras con el mismo nivel de calidad de una carpeta de 3/4" a finos. Se han usado en la rehabilitación de las autopistas México - Cuernavaca, México - Querétaro, México - Puebla y otras.

1.1.1 MATERIALES Y EQUIPO EMPLEADO EN SU ELABORACIÓN.

Como ya se hizo mención estas bases se encuentran formadas por dos materiales que se estudian a continuación y son:

1.1.1.1 ASFÁLTOS.

Los asfaltos son componentes naturales del petróleo, en los cuales se encuentra disuelto, es decir proviene de la refinación del petróleo. El asfalto refinado se produce en una gran variedad de tipos desde los sólidos, duros y quebradizos hasta los fluidos casi tan líquidos como el agua. La forma semi-sólida conocida como cemento asfáltico es el material básico y puede considerarse como una combinación de asfalto duro y aceites no volátiles del petróleo. A continuación se presentan algunos tipos de los productos obtenidos por destilación directa del petróleo crudo, ya que la destilación es el proceso principal que se emplea para obtener el asfalto del petróleo.

TIPOS DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS OBTENIDOS POR DESTILACIÓN DIRECTA DEL PETRÓLEO CRUDO.

1. - Aceites volátiles
2. - Aceites de volatilización lenta
3. - Aceites no volátiles
4. - Asfalto duro
5. - Cemento asfáltico

Cabe hacer mención que disolviendo el cemento asfáltico (C.A.) en diferentes destilados volátiles del petróleo, o emulsificándolo con agua, se obtienen los productos asfálticos los cuales muy pronto adquieren un valor cementante al usarse.

A continuación se presentan los tipos de productos asfálticos líquidos que actualmente son más empleados en los pavimentos flexibles.

TIPOS DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS LÍQUIDOS

1. Asfaltos de Fraguado Lento

- Aceites de volatilización lenta
- Cemento asfáltico

2. Asfaltos de Fraguado Medio

- Kerosina
- Cemento asfáltico

3. Asfaltos de Fraguado Rápido

- Gasolina
- Cemento asfáltico

4. Emulsión Asfáltica.

- Agua
- Emulsor
- Cemento asfáltico

En cuanto a los asfaltos empleados en la elaboración de bases, estos deben ser sometidos a pruebas de Laboratorio con el propósito de conocer sus características y ver si se encuentran dentro de las especificaciones marcadas por la fuente de producción (Tabla 3). Nuestros asfaltos deben cumplir con los requisitos que marcan las especificaciones de Petróleos Mexicanos.

Los ensayos que deben efectuarse a los asfaltos son los siguientes:

1. Densidad del producto asfáltico.

Se trata simplemente de la determinación de la densidad por medio de la relación entre su peso y volumen de la muestra.

2. Destilación de los asfaltos rebajados.

Esta prueba se realiza a los asfaltos rebajados de fraguado rápido (FR) y de fraguado medio (FM), consiste en determinar el contenido de disolventes que destilan a temperaturas establecidas, así como las proporciones del residuo asfáltico y total de disolventes que existen en el producto. El procedimiento consiste en efectuar la destilación de una muestra de asfalto rebajado, hasta una temperatura de 360°C y registrar

los volúmenes del producto destilado a las temperaturas específicas. En el residuo asfáltico obtenido se realizan otras pruebas que ayudan a su identificación.

3. Determinación de la viscosidad de los asfaltos rebajados y de las emulsiones asfálticas.

Se realiza por medio de la prueba Saybolt Furol, esta permite conocer sus características de flujo a la temperatura de 135°C, con objeto de conocer la susceptibilidad al calor de los cementos asfálticos y determinar las viscosidades apropiadas para su utilización. La prueba consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 60cm³ de cemento asfáltico a través de un orificio.

4. Determinación de la penetración en el residuo de la destilación de los asfaltos rebajados y en los cementos asfálticos.

La prueba se realiza para determinar la consistencia de los cementos asfálticos mediante la penetración vertical de una aguja de una muestra de dicho material, bajo condiciones establecidas de peso, tiempo y temperatura, la profundidad a la que penetra la aguja se mide en décimos de milímetro.

5. Determinación del punto de ignición de los asfaltos rebajados y cementos asfálticos.

En esta prueba se utiliza una copa abierta y se mide la temperatura mínima a la que el asfalto produce flamas instantáneas al estar en contacto con el fuego. La prueba consiste en incrementar la temperatura del asfalto hasta lograr que al pasar una flama por la superficie de la muestra se produzcan en ella flamas instantáneas.

6. Prueba de flotación en el residuo de la destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento.

Se realizará la prueba a una temperatura de 50°C seg. Para observar como se comporta la muestra.

7. Determinación del contenido de agua en asfaltos rebajados.

Se trata de la simple determinación del contenido de agua en la muestra, esto por medio de un proceso de medición entre la muestra seca y en su estado original.

8. Determinación del punto de fusión o reblandecimiento de los cementos asfálticos.

El punto de reblandecimiento de los cementos asfálticos por el método del anillo y la esfera, consiste en determinar la temperatura a la cual una muestra de asfalto, sostenida en una anillo horizontal y calentada gradualmente dentro de una baño de agua y bajo la acción del peso de una esfera de acero, alcanza una deformación de 25.4 mm. Los resultados de esta prueba permiten estimar la consistencia de los cementos asfálticos.

9. Determinación de la ductilidad en el residuo de la destilación de asfaltos rebajados y en cementos asfálticos.

En esta prueba se mide la máxima distancia a la cual una muestra de asfalto puede ser estirada sin romperse, bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformación establecidas (25°C y 5 cm/min).

10. Solubilidad en tetracloruro de carbono.

Esta prueba consiste en disolver en tetracloruro de carbono una muestra de cemento asfáltico filtrándola a través de una capa de fibra de asbesto en donde se retiene la fracción insoluble. Los resultados de la prueba sirven para conocer la pureza del asfalto en cuanto a su contenido de sustancias sólidas.

11. Pérdida por calentamiento.

Esta prueba sirve para estimar el endurecimiento que sufren los cementos asfálticos que en películas de pequeño espesor se someten a los efectos del calor y el aire, evaluando dicho endurecimiento mediante la penetración que conserva el cemento asfáltico y la pérdida de peso que experimenta después de someterle a un proceso de calentamiento.

En base a estos ensayos Petróleos Mexicanos ha determinado los requisitos con que deben cumplir los asfaltos (Tablas 4,5 y 6).

TABLA 3. Requisitos que deben cumplir los cementos asfálticos en base a petróleos mexicanos.

CONCEPTO	GRADO DEL CEMENTO ASFALTICO			
	Núm. 3	Núm. 6	Núm. 7	Núm.8
Punto de ignición (copa abierta de Cleveland)	22 0°C Mínimo	230°C Mínimo	240°C Mínimo	260°C Mínimo
Penetración, grados	180-200	80-100	60-70	40-50
Punto de Fusión	37-43°C	45-52°C	48-56°C	52-60°C
Ductilidad	100 cm. Mínimo	100 cm. Mínimo	100 cm. Mínimo	100 cm. Mínimo
Solubilidad en tetracloruro de Carbono.	99.5% Mínimo	99.5% Mínimo	99.5% Mínimo	99.5% Mínimo
Pérdida por calentamiento.	1% Máximo	1% Máximo	0.5% Máximo	0.5% Máximo

TABLA 4. Requisitos que deben cumplir los productos (FR) en base a ensayos efectuados por petróleos mexicanos.

PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL	GRADO DEL PRODUCTO				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
Punto de Ignición (copa abierta de Cleveland)	--	--	35°C	35°C	35°C
Viscosidad Saybolt Furol:					
a 25°C seg.	75-150	--	--	--	--
a 50°C seg.	--	75-150	--	--	--
a 60°C seg.	--	--	100-200	250-500	--
a 82°C seg.	--	--	--	--	125-250
Penetración del asfalto básico (grados).	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100
Destilación: % del total destilado a 360°C.					
Hasta 190°C más de	15	10	-	-	-
Hasta 225°C más de	55	50	40	25	8
Hasta 260°C más de	75	70	65	55	40
Hasta 315°C más de	90	88	87	83	80
Residuo de la destilación a 360°C (% del volumen por diferencia, mínima).	50	60	67	73	78
PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACIÓN					
Penetración, grados	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad en cm. (mínimo)	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de Carbono, % mínimo.	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

TABLA 5. Requisitos que deben cumplir los productos (FM) en base a ensayos efectuados por petróleos mexicanos.

CONCEPTO	GRADO DEL PRODUCTO				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL					
Punto de ignición mínima. (Copa abierta Cleveland)	38°C	38°C	66°C	66°C	66°C
Viscosidad Saybolt Furol: a 25°C seg. a 50°C seg. a 60°C seg. a 82°C seg.	75-150 -- -- --	-- 75-150 -- --	-- -- 100-200 --	-- -- 250-500 --	-- -- -- 125-250
Penetración del asfalto básico (grados).	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100
Destilación: % del total destilado a 360°C Hasta 225°C Hasta 260°C Hasta 315°C	25 máx. 40-70 75-93	20 máx. 25-65 70-90	10 máx. 15-55 60-87	5 máx. 5-40 55-85	0 30 máx. 40-80
Residuo de la destilación a 360°C (% del volumen por diferencia mín.)	50	60	67	73	78
Penetración (grados).	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en cm mín.	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono % mín.	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

TABLA 6. Requisitos que deben cumplir los productos (FL) en base a ensayos efectuados por petróleos mexicanos.

CONCEPTO	GRADO DEL PRODUCTO				
	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
PRUEBAS EN EL RESIDUO ORIGINAL					
Punto de ignición mín. (Copa abierta de Cleveland).	66°C	66°C	80°C	90°C	107°C
Viscosidad Saybolt Furol:					
a 25°C seg.	75-150	--	--	--	--
a 50°C seg.	--	75-150	--	--	--
a 60°C seg.	--	--	100-120	250-500	--
a 82°C seg.	--	--	--	--	125-250
Penetración del asfalto básico (grados).	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100
Destilación: Destilado total a 360°C, % volumen	15-40	10-30	5-25	2-15	10 máx.
Flotación a 50°C seg.	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
Contenido de asfalto de 100 grados de penetración (aprox.)	40 mín	50 mín	60 mín	70 mín	75 mín.
Ductilidad en cm (mínimo).	100	100	100	100	100
Solubilidad en Tetracloruro de carbono, % mínimo.	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

Es de suma importancia mencionar que petróleos mexicanos PEMEX, debido a los lineamientos ecológicos que han surgido en el mundo y en nuestro país a impulsado la utilización y el empleo de nuevas emulsiones asfálticas. Las cuales a continuación se mencionan con sus respectivas características:

A) ROMPIMIENTO RAPIDO CATIONICA RR-2K

Esta emulsión por su rompimiento instantáneo y alta viscosidad, tiene una gran aplicación en los tratamientos superficiales tales como: Carpetas por el sistema de riegos, riegos de sello con gravilla, de liga, de taponamiento con poreo de arena.

CARACTERÍSTICAS DE APLICACIÓN:

- Evita el uso de aditivos del asfalto.
- Evita el secado por evaporación o calentamiento del material pétreo, permitiendo el uso de materiales húmedos.
- Permite mayor número de horas efectivas de trabajo.
- Se aplica en frío.
- Posee adherencia insuperable al pétreo.
- No tiene riesgos de incendio.
- Reduce los tiempos y costos estimados para las obras.
- Útil para la construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riegos, o bien, para los riegos de sello o carpeta ya construidas.

Los tratamientos superficiales en los pavimentos flexibles son indispensables, ya que protegen e impermeabilizan la carpeta asfáltica ya que estos se convierten en la superficie de desgaste o rodamiento.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- % Residuo asfáltico por destilación: 63 – 65
- Viscosidad saybol furol 50°C: 20 – 100

- % Retenido en malla No. 20: 0.10 máx.
- Asentamiento en 5 días: 5.0 máx.
- Penetración 100 g. 5 s. 25°C: 100 – 200
- Carga a la partícula. Positiva

B) ROMPIMIENTO MEDIO CATIONICA RM-2K

Esta emulsión es la más recomendable para mezclas en plantas estabilizadoras, con materiales limpios no calizos ni altamente cuarzosos, se logran mezclas de buena calidad, buen cubrimiento, mezclas con alta estabilidad en poco tiempo, después de efectuar el tendido y el fraguado.

CARACTERISTICAS DE APLICACIÓN:

- Evita el uso de aditivos del asfalto.
- Evita el secado por evaporación o calentamiento del material pétreo, permitiendo el uso de materiales húmedos.
- Permite mayor número de horas efectivas de trabajo.
- Se aplica en frío.
- Adherencia insuperable al pétreo.
- Sin riesgo de incendio.
- Reduce los tiempos y costos estimados para las obras.
- Util en las bases o carpetas que se construyen utilizando normalmente motoconformadoras o bien equipo especial.

Con esta emulsión y materiales pétreos que contengan un equivalente de arena mayor de 80% se logran mezclas de muy buena calidad con cubrimientos del orden de 90% al 100%, ya que esta emulsión se produce con cemento asfáltico y esto le confiere a la mezcla una alta estabilidad en poco tiempo

después de efectuar el tendido y cuando se logra el fraguado total, la resistencia del pavimento se incrementa.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- % Residuo asfáltico por destilación: 60 – 66
- Viscosidad saybol furol 50°C: 20 – 100
- % Retenido en malla No. 20: 0.10 máx.
- Asentamiento en 5 días: 5.0 máx.
- Penetración 100 g. 5 s. 25°C: 100 – 200
- Carga a la partícula. Positiva

C) ROMPIMIENTO LENTO CATIONICA RL-2K

Es la más adecuada para mezcla en el lugar con motoconformadora, con materiales pétreos de equivalente de arena superior a 70% no calizos y cuarzosos, ya que las propiedades de los agentes químicos, le permiten el tiempo suficiente para elaborar la mezcla.

CARACTERÍSTICAS DE APLICACIÓN:

- Evita el uso de aditivos del asfalto.
- Evita el secado por evaporación o calentamiento del material pétreo, permitiendo el uso de materiales húmedos.
- Se aplica en frío.
- Adherencia insuperable al pétreo.
- Sin riesgo de incendio.
- Reduce los tiempos y costos estimados para las obras.
- Util para la elaboración de morteros asfálticos, en nuevos procedimientos de pavimentación.

En el caso de la emulsión media y lenta no se deben emplear materiales pétreos calizos ni altamente cuarzosos.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- % Residuo asfáltico por destilación: 60 – 66
- Viscosidad saybol furol 50°C: 20 – 100
- % Retenido en malla No. 20: 0.10 máx.
- Asentamiento en 5 días: 5.0 máx.
- Penetración 100 g. 5 s. 25°C, en el residuo: 100 – 200
- Carga a la partícula. Positiva

D) EMULSIÓN SUPERESTABLE CATIONICA RL-3K

Es una emulsión muy versátil, que puede utilizar para mezcla en planta, en el lugar y morteros asfálticos, cubre una gran variedad de materiales pétreos incluyendo los calizos y triturados con alto contenidos de finos.

CARACTERÍSTICAS DE APLICACIÓN:

- Evita el uso de aditivos del asfalto.
- Evita el secado por evaporación o calentamiento del material pétreo, permitiendo el uso de materiales húmedos.
- Se aplica en frío.
- Adherencia insuperable al pétreo.
- Sin riesgo de incendio.
- Reduce los tiempos y costos estimados para las obras.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- % Residuo asfáltico por destilación: 60 – 62
- Viscosidad saybol furol 50°C: 18 – 30
- % Retenido en malla No. 20: 0.10 máx.

- Asentamiento en 5 días: 5.0 máx.
- Penetración 100 g. 5 s. 25°C, en el residuo: 40 – 90
- Carga a la partícula. Positiva

E) EMULSIÓN SUPERESTABLE ANIONICA RL-2

Es emulsión presenta afinidad con todos los materiales, pero su empleo se limita a los pétreos calizos, se emplea para mezcla en el lugar, en planta con motoconformadora y mortero asfáltico.

CARACTERISTICAS DE APLICACIÓN:

- Evita el uso de aditivos del asfalto.
- Evita el secado por evaporación o calentamiento del material pétreo, permitiendo el uso de materiales húmedos.
- Se aplica en frío y sin riesgo de incendio.
- Reduce los tiempos y costos estimados para las obras.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- % Residuo asfáltico por destilación: 60 – 62
- Viscosidad saybol furol 50°C: 20 – 100
- % Retenido en malla No. 20: 0.10 máx.
- Asentamiento en 5 días: 3.0 máx.
- Penetración 100 g. 5 s. 25°C, en el residuo: 40 – 90
- Carga a la partícula. Negativa

Las características de las emulsiones asfálticas deben ser las mismas para todas y cada una, ya que las emulsiones se elaboran con el 100% de cemento asfáltico No. 6 y lo único que las difiere entre sí, son los diferentes productos químicos con los cuales se elaboran.

1.1.1.2 MATERIALES PÉTREOS PARA BASES.

Los materiales pétreos que se emplean para formar la base de los pavimentos flexibles, se clasifican en tres grupos:

1. Materiales naturales que no requieren ningún tratamiento de trituración o cribado, tales como conglomerados, tepetates, gravas y arenas de río, areniscas, etc.
2. Materiales naturales que sí requieren un tratamiento previo de cribado o trituración.
3. Mezcla de dos o más materiales de cualquiera de los dos grupos anteriores o de ambos.

Es de importancia mencionar algunas pruebas que deben de realizarse a los materiales pétreos para establecer sus propiedades.

PRUEBA PROCTOR ESTÁNDAR.

La prueba consiste en compactar el suelo en cuestión de tres capas, dentro de un molde, por medio de golpes con un pistón que se deja caer libremente. El molde es un cilindro de 0.94 litros de capacidad aproximada, de 10.2 cm de diámetro y 11.7 cm de altura, provisto de una extensión desmontable de igual diámetro y 5 cm de altura. El pistón es de 2.5 kg de peso y consta de un vástago en cuyo extremo inferior hay un cilindro metálico de 5 cm de diámetro. Los golpes se aplican dejando caer el pistón desde una altura de 30.5 cm. Dentro del molde, el suelo debe colocarse en tres capas que se compactan dando 25 golpes, repartidos en el área del cilindro, a cada una de ellas. Con los datos anteriores la energía específica de compactación es de 6 kg/cm^3 , calculada con la fórmula:

$$E = NnWh / V$$

En donde:

E= Energía específica.

N= Número de golpes por capa.

n= Número de capas de suelo

W= Peso del pistón

h= Altura de caída libre del pistón.

V= Volumen del suelo compactado

Los datos que determinan la energía específica en la prueba, fueron establecidos por Proctor como los adecuados para reproducir los pesos específicos secos que podían lograrse económicamente (es decir, como un número moderado de pasadas) con el equipo comercialmente disponible.

PRUEBA MARSHALL

Con este método se determinan los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados y probados a 60°C. El valor de estabilidad se determina midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen. La deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga será el valor de flujo. Para cada contenido de cemento asfáltico se fabrican tres especímenes.

- a) Elaboración de la mezcla: Se mezclan los agregados y el cemento asfáltico, calentados previamente a temperaturas de 175°C y 120°C respectivamente, la temperatura de la mezcla no debe ser menor de 100°C.
- b) Compactación de la mezcla asfáltica: Se utiliza un pisón y un molde de compactación, calentados en agua hirviendo. Se llena el molde con la mezcla caliente y se aplican 50 golpes con el pisón. El molde se sumerge en agua fría durante dos minutos. Se extrae el espécimen del molde y se deja enfriar. Los especímenes compactados deben tener una altura de 6.35 cm.

c) **Prueba de compresión:** Se aplica la carga al espécimen a una velocidad de 5 cm/min hasta que la falla del espécimen ocurra. La carga máxima aplicada para producir la falla se registra como el valor de estabilidad, también se registra la deformación sufrida por el espécimen, que expresada en milímetros indica el valor del flujo. Con los datos obtenidos se dibujan cuatro gráficas, con los valores siguientes. (Peso volumétrico Vs % cemento asfáltico), (Estabilidad Vs % cemento asfáltico), (% de vacíos Vs % cemento asfáltico), (Flujo Vs % cemento asfáltico). El contenido óptimo de cemento asfáltico se encuentra de la siguiente manera:

1. Se encuentra el contenido para el máximo peso volumétrico.
2. Se encuentra el contenido para la máxima estabilidad.
3. Se encuentra el contenido para el flujo de 3.5 mm.
4. Se encuentra el contenido para la relación de vacíos del 4%.

El contenido óptimo de cemento asfáltico es el promedio de los cuatro valores anteriores.

PRUEBA DE DESGASTE "LOS ÁNGELES"

Esta prueba tiene por objeto conocer la calidad del material pétreo y es una medida indirecta del grado de alteración alcanzado por este, así como de la presencia de planos de debilitamiento o cristalización que provocan una desintegración de las partículas del material. La muestra de roca se ensaya en la máquina de abrasión de los Ángeles ± 30 r.p.m. al cilindro de acero por un periodo de 30 min.

Los materiales empleados como base de pavimentos flexibles, deben satisfacer los siguientes requisitos:

- a) La granulometría del material debe quedar comprendida entre el límite inferior de la zona número uno y el superior de la zona número tres del gráfico (Figura 8), y su curva granulométrica deberá ser de forma semejante a las

curvas que limitan las zonas del gráfico sin presentar cambios bruscos de pendiente y sin estar indistintamente en una zona y otra zona.

En cuanto a los materiales pétreos la composición de la curva granulométrica debe cumplir con algunas características en cuanto a tamaño (Tabla 7).

TABLA 7. Granulometría de los materiales pétreos.

Tamaño	% que pasa
1 3/4"	100
1 1/2"	90 - 100
1"	50 - 80
1/2"	30 - 50
1/4"	20 - 30
Malla 200	0 - 5

- b) La relación del porcentaje en peso del material que pase la malla #200 al material que pase la malla #40 no deberá ser mayor de 0.65.
- c) La contracción lineal, determinada con la humedad correspondiente al límite líquido, y el valor cementante del material deben satisfacer ciertos requisitos (Tabla 8).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA 8. Características de la contracción lineal.

Zonas en las cuales se clasifica el material según su granulometría.	1	2	3
Contracción lineal en %	4.5 máx.	3.5 máx.	2.0 máx.
Valor cementante, en kg/cm^2 , para materiales angulosos.	4.5 mín.	3.5 mín.	2.5 mín.
Valor cementante, en kg/cm^2 , para materiales redondeados y lisos.	7.0 mín.	5.0 mín.	4.0 mín.

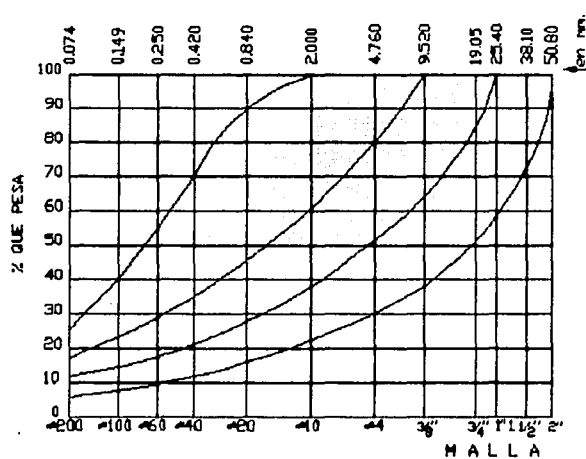


FIGURA 8. Curva granulométrica de los materiales

- d) El valor relativo de soporte estándar del material debe satisfacer las siguientes condiciones:

Para tránsito inferior a 600 vehículos pesados por día.....50% mín.

Para tránsito superior a 600 vehículos pesados por día80% mín.

El tránsito pesado considerado se refiere a aquellos vehículos que tengan capacidad de carga igual o superior a tres toneladas métricas.

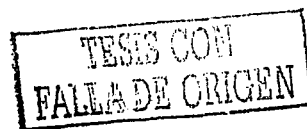
- e) La afinidad del material pétreo con el asfalto debe ser buena, permitiéndose, como máximo, un desprendimiento del 25% por medio de la prueba de agitado.

El contenido de asfalto es el porcentaje que determina la prueba Marshall, teniéndose la experiencia de que varía entre 5 y 7% en promedio.

1.1.1.3 EQUIPO.

Como en la totalidad de las obras de ingeniería civil, se utilizan como materiales básicos los diferentes suelos encontrados en la naturaleza, cerca de la obra, siempre y cuando reúnan los requisitos antes mencionados, para ser utilizados como agregados.

En ocasiones se tiene la suerte de localizar materiales óptimos y en grandes cantidades, sin embargo, lo más común es que suceda lo contrario, y que localizar materiales que satisfagan con las especificaciones sea un verdadero problema, agregando el problema de la manipulación de los mismos. Por lo cual a continuación se presentan los equipos comúnmente empleados en la elaboración de las bases en cuanto a su producción, transporte y compactación de sus materiales.



Para la obtención del tamaño adecuado de los agregados es necesario en ocasiones que sufran un proceso de trituración y esto se lleva a cabo por medio de Trituradoras las cuales pueden ser:

1. Trituradoras de Quijadas (Figura 9)

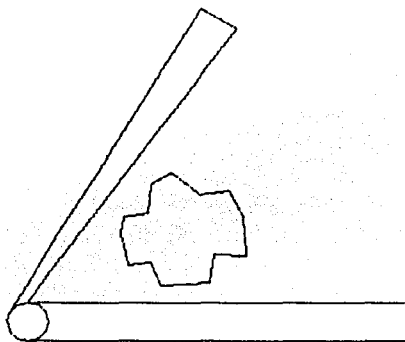


FIGURA 9. Trituradora de quijadas

2. Trituradoras de Molino de Martillos (Figura 10)

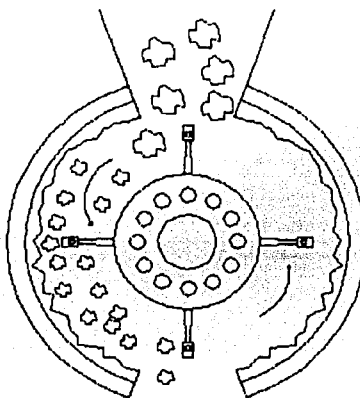


FIGURA 10. Trituradora de molino de martillos

3. Trituradora de Rodillos (Figura 11)

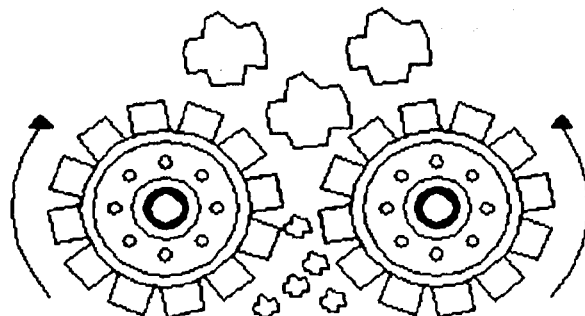


FIGURA 11. Trituradora de rodillos

4. Trituradoras Giratorias (Figura 12)

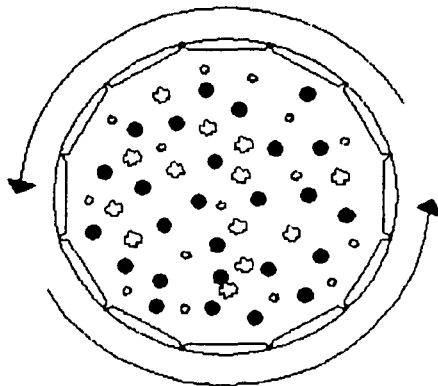


FIGURA 12. Trituradora giratoria

5. Trituradoras Cónicas (Figura 13)

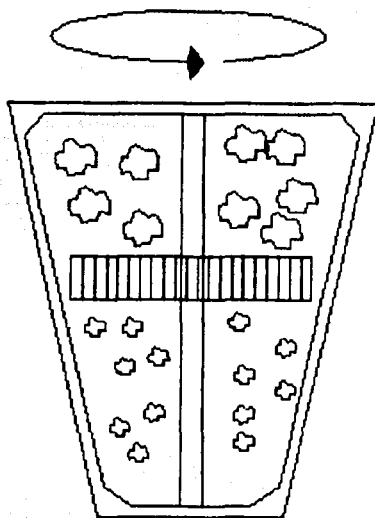


FIGURA 13. Trituradora cónica

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En cuanto a la carga y manejo de los materiales esto se lleva a cabo por medio de:

1. Palas, mecánicas e hidráulicas(Figura 14A,14B)

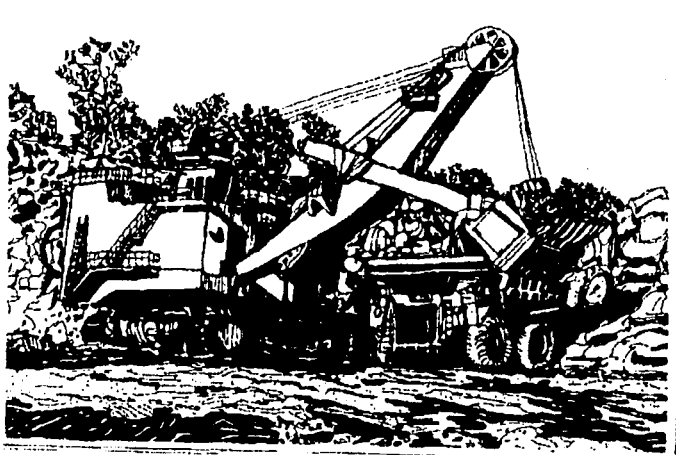
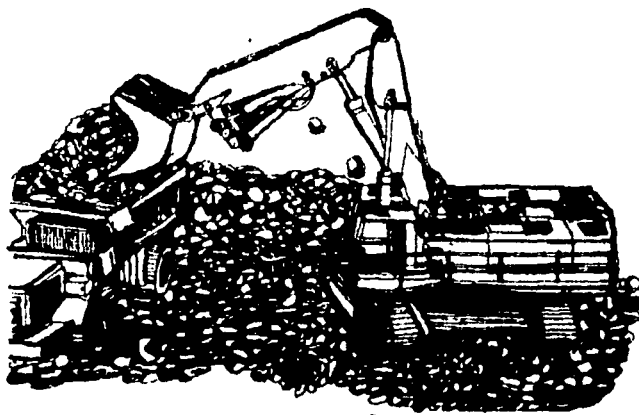


FIGURA 14A. Pala mecánica



96

FIGURA 14B. Pala hidráulica

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. Retroexcavadoras (Figura 15)

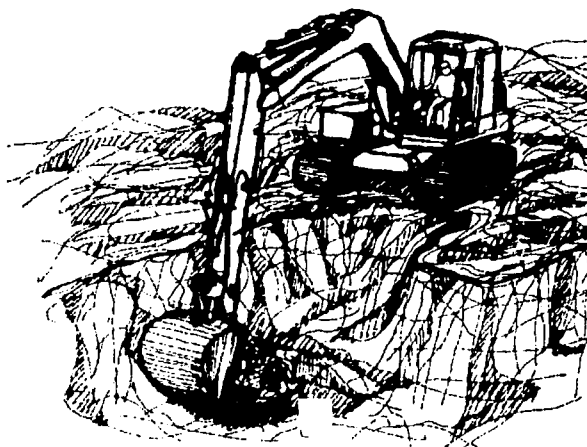


FIGURA 15. Retroexcavadora

3. Traxcavos (Figura 16)

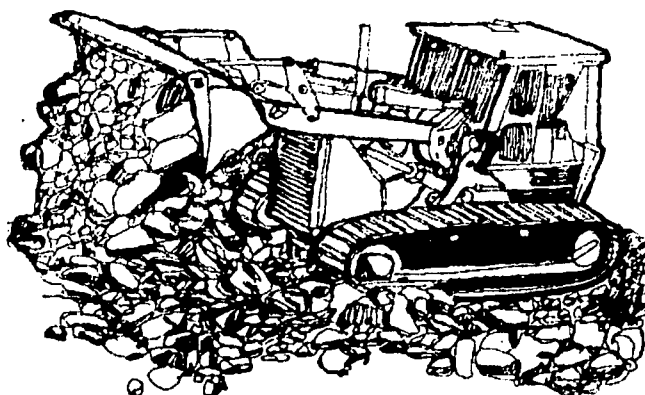


FIGURA 16. Traxcavo

4. Payloaders (Figura 17)

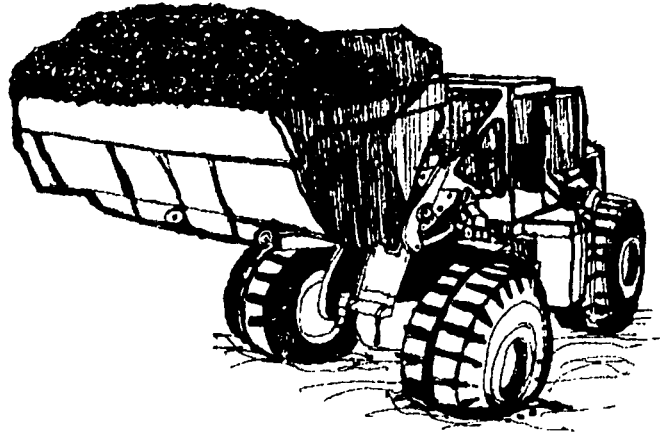


FIGURA 17. Payloader

5. Bulldozers (Figura 18)

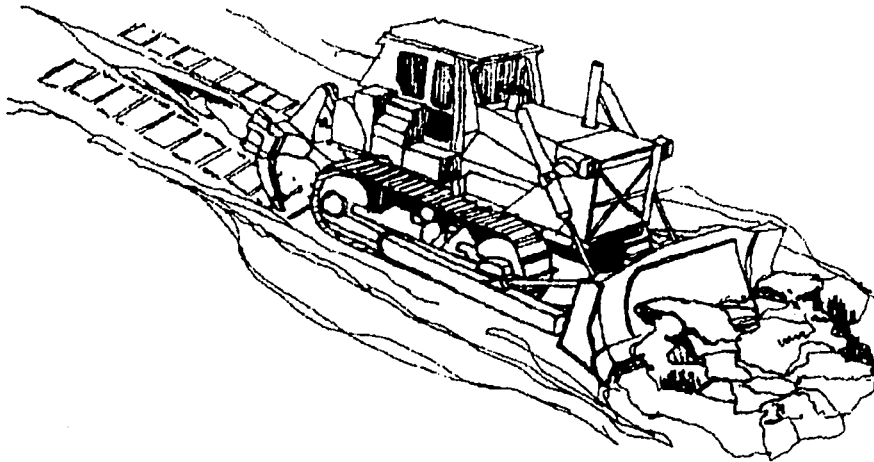


FIGURA 18. Bulldozer

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6. Motoescrepas (Figura 19)

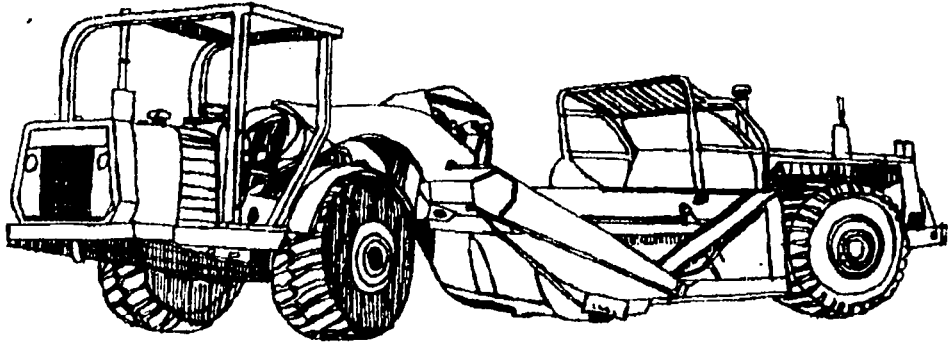


FIGURA 19. Motoescrepa

7. Motoniveladoras (Figura 20)

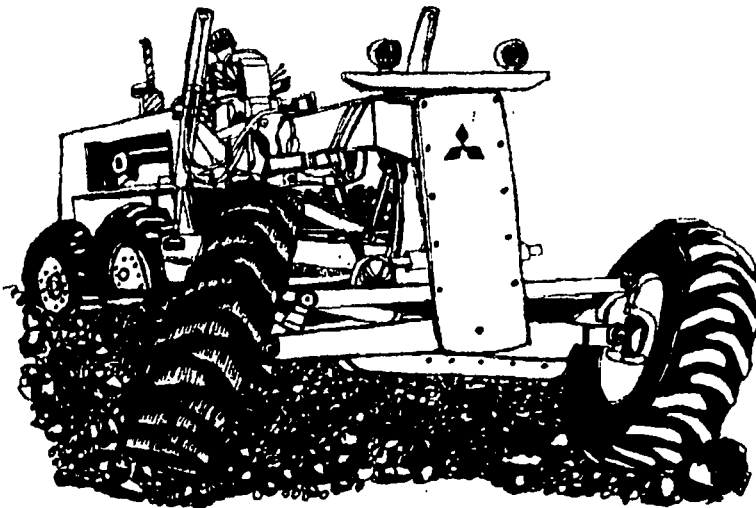


FIGURA 20. Motoniveladora

En cuanto a la actividad de la compactación de las bases se utilizan:

1. Rodillos de carga estática (Figura 21)

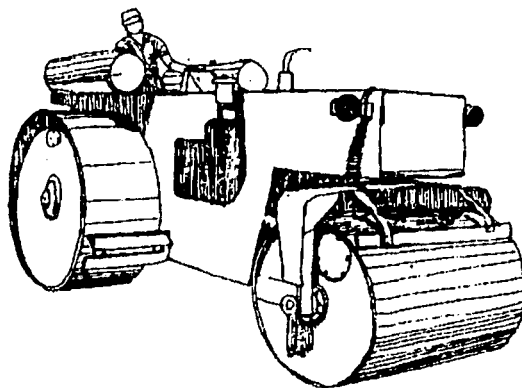


FIGURA 21. Rodillo de carga estática

2. Rodillos vibratorios (Figura 22)

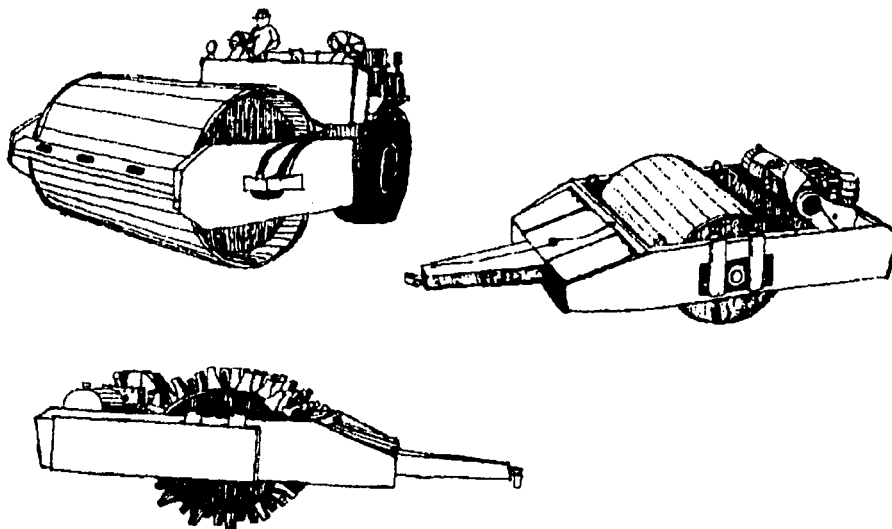


FIGURA 22. Rodillos vibratorios

1. Rodillos mixtos (Figura 23)

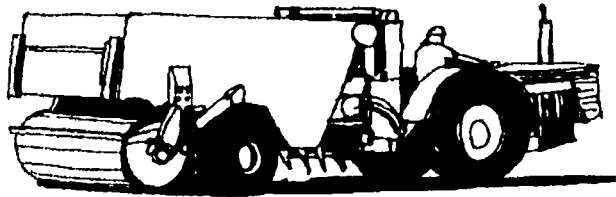


FIGURA 23. Rodillos mixtos

Además de contar con equipo especializado como pueden ser:

1. Esparcidores de materiales pétreos (Figura 24)

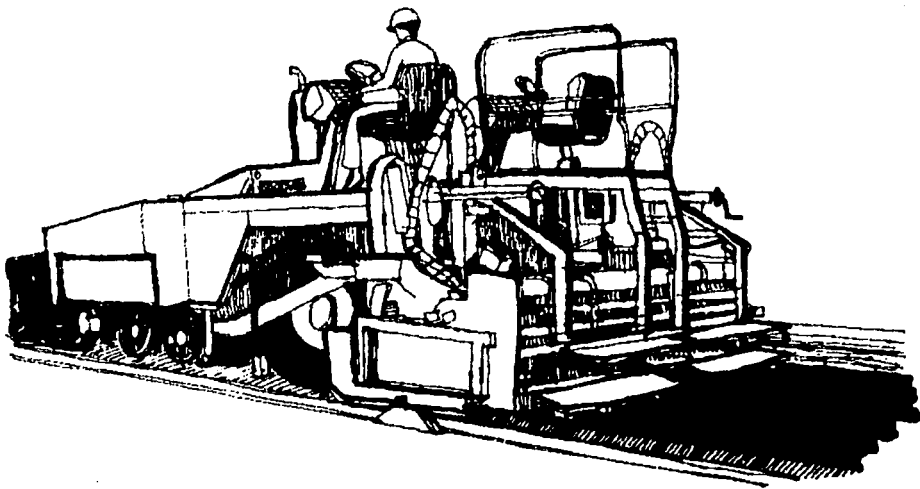


FIGURA 24. Esparcidores de materiales pétreos.

2. Petrolizadoras (Figura 25)

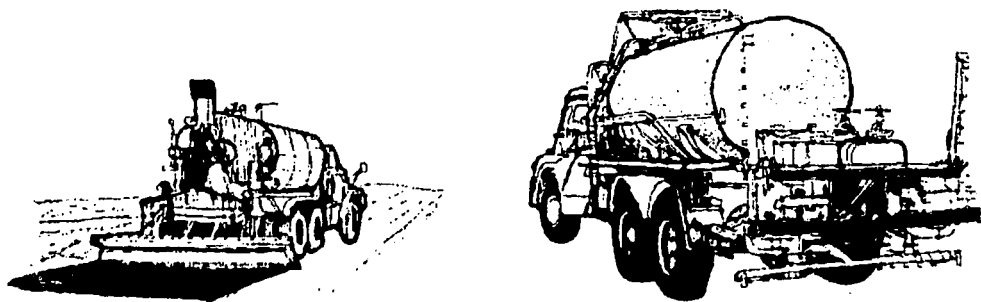


FIGURA 25. Petrolizadoras

3. Plantas dosificadoras de mezclas asfálticas (Figura 26)

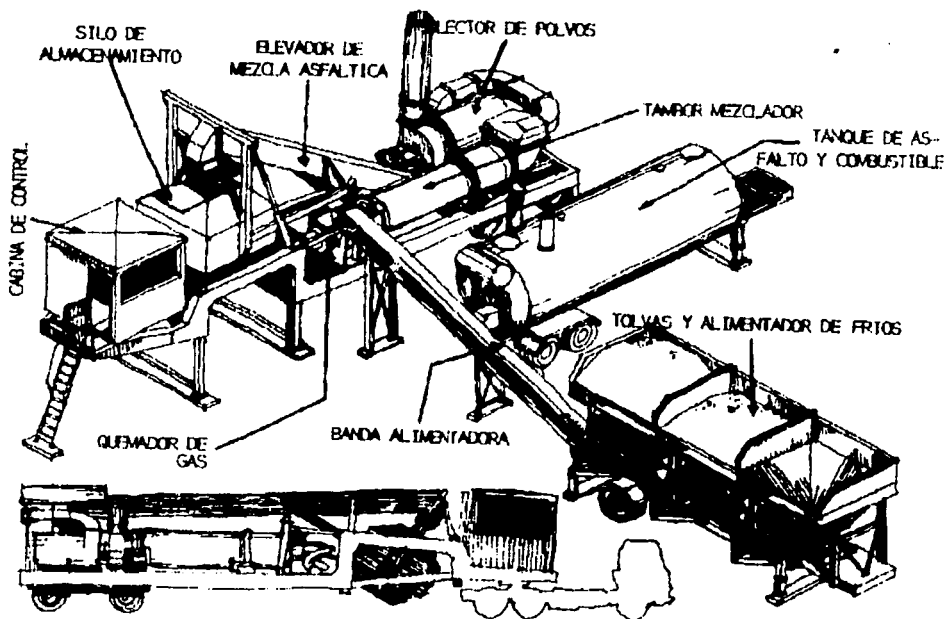


FIGURA 26. Plantas dosificadoras de mezclas asfálticas

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

4. Estabilizadoras (Figura 27)

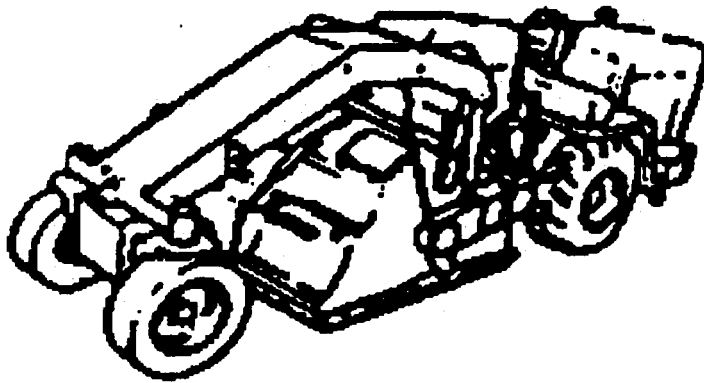


FIGURA 27. Estabilizadora

Estos son los equipos que por lo general se emplean en este tipo de proyectos, pero es muy importante mencionar que de acuerdo a la adecuada elección del equipo que realice el ingeniero, tomando en cuenta las condiciones de la obra, determinará un ahorro ó pérdida en la economía de la obra en cuestión.

Por lo que todo ingeniero al hacer la elección debe tomar en cuenta que la maquinaria que usará debe en la mayoría ser multifuncional, es decir que con está se puedan realizar varios trabajos, con una adecuada rapidez, calidad, y sin dañar al equipo.

1.1.2 RESULTADOS OBSERVADOS EN SU EMPLEO.

En base a observaciones realizadas en los proyectos en los cuales se han utilizado las bases asfálticas como solución de rehabilitado, se ha determinado que esta técnica representa un caminar en círculo, ya que por más que se rehabilite un pavimento, este en muy poco tiempo presentará las mismas fallas debido principalmente a los siguientes puntos:

1. Un mal procedimiento constructivo.
2. Mano de obra no calificada.

Algunos proyectos los cuales han contado con una excelente calidad de obra, han logrado brindar a los usuarios por un lapso no muy grande de tiempo, es decir como máximo 3 años, un servicio óptimo.

1.1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN SU EMPLEO.

La mayoría de los pavimentos tratados con esta técnica, no satisfacen a los automovilistas, esto en base a encuestas realizadas, ya que los propios usuarios responden que este tipo de medidas son solo soluciones momentáneas a las cuales comparan con "llenar de dinero una bolsa rota", ya que ningún usuario le agrada que sus impuestos no sean bien empleados.

El uso de las bases asfálticas se ha utilizado muy frecuentemente en nuestro país debido a la economía que representa su utilización, básicamente se debe a que el petróleo constituye un gran ahorro, en la utilización del cemento asfáltico.

La principal ventaja que representan este tipo de proyectos, es la magnífica visión que presenta a los usuarios, ya que cuando se logra brindar un excelente acabado, representa una visión hermosa para el usuario.

Una desventaja muy marcada que presentan las bases asfálticas, es su temperatura en su manejo, ya que se encuentra muy restringido a ciertos rangos como son:

TABLA 9. Temperaturas de trabajo en el empleo de bases asfálticas.

Temperaturas	Rangos
Optima de mezclado	100 - 130 ° C
De tendido	100 - 110 ° C
De compactación	80 - 100 ° C

Aunque en la actualidad ya se cuentan con mezclas que trabajan en frío, las cuales utilizan emulsiones asfálticas.

Sin embargo una ventaja es que este tipo de mezcla asfáltica de textura abierta no requiere tiempo de reposo y puede abrirse al tránsito de vehículos inmediatamente después del compactado. Por lo que representa muy atractivo para ser empleada cuando se requiere rehabilitar pavimentos que poseen un número muy elevado de tránsito.

En nuestro país se opta por utilizar este tipo de técnicas debido principalmente a cuestiones políticas, ya que en la mayoría de los casos las personas en las que recae la responsabilidad de elegir la manera en que se realizará el rehabilitado, tienen convenios con los dueños de las constructoras, los cuales a su vez con todas las personas que intervienen en la utilización de los asfaltos. Lo cual representa una gran ganancia cada tres años, que es por lo regular lo que dura este tipo de rehabilitado, y es muy conveniente para estas

personas tener un ingreso fijo seguro, por lo que se cierran en emplear técnicas con mayor vida útil.

Además que para el gobierno representa una gran ventaja explicar que parte del presupuesto se utilizó en los rehabilitados de pavimentos, esto en su informe de cada tres años, por lo que cada vez que llega el momento de rendir el respectivo informe, solamente tienen que seguir presentando el mismo de años anteriores con fechas actuales, pero eso si contando con un "pequeño aumento" en cuanto al costo del proyecto anterior, lo cual a criterio de las personas que tienen a su cargo la toma de decisiones, estas técnicas siguen siendo "las óptimas soluciones", y lo seguirán hasta que la mentalidad de este tipo de personas cambien.

1.2 CARPETAS ASFÁLTICAS.

En nuestro país principalmente se emplean las Carpetas de 3/4" - finos con cemento asfáltico Núm. 6 (elaboradas en planta). La mezcla para estas carpetas, deben cumplir con ciertos requisitos (Tabla 10), conforme al método Marshall, de pastillas elaboradas con 75 golpes de cara:

TABLA 10. Requisitos de las mezclas para ser utilizadas en carpetas conforme al método Marshall.

Estabilidad	700 kg.
Vacios %	3 - 5
Flujos, mm	2 - 4
VAM %	14 Min.
Desgaste "Los Angeles"	40 % Máx.
Partículas trituradas con dos caras de trituración	70 % Min.
Con una cara de trituración	90 % Min.
Equivalente de arena	65 % Min.
Límite líquido	30 % Min.
Contracción lineal	0.5 % Máx.
Adherencia con el asfalto	Buena
Forma de partícula (lajeo y/o alargamiento)	35 % Máx.

También suelen emplearse Carpetas de 3/4" - finos con asfaltos rebajados y/o emulsión (elaboradas con mezcla en el lugar o estabilizadora). Las carpetas asfálticas por el sistema de mezcla en lugar son las que se construyen en la carretera mediante el mezclado, tendido y compactación de materiales pétreos y un material asfáltico. Los materiales asfálticos que se emplean son asfaltos rebajados o emulsiones de rompimiento medio o lento.

El principal problema que existe en este tipo de proyectos, es que debido a los requisitos que se solicitan de las carpetas terminadas, se debe tener extremadamente cuidado en:

1. Transporte y distribución de mezcla.

La mezcla se transporta de la planta de mezclado al lugar de uso en camiones de volteo. La mezcla se descarga en la terminadora, a una temperatura comprendida entre 135°C y 177°C y aún a temperaturas más bajas, si un laboratorio lo autoriza, siempre que los resultados del extendido y la compactación sean satisfactorios.

La mezcla sólo se extiende sobre la base cuando ésta esté seca y las condiciones del tiempo lo permitan. Antes de empezar la operación, la base debe barrerse o limpiarse por medio de aire a presión hasta que no quede ningún material suelto sobre la calzada.

La mezcla se esparce en fajas de 3 a 3.60 metros de ancho, en capas de espesor uniforme, por medio de una máquina terminadora con una velocidad de 3 a 6 metros por minuto. La colocación de la mezcla será tan continua como sea posible.

En los tramos adyacentes a cunetas, brocales, etc. aún no construidos, deben usarse formaletas que den soporte lateral al pavimento durante la compactación.

Inmediatamente después de terminada la extensión de una capa y antes de comenzar la compactación, debe comprobarse la superficie y corregirse cualquier desigualdad que aparezca, agregando o quitando material con rastrillos. Las irregularidades en alineación y rasante a lo largo de los bordes exteriores deben corregirse, por adición o extracción de mezcla, antes de compactar dichos bordes.

En los lugares inaccesibles a la máquina terminadora, el trabajo debe ejecutarse a mano, por métodos aceptados por el laboratorio y por el ingeniero inspector. En esos casos, se descargará la mezcla sobre una plancha de acero situada fuera del lugar donde va a extenderse la mezcla y desde ella se esparce con palas y rastrillos calientes, en una capa uniforme, suelta, del espesor debido.

Las mezclas no se descargan más rápidamente de lo que puedan distribuir los paleros, ni éstos distribuyen más rápidamente de lo que puedan esparcir los rastrilleros.

El rastrillado deberá hacerse con tanto cuidado, que después de la primera pasada de la aplanadora, sólo se requiera una ligera proporción de bacheo.

2. Juntas.

Las juntas longitudinales y transversales deben hacerse de manera cuidadosa, debiendo ser bien unidas y selladas. Las juntas entre pavimentos recientes y otros más antiguos, o entre sucesivos días de trabajo, se deben hacer

de tal forma que se asegure una unión y pega continuas entre el viejo y el nuevo pavimento.

Antes de colocar la mezcla contra las superficies de contacto de juntas longitudinales, brocales, cunetas, colectores, bocas de visita, etc., se pintan con una capa delgada y uniforme de cemento asfáltico caliente o disuelto en gasolina.

El trabajo de juntas deberá ser realizado por obreros competentes, y que sean capaces de hacer juntas correctas, limpias y nítidas.

3. Compactación.

Después de extender la mezcla, debe ser completa y uniformemente compactada con compactador tandem de 10 a 12 toneladas, tan pronto como la mezcla aguante la compactación sin desplazamiento indebido, no tolerándose dilataciones en la compactación. El empleo de un vibrador en la compactación de la carpeta puede ser muy útil en muchos casos. Este comenzará longitudinalmente en los bordes y procederá hacia el eje del pavimento, excepto en las curvas peraltadas, que proceden del borde inferior al superior, traslapando en sucesivos viajes por lo menos una mitad del ancho de la rueda trasera. Se hacen viajes alternados del compactador, con longitudes ligeramente diferentes. Donde el ancho lo permita, el pavimento es compactado en diagonal en dos direcciones con una compactador tandem que pese de 10 a 12 toneladas, el segundo compactado diagonal cruzando las marcas del primero.

La velocidad de la aplanadora no debe exceder de 5 km por hora y en todo momento debe ser suficientemente lenta para evitar el desplazamiento de la mezcla caliente y cualquier desplazamiento que ocurra cuando cambie el compactador de dirección, o por otra razón, debe ser corregido usando rastrillos y nueva mezcla donde y cuando se necesite. El aplanado sé continua hasta que

todas las marcas del compactador desaparezcan y no sea posible conseguir mayor compactación. Para evitar la adherencia de la mezcla en las ruedas del compactador, éstas se mantienen humedecidas adecuadamente, sin permitir ningún exceso de agua. Por ningún motivo debe permitirse el uso de diesel en el limpiado y humedecimiento de las ruedas. Los compactadores se mantendrán en continuo funcionamiento de modo que todas las partes del pavimento reciban prácticamente igual compresión.

Al iniciar la compactación la mezcla debe tener una temperatura comprendida entre 90°C y 100°C.

1.2.1 MATERIALES Y EQUIPO EMPLEADO EN SU ELABORACIÓN.

En cuanto a los materiales estos se encuentran íntimamente ligados a los estudiados para las bases asfálticas, por lo que se brindará más importancia al equipo empleado y al procedimiento constructivo, sin embargo se explicara otro tipo de material empleado en las carpetas como son las emulsiones asfálticas.

1.2.1.1 EMULSIONES ASFÁLTICAS.

En la evolución que durante el tiempo han tenido los productos cementantes en los pavimentos flexibles, aparecieron hace algunos años las emulsiones asfálticas, las cuales representan grandes ventajas constructivas por la facilidad de su empleo, pues permiten dejar de usar los medios de calentamiento de los asfaltos viscosos. Sin embargo, en la actualidad, los medios de calentamiento se han perfeccionado de tal manera que el empleo de los productos viscosos vuelve a resultar cómodo, aunque para ello es necesario disponer de equipo especial, mientras que para el uso de las emulsiones éste se reduce a los elementos indispensables para el transporte y colocación en obra.

El fin que se persigue con las emulsiones asfálticas es el de trabajar a la temperatura ambiente con un material (asfalto) que a esa temperatura no es manejable, ya que se encuentra en un estado semi-sólido.

Las emulsiones asfálticas son líquidos de color chocolate casi tan fluidos como el agua y de la cual contienen entre 40% y 50%, siendo ésta un factor importante en el conjunto.

Para conseguir que el agua y el cemento asfáltico queden perfectamente emulsionados es necesario reducir el cemento asfáltico a pequeñas gotas de tal manera que queden flotando en el agua.

La estabilidad de esta suspensión se logra proporcionándole a las gotas de cemento asfáltico una fuerza repulsiva que impida la unión de unas con otras, lo que trae consigo que las dos fases, agua y cemento asfáltico, se mantengan separadas.

Las emulsiones al igual que los asfaltos deben satisfacer ciertos requisitos (Tabla 11), según especificaciones de Petróleos Mexicanos.

TABLA 11. Características de las emulsiones asfálticas.

PRUEBAS EN LA EMULSION	TIPO DE EMULSION ANIONICA	
	Fraguado rápido	Fraguado lento
Viscosidad	100 máximo	100 máximo
Residuo por destilación	57 - 58 %	58 - 60 %
Asentamiento en 5 días	3 %	3 %
Demulsibilidad:		
con 35 cc N/50 CaCl ₂	30 % mínimo	-----
con 50 cc N/10 CaCl ₂	-----	1 % mínimo
Retenido en la malla 20	0.1 % máximo	0.1 % máximo
Miscibilidad con cemento	-----	-----
PRUEBAS EN EL RESIDUO DE DESTILACION		
Penetración del residuo	100 - 200	100 - 200
Cenizas	0.5 % máximo	0.5 % máximo

1.2.1.2 EQUIPO.

Las carpetas de 3/4" - finos con cemento asfáltico Núm. 6, se elaboran en planta y la colocación se lleva a cabo por medio de extendedoras.

Una vez tendida la mezcla, se procederá a su compactación mediante equipo de rodillo liso, finalmente, para cerrar la textura de la superficie de rodamiento, deberá utilizarse un compactador neumático.

En cuanto a las carpetas de 3/4" - finos con asfaltos rebajados y/o emulsión. Antes de proceder a la construcción de la carpeta se debe impregnar la base, dejando pasar el tiempo necesario para que la base esté seca y no haya material asfáltico encharcado. Posteriormente se aplica un riego de liga en toda la superficie que queda cubierta por la carpeta. Después del tiempo necesario para que el material asfáltico adquiera la viscosidad adecuada, se efectúa la mezcla y tendido de los materiales pétreos y asfálticos, empleando motoconformadoras.

Después de tendida la mezcla se efectuará la compactación mediante el uso de rodillos lisos que deberán moverse paralelamente al eje, realizando el recorrido de las orillas de la carpeta hacia el centro en las tangentes, y del lado interior hacia el exterior de las curvas. Sobre la carpeta terminada se debe dar un riego de sello.

Los dos tipos de carpetas más frecuentemente utilizadas en nuestro país son:

a) Macadam Asfáltico.

Este tipo de carpeta también recibe el nombre de penetración, ya que es una carpeta asfáltica que consiste de capas sucesivas de piedras progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba, limpias y angulosas. Cada capa se extiende

y se acuña mediante compactación por vibración después de lo cual se baña con producto asfáltico.

Existe un pequeño inconveniente en su utilización y esto es que el pavimento por rehabilitar no debe estar en muy malas condiciones, ya que siendo el macadam asfáltico una carpeta que presenta gran porcentaje de vacíos, principalmente en la parte inferior de la capa, el paso constante de los vehículos obligará una deformación perjudicial.

b) Mezcla en el lugar.

1. Elaborada con motoconformadora.
2. Elaborada con mezcladora ambulante.

Estos tipos de carpetas se llevan acabo revolviendo los agregados pétreos con el producto asfáltico mediante el uso de motoconformadoras o empleando mezcladoras ambulantes.

El procedimiento constructivo es el siguiente: Se acordonará el material pétreo y después se extenderá en una capa de espesor uniforme a lo largo del pavimento y se darán riegos sucesivos con producto asfáltico a razón de 3 a 4 litros por metro cuadrado hasta completar la cantidad determinada como óptima por medio de pruebas de laboratorio. En ocasiones se puede agregar al asfalto un aditivo a razón de 0.5 al millar para darle trabajabilidad a una temperatura baja de la mezcla (10 ° C).

Después de cada riego de producto asfáltico sobre el material pétreo se procederá a voltear éste con la motoconformadora con el objeto de que se mezcle bien el producto asfáltico con el material pétreo. Al final del mezclado el material debe presentar un aspecto uniforme en cuanto a granulometría y color.

Al terminar el proceso de mezclado, se acordona el material a un lado, se le da al pavimento un riego de liga de 0.5 litros por metro cuadrado de FR-3, posteriormente de limpiarlo, e inmediatamente se tiende la mezcla sobre el riego de liga, se conforma cuidadosamente y se le da una planchada ligera para acomodarla simplemente, después de lo cual se deja pasar el tiempo necesario para que el producto asfáltico alcance la mayor parte de su fraguado procediendo posteriormente a su compactación.

Es de gran importancia que la pérdida de solventes necesaria para que la mezcla pueda ser empezada a compactar debe ser determinada por un laboratorio. Cuando se usen mezcladoras ambulantes, el material pétreo se acordonará a lo largo del pavimento para que pueda ser recogido por una mezcladora dentro de la cual se le adicionará y revolverá la cantidad de producto asfáltico necesario. Estando la mezcla bien revuelta en la máquina, se da a la base el riego de liga de 0.5 litros de FR-3 por metro cuadrado y se procede al tendido conformado y planchado como ya se indicó con anterioridad.

Terminada la carpeta asfáltica, si su índice de permeabilidad es mayor de 10, debe dársele un riego de sello. El riego de sello consiste en darle a la carpeta asfáltica un riego de FR-3 a razón de 1.0 litro por metro cuadrado y cubrirlo inmediatamente con material #3B (clasificado entre las mallas de 1/4" y #8) el cual se plancha con plancha liviana.

Los dos tipos de carpetas mencionados con anterioridad representan solamente las más frecuentemente utilizadas en nuestro país, sin embargo se han llegado a dar casos en que se utilizan otras variantes de estas dos como son:

c) Mezcla en planta.Dosificada por volumen.

Se llevan a cabo generalmente calentando el asfalto y muchas veces calentando también el agregado pétreo. Debido a que la dosificación de los agregados se realiza por volumen, no resulta una mezcla de alta calidad a no ser que su control sea extremadamente riguroso. Ya que se presenta la incertidumbre en la dosificación, estas mezclas resultan casi iguales a las elaboradas en el pavimento con mezcladoras ambulantes, por lo que su uso no es recomendable.

d) Concreto asfáltico.Dosificado por peso en planta, y empleando cemento asfáltico y agregados calientes.

Los concretos asfálticos son mezclas elaboradas por peso en plantas estacionarias, calentando los agregados y empleando en su elaboración cementos asfálticos. Los concretos asfálticos, debido a la precisión de su dosificación resultan de alta calidad. El agregado pétreo para la mezcla es secado y calentado entre 135°C y 177°C en la planta antes de entrar en la mezcladora.

Después de calentado el agregado se cribará en los tamaños especificados, que se depositarán en compartimentos, listos para ser mezclados con el cemento asfáltico. Una vez calentados y separados los diversos tamaños de agregados, se procederá a pesarlos exactamente, proporcionando sus cantidades de acuerdo con lo anteriormente explicado, de manera que la mezcla resultante se ajuste a la granulometría especificada. El material pétreo dosificado se introduce en la mezcladora y a continuación se añade el cemento asfáltico para proceder al

mezclado. El cemento asfáltico se calienta en tanques apropiados que produzcan calentamiento uniforme. No deberá calentarse a más de 177 °C. La cantidad de cemento asfáltico la fija el laboratorio.

La temperatura de la mezcla al salir de la mezcladora estará comprendida entre 135 °C y 177 °C. El tiempo de mezclado se cuenta desde el momento en que se termine de introducir el cemento asfáltico hasta que la mezcla salga de la mezcladora. En el caso de plantas de mezclado continuo, el tiempo de mezclado, en segundos, vendrá dado por la fórmula:

$$T = \frac{\text{Capacidad total de la planta en kilogramos.}}{\text{Kilogramos por segundo que salen de la planta.}}$$

1.2.2 RESULTADOS OBSERVADOS EN SU EMPLEO.

Cuando la carpeta esta terminada y esta fue elaborada con una excelente calidad, cumple con los siguientes puntos:

- Esta conforme con el trazado, rasante y sección tipo de planos.
- El espesor es el especificado y en ningún punto variará en más de 0.5 cm.
- Cualquier lugar defectuoso o bajo, es inmediatamente remediado, sacando la carpeta en dichos lugares y colocando una nueva mezcla caliente, la cual después de compactada esta conforme adyacente y completamente unida a ella.
- La superficie esta libre de depresiones que excedan de 0.3 cm cuando se mida con una regla recta de 3m paralela al eje del pavimento. Después de la última compactación las muestras del pavimento tendrán una densidad mayor del

95% de la densidad de las muestras de mezclas compactadas en el laboratorio.

Todos estos puntos se tratan de cubrir no permitiendo ningún tránsito sobre la superficie terminada mientras no haya enfriado completamente.

Debido al nivel internacional de costos y a la dificultad para cumplir con las especificaciones, las mezclas en el lugar con asfaltos rebajados tienden a desaparecer y las que se elaboran con emulsión se usan cuando no se cuenta con plantas de concreto asfáltico.

Sin embargo debido a las necesidades que presentan algunos de los pavimentos de las regiones de nuestro país y a la falta de materiales que presentan las zonas en donde se encuentran ubicados, las carpetas resultan ser una buena opción para efectuar un rehabilitado.

1.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN SU USO.

En base a proyectos que se realizan en nuestro país, se tienen ventajas y desventajas más específicas en cuanto al uso de carpetas, de acuerdo al tipo de carpetas utilizadas y estas son:

1. Carpetas de arena con cemento asfáltico Núm. 6 (elaboradas en planta).

En el sureste mexicano, donde escasean los materiales para producir agregados pétreos de trituración total o parcial para fabricar carpetas asfálticas con materiales de 3/4" a finos o bases negras con material pétreo de 1 1/2" a finos, y que se tienen acarreo considerable, incrementándose el costo de estas carpetas, se han utilizado materiales que existen en la zona, como son las arenas

mal graduadas y los bancos de conchas de diversas especies marinas (conchuelas).

Generalmente se utilizan por lo regular las arenas inertes que corresponden a arenas mal graduadas que varían de la malla Núm. 20 a la Núm. 100, teniendo un equivalente de arena mayor al 50%.

La experiencia obtenida con estas arenas ha llevado a elaborar mezclas estables y de muy buen comportamiento.

Para el diseño de estas mezclas se realizan en laboratorios los análisis de los materiales pétreos consistentes en la prueba Hubbard Field para las estabilidades, flujo, peso volumétrico, porcentajes de vacíos, VAM, equivalente de arena, granulometría y análisis de la forma de las partículas de arena, salinidad de la arena y afinidad con el asfalto.

En cuanto al proceso constructivo este se efectúa de la siguiente manera: Una vez que la mezcla cumple con las especificaciones, se procede a hacer un tramo de prueba para observar su comportamiento y fijar la temperatura de compactación.

La mezcla debe elaborarse a una temperatura de 100°C a 130°C con 10°C de tolerancia correctiva. La temperatura del asfalto a la hora de incorporarse al material pétreo en el mezclador es recomendable que este entre 135°C a 140°C.

Es importante que la temperatura de producción de la planta de asfalto sea uniforme, esto afecta significativamente en el proceso de compactación de las arenas.

El riego de liga entre capas de mezcla debe ser con emulsiones asfálticas, ya que al emplear asfaltos rebajados son succionados por la capa inferior, desapareciendo el efecto de ligante entre las dos capas.

El tendido de la mezcla debe hacerse con una pavimentadora o extendedora de concreto asfáltico a una temperatura entre 100°C y 110°C.

Ya tendida la carpeta de arena - cemento asfáltico Núm.6 se procede a su compactación con los medios anteriormente descritos para las carpetas de 3/4" a finos. Estas carpetas deben ser selladas lo más pronto posible.

La planta de asfalto debe contar con un laboratorio para el control de la elaboración y tendido de estas mezclas.

2. Carpetas de arenas con cementos asfálticos Núm. 6 y cal (elaboradas en planta).

La incorporación de cal en las mezclas de arena - cemento asfáltico Núm. 6 aumenta la estabilidad inicial. Cuando se utiliza el procedimiento con incorporación de cal se debe usar una planta mezcladora de bachas, es decir, mediante pesadas de los agregados. Ello se debe a que el extractor de una planta de producción continua permite la fuga y eliminación parcial de gran parte de la cal.

Para el contenido de cemento asfáltico, los ensayos de los laboratorios reflejan que la estabilidad aumenta, por ejemplo, para la prueba Hubbard Field de 184 kg. a 198 kg. para un 4% de cal, es decir, se logra un incremento aproximado del 8% y 29% respectivamente. Y en el mismo orden, el flujo disminuye de 1.15 a 1.01 y 1.04 mm.

Se han efectuado pruebas Hubbard Field de mezclas a diferentes edades, observándose que la resistencia que se obtiene a la edad de tres días en muestras sin cal, es similar a la que se obtienen a la edad de tres horas en muestras con el 2% de cal.

3. Carpetas de arena con emulsión (elaboradas con mezcla en el lugar o estabilizadora).

Cuando no se cuenta con planta, estas carpetas son las que se construyen sobre el pavimento mediante el mezclado, tendido y compactación de arena con emulsión. Una vez acamellonado el material, se extiende sobre el pavimento, procediéndose a incorporar por medio de una petrolizadora la emulsión.

El mezclado puede efectuarse en el lugar mediante el uso de una motoconformadora o de preferencia con una instalación fija, utilizando una estabilizadora.

Una vez elaborada la mezcla y barrido de la superficie a tratar se procede a ejecutar el riego de liga, tender la mezcla por medio de motoconformadoras y se realiza la compactación. Una vez terminada está se dará un riego de sello.

1.3 SELLOS.

El riego de sello consiste en la aplicación de un riego de material asfáltico, cubriéndolo con una capa de material asfáltico, cubriéndolo con una capa de material pétreo, para impermeabilizar la carpeta, protegerla del desgaste y proporcionar una superficie antiderrapante.

1.3.1 MATERIALES Y EQUIPO EMPLEADOS EN SU ELABORACIÓN.

Los materiales pétreos que se emplean en la construcción de riego de sello son los del tipo 3A y 3E, los cuales deben cumplir con una granulometría (Tabla 12).

TABLA 12. Granulometría de los materiales a emplearse en riegos de sello.

DENOMINACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO			
MALLAS	CONDICIONES	3 - A	3 - E
De 9.5 mm(3/8)	Debe pasar	95 % Mínimo	95 % Mínimo
No. 4	Debe retenerse		95 % Mínimo
No. 8	Debe retenerse	95 % Mínimo	100 %
No. 40	Debe retenerse	100%	

Los materiales asfálticos que se emplean en la construcción de riego de sello son cementos asfálticos, asfaltos rebajados o emulsiones rápidas.

Las cantidades de materiales que se aplican en litros por metro cuadrado están comprendidas dentro de límites (Tabla 13), mismas que deberán ajustarse en campo en el momento de su aplicación.

TABLA 13. Dosificación de los materiales para riegos de sellos.

MATERIALES	TAMAÑO DEL MATERIAL PÉTREO	
	3 - A	3 - E
Cemento asfáltico (Lt/m ²)	0.7 a 1.0	0.8 a 1.0
Material pétreo (Lt/m ²)	9 a 10	9 a 10

Actualmente la Secretaria de Comunicaciones y Transportes aplica sellos premezclados, recomendados para sellos cuyo material pétreo es muy suave ó para aquellos de extracción natural que generen finos durante su manejo. Los

premezclados mencionados se hacen incorporando al sello 140 lt/m^3 de una mezcla de 80 lts. de agua con 60 lts. de emulsión.

Esto se elabora en una planta estabilizadora o con el uso de una petrolizadora y una motoconformadora. En algunos casos en que la pavimentación es de concreto asfáltico si se tiene una planta de asfalto, este sello premezclado se elabora en una planta utilizando cemento asfáltico Núm. 6, del cual se obtienen un material de excelente calidad.

La utilización del sello premezclado es para garantizar la adherencia del material pétreo libre de polvo con el riego de emulsión.

1.4 PERFILADOS DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO FORMADOS POR CAPAS ASFÁLTICAS.

Esta técnica se aplica cuando se requiere hacer un corte en frío de un espesor parcial de la capa asfáltica superior para corregir deformaciones y eliminar el material deteriorado manifiesto por agrietamiento y desgranamiento superficial, para reponer y/o reforzar la capa asfáltica con un espesor adicional (Figura 28).

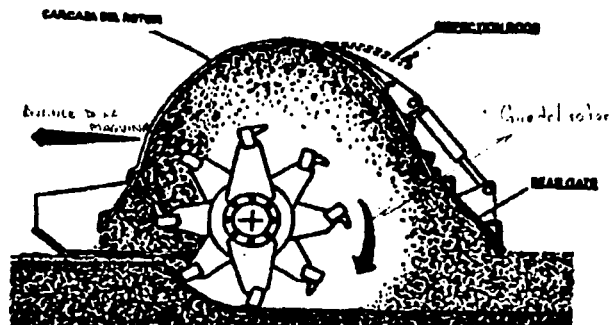


FIGURA 28. Esquema de la perfiladora.

El perfilado en frío se efectúa en los siguientes casos específicos:

- **Viaductos y puentes.**

Las carpetas asfálticas a menudo se deslizan sobre las capas más bajas especialmente en las estructuras de diseño y construcción antigua. Se debe al incremento de las cargas y las altas velocidades de los vehículos. Además hay una sobreposición de capas de mezcla asfáltica las cuales han llegado a ser inútiles y que someten a la estructura a esfuerzos, especialmente donde hay agrietamientos causados por la expansión de las juntas no niveladas. El perfilaje permite restaurar el plano del camino sin afectar las juntas y, en los casos en que los niveles fijos hayan sido modificados, llevar toda la superficie del camino a un nivel perfecto.

- **Túneles y pasos a desnivel.**

El continuo incremento del grosor del asfalto, debido al mantenimiento modifica el nivel del camino reduciendo el claro libre.

Este caso, la intervención consiste en perfilar la capa superior existente hasta que aparezca la estructura base sobre la que se colocara una nueva carpeta asfáltica.

- **Calles citadinas.**

La sobreposición de varias carpetas incrementan el nivel de la superficie superior con respecto a aceras, rampas de protección, pasos a desnivel y puentes. La mejor solución es restaurar el nivel original perfilando la carpeta en frío, colocando una nueva después.

1.4.1 MATERIALES Y EQUIPO EMPLEADO EN SU ELABORACIÓN.

Para este propósito se emplean máquinas perfiladoras que han sido diseñadas para efectuar el corte en frío hasta una profundidad del orden de 10 cm. mediante un rotor que hace el corte desbastando la superficie (fresandola).

Terminando el perfilado de la superficie se liga y se procede a construir sobre la superficie expuesta la capa asfáltica que repondrá el espesor desbastado con el espesor necesario para el refuerzo del pavimento.

En base a la experiencia en cuanto a trabajos realizados mediante esta técnica, se ha producido una gran gama de perfiladoras en frío para asfalto, en base a las características del trabajo se han utilizado seis diferentes modelos de máquinas para efectuarlos correctamente, y estos son:

- **TALPA SF 60 y TALPA SF 60 T3 A.P.:** Para trabajos municipales, mantenimientos menores, bacheo, zanjas, etc. (Figura 29). Las cuales cuentan con las siguientes características:

Ancho de corte: 600 mm

Profundidad de corte:

SF 60: máx. 150 mm en una pasada.

SF 60 T3 A.P.: máx. 340 mm en una pasada.

- **VOLPE SF 100 T4 A.P.:** Para obras de mantenimiento en ciudades y fuera de ellas, estacionamientos, carreteras afluentes, etc. (Figura 29). La cual cuenta con las siguientes características:

Ancho de corte: 1000 mm.

Profundidad de corte: máx. 250 mm en una pasada.

- **LINCE SF 150:** Para mantenimiento de carreteras interestatales y locales. (Figura 29) La cual cuenta con las siguientes características:

Ancho de corte: 1500 mm

Profundidad de corte: máx. 200 mm en una pasada.

- **PANTERA SF 210:** Para mantenimiento de carreteras interestatales, autopistas y aeropuertos. (Figura 29). La cual cuenta con las siguientes características:

Ancho de corte: 2120 mm

Profundidad de corte: máx. 200 mm en una pasada.

- **PUMA SF 202 A.P.:** Para mantenimiento de carreteras interestatales, autopistas y aeropuertos. (Figura 29). La cual cuenta con las siguientes características:

Ancho de corte: 2000 mm

Profundidad de corte: máx. 320 mm en una pasada.

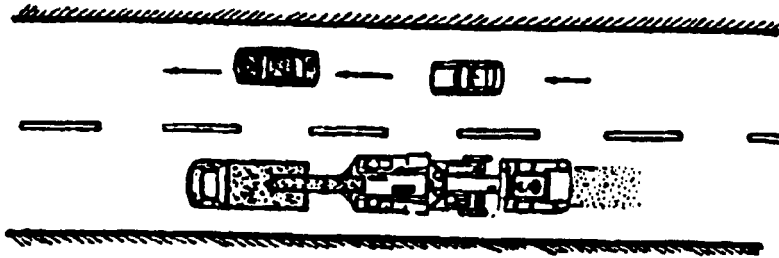


FIGURA 29. Perfiladora

1.4.2 RESULTADOS OBSERVADOS EN SU EMPLEO.

Las perfiladoras permiten la eliminación de la capa asfáltica en muy poco tiempo, sin interrumpir totalmente el tránsito y con un costo más bajo que el de los sistemas tradicionales. Además se han observado buenos resultados para los siguientes puntos:

- **Corrugación anti-derrapante.**

El molido en frío se utiliza generalmente para mejorar la adhesión en los caminos que tienen una superficie demasiado lisa y en consecuencia resbalosa. Es posible lograr una rugosidad de la superficie del camino formando ligeras estrías longitudinales con la perfiladora.

- **Surcos.**

Los surcos longitudinales en las superficies de los caminos son causados por el paso constante de cargas pesadas, y el perfilado en frío es una buena

solución para estos. Los surcos son deformaciones permanentes que pueden ser de dos formas diferentes:

* a) Surcos formados por el engrosamiento ó condensación de las mezclas asfálticas a consecuencia del compactado posterior producidos por las ruedas de los vehículos.

* b) Surcos causados por el desplazamiento dentro de las mezclas asfálticas, producidas por la deformación debida al esfuerzo de corte.

- **Bacheo.**

Son operaciones de mantenimiento típicos en las que se eliminan pequeñas áreas deterioradas por medio del perfilado en frío.

- **Zanjas.**

Las perfiladoras en frío también pueden ser utilizadas para excavar zanjas que contendrán tuberías de agua, drenaje, gas, cables telefónicos y eléctricos, etc.

- **Autopistas y aeropuertos.**

En las obras de mantenimiento de autopistas y aeropuertos, en las que el perfilado en frío es ampliamente utilizado, el factor velocidad es muy importante en cuanto al flujo de tránsito y funcionamiento de las pistas de aterrizaje.

1.4.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN SU EMPLEO.

Una de las razones por las que el perfilado en frío ha llegado a ser tan ampliamente utilizado, es la ventaja de poder trabajar solamente en las áreas deterioradas. En el caso de las autopistas en donde solo los carriles de vehículos pesados están deteriorados, se pueden realizar dos tipos de trabajos:

1. Pavimentar el ancho total de la autopista colocando una capa nueva encima de la ya existente. De esta forma, también se repavimentan los carriles no dañados.
2. Perfilar solo el área deteriorada remplazándola con una nueva capa asfáltica.

La ventaja que presentan las tres máquinas (SF 150 - SF 210 - SF 202), es que cuentan con la banda transportadora al frente, las pequeñas en la parte posterior. Las cuales ocupan, un solo carril de tránsito lo que permite un fácil movimiento de los camiones de carga.

La principal característica de estas aplicaciones es la rapidez con que es posible realizar los trabajos y el que no se modifica de manera significativa la elevación de la nueva superficie de rodamiento.

Una de las principales desventajas que se presentan en la utilización de esta técnica, es que se requiere de mano de obra muy calificada, además de que se debe tener un cuidado muy especial con la maquinaria, para evitar el daño de estas.

1.5 RECICLADO DE CAPAS ASFÁLTICAS.

Es conocida como la técnica que tiene por objeto restituir las propiedades de los materiales que componen las capas asfálticas de los pavimentos flexibles para que sean capaces de servir un nuevo ciclo de vida.

1.5.1 MATERIALES Y EQUIPO EMPLEADO EN SU ELABORACIÓN.

Consiste en términos generales, en llevar acabo el corte de las capas superiores del pavimento y su disgregado, previos al proceso de calentamiento y mezclado, en su caso, con nuevos agregados, cemento asfáltico y agentes rejuvenecedores del asfalto presente en el material que se utiliza, para restituir sus propiedades. Posteriormente se procede a la formación y compactación en el lugar de procedencia de la capa reciclada (Figura 30).

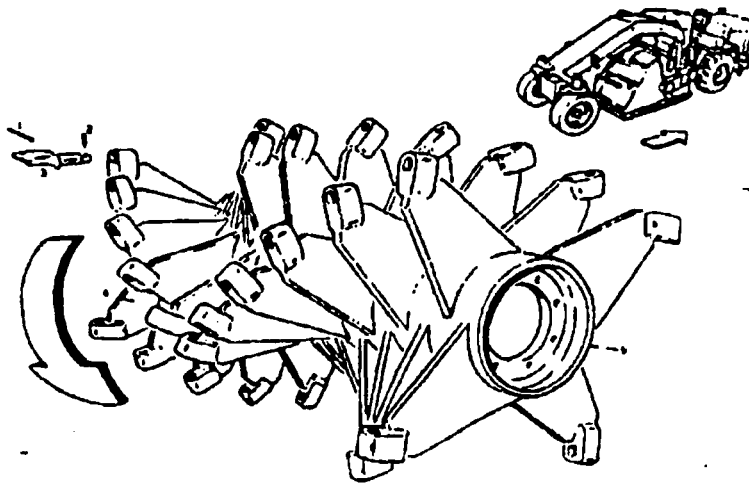


FIGURA 30. Equipo de reciclaje en frío.

La aplicación de esta técnica es posible realizarla en el lugar y cuando el calentamiento y el mezclado de los materiales existentes con los nuevos agregados, cementos asfálticos y los agentes rejuvenecedores, se hace en planta estacionaria(Figura 31).

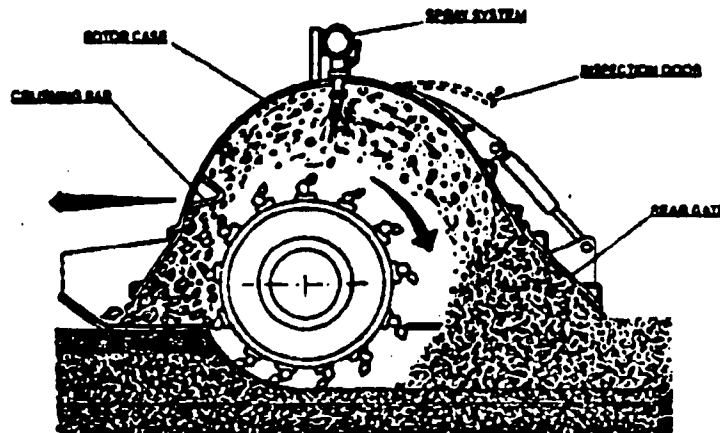


FIGURA 31. Esquema de una recicladora.

La selección de la modalidad depende fundamentalmente de los espesores que se es necesario tratar para mejorar la vida útil que se persigue.

1.5.2 RESULTADOS OBSERVADOS EN SU EMPLEO.

Cuando los espesores a tratar son del orden de 5 cm. se aplica la técnica del reciclado en caliente, en el lugar, para la que se emplea un equipo especial dotado con los dispositivos adecuados para transferir calor a la capa a tratar mediante rayos infrarrojos durante el procedimiento.

En términos generales, el procedimiento implica un calentamiento previo de la superficie en la cual se eleva la temperatura a los 80 °C para eliminar la humedad presente y ablandar la superficie para ser cortada en caliente.

En la siguiente etapa se lleva a cabo un proceso de mezclado en el cual es posible agregar nuevos agregados pétreos, o bien mezcla asfáltica nueva, cuando este tratamiento se contempla reforzar la capa del pavimento.

A continuación se lleva cabo un proceso de mezclado en el cual se hace homogénea la mezcla de los materiales reciclados y los materiales agregados, cuando es el caso, y se incorpora el producto químico rejuvenecedor del asfalto existente en la capa tratada. En esta etapa la temperatura de la mezcla así formada llega a los 180 °C para iniciar el tendido y posteriormente la compactación.

Al efectuarse el tendido del nuevo concreto asfáltico la temperatura no debe ser inferior a los 120 °C para lograr una adherencia entre la superficie descubierta y la capa reciclada, ya que no se prevee en este procedimiento la aplicación de riego de liga convencional.

1.5.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN SU EMPLEO.

El campo de la aplicación hasta ahora se ha limitado a tratar pavimentos que no tienen una deficiencia estructural importante, exentos de deformaciones mayores de 3 cm.

El reciclado en caliente en la planta estacionaria requiere básicamente del equipo convencional para la elaboración de los concretos asfálticos con los ajustes necesarios para la incorporación de los agregados nuevos, el cemento asfáltico adicional y los agentes rejuvenecedores.

CAPÍTULO 2.

" MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL FLEXOCRETO "

El objetivo del capitulo es presentar de una manera clara y sencilla él termino "flexocreto", así como los materiales, mano de obra y equipo para su construcción.

En este capitulo se pretende mostrar una técnica innovadora en el campo de rehabilitado de pavimentos flexibles.

2.1 DEFINICIÓN DEL FLEXOCRETO.

Hace algunos años se inició en Estados Unidos un programa experimental de rehabilitación de pavimentos de asfalto utilizando losas delgadas de concreto de 2 a 3½ pulgadas de espesor.

Dicho proyecto se le asigna el nombre de "Flexcrete", o bien "Ultrathin Whitetopping", pero en el presente estudio, le asignaremos el nombre de Flexocreto. Él cual si se traduce literalmente al español, quiere decir "Concreto flexible", lo cual suena un poco ilógico a la primera impresión de todo ingeniero. Pero sin embargo esto es real y se pretende demostrar en el presente estudio.

Además en el flexocreto se combinan recientes avances en la tecnología del concreto, como los de alta resistencia, incluyendo el empleo de fibras de polipropileno, reductores de agua en la mezcla y las técnicas de los pavimentos de rápida habilitación al tránsito.

Por lo anterior el flexocreto es considerado la solución más reciente para los pavimentos asfálticos llenos de rodadas, ya que en el se combinan las técnicas en boga de adhesión de sobrecapas de concreto en cubiertas de puentes con el aserramiento a edad temprana de juntas de contracción muy cercanas entre sí. Ya que con esto se logra un pavimento mixto cementado en el que se vuelven mínimos los esfuerzos de tensión en la capa de concreto.

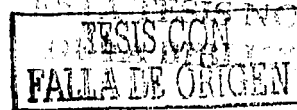
2.2 PROCESO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DEL FLEXOCRETO.

Como se trata de un proyecto experimental, se realizaron proyectos de prueba los cuales de acuerdo a sus resultados, otorgaron datos para el proceso de investigación del diseño de espesor para las sobrecapas del flexocreto.

Los proyectos con flexocreto que se han terminado hasta la fecha varían su espesor de 5 a 10 cm y tienen juntas que guardan entre sí una separación de 0.60 a 1.80 m en cada dirección, dependiendo del espesor del pavimento.

La ACPA (Asociación Americana de Pavimentos de Concreto), que ha trabajado con los datos y resultados de investigaciones sobre el comportamiento del flexocreto en los últimos años, espera contar con un procedimiento racional de diseño del espesor muy pronto. Por el momento solo es posible explicar de la siguiente manera los fundamentos del criterio de diseño:

- La adherencia o alta fricción en la interfaz concreto- asfalto genera una sección completa en la que la posición del eje neutro queda mas abajo, por lo que los esfuerzos inducidos por las cargas en el concreto se reducen apreciablemente.
- Los espaciamientos muy cerrados entre juntas, mas de lo normal, también disminuyen los esfuerzos por lo que las losas no son lo suficientemente largas para desarrollar grandes movimientos de flexión.



Sin embargo como un propósito de presentar un adelanto a la depuración del diseño del flexocreto, se presenta la forma en que se realiza el diseño del pavimento de concreto hidráulico apoyado en el asfalto, como la base para obtener en un futuro el diseño del flexocreto. El cual consta de los siguientes puntos:

Soporte del pavimento existente.

El soporte proporcionado por el pavimento asfáltico existente se determina según la Portland Cement Association (PCA), determinando el Modulo de Reacción de la Subrasante (k) protegida por el pavimento asfáltico (Tabla 14), además se debe conocer el espesor total del pavimento existente (Carpeta más base).

TABLA 14. Determinación del módulo de soporte del pavimento existente.

Modulo de soporte del pavimento existente				
Modulo sub-rasante k, kg/cm ³	Modulo de soporte Km, kg / cm ³			
	Espesor existente Asfalto + Base, (cm)			
	10.2	15.2	22.9	30.5
1.4	2.1	2.4	3.4	4.8
2.8	3.9	4.5	5.9	7.8
5.6	6.4	7.6	9.8	14.3
8.4	9.2	10.4	12.9	16.8

Con estos datos, la tabla proporciona el modulo de soporte (km), que se utiliza para obtener el espesor del pavimento de concreto.

El valor de k para la subrasante, se determina en la tecnología de pavimentos mediante una prueba especial, llamada la Prueba de Placa, cuyo objetivo es determinar la relación entre una determinada presión ejercida sobre el terreno y la

deformación que se produce, simulando el efecto de la presión que transmiten las llantas de los vehículos. Como se comprenderá esta forma puede resultar muy cara para el diseñador, por lo que sería más conveniente utilizar algunas relaciones existentes entre tipo de suelo que forma la subrasante y el valor de soporte que proporcionaría dicho suelo. Para esto se puede hacer uso del siguiente gráfico (Figura 32), en ella se establece una relación entre varios tipos de suelos clasificados según los sistemas de clasificación más conocidos, según la Portland Cement Association (PCA), y los valores de soporte más comunes en el diseño de pavimentos, incluyendo el valor del parámetro (k).

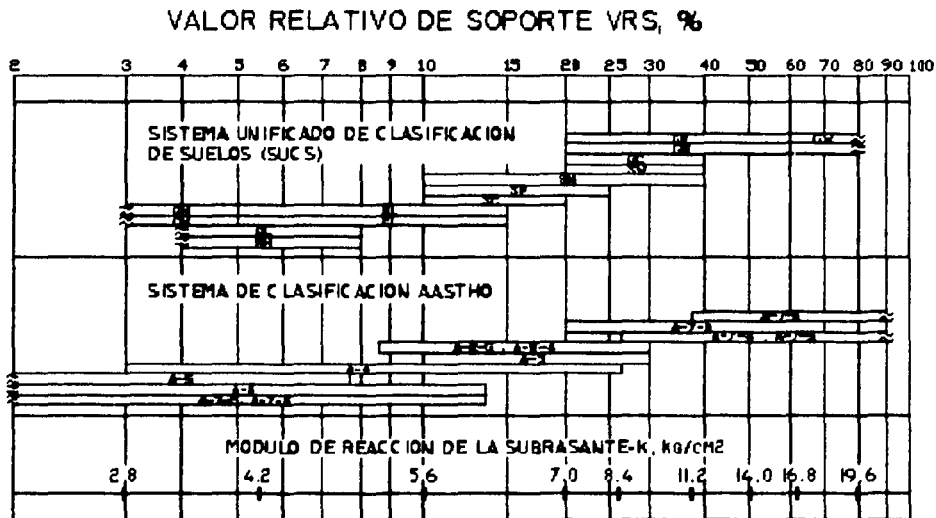


FIGURA 32. Relación tipos de suelos y valores de soporte

Se sugiere que el diseñador considere los alcances de la información anterior y determine a su criterio la cantidad de pruebas físicas pertinentes para complementar la información disponible en esta etapa. Por ejemplo, si se archivó algún diseño del

pavimento asfáltico existente, basta con averiguar el valor relativo de soporte (VRS) que se empleo en esa ocasión, y con la ayuda de la gráfico anterior (Figura 32), se puede determinar él modulo de reacción (k) correspondiente.

De forma semejante si se realizaron solamente pruebas de clasificación de suelos, esto es suficiente para determinar (k) según la figura anterior (Figura 32). En caso de no existir información para el tramo de pavimento en cuestión deben realizarse por lo menos pruebas de laboratorio para clasificar el suelo según el sistema de clasificación que se utilice.

Debe hacerse notar que la tabla del modulo de soporte existente (Tabla 14), considera la contribución de la base granular al soporte del pavimento, mas no indica como se incluye la sub-base, en caso de existir. Al respecto se sugiere obtener el espesor equivalente en base granular, tomándola en cuenta o bien no considerarla en los cálculos, en cuyo caso se incluiría un factor de seguridad (sí la Sub-base es buena).

Aunque no es nada raro que si el pavimento asfáltico ha presentado problemas esto se deba en parte, a la baja contribución de sub-base al soporte mismo, por lo que no se pierde nada al ignorarla. Por otro lado, en la mayoría de los pavimentos urbanos de asfalto, generalmente se usa una capa de material que supuestamente debe cumplir con las especificaciones de una base granular.

Cargas vehiculares.

Para todo diseño, es de vital importancia considerar el efecto del tránsito que soportara el pavimento. Por lo que sí se conocen los datos de un censo vehicular para una área determinada, elaborar el diseño será mucho más fácil. En este censo se debe tener información acerca del número y tipos de vehículos que circulen por día, así como las condiciones de carga en las que circulan.

Cabe aclarar que todo censo vehicular es caro, pues debe hacerse en diferentes épocas del año, adoleciéndose casi siempre del problema de determinar el peso exacto del vehículo cargado pues aunque se puede estimar este peso, la diferencia puede ser significativa ya que en la realidad las cargas que se mueven tienden a ser superiores a lo permitido legalmente. Se debe indicar que, si bien para el diseño de pavimentos que soportaran mucho tránsito, como los carreteros, es necesario contar con un censo vehicular, para otros casos esto no es imprescindible, ya que se puede clasificar al tránsito de una manera simplificada.

A este respecto, la PCA sugiere clasificar el tránsito de acuerdo con la tabla siguiente (Tabla 15), en donde se consideran los casos más comunes y corrientes, atendiendo principalmente a pavimentos de acceso, y estacionamientos en áreas urbanas, aunque se podría extrapolar sin mucho problema a calles.

TABLA 15. Clasificación del tránsito de acuerdo a la PCA.

TIPO DE TRÁNSITO	1. Estacionamiento para autos y carriles de acceso interiores	TIPO A	Número ilimitado de autos, panels y camionetas más 2 camiones por semana con cargas axiales hasta de 5450 kg.
	2. Centros comerciales y carriles de servicios	TIPO B	Volumen de tránsito en camiones y autobuses bajo (50 – 100 por día)
		TIPO C	Volumen de tránsito en camiones y autobuses alto (300 – 700 por día)
	3. Areas para estacionamientos de autobuses	TIPO B	Area de estacionamiento carriles interiores (Autobuses vacíos)
		TIPO C	Entrada de carriles exteriores (Incluye autobuses cargados)
	4. Areas de estacionamiento para camiones	TIPO B	Areas y carriles interiores (Tipo de camión: Unidades simples)
		TIPO C	Entradas y carriles exteriores (Tipo de camión: Unidades simples)
			Areas y carriles interiores (Tipo de camión: Unidades múltiples)
		TIPO D	Entradas y carriles exteriores (Tipo de camión: Unidades múltiples)
			Areas y carriles interiores (Tipo de camión: Cajas de trailer cargadas)

* Un camión se define como un vehículo con al menos, 6 llantas; se excluyen las camionetas Panel, Pick-ups y otros vehículos de 4 llantas.

Espesor del Pavimento de concreto.

Una vez definidos el módulo de soporte existente (km) del pavimento, de acuerdo con la tabla para obtener el Módulo de soporte del pavimento existente

(Tabla 14), y el tipo de tránsito al que da servicio según la tabla de los tipos de tránsito (Tabla 15), se determina el espesor mínimo del pavimento de concreto.

TABLA 16. Espesores recomendados del pavimento de concreto.

Espesores recomendados para el pavimento de concreto cm.			
Tipo de tránsito	Módulo de soporte del pavimento existente, kg/cm ²		
	Alto km = 7.0 +	Medio km = 3.6 a 6.7	Bajo km = 2.1 a 3.5
A	9	10	11
B	14	14	15
C	16	18	19
D	18	19	20

Es muy importante mencionar que el espesor calculado por medio de este método, tiene grandes valores, lo cual no lo requiere el flexocreto, por lo que es primordial, que este método de diseño, si quiere ser usado para determinar el espesor del flexocreto, sea corregido.

2.3 CARACTERÍSTICAS DEL FLEXOCRETO.

Para mencionar las características del flexocreto, es necesario remontarnos al primer proyecto que se realizó con esta técnica, de ahí podemos tomar las características básicas que posee esta tecnología.

Fue en 1991, en Louisville, Kentucky, donde se construyó el primer proyecto experimental. El propósito de dicho proyecto, consiste en evaluar la factibilidad de las capas de concreto de menos de 10 cm de espesor, en calles residenciales, estacionamientos y otro tipo de aplicaciones con bajos volúmenes de tránsito. El terreno de construcción cuenta con condiciones de carga, así como de información y monitoreo de las cargas y camiones que constituyen el tránsito, lo cual representa grandes ventajas para el proyecto experimental.

Se construyeron dos secciones con distintos espesores, una de 5 y la otra de 9 cm. El experimento también incluye el uso de patrones de juntas no convencionales de 1.80 y 0.60 m. Estas fueron las principales variables del proyecto de pruebas.

Para 1992, ambas secciones tenían un muy buen comportamiento y habían soportado el equivalente de 585 mil Cargas de Ejes Sencillos. Los diseños sobrepasaron las predicciones tanto teóricas como prácticas del pavimento convencional.

Esto creó la discusión sobre la influencia del espaciamiento entre las juntas y la adherencia de las sobrecapas en los esfuerzos por flexión dentro de las losas de sobrecarpeteo. Lo cual hace muy difícil el definir por completo las características del flexocreto. Además el resultado del proyecto experimental creó una gran incertidumbre, ya que el concepto de sobrecarpetas con capas de concreto ultradelgadas podría acarrear grandes cambios en la construcción y rehabilitación de los caminos de asfalto y áreas de estacionamiento en los Estados Unidos.

Sin embargo el proyecto experimental ya tenía un poco de historia detrás de él, ya que, a principios de 1990, en la Kentucky Ready Mixed Concrete Association (KRMCA) se concibieron proyectos relativos que incluían la colocación de sobrecapas de concreto, con espesor de 9 cm, en las calles de la ciudad. Ante esto, el Comité de Tecnología Innovadora de la ACPA debatió la adecuación de las sobrecapas de concreto delgadas, y partiendo de la misma idea en mente de obtener mayor experiencia con sobrecapas de concreto ultradelgadas, la KRMCA y la ACPA crearon una sociedad.

La KRMCA encontró un camino ideal para el experimento, ya que éste permite una rápida evaluación del comportamiento de las sobrecapas. Este camino, un acceso en Louisville, Kentucky, lo recorren más de 600 camiones diariamente. Aunque las sobrecapas ultradelgadas tradicionalmente se proponen para rutas con tránsito pesado, el sitio proporciona una simulación muy rápida de 30 ó más años de tránsito

de bajo volumen o de estacionamientos. Debido a que todos los camiones que entran al camino se pesan, es muy fácil determinar la carga exacta que soporta el pavimento. El camino es recto, con una pendiente constante y con mucho espacio a los lados para la colocación del equipo, es decir las condiciones óptimas que el experimento requiere.

Para el diseño, construcción y monitoreo del proyecto se formó un equipo de asesores, quienes dividieron al proyecto en dos secciones de 82.5 m de largo; una de ellas con 5 cm. de espesor y la otra con 9 cm. (Figura 33).

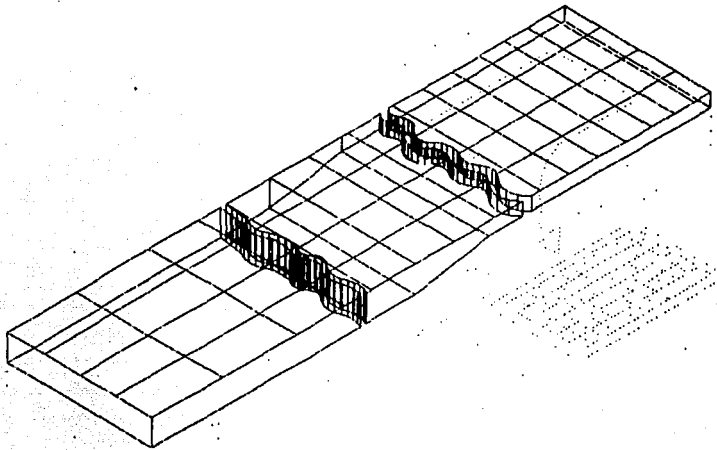


FIGURA 33. Arreglo y geometría del proyecto experimental

Las principales características que se han encontrado en el uso del flexocreto son:

- Las sobrecapas ultraligeras pueden soportar, con mucho éxito, niveles de tránsito típicamente asociados con pavimentos de bajo volumen, en calles residenciales y en estacionamientos. Pero debido a los excelentes resultados que han aportado los proyectos con flexocreto, este puede ampliar su campo de acción al área de los pavimentos en general.
- Las sobrecapas de concreto tan delgadas como de 5cm, pueden colocarse exitosamente si se utiliza equipo de pavimentación a partir de cimbra deslizante convencional.
- Las mezclas rápidas disminuyen la interrupción del tránsito y se pueden mejorar con fibras de polipropileno y con amplio rango de aditivos reductores de agua.
- Las sobrecapas de concreto se pueden adherir al asfalto existente y si este no se encuentra en muy malas condiciones, se reducen de manera importante, los esfuerzos generados en la capa de concreto. Como resultado de la reducción de esfuerzos se logra un incremento sustancial en la capacidad estructural.
- El costo inicial del flexocreto es moderadamente más alto, pero los costos de mantenimiento son mucho menores durante la vida útil del pavimento (se necesita poco mantenimiento).
- La construcción del flexocreto es factible, pues existen plantas de concreto premezclado en casi toda la República Mexicana.
- La superficie del flexocreto alarga la vida de los vehículos a menor daños y menor mantenimiento.

- Las superficies con flexocreto, por ser de concreto, duran más.
- El flexocreto resiste sin sufrir deterioro los derrames de gasolina y diesel, así como los efectos de la intemperie.
- El flexocreto resiste mejor las cargas transmitidas por vehículos pesados.
- El terreno de apoyo del flexocreto se protege mejor ante los agentes atmosféricos.
- El calor no afecta al flexocreto, no se vuelve pegajoso ni se volatilizan sus materiales (no contamina).
- El flexocreto no se deforma en zonas de frenado y arranque de vehículos pesados.
- Las superficies con flexocreto proporcionan un buen drenaje superficial para el agua de lluvia al no deformarse ni encharcarse.
- Con el uso flexocreto hay menos posibilidades de que se produzca el fenómeno del acuaplaneo (patinaje de los vehículos al existir depósitos de agua en la superficie de rodamiento).
- Generalmente para apoyar el flexocreto se utiliza la superficie existente, es decir, una superficie de asfalto sin importar que este deformada.
- La superficie del flexocreto es altamente reflejante y ahorra energía en la iluminación nocturna puesto que los faros del vehículo iluminan perfectamente la superficie del pavimento brindando mayor seguridad al manejar durante la noche.
- Con el flexocreto se pueden alcanzar muy altas resistencias en cuestión de horas.
- La resistencia del flexocreto se puede predecir y controlar fácilmente.

- El flexocreto gana resistencia con el tiempo.
- La superficie del flexocreto es muy plana y fácil de limpiar.
- Para el flexocreto existen equipos de pavimentación tan variados que, si se desea, se puede llegar a emplear muy poca mano de obra.
- El flexocreto se construye en una sola pasada ya que no es una estructura multicapa.
- No se requiere calentar ninguno de los ingredientes para elaborar el flexocreto.
- No contamina al ambiente en el proceso de su elaboración y colocación.
- Para el flexocreto existe una gran cantidad de aditivos que permiten efectuar todo tipo de reparaciones con gran rapidez y eficiencia y bajo varias condiciones climáticas.
- La superficie del flexocreto se puede hacer tan segura (antiderrapante) como se quiera, gracias a las diversas técnicas disponibles para darle textura, ya sea durante la construcción, o una vez, que el pavimento ha estado en servicio y requiera de una mejor resistencia al deslizamiento.
- Las superficies con flexocreto requieren de menos bombeo para drenar el agua de lluvia, por lo que son más cómodas para los usuarios.
- Todo tipo de marcas, pinturas y señalamientos duran más cuando se colocan sobre el flexocreto.

- La superficie del flexocreto es lo suficientemente rígida, que disminuye considerablemente los costos de operación de los vehículos de carga (ahorro de combustible), y permite a todo usuario transportarse sin demoras en cualquier época, prioridad número uno para los responsables de tener en óptimas condiciones las vías de comunicación.

Por lo que sólo aquellos modelos y teorías para el análisis de pavimentos rígidos convencionales toman en cuenta el efecto de la adhesión, son adecuadas para describir el comportamiento de las sobrecapas de concreto ultradelgadas sobre pavimentos flexibles.

Es importante hacer una mención específica en las principales características del flexocreto, como son:

a) Adherencia.

Se han examinado los esfuerzos teóricos que se predicen para las secciones experimentales mediante la utilización de una amplia variedad de modelos y escenarios. De acuerdo con las formulas de esfuerzos en los bordes de Westergaard. Los máximos esfuerzos de tensión en el lecho inferior del concreto, en las secciones de prueba, fueron de 83 kg/cm^2 y de 183 kg/cm^2 en las secciones de 9 y 5 cm, respectivamente. Este análisis parte de la suposición de que no existe adherencia entre la capa de concreto y el asfalto. Se asignó un modulo de la reacción igual a las secciones de pavimento flexible.

Las formulas de Westergaard predicen esfuerzos muy por encima de los esfuerzos de flexión medidos en la realidad de 72 kg/cm^2 a los 28 días. Dado que las secciones de pavimento no se rompieron inmediatamente ante las cargas de los camiones, el análisis de Westergaard no representa el comportamiento de las sobrecapas ultradelgadas.

El programa de elementos finitos ILLESLAB también se utilizó como modelo para las secciones experimentales. Este programa cuenta con la capacidad de ofrecer un modelo de adherencia entre el asfalto y la sobrecapa de concreto. Los resultados muestran una drástica reducción en los esfuerzos de tensión de los extremos, cuando se supone que la sobrecapa estaba unida al pavimento flexible existente: 27 kg/cm² en la sobrecapa de 5 cm y de 37 kg/cm² en la capa de 9cm. A continuación se muestra las tensiones de los extremos en condiciones de adherencia y sin adherencia (Figura 34). También resulta interesante notar que las tensiones en realidad son mayores en la sección de mayor espesor.

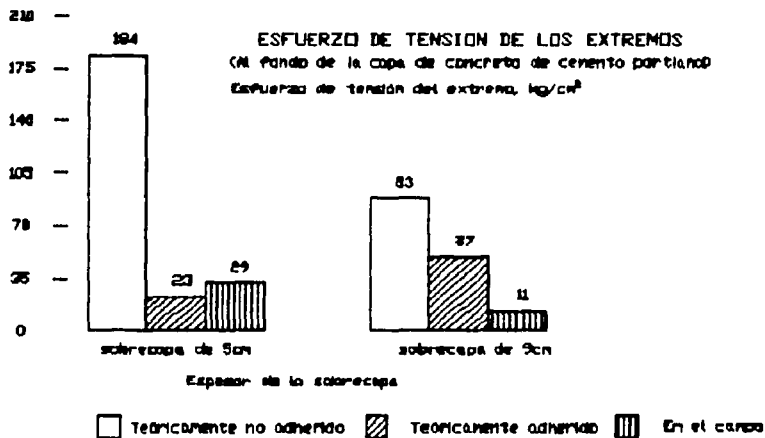


FIGURA 34. Tensiones en las secciones experimentales

El análisis de elementos finitos resultante muestra que la suposición de adherencia crea una sección compuesta. Esto disminuye el eje neutro y reduce el esfuerzo de tensión en la parte inferior de la losa (Figura 35).

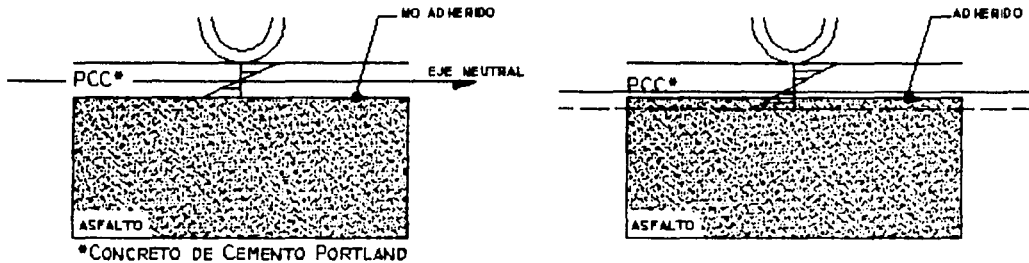


FIGURA 35. Localización del eje neutro

Se llevo a cabo un análisis de fatiga en las secciones de la sobrecapa de 9 cm y 5cm. Este reporte establece que todos los procedimientos de análisis de fatiga usados para el diseño de pavimentos, predicen que la sobrecapa de 9 cm y 5 cm no sobreviven las cargas repetidas en las secciones. "Sin embargo el comportamiento de estas secciones de concreto compuesto se pueden modelar usando las curvas de fatiga para una sección de 15 cm de espesor o incluso mayor".

Los cálculos del reporte muestran que el comportamiento de las secciones de prueba no corresponde a las losas de 5 cm ó 9 cm sobre una base estable. Por el contrario el pavimento se comporta definitivamente como un pavimento compuesto con la sobrecapa de concreto unido a la base de asfalto. Como se señaló anteriormente, el esfuerzo de tensión teórico de ambas secciones, suponiendo la adherencia de ambas capas era de 27 kg/cm² en la sobrecapa de 5 cm y de 37 kg/cm² en la sobrecapa de 9 cm. (Figura 34). Las deformaciones medidas en las

secciones, bajo condiciones similares, producen esfuerzos de tensión entre 25kg/cm^2 y 29kg/cm^2 en la capa de 5 cm y de 8kg/cm^2 a 11kg/cm^2 en la capa de 9 cm.

En todas las secciones de prueba las magnitudes de la resistencia a la compresión en la parte superior de la losa fueron mayores a la resistencia a tensión en el fondo de la misma. Esto parece indicar la caída gradual del eje neutral en una sección de pavimento compuesto. Cabe señalar que todos los deflexómetros que miden las respuestas del pavimento se instalaron en las losas de 1.8 m x 1.8 m.

Un estudio reciente del departamento de transporte de Iowa parece corroborar los hallazgos referentes a la adherencia de la sobrecapa de concreto con el asfalto existente. Se han estudiado el efecto de las distintas técnicas para la preparación de las superficies, sobre la adherencia mecánica en las sobrecapas de pavimentos flexibles de bajo volumen. Las técnicas para la preparación de superficies con agentes de adherencia incluyen: fresado y escobillado con lechada de cemento y agua y escobillado con una emulsión. Los hallazgos del estudio indican que el fresado del asfalto existente produce una mayor adherencia y una interface en la sobrecapa.

El estudio también concluye que no hay relación entre la resistencia de adherencia y la contribución del pavimento existente a la resistencia total del pavimento resultante. Para el caso de todas las técnicas de preparación de superficies, con excepción de aquellas que usan lechadas de agua y cemento, la adherencia desarrollada y el pavimento existente mejoran la resistencia total de las secciones de pavimento. Con esta mejora la resistencia total del pavimento es mejor que la predicha por la teoría convencional. Esta supone que no hay adherencia entre la losa del concreto y el asfalto existente. La capa de asfalto se supone que actúa solamente como una base estabilizada.

b) Juntas.

Al respecto de este punto se recomienda que todo pavimento de concreto debe estar provisto de juntas, a menos que se trate de un pavimento reforzado continuamente, lo cual no es el caso del flexocreto. Ya que el flexocreto es un proyecto en el que se utiliza el concreto simple, es decir, sin ningún refuerzo.

Se recomienda que para una transmisión de cargas de losa a losa más efectiva, se logra en un pavimento simple cuando las juntas son aserradas (dentro de 48 hrs.), ó premoldeadas hasta una profundidad de un cuarto del espesor del pavimento. Esto es válido tanto para las juntas transversales como para las longitudinales, ambas se pueden presentar simultáneamente, por ejemplo en el caso de que se haya decidido colar una gran área.

Después del trabajo de aserrado o premoldeo, la junta se agrieta hacia abajo (Figura 36), produciéndose superficies de contacto irregulares que transmiten satisfactoriamente las cargas. De esta manera, se evita que cuando la llanta de un vehículo se acerca al borde de una losa, se presente un esfuerzo del 100% en el borde de la misma.

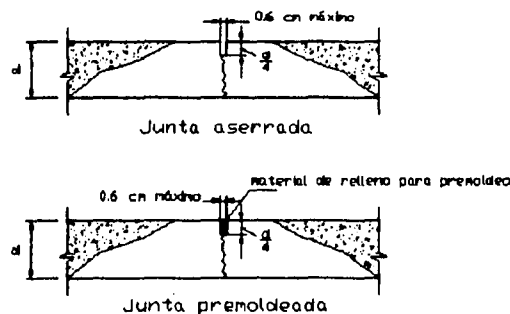


FIGURA 36. Agrietamiento de la losa posterior al aserrado

Las juntas también pueden ser moldeadas a mano con herramientas especiales, pero se requiere de un gran número y muy buena mano de obra, así como de andamios especiales para no pisar el concreto fresco.

No se recomienda colar alternadamente las losas de un mismo carril, ya que, al fin de cuentas, no existirá transmisibilidad de carga cuando las llantas de un vehículo pasen de una losa a otra. Si se pueden colar alternadamente los carriles de un pavimento, esto es, colar un carril completo y dejar vacío el adyacente, con esto se genera menos volumen de obra y se requiere de menos personal. En este caso se ahorra el cimbrado del carril adyacente, pero se crean juntas constructivas longitudinales, las que no tendrán problema de transmisibilidad de cargas cuando el pavimento de servicio exclusivamente a automóviles; sin embargo, cuando se tengan que circular vehículos más pesados, o cuando, estructuralmente, se requieran espesores mayores a 12 cm, se recomienda un arreglo machihembrado (Figura 37).

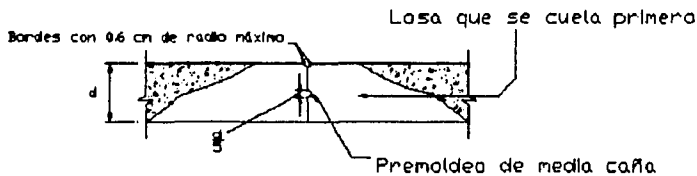


FIGURA 37. Arreglo machihembrado en losas

Las juntas de construcción (transversales o longitudinales) que se deben crear al término de una jornada de trabajo, se pueden moldear también de acuerdo con la figura anterior (Figura 37).

En el caso del flexocreto, cuando se concibió el experimento por primera vez, se observó que la sobrecapa delgada requeriría de un espaciamiento de juntas menor

al de los pavimentos convencionales de concreto. Se planteo la teoría de que en vez de responder a la flexión, la sección de la sobrecapa delgada podría, fundamentalmente bajo compresión, transmitir la carga de las llantas directamente al pavimento flexible que servía como base (Figura 38).

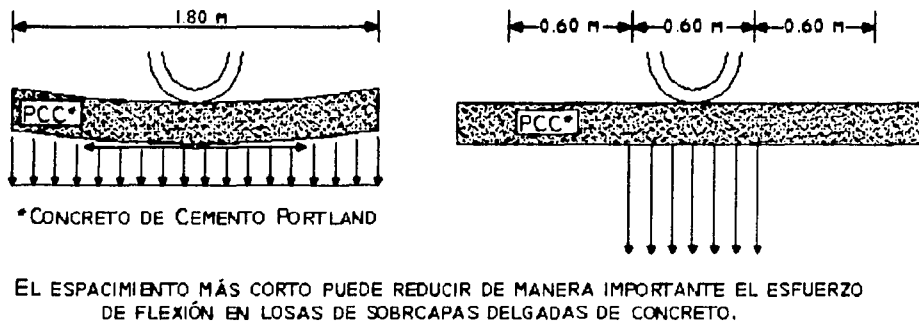


FIGURA 38. Transmisión de las cargas del flexocreto

A fin de simular esta parte del experimento, cuatro losas de 1.8 m x 1.8 m en la sobrecapa de 5 cm, se aserraron en forma de cuadros de 0.60 m x 0.60 m. Estas eran losas interiores de la sección (2 losas interiores tanto en los carriles interiores como en los exteriores).

Los hallazgos iniciales del experimento parecen indicar que el espaciamiento de juntas en las sobrecapas de concreto ultradelgadas tienen un efecto significativo en el comportamiento y la capacidad de carga del tránsito. Aunque las losas de 1.8 m x 1.8 m que se utilizaron en la mayor parte del proyecto, aún están en buenas condiciones después de cerca de 500, 000 E-18's, casi todas las losas de los carriles interiores (totalmente cargados) han presentado agrietamientos poco severos. Es interesante hacer notar que ninguna sección de losa ha presentado agrietamiento en su parte media, normalmente asociado a falla por fatiga. Hay muy pocas grietas en el carril externo (vacío).

Por lo mismo, uno de los resultados más importantes del experimento es el comportamiento de los cuadros de 0.60 m x 0.60 m en el carril interno de carga completa. No hay signo de fatiga o grieta en ninguna de estas pequeñas losas, sin importar que hayan cargado más de 600 camiones diariamente durante más de un año. Las losas de 0.60 m x 0.60 m también están intactas.

Una investigación acerca de los parámetros de juntas típicas para pavimentos de concreto convencionales, nos da una posible explicación que podría dar respuesta al extraordinario comportamiento de estas pequeñas losas.

La carga y los esfuerzos por alabeo en pavimentos de concreto con juntas se ven influidas por el espaciamiento entre estas. Se ha usado un parámetro direccional L / I para describir la relación que puede tener el espaciamiento entre juntas con respecto a la estructura total de la losa. L es el espacio entre juntas en pulgadas; I es el radio de rigidez relativa, definido como sigue:

$$I^4 = \frac{(E * h^3)}{(12 (1 - u^2) * k)}$$

en donde:

E = El módulo de elasticidad del concreto, psi,

h = el espesor de la losa, pulgadas,

u = la relación de Poisson para el concreto, y

k = El módulo de reacción de la capa de apoyo, psi / pulg.

Se han determinado que para las condiciones de carga de borde las dimensiones de la losa deben de ser tales que la relación L / I sea mayor que 5.0, a fin de obtener la respuesta de la losa a los esfuerzos flexionantes según la teoría

clásica de Westergaard. Cuando la relación L / I es menor a 5.0, los esfuerzos de flexión disminuyen y aumentan las deflexiones.

Un calculo de la relación L / I para las secciones experimentales indica que la relación L / I es de aproximadamente 4.6 para las secciones de 9 cm y de 7.0 para las de 5 cm en las losas de 1.80 m x 1.80 m. Sin embargo, en el caso de la sobrecapa de 5 cm cortada en cuadrados de 0.60 m x 0.60 m, la relación L / I cae a 2.3.

Aplicando el efecto teórico, una relación L / I pequeña tiene que reducir los esfuerzos de flexión en una losa, lo cual apunta a una posible explicación del impresionante comportamiento de las losas 0.60 m x 0.60 m en la capa de 5 cm.

En algunos espaciamientos críticos de las juntas y para ciertos espesores, el comportamiento clásico de la losa (flexión) probablemente se reemplazará principalmente por la deflexion de la losa delgada, transmitiendo la carga a las capas subyacentes de modo similar a un pavimento flexible. Las diferencias en el comportamiento entre los paneles de 1.80 x 1.80 m y los de 0.60 x 0.60 m en la sobre capa de 5 cm indica que el espaciamiento de capas optimo se encuentra en algún punto entre estos dos tamaños, para el caso de las sobrecapas de 5 cm.

Otra recomendación para el caso de los pavimentos de concreto convencionales, es que la relación L / I debe ser de entre 4 y 6, a fin de evitar el agrietamiento debido a los esfuerzos por alabeo muy altos. El hecho de que los problemas predominantes en el carril de carga representen daños reducidos en las esquinas parece indicar que la temperatura y/o el alabeo en condiciones húmedas, pueden estar levantando las esquinas de las losas de la sobrecapa delgada.

Se han llevado a cabo varios estudios que indican que en Chile los pavimentos con relaciones L / I normales padecen mucho de este tipo de problemas. Esto

también se cumple con el comportamiento de los pavimentos con juntas cortas que hay en los E.E.U.U. El hecho de que las losas de 0.60 m x 0.60 m tengan una relación L / I tan pequeña que prácticamente no haya efecto de alabeo, también puede ayudar a explicar su extraordinario comportamiento.

Se debe señalar que los cálculos anteriores para el radio de rigidez relativa para las secciones compuestas a partir de recarpeteo y por lo tanto para la relación L / I , no es totalmente exacto. Se sabe que la definición clásica del radio de rigidez relativa no es aplicable a una condición que implique adherencia o a una sección compuesta. La relación real de rigidez relativa para una sección compuesta se deberá obtener a partir de la teoría convencional de losas apoyadas directamente sobre el terreno. Por lo que se recomienda vehementemente, que la investigación futura acerca de capas ultradelgadas incluya una rigurosa investigación respecto a este parámetro.

Observaciones iniciales.

El comportamiento de esta sobrecapa experimental ha sorprendido a muchos "negadores" que no creían que la sobrecapa se pudiera colocar.

De acuerdo con las teorías comunes acerca de la sobrecapa de pavimento, la capa experimental (en especial la sección de 5 cm de espesor) se debería haber agrietado muy pronto, luego de abrirse al tránsito. El equipo de consejeros del proyecto cree que la adherencia entre el asfalto y la sobrecapa de concreto produce una importante baja en los esfuerzos en el concreto, ya que el pavimento reacciona como un sistema compuesto.

El éxito de la construcción probó que el concreto se puede colocar en forma de capas ultradelgadas mediante el uso de equipo convencional de cimbras deslizantes. El experimento también demostró que el concreto que contiene fibras de

polipropileno y una gran cantidad de aditivos reductores de agua es muy efectivo para la pavimentación rápida.

Para 1992, la sobrecapa ha sido expuesta a carga continua de camiones durante un año. El equivalente aproximado a cargas axiales de 18 mil libras (E - 18 's) que ha experimentado la capa es de más de 585 mil basándose en los datos registrados para el tránsito por tal camino. La tabla 17 muestra una distribución representativa del ángulo de distribución de cargas axiales para el proyecto.

TABLA 17. Pesos axiales de los camiones.

Pesos axiales de los camiones sobre el pavimento (primeras cuatro semanas)		
Carga axial (kips)	Número de ejes sencillos	Número de ejes en tandem
< 2	1429	
2 - 4	888	
4 - 6	1046	5
6 - 8	856	10
8 - 10	577	35
10 - 12	730	27
12 - 14	1007	59
14 - 16	1418	43
16 - 18	1245	165
18 - 20	892	51
20 - 22	539	87
22 - 24	353	183
24 - 26	205	254
26 - 28	215	345
28 - 30	158	516
30 - 32	61	638
32 - 34	51	615
34 - 36	68	582
36 - 38	70	539
38 - 40	60	449
40 - 42	25	356
42 - 44	17	319
44 - 46	21	309
46 - 48	4	249
48 - 50	2	195
50 - 52		97
52 - 54		75
54 - 56		83
56 - 58		69
58 - 60		40
60 - 62		9
62 - 64		3

Hay que hacer notar que el recubrimiento no fue diseñado para soportar este nivel de tráfico durante veinte años, sino que se diseñó como una prueba acelerada para simular muchos años de tráfico de bajo volumen; en comparación con caminos con volúmenes bajos, calles residenciales y estacionamientos que están diseñados para soportar tan sólo de 50 mil a 100 mil E -18 's durante un período de veinte años.

Después de un año de servicio con este nivel de tránsito, la capa sigue en excelentes condiciones de servicio. Los recubrimientos de 5 cm y 9 cm han soportado cargas muy grandes sin sufrir daños importantes. El carril de salida, para camiones sin carga, es mucho más representativo de bajos volúmenes de tránsito y ha mostrado un excelente comportamiento. Casi ninguna losa muestra signos visibles de daño. Lo más notable ha sido el éxito de las losas de 0.60 m x 0.60 m en la sobrecapa de 5 cm; incluso, en el carril de carga, ninguna de estas losas se ha agrietado, ni ha presentado o mostrado alguna otra señal de daño.

Se debe resaltar que después de casi 400 mil E -18 's, varias losas de la sobrecapa necesitaban reemplazarse. Todos los reemplazos fueron en el carril de acceso que lleva a los camiones totalmente cargados hacia el terreno. El área de reemplazo abarcó entre 15 m y 18 m de un total de 165 m del experimento, es decir un 10 por ciento del proyecto total.

La necesidad de estos reemplazos en estas áreas pequeñas no fue a causa del espesor inadecuado de la sobrecapa. Una de estas áreas se encontraba sobre un pozo a cielo abierto que fue excavado como parte del experimento. El relleno del PCA sufrió subsidencia como consecuencia de las cargas del tránsito. En otra área, el asfalto existente había sido fresado hasta el material granular; de esta manera, ya no había asfalto que se uniera con la sobrecapa, lo cual ocasionaba grandes tensiones y representaba un apoyo poco uniforme. Finalmente, otra sección contaba con condiciones de drenaje muy malas. Los acotamientos en esta zona estaban más altos y ocasionaban que el agua se acumulara sobre el pavimento.

Los carriles de alta continúan en condiciones casi perfectas. Se debe señalar que durante 1992, se añadió un tercer carril (20 cm PCC) al camino de acceso, a fin de ajustarse al aumento de tránsito. Esta nueva vía es hoy en día de alta velocidad. El antiguo carril de salida se utiliza como de acceso, es decir como carril de carga.

Parece ser que la buena adherencia entre el concreto y el asfalto y un pequeño espaciamiento de juntas son factores clave para el éxito de las sobrecapas ultradelgadas. El carril de alta, por donde circulan camiones vacíos, es más representativo del tránsito de bajo volumen. Las condiciones casi perfectas de este carril prueban la viabilidad de las sobrecapas ultradelgadas como una técnica de rehabilitación para bajos volúmenes de tránsito.

2.4 MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DEL FLEXOCRETO.

Básicamente el principal material que se emplea para la elaboración del flexocreto es el concreto, por lo que de este se derivarán los subsiguientes materiales. El tipo de concreto a usar es determinado por las condiciones climáticas y la prontitud con la que se abrirá al tránsito la nueva superficie. Mientras en muchos casos, la resistencia común oscila entre 250 kg/cm² y 300 kg/cm² a los 28 días, en otros, se ha llegado a utilizar concreto de 210 kg/cm² a las 12 horas, permitiendo abrir al tránsito a las 24 horas.

La consistencia del concreto, medida por medio de la prueba de revenimiento, varía dependiendo del método de colocación del concreto. Se puede especificar un revenimiento hasta de 7 cm para concretos que se colocarán con regla vibratoria, o en el caso de que el concreto se deba colocar a mano, se puede llegar a especificar un concreto hasta de 12 cm de revenimiento.



Los tamaños máximos de agregados gruesos que se emplean en la pavimentación son: 1.9 cm (3/4 pulgada) y 2.54 cm (1 pulgada).

Cuando el pavimento no esté expuesto a un intemperismo severo (congelamiento - deshielo), un contenido de aire promedio del 3% se considera satisfactorio.

Para el caso del proyecto con flexocreto, en el camino de dicho proyecto sólo se podía cerrar para labores de reencarpetao desde la 1:00 p.m. del sábado hasta las 6:30 a.m. del lunes, lo cual dejaba tan sólo 41 horas y media para terminar las sobrecapas y dejarlas listas para el tránsito. El equipo decidió usar técnicas de pavimentación rápida y un diseño de mezcla que pudiera lograr una resistencia a la compresión de 246 kg/cm² a las 36 horas de colocada. A continuación se muestra el diseño de la mezcla en el inicio del uso del flexocreto (Tabla 18), pero como se tratara en el capítulo posterior, el diseño de estas mezclas ya es muy variado.

TABLA 18. Proporcionamiento de la mezcla del flexocreto.

Proporcionamiento de la mezcla para sobrecapas ultradelgadas de concreto de cemento portland	
Cemento tipo 1	474 kg/m ³
Agregados gruesos (caliza triturada del #8)	1.067 kg/m ³
Agregados finos (arena natural)	949 kg/m ³
Contenido de aire	4% - 6%
Reductor de agua de rango amplio (ASTM C 494 tipo F)	8 kg/ 1 ton cemento
Fibras de polipropileno (graduadas y fibrilladas)	1.78 kg/m ³
* La mezcla obtuvo una resistencia de laboratorio de 280 kg/cm² en 18 horas.	

Se puede observar en el diseño, que una gran cantidad de aditivos reductores de agua ayudó a producir una mezcla trabajable y una gran resistencia temprana. Además, se añadieron fibras de polipropileno de 19 mm (3/4") para lograr una mayor rugosidad, para evitar el agrietamiento y mantener la integridad postagrietamiento, de existir un futuro agrietamiento.

Además las características del aditivo empleado son que este trabajaba como: reductor de agua y mejorador de la trabajabilidad, además de un incorporador de aire.

2.5 MANO DE OBRA REQUERIDA EN EL USO DEL FLEXOCRETO.

La mano de obra requerida para este tipo de proyecto se encuentra en función de la economía de que disponga la obra, ya que se puede emplear tanto métodos convencionales, como la más alta tecnología en cuanto a su elaboración, construcción y acabado.

Es decir, la mano de obra, es la misma que se emplea para la elaboración del concreto común, ya que de acuerdo con el tamaño de la obra y el equipo con que se cuente, ya que no es lo mismo rehabilitar unos cuantos metros de calles, que rehabilitar cientos de kilómetros de nuestra red carretera.

El nivel de capacidad de los trabajadores se encuentra en función del tamaño de la obra, ya que si se trata de un rehabilitado mínimo, se necesitara personal para realizar las actividades básicas del proyecto, sin embargo si se trata de un rehabilitado de grandes magnitudes, por lo general la tecnología en cuanto a maquinaria sustituye la mano de obra para efectuar las actividades básicas, requiriendo de menos personal para efectuar el trabajo.

Como se trata de una tecnología sumamente sencilla, el único requisito que se le solicita a las personas que desean intervenir en el proyecto, es que posean experiencia en el trabajo con concreto y en la elaboración de pavimentos. Sin embargo de no tenerla no representa grandes problemas ya que es sumamente sencillo capacitar al personal, aunque por supuesto se perderá tiempo, lo cual influye de una manera muy directa en la obra.

2.6 EQUIPO NECESARIO PARA EL FLEXOCRETO.

Como en todo proyecto ingenieril, el flexocreto se encuentra dividido en varias etapas, las cuales necesitan diversas maquinarias, a continuación se mencionaran dichas etapas citando la maquinaria que se necesita en cada una de ellas, tomando en cuenta el tamaño del proyecto:

a) Elaboración.

1. Proyecto chico:

- Palas, botes, trompos y carretillas.

2. Proyecto mediano:

- Camiones revolvedoras y trompos.

3. Proyecto grande:

- Planta dosificadora de concreto hidráulico.

b) Colocación.

1. Proyecto chico:

- Botes, carretillas, vibradores, rastrillos, palas y cucharas.

2. Proyecto mediano:

- Carretillas, vibradores, niveladores, bombas de concreto, palas, botes, barras guía, etc.

3. Proyecto grande:

- Máquinas finisher.

c) Curado.**1. Proyecto chico:**

- Pipas.

2. Proyecto mediano:

- Colocadoras de textiles.

3. Proyectos grandes:

- Máquinas para colocar membranas de sellado y equipo para emplear selladores líquidos.

Las maquinas anteriormente citadas representan las básicas a emplear, pero queda a criterio del ingeniero constructor determinar el equipo optimo a utilizar, en base a los estudios en cuanto a las necesidades del proyecto.

2.7 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL FLEXOCRETO.

En el proceso constructivo del flexocreto se debe tener algunos cuidados en la pavimentación, a continuación se mencionan estos puntos, los cuales son de gran interés para los constructores:

a) Superficie de apoyo.

Antes de vaciar el concreto para colar las losas, se debe tener extremo cuidado en humedecer la superficie de apoyo; cuando la superficie sobre la cual se va a colar es asfáltica, el propósito principal es el de enfriar el asfalto para evitar la pérdida de humedad por evaporación. Cuando la superficie tiene poco o ningún asfalto, el propósito principal es el de evitar que las terracerías (base o sub-base) absorban agua de la mezcla de concreto.

b) Colocación del Concreto.

La colocación del concreto resulta muy rápida y sencilla cuando se utiliza concreto premezclado, pues la descarga se hace directamente del camión revoladora, por medio de su vertedor sobre el área que se requiera. La colocación se complementa con el uso de palas y carretillas, rellenando todo el área, posteriormente se logra el acomodo y la nivelación final del concreto por medio de reglas vibratorias.

c) Acabados.

Para el acabado que se da rutinariamente a la superficie de concreto se utiliza una llana con extensión, a fin de poder alcanzar toda la losa sin problemas. Posteriormente, se utiliza un cepillo de cerdas duras para dar la textura deseada.

En carreteras, se ha utilizado con mucho éxito los cepillos con puntas de acero que dejan estrías más separadas; sin embargo, este acabado no se acostumbra en pavimentos urbanos, donde se requiere de una textura antiderrapante más cerrada (estrías más cercanas), para el tipo de movimiento vehicular que domina.

d) Curado.

En este punto, quizá el método donde se aplica una solución impermeabilizante por aspersión resulte ser uno de los procedimientos más rápidos y efectivos; sin embargo, la solución debe cumplir con sus especificaciones y ser aplicada correctamente. En este método se prefiere que la solución tenga una pigmentación blanca que permita la reflexión de los rayos del sol. Otros métodos que pueden ser igualmente efectivos son el de humedecimiento continuo o el de protección con plásticos. Cualquiera que sea el método a emplear, se recomienda que el curado se prolongue al menos entre 3 y 7 días, evitando que los vehículos circulen antes de 3 días, y permitiendo su circulación preferentemente cuando los cilindros de

concreto curados en el campo alcancen el 75% de $f'c$ (resistencia a los 28 días). Los trailers o carros pesados no deben circular antes de 14 días.

Para el flexocreto, en el proyecto piloto, la noche anterior a la colocación del concreto, los trabajadores picaron la superficie del asfalto. La superficie picada proporciona un plano regular y ayuda a mantener un espesor uniforme a lo largo de las secciones de la sobre capa. El picado también permite tener una superficie rugosa que favorece la unión mecánica entre el asfalto y la sobrecapa de concreto.

Respecto al punto anterior algunos investigadores recomiendan que el pavimento asfáltico sea fresado superficialmente para proveer un espesor uniforme al recubrimiento y rugosidad superficial, exponiendo los agregados de la superficie asfáltica. Donde por lo menos 7.7 cm de asfalto deben de permanecer después del fresado de la superficie; si quedan menos de 7.5 cm es mejor colocar una capa convencional de concreto más gruesa.

Tanto las superficies asfálticas fresadas como las no fresadas pueden proporcionar una base satisfactoria, aunque con el fresado se logra una mejor adherencia. Cualquiera que sea el caso, la superficie deberá estar limpia, ya sea que el contratista escoja el empleo de chorro de aire, chorro de agua o fresado para la limpieza, la superficie deberá estar perfectamente seca a fin de mejorar la adherencia. Un roseado ligero de agua se ha utilizado para enfriar el asfalto en días calurosos y evitar así la evaporación rápida del agua de mezclado del concreto, pero no debe existir agua libre sobre la superficie.

En el proyecto piloto la pavimentación se inicio cerca de las 2:00 p.m. del sábado 21 de septiembre de 1991. El día era soleado y la temperatura era de 25°C. El contratista de concreto, Harper Construction Co. Inc. de Shelbyville, Tennessee, utilizo una pavimentadora deslizante para colocar un camino de 7.2 m de ancho y 180 metros de largo en una sola pasada. El concreto premezclado lo proporciono una

planta premezcladora, que esta situada a 13 km del lugar del proyecto. Los camiones colocaron el concreto directamente enfrente de la pavimentadora. La superficie de asfalto se tuvo que humedecer ligeramente antes de iniciar la pavimentación, con el fin de disminuir la absorción del agua de la mezcla por parte del asfalto. Posteriormente a la colocación de la sobrecapa, el contratista roció un compuesto de curado color blanco.

Las cuadrillas de trabajo comenzaron a aserrar las juntas de las sobre capas cerca de las 8:00 p.m. del sábado, mediante la utilización de sierras para concreto con dientes de diamante de peso ligero. La mayor parte de las sobrecapas se junteo en losas de 1.80 m x 1.80 m. Sin embargo, cuatro de las losas interiores de la sobrecapa de 5 cm. de espesor se aserraron en secciones de 0.60 m x 0.60 m, a fin de evaluar la posibilidad de "un sistema más flexible". La teoría para emplear estas losas de 0.60 m x 0.60 m era que las cargas se transferirían mas directamente a los recubrimientos inferiores como si fuera un sistema de pavimentación flexible típico. En esta área el concreto actuaría principalmente como un recubrimiento liquido, transfiriendo la carga en vez de absorvela mediante la flexión de la losa.

Resulta absolutamente necesario para las juntas que estas se corten antes de que se empiecen a generar los esfuerzos internos e induzcan un agrietamiento. Se puede utilizar una sierra ligera tan pronto como la superficie aguante el peso del tránsito. También se han empleado otro tipo de aserrados con todo éxito. En la mayor parte de las obras no se considera necesario cerrar las juntas. El asfalto subyacente proporciona una barrera prácticamente impermeable, de la misma manera que logra hacerlo un sellador de juntas.

Los expertos opinan que no es cierto que todas las juntas causan irregularidades en la superficie del camino. Puesto que las juntas no tienen por que cortarse con ancho suficiente para poder colocar un sellador, se podrán aserrar con discos tan delgados como son los de 3 mm; por lo tanto, los conductores no perciben

las juntas a su paso. El espaciamiento muy cerrado de las mismas también minimizan el ondulamiento y el alabeo que pueden afectar la tersura del pavimento de concreto.

Aunque existieron dudas acerca del método de construcción de las sobrecapas de concreto ultradelgada, antes de que empezara el proyecto, el pavimento se llevo a cabo sin ningún problema. A las 6:30 del lunes 23 de septiembre, en Louisville, Kentucky, los camiones empezaron a circular por la sobrecapa.

En el proceso constructivo también se realizaron las siguientes actividades, con el objetivo de recabar más información del flexocreto y estas son:

1. Monitoreo del comportamiento de la sobrecapa.

Los ingenieros de Louisville realizaron todo tipo de pruebas durante la construcción de las sobrecapas. Los resultados indicaron que la mezcla con concreto tenía un revenimiento de 7 cm, un contenido de aire de 6.5 % y una temperatura de colocación de 22°C a 25°C. Además se obtuvieron las resistencias promedios del concreto (Figura 39).

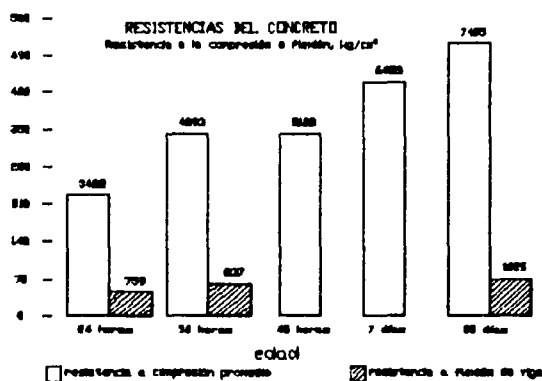


FIGURA 39. Resistencias promedios del concreto

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El comité del proyecto selecciona a la universidad de Louisville para llevar a cabo la investigación postconstrucción así como la evaluación del comportamiento en esta investigación se incluía:

- Toma de muestra del terreno y del asfalto antes de la colocación de la sobrecapa.
- Realización de pruebas de deflexión antes y después de la colocación del pavimento.
- Instalación y monitoreo de las mediciones de las deformaciones en las secciones de 5 cm y 9 cm.

Además el cuerpo técnico de la PCA llevo a cabo las siguientes pruebas:

- Madurez del concreto y pruebas de velocidad de pulso inmediatamente después de la colocación y a las 72 horas de edad del pavimento.
- Registro de las temperaturas internas de la sobrecapa durante las primeras 72 horas después de la colocación.

2. Control de calidad.

Es innegable que debe existir un control de calidad durante la pavimentación, en el cual debe considerarse al menos, pruebas de revenimiento y pruebas de resistencia del concreto, con el objeto de verificar las características más importantes de este material. Por lo general las pruebas se realizan a cada 5 km en proyectos grandes, pero finalmente el periodo para realizarlas la determinará el ingeniero a su criterio, tomando en cuenta las condiciones de la obra en cuestión.

Cuando el concreto es elaborado en el lugar y por el contratista, existe mayor riesgo de no cumplir con las especificaciones, en cambio estos riesgos disminuyen cuando el concreto es premezclado. Por lo tanto, se puede garantizar una mejor calidad en la pavimentación cuando se utilice concreto premezclado y se sigan

correctamente los procedimientos constructivos adoptados para el caso. Generalmente se especifica que el concreto premezclado cumpla con la Norma Oficial Mexicana C- 155 (NOM C - 155), o en su caso con la norma C - 94 de la American Society for Testing and Materials (ASTM C - 94).

3. Consideraciones analíticas.

Los reportes del proyecto, proporcionados por la universidad de Louisville y por la Portland Cement Association han examinado el proyecto y los resultados experimentales con un amplio detalle. El trabajo de campo, el monitoreo de daños y el trabajo analítico los llevó a cabo la Universidad de Louisville. El equipo de ingenieros de la Portland Cement Association realizó modelos analíticos adicionales de las secciones de pavimento, a fin de intentar explicar el extraordinario comportamiento de las secciones.

En conclusión si el sistema flexocreto se sigue comportando de acuerdo con las tendencias actuales, tendrá un efecto importante dentro de la industria de pavimentos. John Wojakowski Ingeniero investigador del concreto en el Departamento de transportes del estado de Kansas, comento que posteriormente de la realización del este proyecto, "se ampliara el mercado de pavimentos de concreto para permitir que el concreto compita favorablemente con las mezclas bituminosas en caminos secundarios o en carreteras troncales con flujo vehicular moderado".

Aunque la experiencia que se tiene en diseño y construcción de pavimentos de concreto sobre asfalto no es abundante, se considera suficiente para decidirse a recuperar aquellas secciones estructurales de los pavimentos asfálticos que dan problemas, e incorporarlas a un pavimento de concreto que, seguramente, prestará por muchos años mejores servicios.

Y es de importancia mencionar que el uso del flexocreto ya es de ámbito mundial. En virtud de que cada día surgen nuevos proyectos de prueba, es difícil proporcionar un total actualizado de las obras con flexocreto en el nivel mundial. En julio de 1996 Bob Packard, director de diseños de ingeniería para la Asociación Americana de Pavimentos de Concreto, informó sobre la existencia de un total de 68 proyectos en Estados Unidos, México, Canadá y Suecia.

Resulta asombroso que México va a la cabeza en volumen, con 520 000 m² en 21 diferentes proyectos: El más grande de éstos en Baja California abarca 191 500 m²; el flexocreto es de 6.5 cm de espesor, con juntas en una retícula de 0.90 m por lado. En Suecia, en proyectos construidos en 1989 y 1993, se utilizaron sobrecapas de concreto cementadas para reducir el desgaste producido por llantas dentadas en el asfalto y para mejorar la capacidad estructural del camino. En el siguiente capítulo solo se hará mención de los proyectos realizados en Estados Unidos de Norteamérica y México por considerarse los más importantes.

CAPÍTULO 3.

" RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN PROYECTOS CON EL USO DEL FLEXOCRETO "

El objetivo del capítulo es presentar el comportamiento del flexocreto en proyectos elaborados con esta técnica, en los Estados Unidos de Norteamérica y en México.

3.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA.

Debido a que el comportamiento de la instalación con flexocreto en Kentucky ha sido desde su inicio mucho mejor de lo que se hubiera esperado con procedimientos convencionales de diseño. Esto parece deberse a dos factores: la adherencia del concreto al asfalto, que crea una sección monolítica, y el empleo de espaciamientos cortos entre juntas.

Como resultado del éxito prematuro obtenido en Kentucky, las obras con flexocreto se multiplican a medida que las tecnologías siguen mejorando. A continuación se presentan algunas obras representativas (Tabla 19):

TABLA 19. Proyectos construidos con flexocreto en los Estados Unidos de Norteamérica.

PROYECTOS CONSTRUIDOS CON FLEXOCRETO EN LOS ESTADOS UNIDOS				
UBICACIÓN	MANKATO, MINN.	AEROPUERTO ESPIRITU DE SAN LUIS, ST. LOUIS	LOUISVILLE, KY.	BRUNSWICH, OHIO
Fecha de terminación	Junio de 1996	Febrero de 1995	Septiembre de 1991	Agosto de 1996
Espesor	7.5 cm	9 cm	5 cm y 9 cm	5 cm
Resistencia especificada del concreto	Desconocida	Resistencia mínima a la flexión, 50 kg/cm ²	Mínima de 245 kg/cm ² a las 24 horas	Resistencia a la flexión de 28 kg/cm ² para abrirse al tránsito
Espaciamiento entre juntas	1.5 m x 1.8 m	1.25 m en cada dirección	0.6 m x 0.6 m, 1.8 m x 1.8 m	0.6 m x 0.6 m, 1.20 m x 1.20 m
Fibras empleadas (por m³ de concreto)	11 kg poliolefina (1.6% en volumen)	1.4 kg polipropileno	1.3 kg polipropileno	Tres mezclas: 1.1 kg nylon 1.3 kg polipropileno 27 kg acero
Preparación de la superficie	Fresada	Fresada, limpieza con chorro de aire	Fresada	Fresada
Área del concreto	6 270 m ²	11 700 m ²	1 340 m ²	340 m ²
Tipo de tránsito	Urbano	Estacionamiento para aviación general hasta de 5.67 ton	tránsito de camiones pesados a tiradero de basura	Carril de retorno a calle urbana
Detalles constructivos	Parte de un proyecto más grande de sobrecapas de concreto que incluyó espesores de 15 cm y de 11 cm	Parte de un proyecto más grande que incluyó sobrecapas de 20 cm y 25 cm Pavimentadora de cimbra deslizante	Pavimentadora de cimbra deslizante	Regla vibratoria

Es importante tomar en cuenta que en cuanto mayores aplicaciones se encuentren en servicio de sobrecapas , se estará acumulando mayor experiencia de campo. Se están observando las características de desgaste de la superficie, el agrietamiento y la deflexión. Además de los estudios realizados en Kentucky, se han instrumentado las instalaciones de Iowa y Missouri para poder medir los esfuerzos, con la finalidad en mente de poder desarrollar un nuevo procedimiento técnico de diseño.

Aunque todavía no se ha determinado un procedimiento racional de diseño, la Asociación Americana de Pavimentos de Concreto (ACPA) considera que con el flexocreto se puede conseguir una superficie de rodamiento durable que resista las cargas normales en caminos residenciales y de bajo volumen de tránsito. Las sobrecapas con flexocreto también se pueden colocar en carreteras con tránsito muy pesado, aunque su vida útil será más corta. Entre otras aplicaciones, se pueden mencionar las intersecciones con problemas tales como roderas, carriladas y ondulamientos; pistas de rodaje, aeropistas y zonas de estacionamiento para aviación general, y áreas de estacionamiento.

La superficie de rodamiento de sobrecapas con flexocreto es semejante a la de pavimentos con sección estructural completa y proporciona las capacidades de reflectancia de la luz y de enfriamiento que se logran con un pavimento normal de concreto.

Lo que se presenta con una visión generalizada de los proyectos anteriormente citados es tener un enfoque más profundo en cuanto a las mezclas que se utilizan para el flexocreto, ya que es un punto de especial interés, para lograr así acercarse un poco más a determinar el diseño del flexocreto.

Y se debe a que los investigadores han concluido por el momento que la mezcla de concreto seleccionada para cierto proyecto deberá ser compatible con el

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

espesor de la sobrecapa, las condiciones de tránsito y las limitaciones relativas al tiempo para abrir la carretera a la circulación vehicular.

Las variaciones de un estado a otro toman en cuenta la disponibilidad de materiales locales y las especificaciones locales del Departamento de Transporte (DOT) de Estados Unidos. Debido a que es una tecnología basada en la experiencia con proyectos experimentales, a veces se copian las dosificaciones que han tenido éxito en la colocación de sobrecapas delgadas en cubiertas para puentes. Pueden ser necesarias algunas modificaciones a las mezclas para hacerlas compatibles con la dosificación de las fibras.

Se han concluido proyectos mediante el empleo de equipos convencionales de pavimentación, reglas vibratorias y equipo manual de nivelación. También se han empleado pavimentadoras a base de cimbra deslizante para colocar el flexocreto reforzado con fibras en sobrecapas de hasta 5 cm de espesor.

Una dosificación normal del flexocreto incluye materiales cementantes, agregados gruesos y finos, agua y aditivos. La mayor parte de las mezclas también contienen algún tipos de fibras. Entre los aditivos escogidos se pueden mencionar agentes inclusores de aire y, con cierta frecuencia, un reductor de agua o superplastificantes.

A continuación se presentan las mezclas utilizadas en los proyectos anteriormente citados (Tabla 20):

TABLA 20. Proporcionamiento de mezclas en la elaboración del flexocreto.

MEZCLAS UTILIZADAS EN LA ELABORACIÓN DEL FLEXOCRETO				
INGREDIENTES*	LANCASTER, PA., 1995	LEAWOOD, KAN., 1995	BRUNSWICK, OHIO, 1996	RAPID CITY, S.D., 1995
Cemento (Tipo I ó I/II)	336 kg	277 kg	324 kg	238 kg
Ceniza volante				51 kg
Agregado grueso	762 kg	785 kg	621 kg	741 kg
Agregado fino	491 kg	610 kg	628 kg	604 kg
Agua	130 kg	102 kg	130 kg	119 kg
Fibras	1.3 kg polipropileno	1.3 kg polipropileno	Tres mezclas: 1.3 kg polipropileno 27 kg de acero 1.1 kg nylon	Dos mezclas: 29 kg acero 11 kg poliolefina
Relación agua-cemento (o materiales cementantes)	0.36	0.37	0.40	0.41
* Se utilizaron agentes inclusores de aire y otros aditivos en todos los concretos que se muestran				

La relación agua - cemento se mantiene por lo regular dentro de un intervalo de variación de 0.35 a 0.40. Los contenidos de concreto son con frecuencia lo suficientemente altos para alcanzar resistencias a la compresión de 200 kg/cm², o mayores, a las 24 horas. Esto permite una construcción rápida para abrir el pavimento al tránsito en 24 horas o menos.

Aunque la reapertura en un tiempo corto es crucial en proyectos donde es básico el control del tránsito, se podrán utilizar diseños de mezclas menos costosos cuando no sea necesario reabrir el tránsito en menos de dos días.

La adición de fibras a la mezcla del flexocreto proporciona mayor durabilidad y tenacidad al pavimento. Además las fibras "reducen aún más el agrietamiento debido

a la contracción y mejoran la transferencia de cargas a través de la trabazón entre partículas de agregados al mantener muy cercanas entre sí las juntas". No es posible recomendar un solo tipo de fibra para todas las sobrecapas con flexocreto.

Se continúan observando y cuantificando el efecto de las fibras al intercalar secciones de flexocreto que contienen distintos tipos. Se están comparando, por ejemplo, las fibras de poliolefina y de acero en un proyecto que data de 1994, patrocinado por el Departamento de Transporte (DOT) del estado de Dakota del Sur. La asociación de Productores de Concreto Premezclado del Estado de Ohio (ORMCA), organizó dos proyectos en 1996 para demostrar las ventajas de utilizar fibras de acero, polipropileno y nylon en secciones contiguas.

En la aportación hacia el estudio del flexocreto, es importante el trabajo que aporta la Asociación de Productores de Concreto Premezclado del Estado de Ohio (ORMCA), ya que como se menciona con anterioridad, organizó dos proyectos de demostración en 1996 para mostrar la forma en que el flexocreto podía competir con las sobrecapas de asfalto sobre la base de costos iniciales.

El comité de proyecto empleó números estructurales asignados al asfalto por los procedimientos de diseño AASHTO y determinó que 5 cm de concreto es el equivalente estructural aproximado a una sobrecapa de asfalto de 7.5 cm de espesor. Cuando los miembros del comité fijaron para el Departamento de Transporte de Estados Unidos (DOT) del estado de Ohio los costos de una sobrecapa de asfalto de 7.5 cm de espesor como los valores límite comparables al costo de la sobrecapa de concreto, ellos encontraron que podían salir adelante con estos mediante el empleo de diferentes tipos de fibras y de separaciones entre las juntas de la sobrecapa delgada.

Con estos antecedentes, la ORMCA programó otros dos proyectos de demostración en 1997. Los cuales dieron excelentes resultados también, pero por el

momento no se han dado a conocer totalmente los resultados obtenidos, por lo que solamente se mencionan en el presente estudio, y no se profundizará en ellos.

Además de que falta concluir aún un procedimiento de diseño, quedan algunas preguntas pendientes de respuesta; por ejemplo, en que proporción contribuyen las fibras y cuál es la mejor dosificación. Sin embargo, parece que el flexocreto tiene el potencial para asegurar la larga vida y durabilidad de los pavimentos de concreto de sección geométrica completa a un costo significativamente menor. Como se demostrará en el capítulo posterior.

Para tratar de responder a las preguntas citadas anteriormente, es necesario que estudiemos los proyectos realizados en México, ya que con los 21 proyectos que poseemos, con un volumen de aproximadamente 520 000 m³, nos podemos considerar aptos para responderlas, debido a que con la experiencia adquirida por medio de proyectos realizados con una calidad de primer nivel, nuestros investigadores son considerados eminencias en cuanto al trabajo con el flexocreto.

Es verdad que nuestros investigadores importan resultados de otras naciones, principalmente de los Estados Unidos, sin embargo no se conforman con conocerlos, sino los estudian y por supuesto que los mejoran. Por lo que no se puede considerar piratería, ya que los científicos mexicanos se han caracterizado por siempre aportar algo nuevo a lo ya establecido, y a continuación se presentan estos resultados:

3.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN MÉXICO.

Ya que en México se cuentan con aproximadamente 21 proyectos con flexocreto, para el presente estudio solo se mencionarán los que se consideran que han aportado más información para el flexocreto. Y por lo general estos se encuentran en el Norte de nuestro país, debido a las facilidades que se han encontrado para efectuar los proyectos en dichas zonas.

Aunque somos considerados los principales impulsores de esta tecnología, en nuestro país existen muy pocas personas que tienen conocimiento del flexocreto, esto se debe principalmente a que como se dice es un "proyecto experimental" y existe cierto hermetismo en cuanto a la información, por la continua competencia entre las compañías cementeras y las que se dedican a la producción del asfalto.

Es importante mencionar que las causas de que no se ha impulsado el flexocreto en México, se debe a cuestiones políticas que no permiten que esta tecnología tome más auge. Es por esta razón que solamente en el norte se ha logrado la construcción de estos proyectos y un número muy bajo en la capital de nuestro país.

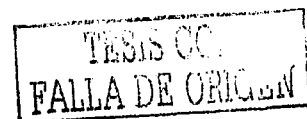
3.2.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROYECTO DE TIJUANA, B.C.

En base a estudios se ha llegado a la considerar que el flexocreto es una solución alternativa para rehabilitar nuestro sistema de caminos y calles dañadas, se decidió crear un proyecto de investigación, construyendo un tramo experimental.

En dicha investigación se partió de los siguientes objetivos:

3.2.1.1 Objetivo General.

Desarrollar tecnología propia que nos permita, a través de resultados teóricos y experimentales, identificar nuevas áreas de oportunidad para rehabilitar pavimentos de asfalto existente. Proponiendo una solución durable, con una excelente calidad y a un bajo costo en México. Con la visión de proponer pavimentos de concreto hidráulico en la futura ampliación de nuestra red carretera y zona urbana.



3.2.1.2 Objetivos Particulares.

Determinar el estado de esfuerzos producido por tránsito urbano típico en tableros (Tabla 21):

TABLA 21. Características de los tableros.

TABLEROS		
TIPO	DIMENSIONES	ESPESOR
1	90 x 90 cm	2 1/2"
2	120 x 120 cm	3 1/2"
3	180 x 180 cm	3 1/2"

El propósito que se persigue en los tableros es de estimar su resistencia potencial a la fatiga producida por el paso de vehículos.

3.2.1.3 METODOLOGÍA.

3.2.1.3.1 Introducción.

Con el propósito de evaluar la factibilidad técnica del flexocreto como alternativa de rehabilitación para pavimentos flexibles, se decidió construir un tramo experimental el cual estaría sujeto a la acción de tránsito urbano típico. Para el diseño del experimento fue necesario considerar los siguientes aspectos relevantes:

1. Los pavimentos urbanos construidos en México tienen carpetas asfálticas cuyos espesores varían de 4 a 6 cm.
2. Por razones económicas y técnicas se decidió no rebajar la carpeta asfáltica existente, con la consecuente disminución de la posible adherencia esperada entre el concreto fresco y la carpeta asfáltica.

3. Por razones de mínimo costo, las juntas transversales se construyeron mediante el hincado de cintas plásticas de 1" de ancho; las longitudinales se hicieron con herramientas de corte.

Para la construcción del tramo experimental se seleccionó una calle de una zona urbana de la ciudad de Tijuana, B.C., la cual tiene las siguientes características:

- Volumen de tránsito de 2100 vehículos por hora;
- El pavimento existente está compuesto por una carpeta asfáltica de 5 cm de espesor, y una base de 20 cm de espesor con un VRS = 50% apoyada sobre un terreno natural previamente escarificado y compactado al 90% en sus primeros 20 cm;
- La calle tiene una pendiente natural del 5%.

Esta calle ha estado continuamente sujeta a trabajos de bacheo; observándose también patrones de agrietamiento en las roderas y zonas donde el agua y aceites han atacado el asfalto de la carpeta.

3.2.1.3.2 Diseño del experimento.

De acuerdo con los objetivos del presente estudio, en el diseño del experimento se incluyeron los factores y la variable de respuesta que a continuación se indican:

FACTORES

1. Espesor de la losa de concreto

$$h_i = (2 \frac{1}{2} ; 3 \frac{1}{2}) \text{ pulgadas}$$

2. Separación de juntas en ambas direcciones

$$S_j = (90 ; 120 ; 180) \text{ cm.}$$

VARIABLE DE RESPUESTA.

1. Estado de esfuerzos máximos producidos por vehículos de diferente peso.

Dado el número de niveles de cada uno de los factores anteriores, resultan un total de seis combinaciones de tratamientos; sin embargo por razones de tiempo y costo, se seleccionaron únicamente las tres combinaciones registradas en la Tabla 21.

La geometría de la calle seleccionada, así como los detalles de la sobrelosa de concreto con sus espesores variables y la distribución de juntas, se indican en las secciones longitudinales y transversales mostradas a continuación (Figura 40).

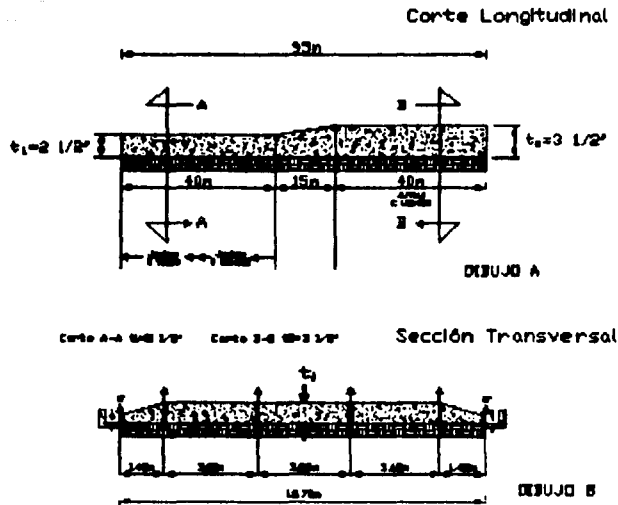


FIGURA 40. Características geométricas del proyecto de B.C

3.2.1.3.3 Instrumentación.

Con el propósito de determinar el estado de deformaciones unitarias en cada uno de los tableros seleccionados, estos fueron instrumentados en tres puntos: centro, borde y esquina. En cada uno de estos puntos, los tableros fueron instrumentados con extensómetros eléctricos en las caras superior e inferior de la losa de concreto.

Una vez que fueron colocados los extensómetros y sus alambres conectores, estos fueron debidamente protegidos para evitar la penetración de humedad presente en la mezcla de concreto fresco, y otras perturbaciones esperadas durante el proceso constructivo.

Las mediciones de deformaciones unitarias al momento de cargar los tableros instrumentados, se hicieron mediante la conexión de los extensómetros a un puente digital con veinte canales disponibles.

Los extremos de los cables conectores de todo el sistema de medición se dejaron protegidos en dos cajas metálicas selladas y ahogadas en la losa de concreto; se hizo esto con el propósito de tomar lecturas a largo plazo para estimar el posible daño acumulativo producido por el paso de vehículos.

3.2.1.3.4 Construcción del tramo experimental.

Previo a la construcción de losa de concreto se lavó con agua toda la superficie de la carpeta asfáltica; esto se hizo con el fin de retirar polvos y otras sustancias que pueden reducir la posible adherencia entre el concreto fresco y la carpeta asfáltica y sus agregados expuestos. Después del lavado de la calle, se cimbraron las vialidades según la geometría que se muestra en la figura 40.

La mezcla de concreto que se usó para la construcción de la losa, tenía las siguientes características:

- Módulo de ruptura a una edad de 28 días: $MR = 50 \text{ kg/cm}^2$
- Tamaño máximo del agregado: $3/8''$
- Revenimiento: $8 \pm 2 \text{ cm}$.
- Fibra de polipropileno: 900 gr/m^3
- Aditivo reductor de agua: 32 Kg/m^3

La losa se construyó usando una regla vibratoria, y siguiendo todas las operaciones convencionales para la construcción de pavimentos de concreto. Las juntas transversales se construyeron mediante el hincado en el concreto fresco de juntas plásticas de 1" de ancho, espaciadas a 180, 120 y 90 cm según el diseño propuesto para el tramo experimental. Las juntas longitudinales se cortaron al día siguiente con una profundidad de una pulgada; dado que las vialidades tenían un ancho de 3.60 m, los tableros de 180, 120 y 90 cm se formaron mediante uno, dos o tres cortes longitudinales, respectivamente.

En todo el tramo se utilizó una membrana de curado de color blanco con el fin de reflejar los rayos solares y reducir así la cantidad de calor absorbido por la losa de concreto.

3.2.1.3.5 Prueba de carga.

Una semana después de construida la sección del tramo con los tableros instrumentados en su cara inferior, se procedió a colocar los extensómetros en la superficie de los mismos (Figura 41); inmediatamente después de lo cual se realizó la prueba de carga.

La prueba de carga se llevó a cabo cargando cada uno de los tableros instrumentados, utilizando vehículos representativos del tráfico urbano típico. El tráfico urbano se caracterizó mediante los cuatro tipos de vehículos siguientes:

1. Un automóvil;
2. Un camión repartidor de refrescos;
3. Una pipa de PEMEX;
4. Un trailer cargado.

Antes de la prueba cada uno de los vehículos fueron cargados y pesados en una báscula; la secuencia de aplicación de carga fue creciente, empezando con el automóvil y terminando con el Trailer cargado con 32 Ton de cemento. Después de colocar cada vehículo en la posición deseada, se procedió a tomar lecturas de deformaciones unitarias en todos los extensómetros, utilizando un puente digital.

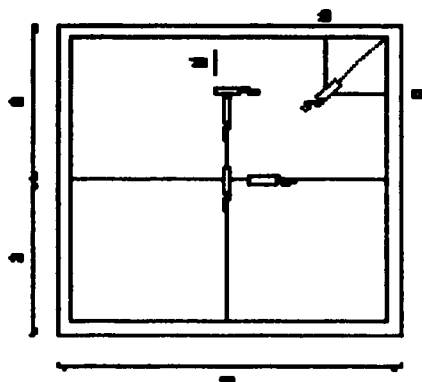


Figura 41A. Lábula I

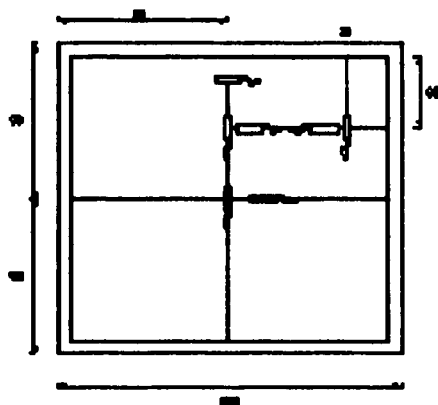


Figura 41B. Lábula II

FIGURA 41. Detalle de los extensómetros.

A continuación se presenta el resumen correspondiente a las deformaciones unitarias máximas a tensión medidas en cada tablero, independientemente de la posición de la carga (Tabla 22). Estos resultados representan la envolvente de los valores máximos que fueron registrados.

TABLA 22. Resumen de resultados.

RESUMEN DE RESULTADOS					
DEFORMACIONES UNITARIAS $E \times 10^{-6}$					
TABLERO	V E H I C U L O S				
	AUTOMÓVIL	REPARTIDOR REFRESCOS	PIPA PEMEX	TRAILER	OBSERVACIONES
I	+ 8	+ 20	+ 30	+ 48	
II	---	---	---	+ 83	
III	---	+ 40	---	+ 70	UN EJE
				+ 70	DOS EJES

Como se observa en la Tabla anterior (Tabla 22), las deformaciones unitarias máximas a tensión producidas en el tablero T I por todos los vehículos, excepto el trailer, fueron relativamente pequeñas; por ello, se decidió modificar el criterio de carga y los tableros T II y T III fueron cargados únicamente con el trailer colocado en diferentes posiciones.

3.2.1.3.6 Análisis e Interpretación de Resultados.

Para poder interpretar los resultados de la Tabla anterior (Tabla 22), en términos de la resistencia potencial de los tableros a la fatiga producida por el paso de los vehículos, se calcularon los esfuerzos de tensión correspondientes; se descartó la alternativa de estimar el Módulo de Young del concreto (E_c) mediante la expresión

recomendada por el Comité de la American Concrete Institute, "Building Code Requirements ACI 318-89", y en cambio se decidió determinar experimentalmente el valor de E_c .

La determinación directa del módulo de elasticidad del concreto en flexión (E_c), se hizo utilizando dos vigas de 15 x 15 x 50 cm fabricadas con la misma mezcla de concreto con que se construyó la sección instrumentada. Cada una de las vigas se instrumentó con dos extensómetros eléctricos, colocados uno en la cara de compresión y otro en la cara de tensión de las mismas; las vigas instrumentadas se sometieron a ensayos de flexión a la misma edad del concreto cuando se realizó la prueba de carga en el campo. De los ensayos de flexión se obtuvieron la relación esfuerzo - deformación y el módulo de ruptura (MR) de cada una de las vigas; los resultados se indican a continuación (Figura 42).

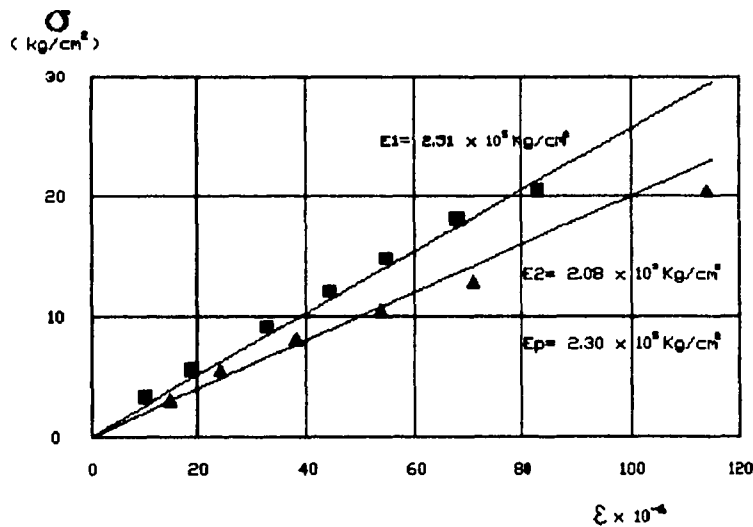
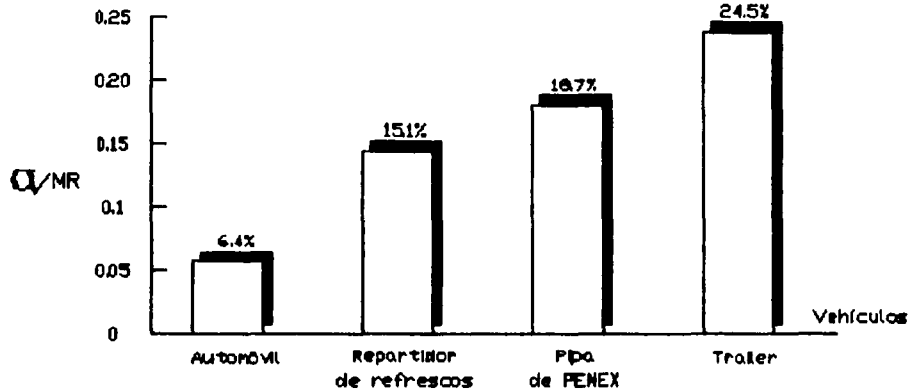


FIGURA 42. Relación esfuerzo - deformación

A una edad de 12 días, el módulo de ruptura promedio del concreto fue de $MR = 29.4 \text{ kg/cm}^2$ y el módulo de elasticidad promedio fue de $E_c = 2.30 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$.

El módulo de ruptura del concreto a una edad de 28 días fue de 48 kg/cm^2 ; sin embargo, para propósitos del análisis de resultados supondremos conservadoramente un módulo de ruptura $MR = 45 \text{ kg/cm}^2$, para tomar en consideración posibles deficiencias constructivas durante el manejo de la mezcla en el campo.

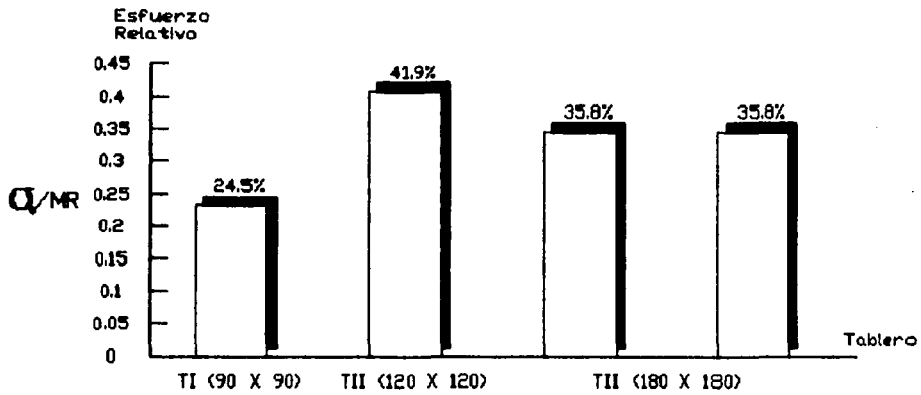
Los esfuerzos de tensión máximos producidos por diferentes vehículos en el tablero TI ($90 \times 90 \text{ cm}$ y espesor $2 \frac{1}{2}''$), expresados como un porcentaje de la resistencia última del concreto a flexión, se muestran a continuación (Figura 43).



Nota: Resistencia estimada a 28 días $MR = 45 \text{ kg/cm}^2$

FIGURA 43. Esfuerzos de tensión máximos en el tablero I

En la (Figura 44) se muestra el esfuerzo relativo máximo en tensión, producido en cada uno de los tableros T I, T II, T III por la carga correspondiente al trailer cargado.



Nota: Resistencia estimada a 28 días $NR = 45 \text{ kg/cm}^2$

FIGURA 44. Esfuerzo relativo máximo en tensión.

En las figuras (45) y (46) se muestran los perfiles de deformaciones unitarias para el tablero T I, cuando este es sometido secuencialmente a las cargas producidas por los cuatro tipos de vehículos

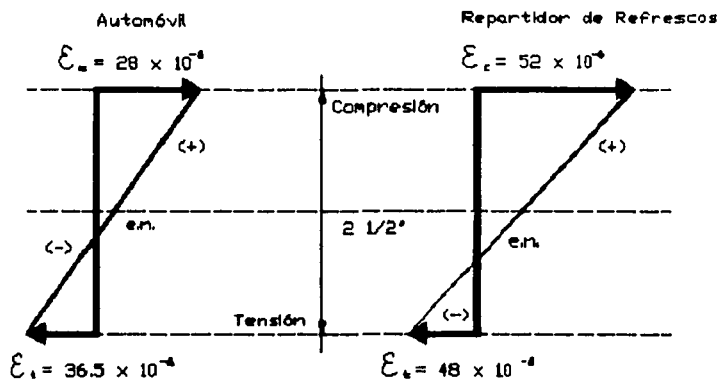


FIGURA 45. Perfil de deformaciones unitarias. Tablero I

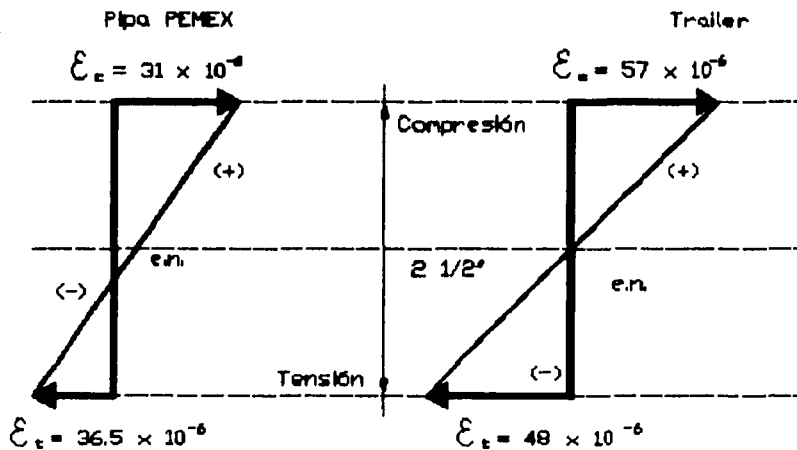


FIGURA 46. Perfil de deformaciones unitarias. Tablero I

Las condiciones de rugosidad inicial y limpieza con que quedó la carpeta asfáltica después del lavado superficial, aparentemente permiten que se desarrolle una adherencia mínima que sí contribuye a reducir los esfuerzos de tensión máximos en el concreto bajo la acción de cargas pequeñas (automóviles); sin embargo, a medida que aumenta el peso de los vehículos (pipa y trailer) esta adherencia parece romperse y es la losa de concreto quien tiene que soportar el estado de esfuerzos producido por los mismos.

Dado que los porcentajes de esfuerzos producidos por cualquiera de los vehículos en los tableros T I, T II y T III son inferiores a 45%, esto es indicativo de que teóricamente cualquiera de ellos puede soportar un número infinito de aplicaciones de cargas. Interpretado lo anterior en términos de durabilidad, puede afirmarse que la losa de concreto tendrá una larga vida útil en excelentes condiciones de servicio y con un costo mínimo de mantenimiento.

3.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN PROYECTOS REALIZADOS EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.

Los resultados que a continuación se presentan tienen la intención de mostrar experiencias efectuadas en el Estado de Chihuahua, los cuales son de gran interés general y muy especial de todas aquellas personas que se encuentran ligadas con el flexocreto.

A continuación se mostrará lo que ha realizado un equipo multidisciplinario compuesto por técnicos de empresas relacionadas con el ramo del concreto, quienes se unieron en coordinación con las autoridades municipales de las ciudades medias.

A partir del año de 1993, se realizaron siete tramos experimentales con la finalidad de buscar alternativas que resuelvan el honeroso gasto que representa el continuo mantenimiento requerido por las calles pavimentadas con asfalto.

El sistema de rehabilitación que se utilizó, se denomina capa de concreto ultradelgada sobre asfalto, conocido como flexocreto. Se partió de las investigaciones realizadas en Louisville, Kentucky acerca del sistema mencionado, cuyas teorías, conclusiones y recomendaciones fueron de gran utilidad. Así se decidió realizar las pruebas en tramos de vialidades que reunieran las características necesarias para llevarlas a cabo.

El sistema consistió en colocar una capa de concreto de cinco a seis centímetros de espesor sobre un pavimento de asfalto deteriorado.

3.2.2.1 ESTUDIOS PRELIMINARES.

En todos los tramos se realizaron pruebas de Mecánica de Suelos y revisiones visuales, para conocer el estado en que se encontraban las carpetas asfálticas y las capas inferiores.

Se encontró una similitud en todos ellos: Las carpetas mostraban una exposición de los agregados pétreos a causa de la oxidación del asfalto; el estado de las bases y sub-bases se encontraron con suficiente grado de compactación y compuestas de material de buena calidad, lo cual permitió la selección de estos tramos para realizar la aplicación del sistema.

3.2.2.2 DISEÑO.

a) Mezcla de concreto.

El diseño de la mezcla lo realizó personal técnico de una concretera local (Concretos Premezclados de Chihuahua, S.A. de C.V.), para el cual se estipuló una resistencia mínima a los 3 días de 250 kg/cm^2 . Esto se especificó para poder abrir la vialidad al tránsito en el menor tiempo posible. La especificación para el revenimiento de la mezcla del concreto se marcó de 16 a 18 centímetros con el fin de poder colocarlo manualmente. Otro requerimiento fue emplear un refuerzo para lo cual se hizo uso de la fibra de polipropileno en una proporción mayor que la habitual para pavimentos de concreto normales.

b) Espesores.

Los espesores de las carpetas ultradelgadas se decidió variarlos de un tramo de prueba a otro para observar su comportamiento. Mientras que en algunos se propuso un espesor promedio de 5 cm, en otros se manejaron espesores de 5.5 y hasta 6.0 cm.

c) Juntas.

Las juntas se diseñaron desde un metro por un metro hasta un metro y medio por un metro y medio.

d) Condiciones de tráfico.

Las condiciones de tráfico de los tramos sometidos a la prueba se tipifican como de bajo volumen, con excepción del tramo de Cd. Juárez.

3.2.2.3 CONSTRUCCIÓN.**a) Trabajos preliminares:**

Se realizaron inspecciones físicas de las carpetas asfálticas para detectar grietas grandes con el fin de sellarlas. A continuación se procedió a limpiar las carpetas con agua y posteriormente se barrió hasta dejar el agregado expuesto de la misma totalmente limpio de tierra y polvo.

b) fabricación del concreto:

Para la fabricación del concreto se adaptó a los recursos de cada municipio, por lo que en algunos se utilizó concreto premezclado mientras que en otros se realizó con revolvedoras de un saco, lógicamente el contenido de cemento fue mayor para aquellas mezclas que no fueron fabricadas con concreto premezclado.

c) Colocación y extendido:

Dado que no se contaba con una máquina extendedora de concreto, se determinó modular las calles en franjas para su fácil colocación según los anchos de las calles. En algunos tramos se extendió el concreto con regla vibratoria a baja oscilación para no segregar el concreto y en otros solamente con regla metálica, facilitando ésta colocación el alto revenimiento con que se diseño el concreto. La cimbra que se utilizó fue metálica en algunos casos y de madera en otros.

d) Texturizado:

Diferentes tipos de texturizado se probaron con la finalidad de observar se desempeño, tales como el escobillado transversal, así como el rastrillado, siendo este último el que mejor apariencia logró.

e) Curado:

Una vez que se llevó a cabo el texturizado, se procedió a curar el concreto a base de una membrana. Este factor fué muy importante ya que en el tramo de Cd. Juárez la temperatura ambiental alcanzo los cuarenta grados centígrados el día de la prueba.

f) Formación de juntas:

Para la formación de las juntas se empleó el método de aserrado. Para algunos tramos se utilizó cortadora con disco de pasta, para lo cual se hizo necesario esperar un tiempo de fraguado final de aproximadamente cinco horas de haber colocado el concreto. Otro método empleado fué el uso de cortadora de disco de diamante de alta revolución, el cual se pudo realizar en el lapso del fraguado inicial que es aproximadamente a las dos horas. Hay que hacer la observación de que la penetración del aserrado en la losa de concreto no era en toda su profundidad, sino que se especificó como un cuarto del espesor de la misma.

En el tramo de Cd. Delicias se dejo sin aserrar una franja en términos de experimentación, de tres metros de ancho por doce metros de largo. En éste tramo hasta la fecha no han aparecido fisuras.

A continuación se proporcionará más información de los siete tramos experimentales con el fin de que se puedan observar sus características de cada uno al mismo tiempo y con esto se posea una idea más amplia de dichos proyectos (Tabla 23).

**TABLA 24. CARACTERÍSTICAS Y DESEMPEÑO DE PROYECTOS EJECUTADOS CON FLEXOCRETO
EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.**

CIUDAD	CALLE	FECHA PROYECTO	TIPO DE TRÁNSITO	ESALS 15 AÑOS	ESALS A LA FECHA	ÁREA (m ²)	ESPESO R (cm)	JUNTAS (m)	EDAD (meses)	DESEMPEÑO
CD. CUAUTÉMOC	C.T.M.	JUL/93	LIGERO LOCAL	26,625	1,322	800	5	1 X 1 Y 1.5 X 1.5	9	EXCELENTE
CD. JUÁREZ	AV. MALECÓN	AGOSTO/93	LIGERO Y CAMIONES PESADOS Y REPARTIDORES	1,565,869	69,180	970	6	1 X 1	8	EXCELENTE
CD. JIMÉNEZ	HIDALGO	SEP/93	LIGEROS, PESADOS TRACTORES AUTOBUSES	96,386	3,722	1560	5	1.3 X 1.45 Y 1.1 X 1.3	7	BUENA
CD. DELICIAS	CALLE 1a OTE.	DIC/93	LIGEROS	121,498	2,681	1200	5.5	1 X 1	3	EXCELENTE
CD. CAMARGO	C. LERDO	ENE/94	LIGEROS	105,565	1,747	910	5	1 X 1	3	EXCELENTE
CD. PARRAL	C. CENTENARIO	FEB/94	LIGEROS Y PESADOS BAJO VOLUMEN	176,734	2,925	1000	5	1 X 1	2	EXCELENTE
NVO. C. GRANDES	C. 2 DE ABRIL	MAR/94	LIGEROS Y PESADOS	32,309	267	1150	5	1 X 1	1.5	EXCELENTE

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 4.

" COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS TRADICIONALES DE REHABILITADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y DEL FLEXOCRETO "

En el presente capítulo se efectuará una comparación entre el método tradicional de rehabilitado de pavimentos flexibles más utilizado en nuestro país como es el uso del asfalto y del flexocreto.

Las comparaciones se realizan con el objetivo de determinar las diferencias en costos y tiempos de ejecución de los diferentes métodos de rehabilitado de pavimentos flexibles.

Este capítulo es de gran interés ya que es de suma importancia hacer del conocimiento a la población que en nuestro país se tienen en cuanto a pavimentos un gran desperdicio de recursos de aproximadamente 7000 - 8000 millones de pesos anuales, en cuanto a la conservación de estos.

Lo cual repercute directamente en el costo del transporte ya que nos cuesta aproximadamente 100000 millones de pesos anuales. Por lo que es necesario encontrar soluciones que nos disminuyan los costos anteriormente citados.

Una información que nos concierne a todos es que a partir de 1998 se tienen proyectados 800 Km adicionales de carreteras de primer orden y ejes principales. Para esto se tienen invertidos 5000 millones de pesos para su conservación. Por lo que es necesario contar con proyectos que satisfagan las necesidades de nuestra población.

De lo cual se establece que resulta necesario contar con proyectos eficaces, ya que es necesario tomar muy en serio el tema de los pavimentos en nuestra ciudad, ya que resulta muy preocupante que la mayoría de nuestras carreteras para ser exacto el 50% cuentan con una calificación de 2.8, siendo la calificación de rechazo de 2.5, lo cual repercute en nuestra apariencia en el ámbito extranjero, repercutiendo de una manera muy notoria en el turismo.

Para efectuar la selección del método de rehabilitado a efectuar es necesario pensar que el desarrollo de una red carretera moderna requiere de soluciones que la fortalezcan. Desde 1993, se ha iniciado un proyecto para promover los pavimentos de concreto hidráulico en la rehabilitación de carreteras como una opción frente a los problemas que aquejan a este sector. A partir de ello ha sido posible derribar los mitos que rodeaban a los pavimentos de concreto hidráulico y que aun persiste en la mente de algunos técnicos mexicanos, como, por ejemplo, su supuesto alto costo de construcción y la complejidad de los procesos involucrados.

Resulta optimo efectuar la comparación de los diferentes métodos de rehabilitado, ya que durante las administraciones en nuestro país, y también en el resto del mundo, han caído por tierra un enorme numero de tabúes, mitos, ideas y conceptos que hasta hace poco años parecían inalterables.

Ejemplo importante de este cambio de mentalidad de los mexicanos lo constituye el nuevo mecanismo de obras de infraestructura concesionadas, destacando por su volumen la concesión de autopistas.

4.1 COSTOS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS.

El objeto de este capítulo es tratar de echar por tierra una serie de falacias que hemos aceptado en el caso de los pavimentos de nuestras calles y carreteras, demostrara que los pavimentos de concreto son una necesidad surgida de la modernización de nuestro país, y que su costo inicial, (y con mayor razón su costo en el ciclo de vida) resulta inferior, o en el peor de los casos igual, al de los viejos pavimentos de asfalto cuando se comparan diseños equivalentes para un mismo volumen de tránsito esperado, para una misma distribución de cargas y para una misma vida útil.

Analizando con todo rigor, se demuestra que el costo de la estructura del pavimento en si es solo una parte muy pequeña, tal vez inferior al 15% del costo inicial, pero que su adecuado diseño para el volumen de tránsito y las cargas esperadas, y para su vida útil, repercute en forma importante no solo en el resto del costo inicial, sino muy significativamente en el costo de mantenimiento y en el costo de operación de la carretera.

En los últimos años, la selección de alternativas para la rehabilitación de pavimentos se ha basado en el análisis de los costos de construcción y de su ciclo de vida.

Su relevancia como herramienta para la toma de decisiones en la inversión de proyectos carreteros, fue demostrada en los estudios llevados a cabo a fines de la década de los 70's en Inglaterra. Estos estudios también demostraron de una manera cuantitativa la importancia que reviste el costo de operación de un vehículo por el deterioro de un camino y su efecto en los niveles de inversión. Sumas relativamente pequeñas invertidas en la conservación adecuada de un camino pueden tener resultados económicos muy favorables para el país.

Para asegurar una apropiada comparación de los pavimentos en aplicaciones concretas, es preciso que los análisis no pongan énfasis en lo excesivo en los costos de construcción, que consideren los costos totales a lo largo de toda la vida útil del pavimento y que comparen diseños estructurales equivalentes. Para estos propósitos, el análisis de costos de ciclo de vida y los sistemas de administración de pavimentos son herramientas que pueden resultar de utilidad. Algunos factores de entorno que influyen en estos estudios son el tamaño de la obra, los esquemas de financiamiento y las tasas de descuento prevaletentes.

4.1.1 COSTOS INICIALES

Este costo el que representa los gastos incurridos para la ejecución de la obra, incluyendo diseño, indemnizaciones por derecho de vía, movimientos de tierra, puentes, obras de drenaje, estructura del pavimento, barreras protectoras, señalamiento e iluminación, etc.

En este caso los costos iniciales son los mismos ya que los pavimentos necesitan ya un sistema de rehabilitado.

4.1.2 COSTOS DEL CICLO DE VIDA

El concepto de ciclo de vida abarca todos los costos que se deben tomar en cuenta al elegir el tipo de construcción de una carretera:

- Costo de construcción.- geometría del camino, diseño del pavimento y drenajes.
- Costo de deterioro y conservación.- tipo de pavimento y de rugosidad.
- Costo del usuario.- costo de operación de los vehículos, consumo de combustibles, composturas, tiempos de recorrido y accidentes.
- Otros costos.- elaboración de proyectos, financiamiento, administración, impacto ambiental, etc.

Dentro de estos últimos, uno de los costos que incide de manera mas fuerte en el costo del ciclo de vida de un pavimento es el costo de operación vehicular. Al respecto, el Instituto Mexicano del Transporte menciona:

“ Para una carretera con 3 mil vehículos diarios en crecimiento concordante con lo usual en México, si 1 representa el costo de construcción en 30 años, 10 representara al de conservación (incluyendo modernizaciones y ampliaciones) y 200 o más, el de operación. ”

Es de hacer notar que en los Estados Unidos se ha glrado una orden ejecutiva a través de la cual todos los proyectos con fondo federal deben ser valorizados bajo este concepto.

4.2 CALIDAD.

En el mundo parece haber consenso de que los pavimentos de concreto hidráulico ofrecen una buena textura superficial al usuario y que sus propiedades ópticas son favorables. Su uso tiende a ser más recomendable mientras mayores sean los volúmenes de tránsito, mayores los pesos por eje de los vehículos pesados y peores las condiciones de los suelos de soporte. Independientemente de ello, la selección de un pavimento esta profundamente condicionada por factores de índole local, como la situación de la mano de obra y los equipos y otros factores de naturaleza no necesariamente técnica.

La selección de buenos bancos de materiales y la consistente provisión de agregados de buena calidad son esenciales, al igual que la preparación de la sección estructural sobre la que se construirá la losa de concreto hidráulico, independientemente de que se trate de construcción nueva o rehabilitación.

Otros aspectos que deben cuidarse para asegurar una buena calidad de los pavimentos son la extensión apropiada del material, para lo que se requiere maquinaria con condiciones adecuadas de peso y potencia, el pre-extendido del material, la preparación de la superficie de apoyo y que el concreto se suministre en condiciones que aseguren su uniformidad. También hay que lograr un buen acabado superficial para atender los requerimientos del usuario y elevar los niveles de seguridad y, sobre todo, formar y disponer de un equipo humano, al nivel de supervisores, operadores y técnicos de la construcción, que tenga la experiencia y el conocimiento para lograr obras de buena calidad. Este personal debe estar respaldado por una buena organización de campo.

En general, las primeras 24 horas de la vida de un pavimento de concreto hidráulico influyen en forma notable en su comportamiento durante su vida útil, por lo que la implantación de un eficaz control de calidad resulta fundamental. En pavimentos, el objetivo del control de calidad es asegurar su consistencia y

uniformidad. El control de calidad se requiere para asegurar una buena construcción y para comprobar que las propiedades de los materiales utilizados cumplen con lo especificado.

En la construcción, controlar la calidad de los pavimentos exige esfuerzos sistemáticos basados en una organización de campo que permita verificar el cumplimiento de las especificaciones de proyecto. En particular, preocupan la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto, así como el espesor del pavimento insitu. Un buen sistema de control de calidad ayuda a eliminar discrepancias entre la autoridad carretera y el contratista. En consecuencia, es esencial un acuerdo mutuo sobre la forma en que se controlara la calidad durante la construcción, para que las partes sepan a qué atenerse.

El control de calidad de los materiales debe orientarse a asegurar la durabilidad del concreto ante la acción de procesos derivados de las condiciones ambientales y de las cargas que actúan sobre él. Debe estar respaldado en una sólida normativa y en un conjunto de especificaciones de proyecto correctas. La validación de las propiedades físico-químicas de los materiales debe hacerse siguiendo pruebas específicas desarrolladas para estos propósitos, mismas que debe efectuar personal especializado. Finalmente, deben implantarse sistemas de seguimiento de las condiciones de los pavimentos en operación, para evaluar su comportamiento y retroalimentar diseños futuros.

En la práctica, existe consenso respecto a que las necesidades de conservación y mantenimiento de pavimentos de concreto hidráulico son menores que las de los pavimentos asfálticos y que en consecuencia son más económicos en este aspecto. Aun así, una buena calidad de construcción influye en forma notable la reducción de las necesidades de mantenimiento para asegurar que las condiciones de operación del pavimento se mantengan favorables durante sus largas vidas útiles.

Afecta la economía en forma muy notoria que en todo proyecto de pavimentos, que a mayor nivel de confianza se eleva el costo y viceversa. Por lo cual es recomendable encontrarnos en un punto que nos permita un ahorro sin permitir una baja en la calidad de nuestro pavimento, es decir el punto óptimo.

4.3 VIDA ÚTIL DEL PROYECTO.

En este aspecto, la evaluación del comportamiento de los pavimentos rehabilitados mediante carpetas ultradelgadas de concreto hidráulico ha resultado muy favorable con respecto a la obtenida por sus similares de asfalto en condiciones iguales de clima, materiales y aplicación de cargas vehiculares.

Por lo que es posible rehabilitar pavimentos asfálticos mediante la construcción de sobrecarpetas de concreto hidráulico, procedimiento conocido como

"flexocreto". Ya que estudios realizados a 48 proyectos en 17 estados de la Unión Americana demostraron las bondades de este sistema al comprobar que el 90% de estos proyectos mantenían una condición de muy buena a buena con una vida de entre 13 y 39 años.

A continuación se muestra los periodos de vida útil de estructuras similares de pavimentos de concreto hidráulico y de asfalto de acuerdo con un análisis realizado en algunos estados de la Unión Americana (Tabla 24).

TABLA 24. Tiempo promedio antes de la primera rehabilitación.

Tiempo promedio antes de la primera rehabilitación		
Fuente	Concreto	Asfalto
Wisconsin	20 – 30	12 - 14*
Minnesota	35	20 (12)**
Kentucky	20	12
New York	20 – 25	10 - 13
Colorado	27	6 - 12
Federal Highway Administration 1985	13 – 30	6 - 20
Federal Highway Administration 1971	25	15

* 25% mas con drenaje adecuado

** con sobrecarpeta de 1 ½ pulgadas a los 12 años y una sobrecarpeta de gran espesor a los 20

En dichos estudios se puede observar que los pavimentos de concreto hidráulico presentan de 1½ a 2 veces mayor vida útil que los pavimentos de asfalto.

Si además se toman en cuenta los factores de tipo económico, como el costo de mantenimiento y el costo del usuario, los pavimentos de concreto hidráulico presentan mayores ventajas.

Estudios realizados en Washington, en los Estados Unidos, muestran que, de acuerdo con las curvas de comportamiento asfalto - concreto y según la condición y el tránsito, la calificación para el asfalto de nueva creación decrece entre 150 a 200% más rápido con respecto a los pavimentos de concreto hidráulico y que, además, las sobrecarpetas de asfalto se deterioran a un ritmo casi 50% más rápido que los pavimentos asfálticos nuevos.

Por su parte, la investigación efectuada por el Departamento de Carreteras del Estado de Ohio acerca del comportamiento de sobrecarpetas de concreto hidráulico en comparación con sobrecarpetas de asfalto para un periodo idéntico de 7 años, demuestra que, aunque en ambos casos no se ha requerido sobrecarpetas, el pavimento de asfalto ha decrecido cerca de un 350% en su calificación de condición con respecto al concreto hidráulico.

En el estado de California, E.U.A., de acuerdo con los estudios realizados en 1989, se demostró que aunque el costo de construcción inicial del asfalto es ligeramente menor que el del concreto hidráulico, el costo final de este último representa mayores beneficios en términos económicos.

Con base en las consideraciones anteriores, la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras (PIARC, por sus siglas en inglés), que involucra a casi todas las entidades gubernamentales en el ámbito mundial a cargo de la construcción y conservación de caminos, presenta cifras similares en los comportamientos entre pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico en muchos países.

4.3.1 MANTENIMIENTO.

Este costo el que refleja todos los gastos incurridos por el responsable del buen funcionamiento de la carretera, (gobierno o concesionario) para lograr que esta mantenga adecuados índices de transitabilidad a lo largo de su vida útil o de la duración de la concesión. Esto es particularmente importante en las carreteras de cuota, para lograr que él público las prefiera. Se considera que el costo de mantenimiento de una carretera a lo largo de su vida útil es más de diez veces superior a su costo inicial de construcción.

4.3.1.1 COSTOS.

Para este punto es necesario ejemplificar con los proyectos realizados en nuestro país.

- Libramiento Ticumán.

En México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, dentro de su programa de nuevas aplicaciones tecnológicas, aprobó la ejecución de un proyecto piloto con objeto de evaluar en la realidad el comportamiento del concreto hidráulico en la rehabilitación de caminos. Con este fin, se decidió construir una sobrecarpeta de concreto hidráulico sobre asfalto (flexocreto) para rehabilitar el pavimento del libramiento Ticumán, en el estado de Morelos, con una extensión de 8.350 km.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para llevar a cabo este proyecto, se procedió a efectuar los estudios necesarios que permitieran determinar la estrategia de diseño de la losa de concreto hidráulico, desde el análisis del tránsito, las condiciones actuales del camino, la calidad de los materiales y el comportamiento esperado a futuro.

El procedimiento de rehabilitación consistió en construir una sobrecarpeta de concreto hidráulico mediante la tecnología de aplicación pertinente con equipos automatizados de cimbra deslizante.

El estudio comparativo de precios entre concreto hidráulico y asfalto, sin considerar los trabajos complementarios, de acuerdo con los precios del tabulador de la SCT, dio como resultado un precio total para el proyecto con asfalto de N\$ 3.2 millones y de \$3.6 millones, para concreto hidráulico; es decir, un costo por kilómetro de \$380 mil en el primer caso y de \$428 mil en el segundo, lo cual arroja una diferencia de 12.7%.

- Tramo Tihuatlan - Poza Rica (La Nacional).

En este proyecto, el cálculo preliminar del costo inicial de construcción del pavimento con concreto hidráulico fue de \$47.0 millones, mientras que en el caso de pavimento asfáltico fue de \$47.8 millones, lo que arrojó una diferencia favorable de al primero de casi 2%. Tal circunstancia favoreció la opción que representaba el pavimento de concreto hidráulico, pero, si se efectúa un análisis del costo de ciclo de vida en este proyecto, se obtendrá un ahorro substancial en los costos de operación y de mantenimiento. Por tal motivo, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el concesionario decidieron llevar a cabo este proyecto con concreto hidráulico.

Es importante observar que incluso si el costo inicial de construcción del pavimento de concreto hidráulico hubiera sido 20% superior al pavimento asfáltico en un proyecto nuevo, los costos totales de construcción del primero se verían impactados en una proporción mínima de + 4%, debido a que el costo del pavimento representa entre el 18% y el 25% del costo total del mismo, por lo que es erróneo considerar que la diferencia en el costo inicial de construcción de carreteras con pavimentos de concreto hidráulico con respecto a aquellas de pavimento asfáltico sea enorme.

- Otros Proyectos.

En la misma situación se encuentran los proyectos de la autopista Cárdenas - Agua Dulce, en el estado de Tabasco, auspiciado por la Asociación de Constructores del Estado de Tabasco, y que tiene una longitud de 84 kilómetros en dos cuerpos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En este caso, el costo inicial de construcción, resulto ser de igual en concreto hidráulico que en asfalto; sin embargo, el bajo costo de conservación del pavimento de concreto hidráulico representa un ahorro substancial en la vida del proyecto.

En el proyecto de construcción de 34 kilómetros en dos cuerpos de la autopista Guadalajara - Tepic, realizada por el grupo ICA, el diferencial por la construcción del pavimento de concreto hidráulico en el costo total de la obra fue de solo 3%.

Otros proyectos de pavimentación que involucran al concreto hidráulico son:

1. La rehabilitación por medio de una carpeta de concreto hidráulico del camino Yautepec - Jojutla (la Nacional), en el estado de Morelos, con una longitud de 32 kilómetros.
2. La construcción del cuerpo nuevo de 38 kilómetros de la autopista Querétaro - San Luis Potosí, en la que el precio promedio por metro cubico de concreto oscilo alrededor de \$360.00.

Cabe mencionar que la SCT tiene en estudios otro proyectos que, por sus características, favorecen la opción del concreto hidráulico.

4.3.1.2 TIEMPOS.

- Libramiento Ticumán.

Con respecto al tiempo de ejecución de los trabajos de pavimentación, en el caso del concreto hidráulico fue de 11 días hábiles mientras que en el caso de la rehabilitación con asfalto, el tiempo requerido ascendía a un mínimo de 45 días hábiles. De lo anterior se desprende que si se toman en consideración los tiempos de construcción en función del costo de operación, es decir, el tiempo perdido por los usuarios durante la ejecución de los trabajos, el resultado obtenido favorece en un 50% al concreto hidráulico.

En virtud de la importancia que revisten los factores considerados en el diseño de pavimentos de concreto hidráulico el proyecto Ticumán quedo como un proyecto piloto de evaluación permanente.

Las evaluaciones periódicas del comportamiento de las juntas, del índice de servicio y de la capacidad estructural a un año cinco meses de haber entrado en operación este camino, demuestran el buen comportamiento del concreto hidráulico y su bajo costo de mantenimiento, a pesar de que él tránsito pesado se ha incrementado notablemente. Los resultados de estos estudios delinean el camino a seguir en las consideraciones de diseños futuros de pavimentos de concreto hidráulico en nuestro país.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Independientemente de la problemática técnico-económico que plantea el uso de pavimentos de concreto hidráulico en cualquier país, en última instancia las decisiones que influyen en su adopción o rechazo son de naturaleza política, por lo que los ingenieros interesados en su promoción y uso tienen que ser capaces de comunicar al público y a los encargados de tomar la decisión de aprobar el proyecto, las ventajas que pueden lograrse al construir pavimentos de concreto.

La situación económica que atraviesa el país obliga a adecuar las políticas de construcción, conservación, rehabilitación de nuestra red carretera mediante la instauración de actividades conjuntas en la propia estructura del sector comunicaciones que permitan aprovechar al máximo los recursos humanos, económicos y materiales de que se disponen.

Es necesario proseguir la búsqueda de esquemas, novedosos de financiamiento, políticas de impuestos, cambios de orden legal y la aplicación de tecnologías de punta que favorezcan el fortalecimiento sostenido de nuestra infraestructura carretera como parte sustancial del desarrollo de nuestro país. Todo ello nos permitirá ser más competitivos ante la total apertura comercial que vive México.

La tecnología de rehabilitado de pavimentos por medio de concreto hidráulico se convierte así en una opción atractiva por el avance de la misma y su desarrollo a futuro, por los bajos costos de conservación, el ahorro de combustible para vehículos pesados, la mayor seguridad y menor costo del usuario; todo esto incide en que el costo para el transporte resulte competitivo y permite planificar las estrategias a largo plazo.

El estudio pretende aportar un nuevo método de rehabilitado a los tradicionales, cambiar la idea de que los pavimentos rígidos tienen un costo muy elevado en comparación con los pavimentos flexibles, mostrar las ventajas que se obtienen con pavimentos de concreto hidráulico al compararlos con los pavimentos de concreto asfáltico. Ya que en la actualidad ya existen más facilidades para producir grandes volúmenes de concreto, debido a que ya casi en toda la República se cuenta con plantas de concreto premezclado.

Se muestra que las superficies de rodamiento de concreto hidráulico son mucho más durables, resisten los cambios de temperatura, no los afectan los derrames de combustibles y sustancias solventes, resisten mejor las cargas que transmiten los transportes de carga actuales, no se deforman en las zonas de frenado y aceleración, su resistencia aumenta con la edad del concreto, se pueden

alcanzar altas resistencias, se puede predecir con certeza su resistencia, la superficie de concreto hidráulico alarga la vida útil de los vehículos, los vehículos contaminan menos y sobre todo se puede apreciar que los costos finales son inferiores a los de las carpetas de concreto asfáltico.

Se aportan las siguientes recomendaciones como las mas importantes para asegurar tramos exitoso con el uso del flexocreto.

- a) Efectuar los estudios de calidad y características de la estructura existente para poder aceptar o rechazar la colocación de las capas ultradelgadas de concreto hidráulico.
- b) Utilizar en la medida que se pueda, el concreto premezclado para asegurar una buena calidad de las capas ultradelgadas de concreto.
- c) Asegurarse de que la carpeta asfáltica existente se encuentre limpia de materia extraña y contaminantes, tales como: polvo, tierra, pintura y aceites entre otros.
- d) Se deberá asegurarse que la superficie de asfalto esté a una temperatura tal que no le absorba humedad al concreto.
- e) Es importante que la profundidad del aserrado tenga cuando menos un cuarto del espesor de la capa ultradelgada de concreto.
- f) En general se deberá tomar en cuenta todas las precauciones necesarias que se llevan a cabo en la construcción de pavimentos de concreto convencionales.

Una ventaja también muy importante de los pavimentos de concreto hidráulico es su color. Por su color gris claro, casi blanco, la intensidad de iluminación nocturna requerida en las intersecciones y en los estacionamientos y calles pavimentadas con este material, es mucho menor que la que se requiere para brindar la misma luminosidad cuando los pavimentos son negros, como ocurre con el asfalto. Esto representa un ahorro considerable de energía eléctrica en las ciudades y en los centros comerciales, y al final de cuentas es un ahorro para el país.

Debido a lo anteriormente citado seria recomendable que la Secretaria de Comunicaciones y Transportes incluya en sus convocatorias las opciones de concreto hidráulico y asfalto para construcción y rehabilitación de las carreteras y autopistas del país, lo que permitiría optar por la solución que resultara más favorable de acuerdo con el costo del ciclo de vida de cada una de ellas.

BIBLIOGRAFÍA:

- Barnard, D.P.
Ultra - Thin Whitetopping.
American Concrete Pavement Association.
- Gómez Domínguez, Jorge.
Pavimentos de Concreto sobre asfalto.
México, D.F.
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Kraemer, Carlos.
Situación actual y perspectivas de los pavimentos de concreto.
Madrid, España.
Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones.
- Martínez Argüello, Luis.
Pavimentos Rígidos: una experiencia en México.
México, D.F.
Cementos Mexicanos.
- Nieto, José Antonio.
Mitos y Realidades de los Pavimentos de Concreto.
México, D.F.
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
- Salazar Rodríguez, Aurelio.
Sobrecapas de Concreto. (Criterios de diseño y Construcción).
México, D.F.
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Salcedo Guerrero, Marco A.
Rehabilitación de pavimentos flexibles mediante losas delgadas de concreto.
Resultados experimentales. (3er. Congreso Nacional del Concreto).
México, D.F.
Cementos Mexicanos.
1997.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN