



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“PROCESO CONSTRUCTIVO PARA EL
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y
CORRECTIVO DE LOS EJES VIALES Y DE LA
RED PRIMARIA DE LA CIUDAD DE MÉXICO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N:

QUINTERO CAMPOS DAVID SEVERIANO

VERTIZ VERTIZ JULIAN

DIRECTOR DE TESIS::

ING. CARLOS M. CHAVARRI MALDONADO



MÉXICO, D.F.

ABRIL 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A mi adorada madre, Ma. Del Pilar Vertiz, ya que con tu cariño, apoyo, esfuerzo y aliento, es posible este logro; por ello, este trabajo te lo dedico a ti.

A mi tío Miguel Vertiz (que sabes que eres más que eso), ya que por tus consejos y constante apoyo, ahora puedes ver alcanzada esta meta.

A Luis A. Vertiz, que desde el comienzo de mis estudios me apoyaste para encontrar soluciones a las cosas y por abrirme los ojos, para ver ahora los frutos de tu ayuda.

A mi compañera Noemí, que con tú apoyo y constante motivación, me impulsas para continuar creciendo día a día.

A mi pequeño Alexis Uriel, que con tu inocencia, alegría, cariño y ternura, me recuerdas que este es solo un paso más en esta vida que nos queda por delante.

Al Ing. Carlos M. Chavarri Maldonado, por confiar en mí y por brindarme la oportunidad de comenzar a desarrollarme como profesionista, además de su ayuda y paciencia para el desarrollo de está tesis.

A todos mis amigos, con los que compartí presiones, angustias y apuros; pero que al final logramos reflejar nuestro esfuerzo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Facultad de Ingeniería, que a través de sus profesores me brindaron los conocimientos y las bases para poder desarrollarme en el campo laboral.

Julian Vertiz Vertiz

DEDICATORIA

Esta tesis esta dedicada a mis padres Guillermo Quintero y Alicia Campos por haberme brindado todo el apoyo para poder lograr este éxito, ya que de no haber sido por ustedes no habría alcanzado este meta.

Se que nunca podré agradecerles todo el apoyo que me dieron y aunque estaré eternamente agradecido, siempre tratare de darles las mejores satisfacciones, por que verán que su esfuerzo no fue en vano.

Agradezco a mis hermanos Memo, Liz y Juan Carlos por estar siempre conmigo y por haber creído en mi.

Agradezco al Ingeniero Carlos Manuel Chavarri Maldonado por la formación profesional que me brindo y por su gran apoyo para la realización de este trabajo.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ingeniería y a mis maestros por todas sus enseñanzas que me dieron, además les doy gracias por todos sus consejos y experiencias, para poderme desarrollar profesionalmente como ingeniero civil.

David Severiano Quintero Campos

ÍNDICE		Página
INTRODUCCIÓN.....		1
I. PROCESO DE LICITACIÓN, SISTEMA DE CONTROL DE PAVIMENTOS Y SU EVALUACIÓN.....		3
• Conceptos básicos del índice de condición del pavimento.....		13
• Identificación de defectos en los pavimentos asfálticos.....		15
II. DISEÑO DE ESPESORES PARA EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE CARPETAS ASFÁLTICAS.....		31
Técnicas de rehabilitación de pavimentos asfálticos.....		32
Métodos de diseño		
➤ Diseño de recubrimientos para pavimentos de estructura asfáltica.....		39
➤ Diseño de recubrimientos por análisis de componentes.....		39
➤ Diseño de espesores por análisis de la deflexión.....		47
III. COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA Y DISEÑO DE MEZCLAS.....		52
• Componentes de una mezcla asfáltica.....		53
Asfalto.....		53
➤ Definición de asfalto.....		53
➤ Obtención de asfalto.....		54
➤ Comportamiento del asfalto.....		54
➤ Principales pruebas para determinar las propiedades físicas de los cementos asfálticos.....		55
• Peso específico		
• Solubilidad tricloroetileno		
• Punto de inflamación		
• Punto de reblandecimiento		
• Penetración a 25° c		
• Ductilidad a 25° c		
• Viscosidad saybol furol		
➤ Mejoramiento de las propiedades del asfalto.....		56
• Aditivos para asfalto y modificadores.....		56
• Adhesión entre agregado y asfalto.....		58
• Ventajas sobre el uso de aditivos.....		60
Emulsión asfáltica.....		62
Agregados.....		63
➤ Clasificación de agregados.....		63
➤ Fuente de agregado.....		65
➤ Propiedades del agregado y su evaluación.....		70
• Graduación y tamaño máximo de la partícula.....		70
• Granulometría del agregado.....		71
• Calculo de peso específico relativo.....		75
• Limpieza, dureza y forma de la partícula.....		76
• Textura superficial y capacidad de absorción.....		77

• Afinidad con el asfalto.....	78
• Diseño y características que se deben cumplir en la elaboración de una mezcla asfáltica.....	78
Diseño de mezclas por el método Marshall.....	82
Diseño de mezclas recicladas.....	84
IV. TIPOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS.....	86
• Mezclas asfálticas en frío.....	87
• Mezclas asfálticas en caliente.....	89
• Mezcla reciclada.....	90
➤ Reciclado in situ en frío.....	93
➤ Reciclado in situ en caliente.....	93
➤ Reciclado en plantas en frío.....	94
➤ Reciclado en planta en caliente.....	95
V. PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE CARPETAS ASFÁLTICAS.....	96
• Análisis de procedimientos para el rehabilitado de pavimentos de concreto asfáltico.....	97
a) Fresado total de la superficie y restitución de la carpeta Asfáltica.....	97
b) Fresado parcial, bacheo, tendido de carpeta y sello a base de carpeta de textura abierta.....	101
c) Bacheo parcial y colocación de sobre carpeta de 5.0 a 7.5 cm.....	103
d) Trabajos de reciclados de carpetas asfálticas in sitio.....	104
e) Trabajos de reciclados en planta de asfalto.....	104
• Procesos de supervisión y control de calidad.....	105
• Señalamiento.....	108
VI. CONCLUSIONES.....	110
BIBLIOGRAFÍA.....	111

INTRODUCCIÓN

Esta tesis se realizó con la finalidad de apoyar al ingeniero civil en la realización de los procesos constructivos preventivos y correctivos, para el mantenimiento de los ejes viales y la red primaria de la Ciudad de México; brindándole al ingeniero civil los conocimientos, las herramientas, y las técnicas necesarias para llevar a cabo estos trabajos satisfactoriamente.

En el primer capítulo se describe el proceso de control de pavimentos y su evaluación; haciendo énfasis en los conceptos básicos del índice de condición de un pavimento, es decir, se describe el proceso mediante el cual se le da prioridad de rehabilitación a las avenidas en condiciones mas severas, además de darse la descripción e identificación de los diferentes tipos de fallas en los pavimentos, así como las causas a las cuales se atribuye el tipo de falla del pavimento; esto con el fin de que el pavimento se mantenga funcionando lo más cerca posible a las condiciones iniciales de construcción.

En el segundo capítulo se describen los métodos y las técnicas que se emplean para el diseño de espesores de sobrecarpetas asfálticas, ya que los espesores de sobrecarpetas están en función de diferentes parámetros como son: las cargas de tránsito, el clima o medio y las características de los materiales. En este capítulo se describen dos métodos diferentes para el diseño de espesores de sobrecarpetas, los cuales se ejemplifican para tener una mejor comprensión de los mismos.

Teniendo un panorama de lo que es el diseño de espesores de sobrecarpeta y su importancia, se aborda el capítulo tres, en el cual se describen los componentes de una mezcla asfáltica como son el asfalto y los agregados. Cabe aclarar que el éxito de tener una buena sobrecarpeta repercute ampliamente en los agregados; ya que alrededor del 90 % de una mezcla asfáltica, esta constituida de material pétreo, es por esto que se describen métodos para la mejor selección de agregados, sus propiedades, su clasificación, sus características, así como la fuente del agregado y su evaluación. Para este capítulo se describe la metodología de evaluación de cementos asfálticos, el mejoramiento de sus propiedades, y su afinidad con los agregados pétreos. Además se mencionan los tipos de emulsiones asfálticas que se emplean en la elaboración de

carpetas asfálticas. En este capítulo se describe el método Marshall, el cual se usa para el diseño de mezclas asfálticas; ya que es sumamente importante conocer las dosificaciones adecuadas entre asfalto y agregados.

En el capítulo cuatro se describen los principales tipos de carpetas asfálticas que se utilizan en la Ciudad de México, como son: mezclas asfálticas en frío, mezclas asfálticas en caliente y mezclas recicladas. Para estas últimas se mencionan los diferentes tipos de mezclas recicladas como son: reciclado en sitio en frío, reciclado en sitio en caliente, reciclado en planta en frío y reciclado en planta en caliente.

En el último capítulo se describen las actividades que se realizan durante la etapa del mantenimiento preventivo, cuya finalidad es conservar las condiciones presentes y extender la vida del pavimento; dentro de esta categoría se incluye la aplicación de capas de sello, mantenimiento de drenajes, etc. Además se presenta el mantenimiento correctivo que comprende todas las actividades llevadas a cabo para corregir daños o defectos en el pavimento, con la finalidad de conservarlo en condiciones aceptables de servicio; en esta categoría se incluyen trabajos de bacheo, tratamientos superficiales y sobrecarpetas.

Se analizan los diferentes procedimientos para el rehabilitado de pavimentos de concreto asfáltico, como pueden ser fresado total y parcial de la superficie del pavimento.

Como último punto, se describe el proceso constructivo más usual que se utiliza para la repavimentación de carpetas asfálticas, así como su supervisión y control de calidad de la misma. Cabe mencionar que las conclusiones y recomendaciones que se proponen en esta tesis, solo son un punto de vista personal y que cada quien debe formularlo a través de su experiencia.

CAPITULO I

PROCESO DE LICITACIÓN, SISTEMA DE CONTROL DE PAVIMENTOS Y SU EVALUACIÓN.

MANTENIMIENTO VIAL

El mantenimiento vial también puede llamarse "gestión de la conservación vial". Es un amplio conjunto de acciones destinadas a preservar a largo plazo la condición de las carreteras y el servicio que prestan. La conservación procura asegurar, al menor costo posible, el funcionamiento adecuado de la red vial, permitiendo costos razonables de operación vehicular.

OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO VIAL

- El objetivo general de la conservación vial es evitar, al máximo posible, la pérdida innecesaria del capital ya invertido, mediante la protección física de la estructura del camino y del derecho de vía.
- El objetivo específico es evitar la destrucción de toda o partes de la estructura de las diferentes carreteras que conforman la red vial y que conlleve a una rehabilitación o reconstrucción anticipada.
- El objetivo del país, es dar un salto de calidad en cuanto al mantenimiento planificado y eficiente.

El Gobierno del Distrito Federal (GDF), a través de la Dirección General de Obras Públicas (D.G.O.P.) y de la Secretaría de Obras y Servicios (SOS), realiza el "Diagnóstico y Establecimiento de un Sistema de Control y Evaluación de Pavimentos para la Red Vial Primaria del Distrito Federal"; para elaborar estos estudios, se realizan dos grupos de actividades, las cuales son:

- Elaboración del diagnóstico de la red vial primaria, utilizando equipo especializado y mediante parámetros del índice internacional de irregularidad superficial (IAI), evaluación estructural no destructiva y módulos de elasticidad a partir de datos de desplazamientos verticales en la superficie de rodamiento
- Implantación, desarrollo y puesta en operación de un Sistema de Evaluación y Control de Pavimentos (SCEP) para facilitar su identificación.

PRINCIPALES ACTIVIDADES DEL SCEP

Para efectos del estudio, se utilizan de manera intercambiable los términos Sistema de Administración de Pavimentos (SAP) y Sistema de Control y Evaluación de Pavimentos, puesto que ambos se apoyan en los mismos principios. Estos sistemas permiten el manejo adecuado y la optimización de los recursos disponibles, con base en actividades periódicas de inspección de la infraestructura vial.

La DGOP realiza los siguientes estudios que tienen como finalidad los siguientes alcances:

1. *Planeación final del Estudio.* Confirmación de alcances y establecimiento de los criterios fundamentales que regirán la ejecución del estudio.
2. *Recopilación y ordenamiento de la información existente.* Estos datos son aprovechados en las actividades subsecuentes de la implantación del SCEP y del diagnóstico.
3. *Proyecto y desarrollo del SCEP.* En esta actividad, se establecen los lineamientos básicos de este sistema.
4. *Desarrollo del programa de cómputo para análisis del SCEP.* Por medio de esta herramienta se efectúan la mayor parte de los análisis requeridos en el SCEP; asimismo, a través de este programa de cómputo también se realiza el manejo del banco de datos del SCEP.
5. *Almacenamiento de información en el banco de datos del SCEP.* Esta actividad comienza paralelamente con el Diagnóstico y para la misma se utilizan inicialmente programas temporales para almacenamiento de datos.
6. *Integración del Sistema de Información Geográfica (SIG).* A pesar de que en los términos de referencia originales de un estudio no se incluye la incorporación de un SRI, se considera conveniente integrar dicho sistema al programa de cómputo para análisis del SCEP. De esta manera, se logra mejorar significativamente la representación gráfica de datos y resultados diversos del SCEP.

7. *Generación de resultados de la implantación inicial del SCEP.* Estos resultados son obtenidos del análisis de la información recopilada en el Diagnóstico.

8. *Evaluación integral del esquema actual de control y evaluación de pavimentos, así como propuesta de medidas de fortalecimiento institucional.* Con base en el marco institucional actual de la DGOP en materia de pavimentos y las necesidades específicas del SCEP, se proponen una serie de acciones para fortalecer a la Unidad Departamental de Mantenimiento de la Subdirección de Pavimentos de la DGOP.

OBJETIVOS DEL SCEP Y DEL SAP

El objetivo principal del SCEP es lograr una mejor aplicación de los fondos disponibles para trabajos de conservación, rehabilitación y reconstrucción de pavimentos.

El objetivo principal del SAP es la realización de las actividades de planeación y programación de la inversión de recursos, estableciendo prioridades entre todos los tramos de la red vial y tomando en cuenta los costos totales para la dependencia a cargo del manejo de los pavimentos y los costos del usuario (costos de operación vehicular, principalmente). Mediante estos sistemas se puede analizar un sinnúmero de escenarios de estrategias de inversión, obteniendo los principales indicadores de cada una de las evaluaciones económicas realizadas; de esta manera, se puede estimar, entre otros aspectos, la depreciación de la infraestructura vial cuando se demoran las acciones requeridas o cuando éstas no se realizan en forma oportuna.

En una red vial dada, un SAP tiene como objetivo principal la coordinación eficiente de todas las actividades relacionadas con la planeación, el proyecto, la construcción, la conservación, la rehabilitación, la reconstrucción, la evaluación y la investigación de pavimentos.

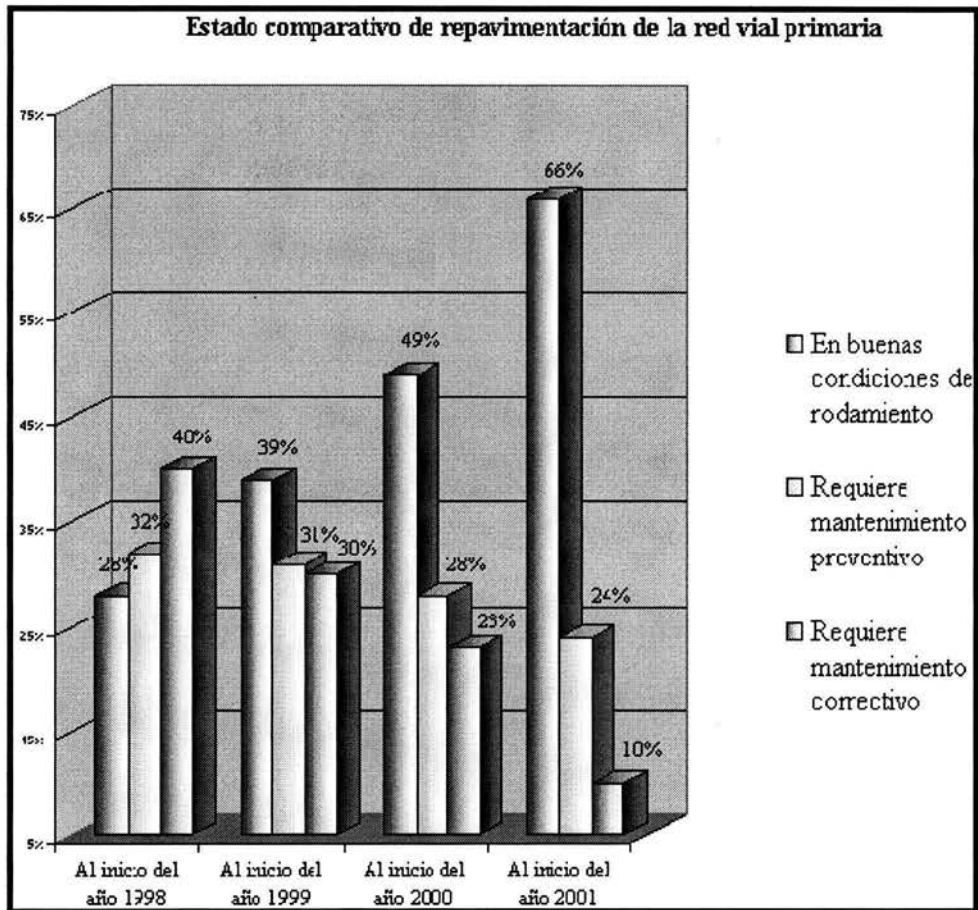
La implantación de un SAP permite optimizar los recursos disponibles en los organismos públicos a cargo del manejo de los pavimentos de una red vial. Desde el

punto de vista del usuario, un SAP tiene como fin primordial garantizar la circulación de los vehículos en forma segura, económica y cómoda.

En el ámbito internacional, los Sistemas de Administración de Pavimentos son considerados como la herramienta más eficiente para la administración y la programación de todas las actividades relacionadas con el manejo de esta parte de la infraestructura vial. Estos sistemas son utilizados por las dependencias a cargo de la construcción, de la operación y de la conservación de pavimentos de redes viales urbanas o de carreteras.

En un SAP normalmente se distinguen dos niveles: red y tramo. En el nivel de red generalmente se efectúan todas las actividades de programación, planeación y distribución del presupuesto, las cuales están a cargo del personal directivo responsable de la administración. Con base en los datos existentes de todos los tramos de la red vial, se define la mejor estrategia de conservación rutinaria, rehabilitación y reconstrucción de los pavimentos existentes, asignando prioridades entre ellos y teniendo como restricción el presupuesto total disponible. Una vez seleccionado un tramo, en éste se efectúan actividades detalladas de evaluación y proyecto, antes de llevar a cabo la medida requerida para mejorar el estado del pavimento. Mediante ciclos de retroalimentación se establece un enlace dinámico entre los dos niveles (red y tramo) de un SAP.

Gracias a la instrumentación del sistema de control y evaluación de pavimentos y de la intensificación en las acciones de repavimentación, se ha logrado tener, aproximadamente, el 66% de la red primaria en condiciones de rodamiento. Los tramos que requieren mantenimiento correctivo han bajado del 40% al 10% y los que requieren mantenimiento preventivo de 32% a 24%, según información de la Dirección General de Obras Públicas, que se puede ver en la gráfica de comparativo de repavimentación de la red vial.



NIVEL DE RED VIAL DE UN SAP

En este nivel es normal que se obtengan solamente datos básicos de cada uno de los tramos de la red vial, con el fin de establecer prioridades de acciones de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de los pavimentos existentes, así como de construcción de nuevos pavimentos.

En general, en el nivel de red vial de un SAP se determinan las necesidades de presupuesto de la dependencia a cargo del mantenimiento vial, en el corto y largo plazo, tomando en cuenta el estado actual y pronosticado de los pavimentos; de esta manera, se identifican los proyectos a nivel tramo vial que son candidatos potenciales para la implantación de una medida específica y la realización de actividades más detalladas. De acuerdo con criterios preestablecidos, los cuales varían de organismo a organismo, se establecen prioridades entre todos los tramos viales que "compiten" por una parte del presupuesto disponible.

Con el fin de que se puedan tomar decisiones eficaces para la distribución del presupuesto asignado a los organismos públicos a cargo del manejo de la red vial a lo largo de un período dado, es necesario considerar todos los tramos viales que constituyen la red vial y la restricción del presupuesto máximo disponible. En este proceso, también se consideran aquellos tramos viales que deberán ser construidos e incorporados a la red vial existente.

Los principales datos utilizados para establecer la condición actual de los pavimentos se obtienen de evaluaciones de diversos tipos; en el caso del SCEP, para los niveles de red y tramo vial se utilizan las evaluaciones siguientes:

1. Irregularidad superficial del pavimento.
2. Inspección visual del deterioro superficial del pavimento.

En general, estos dos tipos de evaluación son los más empleados a nivel red vial. Sin embargo, a medida de que se aplican más acciones en tramos viales, normalmente se genera información sobre la evaluación estructural del pavimento, la cual se puede almacenar en el banco de datos del SCEP. De esta manera, se va disponiendo gradualmente de más elementos para hacer más eficiente el proceso de selección de tramos viales.

Por medio de métodos propios de cada dependencia y con base en la información recopilada, se asignan prioridades de aplicación de medidas entre todos los tramos de la red vial.

Los costos considerados en la evaluación económica son comúnmente de dos tipos: de la dependencia a cargo de los pavimentos y del usuario. Los resultados obtenidos de la evaluación económica a menudo son utilizados en el establecimiento de prioridades, ordenando los tramos viales de acuerdo con los beneficios esperados o los parámetros económicos del análisis del ciclo de vida del pavimento. En el ordenamiento también se pueden tomar en cuenta factores externos, tales como las decisiones políticas.

EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

La evaluación de pavimentos comprende la evaluación estructural y superficial del pavimento. Esta información constituye subsidios fundamentales para proyectos de restauración de pavimentos, sistemas de gerencia de pavimentos, plan de mantenimiento y diagnóstico de fallas precoces en pavimentos.

La evaluación estructural se puede hacer por procesos destructivos (sondeos y ensayos de laboratorio) o preferentemente, por procesos no destructivos. En esta última línea la Dirección General de Obras Publicas del Distrito Federal cuenta con un deflectómetro (falling weight deflectometer - FWD), con el cual se han efectuado extensas campañas en varios estados del país. El aparato permite la adquisición automática de deflexiones a través de 7 sensores, bajo la acción de una carga de impacto aplicada en placa circular metálica. El pulso de carga generado permite simular, con buena aproximación, el efecto del paso de una carga de carretera dinámica. La interpretación de deformaciones se realiza en oficinas, con uso de software específico, permitiendo la evaluación de los módulos elásticos para las condiciones reales de campo, subsidiando la división en segmentos de conducta homogénea, el dimensionamiento de refuerzos y la evaluación de las condiciones estructurales.



USO DE SOFTWARE EN CAMPO

La evaluación de las condiciones de superficie trata de identificar defectos existentes, proceder al catastro e interpretar los resultados obtenidos. Una de las opciones es la de la realización de un inventario donde un evaluador, caminando sobre el pavimento, anote en planillas o vía colector de datos, los defectos existentes en áreas seleccionadas como muestras. Otra alternativa disponible es hacer el recorrido en un vehículo en velocidad lenta, y el registro vía teclado de todos los eventos visibles, constituyendo un inventario visual continuo.

EQUIPO PARA LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

GRIP TESTER

Las condiciones de seguridad de los pavimentos están bastante vinculadas a la interacción entre los neumáticos y la superficie de rodamiento, representadas por la adherencia o, en último caso, por el coeficiente longitudinal. Para evaluar este parámetro se dispone de un equipamiento de fabricación escocesa denominado Grip Tester, donde una rueda de prueba entra en contacto con la superficie del pavimento, bajo condiciones controladas de película de agua. Mientras el vehículo se desplaza de 50 a 80 km/h, se imponen frenadas a cada 10 m, midiéndose los esfuerzos horizontal y vertical en el eje que sustenta la rueda prueba. A partir de estos esfuerzos se evalúa el coeficiente de atrito longitudinal. El procedimiento permite identificar áreas críticas respecto al derrape y monitorear la variación de la adherencia a lo largo del tiempo.



GRIP TESTER

PERFILÓMETRO SUPERFICIAL

La medición del perfil longitudinal esta basado en el método South Dakota. Un acelerómetro es usado para obtener el movimiento vertical del vehículo y un sensor láser es usado para medir el desplazamiento relativo entre el vehículo y la superficie del pavimento.

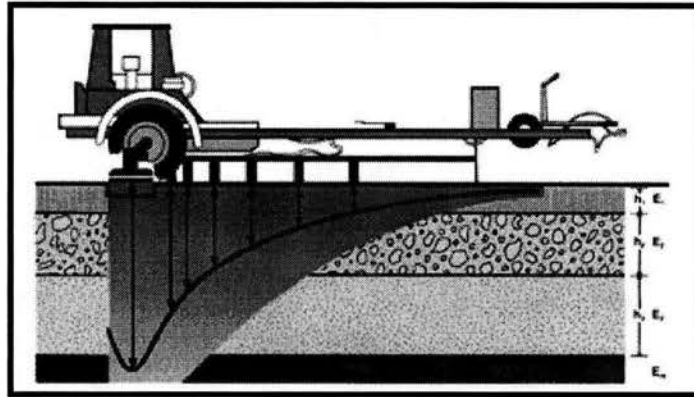
Las mediciones del perfil son obtenidas entonces al sumar el movimiento del vehículo con el desplazamiento entre el vehículo y la superficie.

El perfil transversal y/o el ahuellamiento son medidos por un mínimo de 3 y hasta un máximo de 21. Se puede agregar un IMS (sensor de movimiento inercial) para poder medir la pendiente transversal, el ángulo y la curvatura.



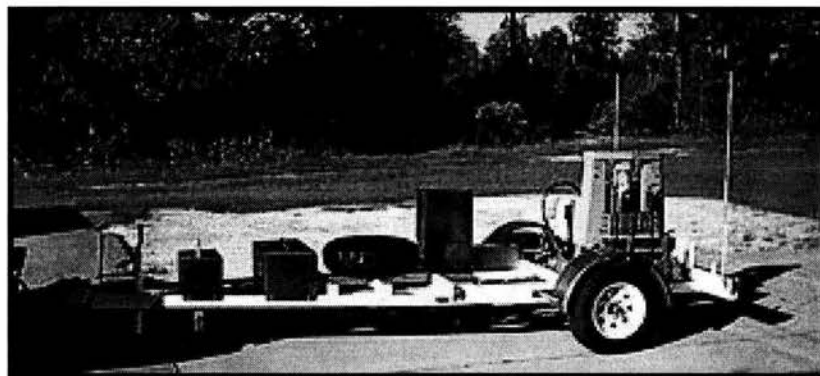
DEFLECTÓMETRO (Falling Weight Deflectometer: FWD)

El uso de un deflectómetro permite al ingeniero determinar la cuenca de deflexión causada por una carga controlada, con una exactitud y resolución superior a los otros métodos de ensayo existentes. El deflectómetro produce una carga de impulso dinámico la cual simula la carga de una rueda en movimiento en lugar de una carga estática, semi-estática o vibratoria. Estos avances permiten el uso de métodos mecánicos para el análisis de los datos obtenidos por medio del deflectómetro.



SIMULACIÓN DE CARGAS EN EL DEFLECTÓMETRO

Los datos generados con los equipos FWD/HWD, combinados con los espesores de las capas, pueden ser usados con confianza para obtener los módulos de elasticidad in-situ, de la estructura de un pavimento.



DEFLECTOMETRO CONVENCIONAL

CONCEPTOS BÁSICOS DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

En general, el grado de deterioro de un pavimento es función del tipo de defecto observado, de su severidad y de su densidad (o área afectada de pavimento). Con el fin de obtener información confiable, objetiva y reproducible sobre el deterioro superficial de los pavimentos, se desarrolló el concepto del Índice de la Condición del Pavimento ó ICP. El ICP es un índice numérico que varía de 0, para un "pavimento" completamente destruido, hasta 100, para un pavimento en estado perfecto; este índice corresponde a la calificación de la condición del pavimento, desde el punto de vista de los defectos superficiales observados. El ICP puede ser aplicado en pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico. Una importante ventaja de la utilización del ICP,

sobre otras formas de presentación de resúmenes del deterioro superficial, radica en la fácil interpretación de los resultados en forma gráfica; esto no se puede lograr con la mayoría de los métodos disponibles, puesto que no emplean índices.

El concepto del ICP surgió durante el desarrollo del Sistema de Administración del Mantenimiento de Pavimentos, conocido actualmente en la comunidad internacional como *PAVER*. Este enfoque es relativamente nuevo y ha sido utilizado exitosamente en sistemas de administración de pavimentos actualmente en operación en los E.U.A. y en otros países.

Como una modificación al sistema original *PAVER*, en el SCEP se decidió recolectar la información global de un tramo-cuerpo completo, en vez de seleccionar varias unidades de muestreo y registrar los datos de deterioro para cada una de ellas. Asimismo, la densidad de un defecto se obtiene a partir de la apreciación del inspector sobre el área aproximada de pavimento afectada por el mismo. Para fines prácticos y solamente en el nivel de red vial, se considera adecuada esta simplificación para el SCEP.

DEFECTOS RECOPIRADOS

En el procedimiento propuesto para el SCEP, se recopila una serie de defectos de los pavimentos asfálticos; los diferentes tipos de deterioro observados durante la inspección visual se registran en una forma especialmente proyectada para este fin.

Los defectos considerados para los pavimentos asfálticos son los siguientes:

1. Agrietamiento de piel de cocodrilo.
2. Exudación de asfalto.
3. Agrietamiento con patrón de mapa.
4. Bordo o depresión localizados.
5. Ondulaciones transversales.
6. Depresión por asentamiento.
7. Agrietamiento en la orilla.
8. Grietas de reflexión.
9. Acotamiento en desnivel.
10. Grietas longitudinales y transversales.
11. Baches o cortes reparados en el pavimento.
12. Textura lisa.
13. Baches abiertos.
14. Roderas.
15. Corrimientos en la carpeta.
16. Agrietamiento por deslizamiento.
17. Levantamiento por expansión.
18. Desgaste o erosión.

FORMA PARA EL REGISTRO DE LOS DATOS DEL DETERIORO SUPERFICIAL

Esta información se anota en una forma del SCEP denominada forma para el registro por tramo-cuerpo de los datos de la inspección visual del deterioro superficial del pavimento. Además de los datos básicos de identificación del tramo-cuerpo, para cada defecto existente se debe registrar el porcentaje de área afectada.

CALCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (ICP)

Una vez almacenados los datos del deterioro del pavimento de un tramo-cuerpo, el programa de cómputo para análisis del SCEP calcula el valor del ICP correspondiente. De esta manera el usuario es liberado de todos los cálculos tediosos que se requieren para determinarlo manualmente el ICP.

IDENTIFICACIÓN DE DEFECTOS EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

A continuación se explica, la cuantificación de los defectos considerados para los pavimentos asfálticos en el SCEP. Sin embargo, primeramente se presentan aclaraciones sobre las dudas más frecuentes que surgen durante la recopilación de los datos de deterioro superficial:

- Cuando el agrietamiento con patrón de piel de cocodrilo y las roderas ocurren en la misma zona, cada defecto se registra por separado con su respectiva severidad.
- En caso de que se registre la exudación de asfalto, no se deberá anotar la información sobre textura lisa que corresponda a la misma zona.
- Los bordos y las depresiones localizados se cuantifican en función del área de pavimento afectada.
- Si se presenta agrietamiento en el lomo de un bordo, las grietas y los bordos se registran por separado.

- Cuando se detecte algún defecto en una zona reparada del pavimento, tal como agrietamiento o bache abierto, éste no deberá ser identificado por separado. Sin embargo, su efecto se tomará en cuenta al determinar la severidad global de los defectos en la zona reparada.
- El defecto de textura lisa se deberá registrar solamente cuando exista una gran proporción de agregados pétreos pulidos.

Para considerar adecuadamente cada uno de los defectos de los pavimentos asfálticos, se requiere que el inspector desarrolle sus propios criterios de cuantificación, con los cuales deberá estar completamente familiarizado.

1. AGRIETAMIENTO CON PATRÓN DE PIEL DE COCODRILO

Este defecto, también conocido como agrietamiento por fatiga, consiste en una serie de grietas interconectadas y que se originan por la fatiga del concreto asfáltico bajo la repetición de cargas vehiculares. Las grietas se empiezan a formar en la parte inferior de la capa, en donde el esfuerzo y la deformación de tensión alcanzan sus valores máximos. Las grietas se extienden a la superficie inicialmente en la forma de una serie de grietas paralelas longitudinales. Después, las grietas se interconectan formando contornos poligonales de ángulos agudos, cuyo patrón semeja la piel de cocodrilo. Ocurre siempre en las zonas sujetas al tránsito. Es importante aclarar que las otras grietas que se forman en las zonas no sujetas a la aplicación de las cargas vehiculares se conocen como grietas con patrón de mapa.

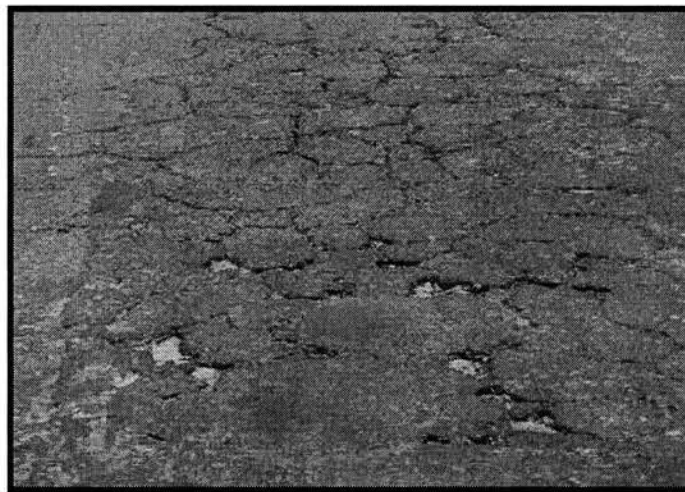
El agrietamiento con patrón de piel de cocodrilo se considera como un signo de deterioro estructural importante y generalmente coincide con la formación de roderas.

La severidad se califica de la siguiente manera:

- Ligera (L). Fisuras longitudinales paralelas con poca o ninguna interconexión. Las grietas no están despostilladas.
- Moderada (M). Avance de la cobertura de las fisuras que se transforman en un patrón de malla, con despostillamiento ligero.
- Alta (A). La formación de la malla de agrietamiento ha avanzado a tal grado que los cuadros o piezas están bien definidos y despostillados. Algunas

piezas se pueden mover, e inclusive desprender, por la acción del tránsito vehicular.

Forma de cuantificar el deterioro. Se estima el área afectada y se expresa como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. La mayor dificultad para medir este defecto es que puede haber dos o tres niveles de severidad en una misma zona. Si se puede distinguir cada una de las partes con diferente nivel de severidad, los datos se deberán anotar por separado; en caso contrario, se deberá considerar la densidad global de este defecto, independientemente de su severidad, asociándole a todo el tramo-cuerpo el mayor nivel de severidad detectado.



2. EXUDACIÓN DE ASFALTO

Se forma una lámina o película de asfalto en la superficie del pavimento con aspecto brillante, vítreo y reflejante, la cual comúnmente se vuelve pegajosa. Se origina por exceso de asfalto en la mezcla, por la aplicación sobrada de riegos de sello y/o por un bajo porcentaje de vacíos del agregado pétreo en la capa asfáltica. El asfalto llena dichos vacíos y el sobrante asciende a la superficie en la temporada de calor; desgraciadamente, este proceso es irreversible, por lo que se produce una acumulación gradual de asfalto en la superficie de rodamiento.

Los niveles de severidad utilizados en el SCEP son los que se indican a continuación:

- L. La exudación ocurre muy levemente y se nota sólo durante unos cuantos días al año. El asfalto no se siente pegajoso en los zapatos o en los neumáticos de los vehículos.

- M. La exudación se ha incrementado a tal grado que el asfalto se siente pegajoso en los zapatos o en los neumáticos de los vehículos, durante unas cuantas semanas al año.
- A. La exudación es muy extensa y considerable, de manera que el asfalto se nota francamente pegajoso en los zapatos y en los neumáticos de los vehículos, durante varias semanas al año.

Forma de cuantificar el deterioro. La exudación se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo inspeccionado.

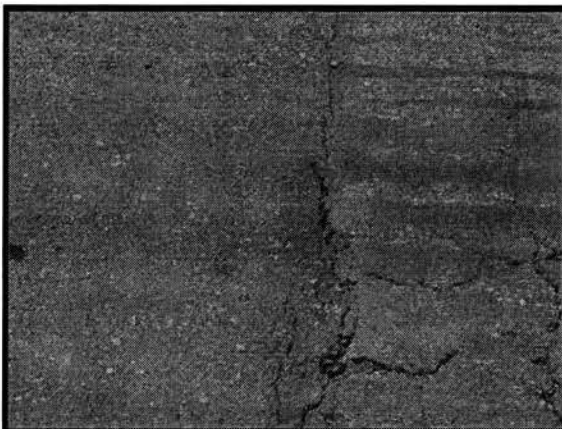
3. AGRIETAMIENTO CON PATRÓN DE MAPA

Son grietas interconectadas que dividen al pavimento en piezas aproximadamente rectangulares con lados de 0.3 a 3.0 m. Se originan por contracción del concreto asfáltico, ocasionada por bajas temperaturas; es importante aclarar que este defecto no está asociado a la acción de las cargas vehiculares. Asimismo, es una indicación de que el asfalto ha envejecido, por lo que se endurece. Generalmente se presenta en grandes zonas, las cuales no siempre están sujetas a cargas vehiculares.

La severidad se califica de la siguiente manera:

- L. Grietas ligeras.
- M. Grietas medianas.
- A. Grietas severas.

Forma de cuantificar el deterioro. Generalmente se presenta en un solo nivel de severidad y se registra como un porcentaje del área total considerada.



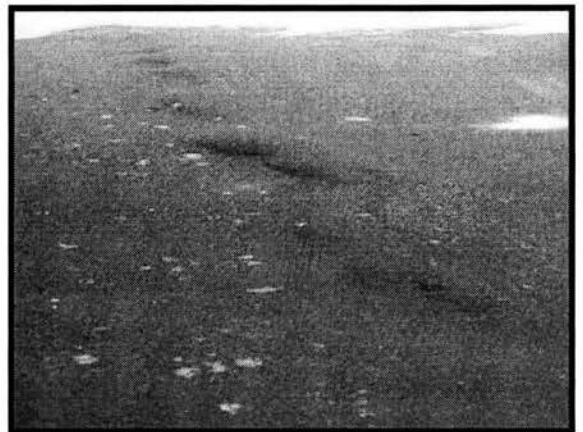
4. BORDO O DEPRESIÓN LOCALIZADOS

El bordo se manifiesta como una deformación permanente del pavimento, en sentido ascendente. Este defecto es diferente de los corrimientos, los cuales son causados por inestabilidad en la estructura del pavimento. Las depresiones son deformaciones permanentes pequeñas y abruptas en la superficie de rodamiento. Asimismo, es importante aclarar que el deterioro denominado *Levantamiento por Expansión* afecta grandes zonas del pavimento, en donde se forman ondulaciones amplias.

La severidad se establece con base en los criterios siguientes:

- L. Ligera molestia en la conducción de vehículos.
- M. Molestia intermedia.
- A. Molestia excesiva.

Forma de cuantificar el deterioro. Se registra el deterioro como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. Si los bordos aparecen en forma perpendicular transversal al flujo del tránsito y están espaciados a menos de 3 m, el defecto se denomina *Ondulaciones Transversales*.



5. ONDULACIONES TRANSVERSALES

Son una serie de bordos y valles transversales que ocurren a intervalos regulares y pequeños, por lo general menores de 3 m. Este defecto es generalmente originado por la acción del tránsito vehicular en combinación con una carpeta o base inestables. Cuando los defectos denominados *bordo o depresión localizados* se presentan a intervalos regulares menores de 3 m, son clasificados como ondulaciones transversales.

Los niveles de severidad para las ondulaciones transversales son los siguientes:

- L. Ligera molestia en la conducción de vehículos.
- M. Molestia Intermedia.
- A. Molestia excesiva.

Forma de cuantificar el deterioro. Las ondulaciones se expresan como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo inspeccionado.

6. DEPRESIONES POR ASENTAMIENTO

Son zonas localizadas más bajas que el pavimento circundante. En muchos casos, las depresiones ligeras no se notan sino después de las lluvias, cuando se almacena agua. En el pavimento seco, estas áreas son evidentes por las manchas que deja el agua estancada. Estas depresiones se originan por asentamientos del terreno natural o por defectos de construcción. Las depresiones localizadas, al contrario de las depresiones por asentamiento, son caídas abruptas de elevación.

La severidad se califica de acuerdo con la profundidad máxima de la depresión, de la siguiente manera:

- L. 1.3 a 2.5 cm.
- M. 2.6 a 5.0 cm.
- A. Más de 5.0 cm.

Forma de cuantificar el deterioro. Este se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo.

7. AGRIETAMIENTO EN LA ORILLA

Este defecto consiste en la formación de grietas aproximadamente paralelas al eje longitudinal del tramo-cuerpo y que se presentan en las inmediaciones de los bordes del pavimento.

Los tres niveles de severidad que se consideran para este tipo de agrietamiento son los siguientes:

- L. Grieta ligera o de abertura intermedia, sin roturas o desprendimientos.
- M. Grieta de abertura media con algunas roturas y desprendimientos.
- A. Roturas o desprendimientos significativos a lo largo del borde del pavimento.

Forma de cuantificar el deterioro. Al igual que en los demás defectos de los pavimentos asfálticos, el deterioro se expresa como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo evaluado.

8. GRIETAS DE REFLEXIÓN

Estas se presentan principalmente en las sobrecarpetas asfálticas que se construyen sobre losas de concreto hidráulico; en otras ocasiones también se observan grietas de reflexión en carpetas asfálticas construidas sobre bases estabilizadas o en sobrecarpetas asfálticas tendidas directamente en carpetas asfálticas con defectos mal reparados. Las grietas de reflexión se producen comúnmente por cambios de temperatura o humedad de las losas de concreto; estas grietas también se propagan de las carpetas asfálticas agrietadas, cuando no se tiene la precaución de eliminar, por fresado, las zonas agrietadas y de reponer el material eliminado de la carpeta original, antes de construir la sobrecarpeta asfáltica. La aplicación de cargas vehiculares agrava el agrietamiento, el cual se propaga a partir de la unión de la capa asfáltica con las juntas y grietas existentes en la losa o en la capa inferior.

La severidad se califica de la siguiente manera:

- L. Grietas sin calafatear con abertura menor de 1.0 cm; grietas bien calafateadas de cualquier abertura.
- M. Grietas sin calafatear de 1.1 a 7.5 cm; grietas sin calafatear hasta de 7.5 cm de abertura rodeadas de agrietamiento ligero al azar; grietas calafateadas de cualquier abertura rodeadas de agrietamiento ligero al azar.
- A. Cualquier grieta con o sin calafateo, rodeada por agrietamiento al azar, de grado medio o alto; grietas sin calafatear con abertura superior a 7.5 cm; grieta de cualquier abertura en donde la zona contigua a la grieta, en una franja de unos cuantos centímetros, está sumamente fragmentada.

Forma de cuantificar el deterioro. Las grietas de reflexión se registran como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. Las áreas afectadas deben ser registradas

por nivel de severidad. Si se observa un bordo en una grieta de reflexión, también se debe anotar este defecto.

9. ACOTAMIENTO EN DESNIVEL

Es la diferencia de elevación entre la orilla del pavimento y el acotamiento. El defecto se origina por erosión o asentamiento del acotamiento, así como por la construcción de sobrecarpetas sin ajustar el nivel del acotamiento.

Los niveles de severidad considerados para este tipo de deterioro se fijan en función de la diferencia de elevación entre el pavimento y el acotamiento y son los siguientes:

- L. De 2.5 a 5.0 cm.
- M. De 5.1 a 10.0 cm.
- A. Mayor de 10.0 cm.

Forma de cuantificar el deterioro. Este se expresa como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo.

10. GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

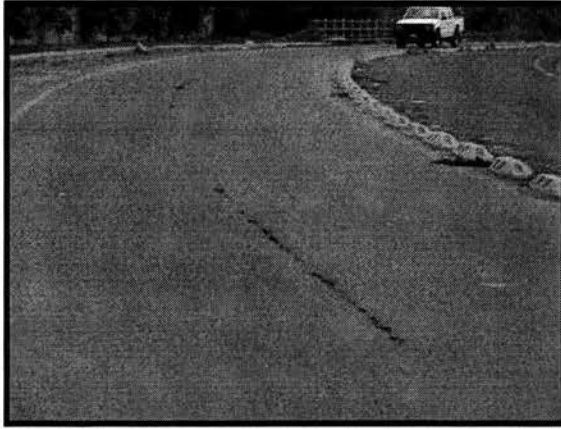
Longitudinales. Son paralelas al eje longitudinal del tramo-cuerpo; se originan por el mal tratamiento de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica, por contracción o por reflexión.

Transversales. Son perpendiculares al eje longitudinal del tramo-cuerpo y generalmente se producen por la acción de las cargas del tránsito vehicular.

La severidad se califica de la siguiente manera:

- L. Grietas sin calafatear con aberturas menores de 1.0 cm o grietas bien calafateadas de cualquier abertura.
- M. Grietas sin calafatear de 1.1 a 7.5 cm de abertura; grietas hasta de 7.5 cm de abertura, rodeadas por fisuras ligeras de patrón aleatorio; grietas calafateadas de cualquier abertura rodeadas por fisuras ligeras de patrón aleatorio.
- A. Cualquier grieta calafateada o no, rodeada por grietas de patrón aleatorio, de severidad media o alta; grietas sin calafatear de abertura superior a 7.5 cm; grietas de cualquier abertura donde el pavimento contiguo a la grieta, en una franja de pequeña anchura, muestra roturas altas.

Forma de cuantificar el deterioro. El área afectada se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. En caso de que se presenten estas grietas con diferentes niveles de severidad en un mismo tramo-cuerpo, se deberán anotar por separado las áreas afectadas correspondientes a cada nivel de severidad.



11. BACHES O CORTES REPARADOS EN EL PAVIMENTO

Son reparaciones hechas en el pavimento existente con nuevos materiales; una reparación se considera un defecto, sin importar que tan bien esté funcionando. Generalmente la reparación produce incomodidad en el manejo.

Los niveles de severidad que se utilizan en la inspección visual de estos defectos son los siguientes:

- L. Reparación satisfactoria y en buenas condiciones. Manejo de vehículos con excelente comodidad.
- M. Reparación moderadamente deteriorada y/o manejo de regular comodidad.
- A. Reparación muy deteriorada y/o manejo incómodo. Requiere reparación inmediata.

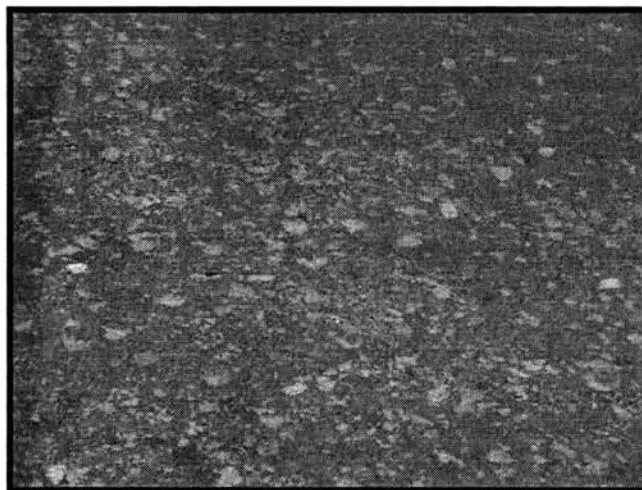
Forma de cuantificar el deterioro. La reparación se expresa como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. No se registran defectos de ningún tipo dentro de la reparación aunque éstos se observen. Si se ha reemplazado una zona considerable de pavimento, ésta no se deberá registrar como una reparación sino como un nuevo pavimento; por ejemplo, la repavimentación de una intersección completa.

12. TEXTURA LISA

Se produce por el efecto erosivo del tránsito vehicular. Cuando el agregado pétreo en la superficie se nota liso al tacto, la adherencia de los neumáticos se reduce considerablemente. Si el porcentaje de agregados pétreos que sobresalen de la superficie es pequeño, la textura del pavimento no contribuye significativamente a reducir la velocidad del vehículo. La textura lisa debe registrarse cuando un examen minucioso revele que, en general, dicho agregado no sobresale de la superficie de rodamiento y que su superficie es lisa al tacto. Este tipo de defecto es evidente cuando en una prueba de resistencia al derrapamiento, ésta se reduce notablemente en mediciones periódicas.

No se definen niveles de severidad para este defecto; sin embargo, el grado de pulido debe ser significativo para poder registrar esta situación como un defecto.

Forma de cuantificar el deterioro. El área afectada se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. Si en la forma de inspección visual se anota el defecto de exudación de asfalto, no se deberá registrar la textura lisa.



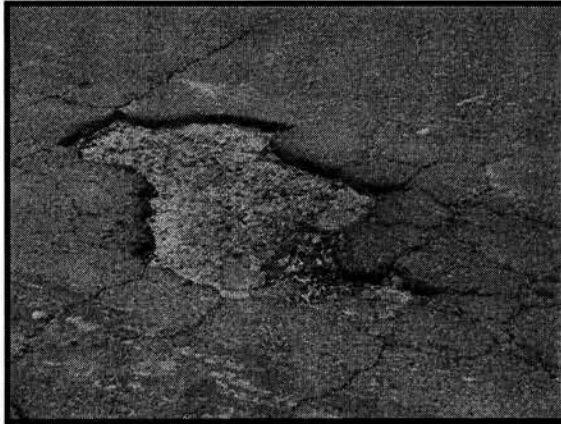
13. BACHES ABIERTOS

Son pequeños desperfectos, normalmente menores de 90 cm de diámetro, con la forma de una vasija o cuenca en la superficie del pavimento. Generalmente tienen orillas bien recortadas y paredes verticales cerca de la superficie. Su crecimiento se acelera por el estancamiento del agua de lluvia. Se originan cuando el tránsito desprende pequeñas porciones de la carpeta asfáltica y continúa la desintegración por la mala calidad de dicha carpeta; esta desintegración también avanza a causa de zonas débiles en la base o en las otras capas inferiores del pavimento, o porque se ha llegado a una condición severa del agrietamiento con patrón de piel de cocodrilo. En general, los baches abiertos están relacionados con defectos estructurales y no deben confundirse con el despostillamiento o con los efectos del intemperismo. Cuando las cuencas se originan a partir del agrietamiento con patrón de piel de cocodrilo, de alta severidad, deben identificarse como baches abiertos y no como un producto del intemperismo.

Los niveles de severidad para los baches abiertos menores de 75 cm de diámetro se establecen en relación con su diámetro y profundidad como sigue:

- L. Diámetro de 10 a 20 cm y profundidad de 1.0 a 5.0 cm; diámetro de 21 a 50 cm y profundidad de 1.0 a 2.5 cm.
- M. Diámetro de 10 a 20 cm y profundidad de más de 5 cm; diámetro de 21 a 50 cm y profundidad de 5.1 cm o más; diámetro de 50 a 75 cm y profundidad de 1.0 a 2.5 cm.
- A. Diámetro de 51 a 75 cm y profundidad de más de 5 cm.

Forma de cuantificar el deterioro. El área afectada se expresa como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. Las áreas afectadas por baches de diferente severidad se registran por separado.



14. RODERAS

Son depresiones a lo largo de las rodadas o zonas por donde se concentra el paso de los neumáticos de los vehículos. En general, las roderas son indicativas de deficiencias estructurales del pavimento.

La severidad se fija de acuerdo con la profundidad media de la rodera:

- L. De 0.5 a 1.0 cm.
- M. De 1.1 a 2.5 cm.
- A. Más de 2.5 cm.

Forma de cuantificar el deterioro. El área afectada se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo.

15. CORRIMIENTOS EN LA CARPETA

Desplazamiento longitudinal en una zona localizada, producto de deficiencias del concreto asfáltico de la carpeta. El empuje longitudinal de las cargas vehiculares sobre el pavimento produce deformaciones permanentes con la forma de "olas" cortas y abruptas en la superficie de rodamiento.

Los niveles de severidad considerados para los corrimientos en la carpeta son los siguientes:

L. Ligera incomodidad en la conducción de vehículos.

M. Incomodidad regular.

A. Incomodidad excesiva.

Forma de cuantificar el deterioro. Se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. Los corrimientos en zonas reparadas no deben registrarse como un defecto independiente, pero sí deben ser tomados en cuenta para establecer el nivel de severidad de dichas zonas.



16. AGRIETAMIENTO POR DESLIZAMIENTO

Son grietas en forma de media luna, generalmente producidas en las zonas de frenado de los vehículos.

La severidad se califica de la siguiente manera:

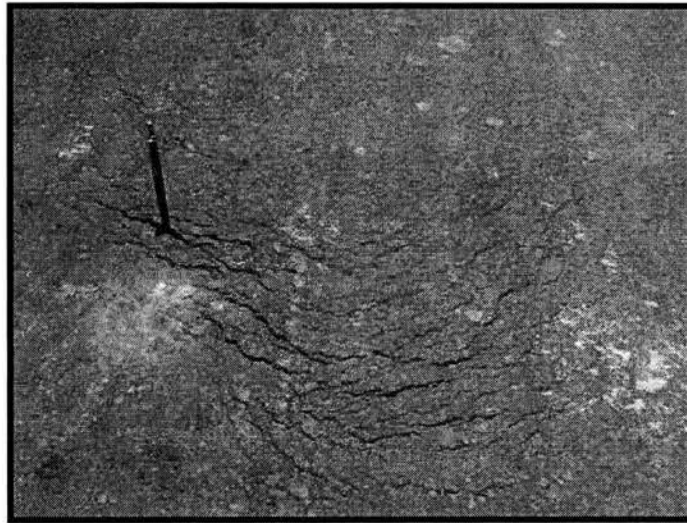
L. Abertura media menor de 1.0 cm.

M. Abertura media de 1.0 a 4.0 cm; la zona contigua a la grieta se encuentra fragmentada, pero los fragmentos están ligados.

A. Abertura media mayor de 4.0 cm; la zona contigua a la grieta se encuentra fragmentada y las piezas de la carpeta asfáltica están sueltas.

Forma de cuantificar el deterioro. Se considera la zona de influencia de las grietas de deslizamiento, clasificadas de acuerdo con el nivel más alto de severidad detectado. Para un tramo-cuerpo dado, la densidad de cada nivel de severidad se

obtiene con base en la relación aproximada que existe entre el área afectada por las grietas de deslizamiento y el área total del tramo-cuerpo.



17. LEVANTAMIENTO POR EXPANSIÓN

Se caracteriza por un levantamiento en la superficie del pavimento, con la forma de una "ola" amplia y gradual, mayor de 3 m. El levantamiento puede coincidir con una zona agrietada. El defecto es generalmente ocasionado por acción de las heladas en el pavimento o por la expansión del terreno natural.

Se utilizan tres niveles de severidad, tal como se indica a continuación:

- L. El levantamiento causa ligera incomodidad en la conducción de vehículos. Esto no siempre es fácil de detectar, pero puede descubrirse al conducir a la velocidad máxima permitida en el tramo-cuerpo. Se percibe un pequeño movimiento ascendente al pasar por esta zona.
- M. Incomodidad regular.
- A. Incomodidad excesiva.

Forma de cuantificar el deterioro. Se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo.

18. DESGASTE O EROSIÓN

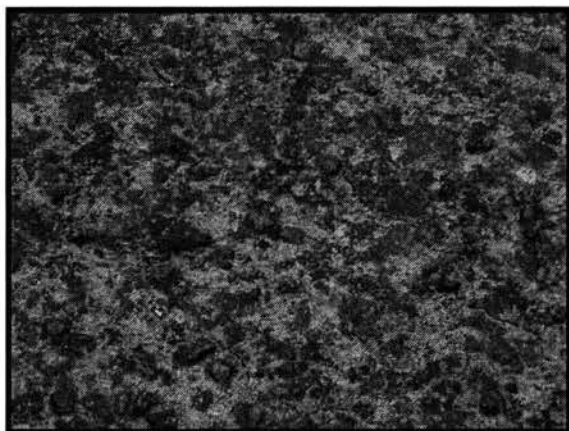
Es el desgranamiento del concreto asfáltico, debido a la pérdida de adherencia con el asfalto, ya sea por endurecimiento del asfalto o por baja calidad de la mezcla.

Además, puede ser ocasionado por cierto tipo de vehículos; por ejemplo, tractores de orugas. También se puede deber al derrame de gasolina o diesel.

La severidad se califica de la siguiente manera:

- L. El agregado pétreo o el asfalto empiezan a desgastarse. En algunas zonas la superficie empieza a tener pequeñas cavidades. Si hay derrame de combustible, se observan manchas, aunque la superficie se aprecia dura y no se deja penetrar por una moneda.
- M. El agregado pétreo y el asfalto se han desgastado. La textura es moderadamente áspera y con cavidades pequeñas. Si hay derrame de combustible, se nota suave la superficie y puede penetrarse al ejercer presión con una moneda.
- A. El agregado pétreo y el asfalto se han desgastado considerablemente. La textura es muy áspera y llena de cavidades pequeñas. Las cavidades son menores de 10 cm de diámetro y tienen menos de 1 cm de profundidad. Las cavidades mayores se deben registrar como baches abiertos. En caso de derrames de combustible, el asfalto pierde su poder ligante y el agregado pétreo se separa.

Forma de cuantificar el deterioro. Este defecto se expresa como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo.



ALGUNAS ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN EN PAVIMENTOS

Problema	Causas			Mantenimiento 1			Rehabilitación 2						
	Falla Estructural	Composición de la mezcla	Cambios de humedad o temperatura	Construcción	Bacheo y mantenimiento rutinario	Tratamiento Superficial	Slurry Seal	Reciclado de la superficie	Sobrescapa Delgada	Superficie de Gradación Abierta	Sobre capa Estructural 8	Reciclado Estructural	Reconstrucción 3
Piel de lagarto	X				X4	X5	X5				X	X	X
Grietas de junta	X		X	X	X								
Grietas de reflexión			X		X	X5	X5				X	X	
Grietas de contracción		X	X			X	X	X			X	X	
Grietas por corrimiento				X	X								
Abuellamiento	X	X		X				X	X6		X	X	X
Corrugaciones	X	X			X4			X	X7		X	X	X
Depresiones	X				X								X
Deformación por hinchamiento en capas subyacentes.			X		X								X
Baches	X	X	X	X	X						X	X	
Desprendimiento		X		X		X	X	X	X	X			
Sangrado		X		X		X6		X		X			
Agregado pulido		X				X	X	X	X	X			
Pérdida de la cubierta del agregado		X		X		X6			X	X			

2 Cuando el daño excede el 40% del área superficial del pavimento.

3 Si el problema es demasiado severo.

4 Bacheo Profundo (Reparación permanente).

5 Reparación temporal.

6 Para pequeños abuellamientos.

7 Sobre superficie reperfilada.

8 Después de una apropiada preparación de la superficie.

CAPITULO II

DISEÑO DE ESPESORES PARA EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE CARPETAS ASFÁLTICAS

TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

No se puede pensar en la aplicación de diversas técnicas de rehabilitación de pavimentos si no se conoce con claridad cuales son las causas del deterioro del pavimento y las condiciones estructurales con los que está soportando las cargas a las que está expuesto; es por esto, que previo a la determinación del tipo de rehabilitación a utilizarse, se cuente con los estudios de campo y de laboratorio necesarios que permitan diagnosticar la situación actual del pavimento.

Cualquier tipo de rehabilitación de pavimento que se desee utilizar debe ser producto de un estudio y del análisis de los resultados obtenidos por sencilla que esta sea, de lo contrario, seguramente no se elegirá la más adecuada provocando el desperdicio de mano de obra, maquinaria y materiales.

Todas las técnicas de rehabilitación de pavimentos asfálticos tienen una característica común: se requiere que se utilicen materiales de la más alta calidad en la fabricación de las mezclas y que sean colocadas con los procedimientos y equipo adecuado, lo cual garantizará soluciones de prolongada vida útil; cumplido lo anterior, se puede continuar con la selección de la técnica a utilizarse.

La rehabilitación de un pavimento se puede dividir en dos grandes grupos: **Rehabilitación superficial** y **Rehabilitación estructural**.

REHABILITACIÓN SUPERFICIAL

Es el tratamiento de la superficie de rodamiento sin modificar la capacidad de carga de la estructura del pavimento, que se requiere para restituir las condiciones originales de rugosidad y confort de la cinta asfáltica.

A continuación, se mencionarán brevemente los tratamientos más usuales y algunas de sus características:

- Bacheo superficial
- Renivelaciones
- Riego de sello tradicional
- Riego de sello premezclado
- Morteros asfálticos (Slurry seal)
- Carpetas delgadas

Bacheo Superficial. Consiste en la reparación de deterioros aislados no generalizados por medio de la sustitución del material dañado sin incluir capas subyacentes.

Renivelaciones. Estriba en la restitución del perfil longitudinal o transversal para reacondicionar el índice de servicio de la superficie de rodamiento.

Riego de sello tradicional. Es la aplicación de material pétreo producto de la trituración parcial o total, previo de un riego de liga con emulsión o cemento asfáltico, sobre la superficie de rodamiento deteriorada. Impermeabiliza y reintegra rugosidad a la carpeta evitando el desgaste del material pétreo en la superficie y restituye el coeficiente de fricción al pavimento.

Riego de sello premezclado. A diferencia del sello tradicional, el material pétreo se mezcla previamente con la emulsión asfáltica a razón de tres por ciento en peso y posteriormente se sigue el mismo procedimiento de construcción del sello tradicional. Este método elimina hasta en un setenta por ciento el desperdicio y disminuye la cantidad de material pétreo aproximadamente en un veinte por ciento, aumentándose considerablemente el rendimiento en su colocación si se utiliza una extendedora de sello.

Morteros asfálticos ó Slurry Seal. El Slurry Seal ó mortero asfáltico, es una técnica que consiste en la mezcla de arena y emulsión asfáltica que se aplica sobre la superficie de rodamiento con un equipo especial autopropulsado que consta de un tanque para el producto asfáltico, depósitos para la arena, un mezclador y un tren de riego que dosifica la mezcla proporcionando una capa impermeable rugosa a la superficie de rodamiento.

Carpetas delgadas. Este procedimiento de rehabilitación consiste en sobreponer a la carpeta actual ya deteriorada por el uso, una sobrecarpeta con espesores de 0.75 a 1.5 pulgadas que devuelven las características de rugosidad, impermeabilidad y confort a la superficie de rodamiento.

En los últimos años, se han aplicado en algunos tramos carreteros y calles de la Ciudad de México una técnica denominada *carpeta delgada de graduación abierta*. Consiste en una carpeta asfáltica fabricada en planta con material pétreo producto de trituración de roca basáltica con agregado máximo de 3/8", cuya granulometría tiene como características principales el de drenar eficientemente el agua de lluvia evitando que se formen encharcamientos durante lluvias moderadas, lo que disminuye el efecto de acuaplaneo y los accidentes que esta produce; además provee de una superficie uniforme con buena rugosidad y disminuye considerablemente el ruido.

Si adicionalmente al cemento asfáltico con el que se fabricará la mezcla se le adiciona hule molido se obtiene un producto de alta duración y de mayor resistencia a los esfuerzos de tensión, prolongado su vida útil hasta 20 años.

CAUSAS DE DETERIORO EN PAVIMENTOS

PERMEABILIDAD Y SEGREGACIÓN. Las causas de permeabilidad excesiva y de la segregación de partículas, generalmente son las mismas mezclas que contienen partículas demasiado grandes, mezclas de asfalto o pavimentos que no se compactaron hasta la densidad correcta. Cualquiera de estas causas puede afectar la resistencia del pavimento, sin embargo, no al grado que se resienta su estructura. Las medidas correctivas requeridas en ambos casos son las mismas: un recubrimiento delgado que selle y renueve la superficie.

RUGOSIDAD. La rugosidad superficial puede ser causada por asentamientos, segregaciones, desgaste no uniforme, corrugaciones, fallas y escamaciones. Las fallas estructurales locales deben ser corregidas, seguidas por una nivelación local o general de un espesor mínimo para lograr una superficie lisa.

SECCIÓN DISTORSIONADA. De una sección distorsionada puede resultar una pobre superficie de rodamiento de un pavimento por lo demás satisfactorio. Para corregir esto, será necesario la construcción de cuñas nivelantes seguidas por un recubrimiento que renueve la superficie. La mezcla para las cuñas debe tener un tamaño máximo de las partículas del agregado grueso que permita se adelgace en los puntos altos del pavimento. El diseño debe incluir una cantidad suficiente de material para la nivelación para lograr una superficie uniforme sobre la cual colocar el recubrimiento.

SUPERFICIE RESBALOSA. Las medidas correctivas requieren un material que inhiba el patinaje o derrape. Se requiere un concreto o mezcla de arena y asfaltos cuyos agregados sean duros y resistentes a pulirse. En algunos casos se puede recomendar el uso de lechada asfáltica como efectiva. Si existe exceso de asfalto superficial, debe ser corregido antes de colocar el recubrimiento.

SELECCIÓN DEL TIPO DE SUPERFICIE. La renovación de la carpeta debe hacerse con material que pueda tenderse en capas muy delgadas. Debe llenar los huecos superficiales y proveer una superficie impermeable y resistente a los derrapes. Debe ser suficientemente resistente a la abrasión del tránsito y que tenga un tiempo de servicio económico. Los materiales que llenan estos requisitos son concretos asfálticos de agregados máximos pequeños, asfaltos de arena calientes y capas superficiales de sello.

Concreto asfáltico de agregados finos y asfaltos de arena calientes pueden construirse en capas hasta de 13 mm (1/2") y llenar todos los requisitos para la renovación de la carpeta. Se recomiendan para recubrimientos delgados de pavimentos con elevados volúmenes de tránsito, ya que son relativamente duraderos cuando se construyen bien. Pueden usarse para nivelaciones menores, los vehículos los recorren con suavidad y su aspecto es sumamente agradable. Las capas o lechadas de sello, pueden llenar estos requisitos para pavimentos con poco tránsito.

Otro método usual en tratamientos superficiales es el denominado *reciclado*. La técnica 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.

En términos generales, consiste en llevar a cabo 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.

La aplicación de esta técnica es posible realizarla de acuerdo con las siguientes modalidades: en el lugar o en planta, en este último caso, los materiales existentes en el tramo por rehabilitarse se levantan y transportan a la planta para ser mezclados con los nuevos agregados, cemento asfáltico y los agentes rejuvenecedores.

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

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

El procedimiento en términos generales 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.

A continuación se lleva a cabo un proceso de mezclado, en el cual se debe homogeneizar la mezcla de los materiales reciclados y los 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.

A diferencia del sistema en el lugar, en este procedimiento el material pétreo de la carpeta existente se corta con equipo especializado llamado fresadora y se acarrea a la planta de asfalto donde es tratado nuevamente y enviado para su colocación como mezcla asfáltica.

En la búsqueda de métodos alternativos para rehabilitar pavimentos flexibles se han desarrollado y probado diversas técnicas como es el “Whitetoping” (W.T.) que consiste en la colocación de una sobrelosa delgada de concreto asfáltico sobre la carpeta existente con espesores de 2” a 3 ½”.

REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL

Este tipo de rehabilitación tiene por objetivo el restituir la capacidad de carga de la estructura del pavimento, reacondicionándolo para resistir las nuevas solicitaciones de carga a que esté sometido. El incremento del volumen de tránsito y las cargas que circulan por las calles y carreteras del país, demanda periódicamente la modernización estructural de los pavimentos; la cual si se lleva a cabo oportunamente, incrementará la vida útil de la estructura y abatirá costos de reconstrucción.

De las técnicas más usuales para rehabilitación estructural de pavimento, hacemos mención de las siguientes:

- Bacheo profundo y carpeta.
- Bases asfálticas y carpetas.
- Carpetas asfálticas con arenas.
- Recuperación de pavimento con espumas asfálticas.
- Concreto compactado con rodillo.
- Carpetas con geotextiles.

Bacheo profundo y carpeta. Este sistema es uno de los más comúnmente utilizados, consiste en la apertura de caja de zonas dañadas estructuralmente en el espesor necesario para tratar la base, o en su caso, la sub-base, mejorando o sustituyendo el material y finalmente colocando una carpeta asfáltica de ¾” de espesor. Esta técnica se utiliza únicamente en zonas aisladas del área a rehabilitar.

Bases asfálticas y carpetas. El espesor de las capas asfálticas en algunas calles de la Ciudad de México y carreteras del país, llegan a tener hasta 60 ó 70 cm o más en algunas ocasiones, lo cual complica considerablemente la rehabilitación estructural de las capas subyacentes; en esos casos se ha utilizado este sistema de la siguiente manera: fresando espesores de 15, 20 o 30 cm de espesor que son sustituidos por bases asfálticas fabricadas con agregado pétreo de 1 ½" y posteriormente se coloca una carpeta asfáltica con agregado de ¾". Este sistema tiene la ventaja de no elevar la rasante de la superficie de rodamiento considerablemente y evitar así la posible necesidad de elevar estructuras como banquetas y guarniciones.

Carpetas asfálticas con arenas. En el sureste mexicano donde escasean los materiales para producir agregados pétreos de trituración total o parcial para la fabricación de mezclas asfálticas, los costos se incrementan por los acarrees considerables; se han utilizado materiales que existen en la zona como son las arenas mal graduadas que varían de la malla No.20 a la No.100 teniendo un equivalente de arena mayor al 50% y bancos de conchas de diversas especies marinas.

El tendido de la mezcla se hace con una pavimentadora a una temperatura de 100 a 110°C.

Recuperación de pavimentos con espumas asfálticas. En esta técnica se tiene la ventaja de que con un solo equipo se realiza el corte, disgregado y mezclado del material con el agua de compactación y con la incorporación de espuma asfáltica dosificada directamente de un carro a un tanque de emulsión, conectado a la recuperadora, la cual en forma automática dosifica y trata la emulsión que se incorpora al material cortado, a través de un sistema de inyección y espreas instaladas en el equipo.

Aplicación de carpetas asfálticas con geotextil. La incorporación de una membrana como el geotextil, cuya materia prima es en base a polipropileno o el poliéster, proporciona una mayor elasticidad en el plano de tracción ubicado bajo la carpeta asfáltica. Lo anterior se debe interpretar como un elemento que permite aliviar tensiones, producto de la modificación del módulo de elasticidad del material asfáltico.

Un geotextil no proporciona una mayor resistencia al sistema, sino que permite una mayor flexibilidad en la zona de agrietamiento, reduciendo tensiones, originando una menor fuerza de propagación.

El procedimiento de colocación es sencillo:

- 1) Se limpia correctamente la superficie del pavimento antiguo, si es posible con aire a presión y cepillo.
- 2) Se calafatean grietas y fisuras y se realiza el trabajo de bacheo necesario.

- 3) Se aplica el riego de liga a razón de 1 ó 1.2 lts/m².
- 4) Se extiende el geotextil libre de arrugas; en las juntas se recomiendan traslapes de 5 a 10 cm.
- 5) Se aplica la nueva carpeta.
- 6) Se compacta la mezcla asfáltica.

Concreto Rodillado. Otra alternativa vial empleada para el refuerzo de pavimentos, es el concreto rodillado. Aún cuando su textura limita el tránsito a altas velocidades y por lo mismo, requiere de una capa de rodamiento con mezcla de concreto asfáltico; sin embargo, entre sus ventajas se puede señalar la de lograr colados rápidos y de grandes volúmenes, que alcanzan altas resistencias y un comportamiento similar al del concreto convencional.

RECUBRIMIENTOS DE REFUERZO

La corrección de deficiencias estructurales requiere un espesor tal del recubrimiento asfáltico que refuerce la estructura del pavimento lo suficiente para resistir el tránsito que lo usara durante el periodo previsto. La corrección se puede diseñar como un simple recubrimiento o como parte de una mejora más extensa del camino. El recubrimiento se puede diseñar para prestar servicio durante un periodo de 20 años o para una fracción, si se planea por etapas.

PLAN DE CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS

Los métodos de diseño expuestos en este capítulo pueden usarse para diseñar la construcción de los recubrimientos por etapas. Seleccionando para el diseño un periodo relativamente corto, digamos 2 a 5 años para la primera etapa, un recubrimiento adicional de refuerzo puede agregarse posteriormente como segunda etapa, antes de que el creciente volumen y peso del tránsito excedan la capacidad del pavimento. El estado y comportamiento del pavimento debe ser calificado cada dos años para estimar cuanto tiempo pasara antes de que el segundo recubrimiento se haga necesario. Los métodos de *Recuperación de Deflexión* pueden usarse para calificar los resultados de la construcción de la primera etapa y para diseñar la segunda, sin importar la clase de pavimento que haya debajo del recubrimiento.

Las técnicas anteriormente tratadas, representan solo algunas de las alternativas con que se cuenta para rehabilitar pavimentos asfálticos y en realidad la solución del problema a resolver debe estar dictada por los resultados de una evaluación completa de la estructura del pavimento y su superficie, cualquiera de las técnicas de rehabilitación puede ser mejorada o combinada con el objeto de proporcionar al pavimento las características que requiera para responder a las solicitudes del tráfico al que esté expuesto; no existen

fórmulas mágicas que nos determinen una solución general a los diversos problemas de los pavimentos asfálticos, en la medida en que se estudien los deterioros y las causas que los provocan se estará en condiciones de aplicar la mejor solución al menor costo que nos garantice la mayor vida útil de nuestro pavimento acorde a los recursos disponibles.

DISEÑO DE RECUBRIMIENTO PARA PAVIMENTOS DE ESTRUCTURA ASFÁLTICA

RECUBRIMIENTOS (sobrecarpetas). Los recubrimientos pueden servir para corregir las deficiencias tanto superficiales como estructurales de los pavimentos. Las condiciones actuales del pavimento y futuro crecimiento del tránsito fijarán el espesor del recubrimiento.

Las deficiencias superficiales en pavimentos asfálticos generalmente son corregidas con recubrimientos delgados de espesores fijados por la experiencia. En cambio las deficiencias estructurales necesitan recubrimientos de suficiente espesor que refuercen el pavimento para asegurarse que preste el servicio de un pavimento nuevo correctamente diseñado.

DISEÑO DE RECUBRIMIENTOS POR ANÁLISIS DE COMPONENTES.

Para encontrar el espesor necesario del recubrimiento, se sigue el siguiente procedimiento.

1. Determinar el valor soporte de diseño de la subrasante de la siguiente manera:
 - Realizar diferentes pruebas de laboratorio (mínimo tres) obteniéndose la resistencia del suelo.
 - Ordenar en orden numérico todos los resultados de las pruebas.
 - Para cada cambio de los valores de las pruebas, empezar por el más pequeño de todos. Calcular el porcentaje que sea igual o más grande que dicho valor.
 - Graficar los resultados tomando como abscisas el valor soporte de la subrasante y como ordenada el porcentaje igual o más grande que dicho valor.
 - El valor de diseño de la subrasante se obtiene leyendo en la grafica la abscisa correspondiente a la ordenada de 90%.

Ejemplo:

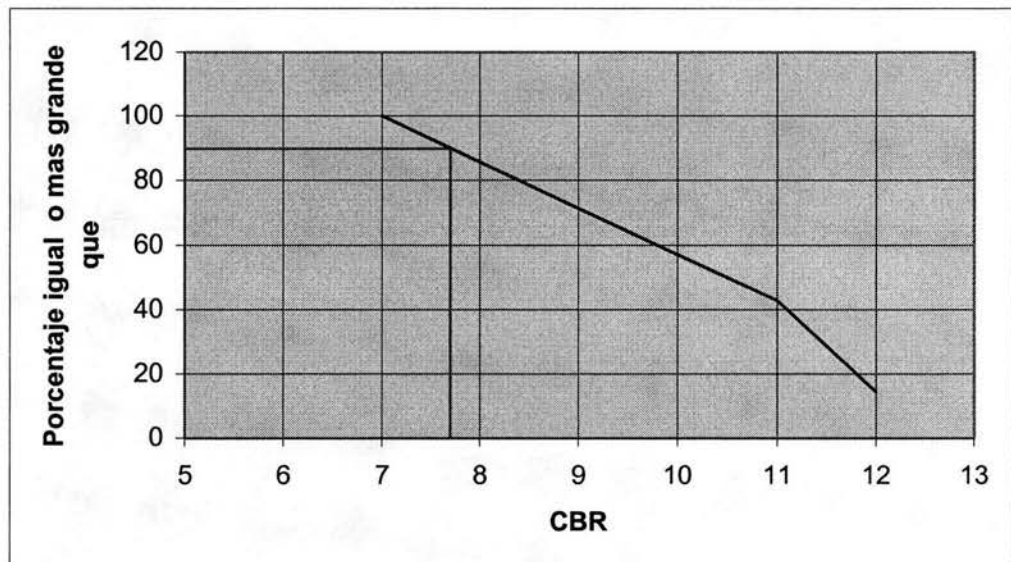
Datos: Valores CBR de siete pruebas (9,7,12,8,11,9,11)

a) CBR = 7,8,9,9,11,11 y 12.

b)

CBR	Numero igual o más grande que	Porciento igual o más grande que
7	7	(7/7) 100=100
8	6	(6/7) 100=85.7
9		
9	5	(5/7) 100=71.4
11		
11	3	(3/7) 100=42.9
12	1	(1/7) 100=14.3

c)



d) Valor de diseño para la subrasante: CBR=7.7 que al ser redondeado da 8.

2. Determinar el Número de Tránsito Inicial (NTI). Este dato se obtiene de la grafica siguiente, siguiendo los pasos que a continuación se describen:
- ❑ Entrar en el grafico de análisis de tránsito con el peso bruto medio para camiones pesados en el punto correspondiente de la línea D.
 - ❑ En la línea C localizar la cantidad de camiones pesados, promedio diario, del carril de diseño.
 - ❑ Conectar los puntos fijados en las líneas C y D por una línea recta prolongada hasta la línea B. La intersección de esta línea con la línea B es el punto pivote.
 - ❑ Localizar en la línea E la carga limite por eje.
 - ❑ Conectar los puntos de carga limite de la línea con el punto pivote de la línea B con una recta prolongada hasta la línea A.
 - ❑ Leer el Número de Tránsito Inicial (NTI) sobre la línea A donde la corta la recta prolongada E-B

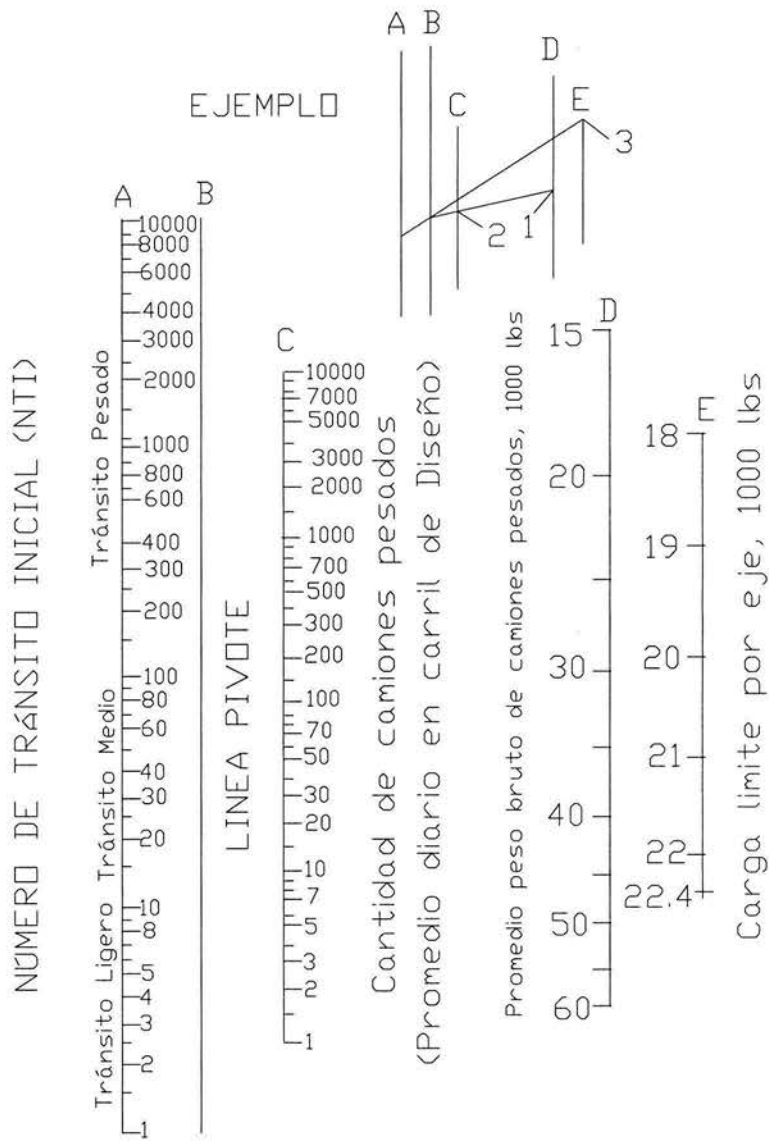


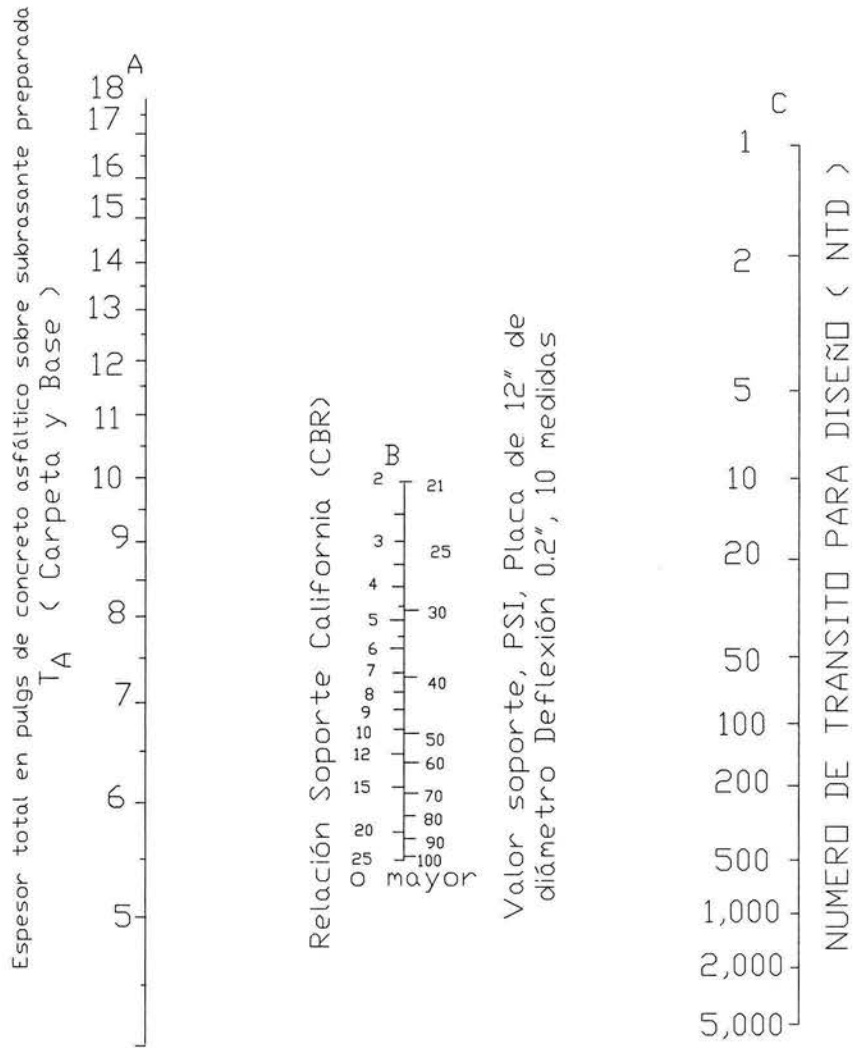
Gráfico de análisis de tránsito

3. Determinar el factor de corrección para el Periodo de Diseño y la tasa estimada de crecimiento anual de tránsito, con base en la siguiente tabla.

FACTORES DE AJUSTE DEL NÚMERO DE TRÁNSITO INICIAL						
PERIODO DE DISEÑO “ n “	TASA ANUAL DE CRECIMIENTO “ r “ %					
	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.21	1.49	1.84	2.29	2.86
25	1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22
35	1.75	2.50	3.68	5.57	8.62	13.55

4. Multiplíquese el NTI (paso 2) por el factor de corrección para obtener el Número de Tránsito para Diseño (NTD) para usarse en los nomogramas de Diseño de Espesores.
5. Usando el Nomograma de Diseño de Espesores determinar el espesor total del pavimento asfáltico T_A , necesario para el valor soporte de la subrasante, el Número de Tránsito para Diseño y el periodo de diseño que se haya escogido.

NOMOGRAMA DE DISEÑO DE ESPESORES



6. Determinar el espesor efectivo T_e

El espesor efectivo (T_e) de un pavimento construido, es el espesor que debería tener si se convirtiera en su totalidad en concreto asfáltico. Para determinar el (T_e), cada capa del pavimento existente debe convertirse al espesor equivalente de concreto asfáltico, utilizando para cada uno el factor de conversión correspondiente a la siguiente tabla.

FACTORES DE CONVERSIÓN PARA CONVERTIR A ESPESOR EFECTIVO (T_e) LOS ESPESORES DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO EXISTENTE

(Estos factores ÚNICAMENTE deben usarse para valorar un pavimento existente y diseñar la sobrecarpeta. De ninguna manera se aplican para diseño de pavimentos nuevos)

Clasificación del material	Descripción del material	Factores de Conversión
I	Subrasante de Suelo Natural	0.0 - 0.0
II	a) Subrasante Mejorada Material granular predominante, puede contener algo de limo y arcilla pero tendrá un IP (Índice de Plasticidad) de 10 o menos (subrasante mejorada = cualquier capa o capas de material mejorado entre el suelo natural y el pavimento). b) Subrasante modificada con cal construida con suelos de alta plasticidad. IP mayor de 10 (Subrasante modificada con cal, agua y suelo, preparada y compactada mecánicamente, sin endurecer o semiendurecida, debajo del pavimento)	0.0 - 0.2
III	a) Sub-base o base granular, agregados duros razonablemente bien graduados con algunos finos plásticos y un CBR no menor de 20. Usarse la parte superior del rango si el IP es menor de 6 y la parte inferior si es mayor de 6. b) Sub-bases o bases modificadas con cemento construidas con suelos de baja plasticidad. IP de 10 o menor (sub-bases modificadas con cemento = una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento portland y agua colocada entre T_a subrasante y la base. Base modificada con cemento = una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento portland y agua, sin endurecer o semiendurecida, para proteger la subrasante o la sub-base).	0.2 - 0.3
IV	a) Base granular. Material granular no plástico, de acuerdo con la calidad establecida para base de alta calidad. Se usa el valor más alto del rango fijado. b) Superficies de mezclas asfálticas teniendo un patrón de grietas mostrando desintegración a lo largo de las grietas con apreciables deformaciones en las huellas de las ruedas e indicaciones de inestabilidad. c) Bases de suelo cemento que se han agrietado extensamente, lo que se ha reflejado por agrietamiento de la superficie, puede mostrar desintegración, el pavimento muestra indicios de inestabilidad menor.	0.3 - 0.5
V	a) Superficies asfálticas y bases reforzadas asfálticas que muestran agrietamiento apreciable y patrones de grietas pero poca desintegración a lo largo de las grietas y aunque muestren algo deformadas las rodadas, permanecen esencialmente estables. b) Bases de suelo cemento poco agrietadas, que se nota por el patrón de grietas que aparecen en las superficies que están sobre bases.	0.5 - 0.7
VI	a) Superficies de concreto asfáltico que muestran algunas grietas delgadas y pequeñas e intermitentes patrones de agrietamiento y ligeras deformaciones en las rodadas y se conservan estables. b) Mezclas de asfalto líquido que permanecen estables y sin grietas y casi sin ninguna deformación en la rodada.	0.7 - 0.9
VII	a) Concreto asfáltico, con base de concreto asfáltico, generalmente sin grietas y casi sin deformación en las rodadas.	0.9 - 1.0

7. El espesor del recubrimiento de asfalto requerido es igual a $T_A - T_e$

Para entender mejor el diseño de sobrecarpetas por el método de análisis de componentes, a continuación se muestra un ejemplo abarcando todo el método.

Datos:

Carretera urbana de dos carriles (vías) con tránsito medio de 4,000 vehículos diarios, 400 (10%) son camiones pesados de 14 ton (30,000 lbs) brutas en promedio. El peso límite por eje es de 8 ton (18,000 lbs). La tasa de crecimiento de tránsito es de 4% anual. El pavimento existente consiste de una carpeta de 7.5 cm (3") de concreto asfáltico sobre una base de 20 cm (8") de piedra triturada. El pavimento en general esta en buenas condiciones, pero el refuerzo se diseñará para que resista el incremento del tránsito. Encontrar el espesor del recubrimiento necesario para un período de diseño de 8 años.

1. Valor soporte de diseño para la subrasante CBR = 5 (DATO)
2. Número de Tránsito Inicial (NTI)
 - a) Tránsito diario inicial = 4,000 vehículos
 - b) Cantidad de camiones pesados en carril de diseño = $4,000 \times 0.5 \times 0.1 = 200$
 - c) Peso bruto medio de los camiones = 14 ton (30 000 lbs)
 - d) Carga límite por eje = 8 ton (18 000 lbs)
 - e) Número de Tránsito Inicial = 90
3. Factor de corrección del Número de Tránsito Inicial
 - a) Periodo de diseño = 8 años
 - b) Tasa de crecimiento de tránsito anual = 4 %
 - c) Factor de corrección del Número de Tránsito Inicial = 0.46
4. Número de Tránsito para Diseño (NTD) = $NTI \times FC = 90 \times 0.46 = 42$ (al entero más próximo)
5. Espesor total de pavimento asfáltico $T_A = 20$ cm (8.0")
6. Espesor efectivo, $T_e =$

Espesor de las capas	Factor de corrección	T_e (cm)
7.5 cm (3 ")	0.8	6 (2.4 ")
20 cm (8 ")	0.4	8 (3.2 ")
	Total	$T_e = 14$ (5.6 ")

7. Espesor del recubrimiento de concreto asfáltico = $T_A - T_e$
 $= 20 - 14 = 6.0$ cm (8.0 - 5.6 = 2.4 ")

DISEÑO DE ESPESORES POR ANÁLISIS DE LA DEFLEXIÓN

(Este método solo es aplicable para pavimentos asfálticos.)

ANÁLISIS POR DEFLEXIÓN.

La magnitud de la deflexión de un pavimento es una indicación de la capacidad del pavimento para soportar cargas. Diversas investigaciones han establecido correlaciones entre la carga por rueda, la recuperación de la deformación y las repeticiones de la carga. Con estas correlaciones, las deflexiones y recuperaciones, medidas para cargas normalizadas (estandarizada), puede servir para determinar si la estructura del pavimento es adecuada. También pueden servir para determinar la magnitud de las medidas correctivas que sean necesarias; para hacer estas determinaciones, se deben medir deflexiones representativas y el tránsito analizado.

La deflexión del pavimento se mide con la Viga Benkelman, utilizando la prueba de recuperación. Las deflexiones del pavimento se estudian, haciendo pruebas en la rodada exterior en cuando menos 10 lugares escogidos, en cada sección, de condiciones iguales o muy semejantes (basadas en una inspección de condiciones) o en un mínimo de 20 lugares por cada 11 kilómetros si se usan números aleatorios. Un valor representativo de recuperación de la deflexión es la media de las recuperaciones medidas más dos desviaciones normales (estándar), corregida por temperatura y por el periodo crítico del año. Este valor abarca aproximadamente el 97% de todas las deflexiones medidas.

Los lugares que tengan una deflexión mayor que el valor representativo deben recibir un tratamiento especial. Medidas adicionales de la deflexión deben hacerse para fijar la extensión de esas áreas débiles. Las deflexiones medidas en los lugares que ameritan tratamiento especial se omiten al calcular la deflexión representativa.

Para determinar el *espesor del recubrimiento* se hace lo siguiente:

1. Determinar la Recuperación Representativa de la Deflexión, de la siguiente manera.

Cuando se han medido todas las recuperaciones en una sección, los datos registrados se usan para calcular la Recuperación Representativa para la sección. Este valor es la media de las recuperaciones más dos desviaciones normales (estándar), multiplicado por el factor de corrección por la temperatura, basado en 21° C y en caso necesario, por factor de corrección por el período crítico. La recuperación representativa, por lo tanto es igual a:

$$(\bar{x} + 2s) f_c$$

en la cual:

\bar{x} = promedio aritmético de valores.

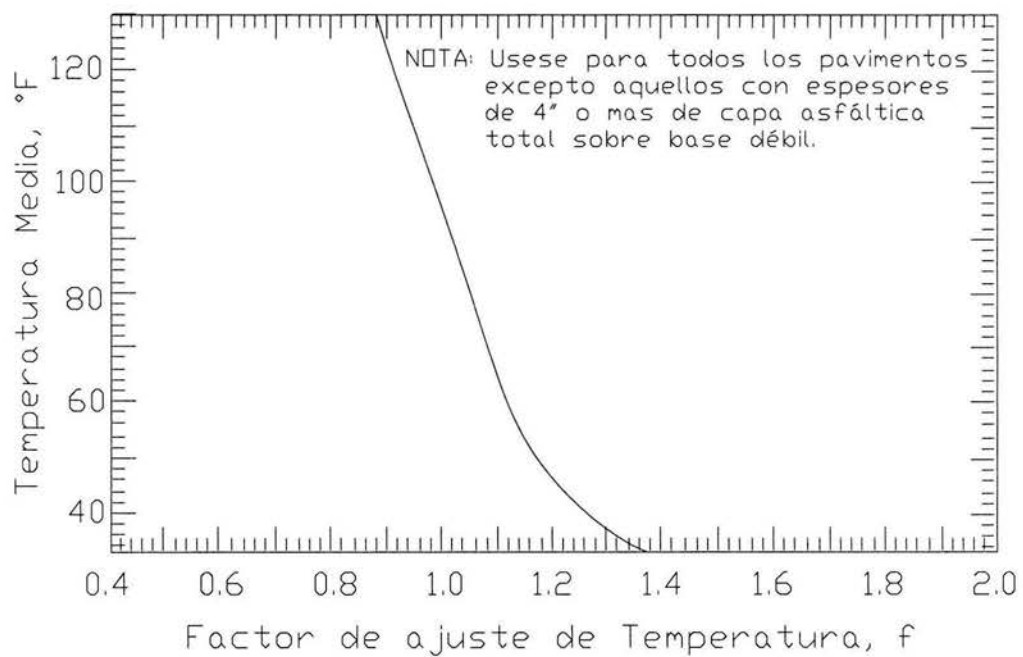
s = desviación normal (estándar).

f = factor de corrección por temperatura.

c = factor de corrección por período crítico (c = 1 para pruebas durante período crítico).

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA.

Este factor se obtiene de las siguientes graficas.



Factores de corrección de Temperatura para deflexiones con la viga Benkelman



Factores de corrección de Temperatura para deflexiones con la viga Benkelman

La primera gráfica obtenida para pavimentos de base granular en su mayor parte, está basada en una gran cantidad de datos, por lo tanto debe usarse siempre excepto para pocos casos especiales.

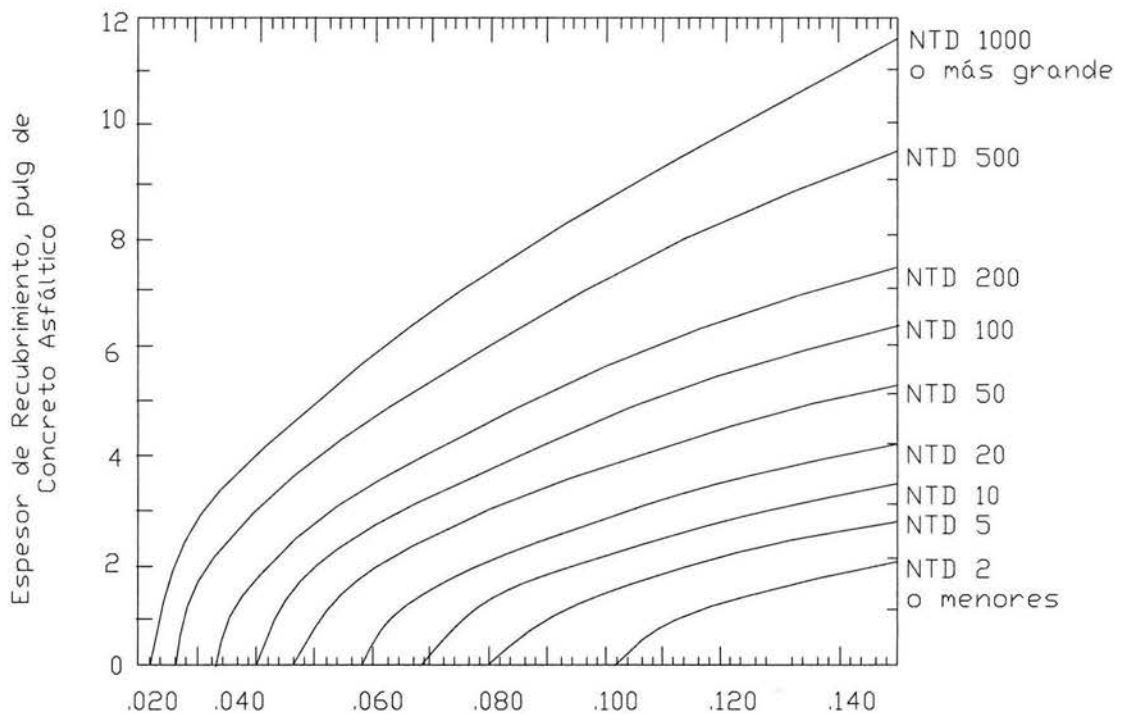
Los casos especiales para los cuales debe usarse la segunda gráfica, son para aquellos pavimentos asfálticos con espesores de 4" (10 cm) o mayores sobre cimientos débiles. Se define aquí el *cimiento débil* como sub-bases o subrasantes o ambos, de valor soporte bajo, existentes directamente debajo de las capas asfálticas al tiempo de medir las deflexiones.

El cimiento puede ser débil durante un período y resistente en otro. Por ejemplo, una subrasante de arcilla o limo seco puede dar un buen soporte a la capa asfáltica pero resulta débil cuando está saturada. En el primer caso, o sea seca, debe usarse la primera gráfica y en el segundo se debe usar la segunda gráfica.

FACTOR DE CORRECCIÓN POR EL PERIODO CRÍTICO.

Este factor se hace necesario porque en algunos climas, algunas épocas del año son críticas para el pavimento en cambio otras no lo son tanto. Es sumamente importante que la Recuperación Representativa refleje las condiciones del período crítico. Para obtener el Factor de Corrección, solo deben tomarse las medidas de la recuperación durante el período crítico.

2. Determinar el Número de Tránsito Inicial (NTI) según el método de DISEÑO DE RECUBRIMIENTOS POR ANÁLISIS DE COMPONENTES.
3. Determinar el factor de corrección del NTI para el Periodo de Diseño y la tasa de crecimiento del tránsito estimada, según el método de DISEÑO DE RECUBRIMIENTOS POR ANÁLISIS DE COMPONENTES.
4. Multiplicar el NTI por el factor de corrección para obtener el NTD con el cual se entra al siguiente nomograma.



Recuperación representativa de la deflexión, pulg ($\bar{x} + 2s$)

Espesor del recubrimiento necesario de concreto asfáltico, para reducir la deflexión medida o la de diseño
(Prueba de recuperación)

En este nomograma se entra con el valor de la Recuperación Representativa de la Deflexión, trazando una vertical hasta la curva que representa el NTD, interpolando si es necesario, desde este punto trazar la horizontal para leer el espesor que se requiere para el recubrimiento.

Ejemplo:

Camino interurbano de cuatro carriles con un promedio de 16,000 vehículos diarios, 2,400 (15%) son camiones pesados con peso medio de 15 ton (32, 000 lbs). El carril de diseño se estima, llevara el 45% de los camiones pesados. La tasa de crecimiento del tránsito es de 6% anual. La carga máxima por eje es de 8 ton (18, 000 lbs). En la superficie del pavimento se notan algunas grietas. Deflexiones elevadas indican la necesidad de reforzarlo. Encontrar el espesor necesario para un periodo de 8 años. Temperatura media 26° C (79° F).

1. Recuperación representativa de la Deflexión (incluidas las correcciones por temperatura y periodo crítico).

$$x = 0.061 \text{ (pls) DATO}$$

$$s = 0.004 \text{ (pls) DATO}$$

$$f = 0.96$$

$$c = 1 \text{ (estimado)}$$

$$\text{Recuperación Representativa de la Deflexión } (0.061+0.008) 0.96 \times 1 = 0.066 \text{ pls}$$

2. Número de Tránsito Inicial (NTI) = 590
3. Factor de corrección del NTI = 0.5
4. Número de Tránsito para Diseño (NTD) = $590 \times 0.5 = 295$
5. Espesor del recubrimiento = 7.1 cm

CAPITULO III

COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA Y DISEÑO DE MEZCLAS

COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

- Material asfáltico. Puede ser cemento asfáltico (AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-30 y AC-40. Los AC-5 normalmente son emulsiones).
- Emulsión asfáltica. Aniónicas (-), catiónicas (+) y de rompimiento rápido, medio y lento.
- Agregados pétreos.

ASFALTO

DEFINICIÓN DE ASFALTO

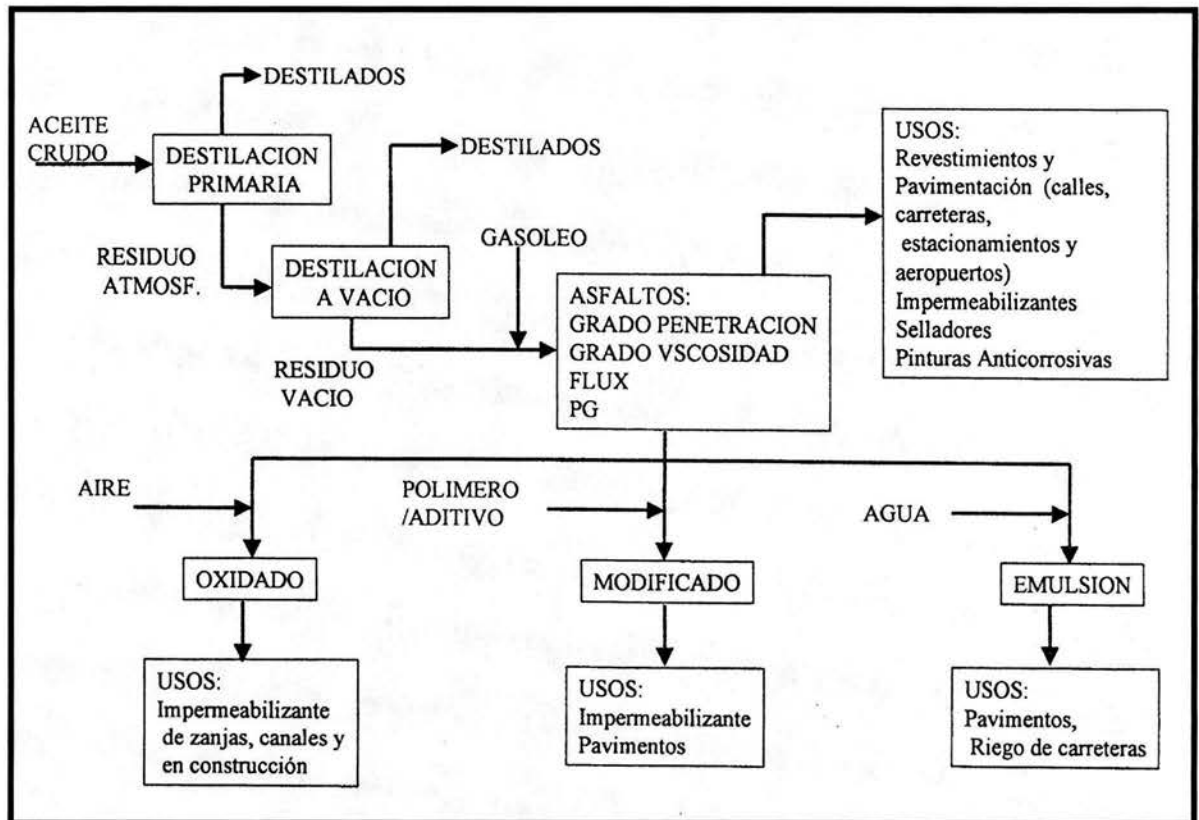
El asfalto es un material bituminoso, sólido o semisólido con propiedades aglutinantes y que se licua gradualmente al calentarse, se obtiene de la destilación del petróleo. En México este tipo de producto se emplea para la construcción de carpetas desde aproximadamente 1920; anteriormente se le clasificaba de acuerdo a su dureza, siendo el cemento asfáltico más usado el que tenía una dureza media (AC-6). Con la entrada de México al Tratado de Libre Comercio se tuvieron que adecuar las normas Mexicanas a las especificaciones del SEP (Programa Estratégico de Investigación de Carreteras) y a la ASTM (American Standard Test Materials). De ese tiempo a la fecha, los materiales asfálticos se clasifican de acuerdo a la viscosidad que presentan. A continuación se anotarán las recomendaciones generales para cada uno de los productos asfálticos con la finalidad de darles un mejor uso.

ASFALTO	REGIÓN RECOMENDADA
AC-5	Sirve para elaborar emulsiones y concretos asfálticos que se utilicen en la zona de la sierra madre occidental, en Durango o Chihuahua, y en algunas regiones altas de los estados de México, Morelos y Puebla.
AC-10	Se recomienda para la región central y el altiplano de la república mexicana.
AC-20	Para el sureste de la república y las regiones costeras del golfo y el pacífico, pasando por Sinaloa e inclusive hasta Baja California.
AC-30	Norte y noreste del país, excluido el estado de Tamaulipas.

Esta distribución se basa en condiciones climáticas y no incluye otras variables importantes como el tipo de agregado pétreo, la intensidad del tránsito y otros factores como el NAF. Por lo que para realizar un concreto asfáltico de calidad deberán tomarse en cuenta las siguientes características: a) Enviar pétreos

sanos, limpios y bien graduados, b) Utilizar procedimientos constructivos adecuados y c) Aplicar las temperaturas recomendadas. En algunas ocasiones será necesario adicionar algún aditivo.

OBTENCIÓN DEL ASFALTO



COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO

Debido a la naturaleza visco elástica del asfalto, su comportamiento depende de la temperatura y tiempo de carga:

- ❑ A alta temperatura: en climas cálidos o bajo cargas sostenidas (automóviles en movimiento lento), el cemento asfáltico se comporta como un líquido viscoso (tiende a deformarse, es decir, fluir).
- ❑ A bajas temperaturas: en climas fríos o bajo cargas aplicadas repetidamente, el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico, al aplicarle una carga se deforma y cuando cesa la fuerza recupera su forma original, si se rebasa el límite elástico del material, éste se fractura.
- ❑ A temperaturas medias: el cemento asfáltico presenta características visco elásticas y su comportamiento dependen de la temperatura y tiempo de carga.
- ❑ Envejecimiento: debido a su composición de moléculas orgánicas, el asfalto reacciona con el oxígeno ambiental (quebradizo, frágil).

PRINCIPALES PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS.

- PESO ESPECÍFICO. Este ensaye se efectúa para ubicar las correlaciones necesarias de peso a volumen, varía con la temperatura, o al adicionarle algún otro material.

Regularmente el asfalto presenta una densidad mayor que el agua.

- SOLUBILIDAD TRICLOROETILENA. Este método sirve para detectar impurezas o materiales extraños que presente el asfalto, o bien, algún elemento que no sea soluble al asfalto.
- PUNTO DE INFLAMACIÓN. Es una prueba de seguridad que se realiza para conocer a que temperatura provoca flama el material asfáltico.
- PUNTO DE REBLANDECIMIENTO. Nos proporciona una medida a la resistencia del material al cambio de sus propiedades de acuerdo a su temperatura.
- PENETRACIÓN A 25° C. Con esta prueba se determina la dureza que presentan los diferentes tipos de asfalto; de acuerdo a la dureza nos indica de que tipo de cemento se trata.
- DUCTILIDAD A 25° C. Mide al alargamiento que presenta el asfalto sin romperse, la longitud del hilo de material se mide cuando se corta en cm, este ensaye además de indicarnos el tipo de asfalto nos da la edad del mismo; ya que si se rompe a valores menores a los establecidos nos indica que es un asfalto viejo y que ha perdido sus características, por consecuencia puede provocar grietas en la carpeta "cemento asfáltico craqueado" (viejo).
- VISCOSIDAD SAYBOL FUROL. Nos ayuda a conocer la temperatura en la cual el asfalto es de fácil manejo.

En esta prueba se mide el tiempo que tardan en pasar 60 cm³ de asfalto por un orificio de diámetro de aproximadamente 1 mm, este ensaye se efectúa a temperaturas que van de los 60 a los 135° C, dependiendo del tipo de asfalto de que se trate.

- VISCOSIDAD ABSOLUTA A 60° C. Con esta prueba se clasifica el cemento. Consiste en hacer pasar hacia arriba el asfalto dentro de un tubo capilar bajo condiciones controladas de vacío y temperatura, el resultado se calcula de acuerdo al tiempo que tarda en pasar el asfalto de un punto a otro dentro del tubo, este tiempo se multiplica por una constante del equipo usado y la unidad que se maneja es el "poise" que es una unidad de fuerza de 1gr/cm² y de acuerdo con la viscosidad que presente se clasifican los asfaltos.
- PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO. También llamada prueba de la película delgada; esta prueba estima el endurecimiento que sufren los asfaltos después de calentarse a temperaturas extremas (163° C),

además nos determina los cambios que sufre el material durante el transporte, almacenamiento, calentamiento, elaboración y tendido de mezcla. Se efectúa en películas de pequeño espesor que se someten a los efectos del calor y el aire, con ellos se evalúa el endurecimiento que presenta y la pérdida de sus propiedades; después de efectuado este ensaye se efectúan pruebas de viscosidad, ductilidad, penetración y pérdida de peso.

MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL ASFALTO

OBJETO O FINALIDAD DE MODIFICAR UN ASFALTO.

La finalidad de modificar a los asfaltos es la de mejorar sus propiedades para que presente un mejor comportamiento a los cambios climáticos y de temperatura. Además los hace más resistentes al envejecimiento, aumenta la capacidad de carga y de soporte, mejoran las condiciones de elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad, lo cual redundará en una mayor vida útil y en la disminución del espesor de la carpeta. El cemento asfáltico, para modificarlo se puede mezclar con materiales del tipo S-B (estireno butadieno-estireno), SBR (estireno butadieno-hule), productos EVA (productos termoplásticos) además de poliestirenos y podolefinas. Otro producto que también se emplea para darle mayor dureza es el hule molido de neumáticos y en algunas ocasiones la escoria de fundición

ADITIVOS PARA ASFALTO Y MODIFICADORES

El empleo de los ligantes asfálticos en la construcción de carreteras, presenta en forma generalizada el problema de la adhesividad entre éstos y los materiales pétreos, debido a la humedad o el polvo presentes.

Es bien conocido el problema que causa la humedad sobre la adhesividad de los ligantes asfálticos con materiales pétreos, debido a la humedad o el polvo presentes.

Actualmente, la técnica que se emplea en las refinerías para obtener el mayor provecho posible del petróleo crudo hace que los ligantes asfálticos sufran modificaciones en sus propiedades físicas y químicas. Esto obliga al ingeniero de caminos a tener una constante vigilancia en las propiedades de los asfaltos en relación con los materiales pétreos. La adhesividad es una de las propiedades principales afectadas.

La adhesión entre el asfalto y el agregado es un factor importante para la vida útil de los pavimentos asfálticos. Muy frecuentemente la causa del deterioro y desgaste en las superficies de los pavimentos puede ser atribuida a la mala adhesión entre el asfalto y los agregados.

El agua bajo ciertas condiciones tiene la habilidad de desprender el asfalto del agregado y una vez que se ha iniciado éste proceso es acelerado por el tráfico. La mayoría de los agregados son más fácilmente mojados por el agua que por el asfalto. En muchos casos el proceso de desprendimiento es prevenido por el uso de aditivos, los cuales son agentes que promueven la adhesividad. El costo de usar aditivos de alta calidad y materia activa representa una parte muy pequeña del costo total de un pavimento asfáltico.

La durabilidad de los pavimentos bituminosos depende de muchos factores, entre ellos la resistencia al desprendimiento. El desprendimiento ha sido identificado en muchos países como la causa mayor de las fallas en los pavimentos, por lo tanto se ha incrementado el uso de los agentes antidesprendimientos. Los aditivos por su origen aminico han probado ser los tipos adecuados para ser utilizados con el asfalto, las razones principales de estos son:

- Se asegura inmediata adhesión o liga entre el asfalto y el agregado.
- Se previene el desprendimiento causado por la acción del agua en el transcurso del uso del pavimento.
- Se previene el desprendimiento en bases asfálticas durante su uso ocasionado por el agua capilar o sub-base granular húmeda.
- Se reduce la perdida de la capacidad de soporte y resistencia causadas por el desprendimiento.
- Pueden ser usados una selección de agregados muy amplia, incluyendo materiales aptos para el desprendimiento; es decir, pétreos difíciles de adherencia. También pueden ser usados agregados húmedos.

FACTORES QUE AFECTAN LA ADHESIVIDAD

Hay varios factores que impiden un buen cubrimiento y adhesividad entre asfaltos y agregados pétreos, entre los cuales podemos mencionar uno de los más comunes, que es la presencia de agua en las mezclas asfálticas, lo cual es debido principalmente a:

- Proceso de calentamiento insuficiente en agregados pétreos.
- Agregados para sello, con humedad residual.
- Alta humedad ambiental.
- Lluvia durante el tendido del producto.
- Presencia de humedad en bases de impregnación.
- Agregados contaminados con polvo.

ADHESIÓN ENTRE AGREGADO Y ASFALTO

La adhesión del asfalto al agregado es un fenómeno superficial. Este depende del contacto de los dos materiales y de la atracción mutua de sus superficies.

Los agregados tienden a ser más o menos hidrofílicos (tendencia por el agua), lo cual significa que son fácilmente cubiertos por el agua.

El asfalto es hidrofóbico (no tiene atracción por el agua). Por lo tanto, muchos agregados también son atraídos por el asfalto. Si la superficie del agregado está cubierta por una capa delgada de agua, el asfalto podrá cubrir la partícula del agregado rápidamente pero no se adherirá a su superficie a menos que el asfalto reemplace la película de agua.

Así también, el asfalto puede cubrir el agregado vestido de polvo sin adherirse a él. La capa de polvo evita el contacto de la película con la superficie del agregado.

Para un contacto más cercano entre el asfalto y la superficie del agregado, el asfalto puede ser licuado tanto por calentamiento, emulsificándolo o disolviéndolo con solventes de petróleo. A la habilidad de un asfalto para hacer contacto con la superficie del agregado se le llama *poder de mojado*. El poder de mojado del asfalto es ampliamente controlado por su viscosidad, así a menor viscosidad mayor poder de mojado.

El asfalto es un hidrocarburo y tiene un rango de tensión superficial mucho más bajo que el agua y que la mayoría de los agregados. Esto significa que el agua mojará a los agregados más fácilmente que el bitumen y esa agua puede desplazar al asfalto que ha cubierto un agregado seco.

Para tener un buen enlace entre el ligante y el agregado se debe cambiar la naturaleza de la superficie del agregado. La tensión superficial debe disminuirse para hacer al agregado más lipofílico (tendencia por el aceite).

Es importante también hablar de los agregados, cualquiera que sea su origen casi siempre presentan un punto en común que es la presencia de sílice que constituye aproximadamente el 60% de la corteza terrestre.

Los agregados son clasificados como alcalinos o ácidos. Los del tipo alcalino son calizas o carbonatos de calcio y mármoles, los del tipo ácido son silicatos como granitos y cuarzos.

Hay una convicción general sobre los agregados tales como las calizas (bajos en contenido de sílice) que dan buena adhesión con el asfalto.

Esto puede explicarse por el hecho de que los asfaltos contienen ácido nafténico: el cual tiene un grupo ácido carboxílico (-COOH) y una parte de hidrocarburo que es similar a la estructura del asfalto.

Cuando una molécula entra en contacto con un agregado alcalino, la parte ácida carboxílica será absorbida en la superficie con las terminales del hidrocarburo hacia fuera. Esto cambia la superficie del agregado lo suficiente para que el ligante se adhiera aún en presencia de agua.

La mayor desventaja de los agregados calizos es que normalmente tienden a desgastarse o pulirse con el paso del tráfico.

PRUEBAS DE LABORATORIO

La adhesión entre el asfalto y el agregado se puede predecir por la interpretación de los métodos de laboratorio. Como quiera, estos métodos no siempre pueden identificar un problema potencial de adhesión.

Es difícil simular las condiciones de campo en el laboratorio y consecuentemente también se dificulta evaluar en el laboratorio, exactamente el comportamiento del agente antidesprendimiento.

Las pruebas de laboratorio están concentradas en examinar el efecto del agua sobre el agregado cubierto de asfalto (adhesión pasiva) o la habilidad del asfalto para adherirse al agregado mojado (adhesión activa).

Actualmente todos los métodos de prueba que se utilizan para medir la eficacia de un aditivo, son cualitativos basados en la experiencia visual del laboratorista, ya que no se dispone de un medio científico.

Las pruebas para determinar el grado de afinidad entre los materiales pétreos y el asfalto, tienen por objeto determinar el grado de compatibilidad entre el material y la película asfáltica.

Es importante seguir la recomendación al hacer las pruebas, de reproducir hasta donde sea posible las condiciones en que se va a trabajar el pétreo, empleando exactamente el asfalto y los agregados que se vayan a usar, en el caso de tratarse de una mezcla en caliente en planta o en el lugar se deberá calentar el material a la temperatura a la cual se tenga planeado hacer dicha mezcla.

VENTAJAS SOBRE EL USO DE ADITIVOS.

El aditivo para asfalto proporciona las siguientes ventajas:

- Mayor vida útil en los pavimentos terminados.- La razón para usar un agente antidesprendimiento en la superficie de los pavimentos, como son los aditivos, es asegurar un enlace inmediato bueno entre el asfalto y el agregado, aún si el agregado está mojado durante el periodo de construcción.
- En asfalto en caliente para mejorar la adhesividad en las mezclas en caliente
 - En asfaltos rebajados, como promotor de adherencia en mezclas en frío.
 - En riegos de impregnación, para mejorar la penetración del impregnante
 - En riegos de liga para una buena unión base-carpeta
- Puede ser usada una selección de agregados muy amplia, incluyendo materiales aptos para el desprendimiento, es decir pétreos difíciles de adherencia.
- En condiciones adversas de humedad ambiental.
 - Cuando se utilicen agregados con alto contenido de sílice.
- Proporciona mayor poder cubriente.
- Asegura afinidad con todo tipo de material pétreo, incluyendo pétreos de bajo equivalente de arena (materiales sucios).
- Mejora la afinidad con materiales que contienen humedad.
- Garantiza la calidad excelente en el pavimento
 - Facilita la incorporación de los finos.

- Proporciona mejor anclaje a la carpeta.
- Mejora extraordinariamente la mezcla con el material pétreo, reduciendo el volumen de asfalto requerido y por lo tanto incide en el costo.
- Optimiza la utilización de los equipos de mezclado, reduciendo considerablemente las horas máquina.

En resumen, reedita la inversión.

El uso de aditivos, es un apoyo fundamental en la solución de éstos problemas, no solo por su economía y facilidad de manejo, sino que al retardar su deterioro por oxidación, alarga la vida útil del pavimento, haciéndolo más resistente a la acción del tiempo, del clima y del tránsito, lo que incide de manera directa en su duración y por lo tanto, en la rentabilidad de la inversión

Cuando los bancos disponibles de material pétreo no cumplen los requisitos de adherencia con el asfalto, por la falta de afinidad en cargas eléctricas, o cuando aún tratándose de materiales afines se presentan problemas de cubrimiento del material pétreo, en especial de los finos, el proyectista tiene la opción de soluciones alternativas, como es la utilización de aditivos.

DOSIFICACIÓN O NIVEL DE USO.

La cantidad de aditivo que se debe agregar depende principalmente del tipo y viscosidad del asfalto y del tipo de graduación del agregado. Cuando se usa un asfalto de alta viscosidad y la densidad del agregado es muy alta la dosificación puede ser reducida.

Tanto el asfalto como el tipo de material pétreo influyen en la dosificación del aditivo a agregar, la cual es normalmente determinada con pruebas de laboratorio para cada caso en particular.

Por experiencia se recomienda una dosificación del 0.5% respecto al peso del asfalto, en los casos severos de falta de adherencia, utilice de 0.5% a 0.8%.

En los riegos de sello en lugares con climas húmedos la dosificación para conseguir adhesividad activa es alrededor del 1% y en climas secos se puede disminuir hasta un 0.3% para mejorar la adhesividad.

EMULSIÓN ASFÁLTICA

Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras.

Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad. Puede usarse también con las arcillas pero solo le procura impermeabilidad, resultando un método muy costoso, además con otros productos se logra mayor eficiencia y menor costo para los suelos plásticos.

PRUEBAS QUE SE EFECTÚAN EN LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.

- **CARGA ELÉCTRICA DE LA PARTÍCULA.** Se efectúa para identificar la polaridad de los glóbulos de asfalto en una emulsión, teniendo carga eléctrica negativa las aniónicas y positiva las catiónicas. Se aplica una carga de 8 mili-amperes y la emulsión se irá hacia el lado que presente carga contraria a la que ella tenga.
- **POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH).** Consiste en conocer el grado de acidez o alcalinidad de la fase acuosa, además también nos indica el tipo de emulsión de que se trata sabiendo que las emulsiones catiónicas son ácidas y las aniónicas son alcalinas.
- **DEMULSIBILIDAD.** La facilidad con que se rompen las emulsiones, esta prueba nos da una idea del tiempo adecuado para incorporar las emulsiones durante la elaboración de las mezclas asfálticas y consiste en pasar el material por la malla de 1.4 mm para efectuar otra destilación.
- **MEZCLABILIDAD CON CEMENTO PÓRTLAND.** Este ensaye permite conocer la estabilidad de los productos al mezclarlo con material fino. El ensaye consiste en agregar cemento Pórtland a la emulsión y después cribar la mezcla por la malla de 1.8 y 1.4 mm, determinándose el retenido en cada una de las mallas, no debiendo formar grumos los materiales.
- **CUBRIMIENTO DEL AGREGADO PÉTREO EN HÚMEDO.** Con este ensaye se estima que tanta afinidad existe entre la emulsión y el pétreo, nos permite observar como se porta esta unión ante la acción del agua, se recomienda emplear el material de la calizas, mezclándose la emulsión y el suelo

en diferentes porcentajes para después lavarlas y observar que porcentaje de asfalto cubre el pétreo, siendo un valor mínimo el 75%.

- **RESIDUO DE DESTILACIÓN.** Con esta prueba se obtiene el contenido de agua y disolventes que presenta la emulsión cuando se calienta a 260° C. Al residuo se le efectúan pruebas de penetración, ductibilidad y solubilidad para saber como le afecta la temperatura al cemento asfáltico.

AGREGADOS

Agregado (también conocido como roca, material granular, o agregado mineral). Es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso y entre el 75 y el 85 por ciento en volumen de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS

Las rocas se dividen en tres tipos generales: sedimentarias, ígneas, y metamórficas. Esta clasificación esta basada en el tipo de formación de cada roca.

Rocas Sedimentarias.- Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, o a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (como es el caso de las areniscas y la arcilla esquistosa), de residuos de productos animales (algunas calizas), de plantas (carbón), de los productos finales de la acción química o una evaporación (sal, yeso).

Dos términos que usualmente se aplican a rocas sedimentarias son silíceo y calcáreo. Rocas sedimentarias silíceas son aquellas que contienen un porcentaje alto de sílice. Aquellas rocas que contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio (calizas) son llamadas calcáreas.

Las rocas sedimentarias se encuentran, característicamente, en capas (estratos), dentro de la costera terrestre. Esta estratificación es el resultado directo de la manera en que se formaron las rocas sedimentarias, como es a partir de depósitos de partículas finas, generalmente sedimentados sobre el fondo de lagos o mares antiguos.

Rocas Ígneas.- Las rocas ígneas constan de material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado. Hay dos tipos de rocas ígneas: extrusivas e intrusivas.

Las rocas ígneas extrusivas son formadas a partir del material que se ha vertido afuera, sobre la superficie terrestre, durante una erupción volcánica o alguna actividad geológica similar. La roca resultante tiene una apariencia y estructura vidriosa, debido a que el material se enfría rápidamente al ser expuesto a la atmósfera. La riolita, la andesita y el basalto son ejemplos de rocas extrusivas.

Las rocas intrusivas, por otro lado, se forman a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza, el magma se enfría y endurece lentamente, permitiendo la formación de una estructura cristalina. En consecuencia, la roca ígnea intrusiva es cristalina en estructura y apariencia, siendo ejemplos el granito, la diorita y el gabro. Los movimientos terrestres y los procesos de erosión traen rocas intrusivas a la superficie terrestre, donde pueden ser explotadas en cantera y posteriormente usadas.

Rocas Metamórficas.- Las rocas metamórficas son, generalmente, rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por procesos de intensa presión y calor dentro de la tierra y también por reacciones químicas. Es muy difícil determinar el origen exacto de una roca metamórfica en particular debido a que los procesos de formación son muy complejos.

Muchos tipos de rocas metamórficas presentan un rasgo característico: los minerales están alineados en capas o planos paralelos. Partir la roca en el sentido de sus planos es mucho más fácil que partirla en sus otras direcciones. Las rocas metamórficas que exhiben este tipo de estructura se denominan foliadas. Ejemplos de rocas foliadas son los gneises, los esquistos (formados de rocas ígneas) y la pizarra (formada de la arcilla esquistosa).

No todas las rocas metamórficas son foliadas. El mármol (formado de las calizas) y la cuarcita (formada de las areniscas) son tipos comunes de rocas metamórficas que no presentan foliación.

CLASIFICACIÓN DE ROCAS

CLASE	TIPO	FAMILIA
Sedimentarias	Calcáreas	Caliza Dolomita
	Silíceas	Arcilla Esquistosa Arenisca Horsteno Conglomerado
Metamórficas	Foliadas	Gneis Esquisto Anfibolita Pizarra
	No foliadas	Cuarcita Mármol Serpentina
Ígneas	Intrusivas (de grano grueso)	Granito Sienita Diorita Gabbro Periodotita
	Extrusivas (de grano fino)	Obsidiana Pómez Tufa Riolita Traquita Andesita Basalto Diabasa

FUENTES DE AGREGADOS

Los agregados usados en el pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados y agregados sintéticos o artificiales.

Agregados Naturales. Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, el movimiento del hielo y los químicos. La forma de las partículas individuales, es producto a la larga de los agentes que actúan sobre ellas. Los glaciares, por ejemplo, usualmente producen rocas y guijarros redondeados. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas.

Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define, usualmente, como partículas de un tamaño igual o mayor que 6.35 mm (1/4"). La arena se define como partículas de un tamaño menor que 6.35 mm (1/4") pero mayor que 0.075 mm (malla No. 200). Las partículas de un tamaño menor que 0.075 mm (malla No. 200) son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

Las gravas y las arenas son clasificadas, además, de acuerdo a su origen. Los materiales producidos en canteras abiertas y usados sin ningún procesamiento adicional son conocidos como materiales en bruto y los materiales tomados de la ribera de los ríos son conocidos como materiales de canteras de ríos.

Los depósitos de gravas varían ampliamente en composición, pero usualmente contienen alguna cantidad de arena y limo. Los depósitos de arena también contienen comúnmente alguna cantidad de arcilla y limo.

Agregados Procesados. Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados; gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, que deben ser reducidos en tamaño antes de ser usados en la pavimentación.

La roca es triturada por tres razones: para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas. El propósito principal de la trituración en el caso de los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable. Sin embargo, los cambios en la textura superficial y en la forma de las partículas, son también muy importantes.

El tamizado de los materiales después de triturados, resulta en una granulometría con cierto rango de tamizado de partícula. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con los requisitos de la obra. El agregado triturado sin tamizar, es conocido como agregado triturado sin cribar.

El triturado de algunos tipos de roca, como las calizas, produce cantidades substanciales de pequeños fragmentos y partículas. Esta fracción de material es separada de las partículas que tienen diámetros iguales o menores a 35 mm.

Agregados Sintéticos. Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico ó químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. Otros son producidos mediante el procesamiento de materias primas, para ser usados específicamente como agregados.

El producto secundario más comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del hierro, la escoria es transformada en pequeñas partículas al templarla inmediatamente en agua, o al triturarla una vez que se ha enfriado.

Los agregados sintéticos manufacturados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación. Ellos son producidos al quemar arcilla, arcilla esquistosa, tierra diatomácea procesada, vidrio volcánico, escoria y otros materiales. Los productos finales son típicamente livianos y tienen una resistencia muy alta al desgaste.

PRODUCCIÓN, ACOPIO DE RESERVAS, MANEJO Y MUESTREO DE AGREGADOS

Los procedimientos para manejar y acopiar las reservas de agregado varían de obra en obra, debido a que la mayoría de las agencias contratantes no tienen especificaciones para dichos procedimientos. En vez de ello la agencia requiere, usualmente, que el contratista cumpla con las especificaciones de graduación para el agregado. Estas especificaciones tendrán que ser cumplidas ya sea durante la elaboración o acopio de reservas del agregado, o cuando la mezcla de pavimentación sea producida y colocada. En cualquier caso, se deberá estar al tanto de cómo las prácticas de manejo y acopio de reservas (tanto buenas y malas) afectan la selección del agregado.

El muestreo y las pruebas son los únicos medios de verificar si las especificaciones están siendo cumplidas, aún si estas requieren que el agregado cumpla con graduaciones durante la fabricación, acopio de reservas o producción de mezcla.

PRODUCCIÓN DE AGREGADOS. Se deberá familiarizarse con los datos geológicos relacionados con el depósito de agregado y con las especificaciones que han sido establecidas para trabajar con el mismo.

Cuando se trate de arenas o gravas, se deberá tener un cuidado especial al remover el suelo de destape (suelo que cubre el depósito) para no contaminar el agregado. Esto es particularmente importante cuando el suelo de destape (o descapote) contiene arcilla, vegetación, o algún otro material que pueda afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. Puede que algún material de destape proporcione un relleno mineral aceptable; sin embargo, rara vez este material podrá producir una mezcla de agregado con la adecuada proporción de relleno mineral si tan solo se añade al depósito de agregado a medida que este es removido. En consecuencia, cualquier material de destape que sea adecuado para ser usado como relleno

mineral deberá ser removido del depósito, tamizado y añadido posteriormente al agregado ya procesado. Este método permite un control cuidadoso, en la mezcla final del contenido de relleno mineral.

Con cierta frecuencia, las operaciones en las excavaciones y canteras deben efectuarse alrededor de lentes de arcilla (depósitos en forma de lente), vetas (capas) de arcilla esquistosa y otros depósitos de materiales indeseables que forman parte del depósito de agregado. En este caso, la excavación del agregado puede tener que efectuarse a lo largo de un marco (nivel) horizontal, o de abajo hacia arriba sobre una cara vertical del depósito. Para evitar contaminación del agregado y poder garantizar una graduación uniforme.

Después del triturado y el tamizado es esencial evaluar completamente los agregados producidos para averiguar si cumplen con los requisitos de calidad y graduación. En instalaciones comerciales donde la producción de agregado es más o menos continua a través de la temporada de pavimentación, es suficiente llevar a cabo una o dos evaluaciones de calidad cada temporada. Cuando una operación está comenzando por primera vez, se deberán hacer evaluaciones periódicas del agregado antes de que este sea usado en las mezclas de pavimentación.

ACOPIO DE RESERVAS DE AGREGADO.

Para producir mezclas asfálticas en caliente de alta calidad es esencial tener buenos procedimientos de acopio de reservas. Los agregados retienen su graduación si son adecuadamente acopiados. Cuando el acopio es malo, las partículas de agregado se segregan (separan por tamaño) y la graduación varía en los diferentes niveles del acopio.

El contratista deberá estar preparado para recibir los agregados antes de que estos sean entregados en la planta. Deberán prepararse superficies firmes y limpias, debiendo tomarse precauciones para mantener separadas las reservas y así prevenir entremezclado de partículas, el cual conduce, frecuentemente, a errores en la graduación. La separación se logra ya sea manteniendo las reservas ampliamente espaciadas, mediante el uso de muros de contención entre ellas o almacenando el agregado en depósitos. El uso de muros de contención requiere que estos sean lo suficiente fuertes para resistir el peso del agregado y que se extiendan hasta la profundidad total de las reservas.

Las arenas, el agregado triturado fino y los agregados que consisten de partículas de un solo tamaño (especialmente partículas pequeñas) pueden ser acopiados con muy poca segregación, utilizando cualquier método. Sin embargo, los materiales que contienen partículas que varían en tamaño de grandes (gruesas) a pequeñas (finas) requieren de ciertas precauciones en su acopio. La segregación de dichos agregados puede ser minimizada si el material grueso y el material fino son separados en el sitio y después juntados en proporciones apropiadas, antes de las operaciones de mezclado. Cuando estas prácticas no son llevadas a

cabo, se deben seguir de todas maneras, ciertas normas aplicables al acopio de reservas. La primera norma consiste en controlar la forma de los acopios. Cuando un agregado que contiene materiales gruesos y finos es apilado para formar un acopio de lados inclinados, las partículas gruesas tienden a rodar abajo, por la pendiente y acumularse en la base.

El mejor método para acopiar reservas de agregado que contienen partículas de diferente tamaño consiste en apilar el material en capas. Tales capas minimizan la segregación que puede ocurrir por gravedad. Si el agregado es entregado por un camión, las cargas deberán ser vaciadas una cerca de otra, sobre la superficie del acopio.

Los rellenos minerales son usualmente almacenados en depósitos, cilos o bolsas para prevenir que sean arrastrados por el viento y que sean expuestos a la humedad. La cual los puede aglutinar o endurecer.

MANEJO DE AGREGADO.

El manejo de agregado degrada (rompe), hasta cierto punto las partículas individuales de agregado y causa segregación cuando se trata de partículas que presentan diferentes tamaños. Por lo tanto, el manejo de agregado debe ser mínimo para poder prevenir cualquier degradación y segregación.

El manejo mínimo incluye apartar el agregado de las reservas para que pueda ser procesado adicionalmente y para luego ser mezclado en la planta de mezcla en caliente. No existen reglas específicas para esta operación, pero sí hay una norma general que casi siempre se aplica. Esta consiste en usar un cargador de tractor o cucharón de almeja para remover material de las partes casi verticales del acopio. Si se usa un buldózer o cualquier otro vehículo de tracción para trabajar en la parte superior del acopio, aumenta la probabilidad de una alta degradación.

MUESTREO DE AGREGADO

Los buenos procedimientos de control de calidad requieren de pruebas durante los procesos de producción, acopio y manejo para:

- Asegurar que solamente se use material satisfactorio en la mezcla de pavimentación y
- Proporcionar un registro permanente como evidencia de que los materiales cumplen con las especificaciones de la obra.

Obviamente, no resulta práctico ensayar todo el agregado que esta siendo producido o ensayar todo el contenido del acopio. Solo es posible ensayar muestras de estos materiales. La muestra seleccionada debe ser verdaderamente representativa de todo el agregado para que los resultados de los ensayos sean confiables.

PROPIEDADES DEL AGREGADO Y SU EVALUACIÓN

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma del 90 al 95 por ciento, en peso de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor critico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que conforman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

- Graduación y tamaño máximo de partícula
- Textura de la superficie
- Limpieza
- Capacidad de absorción
- Dureza
- Afinidad con el asfalto.
- Forma de la partícula
- Peso específico.

➤ GRADUACIÓN Y TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA.

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas este presente en ciertas proporciones. Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender como se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

➤ TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA.

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

- ❑ Tamaño máximo nominal de la partícula, designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado en una serie normal de tamices.
- ❑ Tamaño máximo de partícula, designado como un tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más grande por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas del agregado.

Para ilustrar las diferencias entre las dos designaciones, considérese el siguiente ejemplo:

Se efectúa un tamizado de una muestra de agregado que va a ser usada en una mezcla de pavimentación. El tamiz de 19 mm (3/4 pulgada) retiene 4 por ciento de todas las partículas de agregado. El tamiz de 12.5 mm (1/2 pulgada), inmediatamente por debajo del tamiz de 19 mm retiene un total de 18 por ciento de todas las partículas de agregado. En este caso, el tamaño máximo nominal es 19 mm (3/4 pulgada) y el tamaño máximo es 25 mm (1 pulgada).

Una mezcla de pavimentación se clasifica de acuerdo a su tamaño máximo o a su tamaño máximo nominal. Por lo tanto, en el ejemplo anterior la mezcla se denominaría “mezcla de 25 mm” de acuerdo al tamaño máximo del agregado, mientras que se denominaría mezcla de 19 mm de acuerdo al tamaño nominal del agregado.

➤ GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO.

La granulometría del agregado o graduación de la mezcla, tiene en cuenta el porcentaje (en peso) total de muestra que pasa por cada uno de los tamices. La granulometría es determinada al calcular el peso del contenido de cada tamiz, después de haber efectuado el análisis de tamices. Luego se resta el peso del contenido de cada tamiz del peso total de la muestra.

Los concretos asfálticos son clasificados de acuerdo a los porcentajes de partículas de agregado que contienen.

Ciertos términos son usados al hacer referencia a las fracciones de agregado con el propósito de ayudar a la descripción de las mismas. Estos son:

- Agregado grueso- material retenido por el tamiz de 2.36 mm (No. 8).
- Agregado fino- material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8).
- Relleno mineral- fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.60 mm (No. 30).
- Polvo mineral- fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.075 mm (No. 200).

El relleno mineral y el polvo mineral están presentes en los agregados naturales y también son producidos como subproducto, en la trituración de muchos tipos de roca. Ellos son esenciales para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable y resistente a la penetración del agua. Sin embargo, un pequeño porcentaje de más o de menos de relleno o polvo mineral, puede causar que la mezcla aparezca excesivamente seca o excesivamente rica (la mezcla de pavimentación aparecerá como si tuviera muy poco asfalto o demasiado asfalto). Dichos cambios en la mezcla pueden ocurrir con pequeños cambios en la cantidad o en el tipo de relleno o polvo mineral utilizado. Por consiguiente, el tipo y la cantidad de relleno y polvo mineral usados en cualquier mezcla asfáltica de pavimentación deberán ser cuidadosamente controlados.

Los dos métodos usados para determinar la graduación de agregados son: tamizado en seco y tamizado por lavado. El tamizado en seco se usa generalmente con material agregado de graduación gruesa. Sin embargo, cuando las partículas de agregado están cubiertas de polvo o material limo-arcilloso, se debe efectuar un tamizado por lavado.

TAMIZADO EN SECO

- Las muestras para el tamizado seco son reducidas por medio de un cuarteador de muestras o mediante cuarteo manual.
- Los materiales finos y gruesos son separados usando un tamiz de 2.36 mm (No. 8).
- Las muestras son secadas hasta un peso constante.
- Las muestras finas y las muestras gruesas son tamizadas separadamente.
- El peso de las fracciones (porciones) retenidas en cada tamiz y en el platón que está al final de los tamices, es registrado, así como la graduación de cada muestra (parte fina y parte gruesa).

TAMIZADO POR VÍA HÚMEDA

- Las muestras para este tipo de tamizado son lavadas a fondo para remover el polvo y el material limo-arcilloso, después de haber sido reducidas, separadas, secadas y pesadas.
- Después de ser lavadas, las muestras son nuevamente secadas y pesadas. La diferencia en peso antes y después del lavado representa la cantidad de polvo y material limo-arcilloso en la muestra original.

CÁLCULOS RELACIONADOS CON EL AGREGADO

ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA

Las granulometrías se expresan ya sea en porcentaje total que pasa (el porcentaje total en peso de muestra de agregado que pasa a través de un tamiz dado), porcentaje total retenido (el porcentaje total en peso de muestra de agregado que es retenido en un tamiz dado), o porcentaje total que pasa y retenido (el porcentaje total en peso de muestra de agregado que pasa a través de un tamiz dado y que es retenido en el tamiz que sigue hacia abajo).

La granulometría del agregado, después de ser calculada, se dibuja como una curva continua. Dos tipos de curvas que generalmente se usan son: curvas de gráficos semi logarítmicos y curvas de gráficos exponenciales.

La línea mostrada en la Figura 3.1 ha sido dibujada utilizando información de un análisis de tamizado en seco. El porcentaje que pasa cada tamiz es dibujado como un punto sobre la línea vertical correspondiente. Después de que se han dibujado todos los puntos para cada tamiz con su respectivo porcentaje, estos son unidos por medio de una línea continua. Esta línea representa la curva de granulometría del agregado en cuestión. Uno puede saber inmediatamente si la granulometría del agregado cumple con las especificaciones de graduación, si se dibuja la banda de especificaciones.

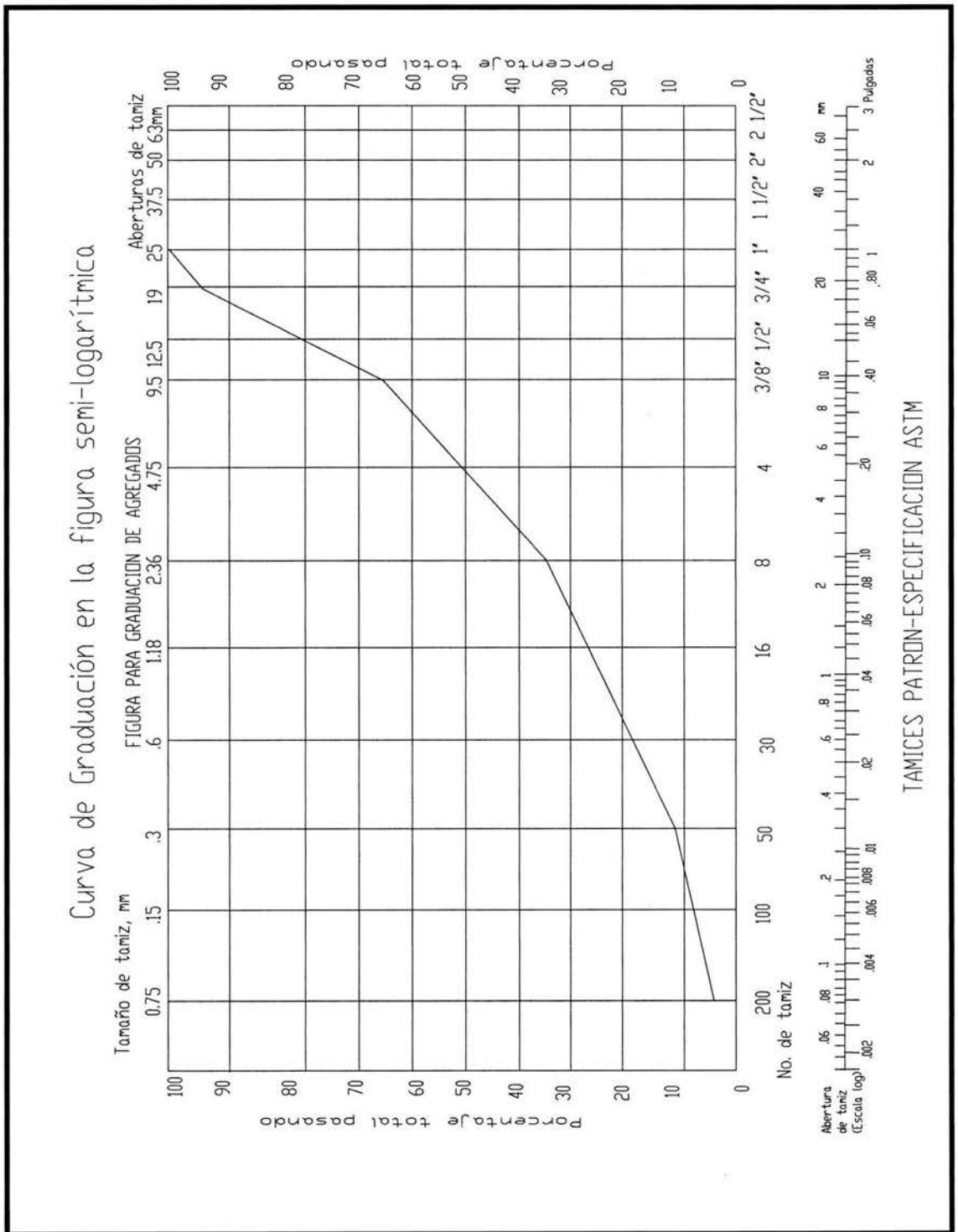


Figura 3.1

- CÁLCULOS DE PESO ESPECÍFICO RELATIVO

El peso específico relativo de un agregado es la proporción entre el peso específico del agregado y el peso específico de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados en la mezcla, de acuerdo al peso.

Una tonelada de agregado de bajo peso específico tiene un volumen mayor (ocupa más espacio) que una tonelada de agregado con un peso específico más alto. Por consiguiente, para poder cubrir todas las partículas de agregado más asfalto debe ser adicionado a una tonelada de agregado con bajo peso específico (mayor volumen) que a una tonelada de agregado con un peso específico más alto (menos volumen).

Otra razón importante por la cual es necesario conocer el peso específico de los agregados usados, es que este ayuda en el cálculo del porcentaje de vacíos de aire (espacios de aire) de las mezclas compactadas. Estos espacios desempeñan una labor importante en el pavimento terminado. La única manera de calcular el porcentaje de vacíos de aire en un volumen dado de mezcla de pavimentación es midiendo el peso específico de una muestra de la mezcla de pavimentación y luego restando de su valor, los pesos específicos del agregado y el asfalto que conforman la mezcla. El resultado es una indicación del volumen de vacíos de aire en la muestra.

Todos los agregados son, hasta cierto punto, porosos. Se han desarrollado tres tipos de peso específico para tener en cuenta la porosidad del agregado, debido a que esta afecta la cantidad de asfalto que se requiere para cubrir las partículas de agregado y también el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla final. Estos tres tipos son:

- Peso específico total
- Peso específico aparente y
- Peso específico efectivo

El peso específico total de una muestra incluye todos los poros de la muestra.

El peso específico aparente no incluye como parte del volumen de la muestra, los poros y espacios capilares que se llenarían de agua al mojar la muestra.

El peso específico efectivo excluye del volumen de la muestra, todos los poros y espacios capilares que absorben asfalto.

El peso específico total asume que los poros que absorben agua no absorben asfalto. El peso específico aparente asume que todos los poros que son permeables al agua absorben asfalto. Ninguna de estas suposiciones, excepto en casos muy raros, es verdadera. Por lo tanto, el peso específico efectivo, el cual discrimina entre poros permeables al agua y poros permeables al asfalto, es el que más se acerca al valor correcto que debe ser usado en los cálculos de mezclas asfálticas.

LIMPIEZA.- Las especificaciones de la obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, etcétera) en el agregado. Las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento.

La limpieza del agregado puede determinarse, usualmente mediante inspección visual, pero un tamizado por lavado (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable más fino que 0.075 mm (No. 200).

DUREZA.- Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación y compactación de la mezcla de pavimentación, y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están cerca de la superficie, deben ser más duros (tener más resistencia) que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito.

El Ensayo de Desgaste de los Ángeles mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión.

FORMA DE LA PARTÍCULA.- La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente es con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas casi siempre por trituración.

Muchas de las mezclas asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas. Las partículas gruesas (grandes) de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen generalmente de piedra o grava triturada. Las partículas finas de agregado suministran la trabajabilidad necesaria en la mezcla y provienen generalmente de arenas naturales.

TEXTURA SUPERFICIAL.- La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es mas importante que la forma de la partícula. Una textura áspera, como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

No existe un método directo para evaluar la textura superficial. Es tan solo una característica, como la forma de la partícula, que esta reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN.- Todos los agregados son porosos y algunos más que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño, determina su porosidad.

La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades mucho mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso.

Los agregados altamente porosos y absorbentes no son normalmente usados, a menos de que posean otras características que los hagan deseables, a pesar de su alta capacidad de absorción. Algunos ejemplos de dichos materiales son la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos. Estos materiales son altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

AFINIDAD CON EL ASFALTO.- La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas y las dolomitas tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua), porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (atraen el agua), tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silíceos (cuarcita y algunos granitos) son ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución.

No es muy claro el porque los agregados hidrofóbicos e hidrofílicos se comportan de tal manera. A pesar de esto, existen varios ensayos para determinar su afinidad con el asfalto y su tendencia al desprendimiento. En uno de estos ensayos, la mezcla de agregado-asfalto sin compactar, es sumergida en agua y las partículas cubiertas son observadas visualmente. En otro ensayo, comúnmente conocido como ensayo de inmersión-compresión, dos muestras de mezcla son preparadas y una es sumergida en agua. Posteriormente, ambas son ensayadas para determinar sus resistencias. La diferencia en resistencia es considerada un indicativo de la susceptibilidad del agregado al desprendimiento.

DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS QUE SE DEBEN CUMPLIR EN LA ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

GENERALIDADES.

La mezcla asfáltica la constituye el material pétreo convenientemente recubierto con una película de asfalto y luego sometida a un proceso de compactación, que hace que esta mezcla tenga propiedades resistentes al desgaste producido por los vehículos y a su vez pueda traspasar la sollicitación del peso de ellos hacia las capas inferiores.

Criterios a considerar para el diseño de mezclas:

- El espesor de la película de asfalto alrededor del árido, tiene una influencia determinante en la estabilidad y durabilidad.

- Mientras más delgada es dicha película, menor será la estabilidad. A medida que esta película se engruesa el asfalto tiende a cohesionar el árido, pasando por un óptimo y luego hace un efecto lubricador.
- La cohesión entre pétreos, varía con el tiempo al perder el asfalto su poder ligante y flexibilidad al oxidarse.
- El aporte del material pétreo a la estabilidad, lo efectúa a través de su fricción interna y esta a su vez, es función del tamaño del árido y de la rugosidad de sus caras.
- La falta de estabilidad proporcionada por los áridos, puede ser suplida en parte, usando un asfalto de menor penetración.
- En el diseño además debe considerarse las características de impermeabilidad y trabajabilidad.

El diseño debe encontrar el mejor balance entre estabilidad y durabilidad. El objetivo de este balance es obtener la mezcla más económica.

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla, ellos son el Método Marshall y el Método Hveem. Ambos métodos de diseño son ampliamente usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. La selección y uso de cualquiera de estos métodos de diseño de mezclas es principalmente, asunto de gustos en ingeniería, debido a que cada método contiene características y ventajas singulares. Cualquier método puede ser usado con resultados satisfactorios.

CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Vacíos de aire o simplemente vacíos.
- Contenido de asfalto.

Densidad

En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa generalmente en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o libras por pie cúbico (lb/ft^3). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que muy raras veces la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

• Vacíos de Aire (o simplemente vacíos)

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire o bolsas de aire que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento. Dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes a través de la mezcla por los cuales puede entrar el agua y el aire y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos; preferiblemente menos del 8 por ciento.

Vacíos en el Agregado Mineral

Los vacíos en el agregado mineral (VAM) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la

mezcla. Cuanto mayor sea el VAM, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que, cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se deben tener valores mínimos de VAM. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VAM por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial para la calidad del pavimento disminuir el VAM para economizar en el contenido de asfalto. En la tabla siguiente se muestran los porcentajes de vacío que se deben usar para el diseño de mezclas de acuerdo al tamaño máximo del agregado.

Tamaño máximo en mm (porcentaje)		VMN mínimo, por ciento Vacíos de diseño, por ciento		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	½	13.0	14.0	15.0
19.0	¾	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO MARSHALL

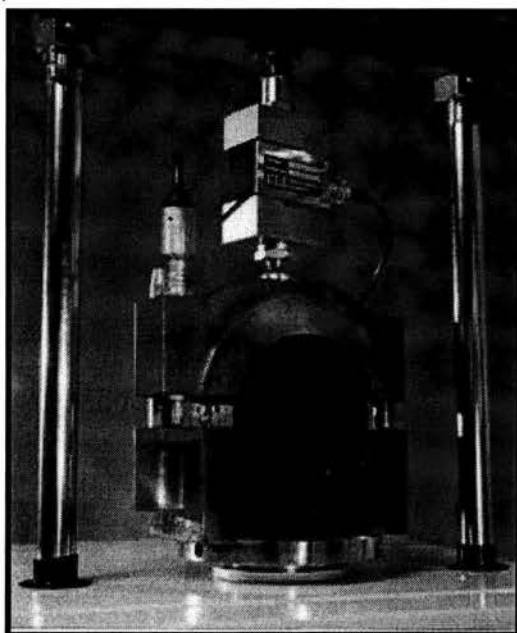
El método Marshall es aplicable solo a mezclas en caliente. El método puede usarse tanto para el diseño en laboratorio como en el control de terreno.

Previo a la ejecución del método se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

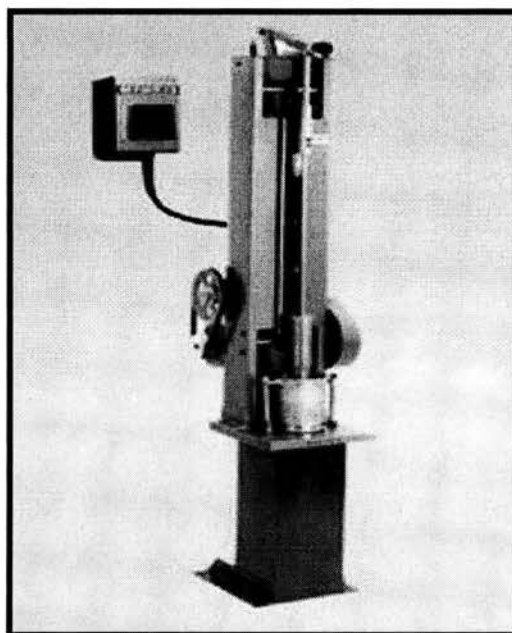
- Los materiales a usar deben cumplir con las especificaciones del proyecto.
- La mezcla de agregados debe cumplir con las especificaciones granulométricas del proyecto.
- Se deben determinar las densidades reales secas de todos los agregados y las del asfalto para ser usados en el análisis de huecos de la mezcla.

El método utiliza probetas normalizadas de 2½" de altura por 4" de diámetro. Estas se preparan de acuerdo a un procedimiento específico de calentamiento, mezclado y compactación. Las dos características principales del método de diseño son el análisis densidad-huecos y el ensayo de fluencia y estabilidad de las probetas.

La estabilidad de la probeta de ensaye es la carga máxima en Newton que esta alcanza a 60° C y la fluencia será la deformación, en décimas de milímetros, que ocurre desde el instante que se aplica la carga hasta lograr la carga máxima.



Probeta marshall



Pedestal de compactación

CRITERIOS DE DISEÑO MARSHALL

Compactación,	Nº de golpes por cara 75
Estabilidad (N): - Carpeta de rodado - Capa intermedia - Capa base	* Min 9.000 - Max 14.000 * Min 8.000 - Max 12.000 * Min 6.000 - Max 9.000
Huecos en la mezcla (%): - Carpeta de rodado - Capa intermedia - Capa base	3 - 5 3 - 8 3 - 8
Fluencia (0,25 mm) - Todas las capas	8 - 16
Vacíos en el agregado mineral (%): Tamaño máximo nominal (mm) 1,25 2,5 5 10 12,5 20 25	%VAM min. 23,5 21 18 16 15 14 13

DISEÑO DE MEZCLAS RECICLADAS

El diseño de una mezcla reciclada requiere de consideraciones previas sobre las características de los materiales (agregados y asfalto) que componen el material reutilizado.

Esta característica nos lleva a la necesidad de realizar muestreos de los materiales a reciclar. La posibilidad de que las características de los materiales varíen a lo largo de la rehabilitación nos obliga a efectuar muestreos permanentes para ratificar o modificar el diseño realizado. De los muestreos realizados se determinaran las siguientes características:

A) Sobre el asfalto envejecido, mediante roto vapor o destilación:

- Penetración.
- Punto reblandeciente.
- Punto fragilidad fraass.

Con estos datos se determina el tipo de rejuvenecedor, asfalto o emulsión asfáltica rejuvenecedora a emplear. Según el tipo de reciclado.

B) Sobre los agregados recuperados:

- Granulometría.
- Plasticidad.

Con estos datos se determina, según el tipo de reciclado:

- Necesidad de cribado o trituración (reciclado en planta).
- Tipo y cantidad de agregado virgen para componer las curvas granulométricas.
- Tipo y cantidad de conglomerantes hidráulicos para abatir plasticidad, en el caso de reciclados de bases granulares y carpetas.

A partir de aquí el diseño de la mezcla sigue los pasos normales como son:

- Elección del procedimiento de diseño
- Ensayos de la mezcla
- Fórmula de trabajo
- Control de producción
- Seguimiento

Procedimiento constructivo de una mezcla asfáltica en planta en caliente.

En la planta de concreto asfáltico se deberá tener el material pétreo del diámetro adecuado (menor de una pulgada) que de preferencia deberá estar triturado. Este material se eleva a un cilindro de calentamiento hasta llegar a una temperatura de 160 a 175° C, de ahí se pasa a la unidad de mezclado donde se criba para alimentar 3 o 4 tolvas con material de diferente tamaño, se pesa la cantidad de material necesaria de pétreo y se depositan en las cajas mezcladoras donde se le provee de cemento asfáltico AC-20 el cual deberá estar a una temperatura de 130 a 150° C, se recomienda no exceder estos valores para evitar que se pierdan propiedades, se realiza la mezcla hasta su homogenización y ésta se vacía a los vehículos a una temperatura de entre 120 y 130° C, de preferencia esta mezcla se cubre con una lona para evitar se enfríe en el trayecto.

CAPITULO IV

TIPOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS

TIPOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS

Los tipos de carpetas asfálticas más utilizadas en el mantenimiento de la red vial primaria y de los ejes viales son:

- 1.-Mezclas Asfálticas en frío.
- 2.-Mezclas Asfálticas en caliente.
- 3.-Mezclas Recicladas

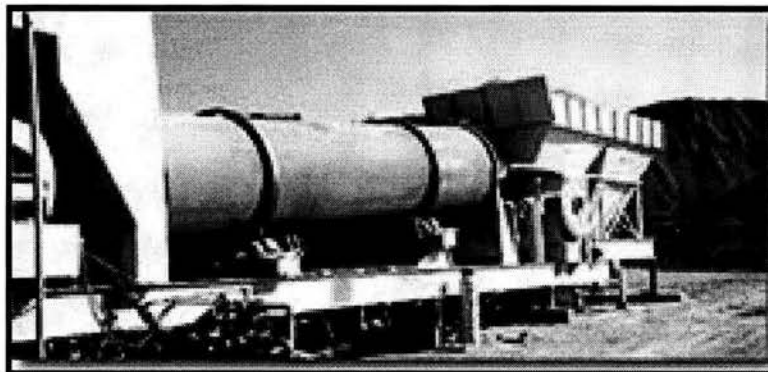
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO.

Éste tipo de mezclas se pueden fabricar tanto en planta como en sitio ya que en diversas ocasiones se aprovechan los materiales que se encuentran en el sitio de la obra.



Planta utilizada de 2 tolvas divididas operando en Puebla, México

El proceso de elaboración es el siguiente. Una vez que se realiza el fresado de la carpeta asfáltica, el material se lleva a la planta de asfalto, se criba en las diferentes mallas con objeto de analizar su granulometría y su contenido de cemento asfáltico, si es que se utiliza material producto del fresado. Una vez que se han analizado estos dos aspectos, se realiza la incorporación del agregado necesario con objeto de que cumpla con la curva granulométrica especificada anteriormente. Posteriormente se aplica emulsión asfáltica catiónica o aniónica de acuerdo a las características del material con objeto de que exista adherencia y afinidad entre el agregado y la emulsión.



Planta utilizada de 2 tolvas divididas operando en Querétaro, México

Para el caso de las mezclas asfálticas fabricadas en frío lo que las hace manejables es el agua con que esta fabricada la emulsión, ya que una vez que se elimina totalmente el agua la mezcla alcanza su estabilidad.

Se debe aplicar el cemento asfáltico necesario de tal manera que se obtenga el contenido óptimo para el tipo de material con que se esta trabajando. El cemento asfáltico es el único material que se calienta con objeto de poder realizar la mezcla con el agregado y hacer una mezcla más homogénea. Finalmente, éste se hace pasar por las tolvas de las plantas para obtener el producto final, el cual es transportado a la obra para su tendido y colocación.

El proceso que se utiliza para el tendido de las mezclas asfálticas en frío es similar al de las mezclas asfálticas en caliente, con las siguientes particularidades:

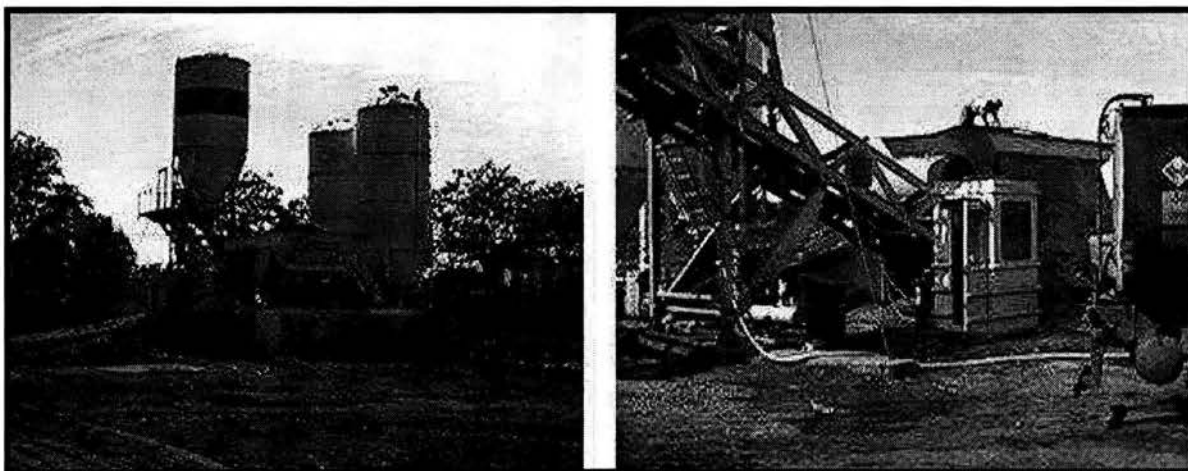
- a) Una vez que se tiende lo que se busca es eliminar totalmente el agua para que alcance su estabilidad.
- b) Necesita que se le den diversas pasadas de compactador neumático para alcanzar su estabilidad.
- e) La temperatura de tendido es a temperatura ambiente.

VENTAJAS.

- Los rendimientos que se obtienen son mayores en el proceso de colocación, es decir se avanza más rápidamente que una mezcla fabricada en caliente.
- Dentro de las ventajas que se obtienen en el empleo de este tipo de mezclas es que no emiten solventes a la atmósfera y por tal motivo no contaminan el medio ambiente.
- El costo de fabricación de la mezcla es más barato que una mezcla en caliente.

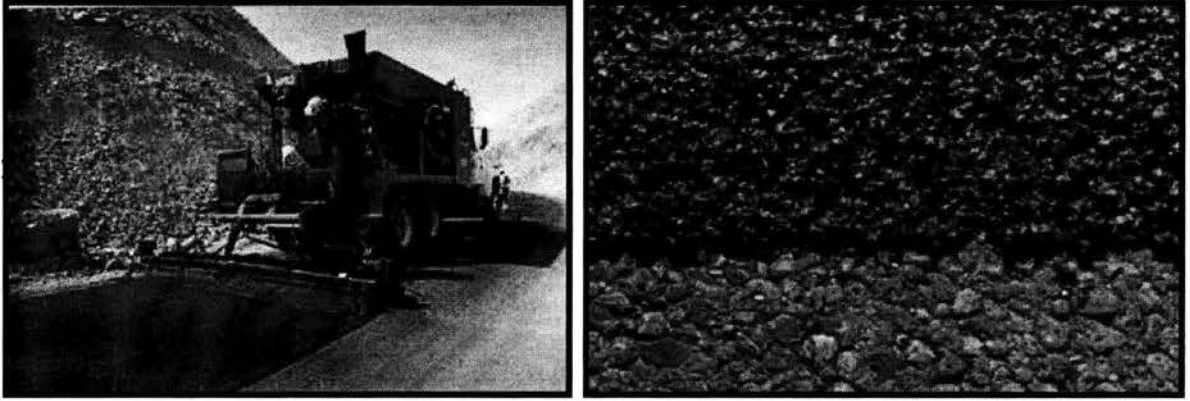
DESVENTAJAS.

- Tardan mucho tiempo en alcanzar su estabilidad.
- Su calidad es menor comparada con una mezcla en caliente.
- Su vida útil es menor que la de una mezcla asfáltica en caliente.
- Se ha encontrado que no existe una mezcla homogénea entre los agregados y el cemento asfáltico.
- Se limita al tránsito casi exclusivamente para automóviles.

**MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.**

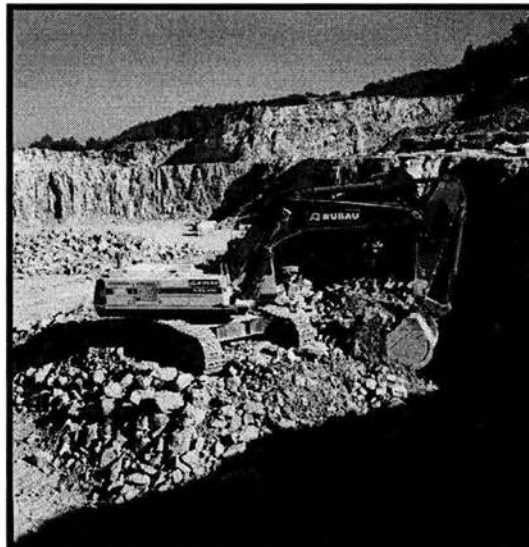
Las carpetas de concreto asfáltico son mezclas de materiales pétreos y cemento asfáltico. Como este último a temperatura ambiente es sólido, es necesario que la elaboración se efectúe en una planta en la que se calienta hasta 140° C y por consiguiente también se calienta el material pétreo lo que se hace hasta la temperatura de 160° C.

Debido a las características del cemento asfáltico, este tipo de carpetas tiene características de tipo elástico, con ruptura de tipo frágil y de poca resistencia, principalmente a bajas temperaturas, por lo que este tipo de carpetas no deben construirse sobre bases naturales con módulos de elasticidad bajos ya que pueden tener deformaciones bajo la acción del tránsito, sino que se deben construir sobre bases rigidizadas con cal hidratada o cemento Pórtland o sobre bases asfálticas.



Tendido de liga de la carpeta asfáltica

El material pétreo que se utiliza en este caso, en general es roca triturada del tipo de basalto, andesita o riolita sanos y debe cumplir con las características y especificaciones antes mencionadas como son tamaño máximo de agregado de $\frac{3}{4}$ ", compactada al 90% de estabilidad Marshall.



Extracción de material pétreo

MEZCLAS RECICLADAS

Definición de reciclado: Técnicas que permiten reutilizar (para su rehabilitación), los materiales existentes de pavimentos deteriorados.

OBJETIVOS

La finalidad técnica de un reciclado de pavimentos es la de restituir las propiedades de las capas que se cortan y reutilizan o incluso mejorarlas, estas propiedades son básicamente:

- La capacidad estructural, vinculada a la resistencia mecánica (estabilidad).
- La resistencia a la acción del agua.
- La resistencia a la fatiga, parcial o totalmente consumida en el material original.

ÁMBITO DE APLICACIÓN

El reciclado de pavimentos es una técnica de rehabilitación, que puede usarse en todo tipo de pavimentos, desde los pavimentos flexibles a los rígidos, aunque suele emplearse principalmente en pavimentos flexibles.

El campo de aplicación es enorme y va desde el reciclado de carpetas asfálticas con problemas de envejecimiento, hasta el reciclado de capas importantes de bases granulares y carpetas con problemas estructurales, pudiendo formar parte de un proceso de reconstrucción.

CLASIFICACIONES

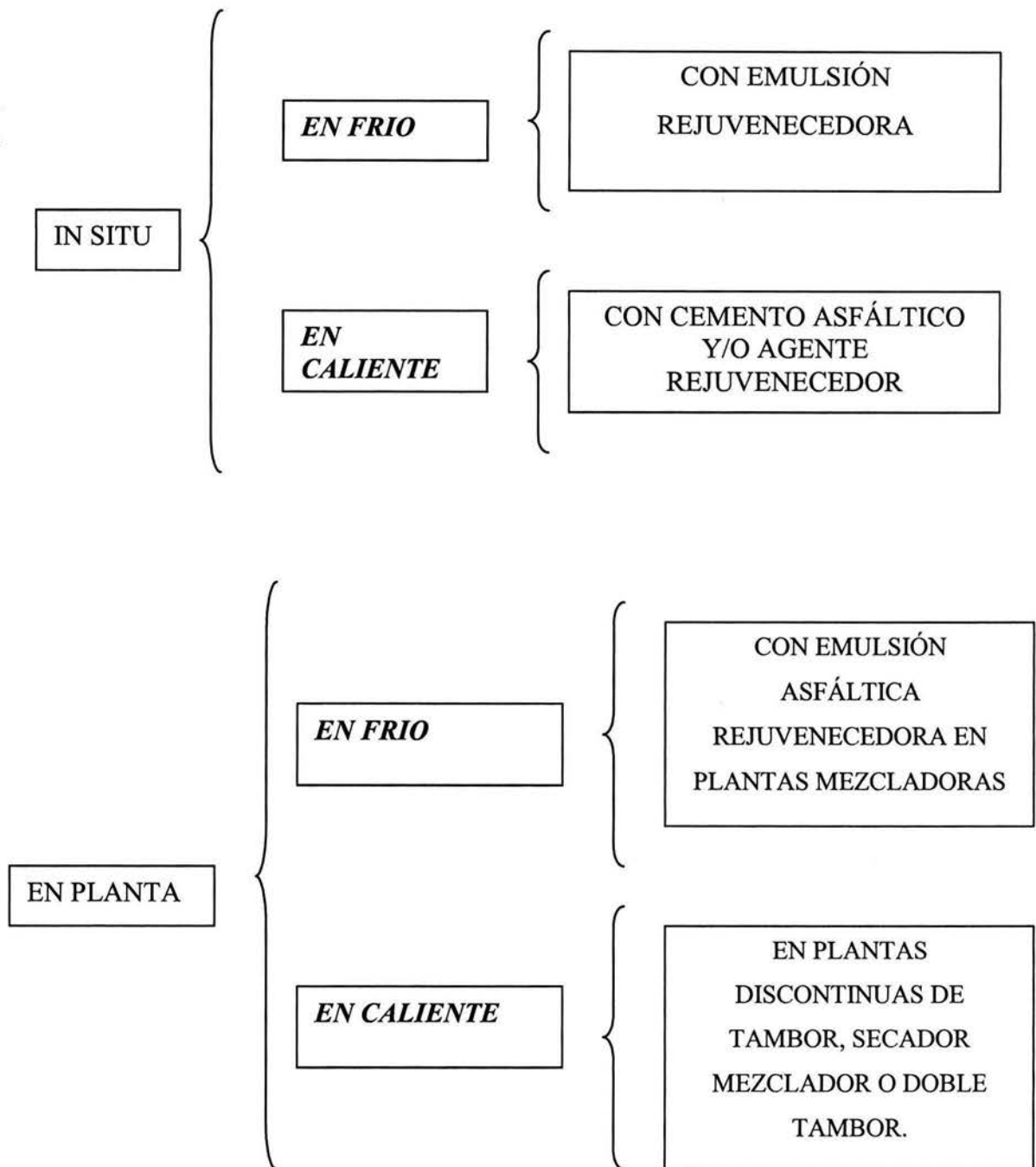
Atendiendo al objetivo de la rehabilitación, podemos clasificarlos en:

TIPO I.- Reciclado de la carpeta asfáltica, como un proceso de renovación y regularización superficial.

TIPO II.- Reciclado de la carpeta y parte de la base granular, con incorporación posterior de una capa asfáltica de poco espesor, como un proceso de refuerzo ligero.

TIPO III.- Reciclado total de la carpeta y la base granular, creando una capa de base de alta calidad y posterior acabado con carpeta asfáltica, lo que constituye una gran rehabilitación o reconstrucción

En función del procedimiento utilizado para su fabricación y puesta en obra, podemos clasificarlos:



Los reciclados Tipo I y II pueden realizarse, con cualquiera de los procedimientos descritos.

El reciclado Tipo III, habitualmente se realiza con procedimientos in situ, en frío, con emulsiones.

RECICLADO IN SITU EN FRÍO

PROCESO

Se realiza con máquinas autopropulsadas que fresan, disgregan e incorporan la emulsión asfáltica rejuvenecedora. Las actividades principales son:

- Muestreo previo de los tramos a reciclar para determinar:
 - ❑ Emulsión rejuvenecedora o asfalto espumado.
 - ❑ Agregado virgen.
 - ❑ Conglomerantes hidráulicos (cal o cemento) en el caso de reciclados de carpetas y bases con plasticidad.
- Diseño de la mezcla reciclada.
- Previo al trabajo de maquinaria, se colocan sobre el pavimento los conglomerados hidráulicos y agregados pétreos de acuerdo con las proporciones de diseño.
- La máquina corta, mezcla agregados y conglomerantes y añade emulsión; dependiendo del tipo de máquina, el tendido del material reciclado lo realiza la misma máquina mediante una rastra, o se efectúa con una motoconformadora.
- Compactación por medios convencionales.

CONSIDERACIONES

- Este tipo de reciclados permite la realización de tratamientos de bases y carpetas, en grandes espesores (30 a 40 cm), de esta forma se consiguen bases recicladas de gran calidad.
- El tratamiento se debe completar con la colocación de un sello o sobrecarpeta.

RECICLADO IN SITU EN CALIENTE

PROCESO

Se realiza con máquinas continuas que precalientan, fresan, disgregan e incorporan el agente rejuvenecedor, permitiendo la incorporación de mezcla asfáltica virgen simultáneamente y tendido de la mezcla.

Las actividades principales son:

- Muestreo previo y análisis del material a reciclar, determinando el rejuvenecimiento y mezcla asfáltica virgen a añadir.
- Diseño de la mezcla reciclada mediante Marshall o superpave.
- Trabajos con la máquina de reciclado continua, que consiste en un tren de equipos autopropulsados que realiza las siguientes operaciones:
 - ❑ Pre calentamiento de la carpeta asfáltica, utilizando diversas fuentes de calor, como rayos infrarrojos, gas butano o aire caliente.
 - ❑ Fresado de la carpeta pre calentada, disgregado e incorporación de rejuvenecedor.
 - ❑ Mezclado y homogeneización del material y colocación mediante el equipo esparcidor en caso de ser necesario, el equipo esparcidor permite la recepción de mezcla virgen fabricada en planta, que se revuelve con la reciclada; los equipos más modernos permiten la colocación de la mezcla virgen encima de la mezcla reciclada.
- Compactación de la mezcla por medios convencionales.

CONSIDERACIONES

- Las altas temperaturas en la operación de pre calentamiento, pueden provocar la ignición del material fresado, por lo que es necesario el control de la fuente de calor. Por este motivo, los espesores a reciclar se limitan a 6-8 cms.
- Este procedimiento de reciclado es aconsejable en rehabilitaciones de renovación y regularización de la carpeta asfáltica.

RECICLADO EN PLANTAS EN FRIO

PROCESO

- Muestreo del material a fresar, determinación del agregado virgen y emulsión rejuvenecedora a utilizar.
- Diseño de la mezcla en frío (inmersión-compresión, Marshall modificado).
- Fresado del material en frío y traslado a la planta de fabricación.
- Triturado y/o cribado del material fresado.
- Fabricación en planta mezcladora.
- Traslado a obra, tendido y compactación, por medios convencionales.

CONSIDERACIONES

- Los procesos de diseño y fabricación en planta, permiten la fabricación de mezclas en frío de alta calidad.
- Permite utilizarse tanto en rehabilitaciones de renovación y regularización de la carpeta asfáltica, como en refuerzos incrementando el espesor de la mezcla reciclada o colocando una sobrecarpeta.

RECICLADO EN PLANTAS EN CALIENTE**PROCESO**

El proceso de reciclado en planta requiere de las siguientes actividades principales:

- Muestreo de los tramos a reciclar para determinar el agregado virgen y el asfalto y/o rejuvenecedor a añadir.
- Diseño de la mezcla, mediante procedimiento Marshall o superpave.
- Fresado del material en frío y traslado a la planta de fabricación.
- Triturado y/o cribado del material fresado.
- Análisis del material fresado para ratificar el diseño.
- Proceso de fabricación en plantas de tambor-secador mezclador o doble tambor.
- Traslado a la obra, tendido y compactación por medios convencionales.

CONSIDERACIONES

- Las altas temperaturas en los secadores pueden provocar la ignición del material fresado, con pérdida de características y alta contaminación. Las plantas recomendadas disponen de los dispositivos adecuados para proteger de los quemadores la mezcla a reciclar, de manera que la homogeneización del producto final, se produce a temperaturas adecuadas para cada uno de los componentes.
- Los procesos de reciclado en planta fija, permiten la fabricación de mezclas de alta calidad.
- Este procedimiento se utiliza en rehabilitaciones para renovación y regularización de la carpeta asfáltica y, en refuerzos, colocando una sobrecarpeta.

CAPITULO V

PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE CARPETAS ASFÁLTICAS

ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTOS PARA EL REHABILITADO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO

A) FRESADO TOTAL DE LA SUPERFICIE Y RESTITUCIÓN DE LA CARPETA ASFÁLTICA

Procedimiento.- Cuando una vialidad presenta daños generalizados en toda su superficie como son: desprendimientos de concreto asfáltico, agrietamientos, roderas, envejecimiento o fatiga en la estructura de pavimento, se procede a realizar trabajos de rehabilitación siguiendo el proceso que a continuación se describe:

Mediante el empleo de una cortadora de pavimento tipo “roto mill” se fresa toda la superficie en espesores variables, tratando de dejar la superficie sin deformaciones y con las pendientes longitudinales y transversales adecuadas con objeto de que se facilite el tendido de la carpeta asfáltica.



Una vez concluido el fresado se realiza el barrido de la superficie tratando de eliminar toda la grava suelta así como la arenilla que se forma en el momento de triturar el asfalto envejecido. Estos trabajos se pueden llevar a cabo mediante el empleo de una barredora mecánica o por medios manuales.



Barrido de la superficie

Rociado de emulsión asfáltica:

En este sistema la emulsión asfáltica es regada directamente sobre el área sembrada, formando como cubierta una membrana delgada. La delgada película de asfalto tiene tres efectos beneficiosos:

- La cubierta de asfalto fija en sitio las semillas y evita su pérdida por las fuerzas de erosión del viento y agua.
- Debido a su color negro, el asfalto absorbe y mantiene el calor solar durante el período de germinación.
- La membrana de asfalto tiende a mantener humedad en el suelo y de ahí, producir un crecimiento más rápido de las plantas.

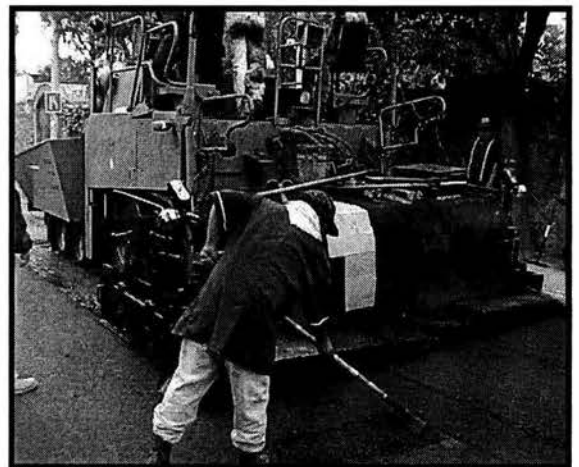
A medida que las pequeñas plantas emergen del suelo pueden fácilmente romper la fina cubierta de asfalto. La membrana eventualmente se desintegra a medida que las plantas crecen y cubren el área del suelo. Las emulsiones comúnmente utilizadas en esta operación son SS-1, SS-1h; CSS-1; ó CSS-1h. Normalmente se aplica una cantidad de 0.70 a 1.35 litros/m². La cantidad exacta se determina por la naturaleza del suelo, y la pendiente del área tratada. Se debe tener especial cuidado para aplicar la cantidad óptima de emulsión asfáltica. Una cantidad pequeña puede que no controle la erosión del suelo por el viento y el agua. Demasiada emulsión puede dejar una membrana muy gruesa que puede demorar el crecimiento. El área que vaya a recibir el riego de emulsión debe ser razonable, suave de tal forma que se pueda aplicar un cubrimiento uniforme.

Finalmente se tiende la carpeta asfáltica empleando una pavimentadora. El espesor puede variar de acuerdo a las características y especificaciones del proyecto.



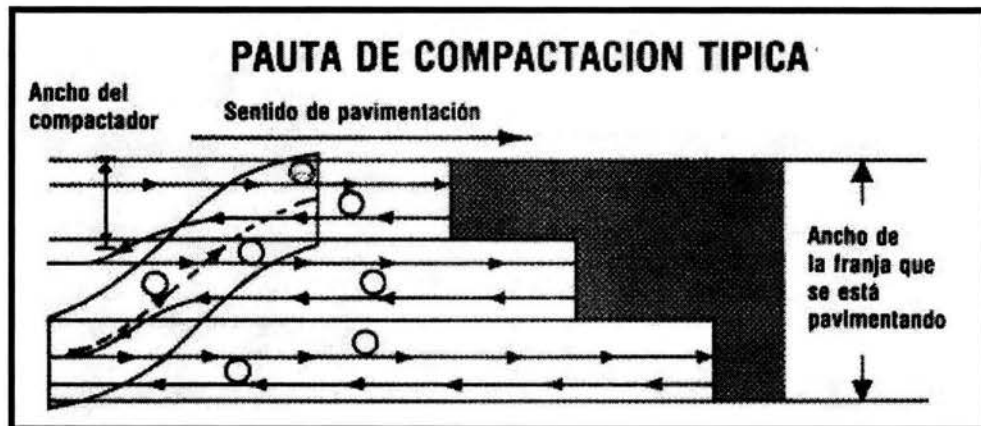
Tendido de carpeta asfáltica

Es importante señalar que el espesor mínimo debe de ser 2.5 veces el tamaño máximo del agregado, en general, el que se utiliza es de $\frac{3}{4}$ ". La temperatura de tendido es variable de acuerdo con las condiciones climáticas, ésta oscila entre 125 °C a 135 °C.



Tendido de carpeta asfáltica

En el último paso se compacta la carpeta, que al inicio debe de ser ligera para realizar lo que se conoce como el armado de la carpeta con pesos entre 7 y 8 toneladas, posteriormente se utiliza un equipo de compactación más pesado que puede ser un rodillo vibratorio, el cual tiene la función de dar un mejor acomodo a los agregados así como una mayor energía de compactación.



Compactación de carpeta asfáltica

Una vez que este último realiza su función entra un rodillo de neumáticos, que realiza varias funciones como es la de cerrar texturas así como compactar de abajo hacia arriba por la forma en que trabajan sus rodillos.



Compactación de carpeta asfáltica

B) Fresado parcial, bacheo, tendido de carpeta y sello a base de carpeta de textura abierta.

Cuando los daños en una vialidad son parciales y ésta presenta deterioros como pueden ser pequeñas coqueadas, zonas con roderas puntuales, algunas deformaciones y zonas puntuales con grietas o piel de cocodrilo que en conjunto estos daños no sean mayores al 50% del área total de la vialidad, se procede a efectuar una rehabilitación parcial, en zonas donde la vialidad lo requiera.

Procedimiento.- Se marcan las zonas a rehabilitar, se realiza el fresado del pavimento de acuerdo con las indicaciones del proyecto y lo autorizado por la supervisión de la dependencia, se realiza el bacheo correspondiente hasta donde se encuentre la estructura de pavimento dañada, se barre la superficie dejándola limpia y libre de impurezas, con la petrolizadora se aplica el riego de liga a una proporción de 0.7 lt/m^2 , se tiende la carpeta en zonas fresadas, tratando de cuidar juntas longitudinales y transversales, de igual manera se tiene un especial cuidado en los niveles de rasante, a efecto de evitar dejar terminados con bordes. Una vez compactada la carpeta se tiene la opción de colocar en toda la superficie con objeto de uniformizar, una carpeta delgada de 2.0 cm de graduación abierta, que brinda una superficie de rodamiento confortable y segura para los usuarios, dada su capacidad drenante, la disminución en un grado importante del ruido al paso de los vehículos y aumento del coeficiente de fricción entre los neumáticos y la capa de rodamiento. Para utilizar éste tipo de mezcla asfáltica y obtener un buen comportamiento es importante contar con una superficie con pendientes adecuadas así como una superficie previamente impermeabilizada ya sea con una lechada a base de cemento y agua o un riego elaborado con emulsión y arena.

Actualmente en la Dirección General de Obras Públicas se esta llevando a cabo la conservación y mantenimiento de vialidades primarias con superficies de rodamiento con acabados de textura abierta, su empleo ha ido en aumento debido al comportamiento que ofrecen las mismas como son una mayor seguridad para los usuarios por el incremento en los coeficientes de fricción así como la confortabilidad que brindan a los mismos.

El objetivo inicial que se busca con éstas mezclas fue su empleo en climas lluviosos, ya que por su textura evitan que se produzcan efectos como el acuaplaneo, al ser drenantes. Dado que son mezclas altamente porosas facilitan el contacto del neumático con el pavimento ya sea en condiciones lluviosas o en presencia de agua sobre la superficie de rodamiento.

A continuación se mencionan algunas de sus características que las distinguen de otras mezclas asfálticas:

a) Composición

- Tamaño máximo hasta de 20mm.
- Filler de 2.0 a 6.0%.
- Cemento asfáltico 4.0 a 7.0%, (varía de acuerdo al tipo de agregado).
- Huecos iniciales en la mezcla entre 10 - 30%.

b) Materiales

Deben poseer características similares a las exigidas en construcción en capas de rodamiento con mezclas asfálticas en caliente.

- Agregados limpios procedentes de trituración de piedra de cantera o grava natural.
- Coeficiente de desgaste de los ángeles menor del 25%.
- Índice de lajas menor del 25%.

VENTAJAS

- 1.- Mantienen elevada resistencia al deslizamiento, bajo lluvia elimina o reduce considerablemente la posibilidad de que se presente el fenómeno de hidropilano.
- 2.- Mantienen elevada resistencia al deslizamiento a altas velocidades.
- 3.- Mejora la velocidad con el pavimento mojado.
- 4.- Se incrementa ligeramente el valor estructural del pavimento.
- 5.- Ofrece pavimentos de rodadura cómoda y silenciosa.
- 6.- Adecuado comportamiento mecánico de la capa de rodamiento.

DESVANTAJAS

- 1.- Su vida de servicio puede ser más corta que la de una mezcla densa.
- 2.- Pérdida de la porosidad a través del tiempo.
- 3.- Si no se cuenta con un firme impermeable su deterioro es acelerado.
- 4.- Menor resistencia a la acción del petróleo y solventes.
- 5.- Es necesario que se apoye en un firme estructuralmente adecuado y de buena geometría.

Otra alternativa es colocar en vez de la carpeta delgada, un mortero asfáltico de 6mm, fabricado a base de emulsión y arena, que tiene como objetivo principal sellar los poros e impermeabilizar la superficie de rodamiento, así como uniformizar la superficie con un solo terminado y que éste sirva como capa de desgaste.

Ventajas de las carpetas de textura abierta sobre morteros asfálticos.

- ❑ Las carpetas de textura abierta contribuyen en porcentajes pequeños a reforzar estructuralmente los pavimentos debido a los espesores en que se pueden colocar, a diferencia de los morteros asfálticos que el espesor máximo que se maneja es de 8 mm.
- ❑ Por las características de los agregados y el tamaño de los mismos las carpetas de textura abierta tienen una vida útil mayor que los morteros asfálticos.
- ❑ Las mezclas de textura abierta producen menos ruido que los morteros asfálticos al paso de los vehículos.
- ❑ Los costos de conservación son menores en el caso de las carpetas delgadas.

Desventajas de las carpetas de textura abierta sobre morteros asfálticos.

- ❑ Su fabricación tiene que realizarse en una planta de asfalto, mientras que el mortero asfáltico se puede elaborar en sitio.
- ❑ Debido al proceso de elaboración, las carpetas de textura abierta son más costosas que los morteros asfálticos en un porcentaje del 30%.
- ❑ Los costos de reparación son mayores en las carpetas de textura abierta que en los morteros asfálticos.

C) Bacheo parcial y colocación de sobrecarpeta de 5.0 a 7.5cm.

En caso de que la vialidad requiera de un refuerzo estructural se toma como alternativa realizar un bacheo puntual o parcial retirando materiales dañados y substituyéndolos por materiales completamente sanos. Una vez concluido el bacheo se procede a ejecutar el piquete de amarre, el cual tiene como objetivo formar dentellones entre el asfalto nuevo y el viejo y evitar así deslizamientos de la nueva carpeta. Es importante señalar que éstas oquedades deben limpiarse perfectamente, si es necesario con un compresor de aire para que realicen adecuadamente su función. Como siguiente paso se encuentra la aplicación del riego de liga a razón de 0.7 lt/m^2 y finalmente se tiende la sobrecarpeta de 5.0 a 7.5 cm de espesor, se compacta a la temperatura adecuada, dependiendo si es en frío o en caliente y se sella con una lechada a base de cemento Pórtland y agua en una proporción de 0.75 kg/m^2 con la utilización de rastrillos y cepillos.

D) Trabajos de reciclados de carpetas asfálticas en sitio.

Dentro de las alternativas que se tienen para los trabajos de rehabilitación de pavimentos, nos encontramos con el reciclado de carpetas asfálticas. En estos casos se verifican las zonas dañadas con fallas, como son: desprendimientos por falta de cemento asfáltico o envejecimiento, agrietamientos por fatiga, ondulaciones longitudinales o transversales, baches y deformaciones. Dentro de los procedimientos se pueden realizar espesores hasta de 30 cm, lo que es una alternativa económica, pero de mucho menor calidad que cualquiera de las anteriores que se han tratado.

Procedimiento.- Se definen las zonas a reciclar, fresando la carpeta dañada, el producto del fresado se deposita en tolvas, se le añade un rejuvenecedor asfáltico que puede ser “reclamite o ciclogen”, se le incorpora la cantidad necesaria de agregados a manera que la mezcla entre en la granulometría adecuada y se tiende nuevamente ya sea en frío o en caliente dependiendo el tipo de máquina que se utilice y se compacta como cualquier mezcla asfáltica de las antes tratadas. El costo de estos trabajos es considerablemente menor en virtud de que no existen acarrees de material, el asfalto viejo se reutiliza prácticamente al 100%. El procedimiento anterior requiere de un control de calidad muy estricto y de un estudio previo de la vialidad para lograr un producto que cumpla con las especificaciones de construcción, de lo contrario se llegan a presentar porcentajes de asfalto muy elevados. Para el caso de la Ciudad de México, en la cual las carpetas se encuentran muy contaminadas y no son uniformes sus condiciones, el método es difícil de controlar y las experiencias previas han demostrado que se presentan mezclas con porcentajes de asfalto de hasta 10%.

E) Trabajos de reciclados en planta de asfalto.

Otro tipo de reciclado es aquel que se lleva a cabo en una planta de asfalto con los materiales producto del fresado. En la planta se analizan sus características como son contenido de cemento asfáltico, granulometría, deformación etc., se hace pasar por cribas y tolvas separando los diferentes tamaños y clasificándolo de acuerdo a los contenidos de asfalto que contenga la carpeta, se analiza y se determina si se añade o elimina asfalto con objeto de que sea estable la mezcla y cumpla con las especificaciones de proyecto. Una vez que se cumple con lo anterior se envía a la obra y se coloca mediante los procedimientos convencionales.

PROCESOS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD

En lo que se refiere a la supervisión de obra en el proceso de conservación y mantenimiento de la red vial primaria, la Dirección General de Obras Públicas realiza el mismo con personal adscrito a la Dependencia, sin embargo se realizan concursos por invitación restringida, invitación pública o adjudicación directa, contratando los servicios de Supervisión para la mayoría de las obras de repavimentación.

Como sabemos el objetivo de la supervisión es realizar trabajos de control como lo son: calidad, avance de obra y costos.

Un aspecto que es de suma importancia en estas obras es el que se refiere a control de calidad, el cual recae y es responsabilidad tanto del contratista como de la supervisión. El grado de control depende de la magnitud y el costo de la obra, por lo que es necesario contar con un buen sistema de control de calidad para el caso de las obras públicas.

En las obras de repavimentación el control de calidad interviene verificando el comportamiento que se vaya teniendo en los diferentes tipos de mezclas que se utilizan y recomendando las acciones que se deben desarrollar para que se tenga un funcionamiento adecuado, así como verificar la calidad de los materiales que se utilicen.

Dentro del control que se realiza en las obras se verifica el diseño de las mezclas asfálticas ya sea en frío o en caliente dependiendo del lugar o planta donde provenga el material, realizándose el muestreo en la obra de dos muestras por cada 100 toneladas de mezcla colocada. Una vez realizado el muestreo, en el laboratorio se efectúan pruebas de granulometría, contenido de cemento asfáltico, estabilidad Marshall, densidad, porcentaje de vacíos e índice de permeabilidad.

La supervisión en la obra es la responsable de controlar espesores, niveles de proyecto, temperatura de tendido, temperatura de compactación y que el proceso constructivo sea el adecuado. Después de concluida la obra deberá llevar a cabo inspecciones físicas trimestrales durante la vigencia de la fianza de vicios ocultos para la verificación del comportamiento de los asfaltos durante este periodo.

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, desarrollo un programa de investigación de asfaltos. Este programa tuvo como objetivo el estudiar los pavimentos asfálticos del Distrito Federal así como analizar los diferentes tipos de mezclas que se emplean en la actualidad y alternativas de empleo, tomando en cuenta el diseño y la estructura de pavimento de las vialidades, realizar un diagnóstico de los principales problemas que se presentan en las vialidades y estudiar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas y problemas derivados de su empleo.

Dentro del estudio se obtuvieron conclusiones importantes que se describen a continuación.

No es conveniente emplear mezclas asfálticas en frío en vialidades primarias; ya que la utilización de las mezclas asfálticas recicladas en frío y abiertas al tránsito sin un periodo largo de reposo, no son recomendables en vialidades que tengan tránsito alto de camiones pesados.

El uso de mezclas asfálticas fabricadas en caliente son recomendables cuando se tiene tránsito de vehículos pesados o cuando se requiere una contribución estructural importante.

El empleo de mezclas asfálticas de granulometría abierta es recomendable desde el punto de vista de seguridad y comodidad de los usuarios, aún cuando la contribución estructural sea menor que la capa de concreto asfáltico denso.

En cuanto a lo que se refiere a mejoras en la calidad de las mezclas asfálticas y materiales y de acuerdo a las conclusiones obtenidas a través del estudio realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se plantea lo siguiente:

El empleo de concretos friccionantes de granulometría abierta (porosos) mejora considerablemente las condiciones de operación de las vialidades, como son comodidad y seguridad.

Las carpetas porosas tienen una importante contribución funcional y protegen estructuralmente la capa inferior del pavimento.

Dado que los materiales estudiados (basalto triturado y asfalto Pemex, grado AC-20) son los empleados actualmente en el Distrito Federal y que la granulometría continua es la más frecuente y de mayor empleo, los resultados muestran que es posible obtener concretos asfálticos densos de buena calidad si se cumplen con las siguientes condiciones:

- ❑ Utilizar agregados triturados tanto grava como arena en donde se cuide que los porcentajes de lajas y material anguloso sea bajo.
- ❑ Elegir un asfalto de viscosidad adecuada.
- ❑ Diseñar la mezcla asfáltica adecuadamente.

En cuanto al control de calidad, lo que se pretende es que este se ajuste a las condiciones particulares de cada vialidad y se debe tomar en cuenta la opinión de todos los que estén involucrados con la obra de manera que se desarrolle un método aceptable y que permita mejorar la calidad de los pavimentos a costos adecuados.

En lo referente a las fianzas de garantía de las obras y vicios ocultos, se tendría que pensar en la posibilidad de aumentar la vigencia de la misma elaborando mecanismos de control de tal manera que las revisiones se realicen de manera periódica y que el contratista tenga corresponsabilidad en las decisiones que se toman a lo largo de la obra y posteriormente al término de la misma.

ACCESORIOS ESPECIALES.

Uno de los problemas que se presenta en las obras de mantenimiento es el que se refiere a la renivelación de los accesorios de las diferentes instalaciones que utilizan el subsuelo de la ciudad. Dentro del programa de gestión de calidad se planteó la renivelación de accesorios como uno de los puntos a mejorar dentro del proceso de mantenimiento. Dado el poco tiempo que se tiene disponible para las jornadas de trabajo que son de 11:00 PM a 5:00 AM, el concreto no alcanza la resistencia adecuada, teniendo como consecuencia que existan asentamiento de los brocales o coladeras en el momento en que se abre la vialidad a la circulación.



Vista de accesorios en vialidades

La propuesta de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica es tener o construir accesorios prefabricados en forma de aro y con diferentes medidas los cuales permitan su colocación de manera rápida y eficiente y que soporten la carga de los vehículos tanto particulares como de carga pesada.

SEÑALAMIENTO.

El señalamiento de protección de obra así como el definitivo es el que señalan las Normas y Especificaciones de la Secretaría de Transporte y Vialidad de acuerdo con el Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito.

Para el caso del señalamiento de protección de obra este se utiliza para los desvíos y cierre parcial de los tramos en que se trabaja en los turnos nocturnos. Este tiene la característica de que los colores son blanco y naranja reflejante con objeto de que se pueda apreciar por los conductores por las noches. También como parte del señalamiento se utilizan lámparas de desvío y flechas luminosas las cuales se identifican a grandes distancias.

Como complemento, la utilización de letreros panorámicos de grandes medidas ha dado buenos resultados, ya que como medida de información a los ciudadanos permite que se programen para tomar vialidades alternas en el momento de los cierres parciales.

Por lo que se refiere al señalamiento definitivo este se aplica mediante la aplicación de pintura termoplástica. Esta se aplica con un espesor que varía de 2 a 3.5 mm, lo que permite una vida útil de hasta 5 años. La pintura termoplástica se aplica a altas temperaturas y existen dos métodos de aplicación. El primero es el método de extrusión o gravedad y el segundo por aspersión.

CONCLUSIONES

La importante magnitud de las inversiones involucradas en la conservación de pavimentos, nos lleva al desarrollo de nuevas disciplinas como lo es la administración de pavimentos; es por esto que en nuestro país se deben desarrollar sistemas más sofisticados para la predicción del comportamiento de los pavimentos, con lo cual se permite la planificación de los trabajos y la optimización de los recursos.

El cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI), presenta una escala única de valores para el cálculo de la regularidad superficial de los caminos, que puede ser utilizada por la mayoría de los aparatos en la actualidad. Además este índice nos permite simular la respuesta de un vehículo al circular, por lo que nos permite considerar factores como seguridad, confort y costo de uso de los vehículos.

Debido a la importancia del cálculo del IRI, es preciso que los valores para el cálculo de este, se obtengan con perfilómetros dinámicos de gran rendimiento.

Cabe señalar que en el diseño de espesores de carpetas asfálticas se deben hacer los estudios necesarios para obtenerlo y no solo utilizar un espesor estándar, ya que las condiciones del suelo cambian en cada parte de la Ciudad de México. Es por esto, que no se debe tener un mismo espesor en todas las vialidades.

Se debe tener una buena selección en la elección de agregados, ya que el éxito de tener una carpeta asfáltica de buena calidad se debe en gran medida a los agregados; es por esto que bajo cualquier circunstancia se deben determinar las propiedades de los materiales pétreos, así como la determinación de las propiedades físicas de los cementos asfálticos.

Otro factor que se debe tomar en cuenta es el tener un mayor cuidado en el proceso repavimentación de carpetas asfálticas, ya que en muchas ocasiones los trabajos se hacen como si fuera un receta, siendo que estos deben realizarse mediante un proceso constructivo y un exhaustivo control de calidad.

Los cierres de vialidades que se realicen al realizar trabajos de mantenimiento deben ser lo suficientemente eficientes para realmente tener buenos cierres, ya que si el tránsito vehicular pasa sobre la carpeta asfáltica y esta aun no ha sido compactada en su totalidad, se producirán pequeñas ondulaciones, es por esto que se debe tener un cuidado especial en los cierres vehiculares, además de que estos deben ser realizados por personal capacitado.

BIBLIOGRAFÍA

- Especificaciones y Métodos de Ensayo AASHTO.
- Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Series No. 19 (MS-19), Asphalt Institute.
- Asphalt in Pavements Maintenance, Manual Series No. 16 (MS-16), Third Edition, Asphalt Institute.
- Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation, Manual Series No. 17 (MS-17), June 1983 Edition, Asphalt Institute.
- Reyes Espindola, Rafael Cal y Mayor. Ingeniería de Tránsito, México, Alfaomega, 1998, Séptima edición
- Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project, Strategic Highway Research Program (National Research Council), SHRP-P-338.
- Surface Rehabilitation Techniques, Techniques for Pavement Rehabilitation, Reference Manual, Sixth Edition, National Highway Institute, NHI Course No. 13108.
- Pagina Web SCT, www.sct.gob.mx