

28



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

"PROCESOS CONSTRUCTIVOS, MATERIALES
Y MAQUINARIA PARA EL RECICLAJE DE
PAVIMENTOS FLEXIBLES".



279319

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

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

P R E S E N T A :

H E C T O R V A L D E Z F A L C O N

ASESOR: ING. FRANCISCO ANZURES ROSAS.



SANTA CRUZ ACATLAN, EDO. DE MEXICO. JUNIO DE 2000.



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.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

SR. HÉCTOR VALDEZ FALCÓN.
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.
P R E S E N T E .

En atención a su solicitud presentada con fecha de 13 de abril de 1998, me complace notificarle que esta Jefatura de Programa aprobó el tema que propuso, para que lo desarrolle como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"PROCESOS CONSTRUCTIVOS, MATERIALES Y MAQUINARIA PARA EL
RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES".

INTRODUCCIÓN.

1. GENERALIDADES.
2. RECICLADOS EN CALIENTE.
3. RECICLADOS EN FRIO.
4. COMPARACIONES DE LOS RECICLADOS DE PAVIMENTOS.

CONCLUSIONES

Asimismo fue designado como asesor de tesis el ING. FRANCISCO ANZURES ROSAS, pido a usted, tomar nota en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses, como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.
Esta comunicación deberá publicarse en el interior del trabajo profesional.

ATENTAMENTE.
" POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU "
Acatlán Edo. de México a 18 de mayo del 2000.

Jefe del Programa

Ing. Enrique del Castillo Fragoso



ENEP-ACATLÁN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERÍA

**“PROCESOS CONSTRUCTIVOS,
MATERIALES Y MAQUINARIA PARA EL
RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES”**

Gracias a Dios por permitir este gran logro en mi vida

Gracias a la **Universidad Nacional Autónoma de México** en especial a la **ENEP "ACATLAN"** y a sus profesores que me formaron como profesional.

Gracias a las personas que me apoyaron para la realización de este trabajo en especial al Ing. Francisco Anzures Rosas, mi asesor de tesis.

Gracias a mis Padres y Hermanos que siempre me apoyaron y me impulsaron a terminar mi preparación profesional.

Gracias a mis compañeros y amigos: Gladis, Raymundo y Benjamin, que Contribuyeron para poder lograr nuestro objetivo.

Gracias al amor de mi vida y compañera de siempre, por su comprensión en los momentos difíciles de nuestras vidas ... Te amo...Evelia.

Dedico este trabajo al promotor de mi carrera, que sin su apoyo y confianza no hubiera podido ser lo que él, algún día quiso ser... Ingeniero...Gracias Papá.

Dedico este Título a la razón de todas mis metas, al ser que me inspira seguir adelante y siempre pensando en ella, a mi hija **Nadia Karen Valdez Falcón**.

En forma muy especial les dedico esta tesis a mis hermanos Ana Laura y Juan Manuel, como un reto en su formación profesional.

“PROCESOS CONSTRUCTIVOS, MATERIALES Y MAQUINARIA PARA EL RECICLADO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES”

INTRODUCCIÓN.

CAPITULO 1.- GENERALIDADES.

1.1. Pavimentos Flexibles	1
1.1.1. Funciones de las capas de un pavimento	
1.1.2. Carpetas asfálticas	
1.1.3. Tipos de carpetas asfálticas	
1.1.3.1. Carpetas por sistemas de riegos	
1.1.3.2. Carpetas de mezclas en el lugar o en frío	
1.1.3.3. Carpetas de concreto asfáltico	
1.1.4. Productos asfálticos	
1.1.4.1. Cemento asfáltico	
1.1.4.2. Rebajados asfálticos	
1.1.4.3. Emulsiones asfálticas	
1.1.5. Contenido óptimo de asfalto	
1.2. Fallas de los Pavimentos Flexibles	7
1.2.1. Agrietamientos.	
1.2.1.1. Grietas longitudinales.	
1.2.1.2. Grietas transversales.	
1.2.1.3. Grietas de contracción.	
1.2.1.4. Grietas de reflexión.	
1.2.1.5. Agrietamiento tipo piel de cocodrilo.	
1.2.1.6. Agrietamiento tipo mapa.	
1.2.1.7. Crecimiento de hierba y afloramiento de agua.	
1.2.1.8. Corrimientos circulares.	
1.2.1.9. Corrimientos de la carpeta.	
1.2.2. Desintegración o desprendimiento.	
1.2.2.1. Erosión del pavimento.	
1.2.2.2. Disgregación o desmoronamiento.	
1.2.2.3. Agujeros.	
1.2.3. Distorsión.	
1.2.3.1. Corrugaciones.	
1.2.3.2. Hundimientos o depresiones.	
1.2.3.3. Canalizaciones o roderas.	
1.2.4. Superficies lisas.	
1.2.4.1. Sangrado o afloramiento del asfalto.	
1.2.4.2. Oxidación del asfalto.	

1.3.	Solución a las fallas	15
1.3.1.	Bachco.	
1.3.2.	Mortero asfáltico.	
1.3.3.	Renivelaciones.	
1.3.4.	Relleno de grietas o calafateo.	
1.3.5.	Sobrecarpetas.	
1.3.6.	Reciclado del pavimento existente.	
1.3.6.1.	Perfilado de pavimentos.	

CAPITULO 2.- RECICLADO EN CALIENTE.

2.1.	Reciclado en el Lugar	24
2.1.1.	Diseño.	
2.1.1.1.	Calidad y consistencia de la mezcla.	
2.1.1.2.	Evaluación y rediseño de los materiales reciclados.	
2.1.1.3.	Receta de diseño.	
2.1.2.	Proceso Constructivo.	
2.1.2.1.	Pre calentamiento.	
2.1.2.2.	Fresado en caliente.	
2.1.2.3.	Mezclado y acamellonado.	
2.1.2.4.	Mezclado final.	
2.1.2.5.	Tendido y compactación.	
2.1.3.	Materiales.	
2.1.3.1.	Control de calidad.	
2.1.3.2.	Remezclado.	
2.1.3.3.	Aditivos.	
2.1.4.	Maquinaria.	
2.1.4.1.	AR 2000 Super Recycler.	
2.2.	Reciclado en Planta	35
2.2.1.	Diseño.	
2.2.1.1.	Extracción y recuperación del asfalto y los agregados.	
2.2.1.2.	Propiedades de los agregados.	
2.2.1.3.	Agregados nuevos.	
2.2.1.4.	Demanda del asfalto.	
2.2.1.5.	Propiedades del asfalto.	
2.2.1.6.	Determinación del tipo y cantidad de los modificadores.	
2.2.1.7.	Mezclado del modificador con el asfalto recuperado.	
2.2.2.	Proceso Constructivo-	
2.2.2.1.	Fresado.	
2.2.2.2.	Transporte.	
2.2.2.3.	Clasificación del material.	
2.2.2.4.	Mezclado.	
2.2.2.5.	Almacenamiento y cargado.	
2.2.2.6.	Pavimentación.	
2.2.3.	Materiales.	
2.2.3.1.	Agregados.	
2.2.3.2.	Asfalto.	
2.2.4.	Maquinaria.	

- 2.2.4.1. Fresadoras.
- 2.2.4.2. Plantas dosificadoras.
- 2.2.4.3. Plantas mezcladoras de tambor.
- 2.2.4.4. Sistemas colectores de polvo.
- 2.2.4.5. Pavimentadora.
- 2.2.4.6. Compactadores.

CAPITULO 3.- RECICLADO EN FRÍO.

3.1. Reciclado en el Lugar.....	69
3.1.1. Diseño.	
3.1.1.1. Metodología de diseño.	
3.1.1.2. Receta de diseño.	
3.1.2. Proceso Constructivo.	
3.1.2.1. Pulverización y mezclado.	
3.1.2.2. Nivelación o tendido.	
3.1.2.3. Compactación.	
3.1.2.4. Colocación de la nueva carpeta de rodamiento.	
3.1.3. Materiales.	
3.1.3.1. Agregados.	
3.1.3.2. Mezcla tratada.	
3.1.3.3. Aditivos.	
3.1.4. Maquinaria.	
3.1.4.1. Recuperadora o estabilizadora.	
3.1.4.2. Tren de reciclaje.	
3.1.4.3. Motoconformadora o motoniveladora.	
3.2. Reciclado en Planta.....	80
3.2.1. Diseño.	
3.2.1.1. Metodología de diseño.	
3.2.2. Proceso Constructivo.	
3.2.2.1. Recuperación y transporte.	
3.2.2.2. Clasificación del material.	
3.2.2.3. Mezclado.	
3.2.2.4. Tendido y compactación.	
3.2.2.5. Colocación de la capa de rodamiento.	
3.2.3. Materiales.	
3.2.3.1. Agregado.	
3.2.3.2. Asfalto.	
3.2.4. Maquinaria.	
3.2.4.1. Planta mezcladora en frío.	

CAPITULO 4.- COMPARACIONES DE LOS RECICLADOS DE PAVIMENTOS.

4.1. Análisis Comparativo.....	87
4.1.1. Métodos de Diseño.	
4.1.1.1. Reciclados en caliente.	

4.1.1.2. Reciclados en frío.	
4.1.1.3. Reciclados en caliente y en frío.	
4.1.2. Procesos Constructivos.	
4.1.2.1. Reciclados en caliente.	
4.1.2.2. Reciclados en frío.	
4.1.2.3. Reciclados en caliente y en frío.	
4.1.3. Maquinaria.	
4.1.3.1. Reciclados en caliente.	
4.1.3.2. Reciclados en frío.	
4.1.3.3. Reciclados en caliente y en frío.	
4.2. Control de Calidad.	93
4.2.1. Materiales.	
4.2.2. Productos Asfálticos.	
4.2.3. Mezclas Asfálticas.	
4.2.3.1. Resultados de las mezclas elaboradas con RAP (pavimento asfáltico recuperado).	
4.3. Aplicación del Reciclado de Pavimentos.	103
4.3.1. Procesos Constructivo.	
4.3.2. Materiales.	
4.3.3. Maquinaria.	

CONCLUSIONES.

INTRODUCCIÓN.

Desde que se inventó el automóvil hasta nuestros días, éste ha tenido un rápido desarrollo. Para su tránsito, se acondicionaron los caminos de carretas existentes, posteriormente sufrieron transformaciones tanto geométrica como estructuralmente, ya que los vehículos se han multiplicado tanto en número como en peso.

Al inicio de este siglo se introdujeron los vehículos a nuestro país, por lo que a partir de 1925 se inició la construcción de carreteras con técnicas avanzadas. Los primeros caminos fueron los que comunicaban la ciudad de México con Veracruz, Laredo y Guadalajara; caminos que fueron construidas por firmas de Estados Unidos, pero a partir de 1940 los ingenieros Mexicanos han sido los encargados de estas construcciones y ahora se cuenta con una red carretera amplia pero no suficiente para el pleno desarrollo del país.

El sistema carretero de nuestro país día a día es más insuficiente respecto al volumen de tráfico que actualmente circula por las carreteras nacionales, ya que dicho volumen se ha, más que triplicado en la última década y consecuentemente nuestras carreteras se están desgastando más rápido de lo que pueden rehabilitarse o reemplazarse. Los costos de las nuevas carreteras están causando que la industria busque nuevos acercamientos a la reconstrucción de los caminos existentes. La industria ha descubierto que el mejor acercamiento a la rehabilitación es la reutilización de la mayor cantidad de material existente en la carretera. Los métodos desarrollados no solo son económicos, sino que ahorran energía y recursos naturales no renovables.

Algunos de los métodos son el reciclado del concreto asfáltico en frío y en caliente; y como más del 90% de nuestras carreteras son de pavimento flexible, se debe poner énfasis en los métodos de reciclado de superficies asfálticas, desde las de bajo tránsito y carreteras secundarias hasta las de alto volumen de tráfico.

En nuestro país y prácticamente en todos, la población depende de algún tipo de transporte personal. Al igual que las personas, todo producto necesario para la vida y el comercio se mueve a través de alguna parte de la geografía nacional, como dato se puede decir que el 80% de la mercancía se transporta por vía carretera mientras que el otro 20% se mueve por tren. Independientemente del tipo de transporte el costo de cada producto está relacionado directamente con la calidad del sistema vial, ya que el costo de los fletes varía generalmente de acuerdo al tiempo de recorrido y por consiguiente el producto tiene un costo mayor cuando el sistema carretero esta deteriorado.

Dada la condición económica del país, durante los próximos años la principal meta de los programas de inversión del sector comunicaciones, será el de mantener en buenas condiciones la red carretera nacional. Esto no quiere decir que las obras nuevas y la modernización se detendrán, sino que se llevará a cabo en un paso más lento y con la ayuda de recursos privados como se ha realizado en los últimos años. Sin embargo, la conservación y mantenimiento de esta red carretera, en condiciones seguras de

transitabilidad y operación, es actualmente indispensable para poder darle la continuidad requerida a las comunicaciones y con ello al proceso de desarrollo que pretende el gobierno federal alcanzar y establecer de manera permanente.

Los métodos convencionales y aún comunes para la rehabilitación de la superficie dañada es el recubrimiento con una sobrecarpeta, un riego de sello, bacheo, etc. Estos métodos con materiales nuevos continúan jugando un papel preponderante, sin embargo, el reciclado de pavimentos está adquiriendo rápidamente importancia y su desarrollo está destinado a participar mayormente en los programas de renovación de los pavimentos.

El reciclado de los pavimentos asfálticos, requiere consideración especial ya que el aglutinante con frecuencia se endurece haciéndose quebradizo. Los modificadores de asfalto (aditivos) se utilizan para reblandecer y devolver sus propiedades a estos aglutinantes viejos y así poder producir mezclas asfálticas calientes con características similares a la de los concretos asfálticos nuevos.

Los métodos de reciclado en caliente permiten seleccionar los tipos y cantidades de los modificadores asfálticos para producir la mezcla deseada, tales modificadores pueden ser: agentes rejuvenecedores suavizantes, aceites fluidificantes y cementos asfálticos suaves.

El método consiste en los siguientes pasos generales:

- 1.- Evaluación de los materiales recuperados.
- 2.- Determinación de la necesidad de agregados adicionales.
- 3.- Selección del tipo y cantidad de modificador.
- 4.- Preparación y pruebas de las mezclas.
- 5.- Selección de las combinaciones óptimas de agregados nuevos y modificadores asfálticos.

La industria del asfalto, particularmente la del reciclado de pavimentos flexibles, ha encontrado un obstáculo, el económico, por lo que el reciclado de mezclas resultó costosa. Dos factores contribuyeron a esa situación: primero, la remoción y restablecimiento del pavimento; segundo, los niveles de contaminación.

La primera barrera económica, remoción y restablecimiento del pavimento, consiste en el resquebrajado y triturado, escarificación en caliente y triturado en frío. El resquebrajado y triturado son efectivos, pero dependiendo del volumen y condiciones de trabajo pueden resultar costosos. También puede surgir la necesidad de retrabajar la base y restablecer la capa antes de colocar un nuevo pavimento.

En todos los casos de remoción y reuso de las superficies para el reciclado en caliente, deberá ponerse especial atención a la granulometría del material, al contenido de asfalto y a la cantidad de asfalto recuperado. Todos los métodos de recuperación del material aumentarán el contenido de finos del material existente, por lo tanto, el reciclado en la mayor parte necesitará de nuevos materiales limpios para producir el

mezclado en caliente con la curva granulométrica requerida, la estabilidad y vacíos apropiados.

En la mayoría de los casos se requieren aditivos, agentes suavizantes, etc., para rejuvenecer el asfalto viejo en la nueva mezcla. El tipo y cantidad de estos se determinarán por análisis de laboratorio y observaciones durante la ejecución.

En el presente trabajo se da una descripción de los diferentes métodos de reciclado de pavimentos flexibles haciendo notar las ventajas y desventajas de cada uno, así como las diferencias entre los mismos.

CAPITULO 1.- GENERALIDADES.

1.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Se define como un pavimento a la estructura constituida por varias capas de materiales seleccionados para recibir en forma directa las cargas del tránsito y transmitirla a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. En estas capas esta incluida la capa de rodamiento, la cual su función es proporcionar al usuario una operación cómoda, rápida y segura.

De acuerdo con las pruebas correspondientes, los materiales utilizados para la construcción de las diferentes capas que constituyen la estructura de un pavimento flexible, deben contar con la calidad suficiente para resistir los esfuerzos inducidos. Por consiguiente, las capas localizadas a mayor profundidad, pueden ser de menor calidad a razón del nivel de esfuerzos que reciben; y las capas más superficiales, deben contar con mejor calidad para soportar a mayor intensidad los esfuerzos. En el caso de las capas inferiores se construyeran similares en calidad a las superiores, esto representaría una elevación en el costo de la obra a causa de dicho sobrediseño.

Dos parámetros importantes deben ser tomados en cuenta para el diseño de la estructura del pavimento; primero, la calidad de los materiales de las terracerías deben cumplir con ciertas normas especificadas por la SCT. Dichas normas permiten que se construyan con los materiales extraídos de los cortes adyacentes. Es por eso que la resistencia de estas dependerá directamente de las propiedades y características de dichos materiales; segundo, los esfuerzos debidos al tránsito influyen directamente en la estructuración de la sección. Por lo anterior, la calidad y los espesores de las diferentes capas que conforman la sección estructural del pavimento deben estar íntimamente ligados con los materiales de las capas inferiores y con los esfuerzos provocados por el tránsito. De aquí, se puede deducir que un pavimento adecuado es el que llega a la falla funcional después de haber resistido el tránsito de proyecto hasta llegar a la calificación de rechazo, con el menor costo posible.

Como se ha indicado, el pavimento incluye la superficie de rodamiento que proporciona rapidez, comodidad y seguridad a los usuarios, estas cualidades son relativas y dependen principalmente del tipo de camino, como ejemplo, en una autopista de cuota se permiten velocidades de hasta 110km/hr, con un alineamiento vertical y horizontal adecuados para brindar seguridad y comodidad a los usuarios; sin embargo, en caminos de segundo orden las velocidades de manejo están alrededor de 40km/hr debido a que tanto en el alineamiento horizontal como en el vertical se tomaron en cuenta las especificaciones máximas permitidas. En ambas situaciones, el conductor se debe adaptar a ellas, olvidando las cualidades de la definición de superficie de rodamiento.

Existen dos tipos principales de pavimentos que son: los pavimentos rígidos y los pavimentos flexibles. En estos últimos, una carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodamiento. Las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales que conforman las diferentes capas; la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que se rompa su estructura. Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y sub-base, las cuales se construyen sobre la capa subrasante.

1.1.1. FUNCIONES DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO

Las funciones de las capas del pavimento son:

Sub-base. - Transmitir esfuerzos a la capa subrasante, es decir, sirve de transición entre la base y la subrasante. Reducir los efectos de cambios volumétricos y rebote elástico; y como ya se ha indicado, sirve para reducir el costo del pavimento.

Base. - Soportar adecuadamente las cargas y distribuir esfuerzos a las capas subyacentes en forma adecuada. Impedir que la humedad de las terracerías ascienda por capilaridad, en caso de introducirse agua por la parte superior, permitir que el líquido descienda hasta la capa subrasante, donde se desaloja al exterior por el efecto del bombeo o la sobreelevación.

Estas últimas funciones también son parte de la capa de sub-base.

Carpeta. - Es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos, siendo esta una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada.

1.1.2. CARPETAS ASFÁLTICAS

Las carpetas asfálticas son las que se elaboran con materiales pétreos y productos asfálticos.

Los materiales pétreos que se utilizan en la construcción de carpetas asfálticas son suelos inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos, de minas o de rocas, los cuales, por lo general, requieren triturado y cribado para utilizarse. Las características más importantes con que deben contar los agregados pétreos son, granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. La granulometría es de gran importancia, ya que de esto depende el contenido de asfalto, es decir, si la granulometría cambia, también cambia la superficie a cubrir. El contenido de asfalto se ve más afectado por el

aumento o disminución de finos, que por el cambio de granulometría en las partículas gruesas

1.1.3. TIPOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS

Hay tres tipos de carpetas asfálticas usadas frecuentemente en México.

1. *Por riegos.*
2. *Mezcla en el lugar.*
3. *Concretos asfálticos.*

1.1.3.1. Carpetas por sistemas de riegos

Este tipo de carpetas consisten en una serie de capas sucesivas de asfalto y pétreos sobre la base impregnada. Se da un primer riego de asfalto y se cubre con un riego de material pétreo grueso y luego se compacta. Después se repite la operación, solo que se utiliza material más pequeño. Enseguida se vuelve a repetir lo mismo con material más fino.

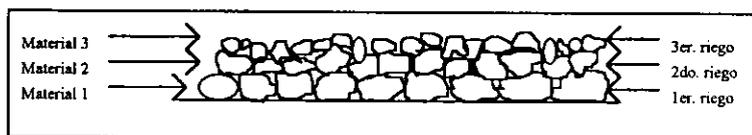


Fig. 1-1 Secuencia del tendido de los agregados en una carpeta por el sistema de riegos.

Para el tipo de carpeta denominada de tres riegos, se utilizan materiales pétreos que tienen granulometría uniforme. El material 1 es el más grueso y su gama de tamaño es de 25.4mm (1") a 6.35mm (1/4"); el material 2 varía entre 12.7mm(1/2") y 2.38mm (no. 8); el material 3 tiene una granulometría de 9.51mm (3/8") a 0.42mm(no. 40).

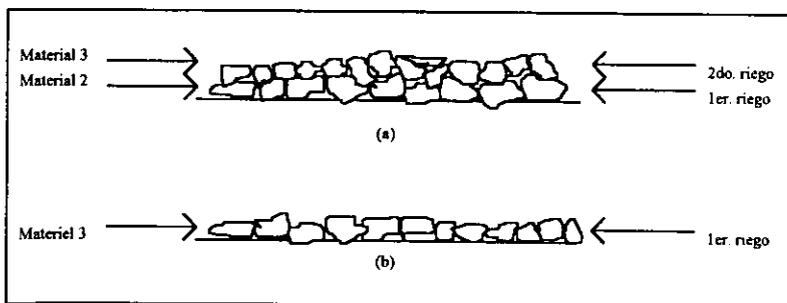


Fig. 1-2 Carpetas por el sistema de riegos, (a) carpeta de 2 riegos. (b) carpeta de 1 riego.

Hay carpetas de 1 y 2 riegos (fig. 1-2). En el caso de una carpeta de dos riegos, la capa que no se coloca es la que corresponde al material 1. Cuando se trata de una carpeta

de un solo riego, el único material que se aplica es el material 3. El asfalto que se utiliza en este tipo de carpetas es, rebajado de tipo FR-3 y emulsiones de fraguado medio.

Denominación del material pétreo	90.8 mm	38.1 mm	32.0 mm	25.4 mm	Por ciento que pasa la malla				6.35 mm	4.75 mm	2.38 mm	0.425 mm
	(2")	(1.5")	(1.25")	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(1/4")	(num 4)	(num 8)	(num 40)	
1			100	95 min		5 max						
2					100	95 min			5 max		0	
3-A						100	95 min				5 max	0
3-B							100	95 min			5 max	0
3-E						100	95 min			5 max		0

Tabla 1-1 Especificaciones para materiales pétreos que se emplean en carpetas asfálticas por el sistema de riegos o para riegos de sellos (material 3).

Carpetas	Materiales	1a. Capa (V/m ²)	2a. Capa (V/m ²)	3a. Capa (V/m ²)
3 riegos	Cemento asfáltico Pétreo	0.6 - 1.1	#1 1.1 - 1.4	#2 0.7 - 2.0
2 riegos	Cemento asfáltico Pétreo	0.6 - 1.0	#2 0.8 - 1.1	#3 6-8
1 riego	Cemento asfáltico Pétreo	0.6 - 1.0	#3 8-11	

Tabla 1-2 Cantidades de material pétreo y cemento asfáltico que se recomiendan para construir carpetas por el sistema de riegos. Para conocer la cantidad de asfalto rebajado o emulsificado, la cantidad aceptada de cemento asfáltico se divide entre el porcentaje de este material contenido en el producto asfáltico y es el resultado de una prueba de destilación.

1.1.3.2. Carpetas de mezclas en el lugar o en frío

El material pétreo que se utiliza para elaborar estas carpetas, son de granulometría continua. El material pétreo se mezcla a la temperatura ambiente y el producto que se utiliza es un rebajado asfáltico FR-3 (este se calienta a la temperatura adecuada) o emulsión de fraguado medio. El mezclado se puede hacer con motoconformadoras o mezcladoras semifijas.

1.1.3.3. Carpetas de concreto asfáltico

Estas carpetas son mezclas de materiales pétreos y cemento asfáltico. El cemento asfáltico se debe calentar a 140°C y el material pétreo a 160°C.

Debido a las propiedades del asfalto, este tipo de carpetas tienen propiedades elásticas, con ruptura de tipo frágil y poca resistencia a las bajas temperaturas principalmente. Estas carpetas deben construirse sobre bases rigidizadas con cal hidratada o cemento portland, o sobre bases asfálticas.

En la fig. 1-3, se muestra la zona granulométrica en la cual debe alojarse la curva de proyecto. Esta curva está en función de la dureza y densidad del material y el equipo de trituración; éste último en algunos casos se deberá ajustar para cumplir con las especificaciones.

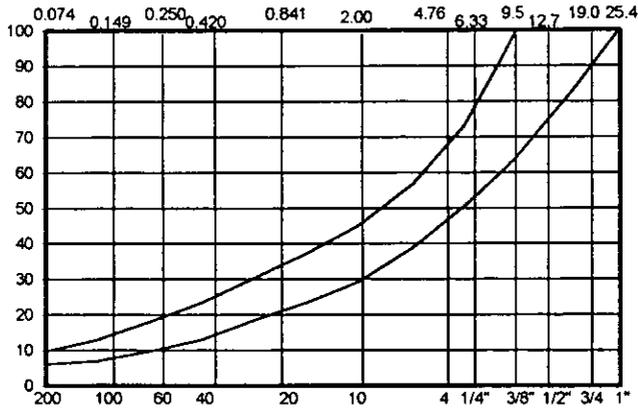


Fig. 1-3 Zona granulométrica recomendable para materiales pétreos utilizados en concretos asfálticos.

Dichas especificaciones contemplan tolerancias en las que puede variar los retenidos en las diferentes mallas, (Tabla 1-3); hay más tolerancias en los agregados gruesos que en los finos.

Tamaño del material pétreo		Tolerancias, porcentaje en peso del material pétreo
Mailla que pasa	Retenido en mailla	
Correspondiente al tamaño máximo	4.76 mm (núm 4)	+/- 5
4.76 mm (núm 4)	2.00 mm (núm 10)	+/- 4
2.00 mm (núm 10)	0.420 mm (núm 40)	+/- 3
0.420 mm (núm 40)	0.074 mm (núm 200)	+/- 1
0.074 mm (núm 200)		+/- 1

Tabla 1-3 Tabla que muestra las tolerancias respecto a la granulometría de proyecto en cuanto a materiales pétreos para concretos asfálticos.

En México es muy común utilizar la prueba Marshall (Método que utiliza muestras estándar de 2.5" de altura y 4" de diámetro. Se preparan con un procedimiento estándar de calentamiento, mezcla y compactación. Las determinaciones y cálculos de la densidad

y vacíos de la mezcla se hacen con las muestras compactadas que varían en un 0.5% en el contenido de asfalto) para encontrar el contenido óptimo de asfalto.

1.1.4. PRODUCTOS ASFÁLTICOS

Los productos utilizados en las mezclas asfálticas son, cementos asfálticos, rebajados asfálticos y emulsiones asfálticas.

1.1.4.1. Cemento asfáltico

El asfalto, es el último residuo de la destilación del petróleo y a temperaturas normales es sólido y de color café oscuro. En el proceso de calentamiento, debe alcanzar una temperatura de 140°C para mezclarse con los agregados.

1.1.4.2. Rebajados asfálticos

Los rebajados asfálticos y las emulsiones asfálticas, se fabrican con el fin de trabajar a temperaturas menores.

Los rebajados asfálticos se fabrican diluyendo el asfalto en gasolina, tractolina (conocida como petróleo diáfano), diesel o aceites ligeros. En el caso de rebajarse con gasolina, se obtienen los rebajados de fraguado rápido (FR); en el segundo caso se obtienen los de fraguado medio (FM); y por último los de fraguado lento (FL). Dependiendo de la proporción de cemento asfáltico (50-80%) y del solvente o "fluxes" (50-20%), se enumeran del 0 al 4; los que tienen mayor cantidad de cemento asfáltico son los de mayor denominación y esta disminuye a medida que aumentan los solventes.

1.1.4.3. Emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas se fabrican para aplicar o mezclar el producto asfáltico con agregados húmedos. Este tipo de asfalto se suspende en agua, por medio de un emulsificante y un estabilizador. De acuerdo con el emulsificante usado, las emulsiones se clasifican en aniónicas y catiónicas, éstas últimas resisten mayores humedades en los pétreos. Las emulsiones también son de fraguado Rápido, Medio y Lento.

1.1.5. CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO

El contenido óptimo de asfalto para una carpeta es la cantidad de asfalto que forma una membrana alrededor de las partículas, del espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo y que así el asfalto no se oxide con rapidez; esta capa no debe ser tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad o resistencia.

Una de las características del agregado que ya se indicó, es la forma de la partícula; en una mezcla asfáltica, los agregados deben tener una forma cúbica y no forma de lascas o de aguja, pues estas tienden a fracturarse fácilmente y por consiguiente cambia su granulometría. La dureza de los agregados se puede determinar mediante las pruebas de densidad y de desgaste (Prueba de “Los Angeles”). La adherencia con el asfalto se conoce al efectuar las pruebas de “desprendimiento por fricción”, “pérdida de estabilidad por inmersión en agua” y la prueba “inglesa”⁽¹⁾.

1.2 FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Los pavimentos se proyectan y construyen para que brinden un servicio por un determinado número de años, llamado horizonte de proyecto o vida útil del pavimento. Al concluir este tiempo, los caminos se abandonan, se rescatan o se reconstruyen con el propósito de aumentar su servicio por más tiempo, esto último es lo que comúnmente se lleva a cabo.

Al estar en operación, un pavimento se deteriora poco a poco y presenta diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros pueden ser sencillos al principio, pero conforme pasa el tiempo seguramente serán más serios y aceleran la falla de la vía, es por esto que una carretera requiere un mantenimiento, para que al menos se asegure su vida de proyecto y así proporcione un servicio adecuado.

La calidad de servicio de una carretera se califica con un valor del 1 al 5, llamado índice de servicio; cuando una carretera es nueva, debe tener una calificación de 4 a 5, la cual va disminuyendo con el paso de los años.

Cuando un camino de primer orden o una autopista llega a un valor de 2.5, o de 2 en un camino de segundo orden, el tránsito tiene muchos problemas y la “comodidad” del viaje llega a un punto mínimo. Es en este momento en que la vía llega a su falla funcional, este tipo de falla es cuando el pavimento no cumple con su función primordial, provocando incomodidad e inseguridad en el usuario, así como esfuerzos imprevistos en los vehículos. Si el camino sigue en servicio, se puede llegar a la falla estructural, que es cuando se colapsa la estructura del pavimento o de alguno de sus componentes, de tal manera que el pavimento es incapaz de soportar las cargas, o bien, se reduce a una interrupción en su continuidad o integridad, puede degenerar en falla funcional. Estas fallas se deben a un mal diseño de la estructura en cuanto a los materiales o sus espesores, o a que no se estimó el TDPA (Tránsito Diario Promedio Anual) correcto.

Para que una obra no llegue a la falla estructural, es necesario rehabilitar la vía cuando alcance la falla funcional y su calificación sea de 2 para los caminos secundarios y de 2.5 para el caso de autopistas de cuota, o antes de preferencia.

(1) ver, pag. 58.

Los pavimentos flexibles deben satisfacer durante su construcción las normas de calidad establecidas en las Normas de Construcción de la SCT.

En los pavimentos flexibles es necesario un análisis para seleccionar el método y los materiales adecuados para la rehabilitación. Lo primero es determinar la causa de la falla, para atacar el problema desde su origen.

Los problemas en los pavimentos asfálticos pueden ser el resultado de fallas estructurales por consolidación o corte desarrollados en la subrasante, sub-base, base o en la carpeta; o por un drenaje defectuoso.

Para determinar la causa de una falla en ocasiones es necesario solamente hacer una inspección visual y en muchas otras veces hay que hacer sondeos y pruebas a los materiales de las capas del pavimento. En las pruebas es recomendable la utilización de la viga Benkelman para localizar las áreas débiles, es decir, las que muestran una excesiva deflexión.

En laboratorio las pruebas que se realizan son las siguientes:

- ⇒ *Carpeta*: Contenido de agua, asfalto y granulometría del material pétreo.
- ⇒ *Base y Sub-base*: Humedad, peso volumétrico máximo, grado de compactación, granulometría, límites de Atterberg, contracción lineal, valor cementante y porter estándar (VRS* y expansión).
- ⇒ *Terracerías*.- Humedad, peso volumétrico máximo, grado de compactación, granulometría simplificada, límites de Atterberg, porter estándar (VRS y expansión)⁽¹⁾, porter modificada (padrón), con la combinación de pesos volumétricos secos (PVS) y las humedades que requiera el proyectista; estas pruebas se realizan en la subrasante y 30cm abajo, pero en forma separada.

Los agujeros, depresiones o grietas, pueden ser el resultado de una inadecuada compactación durante la construcción. Una ausencia de grietas en/y alrededor de las depresiones generalmente es una clara evidencia de una compactación por efecto del tráfico, en este caso la estructura ha sido mejorada y la solución es una sobrecarpeta. En el caso de que existan depresiones y grietas en las líneas de tráfico, éstas pueden ser causadas por una deformación por cortante (desplazamientos por flujo plástico) en la base o la subrasante. Las grietas tipo piel de cocodrilo muy estrechas pueden deberse a deformaciones por cortante en la base; si las grietas están separadas es factible que se deban a deformaciones por cortante en la subrasante. Las grietas longitudinales y transversales, regularmente espaciadas y más o menos alineadas son generalmente el resultado de contracciones.

(1) Valor Relativo de Soporte Ver "Estructuración de Vías Terrestres", pag. 115

1.2.1. AGRIETAMIENTOS

1.2.1.1. Grietas longitudinales

a) De orilla:

Se localizan aproximadamente a medio metro de la orilla del pavimento, en algunos casos pueden ir acompañadas de grietas transversales o paralelas. La principal causa de esta falla puede ser una falta de soporte lateral o asentamientos del material cercano a la grieta; esto puede deberse a un drenaje defectuoso, a la acción de las heladas, a contracciones por secado del suelo de cimentación, o a la vegetación cercana a la orilla del pavimento.

b) De junta:

Se localizan entre las uniones de la carpeta y el acotamiento o entre dos franjas de carpeta o entre un pavimento rígido y uno flexible. Las causas pueden ser un drenaje defectuoso en el acotamiento que origina un saturado y un secado del material, asentamientos del acotamiento, contracciones del suelo de cimentación, una liga defectuosa entre dos franjas de construcción de la carpeta, o al diferente comportamiento de los materiales cuando se trata de un pavimento rígido y uno flexible.

1.2.1.2. Grietas transversales

Estas grietas pueden ser debidas a asentamientos aislados de la subrasante, base o sub-base como es el caso de los pavimentos que son cruzados por tuberías o ductos. También pueden deberse a movimientos más generales del suelo de cimentación originados por el secado de suelos arcillosos, por movimientos telúricos y por fallas geológicas activas.

1.2.1.3. Grietas de contracción

Estas grietas forman grandes polígonos entrelazados. La causa son los cambios de volumen en la mezcla asfáltica o en las capas inferiores. Generalmente se deben a los cambios de volumen del agregado fino en las mezclas que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. Una razón que apresura la formación de estas grietas, es la falta de tráfico.

1.2.1.4. Grietas de reflexión

Estas grietas se presentan en sobrecarpetas o capas de refuerzo de pavimentos y son un reflejo de las grietas existentes en la estructura de pavimento subyacente, en consecuencia las grietas pueden ser longitudinales, transversales, diagonales y poligonales. Generalmente se presenta en sobrecarpetas colocadas en pavimentos rígidos o sobre bases estabilizadas con cemento, o también en sobrecarpetas de pavimentos flexibles cuyas

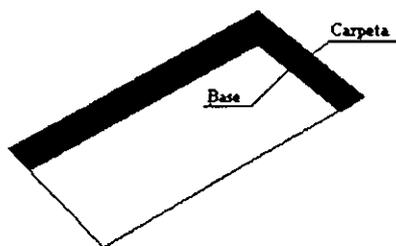
grietas no fueron debidamente selladas y reparadas y por lo tanto se reflejan en la sobrecarpeta.

Las grietas de reflexión son ocasionadas por movimientos verticales u horizontales en el pavimento que se encuentra debajo de la sobrecarpeta; otro factor que causa el movimiento es el cambio de temperatura o humedad, lo que provoca expansión y contracción, también pueden ser causados por el tráfico, por movimientos de tierra y pérdida de humedad en subrasantes con alto contenido arcilloso.

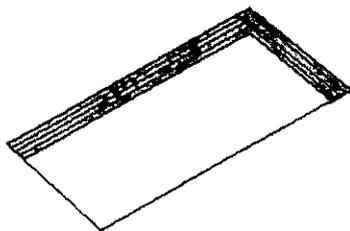
1.2.1.5. Agrietamiento tipo piel de cocodrilo

Este tipo de falla se presenta en forma de grietas interconectadas dando la apariencia de una piel de cocodrilo. El espaciamiento entre grietas varia entre 5 y 25cm aproximadamente. La falla es causada por deflexiones excesivas de la carpeta, colocada sobre bases, sub-bases y/o subrasantes inestables.

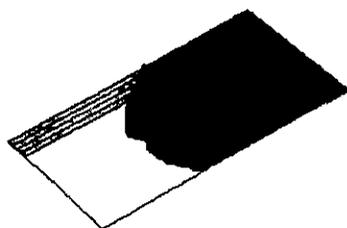
Por lo general esta falla se presenta en áreas limitadas, sin embargo, la falla puede presentarse en áreas grandes cuando el número de repeticiones de carga excede la capacidad del pavimento. Cuando la falla es debida a subrasantes o bases saturadas, los trabajos correctivos consisten en remover el material saturado e instalar un subdrenaje. El área excavada se rellena compactándose debidamente, se impregna y se coloca la carpeta. Este tipo de falla es un problema progresivo y que puede terminar con la destrucción de la carpeta, por lo que se debe atender inmediatamente.



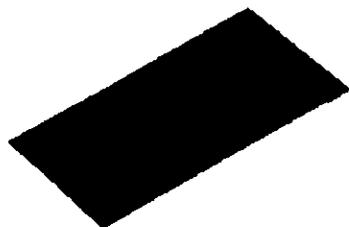
1 - Remover la carpeta y la base hasta la profundidad necesaria para obtener un soporte firme, haciendo cortes rectangulares o cuadrados con sus paredes verticales.



2 - Aplicar un riego de impregnación a las paredes.



3.- Rellenar con mezcla asfáltica.



4.- Compactar adecuadamente con rodillo o placa vibratoria. Compactar en capas si la excavación tiene más de 15cm de profundidad.

Fig. 1-4 Reparación de agrietamientos tipo piel de cocodrilo.

1.2.1.6. Agrietamiento tipo mapa

Este tipo de falla se presenta en gran escala en forma de grietas interconectadas formando polígonos que varían en tamaño desde unos 30cm hasta más de 1m.

La causa de esta falla puede ser la misma o similar a la del agrietamiento tipo piel de cocodrilo, pero la capa problema puede estar más abajo, quizá la subrasante.

1.2.1.7. Crecimiento de hierba y afloramiento de agua

En muchos pavimentos se pueden presentar dos fallas que son: el crecimiento de hierba y afloramiento de agua a través de la carpeta.

En el caso del crecimiento de hierba, la carpeta puede tener una textura abierta y/o presencia de grietas que acumulan tierra y humedad propiciando el crecimiento de hierba; cuyas raíces pueden provocar la desintegración de la carpeta y la deficiencia estructural de las capas inferiores.

En el caso del afloramiento del agua se puede tratar de una base saturada y que al tener una carpeta de textura abierta o agrietada, el agua aflore al paso de las cargas; otra situación puede ser que, durante la construcción, la carpeta haya atrapado agua y la misma

impermeabilidad de la carpeta impida la salida del líquido, lo cual ocasionaría al igual que en el caso anterior una mala adhesión entre el asfalto y el agregado y posteriormente provocar una desintegración.

1.2.1.8. Corrimientos circulares

Esta falla es exclusiva de pistas de aeropuertos y consiste en una o varias grietas semicirculares debidas a los esfuerzos provocados por los aviones al realizar giros muy cerrados en la pista o plataforma. Este problema se puede presentar en aeropuertos en donde el ancho de la pista es insuficiente para realizar un viraje normal; o en pavimentos de poca capacidad para resistir esfuerzos de tensión provocados por dichos giros.

1.2.1.9. Corrimientos de la carpeta

Esta falla generalmente presenta un agrietamiento en forma de media luna; es provocada por una falta de adherencia entre la carpeta o capa superficial y la base o capa subyacente. La poca adherencia puede deberse a impurezas, como pueden ser polvo, aceite, caucho, agua u otro material no adhesivo, localizadas entre las dos capas; este problema también se puede deber a la falta o exceso del riego de liga durante la construcción del pavimento, o a un exceso del contenido de arena en la mezcla, a una inadecuada compactación durante la construcción, o a la falta de anclaje mecánico

1.2.2. DESINTEGRACIÓN O DESPRENDIMIENTO

1.2.2.1. Erosión del pavimento

La erosión se manifiesta por el desprendimiento de material pétreo más superficial. Esta erosión puede ser causada por los gases expulsados de los vehículos y por el paso de las ruedas de los aviones a gran velocidad.

La elaboración defectuosa del concreto asfáltico durante la construcción del pavimento, la utilización de pétreos hidrófilos (afines al agua), o de poca afinidad con el asfalto, y efectos como derrame de combustibles y lubricantes; estas son razones principales de una pobre adherencia entre el material pétreo y el asfalto.

1.2.2.2. Disgregación o desmoronamiento

Esta es una falla de desintegración progresiva, consistente en la separación de los agregados pétreos o de pequeños trozos de carpeta. Las causas de este problema son: insuficiente compactación durante la construcción, colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío, utilización de agregados sucios o desintegrables, falta de asfalto en la mezcla, y/o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.

1.2.2.3. Agujeros

Estas son fallas de desintegración muy localizadas que parecen una cazoleta de dimensión variable. La causa de estas fallas pueden ser la poca resistencia de la carpeta en la zona, resultante de una falta de espesor de la capa superficial de la carpeta, de un exceso o de una carencia de finos en la mezcla, y/o de un drenaje deficiente.

1.2.3. DISTORSIÓN

1.2.3.1. Corrugaciones

Son una forma de movimiento o desplazamiento plástico de la carpeta asfáltica. Esta falla se presenta en forma de ondulaciones o bien en forma de depresiones y montículos de pequeño diámetro. Las causas de esta falla son las cargas del tráfico que actúan sobre un concreto asfáltico de poca estabilidad. Esta falta de estabilidad puede ser debida a un exceso de asfalto en la mezcla, a un exceso de finos, a agregados pétreos muy redondeados o lisos o también a un cemento asfáltico demasiado blando. Otras razones pueden ser la humedad excesiva, contaminación por derrame de aceites o a una falta de aireación al colocar la mezcla asfáltica cuando se utilizan asfaltos rebajados o emulsificados.

1.2.3.2. Hundimientos o depresiones

Esta falla se presenta en formas de áreas bajas (hundimientos diferenciales) y no siempre tienen grietas. En época de lluvias se acumula el agua, constituyendo un peligro para el tránsito de los vehículos. En altas velocidades se puede producir el fenómeno de acuaplaneo (hidroplaneo). Además de que los charcos aceleran el proceso de deterioro del pavimento.

Este tipo de falla se puede deber al tránsito de vehículos pesados con cargas mayores a las consideradas en el diseño; otra razón puede ser una falta de compactación de las capas inferiores del pavimento, o a asentamientos del terreno de cimentación. En suelos arcillosos con muy baja capacidad de soporte, la falla se puede deber al flujo del suelo de cimentación hacia los lados del camino.

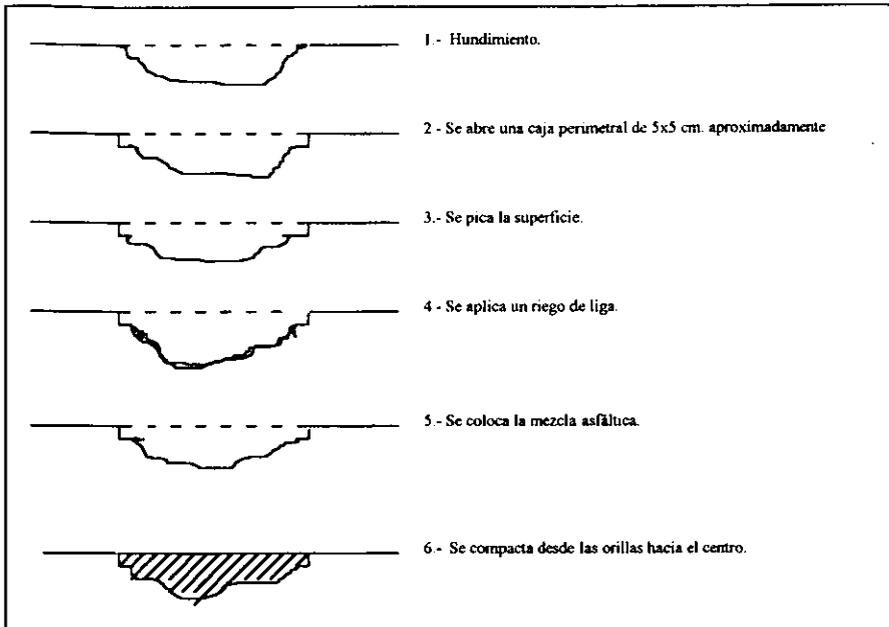


Fig. 1- 5 Renovación de hundimientos.

1.2.3.3. Canalizaciones o roderas

Esta falla se caracteriza por depresiones en forma de canales. Generalmente se presentan en las huellas de las ruedas; puede deberse a la consolidación o al movimiento lateral de una o varias de las capas subyacentes provocado por el tráfico. Cuando se presenta en pavimentos nuevos, puede ser por carpeta mal compactada o al movimiento plástico de concretos asfálticos que no tienen suficiente estabilidad para soportar el tráfico.

Los trabajos correctivos consisten en una renovación y la colocación de una sobrecarpeta según proyecto y a las Especificaciones de la SCT.

1.2.4. SUPERFICIES LISAS

1.2.4.1. Sangrado a afloramiento del asfalto

El sangrado o afloramiento de asfalto ocurre generalmente durante épocas de calor, consiste en la aparición del asfalto en la superficie de la carpeta formando una película lisa, la cual en épocas de lluvia reduce considerablemente el coeficiente de fricción.

Las causas de este problema son: un exceso de asfalto en la mezcla, una inadecuada construcción del sello, un riego de liga o de impregnación excesivos, o solventes que acarrearán el asfalto a la superficie. Adicionalmente a estas causas, el paso de los vehículos pesados pueden ocasionar compresiones en un pavimento con exceso de asfalto, forzándolo a que aflore a la superficie.

1.2.4.2. Oxidación del asfalto

Esta falla presenta un excesivo intemperismo del asfalto, ya sea por agentes meteorológicos, por los gases expulsados de los automotores (altas temperaturas), o por el agua atrapada en las capas inferiores del pavimento. La oxidación del asfalto ocasiona una falta de adherencia del producto asfáltico y el agregado pétreo.

1.3. SOLUCIÓN A LAS FALLAS.

1.3.1. BACHEO

El bacheo es uno de los trabajos correctivos más usados en la reparación de fallas en los pavimentos, y el procedimiento correspondiente a un bacheo es el siguiente: primero, se remueve el material de la carpeta, de la base y de las capas inferiores, en la zona afectada y hasta la profundidad necesaria para lograr un apoyo firme. El corte deberá abarcar por lo menos 30cm del pavimento en buenas condiciones. Los cortes deberán ser cuadrados o rectangulares con las paredes rectas y verticales (lo más posible que se pueda). Dos de las paredes deben formar ángulos rectos con respecto a la dirección del tránsito. Para lograr cortes uniformes pueden utilizarse máquinas cortadoras de disco. Si el agua es la causa de la falla, deberá instalarse un subdrenaje o repararse en el caso de que ya no exista.

El siguiente paso consiste en la aplicación de un riego de impregnación a las paredes, posteriormente se rellena la excavación con mezcla asfáltica, en este caso es conveniente que la mezcla sea elaborada en planta en caliente. Cuando se trate de baches profundos y se considere económicamente viable, se podrán construir las capas inferiores con materiales de base o subbase, según se requiera. En este caso la superficie de la base deberá ser impregnada antes de colocar la mezcla asfáltica de la carpeta.

Durante la operación de calentamiento de los materiales asfálticos, es muy importante controlar la temperatura y proporcionar al producto un continuo agitado.

Para lograr una adecuada distribución del producto asfáltico, se puede utilizar un distribuidor manual, conservando su salida a una distancia constante de la superficie a tratar y darle un movimiento uniforme; debe evitarse la distribución del asfalto por medio

de cubetas o botes, solo en el caso de grietas es conveniente su utilización. En el caso de que no se pueda evitar la distribución con botes o cubetas, debe ser uniformada por medio de cepillos.

El manejo de las mezclas asfálticas para bacheos manuales, debe efectuarse por medio de palas, evitando derramarla o dejarla caer directamente del camión a la superficie por parchar. La mezcla colocada debe ser nivelada evitando un exceso de rastrilleo, ya que esto ocasionaría una segregación de la mezcla.

El tendido y la compactación de la mezcla debe efectuarse en capas de 7 a 15cm de espesor, dependiendo del equipo de compactación disponible. El grado de compactación debe ser el mismo que el del pavimento existente y la superficie terminada del área reparada debe quedar al mismo nivel que la superficie del pavimento adyacente.

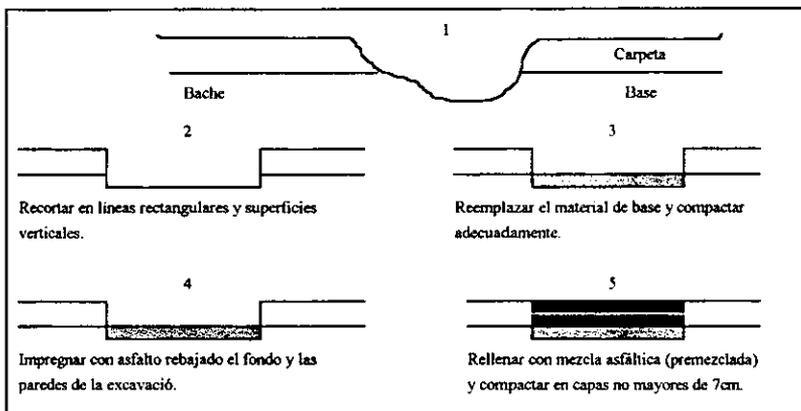


Fig. 1-6 Etapas en la reparación de un bache.

1.3.2. MORTERO ASFÁLTICO (SLURRY SEAL)

Al mortero asfáltico o slurry seal se le puede considerar como un semifluido compuesto por emulsión asfáltica suficientemente estable, cemento hidráulico o cal apagada, agregados bien graduados y agua en proporciones tales que se puedan conseguir una consistencia adecuada para una buena extensión en capa continua y de pequeño espesor.

Por sus propiedades es el único tratamiento superficial que se aplica en pavimentos de aeropistas cuando estas presentan fallas en la carpeta asfáltica como son básicamente la aparición de grietas y erosión, sin que se trate de una inestabilidad que denote la falta de capacidad estructural.

El empleo de otro tratamiento como pudiera ser el riego de sello, traería como consecuencia de las operaciones aeronáuticas un desprendimiento de los agregados utilizados, causando daños graves a las turbinas.

A diferencia de las mezclas densas que tienen un contenido estricto de agua; a los morteros asfálticos se les puede aumentar la cantidad de agua en forma considerable, hasta darles una consistencia de lechada, de tal forma que pueda extenderse en obra en pequeños espesores que no necesitan compactación; excepto en algunos casos, como es en pavimentos de uso aeronáutico, y suele hacerse con neumáticos. La cohesión e impermeabilidad final se consiguen por un proceso complejo de rompimiento de la emulsión, evaporación del agua y la acción del tráfico densificando esta capa superficial.

La utilización de un riego de mortero asfáltico (slurry seal) tiene como objeto principal, rejuvenecer en cierto sentido la superficie de un pavimento que ha sufrido daños o fallas superficiales como pueden ser oxidaciones, pérdida de aglutinante, desmoronamientos ligeros y agrietamientos, logrando: a) impermeabilizar superficies de rodamiento agrietadas y erosionadas o pobres de asfalto; b) conseguir una textura superficial regular, áspera y segura para evitar el derrapamiento de los vehículos.

Para la aplicación de un riego de mortero asfáltico (slurry seal), es necesario que la superficie a tratar este libre de arcilla y de marcas de pintura, para asegurar una buena adherencia entre el mortero asfáltico y la superficie del pavimento.

El período de secado varía dependiendo de las condiciones atmosféricas. Cuando se trabaja en climas calientes el tránsito se puede abrir en periodos de 20min a 6hrs; si el clima es frío, dicho tiempo varía entre 2 días con temperaturas arriba de la congelación del agua.

Cabe señalar que este tratamiento sirve solo y únicamente como capa de sello o desgaste, por lo que no se le debe considerar como parte de la estructura del pavimento.

Desde el punto de vista económico, el empleo de morteros asfálticos tiene ventajas como son:

- ⇒ No necesitan calentamiento.
- ⇒ Pueden colocarse en condiciones climatológicas más desfavorables, logrando así obtener un menor costo por equipo y mano de obra.

Desde el punto de vista aplicativo y técnico, tenemos también algunas desventajas o inconvenientes y son las que corresponden al desgaste normal y anormal de la maquinaria utilizada para su tendido.

También se deben mencionar los errores que se cometen como puede ser el caso de no sellar grietas o renivelar depresiones, ocasionando una superficie con mayor espesor de mortero asfáltico; otro error cometido frecuentemente es cuando el pavimento esta sucio y así se aplica el tratamiento.

En la dosificación de la mezcla podemos encontrar fallas o errores como son los siguientes;

⇒ Falta de emulsión, esta se aprecia una vez curada, una insuficiencia de cohesión o falta de ligante.

⇒ Exceso de emulsión, se observa una gran plasticidad y la lechada una vez curada queda con aspecto de mastique y no adquiere la dureza final deseada.

⇒ Falta de agua, ocasiona una mezcla pastosa y hace que el tendido se realice con más dificultades, además aumenta el volumen de mortero por unidad de superficie.

⇒ Exceso de agua, se producen escurrimientos superficiales del agua y de la emulsión. También ocasiona un desproporcionamiento en la cantidad de áridos y produce tendidos defectuosos, lo cual origina un aumento en la abrasión.

Los defectos que se presentan en los morteros asfálticos más frecuentemente, son ocasionados por la dificultad para conseguir agregados pétreos de calidad adecuada y uniforme; aunque en la actualidad existen gran diversidad de emulsiones que se pueden adecuar al tipo de agregado.

1.3.3. RENIVELACIONES

Este trabajo correctivo se utiliza cuando existen en el pavimento hundimientos o desniveles, con la finalidad de establecer de nuevo la rasante y una correcta sección transversal.

Cuando se requiere un refuerzo a base de una sobrecarpeta es necesario que previo a esta, se corrijan las fallas por medio de bacheos o relleno de grietas. Las depresiones más profundas deben excavarse y reemplazarse con material nuevo, dependiendo de la capa inferior que se trate.

Las capas de enrase son remiendos de mezcla asfáltica usados para nivelar las huellas y depresiones de un pavimento viejo. La colocación de cuñas de enrase forma parte de la operación de capas de enrase.

Las capas de enrase deberán colocarse con espesores de no más de 75mm (3") compactadas. Al colocar varias capas, la capa de menor longitud se deberá colocar primero; las siguientes capas se deberán extender sobre la capa más corta. La fig.(1-7), ilustra la manera correcta e incorrecta de colocar las capas de enrase. Si se utiliza el método incorrecto habrá una tendencia a crear desniveles en las juntas, debido a la dificultad de suavizar el perfil en el extremo final e inicial de una capa.

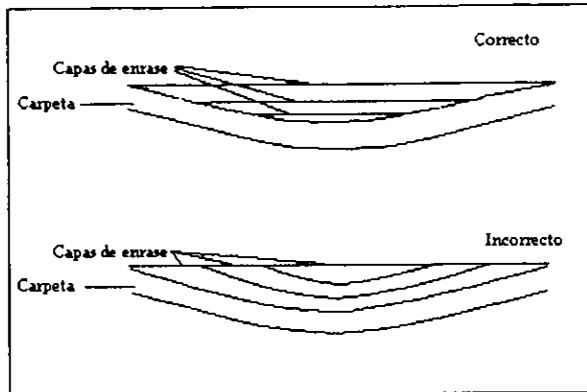


Fig. 1-7 Colocación correcta de las capas de enrase en una nivelación.

Cuando las depresiones requieran de capas múltiples, deberán efectuarse suficientes nivelaciones para trazar correctamente los perfiles y las secciones transversales. Posteriormente se deberán determinar las rasantes de las correcciones propuestas y los límites lineales de las diferentes capas, esto con el fin de saber donde comenzar y determinar las capas.

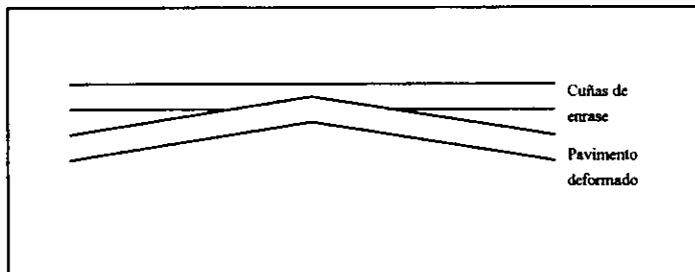


Fig. 1-8 Colocación correcta de capas o cuñas de enrase para arreglar una corona excesiva.

Respecto al tamaño máximo de los agregados, éstos deberán sujetarse a las Normas de los Materiales especificadas por la SCT.

1.3.4. RELLENO DE GRIETAS O CALAFATEO

Para lograr un buen funcionamiento de la estructura de un pavimento, así como para obtener una conservación efectiva de todos los pavimentos, es importante asegurar que las capas inferiores como son sub-base, base y subrasante se mantengan lo más seco posible.

En el caso de los pavimentos que presentan grietas abiertas, dejan pasar el agua a dichas capas, reduciendo o alterando su capacidad de carga.

Por estas razones, uno de los objetivos de la conservación de pavimentos es mantener la superficie de rodamiento sin grietas, o en tal caso sellarlas. Cuando se requiera otro tipo de mantenimiento o tratamiento es importante reparar todo tipo de grietas antes de aplicar cualquier tratamiento donde se corra el riesgo de que estas grietas se manifiesten posteriormente.

1.3.5. SOBRECARPETAS

Trabajo correctivo empleado para restituirle su capacidad de carga a la carpeta original dada su fatiga y deterioro avanzado y renovar totalmente la superficie de rodamiento.

Generalmente este tipo de trabajos se aplica cuando existen fallas por fatiga del pavimento, deformaciones o hundimientos en las capas de la estructura del pavimento; cualquier falla deberá ser reparada y reforzada previo a la colocación de la sobrecarpeta. Los materiales utilizados para reparar tales fallas pueden ser de una nueva extracción o bien derivados de la parcial o total recuperación de los mismos materiales de las capas a sustituir, los cuales deberán someterse a un procedimiento de selección o mejoramiento y complementarse con otros materiales de mejor calidad para poder reutilizarlos en una mezcla con características apropiadas.

1.3.6. RECICLADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE

Este trabajo emplea una tecnología más propia a la necesidad de optimizar los recursos materiales, dado que el objetivo de este proceso es la reutilización de un gran porcentaje del mismo pavimento a rehabilitar, logrando los objetivos de toda obra que son: calidad, economía y eficiencia.

El reciclado es aplicable a aquellos pavimentos en los cuales la capa de rodamiento tiene un grado de deterioro y envejecimiento tan avanzado que su utilización operativa se hace riesgosa y es necesario sustituirla.

Existen procesos de reciclado aplicables a pavimentos de concreto asfáltico, en los cuales se puede efectuar la recuperación de la carpeta existente mediante el calentamiento y corte de la misma o bien, puede realizarse este proceso de corte en frío mediante la utilización de equipo especial que permite rebajar o cortar la carpeta (perfilado), con grado de precisión de hasta $\pm 3\text{mm}$ y en espesores que pueden ir de 3mm hasta 30cm en una sola operación. También hay equipos especiales para realizar reciclados en caliente aprovechando el 100% del material de la carpeta por rehabilitar que logran grandes avances en una jornada de trabajo.

Es sin lugar a dudas este último método el que deberá implementarse de manera general en toda la red carretera nacional dadas las ventajas de calidad, eficacia y economía que ofrece en la rehabilitación de los caminos de México, para que en un corto plazo y a un costo razonable, restablecer la seguridad y confiabilidad en la operación de los caminos nacionales.

El reciclado de pavimentos lo podemos definir como, una serie de procesos para la rehabilitación de pavimentos asfálticos, en frío o en caliente, consistente en los siguientes procesos:

1.- Remoción y despedazamiento en frío o en caliente de una manera controlada (perfilado), tanto en espesor como en el ancho transversal del pavimento existente y posteriormente, si es requerido, se someterá a un proceso corriente de reducción de tamaños, es decir, una trituración.

2.- Después se efectúa el proceso de calentamiento y mezclado, o solo el mezclado en un reciclado en frío. En esta operación se le incorpora determinada cantidad de cemento asfáltico nuevo y agregados vírgenes, así como algún agente rejuvenecedor para restituir las cualidades originales del cemento asfáltico.

3.- Finalmente se repone de manera convencional la mezcla asfáltica.

La recuperación debe hacerse con métodos que permitan dicha recuperación del material viejo, rápida y cuidadosamente, por menor cantidad de dinero que un material nuevo. Esta operación se debe efectuar sin destruir el material de las capas inferiores, lo cual ocasionaría la necesidad de preparación de una superficie de alto costo, anulando la economía del reciclado. También se debe procurar que el material recuperado deberá ser colocado en la misma ubicación y proporción en que se recuperó.

1.3.6.1. Perfilado de pavimentos

El perfilado de pavimentos puede ser considerado como parte del proceso de reciclado, aunque es empleado en otros trabajos de rehabilitación, como es el caso de corrugaciones o agrietamientos de la superficie del pavimento.

El perfilado ha creado una nueva dimensión en el retiro, recuperación y reutilización de los pavimentos, estos sistemas permiten retirar las superficies desgastadas de concreto asfáltico, a ritmos de producción elevados, dejando una superficie nueva. Esta parte del trabajo de reciclado se puede hacer en caliente o en frío, logrando un desempeño satisfactorio.

Algunas de las razones para llevar a cabo un perfilado de pavimento son:

1.- El pavimento desgastado, agrietado e irregular puede ser retirado mediante el perfilado, dejando un perfil suave y listo para recibir la capa nueva. Al necesitarse solo suficiente material nuevo a fin de lograr una superficie de rodamiento para proporcionar un tránsito cómodo y seguro al usuario, se reduce el espesor de la capa nueva disminuyendo los costos de rehabilitación.

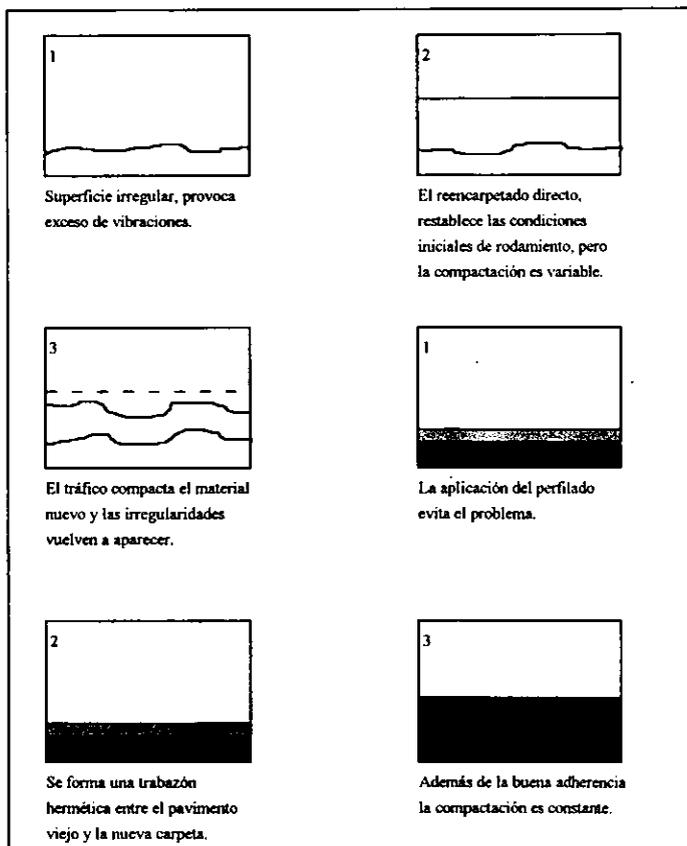


Fig. 1-9 Algunas ventajas del perfilado de pavimentos.

2.- El perfilado prolonga la vida de la nueva capa, debido a que está colocada en un nivel uniforme de superficie compactada por el tránsito. Por lo tanto, la capa nueva consiste en un nivel de espesor uniforme y puede lograr una densidad consistente en todo lo ancho de la superficie perfilada. Esta nueva superficie de rodamiento, permanecerá segura y transitable debido a que no está sujeta a las variaciones del reasentamiento y compactación por el tránsito como las capas en las superficies no perfiladas.

3.- Con el perfilado se logra entrelazar fuertemente la unión entre una textura cerrada que proporciona una zona aumentada entre las superficies antigua y la nueva. Esta textura entrelazada de tercera dimensión elimina el efecto de planeo deteniendo el patinaje de la nueva capa. Con la eliminación de este problema, la superficie nueva se combina con la antigua a fin de formar un pavimento integral.

CAPITULO 2.- RECICLADO EN CALIENTE.

2.1. RECICLADO EN EL LUGAR.

El reciclado en caliente en el lugar es un proceso para la rehabilitación de pavimentos asfálticos deteriorados. Los pavimentos deteriorados son caracterizados por la pobre calidad de la capa de rodamiento y las características físicas como son, agrietamiento, baches y desprendimientos. El deterioro de los pavimentos es grandemente influenciado por las condiciones extremas de temperatura, alto volumen de tráfico y por exceso de carga, así como por la mala construcción del camino y calidad del mantenimiento. El deterioro se acelera después de varios años de servicio pero con una rehabilitación a tiempo como son, reencarpetado o reciclado, pueden restaurar la calidad del pavimento y extender el tiempo de vida útil de las carreteras. Estudios del Banco Mundial han demostrado que el reciclado de pavimentos asfálticos es costosamente efectivo cuando es aplicado antes de que el deterioro del pavimento sea extremo.

La capa superficial de los pavimentos asfálticos es una mezcla de asfalto y agregados; en algunas regiones del mundo, estos materiales son escasos haciendo más costosa la obra y su mantenimiento. Por varios años, se han probado varios métodos de reciclado para hacer el mejor uso de los materiales deteriorados. Uno de los métodos más prometedores es el reciclado en caliente en el lugar, por lo cual una variedad de equipos han sido fabricados. El proceso usado en los primeros equipos han tenido algunos inconvenientes, pero éstos han sido superados por el desarrollo reciente de varias innovaciones; estos desarrollos han sido incorporados satisfactoriamente al *AR2000 Super Recycler de Martec*, el cual está disponible para satisfacer las demandas de rehabilitación de pavimentos flexibles con los beneficios técnicos y económicos del reciclado de asfalto en caliente en el lugar. Esta operación es aplicada completamente en el lugar por un equipo en tren y comenzando por la aplicación de calor para aflojar la capa superficial del pavimento. El material es aflojado y removido por dispositivos moledores, y mezclado con algún agente reciclante. Esta mezcla es tendida en toda la superficie y compactada para completar el proceso de reciclado. Aunque este método de reciclado al 100% puede ser muy efectivo, puede requerirse la adición de materiales vírgenes para corregir su estructura y granulometría.

Con este proceso llevado totalmente a cabo en el lugar, los ahorros se incrementan debido a que los costos de transporte de los materiales del lugar de trabajo a la planta y viceversa, pueden ser o son eliminados. Sin embargo, puesto que algunas autopistas de pavimento flexible no son apropiadas para el reciclado, es importante que cada proyecto sea evaluado para asegurar que los beneficios de un reciclado en caliente en el lugar sean completamente satisfactorios, en la fig.(2-1) se observa el *AR2000 Super Recycler*.



Fig. 2-1 Se aprecia parte el equipo del AR2000 Super Recycler de Martec, en el cual se identifican claramente tres de las unidades mayores. Al fondo se puede observar que ha sido necesario adicionar mezcla nueva por medio de un camión; dicha mezcla es recogida por la cuarta unidad (mezcladora-calentadora) por medio del dispositivo recogedor.

2.1.1. DISEÑO.

El reciclado de asfalto en el lugar, difiere de la mezcla caliente del concreto asfáltico virgen, en que se provee de un contratista para preparar un tipo de material de pavimento, con ciertos componentes y propiedades físicas. Estos materiales son procesados, hasta cierta profundidad, que puede incluir la adición de alguna cantidad de asfalto virgen mezclado caliente, que puede contener varios tipos y/o cantidades de bitúmenes, aditivos líquidos como rejuvenecedores o agentes reciclantes, polímeros, antilevantamientos, u otros aditivos que mejoran la cohesión y la adherencia.

La superficie reciclada puede o no tener como capa superior, una mezcla caliente de asfalto virgen, u otro tipo de tratamiento. Donde se necesite y se especifique una capa superior, se puede colocar integralmente e inmediatamente luego del reciclado, o se puede colocar más tarde.

Típicamente, las especificaciones locales para asfalto reciclado "caliente en el lugar" requiere que el equipo y la mano de obra mantenga varios requisitos, de

transporte, de proceso, e instalación, dentro de ciertas tolerancias, mientras se coloca el aditivo.

En este caso, hay que considerar muchas variables.

- 1.- Que el pavimento necesita rehabilitación
- 2.- Que la estructura, superficie y drenaje del pavimento existente, sea adecuados para ser usados en el presente y en el futuro para un período razonable de tiempo.
- 3.- Que el pavimento existente tenga suficiente espesor, para evitar que el proceso en lugar no penetre a la base granular.
- 4.- Que las propiedades del agregado no sean deficientes.
- 5.- Que, si las propiedades del agregado son deficientes (hasta la profundidad que se necesite tratar), los agregados suplementarios sean de la calidad y tipo necesarios para corregir las deficiencias.
- 6.- Si la mezcla asfáltica o superficie pavimentada ha sido tratada con materiales distintos o inusuales, que efecto van a tener en el proceso o material reciclado.
- 7.- Que tipo de cemento, y sus propiedades, existe en el pavimento (hasta la profundidad que se necesite tratar). Donde sea pertinente, la mezcla reciclada debe estar diseñada con suficientes cavidades de aire para permitir la adición de un agente rejuvenecedor, y así poder rejuvenecer el cemento sin arriesgar el tener pocas cavidades de aire, y/o el exudaje de la nueva mezcla.

En algunas secciones del pavimento existente, pueden resultar materiales con un exceso o falta de asfalto, variaciones en las cavidades de aire, etc. Algunos lugares pueden ser imprácticos de tratar, donde la variación de los materiales, reparaciones extensivas con diferentes materiales o variaciones en el espesor del pavimento son excesivos.

2.1.1.1. Calidad y consistencia de la mezcla reciclada

La variación intermitente de las profundidades de proceso, deben ser tratadas con cambios correspondientes en la proporción del aditivo. La profundidad de proceso requerida debe ser inspeccionada y confirmada para asegurar que la variación no exceda 5mm en un espesor de 50mm. Una variación del 10% de la masa total del material a reciclar, va a tener un impacto significativo en las propiedades físicas, ya que las cantidades de aditivos serán determinadas en un peso teórico basado en un espesor de 50mm.

La velocidad del equipo debe ser ajustada continuamente para controlar las temperaturas del material colocado. Para inspeccionar las temperaturas durante el

proceso, es recomendable un termómetro infrarrojo. Las temperaturas ambiente y la del pavimento, la velocidad del viento, las temperaturas de los aditivos y del asfalto, el tamaño y grado del agregado, y la humedad residual del pavimento influyen significativamente en la proporción en que el material procesado cumpla con las especificaciones requeridas.

2.1.1.2. Evaluación y rediseño de los materiales reciclados

Después de determinar que, la estructura y drenaje presentes son aceptables para su uso, y obtener las medidas del área a rehabilitar:

1.- Obtener muestras núcleo (por lo menos de 150mm de diámetro). Se sugiere una muestra por 1,000m², con un mínimo de 8 muestras por tipo o lugar.

La muestra debe cubrir la profundidad del pavimento existente.

Cortar las muestras hasta la profundidad de tratamiento.

2.- Determinar la densidad de la muestra núcleo, así como los vacíos. Los ensayos deben ser conducidos solamente hasta la profundidad a tratar.

Subdividir en sub-secciones de acuerdo a distintos tipos de material, manteniendo limitaciones prácticas en los ensayos y variedad de materiales.

Permitir suficiente material para obtener un mínimo de tres muestras por lote. El material sobrante se utilizará luego para hacer pruebas con distintas mezclas de aditivos.

3.- Comparar la granulometría del agregado, los vacíos, contenido de asfalto, y el espesor del pavimento, con la mezcla deseada y con las propiedades de mezclas típicas.

Efectuar ensayos de viscosidad y penetración en el asfalto recuperado (mínimo 3 por lote).

4.- Determinar la penetración deseada en la mezcla reciclada, y si es necesario agregar mezcla virgen. Para rejuvenecer completamente, se desea obtener una penetración de 60-70% del asfalto nuevo.

5.- Seleccionar materiales y cantidades complementarias. La mezcla virgen debe contener suficiente asfalto para obtener una mezcla homogénea.

6.- Llevar a cabo mezclas prueba, utilizando mezcla asfáltica de sobra de otras muestras.

7.- Luego de determinar las propiedades y componentes de la mezcla final, recuperar el asfalto de la mezcla deseada para los ensayos de viscosidad y penetración, antes de empezar el proceso.

Se puede determinar las temperaturas para mezclar y compactar, de acuerdo a las Normas correspondientes. La penetración de acuerdo a temperaturas múltiples, permite estimar posibles rajaduras del pavimento.

Comparar los resultados de las muestras con los valores deseados.

Especificar una gama de cantidad de aditivos para permitir el aumento o disminución en las cantidades del agente reciclador y/o en los materiales suplementarios.

2.1.1.3. Receta de diseño

1. Agregar 15% por peso, de asfalto virgen a la mezcla asfáltica reciclada. El asfalto virgen corresponde al 2.5% de la mezcla total, con una penetración de 120-150⁽¹⁾.

2. Agregar 0.5% del peso de la mezcla reciclada, del agente de reciclador (Witco Cyclogen-L u otro equivalente aprobado) para obtener una penetración de 75 y cavidades de aire en la mezcla reciclada de 1 a 3%.

3. La densidad del núcleo que tenga 98% del diseño Marshall, basado en el promedio de dos muestras obtenidas en dos mezclas diarias. Las muestras que sean compactadas a una temperatura de 135°C.

4. Las propiedades de la mezcla reciclada son las siguientes:

ESTABILIDAD (kg)	688 mínimo.
CAVIDADES DE AIRE (%)	1-3 (reducida de las especificaciones estándar de 2-4)
VMA (%)*	13 mínimo.
FLUJO (mm)	2 - 4

5. Agregar arena para obtener la siguiente granulometría:

TAMAÑO DE LA MALLA	% QUE PASA
9.5 mm	100
4.75	85-100
2.00	70-85
0.850	33-50
0.425	10-25
0.180	0-5
0.075	0-3

6. Que el material sea piedra triturada o grava, de consistencia dura, libre de arcillas o lodos, cementos, material orgánico, u otro material nocivo. Todo material mayor de 4.75 mm tiene que tener por lo menos 75% de una cara recién fracturada.

7. El asfalto para la mezcla virgen que tenga un grado de penetración de 120 - 150.

(1) Ver, pag 62

* Vacíos en el Agregado Mineral

2.1.2. PROCESO CONSTRUCTIVO.

El *AR2000 Super Recycler de Martec*, es un equipo en tren autopropulsado, consistente en dos precalentadores idénticos, una fresadora que acamellona el material y una mezcladora que recoge dicho material, haciendo una longitud de 64m, además de estas cuatro unidades también están integradas una pavimentadora convencional, un rodillo neumático y un rodillo vibratorio metálico (fig. 2-2). Este equipo recicla el pavimento asfáltico en cinco etapas separadas.

Las cinco etapas del proceso de reciclado de Martec son: Precalentamiento, fresado en caliente, mezclado y acamellonado, mezclado final, tendido y compactación. El funcionamiento superior del AR2000 puede ser atribuido a las dos unidades de calentamiento por medio de aire caliente y calentamiento infrarrojo, y al proceso de calentado y mezclado.

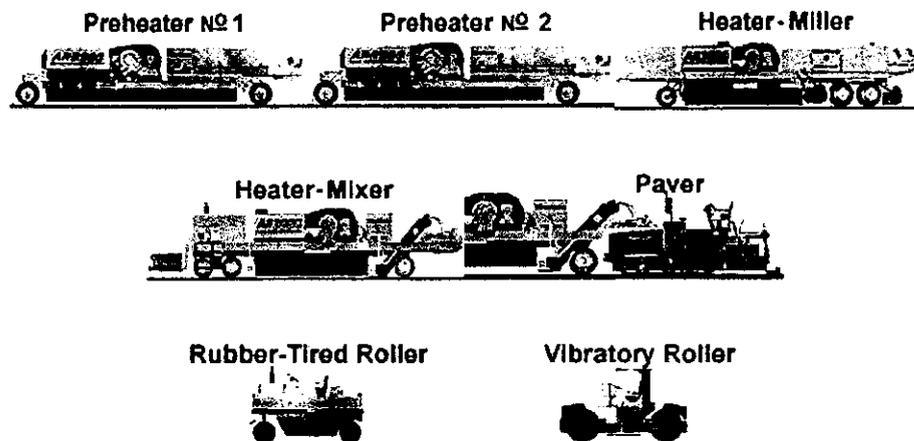


Fig. 2 - 2 Equipo AR200 Super Recycler. El esquema muestra la secuencia en la que trabaja el equipo en un reciclado; comenzando con las dos precalentadoras idénticas, luego la calentadora-moledora, la calentadora-mezcladora, la pavimentadora y por último los compactadores neumático y vibratorio, respectivamente.

2.1.2.1. Precalentamiento

Las dos unidades de precalentamiento, operan en tandem; suavemente calientan y aflojan el pavimento asfáltico deteriorado. Este precalentamiento se lleva a cabo por medio de aire caliente y un sistema de calentamiento infrarrojo el cual está incorporado en las cuatro unidades mayores del *AR2000 Super Recycler* (fig. 2-3). En el sistema del

aire caliente y calentamiento infrarrojo, el aire es calentado a aproximadamente 600°C en una cámara de combustión de diesel y vertido directamente sobre el pavimento a través de pequeños orificios múltiples. La aplicación de aire caliente a alta velocidad en combinación con el bajo nivel de calentamiento infrarrojo generado por el múltiple, permite un calentamiento uniforme del pavimento a una temperatura aproximada de 100°C. Después el aire caliente consumido es aspirado hacia el sistema para un recalentamiento y reuso. Esta recirculación ofrece minimizar costos por calentamiento y reduce el consumo de combustibles.



Fig. 2-3 Momento en que el equipo AR2000 Super Recycler realiza sus operaciones; en primer plano se observan las unidades precalentadoras, al fondo las unidades restantes.

2.1.2.2. Fresado en caliente

Esta unidad aplica un calentamiento adicional, el cual afloja el pavimento y permite removerlo fácilmente. El control de profundidad automático permite remover el pavimento en la profundidad deseada y el fresado puede ser ajustado para trabajar anchos en rangos que van de 3.3 a 4.0m.

2.1.2.3. Mezclado y acamellonado

En la mezcladora, una serie de dispositivos son usados para un mezclado continuo y exponer la mezcla asfáltica floja a la combinación de aire caliente y calentamiento infrarrojo. El calentar y el proceso de mezclado aseguran un completo y uniforme calentamiento de los materiales del pavimento reciclado, a la vez que también proporciona la oportunidad final de remover el exceso de humedad. Finalmente el material es acamellonado (fig. 2-4).



Fig. 2-4 La tercera unidad mayor del equipo AR2000 Super Recycler, deposita el RAP (Pavimento Asfáltico Recuperado) sobre la superficie, posteriormente la cuarta y última unidad, lo levanta, lo calienta, lo mezcla y lo deposita en la pavimentadora

2.1.2.4. Mezclado final

El material reciclado que ha alcanzado la temperatura deseada es recogido de la superficie del pavimento por medio de una lámina transportadora y transferido a las flechas gemelas mezcladoras localizadas en la calentadora-mezcladora. La calidad del producto final es asegurada cuando el material reciclado y algunos de los materiales vírgenes son mezclados completamente en esta mezcladora de alta capacidad. El sistema de reciclado de asfalto Martec permite la adición de nuevos materiales tales como agentes reciclantes, los cuales pueden mejorar las propiedades del asfalto viejo y del nuevo; así como agregados vírgenes para la nueva mezcla asfáltica, ambos materiales son utilizados para una corrección estructural y granulométrica. Una combinación de estos nuevos materiales pueden ser adicionados como es requerido en los pasos del proceso de reciclado, con sus volúmenes y a razón de la adición que está precisamente monitoreada y controlada por un sistema computarizado localizado en el equipo mismo, como se puede observar en la fig. 2-5.



Fig. 2-5 A la izquierda de la figura, podemos observar el momento en que un camión abastece de mezcla asfáltica virgen a la cuarta unidad mayor del AR2000 Super Recycler, para su posterior tendido y compactación; así como también la consola de donde son monitoreadas las cantidades de material suministrado a la mezcladora.

2.1.2.5. Tendido y compactación

De la mezcladora, el material mezclado es transferido a la tolva de una pavimentadora convencional. La compactación se realiza por medio de un rodillo neumático y uno vibratorio (fig. 2-6).



Fig. 2-6 La carpeta recién tendida es compactada inmediatamente, evitando pérdida de temperatura y posteriores fallas consecuencia de una mala compactación.

2.1.3. MATERIALES.

2.1.3.1. Control de calidad

Se debe implementar un régimen de muestras diarias para el control de calidad. Los ensayos diarios deben incluir por lo menos:

Dos muestras diarias de la mezcla reciclada, en el proceso Marshall, y determinar densidad, estabilidad, flujo, VMA, cavidades de aire, contenido de asfalto, granulometría e índice de retención de estabilidad. Y si está equipado propiamente, efectuar una recuperación de asfalto para determinar la penetración y viscosidad del mismo.

Comparar la densidad de las muestras núcleo de la superficie del pavimento con las muestras diarias.

2.1.3.2. Remezclado

El remezclado se utiliza cuando los análisis indican que se puede mejorar la estabilidad y resistencia, o cuando las cavidades de aire deben de ser aumentadas para permitir la adición de rejuvenecedor. En estas circunstancias, el material virgen se mezcla con el material reciclado caliente y se coloca en una capa homogénea. El material nuevo puede ser mezcla asfáltica caliente virgen o cemento asfáltico (AC) y agregado molido.

2.1.3.3. Aditivos

Los aditivos rejuvenecedores son muy recomendados para asegurar una vida larga del material reciclado, y están diseñados para combinarse con el asfalto viejo y restaurarlo a la consistencia, durabilidad y apariencia de una mezcla nueva. La "Witco Corporation" ofrece una excelente línea de aditivos rejuvenecedores, particularmente para su uso en "HIPR" (Reciclado en caliente en el lugar, por sus siglas en inglés). "Cyclogen-L" es un aditivo que reemplaza los "Polar Compounds (A1,A2,S)" conocidos como "Maltens". Dependiendo de la condición del asfalto existente, el rejuvenecedor es agregado de 0.25 a 0.75 lts/m², a una profundidad de 50-60mm. Un microprocesador controla la cantidad exacta requerida en la cámara de la mezcladora.

Es muy importante el control preciso de la variación en la cantidad del asfalto virgen mezclado en caliente y los aditivos líquidos. Ambos tienen que estar íntimamente coordinados con la velocidad de proceso del equipo y la profundidad o peso del material que se recicle. Cuando se utiliza asfalto virgen mezclado en caliente para suplementar el material existente, las propiedades de la mezcla (granulometría, tipo de asfalto, contenido de asfalto, temperaturas de mezcla) deben ser inspeccionadas y examinadas, por separado y en adición a la mezcla combinada de materiales reciclados.

2.1.4. MAQUINARIA.

2.1.4.1. AR2000 Super Recycler

Las primeras generaciones de los equipos de reciclado en caliente en el lugar usaron para calentar el pavimento flama directa o rayos infrarrojos en alta densidad, ambos de los cuales utilizaron gas propano. Estos sistemas de calentamiento tienden a sobrecalentar y dañar el cemento asfáltico, causando humo y otras emisiones no deseadas. Un intento para tales dificultades fue la aplicación de menos calor, resultando una fractura de los agregados durante la etapa del fresado; esto significa que si el pavimento asfáltico es sobrecalentado o poco calentado, el resultado es un producto reciclado que es probablemente de calidad inferior. Otros problemas comunes incluyen una baja velocidad de operación y el riesgo asociado de un alto consumo de combustible y de gas propano. Algunos de estos problemas han sido resueltos. Cuando los proyectos son convenientemente seleccionados y ejecutados bajo condiciones favorables, el reciclado en caliente en el lugar con el sistema *AR2000 Super Recycler* de Martec, puede producir pavimentos asfálticos con una calidad que es igual o superior a los pavimentos rehabilitados con sobrecarpetas de mezcla asfáltica caliente nueva, como se observa en la siguiente figura (2-7).



Fig. 2- 7 En la fotografía se puede observar el equipo en operación, así como la superficie terminada antes de compactarse. También se aprecia un camión suministrando mezcla asfáltica caliente nueva para corregir las propiedades de la mezcla.

El sistema de Martec ofrece potenciales ahorros de más de 30% en costo y 50% en tiempo, comparado con los métodos convencionales para el reciclado de pavimentos flexibles. Cuando el reciclado es a profundidades de 50mm, la velocidad de trabajo varía de 5 a 7 m/min, dependiendo de las condiciones del camino, clima, entre otras interferencias. Su rendimiento en un ancho máximo de 4m y una profundidad de 5cm es de aproximadamente 3 km por una jornada de 8 hrs.

Por su sistema de calentamiento único a base de aire caliente y rayos infrarrojos, Martec es el único sistema capaz de reciclar asfaltos modificados con polímeros. Así mismo, este sistema es efectivo para remover o eliminar el exceso de humedad existente en el RAP (Pavimento Asfáltico Recuperado).

Los agregados vírgenes y el asfalto nuevo pueden ser adicionados a la mezcla reciclada en volumen suficiente para proporcionar en un solo paso un pavimento con un espesor de 75mm, es decir un 50% adicional al espesor tratado.

Para este proceso de calentamiento el *AR2000 Super Recycler* usa diesel, el cual se consigue fácilmente en cualquier parte del mundo. Esto elimina la necesidad de utilizar gas propano.

Las cuatro unidades mayores del *AR2000 Super Recycler*, pueden ser fácilmente enganchados para remolcarse a velocidades normales en carretera entre los diferentes sitios de trabajo.

2.2. RECICLADO EN PLANTA.

Todo trabajo de reciclado de pavimentos comienza con la recuperación del material a reciclar. Esta operación se lleva a cabo con una perfiladora en frío en los espesores y anchos de corte especificados. Al mismo tiempo de cortar el pavimento, el material es cargado en camiones por medio de una banda transportadora que permite a la máquina perfiladora la operación de cargado. Posteriormente el material recuperado es enviado a una planta estacionaria de mezcla en caliente para su tratamiento de reciclado.

El más grande problema que se presentaba en el reciclado de pavimentos, era el de reducir los niveles de emisión de contaminantes en las plantas de mezcla caliente, hasta el punto donde tales niveles no excedieran los lineamientos para mantener el aire puro, sugeridos por las autoridades ambientales.

El asfalto viejo no puede triturarse y pasarse a través de una planta de mezcla en caliente, de una manera normal como se hace con el asfalto nuevo; las temperaturas son demasiado altas en los secadores de la planta por lo que las partículas finas tienden a la ignición y a humear.

Por el hecho de que se hayan encontrado varias formas para resolver el problema de polución y así poder volver a usar el asfalto en el mismo lugar del camino del cual fue removido, se puede decir que el asfalto reciclado es tan bueno como el original y que puede tenderse y compactarse usando el equipo convencional.

2.2.1. DISEÑO.

Cuando se va a llevar a cabo un trabajo de reciclado de pavimentos flexibles, se deben tomar muestras representativas de los pavimentos que van a ser reciclados. Además de una evaluación visual, se debe realizar una revisión de los registros de construcción y mantenimiento para determinar el tipo de material que va ser reciclado.

Los corazones de prueba para todo proyecto pueden determinarse al azar, debiéndose usar cuando menos cinco localizaciones y una mezcla compuesta total de aproximadamente 50kg, para su evaluación en laboratorio. También se debe hacer una comparación de las propiedades originales y recicladas, tales como estabilidad y módulo resiliente (MR).

2.2.1.1. Extracción y recuperación del asfalto y los agregados

Las pruebas de extracción y recuperación deben realizarse en cada lugar muestreado. Los resultados obtenidos, junto con las mediciones del espesor hechas en los corazones de prueba ayudan a determinar la uniformidad de la sección del pavimento a reciclar. Es importante recuperar asfalto suficiente para permitir la combinación con los modificadores para las pruebas correspondientes.

2.2.1.2. Propiedades de los agregados

Los agregados recuperados se deben someter a pruebas por granulometría, durabilidad (pruebas de abrasión y Los Angeles), valor de pulido, si es apropiado. Cuando las propiedades de los agregados recuperados no son las adecuadas para la calidad de la mezcla final, se necesitará adicionar agregado virgen para cumplir con las especificaciones. Generalmente, la graduación de un RAP no siempre es la adecuada, mucho menos cuando se trata de pavimentos viejos estructurados a base de capas múltiples y diversos tipos de mantenimiento.

2.2.1.3. Agregados nuevos

Los agregados vírgenes son adicionados a la mezcla para satisfacer distintos fines como son:

- 1.- Satisfacer la graduación especificada.
- 2.- Requerimientos de resistencia al deslizamiento para las carpetas.
- 3.- Problemas de contaminación del aire asociados con el calentamiento.

Para proporcionar la resistencia al deslizamiento inicial y en forma duradera a las carpetas asfálticas recicladas, generalmente es necesario combinar el agregado grueso nuevo sin pulir con el pavimento reciclado. En carreteras con volumen de tránsito moderado a alto, el 40% en volumen de la fracción retenida en la malla No. 4 que no está pulida proporciona la buena textura contra el deslizamiento.

Para satisfacer las normas para la calidad del aire, en las operaciones en caliente o en planta central se necesita el uso de un mínimo de aproximadamente 30% en volumen de agregado nuevo. Este requisito se reducirá según se mejoren las operaciones de reciclamiento en caliente presentadas por los fabricantes de equipo o por los contratistas.

2.2.1.4. Demanda de asfalto

Es el asfalto nuevo necesario para lograr una mezcla reciclada de calidad igual a la de una mezcla nueva; puede estimarse con la siguiente ecuación:

$$DT = VR DR + VN DN \quad \dots \quad (1)$$

$$DR = DCKE - AR \quad \dots \quad (2)$$

donde;

DT = Asfalto nuevo requerido en la mezcla reciclada, en %.

DR = Asfalto requerido para recuperar el agregado reciclado, en %.

VR = Volumen de agregados nuevos en la mezcla, en %.

DCKE = CKE derivado de los agregados recuperados o reciclados, en %.

AR = Contenido de asfalto de los agregados recuperados o reciclados.

DN = Valor del CKE de los agregados recuperados o reciclados, en %.

VR = Volumen de los agregados reciclados en las mezclas.

En las mezclas recicladas que no se adicionan materiales vírgenes, la demanda de asfalto se calcula con la ecuación no. 2. Se debe saber que el asfalto necesario se satisfará con el modificador, que puede ser un agente suavizante, un rejuvenecedor, un aceite fluidificante, cemento asfáltico suave, polímeros o una combinación de éstos.

2.2.1.5. Propiedades del asfalto

El asfalto recuperado de las muestras, se deben probar para determinar el contenido de asfalto, penetración a 25°C y viscosidad a 60°C. El contenido de asfalto, la penetración y la viscosidad deben determinarse en todas las muestras extraídas.

2.2.1.6. Determinación del tipo y cantidad de los modificadores

El tipo y cantidad de los modificadores pueden determinarse utilizando nomogramas junto con una definición de la penetración o mejor aún de la viscosidad del

aglutinante en el proceso del reciclado y en un conocimiento de la demanda de asfalto de la mezcla reciclada que se determinó previamente.

El porcentaje del modificador por peso de aglutinante total en la mezcla reciclada es el siguiente:

$$DDT = \frac{DT}{VR AR + DT} \times 100 \quad . . . (3)$$

donde;

DDT = % del modificador por peso de aglutinante total en la mezcla reciclada.

Se debe notar que el cemento asfáltico nuevo y el modificador pueden utilizarse para formar el aglutinante nuevo. El modificador deberá probarse para establecer su comportamiento con respecto a las especificaciones, así como determinar la viscosidad del modificador con objeto de obtener un contenido más real de dicho modificador.

2.2.1.7. Mezcla del modificador con el asfalto recuperado

El asfalto nuevo y el modificador deben mezclarse con el asfalto recuperado y probarse por viscosidad y penetración para determinar, si la viscosidad prevista (penetración) de la mezcla es la adecuada. Se recomienda que se hagan dos mezclas, una de 5% arriba y una de 5% abajo de la cantidad de agente reciclante determinado; aproximadamente deben utilizarse de 75 a 100 gramos de asfalto recuperado por cada mezcla.

Algunos modificadores reciclantes pueden no ser compatibles con el asfalto viejo, por lo que debe probarse por película delgada en la mezcla del asfalto recuperado y el modificador. Una relación de la viscosidad envejecida a la viscosidad original de menos de 5 indica que el agente reciclante es compatible con el asfalto viejo.

Se deben fabricar mezclas variando el porcentaje del cemento asfáltico nuevo y/o el tipo de modificador, para probar su estabilidad y determinar el contenido de vacíos, así como la prueba de durabilidad y su susceptibilidad al agua.

2.2.2. PROCESO CONSTRUCTIVO.

2.2.2.1. Fresado

El fresado o perfilado en frío ofrece muchas ventajas para el ingeniero de carreteras, veinte años atrás, las carreteras se diseñaban para un tránsito menor y para vehículos más livianos que los que ahora circulan por las carreteras. A causa de esto, las

carreteras en su gran mayoría, sufren deformaciones y fallas prematuras. El restablecimiento de una superficie uniforme es esencial si se han de reparar apropiadamente estas carreteras.

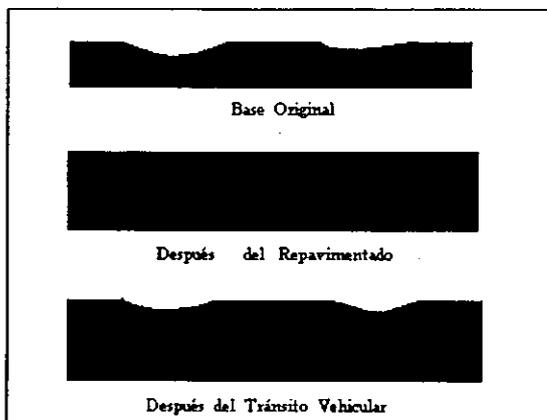


Fig. 2-8 Pavimento rehabilitado con una sobrecarpeta sin fresar, obteniendo una baja densidad en las zonas bajas. Después del uso, las deformaciones vuelven a aparecer.

Una de las ventajas o razones para aplicar el perfilado, es lo que se muestra en la fig. (2-8), si se coloca una sobrecarpeta sobre la superficie deformada, en la zona de hundimientos se colocará mezcla insuficiente ocasionando baja densidad en estas zonas y como consecuencia el problema aparecerá después de un corto tiempo de servicio. Si se fresa o perfila la carretera hasta obtener una superficie plana, se genera material para reciclar, se eliminan las rodadas y el nuevo pavimento tendrá una densidad uniforme a todo el ancho del carril como se muestra en la fig. (2-9)

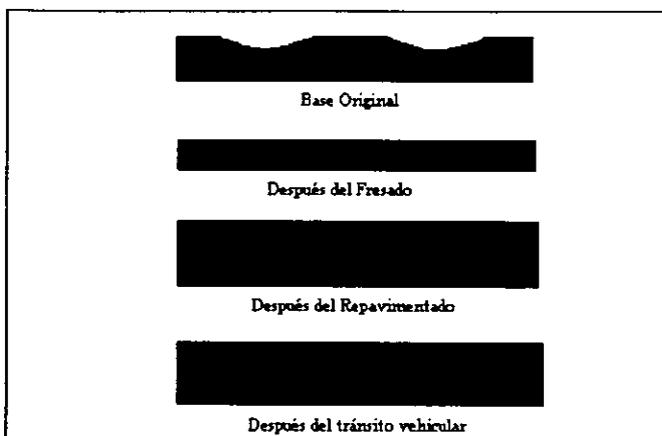


Fig. 2-9 Pavimento fresado antes del repavimentado, logrando una superficie uniformemente densa.

El fresado puede restablecer el peralte y pendiente correctos de la carretera y eliminar puntos altos y rodadas. Se puede lograr un mejor enrasamiento con el fresado que aplicando una capa niveladora de asfalto. En la actualidad, se puede fresar la superficie de una carretera con un costo aproximadamente igual o menor que el de aplicar una capa ligante. Con una fresadora-cargadora frontal, se recoge automáticamente el material fresado. Otras ventajas en la utilización del fresado y repavimentado, son que no se necesita elevar los acotamientos, porque la elevación de la carretera continúa en su mismo nivel. No se deben elevar las barreras, el gálibo de los puentes permanece igual. En el caso de puentes, su capacidad de carga permanece, evitando mejorar su estructura o reducir sus límites de peso.

Además de todas las ventajas obtenidas al fresar y perfilar las calles tanto en trabajos urbanos como en carretera, se generan grandes cantidades de material reciclable, comúnmente llamado RAP (Pavimento Asfáltico Recuperado). El RAP básicamente vale lo mismo que el material que reemplaza. Puede reemplazar una parte del agregado virgen y del asfalto líquido en una mezcla nueva.

El RAP se consigue de los trabajos de fresado o perfilado en frío; también puede conseguirse de cortes que se hacen en pavimentos. Para obtener el RAP es mejor hacerlo a través de las fresadoras, ya que es más barato que romper y triturar pavimento, porque el material fresado normalmente no requiere trituración, y en su caso solo requiere una reducción de tamaño muy leve. La cantidad de material recuperado depende del espesor a fresar, y éste depende generalmente de las condiciones de la carretera a tratar, es decir, cuando la capa de rodamiento presenta hundimientos, corrugaciones o cualquier otra falla que signifique desniveles grandes en la superficie a fresar, va ser mayor que si se trata de un pavimento que presenta solamente oxidación del asfalto o pequeñas grietas.

Existe una amplia gama de perfiladoras que permite la recuperación del RAP de acuerdo a las necesidades de cada obra. Actualmente se dispone de máquinas que pueden realizar cortes desde 60cm hasta 3.81m de ancho y en profundidades de 15cm hasta 34cm. Estas capacidades dependen de los modelos y marcas de las máquinas.

En lo que se refiere al sentido de corte, las perfiladoras cortan generalmente hacia arriba y el tambor cortador es en todo momento enfriado mediante aspersión de agua para alargar la vida de las puntas cortadoras, las cuales están constituidas por una cabeza de carburo de tungsteno principalmente, y se montan sobre “porta puntas intercambiables” alojadas en los bordes de las envolventes del tambor. Las envolventes empujan el material hacia el centro de manera que pueda ser recolectado por el sistema de la banda transportadora de descarga y/o carga.

2.2.2.2. Transporte

En lo que se refiere al transporte del RAP, solo se puede decir que se lleva a cabo por medio de camiones de volteo hacia la planta, donde es descargado y almacenado para que posteriormente se recicle. Los camiones son cargados por medio de la banda transportadora de la perfiladora.

2.2.2.3. Clasificación del material

Después de que el material es almacenado, el siguiente paso es clasificar el RAP en el tamaño adecuado para el reciclado. Esta fase del proceso comienza con el bandeado del material para desintegrar o deshacer los montones grandes que se forman durante el transporte y almacenamiento. Posteriormente con ayuda de un cargador frontal se alimenta una tolva que descarga el material en una banda transportadora, la cual lleva dicho material hacia una criba vibratoria. En esta criba el material es seleccionado en los tamaños máximos especificados por el diseño de la mezcla, generalmente 3/4”. Los tamaños mayores son conducidos hacia un molino o trituradora recicladora de asfalto, por medio una banda. Las trituradoras más útiles son las trituradoras de impacto debido a su capacidad de reducción (fig. 2-10).



Fig. 2-10 Trituradora de impacto, utilizada en el reciclado de concreto asfáltico.

En este proceso no suelen utilizarse las trituradoras de mandíbulas y las trituradoras de conos porque éstas suelen empaquetar el material. Sin embargo, se puede usar una trituradora de conos además de una trituradora de impacto de eje horizontal; con esta disposición, la trituradora de impacto sirve de trituradora principal. Al cribar el material, las partículas pegajosas finas son desviadas, mientras que el material más grande, que normalmente no tiene mucho asfalto el cual permite el empaque, se dirige a la trituradora de conos.

Cuando se usa una fresadora para remover o extraer el pavimento asfáltico, el tamaño del material fresado oscila entre 50 y 100mm. Por lo tanto, una fresadora funciona también como una máquina que reemplaza a la trituradora principal.

Después de que el material pasa por las cribas, es transportado a la tolva compensadora y de ahí a la banda pesadora donde es proporcionado. Cuando se usa de modo apropiado, la introducción del RAP en una mezcla nueva puede producir una mezcla de calidad igual o superior que una mezcla con materiales vírgenes. La sensibilidad del diseño de la mezcla se hace mucho más grande conforme aumenta el porcentaje de RAP añadido. Típicamente, los reglamentos requieren el uso de líquidos vírgenes más suaves cuando la proporción de RAP exceda el 29 o 30%. El uso de líquidos más suaves afecta a menudo la calidad de los líquidos y causa problemas de emisión cuando se usan mezcladoras de tambor de flujo paralelo.

2.2.2.4. Mezclado

Las plantas de bachas o dosificadoras y las plantas mezcladoras continuas de tambor pueden preparar mezclas de alta calidad.

a) Plantas Dosificadoras: Hay cinco métodos para usar RAP en una planta dosificadora. Todos estos métodos, se basan en el sistema de transferencia de calor, lo cual quiere decir que, es necesario sobrecaleentar el agregado virgen. La mezcla consta de partículas

grandes y pequeñas; las pequeñas son de poco volumen pero se encuentran en gran cantidad, además, éstas se calientan más rápidamente a la temperatura del chorro de gas. Este gas contiene gas de escape y vapor; la cantidad de vapor depende de la humedad que haya en el agregado. A mayor cantidad de vapor mayor destilación, especialmente si el asfalto ha sido suavizado artificialmente con fracciones más livianas.

Una mayor humedad en el RAP, así como un alto porcentaje del mismo, requieren temperaturas proporcionalmente más altas en el agregado virgen. El sobrecalentar los agregados vírgenes a temperaturas extremadamente altas hace que el acero del secador se caliente mucho más que lo normal; esto podría dañar el tambor, sin embargo, un tambor secador enfriado por aire (fig. 2-11) permite el sobrecalentamiento del agregado virgen a temperaturas más altas sin dañar el tambor. Pero el uso de un secador de esta categoría solo permite el uso de proporciones ligeramente mayores de RAP.

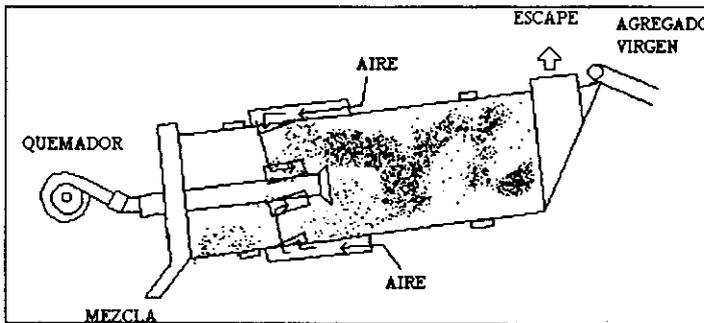


Fig. 2-11 Secador de contraflujo enfriado por aire.

Método 1

Se introduce el RAP frío en la funda del elevador caliente junto con el agregado virgen sobrecalentado (fig. 2-12). Juntos, se clasifican y se almacenan en tolvas calientes. A medida que el agua del RAP se evapora, se genera vapor el cual es extraído por el sistema recolector de la torre dosificadora.

Este método no causa problemas de emisión. Sin embargo, únicamente deben usarse proporciones bajas de RAP a menos que la tela de la criba en la plataforma inferior exceda de 5 a 6mm. El uso de porcentajes más altos con menos de 5mm de tela, produce una composición pegajosa que a menudo obstruye o "ciega" la criba.

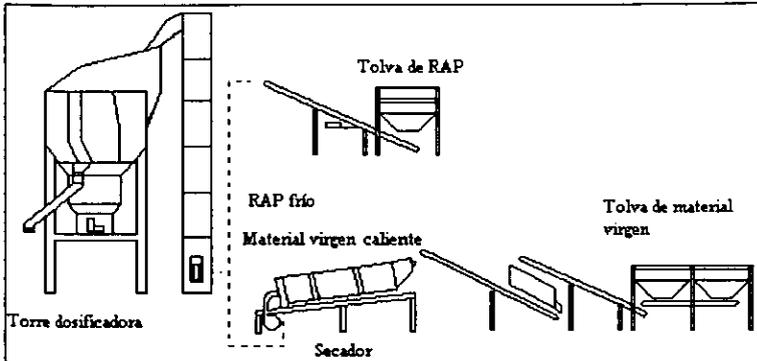


Fig. 2-12 Manejo del RAP en el elevador caliente de una planta dosificadora.

Método 2

La torre dosificadora debe tener una quinta tolva caliente (fig. 2-13). El RAP frío y predosificado se introduce en la funda del elevador caliente junto con el agregado sobrecalentado preclasificado. El elevador entrega el material mezclado directamente a la quinta tolva, desviándolo de las cribas de la torre. Este método da resultados óptimos y permite usar hasta 40% de RAP. Permite pasar de mezclas con RAP a mezclas de materiales vírgenes sin vaciar las tolvas calientes porque no se sobrecalientan los materiales en las tolvas calientes.

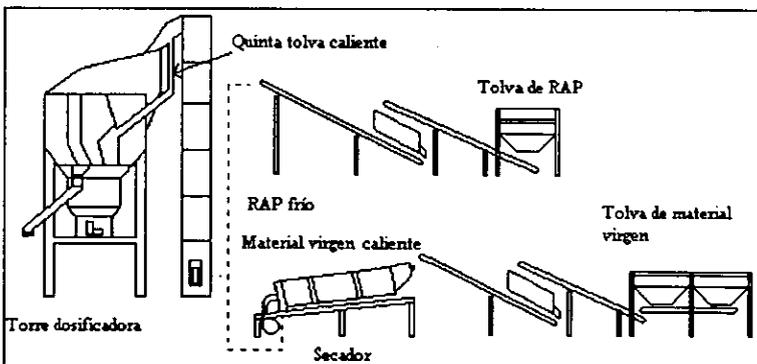


Fig. 2-13 Quinta tolva caliente de la torre dosificadora.

Método 3

Se entrega el RAP frío preclasificado directamente a la tolva de pesaje de la torre dosificadora junto con el agregado virgen sobrecalentado de la tolva caliente. El RAP proviene de la tolva para RAP, la cual es alimentada por una banda transportadora inclinada.

Para aumentar el tiempo de calentado del RAP, se puede dejar caer el material de la tolva 1 en la tolva de pesaje para pesarlo. Se alimenta el RAP en la cantidad predeterminada. Después se añaden los materiales de las tolvas 2,3,4, por consiguiente se mezclan los agregados calientes con el RAP.

Cuando se deja caer el material sin mezclar de la tolva de pesaje a la amasadora, se produce una explosión suave. La amasadora mezcla instantáneamente el RAP frío con el agregado virgen caliente. La explosión es el resultado de la evaporación casi instantánea del agua del RAP.

Método 4

Un nuevo sistema de control de alimentación se está utilizando para plantas de bachas. En este sistema se alimenta el RAP hacia una tercera balanza para obtener una cantidad determinada de RAP. Después de pesar el RAP, se deja caer en una tolva con un alimentador. Este alimenta el RAP en la amasadora en un intervalo de 20 a 30 seg. Esto retarda el ciclo de la mezcla, pero permite una alimentación controlada. Por lo tanto, se extiende la generación de vapor a un intervalo de 20 a 30 seg, lo que facilita controlarla (fig. 2-14).

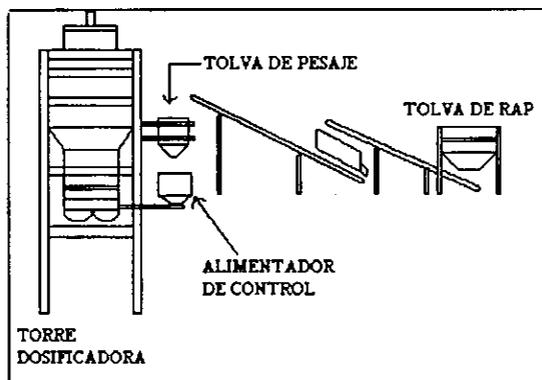


Fig. 2-14 Alimentación controlada a la tolva de pesaje.

Método 5

Este método consiste en un tambor secador separado utilizado para recalentar el RAP. Inicialmente se utilizó en Estados Unidos, en los años 70. Ahora se usa principalmente en Europa. Es un sistema caro, pero permite precalentar el RAP logrando utilizar proporciones de 40% de RAP. Los gases del presecador son usados como aire secundario hacia el secador, el cual consume el humo. El control del sistema es un tanto difícil debido a las variaciones de la humedad en el RAP y las variaciones en el oxígeno disponible en el calentador de RAP.

b) Plantas Mezcladoras de Tambor: En las décadas de los 50 y 60 las plantas de asfalto tipo dosificadoras eran muy comunes, producían mezclas de gran calidad. A finales de los 60 comenzaron los requisitos sobre contaminación ambiental, por lo que a estas plantas se les limitó la producción por la instalación de equipo adicional para el control de las emisiones. A principios de los 70 se introdujeron los silos de compensación y de almacenamiento. Esto, más la disponibilidad de controles electrónicos, condujo a la introducción de plantas mezcladoras de tambor, las cuales funcionan como plantas mezcladoras continuas.

En 1973, en Estados Unidos, la ley de aire puro requería que las plantas de asfalto tuvieran emisiones inferiores a un 20% de opacidad (1). Las emisiones de las mezcladoras de tambor eran menores que las de las plantas dosificadoras, pero aún así, no cumplían con los requisitos de las leyes ambientales. Por consiguiente, a las mezcladoras de tambor se les agregaron lavadoras en húmedo y cámaras de filtros, esto redujo su facilidad de traslado.

Debido a la escasez y precios altos del petróleo crudo a fines de los 70, el reciclaje de pavimentos nuevamente comenzó a ser económicamente posible. En las mezcladoras de tambor, se requería simplemente perforar la carcasa del tambor para introducir el RAP. Los fabricantes de plantas de mezcla caliente, han logrado realizar a base de sencillas modificaciones cambios substanciales a las mezcladoras, que permiten producir mezclas recicladas de alta calidad, reduciendo al mínimo los riesgos antes mencionados.

Hoy en día hay varios sistemas básicos de plantas mezcladoras de tambor capaces de manejar RAP:

Sistema Pyrocone

Este sistema consiste en un cono construido con una alta aleación de metal instalado entre la entrada del tambor y el quemador. La función de este cono es controlar la intensidad de la cantidad de calor que entra al tambor mezclador. En el reciclamiento, éste dispositivo permite el procesamiento directo del asfalto viejo triturado sin necesidad de equipo de manejo extra o sistema para el control de la producción.

El sistema pyrocone actúa como cubierta contra la radiación entre la flama del quemador y el agregado que se introduce en el tambor. En el reciclamiento controla la cantidad de los gases de combustión y el aire secundario en tal forma que reduce la temperatura del chorro de gas que entra al tambor; el exceso de aire fluye al interior de la cámara de combustión a través de ranuras en la pared de la misma, reduciendo la temperatura de 2500°F a aproximadamente 1300°F, esto para prevenir el quemado de las partículas de asfalto y del agregado recubierto, eliminando las causas principales del humo en el proceso de reciclamiento.

Utilizando este sistema se determinó que la proporción de material recuperado es 70% y 30% de material nuevo.

(1) Menos de 1 4granos/m³ particulados

Sistema Cyclean

Este sistema de reciclado consiste en el calentamiento del RAP por medio de microondas, las cuales no calientan al asfalto, evitando quemarlo y deteriorarlo más, anulando la emisión de humo y gases que afectan el ambiente.

Cuando el material recuperado es expuesto a la energía del microondas, el agregado generará calor y lo transferirá al cemento asfáltico. Mientras las microondas son aplicadas, la generación de calor continúa y la adición de asfalto no detiene la elevación de la temperatura. En el reciclado de mezclas asfálticas, el asfalto del agregado es fundido, redepositado e impregnado en los vacíos de las partículas como resultado de un continuo calentamiento, como se muestra en la fig. (2-15).

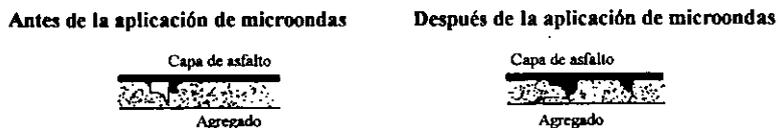


Fig. 2-15 Efecto de calentamiento y fundido del asfalto

Cuando las microondas pasan a través de un material, éste es expuesto a un campo electromagnético alternado que cambia millones de veces por segundo. Si el material es eléctricamente neutro (no tiene carga eléctrica) las microondas pasan a través de él como si no estuviera ahí, sin embargo, cuando el material no es neutro, las moléculas dipolares las cuales llevan un par de cargas iguales en magnitud pero de signo contrario, tienden a alinearse con el campo (polarizar) en presencia de microondas. La máxima polarización (fig. 2-16) ocurre cuando todos los dipolos se alinean con el campo aplicado.

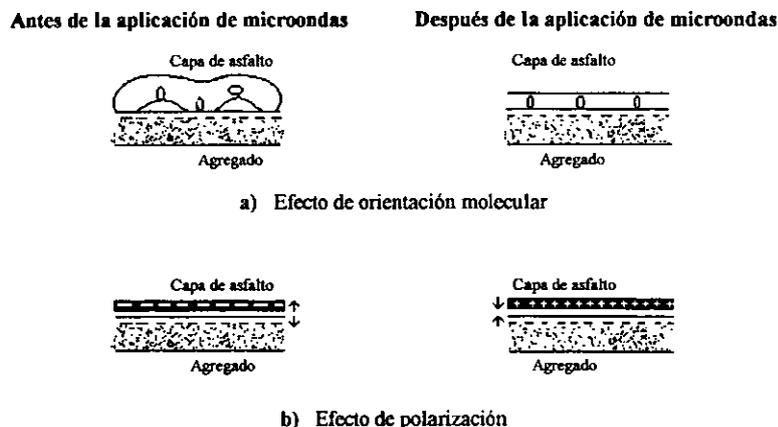


Fig. 2-16 Mejoramiento de la adhesión del asfalto con el agregado.

Los materiales difieren en su respuesta a la energía del microondas; algunos como el agua y agregado, se calientan bastante, mientras que otros como el teflón y el asfalto presentan una respuesta pobre. La penetración del microondas es infinita en sustancias perfectamente transparentes, nula en materiales reflectivos como metales y de valor finito en otros materiales absorbivos.

La energía del microondas inicialmente fue utilizada para un rápido y uniforme calentamiento de caminos de pavimento asfáltico, así como sus materiales. Un profundo calentamiento por microondas sin una significativa diferencia en las temperaturas de la superficie y el fondo del pavimento, un lento envejecimiento del cemento asfáltico como resultado del rápido calentamiento comparado con los métodos convencionales, un posible perfeccionamiento en la adhesión del asfalto con el agregado y un consecuente incremento en la resistencia al daño del agua (laminación), son beneficios del calentamiento a base microondas.

El sistema cyclean lleva a cabo el siguiente procedimiento:

1.- El material recuperado es transportado en camiones a la planta; éste es clasificado por un sistema de cribas en tamaños no mayores de $1\frac{1}{2}$ ". En una sección de la tolva donde es depositado el material clasificado se permite la adición de material virgen para corregir la granulometría en caso necesario. Los agregados más grandes son triturados y llevados a la tolva nuevamente para ser procesados.

2.- Se sigue el procedimiento de un reciclado de pavimentos asfálticos; el material circula por el cilindro para su secado inicial, la humedad es controlada para precalentar el material con aire caliente a más de 220°F. El aire que escapa del cilindro pasa por un filtro de tela y después al posquemador para remover algunos hidrocarburos antes de la emisión hacia a la atmósfera.

3.- En el cilindro de secado se dispone de aplicadores del agente rejuvenecedor de asfalto que lo suministran en la cantidad precisa (previamente determinada), para que sea mezclada con el material recuperado. En este cilindro también se lleva a cabo la aplicación de microondas.

4.- La mezcla se restaura por la aplicación del rejuvenecedor y es agitado por unas aspas, éstas últimas actúan como aplicadoras de microondas donde la energía electromagnética aumenta la temperatura a 300°F. La roca es calentada con calor suave dentro del ligante asfáltico, lo cual hace que dicho cemento asfáltico se caliente, formándose una cadena y así se calienta todo el material uniformemente.

5.- En el fondo son mezclados con el rejuvenecedor de mezcla caliente y pasados fuera del aplicador de microondas. La mezcla terminada es pesada y se carga en camiones hacia el lugar de la pavimentación.

Mezclador de flujo paralelo con un tambor de entrada central

En este sistema el material virgen es introducido por el mismo extremo donde se encuentra el quemador, durante el recorrido al centro del tambor el material es calentado. Después se introduce el RAP, el cual no es expuesto directamente a la flama y a los gases calientes del quemador. El asfalto liquido se incorpora casi al final del tambor, lugar donde se lleva a cabo el mezclado (fig. 2-17). El inconveniente de este sistema es satisfacer las restricciones de emisiones visibles. Este problema es consecuencia de la producción de vapor el cual destila los aceites ligeros del cemento asfáltico liquido virgen y del RAP.

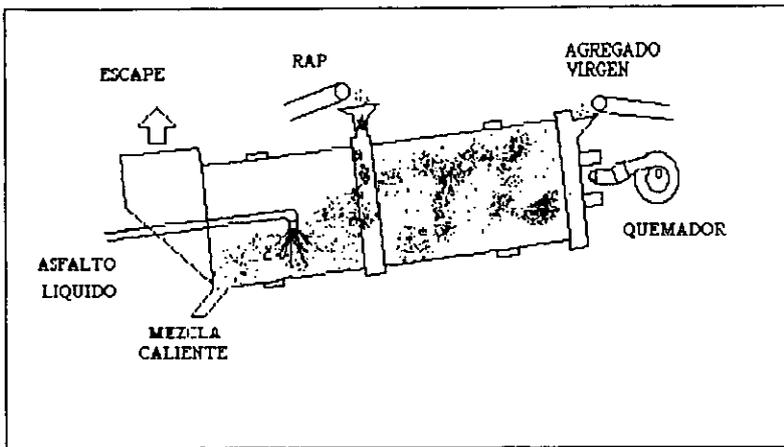


Fig. 2-17 Tambor mezclador con entrada central.

Secador de flujo paralelo con mezclador independiente

Originado por las leyes ambientales, se concluyó que los asfaltos vírgenes debían ser introducidos de tal forma que se mantuvieran alejados del chorro de gas para evitar la exposición a los gases o vapores calientes. Esto condujo al desarrollo de la planta **Drum Mix Coater-I** (fig.2-18). Este sistema consta de un mezclador de tambor de flujo paralelo en el cual los agregados y gases calientes se mueven en el mismo sentido; también posee un mezclador independiente.

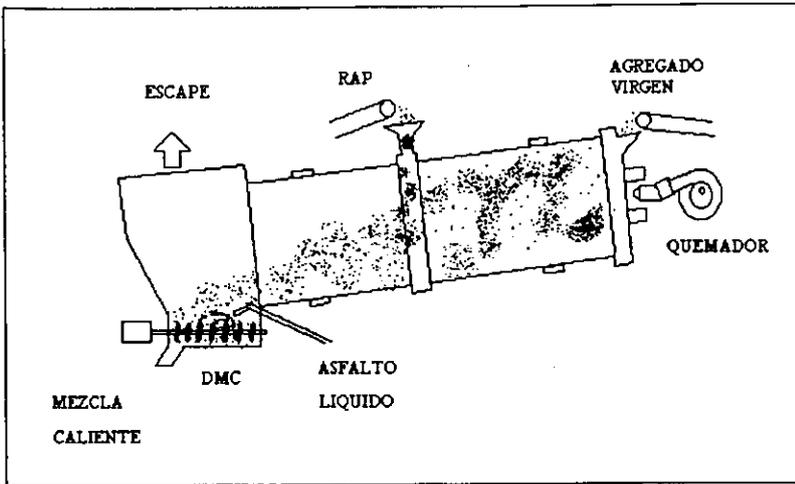


Fig. 2-18 Tambor mezclador Drum Mix Coater-I.

Esta planta produce una excelente mezcla utilizando material reciclado. El RAP entra por el centro del tambor donde se mezcla con el agregado virgen caliente, el cual se introduce por un extremo del tambor donde se encuentra el quemador, logrando que el agregado se supercaliente. El asfalto viejo en el reciclado se funde, revistiendo parcialmente el agregado virgen antes de la introducción del asfalto nuevo cerca del extremo del tambor. Esto asegura que los agregados reciclados y vírgenes se cubran con el asfalto nuevo y con el asfalto reciclado, logrando una mezcla homogénea excelente.

A medida que las normas ambientales se ponen más estrictas los problemas de estas plantas se intensifican:

- 1.- Estas plantas producen temperaturas en la chimenea mucho más elevadas que aquellas con el secador de contraflujo usado en las plantas dosificadoras. Con este sistema las plantas también rinden porcentajes de producción más altos gracias a los flujos de gas mucho mayores.
- 2.- Para procesar material recuperado, es necesario aumentar la temperatura de la mezcla de 6°C a 17°C; pero al hacerlo las plantas comienzan a emitir humo.
- 3.- El humo aumenta cuando se manejan porcentajes más altos de RAP (arriba de 30%). También se descubrió que los aceites ligeros existentes en el RAP, después de 30 años de servicio todavía permanecen; a estos aceites se le suman los aceites que desprenden los automóviles y camiones que circulan por la carretera y aparecen cuando se recicla.

Secador de contraflujo con mezclador separado (DMC-II)

El desarrollo de este sistema tuvo como objetivo reducir las emisiones visibles que comenzaron ocurrir cuando se usaban porcentajes más altos de RAP.

Como lo indica el nombre del sistema, éste utiliza un secador de contraflujo y un mezclador en el extremo de descarga del secador. El agregado virgen entra por el extremo donde se descargan los gases, este diseño permite alcanzar temperaturas de salida del gas mucho más bajas. Estas temperaturas alcanzadas usando lavadores húmedos son de 82°C. Las temperaturas más bajas permiten porcentajes de producción más altos y consumen menos combustibles, es decir, una operación de la planta más eficiente. El material reciclado entra directamente al mezclador al igual que el asfalto líquido nuevo. En los dos sistemas anteriores aproximadamente el 90% del calentamiento del RAP lo proporciona el agregado virgen y el 10% los gases calientes, en este sistema (fig. 2-19), el 100% del calentamiento del RAP lo hace el agregado virgen.

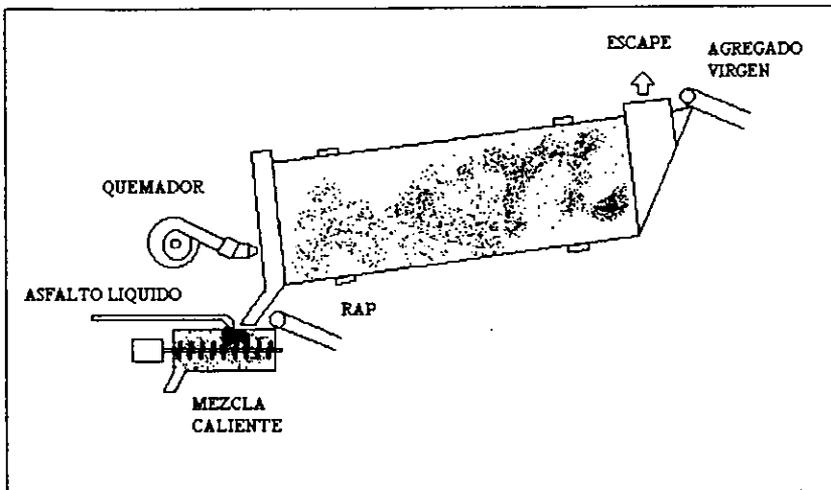


Fig. 2-19 Secador de contraflujo con mezclador separado.

La principal desventaja de esta planta, es el corto tiempo de mezclado, ya que no ocurre ninguna mezcla antes de llegar al mezclador independiente, por lo que cuando se utiliza un porcentaje mayor de RAP, se produce una mezcla menos homogénea. Una versión de esta planta es con mezcladores dobles, produciendo una mezcla más homogénea. Otra desventaja es que la carcasa del tambor se calienta mucho, sin embargo esto se puede solucionar enfriándolo con aire mediante diversos métodos.

Mezclador de tambor de contraflujo

Una planta de este tipo utiliza un secador de contraflujo; el quemador está insertado aproximadamente 4m en el tambor. El material reciclado es inyectado después del quemador (fig. 2-20), donde se mezcla con el agregado virgen caliente y el asfalto virgen líquido.

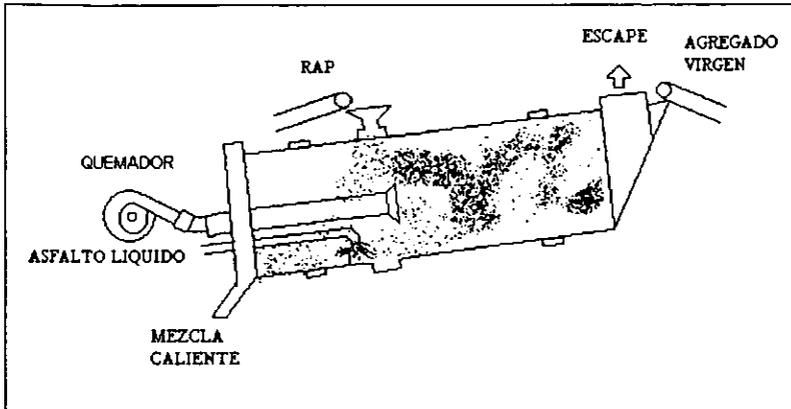


Fig. 2-20 Tambor secador mezclador de contraflujo, con quemador insertado dentro del tambor.

El objetivo de este sistema es no calentar demasiado el RAP, es decir, el RAP no tiene contacto directo con la flama y el calentamiento de éste es producido solo por los gases calientes.

Planta Double Barrel

Esta planta es una combinación de un secador de contraflujo y un mezclador, es decir, funciona como un mezclador Drum Mix Coater II con un mezclador grande ubicado debajo de la parte inferior del secador, como lo muestra la fig., (2-21).

Los agregados vírgenes se secan en el tambor interno; son supercalentados a 316°-343°C cuando se procesa 50% del material reciclado. Después del secado, los agregados vírgenes caen por la pared del tambor interno hacia el tambor externo. Allí se juntan con el material reciclado y se mezclan. El agregado virgen super caliente funde al asfalto viejo en el material reciclado para que se mezcle con el agregado virgen antes de que se inyecte el asfalto líquido nuevo a la mezcla.

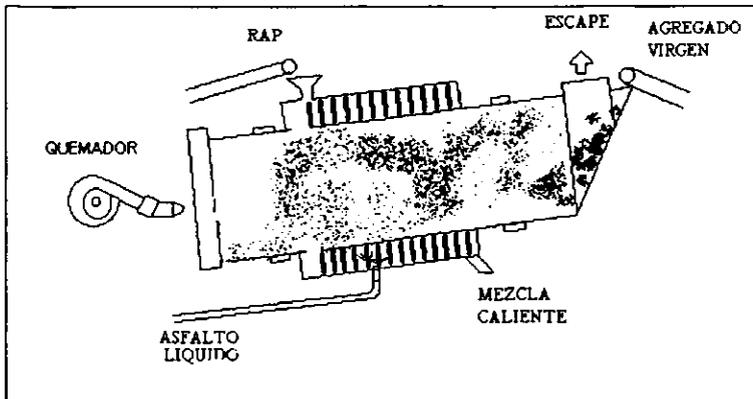


Fig. 2-21 Secador mezclador tipo Double Barrel.

El tiempo de mezcla en esta carcaza externa es de 45 a 60 segundos. Este tiempo es más largo que lo común, lo suficientemente largo para producir una mezcla muy homogénea y de buena calidad. La carcaza externa no gira, por lo que facilita la introducción de RAP. Con este diseño, el 90% del calor para la fusión y el secado del material proviene del agregado virgen; el otro 10% del calor inducido a través de la carcaza interna y las paletas mezcladoras. Esta transferencia de calor impide que la carcaza interna se sobrecaliente, y la carcaza externa se mantiene a 49°C; cualquier humo u olor proveniente de la sección de mezcla es devuelto a través de los agujeros en el tambor interno, agujeros por los cuales el material virgen pasa a la sección de mezcla. Los contaminantes se van a la llama del quemador donde son consumidos, resultando cero opacidad en la chimenea y sin olores. Con este sistema el asfalto virgen y el RAP no quedan expuestos a los gases y vapores calientes, evitando destilar los aceites ligeros de estos materiales.

2.2.2.5. Almacenamiento y cargado

Después de que el material ha sido mezclado, es decir, ya que se obtiene la mezcla caliente reciclada; el paso siguiente es transportar la mezcla hacia los silos de almacenamiento, o bien a los camiones que la transportarán al lugar de la pavimentación.

La mayoría de las plantas están equipadas con silos de almacenaje (depósitos de compensación) para el almacenamiento temporal de la mezcla asfáltica en caliente, con el fin de prevenir paros en la planta debido a interrupciones temporales en las operaciones de pavimentación, o bien a la escases de camiones que transportan la mezcla. La mezcla caliente recién elaborada es depositada por medio de un transportador (fig. 2-22), o elevador de mezcla caliente en la parte superior del depósito o silo, y es descargada en los camiones por la parte baja. Los silos o depósitos aislados pueden almacenar mezcla hasta

por 12 horas, sin tener pérdidas grandes de calor o de calidad considerables. Las capacidades varían en cientos de toneladas. Las estructuras de almacenamiento no-aisladas, generalmente son pequeñas y solamente pueden almacenar mezcla por un período de tiempo corto.



Fig. 2-22 Elevador de mezcla caliente por medio del cual son alimentados los silos.

Como ya se mencionó, la mezcla puede ser cargada directamente a los camiones transportadores, éstos son de distintas capacidades y tipos, los de vaciado por el extremo y los de descarga inferior son los más comunes.

2.2.2.6. Pavimentación

La colocación o tendido de las mezclas asfálticas recicladas en caliente en planta, se lleva a cabo con máquinas pavimentadoras.

Al igual que sus antecesoras, la moderna máquina es básicamente un tractor que transporta los materiales de pavimentación asfáltica desde una tolva receptora a través de alimentadores de listones y transportadores de tornillo sinfin hasta la parte delantera de una maestra enrasadora flotante, autoniveladora que va remolcada.

La máquina realiza tres funciones principales; el material depositado en la tolva es desplazado para ser allanado por la maestra enrasadora, la cual controla el espesor y textura de la capa de material que al mismo tiempo le proporciona una ligera compactación; por último por tratarse de una unidad autopropulsada, ésta es capaz de controlar la velocidad de pavimentación. La calidad del pavimento terminado depende de la suplementación y equilibrio de estas tres funciones inter-relacionadas.

Como último paso de este proceso, se tiene la compactación de la carpeta asfáltica. Los equipos comúnmente usados para compactar mezclas asfálticas son: rodillos lisos, compactadores neumáticos y rodillos vibratorios. A una temperatura mayor de 90°C, se inicia la compactación de la carpeta; comenzando con un rodillo neumático ligero para dar un primer armado y permitir después la entrada de otro equipo más pesado, el cual no se usa desde el principio para evitar el desplazamiento de la mezcla. Finalmente se utiliza un rodillo liso metálico con el fin de borrar las huellas que se forman por el paso de las llantas de los compactadores neumáticos. El grado de compactación debe ser de 95% como mínimo respecto al peso volumétrico de proyecto. Para conocer el grado de compactación, se extraen corazones de prueba con máquinas rotatorias.

2.2.3. MATERIALES.

En la estructuración de la sección transversal de una vía terrestre se utilizan materiales pétreos, térreos, asfálticos e industriales, los cuales se aprovechan cuando cumplen los requisitos especificados en las normas de calidad. Todos los materiales para construir las capas del pavimento provienen de banco, y casi siempre requieren de uno o más tratamientos. Los materiales industriales como el asfalto, se adquieren en las empresas estatales o privadas que los producen y deben cumplir los requisitos necesarios para el uso que tendrán.

Para conocer las características de los materiales, se hacen pruebas. Las principales pruebas que se aplican a los materiales pétreos de un concreto asfáltico son de granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. Las pruebas más usuales que se efectúan a los asfaltos son de destilación, penetración, viscosidad y punto de encendido.

2.2.3.1. Agregados

a) Granulometría:

Esta prueba en los agregados sirve para determinar el porcentaje en peso de las partículas de los diferentes tamaños que lo forman. Para realizar esta prueba, el material se hace pasar por varios tamices o mallas, se pesa el agregado retenido en cada tamiz y se calcula el porcentaje respectivo en relación con el peso seco total; después se calcula el porcentaje que pasa por cada una de las mallas.

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

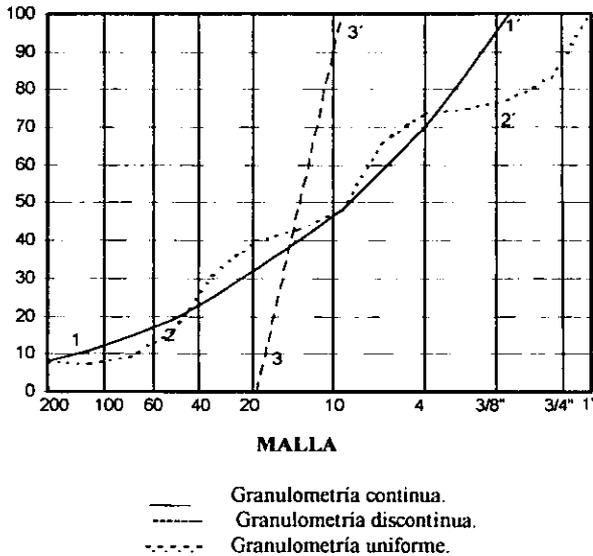


Fig. 2-23 Curvas granulométricas: 1-1' continua; 2-2' discontinua; y 3-3' uniforme.

Los resultados de esta prueba se presenta en gráficas como las de la fig. (2-23). Cuando la curva no tiene cambios bruscos de pendiente, se dice que la granulometría es continua; cuando hay cambios bruscos, la granulometría es discontinua; en este caso escasean las partículas de los tamaños en donde la pendiente de la curva es menor; cuando la curva se localiza dentro un rango estrecho de tamaño, se tiene un material de granulometría uniforme. Las especificaciones respecto a esta característica de los materiales son un tanto flexibles, de acuerdo con la capa que se trate. En el caso de un concreto asfáltico, la fig.(2-24) muestra la zona granulométrica recomendada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

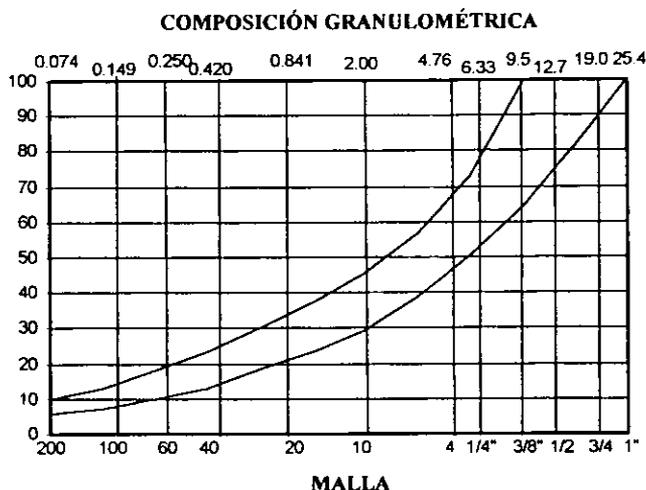


Fig. 2-24 Zona granulométrica recomendable para materiales pétreos a emplearse en concretos asfálticos.

b) Dureza:

Para conocer la dureza de los agregados, se aplica generalmente la prueba de desgaste de Los Angeles. Esta prueba consiste en colocar el material dentro de un cilindro de acero hueco junto con bolas de acero. El cilindro se hace girar un determinado número de veces y al final se ve la cantidad de finos que se produjeron, y se calcula el porcentaje de desgaste.

c) Adherencia con el asfalto:

Esta claro que los pétreos utilizados en un concreto asfáltico deberán tener buena adherencia con el asfalto y también que el agua afecta gravemente esta propiedad; es por ello que los materiales afines al líquido (hidrófilos) tienen mala adherencia con el asfalto, y las pruebas de este tipo se realizan en presencia del agua.

Las pruebas más usuales en México son:

1. *Prueba de desprendimiento por fricción:* Se colocan 50 gr de mezcla asfáltica en un frasco y se deja reposar por 24 horas, al término de esto se somete a tres periodos de agitado de 5 min cada uno. Después, se saca la mezcla y se observa el % de desprendimiento de asfalto que sufrió el material pétreo. El agitado puede ser de tipo mecánico, en el cual el tiempo es de 3 horas (tres periodos de una hora), en lugar de 15 min. Si el % de desprendimiento es de 25% o menos, se considera que el material tiene adherencia aceptable.

2. *Prueba de pérdida de estabilidad por inmersión en agua:* Se coloca una porción de mezcla asfáltica en un molde metálico de 10cm de diámetro y se le da una compactación de tipo estático bajo una presión de 40kg/cm². Se elaboran dos especímenes con altura de 12cm +- 0.5cm. Uno de ellos se deja reposar y el otro se sumerge en agua durante tres días. Al cabo de este tiempo, se llevan a la ruptura por medio de compresión sin confinar y la pérdida de estabilidad se calcula de la sig. forma:

$$Pe = \frac{R_{ss} - R_{sat}}{R_{ss}} \times 100$$

donde;

Pe = Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, en %.

Rss = Resistencia del espécimen sin saturar, en kg/cm².

Rsat = Resistencia del espécimen saturado, en kg/cm².

Si el valor de Pe, es menor que 25%, el material tiene buena adherencia.

3. *Prueba inglesa:* El asfalto se esparce en el fondo de una charola con un espesor de 1.5mm, se cubre con un tirante de agua de 2.5cm a la temperatura de aplicación del asfalto. La charola se coloca sobre un recipiente mayor que contenga agua a la misma temperatura y se toman seis partículas de material pétreo con dimensiones de 1/2" a 3/4", se sumergen en la charola y se mantienen presionados en el asfalto durante 10min, se sacan y se observa el % de cubrimiento. Si este valor es mayor que el 90%, la adherencia es aceptable.

Cuando los agregados no tienen buena adherencia, se usan aditivos capaces de solucionar este problema.

2.2.3.2. Asfalto

a) *Destilación:*

Esta prueba se realiza en asfaltos rebajados y emulsiones, al colocar el material en un recipiente que se conecta a un refrigerante. El envase con el producto asfáltico se calienta y primero se evaporan los productos más volátiles, los cuales se condensan al pasar por el refrigerante y se reciben en una probeta. En la parte superior del recipiente se coloca un termómetro para ver la temperatura a la que cae la primera gota en la probeta, y después se registran los volúmenes obtenidos a las diferentes temperaturas marcadas en los procedimientos de prueba; con este último dato y la temperatura de la primera gota, se conoce el tipo de rebajado de que se trata. En el caso de emulsiones, el elemento evaporado es agua.

b) Penetración:

Esta prueba se realiza en cementos asfálticos y en los residuos de la destilación de rebajados y emulsiones asfálticas. Esta prueba se lleva a cabo por medio del penetrómetro, que consta de un vástago lastrado que pesa 200gr y que tiene una aguja en el extremo inferior. El material asfáltico contenido en una cápsula a una temperatura de 25°C se pone en contacto con la aguja del vástago y se deja libre durante 5 seg; al cabo de este tiempo, se leen los décimos de milímetro que penetró la aguja, lo cual indica los grados de penetración.

c) Viscosidad:

Con esta prueba se trata de conocer la dificultad que tiene un producto asfáltico para pasar por un orificio de características específicas. Se utiliza un viscosímetro, con el cual se ve el tiempo que tarda el producto asfáltico en llenar un matraz aforado de 60cm³, después de pasar a la temperatura de prueba, 60°C, por el orificio "Furol". Este tiempo en segundos, se denomina grado de viscosidad y la prueba se aplica en emulsiones, rebajados y cementos asfálticos.

2.2.4. MAQUINARIA.**2.2.4.1. Fresadoras**

Las pequeñas máquinas fresadoras de pavimentos asfálticos se introdujeron por primera vez alrededor de 1970. Las máquinas originales tenían anchos de corte muy estrechos, sin embargo, para 1976 las máquinas podían cortar un carril completo de 4m de ancho. Desde la década de 1970, las fresadoras han crecido en tamaño y potencia. El desarrollo de los dientes de corte también ha reducido significativamente el trabajo para reemplazarlos, su potencia más alta aumenta la velocidad de producción y reduce los costos de modo significativo.

Una perfiladora en frío es una máquina autopropulsada que consta básicamente de los siguientes elementos:

- 1.- Primeramente, la parte fundamental de todo tractor es el motor, el cual en este tipo de máquinas es un motor diesel, generalmente Caterpillar. La potencia de los motores varía de acuerdo al tamaño de la máquina.
- 2.- La transmisión, ayuda precisamente a transmitir los HP máximos disponibles a las ruedas u orugas, cuando estos se requieren en el corte, por medio de engranes principalmente.

3.- El sistema de control hidráulico 100%, es el responsable de mantener el perfil con una precisión de $\pm 3\text{mm}$ ($1/8''$), y funciona totalmente a base de bombas de aceite y gatos hidráulicos.

4.- Transportador frontal de carga, consta de una banda flexible con una longitud de 7m y 0.9m de ancho aproximadamente (fig. 2-25), variando éstas dimensiones de acuerdo al modelo de la máquina.

Este sistema también cuenta con un esparcidor de agua a presión para evitar el polvo excesivo, así como para mantener los dientes a la temperatura que no afecte su durabilidad.

5.- Tracción, generalmente las perfiladoras en frío cuentan con cuatro o tres puntos de apoyo o tracción, a base de ruedas u orugas, proporcionando mayor maniobrabilidad las de tres apoyos. Las orugas tienen 2.733m de largo por 35.6cm de ancho para tener una buena tracción sobre cualquier superficie de pavimento, en el caso de perfiladoras con ruedas, éstas tienen un diámetro de 1.22m por 60.9cm de ancho, dichas ruedas están protegidas por una superficie de hule para mejor tracción y mayor durabilidad. El sistema de tres orugas logra que la máquina ocupe un radio más pequeño de viraje que las de cuatro.

6.- Lugar del operador, la posición del operador está estratégicamente diseñada para lograr una gran visibilidad tanto del área de corte, como del área de descarga, y así ofrecer al operador confort y lograr eficiencia en el trabajo.



Fig. 2- 25 Perfiladora de cuatro orugas; se aprecia claramente la banda transportadora con la que realiza el cargado de los camiones.

7.- Mandril cortador, las perfiladoras poseen un tambor cortador, equipado con dientes con punta de tungsteno; con el sistema rociador de agua los dientes mantienen una

temperatura adecuada para evitar su desgaste prematuro. Los cortadores pueden ser de varios anchos y profundidades y van de 60cm hasta 3.81m y hasta profundidades de 30.5cm.

Los rangos de velocidad de la máquina está entre 0 y 4.8km/hr, según lo requiera el material a fresar.

2.2.4.2. Plantas dosificadoras

Estas plantas obtienen su nombre del hecho de que, produce la mezcla en cargas, produciendo una carga tras otra. El tamaño de la carga varía de acuerdo a la capacidad del amasadero de la planta. A pesar de los avances, el proceso fundamental -secado, cribado, proporcionamiento y mezclado- sigue siendo el mismo; en las plantas actuales, el diseño básico del equipo que efectúa las operaciones sigue siendo esencialmente el migrus.

Las operaciones básicas en las plantas dosificadoras son:

- ⇒ Almacenamiento y alimentación en frío del agregado.
- ⇒ Secado y calentamiento del agregado.
- ⇒ Cribado y almacenamiento del asfalto.
- ⇒ Medición y mezclado del asfalto y agregado.
- ⇒ Carga de la mezcla final en caliente.

La fig. (2-26) ilustra la secuencia de estas operaciones;

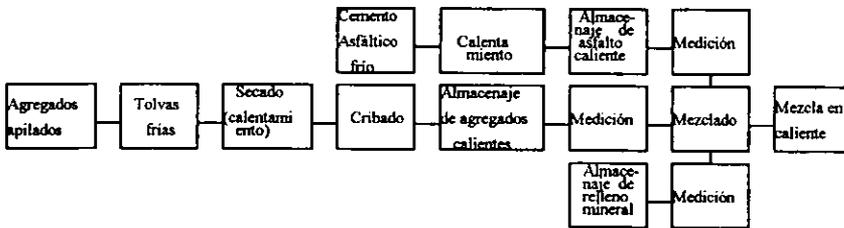


Fig. 2-26 Operaciones básicas de una planta dosificadora.

Los componentes principales de una planta dosificadora son:

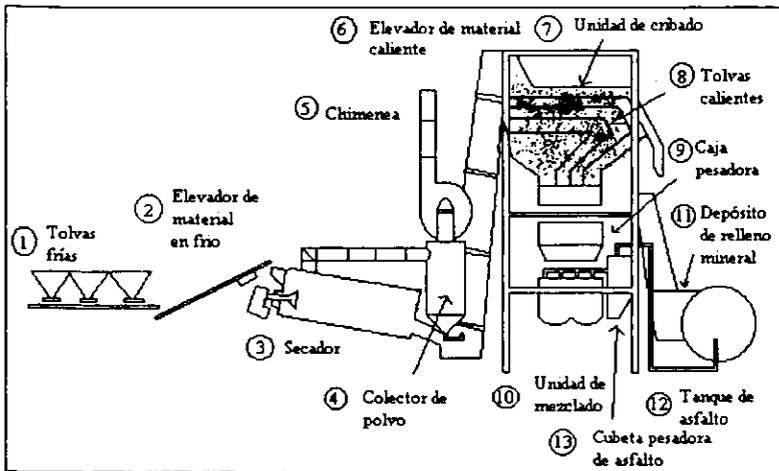


Fig. 2-27 Componentes principales de una planta dosificadora.

Después de remover el agregado del almacén, éstos son almacenados en las tolvas frías (1), son proporcionados mediante compuertas de alimentación en frío hacia una banda transportadora o un elevador de cubetas (2), el cual descarga los agregados en el secador (3), en donde son secados y calentados. Los colectores de polvo (4) remueven el polvo indeseable del escape del secador. Los gases restantes del escape son eliminados a través de la chimenea de escape de la planta (5). Los agregados ya secos y calientes son llevados por un elevador de material en caliente (6) hacia la unidad de cribado (7), la cual separa el material en fracciones de diferentes tamaños y lo deposita en tolvas calientes separadas (8) para un almacenamiento temporal. Los agregados calientes son medidos en cantidades controladas sobre la caja pesadora (9). Luego, los agregados son descargados dentro del amasadero (10), junto con la cantidad correcta de relleno mineral (en caso de que se requiera) (11); el asfalto caliente (12) es bombeado hacia la cubeta pesadora de asfalto (13), la cual pesa el asfalto antes de que se descargue en el amasadero, ahí es combinado con los agregados y el relleno mineral. La mezcla asfáltica en caliente es descargada en camiones o es almacenada (véase fig. 2-27).

En el caso de manejo de RAP, éste se alimenta por medio de un elevador adicional parecido al elevador de relleno mineral. Después que ha sido clasificado por medio de cribas y trituradoras, en el caso de que el RAP tenga tamaños mayores.

2.2.4.3. Planta mezcladora de tambor

El mezclado de tambor es un proceso relativamente simple para producir mezcla asfáltica en caliente. El tambor mezclador, de donde recibe su nombre la planta, es muy similar en apariencia al secador de una planta de dosificación. La rotación del tambor

genera el mezclado entre el asfalto incorporado y los agregados. Cuando la mezcla es descargada del tambor, puede ser descargada en los camiones directamente o transportada a los silos de almacenamiento y cargada posteriormente.

Los componentes principales de una planta mezcladora de tambor son.

- ⇒ Tolvas de agregado de alimentación en frío.
- ⇒ Sistema de transporte y pesado del agregado.
- ⇒ Mezclador de tambor.
- ⇒ Sistema colector de polvo.
- ⇒ Transportador de mezcla en caliente.
- ⇒ Silo de compensación para mezcla.
- ⇒ Cabina de control.
- ⇒ Tanque de almacenamiento de asfalto.
- ⇒ Tolva de RAP.
- ⇒ Criba dosificadora.
- ⇒ Molino triturador.
- ⇒ Transportador y pesador de RAP.

Una descripción de las operaciones de una planta mezcladora de tambor es:

Las graduaciones controladas de agregados, son depositadas en las tolvas de alimentación en frío (1), de ahí en las proporciones adecuadas son alimentadas a un transportador en frío (2). Un sistema de pesaje automático (3) mide la cantidad de agregado que entra al mezclador de tambor (4). El sistema de pesaje está conectado a los controles de la bomba de asfalto (5), la cual extrae asfalto del tanque de almacenamiento (6) y la envía al tambor. La acción rotatoria del tambor combina el asfalto y el agregado. Un colector de polvo (7) atrapa el polvo que escapa del tambor. Cuando la mezcla sale del tambor, se transporta por medio de un transportador de mezcla en caliente (8) hacia el silo de compensación (9) de donde es cargada en camiones.

En el caso del reciclado de concreto asfáltico, el RAP es alimentado a través de la tolva (10), por medio de una criba (11) el material es clasificado a un tamaño especificado y el material grande es devuelto a un triturador (12), después el material es transportado hacia una tolva compensadora (13) y de ahí, por medio de una banda con dispositivo para pesar (14), el RAP es proporcionado para su incorporación al tambor mezclador. (fig. 2-28). Todas las operaciones de la planta son monitoreadas desde la cabina de control (15).

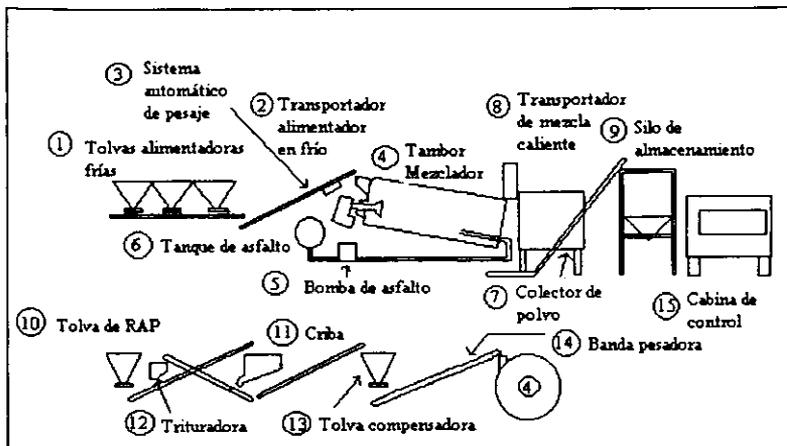


Fig. 2-28 Planta mezcladora de tambor.

2.2.4.4. Sistemas colectores de polvo

Existen principalmente tres tipos de colectores de polvo:

a) *Colectores centrifugos de polvo (tipo ciclón).*- Estos colectores operan bajo el principio de la separación centrifuga. El escape de la parte superior del secador aspira el humo y los finos, y los dirige hacia la centrifuga en donde se mueven en espiral. Las particulas grandes golpean la pared exterior y caen al fondo de la centrifuga; el polvo y el humo son descargados a través de la pared superior del colector. Los finos recogidos en el fondo de la centrifuga son levantados por una barrena de retorno de polvo y pueden ser devueltos a la planta o desechados.

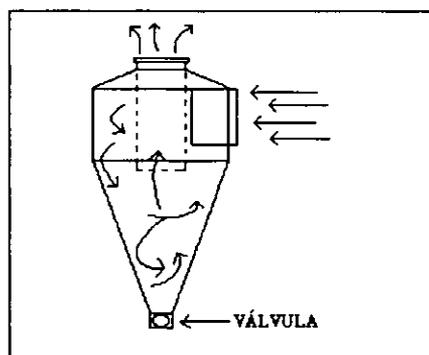


Fig. 2-29 Colector centrifugo de polvo.

b) *Depuradores Húmedos*.- Se basa en atrapar partículas de polvo en gotas de agua y removerlas de los gases del escape, al romper el agua en pequeñas gotas en medio de los gases cargados de polvo. Los gases del secador son introducidos en la cámara a través de una toma de entrada, mientras que el agua es rociada dentro de la cámara mediante boquillas que se localizan alrededor de la periferia.

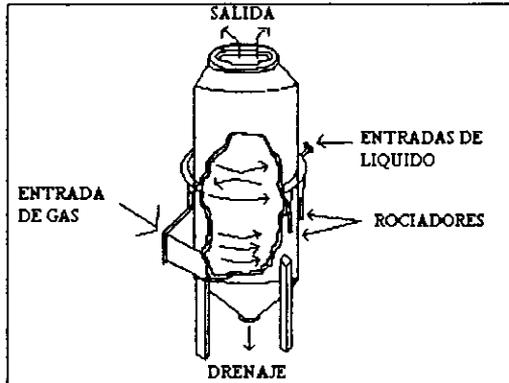


Fig. 2-30 Depurador húmedo.

c) *Compartimento de filtros (filtros de tejido)*.- Es una caja de metal. El polvo es recolectado en las superficies exteriores de los filtros de la bolsa. Las bolsas se limpian automáticamente en intervalos regulares, mediante aire a presión, fig. (2-31). Las bolsas son de fibras Nomex que están enfieltradas en un tamiz; luego el fieltro es convertido en una bolsa tipo media, cada bolsa va encajada en una jaula de alambre para soporte; las bolsas y las jaulas encajan en una chapa de tubo que forma la pared superior de la cámara de filtros.

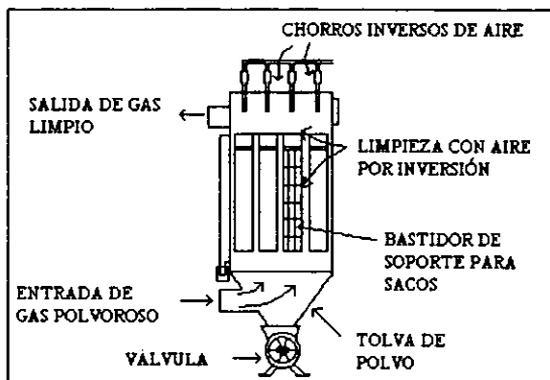


Fig. 2-31 Compartimento de filtros.

2.2.4.5. Pavimentadora

Las pavimentadoras son máquinas automotrices diseñadas para colocar mezcla asfáltica con un espesor determinado proporcionando una compactación inicial a la carpeta. Las dos partes principales de una pavimentadora son la unidad de potencia o del tractor y la unidad de enrase.



Fig. 2-32 Pavimentadora realizando el tendido de la carpeta reciclada.

1.- *Unidad de potencia.*- Esta provee la fuerza motriz para mover la máquina. La unidad del tractor comprende la tolva receptora, el transportador alimentador, compuertas de control de flujo, barrenas de distribución, tornillos de distribución, planta generadora(motor), transmisiones, controles dobles y el asiento del operador.

La mezcla caliente es depositada en la tolva receptora, el transportador alimentador a través de las compuertas de control de flujo la lleva hacia las barrenas de distribución, estos la distribuyen uniformemente a todo lo ancho del asfaltador.

2.- *Unidad del enrasador.*- Esta unidad tiene dos funciones; primera, nivelar la mezcla de una manera que cumpla con las especificaciones de espesor y acabado; segunda, proporcionar la compactación inicial de la mezcla.

La unidad del enrasador está compuesta de lo siguiente: brazos emparejadores de arrastre, placa emparejadora, unidad de calentamiento, barras apisonadoras y/o accesorios vibratorios y controles. El enrasador es arrastrado, los brazos emparejadores proporcionan al enrasador un movimiento flotante logrando que se nivele. En este nivel, todas las fuerzas que actúan están equilibradas, luego la placa emparejadora "plancha" la superficie de la mezcla; el espesor de la carpeta y la forma del coronamiento están regulados por medio de controles del enrasador. Por último, las barras apisonadoras o los accesorios vibratorios compactan ligeramente la mezcla.

2.2.4.6. Compactadores

Los compactadores que se utilizan en los trabajos de pavimentación asfáltica, generalmente son los de rodillo liso de acero, los de neumáticos y los de rodillo liso vibratorio.

a) *Rodillo liso de acero:* Estas aplanadoras poseen rodillos lisos de acero de rayos o cilindros huecos que pueden cargarse con agua u otro “fluido” como lastre. Este tipo de aplanadoras son autopropulsadas, tienen un peso que oscila entre 7 y 12 toneladas. El material de lastre puede aumentar su peso en un 15 a 35%. Cada viaje o pasada, en un sentido, a una velocidad hasta de 10km/hr sobre la superficie que va a compactar, equivale a una sola pasada, a pesar de que los dos ejes pasan sobre el material.

Estos equipos van equipados, generalmente con barras raspadoras y dispositivos de aspersión; esto impide que los rodillos levanten el material en una vuelta completa de compactación, provocando irregularidades (ver fig. 2-33).



Fig. 2-33 Compactador liso vibratorio articulado, equipado con barras que evitan que el material se pegue en los cilindros.

b) *Compactadores de neumáticos:* En estas máquinas, los neumáticos producen una acción de amasado del material que se transmite radialmente desde abajo del neumático para ayudar a consolidarlo. Este compactador, es un equipo diseñado especialmente que combina la acción de amasado con la del peso estático. Las ruedas están montadas en los dos ejes de tal manera que las ruedas posteriores pasan por los centros que quedan entre las líneas formadas por los neumáticos frontales. Por lo tanto, tienen un número impar de neumáticos, generalmente de 9 y 19; así mismo, las ruedas tienen individualmente un movimiento hacia arriba y hacia abajo para pasar sobre irregularidades del terreno.

Estos compactadores pueden trasladarse a velocidades no mayores de 30 km/hr. Algunos de estos equipos están diseñados para variar la presión de los neumáticos, es

decir, una presión baja para obtener mayor área de contacto en las primeras pasadas, y una mayor presión para la compactación final.

e) *Compactadores vibratorios*: Estos equipos son una versión de los rodillos lisos, ya que el efecto de vibración lo produce solamente un peso excéntrico. Hay una gran variedad de compactadores vibratorios de diferentes características, algunos autopropulsados y otros deben remolcarse; así mismo, algunos se componen de tambores separados con accesorios inductores de vibración y con motor integral.

Se ha comprobado mediante pruebas, que la compactación relativa depende del tiempo total de aplicación de vibración sobre la superficie. Para obtener la compactación deseada a una profundidad razonable, el compactador no debe pasar demasiado rápido; el uso de una velocidad alta en la compactación se traduce en la necesidad de hacer más pasadas.

CAPITULO 3.- RECICLADO EN FRIO.

3.1. RECICLADO EN EL LUGAR.

El reciclado en frío se ha practicado por más de medio siglo, aunque con diferentes nombres y métodos. Gracias a la cooperación de los fabricantes de equipo, la industria petroquímica y los contratistas en general se han logrado grandes avances.

El reciclado en frío en el lugar es una técnica que reutiliza la estructura existente de pavimento y en algunos casos la capa inferior de base no tratada. Todo el trabajo tiene lugar en la carretera existente y no requiere de transportación del material. El reciclado en frío en el lugar ofrece ahorros que van del 40 al 50% de acuerdo a los métodos de construcción convencionales. Al reciclado que incluye una parte de la base se le conoce como "Recuperación de profundidad total".

La recuperación de profundidad total es una técnica de recuperación de caminos en la que la totalidad del pavimento flexible (asfalto) y una porción predeterminada de los materiales subyacentes, son triturados uniformemente, pulverizados y mezclados, resultando una base estabilizada. Para obtenerse una mayor estabilización, es necesario utilizar aditivos. Este proceso ofrece ventajas económicas y alternativas de diseño en la restauración de pavimentos.

El reciclado en frío en el lugar no es un método nuevo para rehabilitar carreteras deterioradas. En los últimos 50 años o más, el reciclado en frío, comúnmente llamado "estabilización", ha sido practicado mediante varios métodos. Estos métodos han incluido los "rippers", escarificadores, mezcladoras-pulverizadoras y estabilizadoras para recuperar la superficie y base existentes. El asfalto rebajado, las emulsiones y otros aditivos han sido mezclados mediante el rociado a un camellón con cuchillas mezcladoras o mediante plantas portátiles.

3.1.1. DISEÑO

La recuperación de profundidad total no altera los pasos de diseño usuales para la evaluación de las condiciones existentes, la determinación de la causa de falla del pavimento ni la decisión de los requerimientos del proyecto. El costo de preparar la superficie existente por métodos tales como la escarificación, prenivelación, adición de una capa de roca triturada o el tendido de una capa adicional de concreto asfáltico, será mayor que el de pulverizar el material existente. Aprovechando la ventaja de la capacidad

de introducir aditivos líquidos, se obtiene una mejor estructura del camino y substanciales ahorros monetarios.

3.1.1.1. Metodología del diseño de la mezcla

1.- Muestreo de los materiales pétreos recuperados. Estos materiales deberán provenir del pavimento que se va a reciclar y después de que haya sido disgregado por la máquina con que se va a trabajar.

2.- Clasificación del material pétreo (caliza, andesita, basalto, etc.).

3.- Determinación de las siguientes propiedades:

- ⇒ Peso volumétrico compacto.
- ⇒ Peso volumétrico suelto.
- ⇒ Equivalente de arena.
- ⇒ Límites de Atterberg.
- ⇒ Granulometría húmeda.
- ⇒ Contenido de asfalto en el material recuperado.

4.-Determinación teórica del asfalto óptimo para el material de recuperación empleando los siguientes métodos:

a) *Instituto del Asfalto*: este método provee que hay una mezcla de materiales y habrá que calcular el contenido óptimo teórico total y rebajar el asfalto contenido en la carpeta determinado por extracción.

$$\% E = \frac{0.035a + 0.045b + Kc + F}{\% R}$$

donde;

%E = % de emulsión en la mezcla.

%a = % retenido en la malla 2.36mm.

%b = % que pasa la malla 2.36mm.

%c = % de agregado que pasa la malla 0.075mm.

K =

0.15 si el % que pasa la malla 0.75 está entre 11 y 15%.

0.18 si el % está entre 6 y 10%.

0.20 si el % que pasa es 5% o menos.

F = de 0 a 2.0% que varía según la absorción del material (0.7 a 1.0%).

R = % de residuo de la emulsión.

b) *Método Duriez*: es necesario ajustar la cantidad de emulsión (Ec), por tratarse de un material de carpeta que contiene una cierta cantidad de asfalto (ACr).

$$E_r = \%E_c - \frac{(\%ACr \times P_p)}{\%R}$$

donde;

%Er = % de emulsión por agregar en mezcla reciclada.

%Ec = emulsión total óptima calculada por la fórmula del IA.

%ACr = asfalto contenido en la carpeta reciclada.

Pp = espesor expresado en decimal del pavimento reciclado.

R = % de residuo de la emulsión.

En algunos casos se prefiere que esta expresión numérica sea referida al peso del agregado Pa.

$$Pa = \frac{100 \% E}{100 - \% E}$$

Cuando se requiere cemento Portland para obtener una mayor estabilidad inmediata, se utiliza como máximo en una proporción de una parte de cemento por cinco de emulsión:

$$\% \text{ Cemento} = 0.2 \times Ec$$

5.- Determinación del tipo de emulsión que se va emplear. Se recomienda emplear emulsiones del tipo catiónico de rompimiento medio o lento, que tienen un rompimiento y curado químico, que permite que el agua contenida en la mezcla drene libremente.

6.- Determinación del agua de premezclado, en caso que se requiera.

3.1.1.2. Receta de diseño

A nivel de sugerencia, generalmente se siguen las siguientes reglas sobre el tipo de aditivo:

- ⇒ Profundidad entre 6 y 18cm: emulsión asfáltica.
- ⇒ Profundidad entre 12 y 18cm: emulsión asfáltica y cemento.
- ⇒ Profundidad entre 16 y 25cm: cemento de preferencia, aunque también se puede usar los dos sistemas anteriores.

La cantidad de aditivo líquido puede variar de acuerdo a las siguientes reglas generales:

- ⇒ Emulsión: 2.5 a 4% del peso del agregado.
- ⇒ Cemento: 3.5 a 4.5% del peso del material recuperado.
- ⇒ Agua: 2 a 6%

3.1.2. PROCESO CONSTRUCTIVO.

El reciclado en frío en el lugar consiste en tres pasos básicos: pulverización y mezclado introduciendo aditivos o materiales adicionales; nivelación o tendido; y compactación; y en algunos casos cuando es necesario la aplicación de una superficie de rodamiento.

3.1.2.1. Pulverización y mezclado

El punto principal es decidir si es necesario pulverizar el pavimento existente antes de usar el recuperador. Esto puede ocurrir cuando no se puede pulverizar el asfalto en un pase o si se tiene que extraer el material perfilado.

La pulverización y mezclado es un proceso mecánico que físicamente rompe el material del pavimento hasta una granulometría utilizable, mientras se le incorpora una cantidad determinada del material existente de la base. Durante la fase de mezclado, pueden agregarse materiales vírgenes que ayudaran a restaurar la granulometría apropiada, así como también la adición de aditivos líquidos como, emulsiones asfálticas o asfalto espumado, este último proceso se lleva a cabo con la ayuda de una pipa que suministra el aditivo a la máquina por medio de una manguera conectada al sistema de aspersión de la recicladora; los porcentajes de aditivos se expresan conforme al peso del material que se mezcla. En la mayoría de los proyectos se requiere la adición de agua para obtener la humedad óptima que permita la mezcla apropiada de los materiales y aditivos. En algunos proyectos la cantidad de material existente no es suficiente para lograr el espesor deseado de la base tratada, en este caso, puede incorporarse material virgen a la base, colocándose sobre el pavimento existente antes de comenzar el proceso.

El espesor de la capa a reciclarse es un factor muy importante, las recuperadoras pueden trabajar a una profundidad máxima de 45cm, de los cuales 12 a 15 cm son de mezcla asfáltica o mezcla de concreto y el resto es de sub-base. Si la carpeta de pavimento es más profunda que 12 a 15 cm, generalmente es aconsejable extraer algo de asfalto por medio de una perfiladora en frío para después usar la recuperadora. Desde el punto de vista económico, es mejor no usar la recuperadora en las capas de asfalto mayores que 15 cm, aunque esto sea posible teóricamente, para evitar el desgaste rápido de las puntas y lentitud en el trabajo.

En la práctica, es común hacer que las puntas trabajen a una profundidad inferior o bien al doble de grueso de la carpeta asfáltica. La razón es que de esta forma los dientes atacarán la superficie pavimentada del fondo hacia arriba, por lo que la máquina no vibra y la huella de corte a través de la carpeta asfáltica se reduce, fig. (3-1).

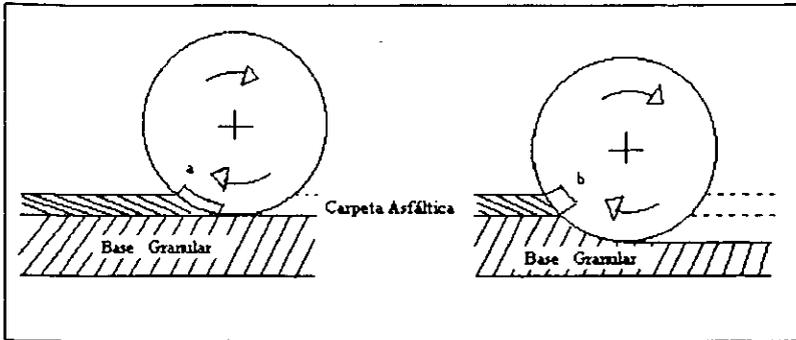


Fig. 3-1 Diferentes huellas de corte a través de la carpeta asfáltica de acuerdo a la profundidad de ataque.

Este sistema, también utilizado en las perfiladoras en frío, amplía la durabilidad de las puntas, ya que se reduce el desgaste. Otra sugerencia es comenzar con un corte transversal, perpendicular a la dirección del camino, empezando del hombro donde el material sea más suave. Esto es aconsejable cuando la superficie de concreto asfáltico es dura. También de esta manera, el desgaste de las puntas se reduce, fig. (3-2).

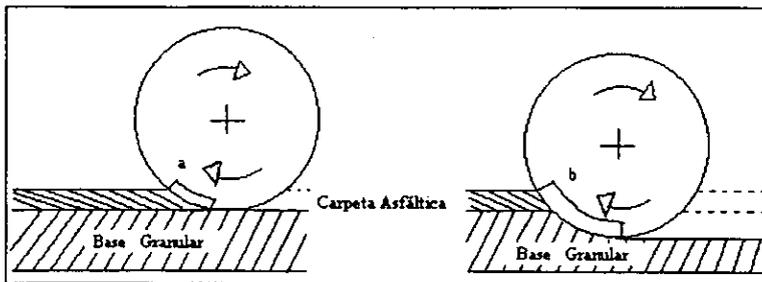


Fig. 3-2 a) Inicio del trabajo sin corte transversal, b) Inicio del trabajo con corte transversal.

Además, este método permite tener una unión tope que delimita el área de trabajo y permite una mejor colocación del asfalto nuevo.

La velocidad de la máquina es un factor importante que depende de la profundidad de la obra, la dureza del pavimento a tratar, la homogeneidad y de la granulometría del material que se recupere.

El último punto es muy importante en cuanto a la calidad de la obra y su resultado final. Por lo que la velocidad de la obra puede variar ampliamente, desde 4 a 5 m/min en condiciones duras y hasta 15 a 20 m/min en casos muy sencillos. El aumentar la velocidad durante el proceso trae como consecuencia problemas de mezclado y, por consiguiente, de homogeneidad. La granulometría del material tratado depende de la velocidad de la

máquina y de la apertura de la puerta trasera de la máquina. Es decir, depende del tiempo que permanezca el material dentro de la carcasa del tambor; mientras más tiempo dure, más se rompe, porque es lanzado contra la barra de trituración, contra las paredes de la carcasa y golpeado por las puntas. Por lo tanto, la granulometría resultante del material es una consecuencia directa del grado de apertura de la puerta trasera y de la velocidad del tambor.

3.1.2.2. Nivelación o tendido

Después de completarse el mezclado, el material está listo para nivelarse. La nivelación se lleva a cabo con la ayuda de una motoconformadora, la cual distribuye la mezcla tratada en la superficie del camino de acuerdo a los niveles especificadas en los planos o bien con la misma máquina recicladora, cuando éstas cuentan con el sistema de tendido; actualmente todas las máquinas recicladoras modernas cuentan con este sistema.

3.1.2.3. Compactación

Una vez terminada la nivelación, se efectúa la compactación; primeramente con un rodillo metálico para evitar deslizamientos de la mezcla reciclada, posteriormente con un rodillo neumático para una compactación final. Algunas veces puede ser necesario aplicar un riego de liga para asegurar una buena adherencia entre la nueva base y la capa de rodamiento.

3.1.2.4. Colocación de la nueva capa de rodamiento

En la mayoría de los casos de reciclado de pavimentos en frío, es necesario colocar una capa rodamiento, ya que estas capas son muy porosas y tienden a desintegrarse con el tránsito en los primeros días mientras se desarrolla la cohesión del asfalto. Los tratamientos superficiales pueden consistir en un mortero asfáltico, un riego de sello o una sobrecarpeta de concreto asfáltico; dichos tratamientos se aplican después que la capa reciclada ha alcanzado su madurez, se ha observado que ocurre después de los tres primeros meses, y deberán colocarse conforme a las especificaciones establecidas por la SCT.

3.1.3. MATERIALES.

En el reciclado en frío en el lugar, así como en el reciclado en caliente, los materiales utilizados deberán cumplir con ciertas características; dichas características se determinan con las pruebas de laboratorio conocidas.

3.1.3.1. Agregados

En el caso de los agregados utilizados en la mezcla deben mostrar las siguientes características:

a) Afinidad con el asfalto: los agregados deben cumplir por lo menos con dos de las tres pruebas.

Desprendimiento por fricción	25 % máx.
Desprendimiento de la película	25 % máx.
Cubrimiento con el asfalto	90 % máx.

b) Dureza:

Desgaste de Los Angeles	45 % máx.
-------------------------	-----------

3.1.3.2. Mezcla tratada

Cuando se trata de la mezcla en frío ya tratada, ésta deberá cumplir con las siguientes normas:

a) Cemento asfáltico respecto al óptimo	+/- 10 %
b) Agua libre respecto a la mezcla *	1 % máx.
c) Relación disolventes/cemento *	0.05 - 0.08
d) Humedad de mezclado **	+/- 1.5 %
e) Humedad de compactación **	+/- 1.5 %
f) Grado de compactación respecto al PVSM.	95 % mín.

* Se aplica cuando se usan asfaltos rebajados.

** Se aplica cuando se usan emulsiones asfálticas.

3.1.3.3. Aditivos

Los aditivos más comunes para el reciclado en frío in-situ son:

- ⇒ Emulsión asfáltica
- ⇒ Asfalto reciclado
- ⇒ Cemento
- ⇒ Cemento y emulsión
- ⇒ Cal
- ⇒ Emulsión y cal

En algunos casos se esparcen agregados nuevos para corregir la granulometría del material molido o para mejorar su calidad. La elección del aditivo correcto depende de varios factores, siendo los principales el tipo de mezcla, el grueso de las diferentes capas, la profundidad de recuperación, etc.

3.1.4. MAQUINARIA.

Una de las razones principales del reciclado, fue el agotamiento de los recursos naturales. Básicamente el sistema consiste en moler y mezclar al mismo tiempo las capas de mezcla asfáltica existentes, con algo del material de la base inferior y con aditivos. Luego se tiende y se compacta la mezcla, de esta forma es posible obtener una nueva base sólida y de buena calidad sobre la que generalmente se colocan una o más carpetas de asfalto nuevas. En general los caminos secundarios son los más adecuados para el reciclaje en frío en el lugar, que también se utiliza comúnmente en los estacionamientos y otras áreas comerciales.

El equipo más importante que ha mejorado la calidad y economía del proceso es la perfiladora en frío. La perfiladora en frío pulverizará el material existente hasta un tamaño cercano al especificado mientras corta hasta una profundidad determinada. El perfilado en frío es altamente productivo resultando un método económicamente efectivo para rehabilitar una carretera desgastada.

3.1.4.1. Recuperadora o estabilizadora

Una recuperadora y/o estabilizadora es básicamente como cualquier máquina (fig. 3-3), la cual cuenta con un motor, transmisión, que como su nombre lo indica transmite y transforma la potencia del motor a fuerza de tracción en las cuatro ruedas, un sistema hidráulico que controla desde la cabina todas las funciones de la máquina por medio de bombas y gatos hidráulicos.



Fig. 3-3 Recuperadora de caminos o Estabilizadora.

Existen dos versiones de maquinaria aplicable a este sistema. Una es el estabilizador de suelo estándar que incluye un rotor equipado con herramientas en forma

de aspa, se utiliza para mezclar el suelo con un aditivo (cemento, cal, etc.) previamente esparcido en el suelo (fig. 3-4).



Fig. 3-4 Recuperadora, equipada con aspas que sirve para mezclar el suelo con aditivos previamente esparcidos sobre la superficie.

Esta máquina desarrolla velocidades de tránsito que van de 0 a 11 km/hr; y velocidades de trabajo que van de 0 a 50 m/min.

Los anchos de corte en estas máquinas pueden ir de 2m a 2.5m aproximadamente; y profundidades de 30 a 45 cm.

La versión estándar de este modelo puede ser transformada por medio de un juego de accesorios, en la versión "RECICLADOR EN FRÍO". Esta máquina muele el pavimento asfáltico mezclándolo con parte de la base granular inferior, al mismo tiempo se rocía un aditivo líquido (emulsión de asfalto, cal, etc.) dentro de la carcasa del rotor en donde se mezcla con el material molido.

La máquina recicladora está equipada con:

1.- Un tambor con puntas redondas como una perfiladora en frío, en lugar de las herramientas para estabilización en forma de aspa plana. Tiene un diámetro menor que el del rotor estabilizador. Estas herramientas se colocan en el tambor de acuerdo al mismo diagrama de la perfiladora en frío y se fijan mediante los mismos portadientes. No se tiene que hacer ninguna modificación al sistema de propulsión hidráulico del tambor (bomba y motores) ni tampoco a los engranes de reducción final. Esto permite la doble opción de *Estabilización y Reciclaje* con la misma máquina básica.

El tambor cortador puede desarrollar cuatro velocidades, dependiendo de los requerimientos de la obra, es decir, la granulometría y el tiempo de mezclado dependen

directamente de la velocidad del rotor. Las velocidades pueden ser: 101rpm, 130rpm, 160rpm, y 198rpm; a mayor velocidad mayor tiempo de mezclado y una granulometría con tamaños más pequeños. A menor velocidad, menor tiempo de mezclado y una granulometría más gruesa.

2.- Una bomba fijada a la máquina, impulsada por un sistema hidráulico separado. Esta bomba puede dar presión al sistema de rocío aún con líquidos de alta densidad tales como mezclas asfálticas (emulsiones), cal, agua, etc.; evita cualquier problema de alimentación y logra una buena distribución del rocío.

3.- Una barra de rocío, alimentada por la bomba y compuesta de diez toberas, colocada en la parte superior externa de la carcasa del tambor (fig. 3-5), para evitar daños causados por el material molido que circula dentro de ella. La posición de las toberas ha sido estratégicamente diseñada para lograr el mejor recubrimiento del material dentro de la carcasa del tambor.

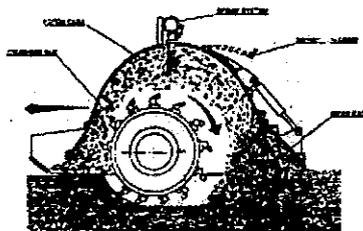


Fig. 3-5 Tambor mezclador y carcasa de la máquina recicladora donde se aprecian la barra esparcidora de aditivo, la barra de trituración y la dirección en que gira el tambor.

4.- Un medidor que controla el flujo que alimenta a las toberas. Mediante este sistema todos los parámetros necesarios pueden ser verificados para lograr un balance perfecto entre el material seco y el aglutinante, lo que conduce a mejores resultados de la obra.

3.1.4.2. Tren de reciclaje

Uno de los métodos desarrollados en el reciclado en frío en sitio es el tren de reciclaje. Este equipo es parecido al AR2000 Super Recycler; incluye una perfiladora en frío de grandes dimensiones, una criba y una trituradora seguidas de una mezcladora.

La perfiladora en frío pulveriza el material y lo transporta hasta la criba y el sobretamaño cae en la trituradora para cumplir con el tamaño máximo especificado. El material, ya del tamaño adecuado se transporta mediante una banda hacia la unidad de mezclado. Un microprocesador controla la cantidad de aditivo a ser mezclado con el

material. Esta unidad deposita el material procesado en un camellón desde donde es levantado (o nivelado directamente por una motoconformadora), tendido con una pavimentadora y compactado con equipo para mezcla de asfalto caliente convencional.

3.1.4.3. Motoconformadora o motoniveladora

La motoconformadora es un equipo que se utiliza para mover materiales sueltos. Su función consiste en nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en el que trabaja, para darle una configuración determinada. Es de particular utilidad, porque su hoja puede mantenerse en diversas posiciones. A esta hoja también se le llama hoja conformadora o moldeadora; su hoja estándar tiene de 3.0 a 4.20 metros de longitud. Los ángulos extremos presentan un problema de aplicación de fuerza en las ruedas de la motoconformadora, por tal razón, las posiciones de las ruedas de las motoconformadoras son ajustables. Las ruedas frontales pueden inclinarse mucho para "acostar" la máquina cuando la hoja está a un ángulo considerable, medido desde la horizontal y los ejes traseros son "flotantes" para lograr el apoyo pleno de todas las ruedas para todas las formas del terreno(fig. 3-6).



Fig. 3-6 Motoconformadora realizando trabajos de nivelación de material recuperado para la construcción de una base negra o base asfáltica.

Algunos modelos de estas máquinas, son articuladas para tener rotación horizontal de alineamiento entre las ruedas delanteras y traseras. La inclinación de las ruedas

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

frontales y la articulación que se utiliza para dar a las ruedas traseras un ángulo respecto a la dirección del movimiento, conducen a una mejor estabilidad de la dirección. Estas características permiten a la motoconformadora un radio de giro de aproximadamente 6.0 metros.

La versatilidad de esta máquina, aumenta mediante accesorios como dientes o uñas escarificadoras, ensanchadores de pavimentos, y unidades elevadoras de material. Además de las funciones ya mencionadas, la conformadora puede cortar las cunetas de desagüe a lo largo del camino (cortes en forma de "V"), o en cualquier parte en que se necesiten. Con la adición de escarificadores, el equipo puede utilizarse para romper pavimentos viejos flexibles, para reconformación o para preparación para recibir una nueva superficie.

La motoconformadora trabaja mezclando los materiales previamente colocados sobre el lecho del camino, en pilas longitudinales. Esto puede hacerse para un relleno de tierra compactada o para una operación de mezcla asfáltica en el lugar.

Para hacer este tipo de trabajos con mayor precisión, las motoconformadoras disponen de controles automáticos de la hoja, que permiten ajustar la hoja a la inclinación deseada y dar una línea de inclinación establecida. El sistema comprende una consola de mando en la que se fijan las metas, servo-válvulas para convertir las señales eléctricas enviadas por los elementos sensoriales en acciones hidráulicas, y un sistema hidráulico para accionar los cilindros que mueven a la hoja en forma automática.

3.2. RECICLADO EN PLANTA.

El reciclado en frío en planta es un tratamiento similar al reciclado en caliente en planta, en su proceso principalmente. La diferencia radica en que, tanto la recuperación del material, el mezclado, el tendido y compactación, se lleva a cabo sin la adición de calor; disminuyendo casi por completo la emanación de sustancias contaminantes, excepto los gases expulsados por la maquinaria empleada en el sistema.

3.2.1. DISEÑO

Al igual que los otros métodos de reciclado de pavimentos flexibles, el tratamiento debe comenzar con el reconocimiento del pavimento a reciclar, es decir, las características de los materiales que conforman la mezcla, así como las propiedades de la carpeta misma. Cuando estas propiedades no son las adecuadas se deberán restaurar mediante la adición de materiales nuevos.

Así mismo hay que considerar que el espesor del pavimento sea suficiente para llevar a cabo el fresado sin afectar las capas subyacentes, ya que este método, a diferencia del reciclado en frío en el lugar, exclusivamente recicla la capa asfáltica.

3.2.1.1. Metodología de diseño

1.- Clasificar los agregados.

2.- Determinar:

⇒ Peso volumétrico suelto.

⇒ Peso volumétrico compacto.

⇒ Granulometría.

⇒ Contenido de asfalto.

3.- Determinación del óptimo de cemento asfáltico:

El método se basa en la estimación aproximada de la superficie total del agregado pétreo en función de su granulometría. Conocida el área total para un kilogramo de material, se obtendrá el contenido mínimo de asfalto multiplicando dicho valor por el índice asfáltico. Para calcular la superficie total del agregado se emplearán las constantes de área que se dan en la tabla 1, las cuales están expresadas en metros cuadrados de superficie por kilogramo de material pétreo. La determinación del porcentaje de asfalto se hará calculando los contenidos parciales para los tamaños señalados en la tabla, multiplicando el porcentaje de material de cada tamaño por la constante de área correspondiente, y este producto a su vez se multiplicará por el índice asfáltico que debe aplicarse a cada una de las fracciones. La suma de los contenidos parciales dará el contenido total de la muestra. El valor del índice asfáltico varía con la rugosidad y porosidad del agregado pétreo, aplicándose los valores medios de la tabla 2:

MATERIALES		Constante de Área m ² /kg.
Pasa la malla	Se retiene en la	
38.01 mm (1 1/2")	19.05 mm. (3/4")	0.27
19.05 mm (3/4")	Número 4	0.41
Número 4	Número 40	2.05
Número 40	Número 200	15.38
Número 200		53.3

Tabla 3-1: Constantes de área por kilogramo de material pétreo.

MATERIAL	INDICE ASFÁLTICO
Gravas o arenas de río o materiales redondeados, de baja absorción.	0.0055
Rocas angulosas o redondeadas, trituradas, de baja absorción.	0.006
Rocas angulosas o redondeadas, de alta absorción y rocas trituradas de absorción media.	0.007
Rocas trituradas de alta absorción.	0.008

Tabla 3-2: Índice asfáltico de acuerdo al tipo de agregado.

Estos valores están dados en kilogramos de cemento asfáltico por metro cuadrado de superficie de agregado pétreo. Se considera la absorción baja a la que es menor de 2%, absorción media a la comprendida entre 2% y 4%, y absorción alta a la que es mayor de 4%.

De acuerdo al residuo asfáltico y a la densidad media de la emulsión utilizada, se determina el óptimo de asfalto, por peso y volumen de agregado; por ejemplo, si obtenemos que el óptimo de asfalto en una mezcla es de 5.8% por peso en relación al peso del agregado, y tenemos una emulsión con un residuo de asfalto igual al 60% y una densidad de 0.94; así como un material con peso volumétrico suelto y seco= 1450kg/m³.

Contenido de emulsión = $5.8/0.60 = 9.66$ de emulsión en peso.

Contenido de emulsión = $(9.66/0.94)(1450/1000) = 14.9\%$ de emulsión en volumen.

Otro método utilizado es el siguiente:

$$A = 0.020 a + 0.045 b + cd$$

donde;

A= Contenido de asfalto(expresado como cemento asfáltico), respecto al peso del agregado.

a= Por ciento del material retenido en la malla No. 10.

b= Por ciento del material que pasa la malla No. 10 y se retiene en la malla No. 200.

c= Por ciento del material que pasa la malla No. 200.

d= Coeficiente asfáltico que varía con las características del material, de acuerdo a la siguiente tabla.

MATERIALES	"d"
Gravas y arenas de río o materiales redondeados de baja absorción.	0.15
Gravas trituradas de baja absorción.	0.2
Gravas trituradas de absorción media.	0.3
Gravas trituradas de absorción alta.	0.35

Tabla 3-3 Coeficientes asfálticos de acuerdo a las características de los materiales.

Para expresar el contenido asfáltico sobre la base del producto asfáltico utilizado, ya sea en peso o en volumen, se procede en la forma explicada anteriormente.

4.- Determinación del agua de mezclado en caso que sea necesario.

3.2.2. PROCESO CONSTRUCTIVO

El procedimiento que lleva a cabo este método es relativamente más sencillo en comparación con los otros métodos ya tratados. Como es lógico, este tratamiento no aplica ningún tipo de calentamiento a la mezcla asfáltica, por lo que su proceso solo comprende la recuperación, mezclado con materiales vírgenes, tendido y compactación.

3.2.2.1. Recuperación y transporte

La recuperación o fresado del pavimento se hace con perfiladoras en frío, siguiendo el mismo sistema de trabajo que se lleva a cabo en un reciclado en caliente en planta. En lo que respecta al transporte éste es igual, se transporta por medio de camiones que son cargados por la misma perfiladora, al mismo tiempo que se realiza el fresado.

3.2.2.2. Clasificación del material

La clasificación consiste primeramente en deshacer las aglomeraciones de RAP (Pavimento Asfáltico Recuperado) ocasionadas por el transporte y el almacenamiento. Después el material a reciclar es llevado a una criba que deja pasar tamaños menores a 1". Este material está listo para ser procesado.

3.2.2.3. Mezclado

El mezclado, como en todos los casos de elaboración de mezcla, comienza con la alimentación del material.

El RAP (Pavimento Asfáltico Recuperado) ya clasificado, es suministrado en las tolvas alimentadoras por medio de un cargador frontal, así como también el material virgen. Estos materiales son depositados en tolvas diferentes para una dosificación correcta. Los materiales son descargados en la banda transportadora, la cual cuenta con un sistema de pesaje automático que le permite proporcionar las cantidades de material (virgen y recuperado) en forma exacta, esta proporción es manejada con 80% de RAP y el 20% restante de material virgen. Los materiales son llevados a la mezcladora donde se le incorpora la cantidad de agua adecuada para el mezclado, así como, la cantidad necesaria de emulsión. Todas las funciones de dosificación son reguladas desde un panel de control montado en la misma planta, por lo que es difícil cometer errores en el proceso.

Llegados los materiales a la mezcladora, estos se combinan por la acción rotatoria de dos flechas equipadas con aspas que permiten un mezclado homogéneo, en un tiempo de aproximadamente 30 segundos. La mezcla ya elaborada cae directamente a los camiones que la transportaran a la obra o al área de almacenamiento. Es importante hacer saber que este tipo de mezclas no necesitan silos de almacenamiento ya que no guardan una temperatura mayor a la ambiental; solo se deberá proteger de la introducción de agua, principalmente en época de lluvia, en este caso se requiere de cubrir la mezcla con lonas.

3.2.2.4. Tendido y compactación

El tendido de una mezcla elaborada en frío se realiza por medio de una pavimentadora, como ya se explicó en el capítulo anterior, al igual que la compactación por medio de rodillos lisos vibratorios y neumáticos.

3.2.2.5. Colocación de la capa de rodamiento

Más que una capa de rodamiento, es una capa de protección a la superficie. Por tratarse de una mezcla elaborada en frío y con emulsión, la carpeta requiere de mayor tiempo de curado, es por eso que generalmente se aplica un riego de sello o un mortero asfáltico. Cuando no se aplica dicha capa, la carpeta elaborada en frío al poco tiempo de servicio, es probable que se observen disgregaciones o desprendimientos de la mezcla.

3.2.3. MATERIALES

La determinación de las características de los materiales (agregados y asfalto) que componen el RAP, 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 obliga a efectuar muestreos permanentes para ratificar o modificar el diseño realizado.

3.2.3.1. Agregado

Sobre los agregados recuperados:

- ⇒ Granulometría.
- ⇒ Afinidad con el asfalto.

Con estos datos, se determina la necesidad de cribado o trituración, tipo y cantidad de agregado virgen para componer las curvas granulométricas.

3.2.3.2. Asfalto

Sobre el asfalto envejecido, mediante rotovapor o destilación:

- ⇒ Penetración.
- ⇒ Punto de reblandecimiento.

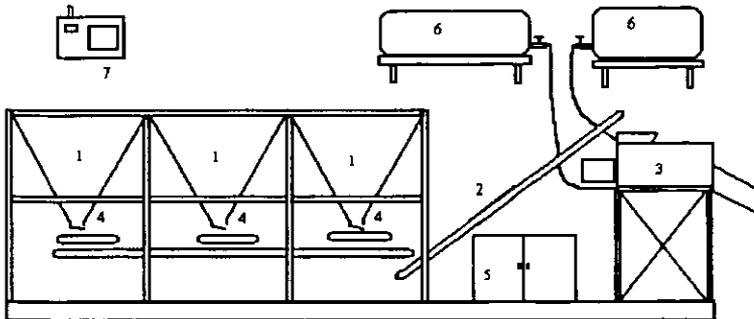
Con estos datos se determina el tipo de emulsión asfáltica rejuvenecedora a emplear.

3.2.4. MAQUINARIA

La maquinaria que se necesita para llevar a cabo un reciclado en frío en planta, como ya se trató en la parte correspondiente al proceso constructivo, es la misma que la utilizada en el reciclado en caliente en planta (capítulo 2), a excepción de la planta de mezclado. Por tal motivo solo se describirá lo referente a la planta de mezcla en frío.

3.2.4.1. Planta mezcladora en frío

La planta utilizada en la elaboración de mezcla asfáltica en frío, es relativamente simple en comparación con una planta de mezcla en caliente. La planta de mezcla en frío consta principalmente de dos o tres tolvas (1) donde es suministrado el RAP, el material virgen y el relleno mineral cuando éste es necesario; una banda transportadora (2) traslada los materiales hacia la mezcladora (3), la banda cuenta con un dispositivo de pesaje (4) que permite una dosificación correcta de los materiales, en la mezcladora se dispone de dos barras de aspersión, una para el agua y la segunda para la emulsión. Todas estas operaciones son controladas desde el panel de control (5) situada por un costado de la planta. El agua y la emulsión utilizados se encuentran en tanques de almacenamiento (6) de gran capacidad para proporcionar un funcionamiento continuo durante un largo período de tiempo. Además de estos componentes de la planta se cuenta con una planta generadora de energía eléctrica (7), previniendo fallas en el suministro de energía.



- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 - Tolvas de alimentación. | 5 - Panel de control |
| 2 - Banda transportadora | 6 - Tanques de almacenamiento de agua y emulsión. |
| 3 - Mezcladora. | 7 - Planta generadora de energía eléctrica. |
| 4 - Dispositivo de pesaje. | |

Fig. 3-7 Principales componentes de una planta de reciclado en frío.

CAPITULO 4.- COMPARACIONES DE LOS RECICLADOS DE PAVIMENTOS.

4.1. ANÁLISIS COMPARATIVO.

El objetivo de la comparación de los métodos de reciclado es hacer notar las principales diferencias entre dichos métodos utilizados para el reciclado de pavimentos. Como ya se ha tratado en los capítulos anteriores, los métodos difieren en la forma de realizar el trabajo completo; es decir, en la forma de recuperar el material, en el tratado de la mezcla, ya sea aplicándole calor o en frío y por consiguiente el tipo de ligante utilizado y aditivos.

4.1.1. METODOS DE DISEÑO

El diseño de una mezcla se lleva a cabo ejecutando las pruebas de laboratorio establecidas. Actualmente en nuestro país, no se cuenta con normas aplicables a mezclas recicladas, es decir, no hay lineamientos para determinar que porcentajes de RAP (Pavimento Asfáltico Recuperado) se deben manejar dependiendo de las condiciones del pavimento viejo; como ya se dijo en los capítulos correspondientes, una mezcla reciclada por lo general está provista de gran cantidad de finos que obliga al proyectista a adicionar materiales vírgenes de granulometría mayor para compensar la curva granulométrica de acuerdo a la especificada por la SCT. Por lo anterior, dependiendo del método y de la empresa productora, se manejan varios porcentajes de material recuperado; estos porcentajes varían desde un 20% hasta un 80 % de RAP. En lo que se refiere a la cantidad de asfalto que se adiciona a la mezcla reciclada, ésta depende del porcentaje de RAP manejado y del método de reciclado utilizado, es decir, en un reciclado en frío se utilizan emulsiones generalmente, por lo que la cantidad de éstas es mayor que el porcentaje de cemento asfáltico utilizado en un reciclado en caliente.

4.1.1.1. Reciclados en caliente

Hablando en particular de los métodos de reciclado en caliente, éstos difieren en la temperatura a la que es calentado el RAP. En un reciclado en el lugar el material removido es calentado a 100°C aproximadamente, mientras que en una planta el RAP alcanza temperaturas hasta de 170°C; esta es una razón por la cual una mezcla reciclada en el lugar necesita de algún agente reciclante ("Cyclogen-L"), mientras que la mezcla en caliente no lo requiere comúnmente, ya que parte de la función del aditivo es devolverle al

asfalto su consistencia original, función que la temperatura elevada de la mezcla en planta lleva a cabo.

Otra de las razones para adicionar agentes rejuvenecedores o reciclantes, es la cantidad de RAP manejado en la mezcla; mientras que en un reciclado en el lugar se manejan porcentajes de material recuperado muy altos, es decir, solo se adiciona mezcla virgen para compensar la curva granulométrica principalmente; en planta se llegan a manejar solo 17% aproximadamente de RAP. Esto es, en un reciclado en frío la gran cantidad de RAP y la baja temperatura de proceso origina que el asfalto no recobre sus propiedades originales fácilmente, en cambio en un reciclado en planta, la gran cantidad de mezcla virgen y la alta temperatura de la misma, hacen que el asfalto del RAP se caliente y adquiera su consistencia original.

Como se menciona en el párrafo anterior, en la planta de mezcla en caliente particularmente, se maneja un bajo porcentaje de RAP, ya que de acuerdo al método de diseño que se utiliza, de una mezcla virgen que representa un 100%, se adiciona un 20% de material recuperado, haciendo un total de 120% con respecto a la cantidad de mezcla virgen. Haciendo los cálculos correspondientes, el porcentaje de RAP manejado en la mezcla es de 16.67%, mientras que en el reciclado en el lugar se manejan aproximadamente 20% de mezcla virgen.

4.1.1.2. Reciclados en frío

Tratándose de reciclados en frío no existen grandes diferencias en los métodos de diseño, ya que las condiciones de trabajo relativamente son las mismas, en un reciclado en el lugar y un reciclado en planta; a excepción de cuando se trata de una recuperación de profundidad total, en este último caso hay ocasiones en que se incorporan aditivos como son: cemento portland, cal y/o emulsión.

Las cantidades de RAP manejadas son aproximadamente iguales; en un reciclado en el lugar se adiciona el agregado y la emulsión necesarios para cumplir con la granulometría y el óptimo de asfalto; en forma similar se procede en planta. Referente a la recuperación de profundidad total, en algunas ocasiones es necesario adicionar agregados o material de base para cumplir con la granulometría y con el espesor de la base estabilizada. En ambos casos es necesario la adición de agua para facilitar el mezclado.

4.1.1.3. Reciclados en caliente y en frío

Obvia es la diferencia que existe entre un reciclado en caliente y otro en frío. Su nombre lo indica, un reciclado en caliente es aquel en el que casi todo el proceso se lleva a cabo con altas temperaturas, por el otro lado un reciclado en frío es aquel en el cual en ningún momento se utiliza una fuente de calor para trabajar el pavimento.

El proceso de diseño de una mezcla reciclada en caliente o en frío relativamente es el mismo, ya que en cualquier método que se aplique, se toma en cuenta que se está

trabajando con materiales recuperados con un cierto contenido de asfalto, al igual que con un alto contenido de finos. La diferencia principal radica en el producto asfáltico que se utiliza en cada uno de los diseños.

En un reciclado en caliente se utiliza cemento asfáltico, mientras que en un reciclado en frío es común utilizar emulsiones asfálticas, por su trabajabilidad a bajas temperaturas; en éste último método también se utiliza agua para facilitar el mezclado de los materiales tratados. En el cálculo del óptimo de asfalto utilizando emulsiones, se hace la conversión a emulsiones asfálticas por peso y por volumen de agregado, tomando en cuenta la densidad media y residuo de la emulsión como se muestra en el capítulo 3.

4.1.2. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

En esencia todos los procesos constructivos son similares, ya que el fin último de éstos es el mismo, reutilizar los materiales producto de la recuperación de pavimentos asfálticos deteriorados.

4.1.2.1. Reciclados en caliente

Un reciclado en el lugar lleva a cabo un proceso constructivo con algunas variantes con respecto al llevado en un reciclado en planta. En el lugar, la aplicación de calor es desde el comienzo del fresado, en cambio en el reciclado en planta, el fresado se realiza en frío, aplicando calor hasta el momento del mezclado dentro del tambor.

En una planta de reciclado la adición del RAP se efectúa en el momento en el que los materiales vírgenes están calientes, revolviéndose con el asfalto virgen, logrando una mezcla homogénea. En cambio en el lugar, se adiciona la mezcla asfáltica ya elaborada antes de la 4ta. unidad mayor, la cual recoge el material lo calienta y le proporciona el último mezclado antes de transferirlo a la pavimentadora.

4.1.2.2. Reciclados en frío

Ciertamente el proceso que sigue un reciclado en frío en el lugar y el de un reciclado en frío en planta no difieren en gran medida, se podría decir que solo el transporte de los materiales recuperados es la diferencia. El fresado se realiza en frío, la adición de los materiales vírgenes y el mezclado en igual forma. En lo que se refiere al tendido, una mezcla tratada en planta se tiende por medio de una pavimentadora, mientras que la tratada en el lugar es tendida por la misma máquina auxiliándose de una motoconformadora para una buena nivelación; igualmente cuando se trata de una recuperación de profundidad total. La compactación se lleva a cabo con rodillos de la misma manera.

Utilizando ambos métodos, generalmente es necesario aplicar una capa de rodamiento, por lo cual también en este aspecto hay similitud en los dos sistemas.

4.1.2.3. Reciclado en caliente y en frío

Las diferencias entre un reciclado en caliente y uno en frío, como ya se han tratado, son fácilmente identificable, a excepción de algunas actividades, las cuales se realizan de igual forma: el fresado en un reciclado en caliente en el lugar se hace con el pavimento caliente, en cambio para un reciclado en planta se hace igual que en un reciclado en frío. Adicional a estas características, el producto asfáltico que se utiliza en los sistemas de reciclado son de otro tipo; en un reciclado en caliente se utiliza cemento asfáltico caliente (producto adecuado por las altas temperaturas), en un reciclado en frío se aplican emulsiones asfálticas (por su gran manejabilidad a temperatura ambiente).

4.1.3. MAQUINARIA

La variante más significativa en los métodos de reciclado, es la maquinaria y equipo utilizados en todo el proceso constructivo, desde el fresado del material hasta el tendido y compactación de la carpeta.

4.1.3.1. Reciclados en caliente

El equipo utilizado en un reciclado en caliente en el lugar, es sin duda, maquinaria con tecnología de vanguardia que representa un gran avance para la industria del asfalto. Lo notable de este sistema es que las máquinas transmiten el calor al pavimento, mientras que en planta, el calentamiento del RAP se lleva en un tambor mezclador. Respecto al fresado, el equipo AR2000 Super Recycler, lo realiza la calentadora-fresadoa cuando el pavimento ya está caliente, a diferencia del reciclado en planta, que el fresado se lleva a cabo en frío por medio de perfiladoras.

Por último el mezclado en el lugar, lo realiza la calentadora-mezcladora que transfiere la mezcla directamente a la pavimentadora; en planta el mezclado se realiza en el mismo tambor mezclador y la mezcla es almacenada en silos o cargada en camiones directamente para que ésta sea transportada al lugar de la obra y vaciada en la pavimentadora para su tendido.

4.1.3.2. Reciclados en frío

Referente a la maquinaria que se utiliza en el lugar, ésta consta realmente de una Recicladora en frío o estabilizadora, la cual realiza el fresado en frío y al mismo tiempo el mezclado adicionando la emulsión y/o el aditivo adecuado. Esta misma realiza el tendido aunque muchas veces se requiere de la ayuda de una motoconformadora para nivelar la mezcla correctamente.

En planta, el fresado lo realiza una perfiladora en frío, el mezclado se lleva a cabo en una planta dosificadora con mezclador independiente de dos ejes paralelos equipados con aspás, y el tendido por medio de una pavimentadora.

4.1.3.3. Reciclado en caliente y en frío

La característica principal que diferencia a estos dos sistemas, es el calor que se aplica al pavimento deteriorado, ya sea para recuperar el material y mezclarlo, o solo para mezclarlo (reciclado en planta), actividad que en el reciclado en frío no se lleva a cabo. La adición de calor implica que el equipo utilizado en ambos sistemas, sea totalmente diferente uno con respecto a otro; es decir, la maquinaria utilizada en un reciclado en caliente en el lugar es totalmente distinto a la “Recicladora” que se utiliza en un reciclado en el lugar, así como también son diferentes las plantas que se utilizan en el reciclado, como se puede verificar en los capítulos anteriores correspondientes.

ETAPAS Y EQUIPOS	RECICLADO EN CALIENTE		RECICLADO EN FRÍO	
	EN EL LUGAR	EN PLANTA	EN EL LUGAR	EN PLANTA
Fresado	En caliente por medio de la 3ra. unidad mayor del AR2000 Super Recycler.	En frío con perfiladora, el RAP es cargado directamente en camiones.	En frío con la máquina "Recicladora" o "Estabilizadora".	En frío con perfiladora, el RAP es cargado directamente en camiones.
Mezclado	En caliente con la 4ta. unidad mayor del equipo, aquí se mezcla el RAP con el producto asfáltico y con la mezcla nueva.	En caliente en el tambor mezclador tipo "Double Barrel" se combinan los materiales vírgenes, el asfalto nuevo y el RAP.	En frío con ayuda de la "Recicladora", ésta incorpora el producto asfáltico y agua necesarios para el mezclado. Si se requiere agregado vírgen, se esparce éste sobre la superficie antes de comenzar el recuperado.	En planta dosificadora en el mezclador de dos ejes paralelos equipados con aspas, ahí mismo se incorpora el producto asfáltico y el agua. El agregado vírgen se alimenta a través de las tolvas.
% RAP	20 - 30 % aprox.	17 % aprox.	20 - 25 % aprox.	20 % aprox.
Producto asfáltico	Cemento asfáltico AC-20(1)	Cemento asfáltico AC-20(1)	Emulsión asfáltica	Emulsión asfáltica
Aditivos	"Cyclogen"	Polímeros	Cal, cemento.*	Ninguno
Tendido y Compactación	La 4ta. unidad mayor del AR2000 Super Recycler deposita la mezcla en una pavimentadora. La compactación se realiza con rodillos neumáticos y metálicos	Con pavimentadora. La compactación se realiza con rodillos neumáticos y metálicos vibratorios.	La recicladora misma realiza el tendido, algunas veces con la ayuda de una motoconformadora. Se compacta con rodillos neumáticos y metálicos vibratorios.	Con pavimentadora. La compactación se realiza con rodillos neumáticos y metálicos vibratorios.
Equipo y maquinaria	AR2000 Super Recycler de Martec, consta de 4 unidades mayores, una pavimentadora y rodillos neumáticos y metálicos vibratorios	Perfiladora, planta con tambor tipo "Double Barrel", pavimentadora y compactadores (neumáticos y metálicos).	Recicladora o estabilizadora, pipa, motoconformadora y compactadores (neumáticos y metálicos).	Perfiladora, planta dosificadora, pavimentadora y compactadores (neumáticos y metálicos).

* Cuando se trata de una recuperación de profundidad total.

(1) Norma T202 de AASHTO.

Tabla 4-1 COMPARACIÓN DE LOS RECICLADOS DE PAVIMENTOS

4.2 CONTROL DE CALIDAD

La normatividad de las obras públicas exige que se garantice la inversión realizada con un buen comportamiento del tramo rehabilitado, de acuerdo al proyecto. El control de calidad debe entenderse como el conjunto de acciones tales como inspecciones, pruebas de laboratorio, supervisión, capacitación, adiestramiento, proyectos, programas de obra, programas de mantenimiento a la maquinaria y al equipo, etc. que permita a los responsables de la obra estar bien informados para la toma de decisiones o para ajustar el proyecto, así como para corregir desviaciones en relación al presupuesto o al avance físico. El control permite que las mezclas asfálticas recicladas cumplan con las normas y especificaciones establecidas para un concreto asfáltico, y sobre todo, asegurar el buen comportamiento de la obra durante la vida de proyecto; como puede verse el control de calidad compete tanto al productor de la mezcla como a quienes ejecutan la obra. La verificación de calidad le corresponde a la empresa supervisora y/o a la dependencia gubernamental.

El diseño de una mezcla asfáltica tiene como objetivo establecer las proporciones de los materiales que en la elaboración de la misma intervienen, a fin de lograr en la mezcla ciertas propiedades que propicien condiciones de uso y duración suficientes para alcanzar el objetivo que se persigue; dichas propiedades, en términos generales, tenderán a lograr que la mezcla cuente con la estabilidad necesaria para soportar las cargas impuestas por el tránsito, resistir el intemperismo y no presentar desgranamientos bajo el efecto de la circulación de vehículos. Además, la capa construida con la mezcla tendrá la flexibilidad adecuada para adaptarse, sin sufrir daño, a las deformaciones permisibles en las capas del pavimento; en ciertos casos, con dichas propiedades también se procurará lograr que la textura y rugosidad de la capa sean adecuadas para el tránsito seguro de vehículos, considerando siempre tener capas suficientemente impermeables. Como las propiedades mencionadas se logran seleccionando y adaptando el material pétreo, a la vez que incorporándole la proporción y tipo de material asfáltico adecuados, el diseño de una mezcla asfáltica contemplará fundamentalmente el manejo de estos conceptos para encontrar la mejor y más económica combinación de los materiales seleccionados, considerando como proporción óptima de asfalto aquella con la que se logren las condiciones mencionadas.

Para diseñar las mezclas asfálticas con un cierto porcentaje de material recuperado (RAP) se deberá establecer la dosificación, tanto de los pétreos como de éstos con el material asfáltico y preparar una mezcla inicial, a fin de someterla a las pruebas relativas al criterio de diseño que se utilice; se verificará si dicha mezcla cumple con los requisitos establecidos y, de no ser así, se efectuarán los ajustes necesarios en los materiales, proporciones, procedimientos de elaboración, etc., a fin de lograr que la mezcla diseñada satisfaga los requisitos fijados. Se considerará que el RAP tiene una mayor cantidad de finos que una mezcla virgen, por lo que se deberán hacer los ajustes necesarios. Una mezcla con un mayor contenido de finos, necesitará mayor contenido de asfalto y se aumenta la flexibilidad de la mezcla, por el contrario si la granulometría es mayor, se

aumenta la estabilidad y el contenido de asfalto se reduce. Los ajustes de la granulometría se deberán realizar de acuerdo a lo especificado por la SCT.

4.2.1. MATERIALES

Los materiales para carpetas asfálticas, elaboradas en el lugar y en planta estacionaria, deberán satisfacer las siguientes normas, de acuerdo con los métodos de prueba citados en las Normas de Materiales de la SCT:

a) De granulometría:

1.- La curva granulométrica del material pétreo para mezclas en el lugar, deberá cumplir con lo que indique el proyecto en cada caso y, en términos generales, deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el límite superior de la zona 2, de la fig. 4-1. La zona 1, corresponde a los pétreos de granulometría gruesa y la zona 2, a los pétreos de granulometría fina. La curva granulométrica del material pétreo, deberá afectar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, por lo menos en las dos terceras (2/3) partes de su longitud, sin presentar cambios bruscos de pendiente.

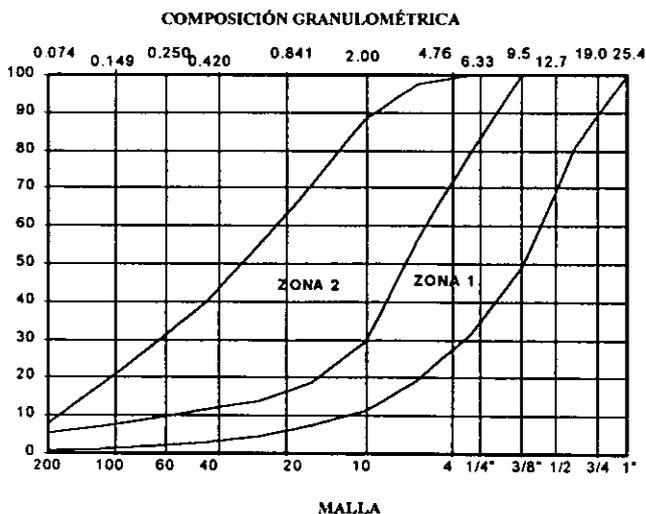


Fig. 4-1 Zonas de especificaciones granulométricas para materiales pétreos que se empleen en mezclas asfálticas en el lugar.

2.- La curva granulométrica del material pétreo para concretos asfálticos, en términos generales deberá quedar comprendida en la zona limitada por las dos curvas de la fig. 4-2. En cada caso el proyecto señalará la granulometría correspondiente, de

acuerdo con los requisitos fijados en el diseño de la mezcla. La granulometría del material cumple con los requisitos de proyecto, si está dentro de las siguientes tolerancias:

Tamaño del material pétreo		Tolerancias, porcentaje en peso del material pétreo
Malla que pasa	Retenido en malla	
Correspondiente al tamaño máximo	4.75 mm (núm. 4)	+/- 5
4.75 mm (núm. 4)	2.00 mm (núm. 10)	+/- 4
2.00 mm (núm. 10)	0.420 mm (núm. 40)	+/- 3
0.420 mm (núm. 40)	0.074 mm (núm. 200)	+/- 1
0.074 mm (núm. 200)		+/- 1

Tabla 4-2 Tolerancias respecto a la granulometría de proyecto en cuanto a materiales pétreos para concretos.

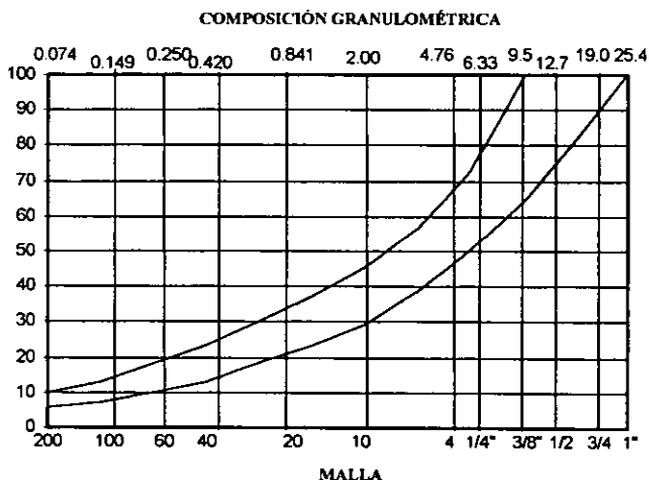


Fig. 4-2 Zona de especificaciones granulométricas para materiales pétreos que se emplean en concretos asfálticos.

b) De contracción lineal:

- 1.- Cuando la curva granulométrica del material pétreo quede ubicada en la zona 1 de la fig. 4-1..... 3% máximo.
- 2.- Cuando la curva granulométrica del material pétreo quede ubicada en la zona 2 de la fig. 4-1..... 2% máximo.
- 3.- Material pétreo para concretos asfálticos..... 2% máximo.

- c) De desgaste de Los Angeles, para cualquier tipo de material pétreo..... 40% máximo.
- d) De forma de las partículas. Partículas alargadas y/o en forma de laja, 35% máximo.
- e) De afinidad con el asfalto, de acuerdo con lo fijado en la tabla siguiente:

Capa de Pavimento	Desprendimiento por fricción (%)	Cubrimiento con asfalto. "Método Ingles" (%)	Desprendimiento de la película (%)	Pérdida de estabilidad por inmersión en agua (%)	Requisitos de aceptación.
Sub base de pavimento rígido, no estabilizada con materiales no asfálticos	—	90 mín	25 máx	—	Que cumpla cuando menos con una (1) de las pruebas marcadas
Sub base de pavimento rígido, estabilizada con materiales asfálticos	25 máx	90 máx	25 máx	25 máx	Que cumpla cuando menos con una (1) de las pruebas marcadas.
Base de pavimento flexible, no estabilizada o estabilizada con materiales no asfálticos	25 máx	90 mín	25 máx	—	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas
Base de pavimento flexible, estabilizada con materiales asfálticos	25 máx	90 mín	25 máx	25 máx	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas
Carpetas y bases asfálticas (mezclas en el lugar y plantas estacionarias)	25 máx	90 mín.	—	25 máx	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas.
Carpetas asfálticas por el sistema de negos	25 máx	90 mín.	—	—	Que cumpla con las dos (2) pruebas marcadas
Morteros asfálticos	25 máx	—	—	—	Que cumpla con la prueba marcada
Guarniciones asfálticas	—	—	25 máx	25 máx	Que cumpla cuando menos con una (1) de las pruebas marcadas.

Tabla 4-3 Requisitos de aceptación de los agregados pétreos de acuerdo a la afinidad con el asfalto.

- f) Equivalente de arena 55% mínimo.

4.2.2. PRODUCTOS ASFÁLTICOS

Los tipos de materiales asfálticos que pueden emplearse son los siguientes:

- 1.- Cementos asfálticos.
- 2.- Asfaltos rebajados.
- 3.- Emulsiones asfálticas.

- a) Los riegos de materiales asfálticos se darán de preferencia por medio de petrolizadora, o con otro equipo previamente aprobado por la Secretaría.
- b) Cuando se utilice cemento asfáltico para la elaboración de concreto asfáltico en planta estacionaria, la cantidad de cemento asfáltico podrá variar en relación con la de proyecto en más o menos cinco por ciento (+- 5%), en peso.
- c) Las temperaturas de los materiales asfálticos en el momento de su empleo deberán ser las que se indican a continuación:

1.- Cementos asfálticos		de 120°C a 160°C
2.- Asfaltos rebajados de fraguado lento	FL-0	de 20°C a 30°C
	FL-1	de 30°C a 45°C
	FL-2	de 75°C a 85°C
	FL-3	de 85°C a 95°C
	FL-4	de 95°C a 100°C
3.- Asfaltos rebajados de fraguado medio	FM-0	de 20°C a 40°C
	FM-1	de 30°C a 60°C
	FM-2	de 70°C a 85°C
	FM-3	de 80°C a 95°C
	FM-4	de 90°C a 100°C
4.- Asfaltos rebajados de fraguado rápido	FR-0	de 20°C a 40°C
	FR-1	de 30°C a 50°C
	FR-2	de 40°C a 60°C
	FR-3	de 60°C a 80°C
	FR-4	de 80°C a 100°C
5.- Emulsiones asfálticas		Por lo general no se les deberá aplicar calentamiento. de 5°C a 40°C

d) Por ningún motivo deberán aplicarse los materiales asfálticos cuando la temperatura ambiente sea inferior a cinco grados centígrados (5°C), cuando haya amenaza de lluvia o cuando la velocidad del viento impida que la aplicación con petrolizadora sea uniforme.

e) Cuando lo fije el proyecto y/o la Secretaría, se agregará a los materiales asfálticos algún aditivo, del tipo y en la proporción fijados. El aditivo deberá agregarse en la petrolizadora o en los tanques de almacenamiento de la planta mezcladora, según sea el caso, cuando los materiales asfálticos se encuentren a la temperatura requerida.

4.2.3. MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas, de acuerdo con sus características y condiciones de uso a que se destinan, deberán elaborarse con los materiales asfálticos que se fijan en la tabla 4-4:

MATERIAL ASFÁLTICO	EMPLEO RECOMENDABLE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARPETAS Y SOBRECARPETAS	
	PARA CARRETERAS: Tránsito diario en ambos sentidos, en vehículos pesados.	PARA AEROPISTAS: Aviones con peso total, en toneladas.
Cemento asfáltico....	Más de 1000	Más de 20
Asfalto rebajado..	1000 máximo. **	20 máximo. **
Emulsión asfáltica con disolvente.....	1000 máximo. **	20 máximo. **
Emulsión asfáltica sin disolvente.....	1000 máximo.	20 máximo.

Tabla 4-4 Producto asfáltico recomendable para los diferentes usos de la carpeta.

Las mezclas asfálticas deberán sujetarse a las siguientes normas:

a) Las mezclas que se elaboren con cemento asfáltico, deberán cumplir, con los requisitos señalados a continuación:

1.- Para el procedimiento Marshall, los contenidos en la tabla 4-5.

CARACTERÍSTICAS	USO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA ELABORADA CON CEMENTO ASFÁLTICO	PARA CARRETERAS		PARA AEROPISTAS
		TRANSITO DIARIO EN AMBOS SENTIDOS		
		Hasta 2000 vehículos pesados	Más de 2000 vehículos pesados	
Número de golpes por cara		50	75	75
Estabilidad mínima, kgs	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo	450	700	700
Flujo, en milímetros	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo	2 - 4.5	2 - 4	2 - 4
Por ciento de vacíos en la mezcla respecto al volumen del espécimen.	Para carpetas y mezclas de renivelación .	3 - 5	3 - 5	3 - 5
	Para bases asfálticas	3 - 8	3 - 8	3 - 8
Por ciento de vacíos en el agregado mineral (VAM), respecto al volumen del espécimen de la mezcla, de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo, mínimo, ...	Para carpetas, 4.76mm (no. 4)	18	18	18
	capas de 6.35mm (1/4")	17	17	17
	renivelación, 9.51mm (3/8")	16	16	16
	bases asfálticas 12.7 mm (1/2")	15	15	15
	y bacheo. 19.0 mm (3/4")	14	14	14
.....	25.4 mm (1")	13	13	13

Tabla 4-5 Requisitos de Calidad para las Mezclas diseñadas con el método Marshall.

Las condiciones para el uso adecuado de las mezclas asfálticas se indican a continuación:

a) Los contenidos de humedad y disolventes para el tendido y compactación de mezcla asfáltica y el contenido de cemento asfáltico, deberán quedar dentro de los límites fijados en el siguiente cuadro:

MATERIAL ASFÁLTICO EMPLEADO EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS	TOLERANCIA DEL CONTENIDO DEL CEMENTO ASFÁLTICO CON RESPECTO AL POR CIENTO DE PROYECTO, EN PESO	CONTENIDO DE AGUA LIBRE PERMITIDO. POR CIENTO EN PESO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA	RELACIÓN DE DISOLVENTES A CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO (Valor K)
Cemento asfáltico	+ 5%	1	Cero
Asfalto rebajado	+ 10%	1	0.05 a 0.08
Emulsión asfáltica con disolventes	+ 10%	-----	0.05 a 0.08
Emulsión asfáltica sin disolventes	+ 10%	-----	Cero

Tabla 4-6 Límites recomendables de acuerdo al producto asfáltico utilizado.

b) Las temperaturas de la mezcla asfáltica, para su tendido y compactación, deberán ser las que se indican a continuación:

1.- La temperatura del material pétreo deberá estar comprendida entre ciento veinte y ciento sesenta grados centígrados (120°C - 160°C) en el momento de agregar el cemento asfáltico y la temperatura de la mezcla deberá estar comprendida entre ciento veinte y ciento cincuenta grados centígrados (120°C - 150°C), al salir de la planta de producción.

2.- El concreto asfáltico deberá tenderse a una temperatura mínima de ciento diez grados centígrados (110°C).

3.- La temperatura del concreto asfáltico, al iniciarse el acomodo, deberá ser de cien a ciento diez grados centígrados (100°C a 110°C); en general, la compactación de la carpeta deberá terminarse a una temperatura mínima de setenta grados centígrados (70°C).

c) Los espesores compactos de las capas, en relación con el tamaño máximo del material pétreo, deberán fijarse de acuerdo con lo que se indica en el siguiente cuadro:

Tamaño máximo del material pétreo - En mm.		Espesor compacto de las capas de carpeta - En cm.	
		Mínimo	Máximo
4.76	(No. 4).....	2	3
6.35	(1/4").....	2	3.5
9.52	(3/8").....	3	4
12.7	(1/2").....	3	5
19.03	(3/4").....	3	6
25.4	(1").....	4	7

NOTA: Los espesores máximos anotados, solo son aplicables en el caso de que se utilicen mezclas con asfaltos rebajados o emulsiones con disolventes; en estos casos, cuando el proyecto señale un espesor mayor, se deberán construir dos (2) o más capas.

Tabla 4-7 Espesores recomendables de carpetas de acuerdo al tamaño máximo del pétreo.

d) La mezcla asfáltica deberá ser compactada al noventa y cinco por ciento (95%) mínimo de su peso volumétrico máximo, determinado en cada caso, de acuerdo con los métodos de prueba que fije la Secretaría.

e) Las mezclas asfálticas usadas para carpetas deberán tener un valor de permeabilidad menor de diez por ciento (10%). En los casos, que la carpeta terminada resulte con mayor permeabilidad del 10% permitido, se dará un riego de sello sobre la misma.

4.2.3.1. Resultados de las mezclas elaboradas con "RAP"

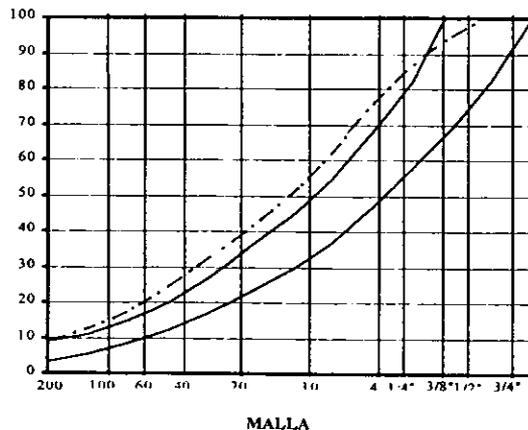
Las mezclas elaboradas con material recuperado en planta en frío y en caliente, muestran las siguientes características:

a) Mezcla elaborada con RAP en planta en caliente:

1.- El material recuperado por medio del perfilado de pavimentos tiene las siguientes características:

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

MALLA	GRANULOMETRÍA % QUE PASA
1"	
3/4"	
1/2"	96.8
3/8"	91.1
1/4"	88
No. 4	78
No. 10	54.2
No. 20	38.7
No. 40	29.8
No. 60	23.2
No. 100	16.1
No. 200	8.1



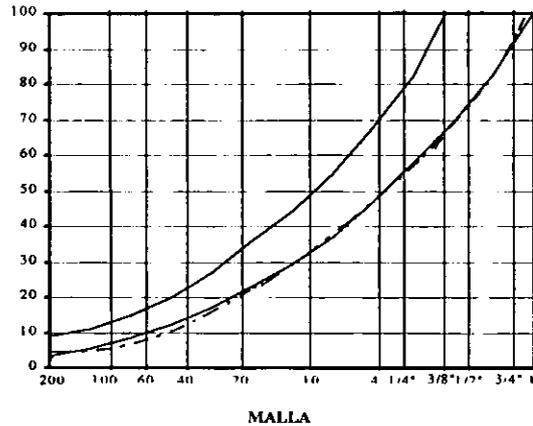
% C.A./ Peso de Agregado: 4.85%

% C.A. en Mezcla: 4.63%

2.- El material virgen utilizado para corregir la granulometría del RAP muestra la siguiente granulometría:

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

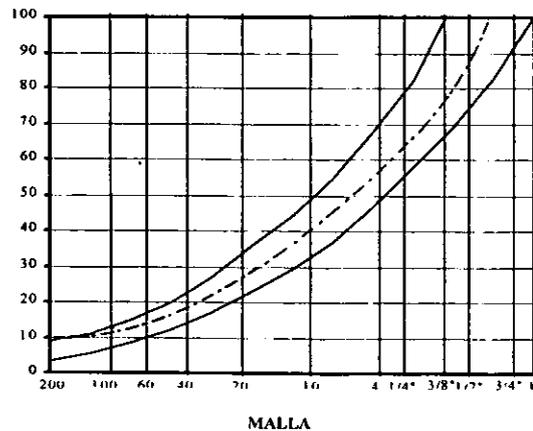
MALLA	GRANULOMETRÍA % QUE PASA
1"	
3/4"	
1/2"	73.8
3/8"	58.7
1/4"	54.3
No. 4	49.3
No. 10	35
No. 20	20.9
No. 40	12.7
No. 60	8.5
No. 100	5.4
No. 200	2.8



3.- La mezcla asfáltica reciclada en caliente en planta, constituida con un 17 % aprox. de RAP, y material virgen en un 83% aprox., muestra las siguientes características:

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

MALLA	GRANULOMETRÍA % QUE PASA
1"	
3/4"	100
1/2"	87.4
3/8"	78
1/4"	65.6
No. 4	57.3
No. 10	37.1
No. 20	26.8
No. 40	20.26
No. 60	16.5
No. 100	12.6
No. 200	8.9



% C.A./ Peso de Agregado: 4.96%

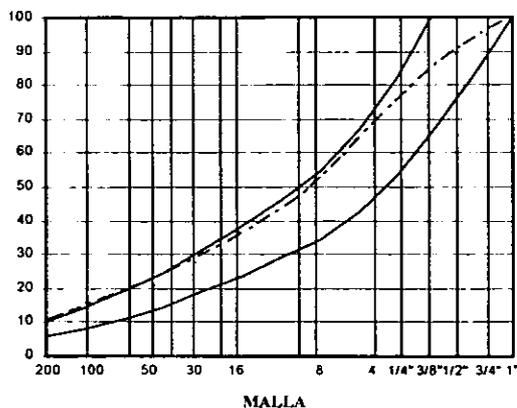
% C.A. en Mezcla: 4.73%

b) Mezcla elaborada con RAP en planta en frío:

1.- El material procedente del perfilado de pavimentos tiene las siguientes características:

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

MALLA	GRANULOMETRÍA % QUE PASA
1"	100
3/4"	95
1/2"	89
3/8"	84
1/4"	---
No. 4	71
No. 8	52
No. 16	37
No. 30	28
No. 50	21
No. 100	16
No. 200	10



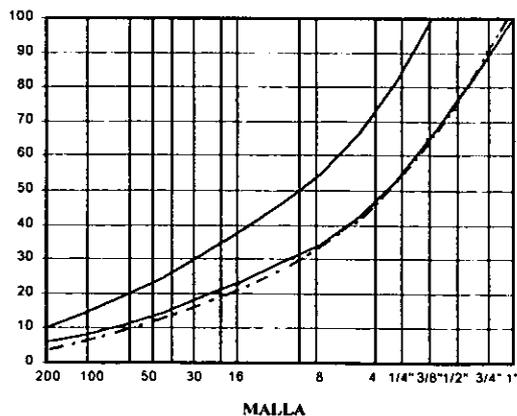
Contenido de Asfalto: 5.6%

Humedad: 2.8%

2.- El material virgen necesario para la corrección de la granulometría tiene la siguiente curva granulométrica:

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

MALLA	GRANULOMETRÍA % QUE PASA
1"	100
3/4"	91
1/2"	74
3/8"	65
1/4"	---
No. 4	50
No. 8	35
No. 16	22
No. 30	14
No. 50	12
No. 100	8
No. 200	5

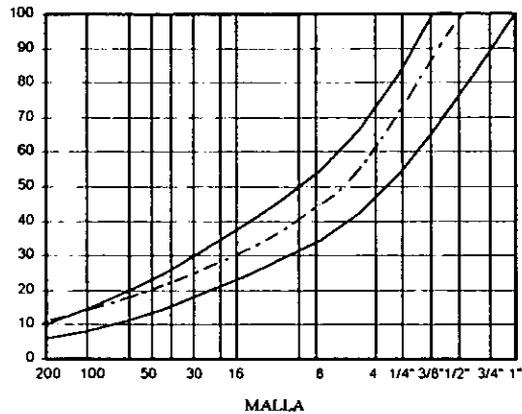


Humedad: 5.2%

3.- Mezcla reciclada en frío con una composición de 80% de RAP y 20% de material virgen, presenta las siguientes características:

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

MALLA	GRANULOMETRÍA % QUE PASA
1"	100
3/4"	100
1/2"	94
3/8"	83
1/4"	---
No. 4	61
No. 8	45
No. 16	34
No. 30	27
No. 50	20
No. 100	15
No. 200	10



Óptimo de C.A.: 8.3%

Contenido de C.A.: 8.6%

Humedad : 10%

En los dos casos de reciclado, en las gráficas granulométricas se observa que el material reciclado presenta una granulometría con un porcentaje mayor de finos, en cambio el material utilizado para corregir dicha granulometría, tiene un exceso de material grueso; finalmente la curva correspondiente a la mezcla final se encuentra dentro del área correspondiente a la especificada por la SCT.

4.3 APLICACIÓN DEL RECICLADO DE PAVIMENTOS

“REHABILITACIÓN DE LA PISTA 05D-23I DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CD. DE MÉXICO”

El proyecto consiste en rehabilitar el pavimento correspondiente a la sección central de la pista 05D-23I del aeropuerto internacional de la cd. de México, del km 2+900 a km 3+500. El pavimento presenta deformaciones en la franja central; la porción a rehabilitar es una sección de 20m de ancho. La falla que presenta la pista corresponde a un tipo de distorsión, particularmente a un hundimiento o depresión. Esta falla se debe principalmente a la aplicación de cargas mayores a las de diseño. Las deformaciones

máximas existentes son de 3 cm. La sección de la pista a rehabilitar se observa en la fig. (4-3).

4.3.1. PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso que se siguió en este trabajo fue el siguiente:

1.- Levantamiento topográfico para determinar las zonas de distorsión de la carpeta de la pista a rehabilitar. En la fig. 4-4 se observa la sección de la pista con las curvas de nivel obtenidas del levantamiento correspondiente, observándose la zona de deformaciones.

2.- Determinar el perfil longitudinal de la sección de la pista, así como las cantidades de obra de corte y de carpeta, las cuales son, de 821.3m³ y 980.0m³ respectivamente, como se puede ver en la fig. 4-5.

3.- Realizar el fresado con la perfiladora a la profundidad aproximada de 7cm, en la fig. (4-6) se puede ver claramente el momento en que la perfiladora va cortando la superficie del pavimento en el espesor determinado, al mismo tiempo que el material recuperado (RAP) es cargado en los camiones para transportarlo a la planta para su posterior tratamiento de reciclado.



Fig. 4-6 Perfiladora en el momento en que va cortando el pavimento al mismo tiempo que es cargado en los camiones para su transporte a la planta de reciclado.

4.- Después de la perfiladora, sigue un cepillo el cual retira los finos producto del fresado, en este caso se trata de un cepillo mecánico remolcado por un tractor.

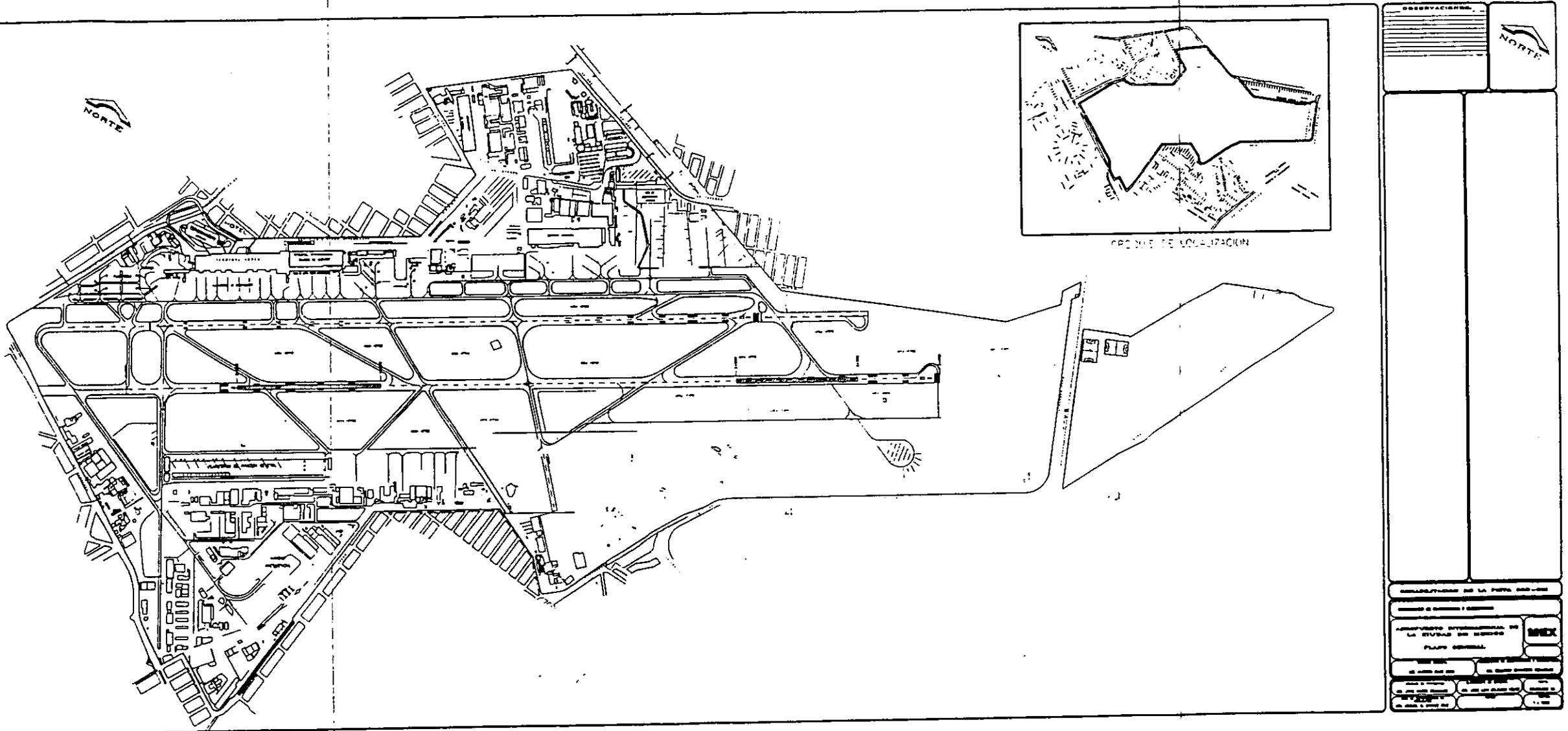
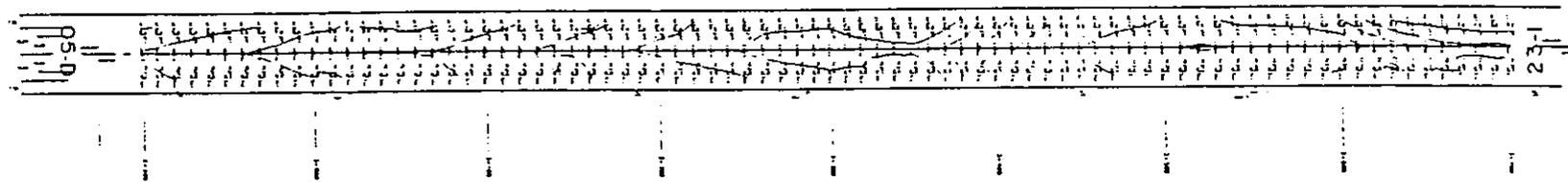


Fig. 4-3 Plano general del aeropuerto internacional de la cd de México, en el cual se resalta la sección a rehabilitar de la pista 05D-23I.



CONVENCIONES

CROQUIS DE LOCALIZACION

NOTAS:

1. ESTACIONES ESTABLECIDAS EN EL TERRENO EN LOS PUNTOS DE TRANSICION EN ESTE PLANO DE TRANSICION.

2. ESTACIONES ESTABLECIDAS EN EL TERRENO EN LOS PUNTOS DE TRANSICION EN ESTE PLANO DE TRANSICION.

3. ESTE PLANO SE COMPLEMENTA CON LOS PLANOS DE TRANSICION DE TRANSICION EN ESTE PLANO DE TRANSICION.

PLANO DE TRANSICIONES DE PISTA 05D-231

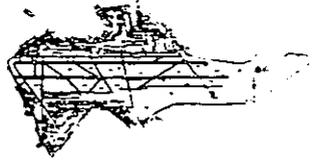
INSTITUTO FEDERAL DE ESTUDIOS Y ESTADISTICA TERRITORIAL

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CD DE MEXICO

ESTACION 2+900 A 3+500

PROYECTO	CONSTRUCCION Y RECONSTRUCCION DE LA PISTA 05D-231
CLIENTE	SECRETARIA DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
PROYECTANTE	ING. JUAN CARLOS BARRILEY
REVISOR	ING. JOSE LUIS BALTAR
APROBADO	ING. JOSE LUIS BALTAR
FECHA	1988

Fig. 4-4 Plano de transiciones, en el cual se observan las curvas de nivel existentes en la pista 05D-231 en el tramo del km. 2+900 a km. 3+500.



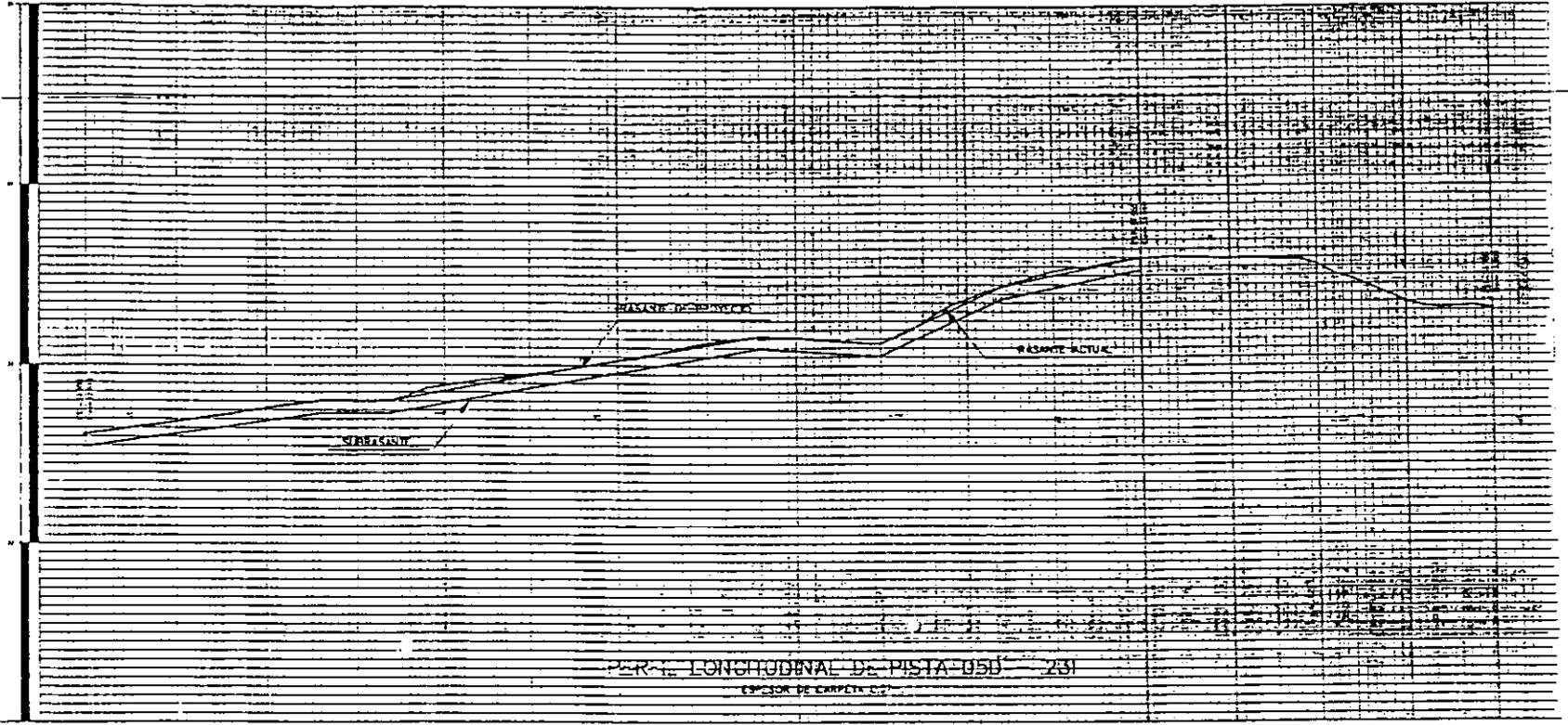
CROQUIS DE LOCALIZACION

NOTAS

1. MATERIAL ESTACIONADO EN LA ZONA DE ESTACIONES 2+900 A 3+500.
 2. EL TERRENO EN LA ZONA DE ESTACIONES 2+900 A 3+500 ES DE TIPO B.
 3. EL TERRENO EN LA ZONA DE ESTACIONES 3+500 A 3+600 ES DE TIPO C.
 4. EL TERRENO EN LA ZONA DE ESTACIONES 3+600 A 3+700 ES DE TIPO D.

CANTDADES DE OBRA

1. CEMENTO 1000000 kg.
 2. AGUARDADO 1000000 kg.



PERFIL LONGITUDINAL DE PISTA 05D-231
 ESPEZOR DE CARRETE 0.21

Fig. 4-5 Perfil longitudinal de la pista 05D-231, del km. 2+900 al km. 3+500. Se muestra el nivel de la rasante actual, el nivel de la subrasante y el nivel de la rasante de proyecto.

PERFIL LONGITUDINAL DE PISTA 05D-231

SECCION DE CONTRATO Y CONSUMIDOS		ESTADO	NO. DE PROYECTO
AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CD. DE MEXICO		P. 05D-231	05D-231
DE LA ESTACION 2+900 A 3+500			
DISEÑO		CONSTRUCCION	REVISION
S. ALVARADO		M. BARRON	M. BARRON
E. J. GARCIA			

5.- Se aplica un riego de emulsión asfáltica de curado medio para mejorar la liga entre la carpeta vieja y la nueva. Este riego se puede hacer con un petrolizadora (fig. 4-7) común, en una proporción de 1.5 lts/m² generalmente.

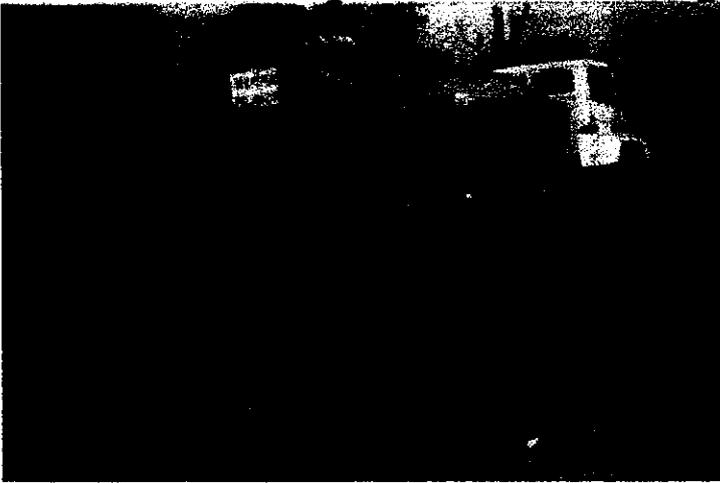


Fig. 4-7 Petrolizadora distribuyendo la emulsión con ayuda de un dispositivo esparcidor.

6.- Con una pavimentadora convencional, se tiende la mezcla asfáltica reciclada en caliente, en el espesor y ancho determinados (fig. 4-8a,b).



Fig. 4-8a Momento en que un camión descarga la mezcla asfáltica reciclada en caliente en la tolva de la pavimentadora para su tendido.

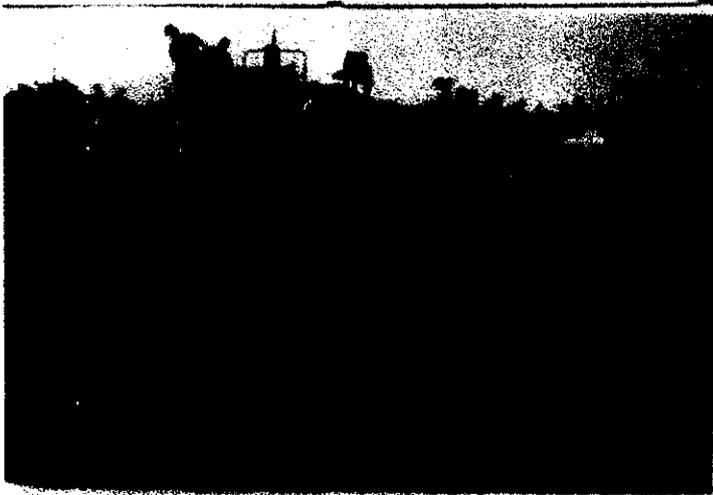


Fig. 4-8b Pavimentadora distribuyendo la mezcla asfáltica reciclada en caliente en planta.

7.- Por último se compacta con el rodillo liso metálico, aplicando de 2 a 3 pasadas para lograr el porcentaje de compactación requerido de acuerdo al diseño realizado en laboratorio (Fig. 4-9).



Fig. 4-9 Rodillo liso compactando la mezcla asfáltica reciclada en caliente.

8.- Se lleva a cabo un levantamiento topográfico para determinar el perfil de la superficie de rodamiento terminada y elaboración de las secciones transversales del pavimento. Como puede observarse en la fig. 4-5, donde se aprecia la superficie terminada con sus pendientes adecuadas.

4.3.2. MATERIALES

Los materiales utilizados en este trabajo son solo la mezcla asfáltica y la emulsión.

La emulsión utilizada como riego de liga es una de tipo aniónica de curado medio, con el fin de lograr el fraguado en el tiempo que tarda la pavimentadora en tender la mezcla asfáltica reciclada.

La mezcla asfáltica es elaborada en planta en caliente con material recuperado. La proporción de RAP es de aproximadamente 17% y el resto son materiales vírgenes. La mezcla cumple con todos los requisitos especificados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en sus normas de calidad referentes a aeropistas así como a las normas de Aeropuertos y Servicios Auxiliares.

4.3.3. MAQUINARIA

La maquinaria utilizada en el proceso de rehabilitación de pavimentos es la misma o similar a la descrita en el capítulo 2, referente al reciclado en caliente en planta. La perfiladora es una tipo con un tambor cortador de 4.00m de ancho. La pavimentadora tiene la capacidad de tender carpetas de 6.00m de ancho. El cepillo es un cepillo mecánico remolcado por un tractor. La emulsión es esparcida por una petrolizadora común. Los rodillos compactadores son lisos metálicos y de neumáticos.

CONCLUSIONES:

El deterioro de pavimentos en nuestro país es un problema grave, el cual debe ser atendido en forma inmediata por las autoridades correspondientes, antes de que un problema superficial en la carpeta asfáltica se convierta en un problema estructural obligando con esto una inversión mayor al mantenimiento y rehabilitación de la red carretera nacional.

La rehabilitación de pavimentos en nuestro país, debe ser una prioridad en materia de comunicaciones, debido a que la mayor parte de nuestros caminos se encuentran en muy malas condiciones por el inadecuado mantenimiento aplicado y porque la estructura actual de muchos kilómetros de carretera es insuficiente de acuerdo al volumen y tipo de vehículos que circulan hoy en día. Si seguimos con este mismo esquema de mantenimiento, llegará el momento en que una falla funcional (superficial) provoque una falla en las capas subyacentes (falla estructural) y sea necesario una reconstrucción del pavimento, es decir toda la estructura desde la terracería hasta la capa de rodamiento.

Dada la situación económica por la que atraviesa el país, las acciones convenientes respecto al sistema carretero, debe ser mantener en buenas condiciones y modernizar los caminos existentes y después la construcción de nuevas vías. En los últimos años la construcción de las carreteras se ha llevado a cabo por medio de un financiamiento privado bajo el esquema Construir-Operar-Transferir (COT), respondiendo al incremento en el uso vehicular.

El reciclado de materiales como el vidrio, papel, plásticos, metales, etc., en los últimos años se ha desarrollado por la rápida explotación de los recursos naturales necesarios para la fabricación de dichos productos. En materia de pavimentos flexibles, los materiales que conforman la mezcla asfáltica, también pueden ser reciclados o reutilizados para la elaboración de nuevas mezclas o para la construcción de alguna otra capa de la estructura.

En una mezcla asfáltica, los agregados pétreos ocupan aproximadamente un 95% del volumen, esto significa que se requiere de una gran cantidad de materiales pétreos para la elaboración de mezcla asfáltica nueva; para la explotación de estos materiales se requiere de una gran variedad de operaciones, como son la utilización de explosivos y el uso de maquinaria de varios tipos, que generan contaminación y destrucción de grandes extensiones de áreas verdes necesarias para el desarrollo de la vida animal, así como la purificación del aire que respiramos.

En lo que respecta al material asfáltico contenido en el RAP (Pavimento Asfáltico Recuperado), se puede volver a utilizar adicionando algunos aditivos o solo una pequeña cantidad complementaria de producto asfáltico virgen, contribuyendo con esto a la conservación de los mantos petrolíferos para una explotación adecuada posteriormente.

Hoy en día es de vital importancia cuidar del medio natural dadas las condiciones ambientales actuales, por lo que es necesario mantener más áreas verdes y libres de contaminación. Actualmente, el conseguir agregados pétreos con las propiedades y características adecuadas para la elaboración de mezclas asfálticas representa una gran derrama económica debido a las distancias entre los bancos de material y las plantas de producción, a esto se le suma la contaminación generada por los camiones transportistas que suministran los insumos necesarios. Un ejemplo muy claro de contaminación es la planta de asfalto del departamento del Distrito Federal la cual hace algunos años se encontraba fuera de la ciudad de México instalada en un banco de material, ahora se sitúa dentro de la zona urbana, debido a la expansión demográfica y los materiales son suministrados de bancos externos, lo que significa elevar los índices de contaminación ambiental debido a la operación de la planta, así como a la circulación de camiones por la ciudad para llegar a su destino, es decir, además de la contaminación proveniente de la explotación, se suma la originada por el acarreo de los materiales. Actualmente las plantas de producción de mezclas asfálticas cuentan con sistemas anticontaminantes que eliminan casi por completo la emisión de gases y partículas, cumpliendo con los estándares ambientales permitidos.

El reciclado de pavimentos, incluyendo desde luego el perfilado, como ya se mencionó a lo largo de este trabajo tiene muchas ventajas como son, el de mantener los niveles del pavimento, alcantarillas, alturas de túneles y puentes, evitando con esto obras posteriores necesarias para la corrección de estas irregularidades.

El desecho de materiales provenientes del resquebrajado de pavimentos, significa la utilización de espacios libres que pueden ser destinados a reservas ecológicas, parques de recreación, o algunos otros usos útiles para la población.

Para el gobierno federal el reciclado de pavimentos flexibles, representa un ahorro muy significativo tomando en cuenta el valor de la mezcla asfáltica nueva necesaria para la repavimentación o rehabilitación de las calles, avenidas, autopistas y aeropistas. Este ahorro se deriva de los trabajos no necesarios en un reciclado de retirar el pavimento y transportarlo al lugar de desecho y al adquirir la mezcla asfáltica nueva; con el reciclado el fresado se lleva a cabo al mismo tiempo que el RAP es cargado en los camiones para ser llevado a la planta de reciclado, además de que el perfilado proporciona una superficie áspera, con una pendiente uniforme, lista para el tendido de la carpeta nueva; por lo tanto el precio de la mezcla asfáltica será menor debido a que el gobierno federal contribuye con el material recuperado. Otro aspecto importante es el flete del RAP y de la mezcla asfáltica reciclada, es decir los camiones que llevan la mezcla asfáltica de la planta al lugar de la obra, son los mismos que acarrean el RAP a la planta de reciclado, con esta operación los camiones realizan un viaje redondo reduciendo el costo respecto a un viaje sencillo.

El tiempo necesario para llevar a cabo una rehabilitación de un pavimento, representa un problema para la población entera que circula por las vías a rehabilitar, dado que esto origina una interrupción del tráfico y problemas de congestionamiento vial; problema que el reciclado de pavimentos junto con el perfilado se logra abatir considerablemente, ya que es un proceso relativamente sencillo y rápido donde el

fresado y todo el proceso de pavimentación se puede llevar a cabo en un solo carril y por el otro circular los vehículos normalmente. Muchas veces en algunos trabajos se aprovecha la noche para trabajar y así evitar al máximo las interrupciones de tráfico.

Las ventajas de un reciclado son muchas pero antes de aplicarlo es conveniente saber cuando es y cuando no es suficiente es decir, para llevar a cabo una rehabilitación de un camino comenzaremos con realizar un estudio preciso del mismo; en primer lugar determinar cuál es el índice de servicio actual de la vía, éste dependerá del tipo de camino que se trate (de 1er. o de 2do. orden) para decidir si es necesaria una rehabilitación, siendo así se deberá realizar un levantamiento de las fallas del pavimento y sus causas de esta, siempre y cuando se lleve a cabo una evaluación estructural y que nos ayudará para hacer un análisis y comparación de la estructura actual del camino con la estructura resultante de un nuevo diseño con los volúmenes y tipos de vehículos que transitan por la red carretera nacional.

Con un estudio profundo podemos determinar si es necesario llevar a cabo una reconstrucción del pavimento, incluyendo desde luego las capas subyacentes, o en caso contrario solo una rehabilitación de la capa de rodamiento, como es el caso de la pista 05D-23I del aeropuerto internacional de la cd. de México, en el cual la estructura actual de la pista es apta para brindar un buen servicio a las aeronaves que diariamente llegan y salen de la ciudad.

El trabajo de restauración de la capa de rodamiento de la pista 05D-23I, se llevo a cabo durante la noche aprovechando el horario en el que hay un menor tráfico de aviones. Logrando restablecer la superficie de la pista con la pendiente adecuada, no aumentando el espesor del pavimento y ayudando con esto a mantener igual o muy similar el valor correspondiente a cargas muertas.

Por todas sus ventajas tanto económicas, ambientales y de tiempo, el reciclado de pavimentos flexibles representa una alternativa para la modernización de la red carretera nacional, preservando los recursos económicos y naturales para la construcción de nuevos caminos, ayudando también a mantener reservas ecológicas para las futuras generaciones.

BIBLIOGRAFIA:

FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE. "ESTRUCTURACIÓN DE VIAS TERRESTRES".

2a. EDICIÓN.

C.E.C.E.S.A.

MÉXICO, 1996.

RAFAEL LIMON LIMON. "EVALUACIÓN DE LOS ASFALTOS POR EL METODO SHRP".

PACCSA.

SAUL CASTILLO AGUILAR. "RECICLADO EN FRIO EMPLEANDO EMULSIÓN".

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA.

JORGE SAN VICENTE SANCHEZ. "REHABILITACIÓN DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MEDIANTE SISTEMAS DE RECICLADO".

TESIS U.N.A.M.

GUSTAVO RIVERA E. "RECICLADO DE PAVIMENTOS EN FRIO, EMPLEANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS".

ALFAOMEGA .

MEXICO, 1997.

ASPHALT INSTITUTE. "PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE".

SERIE DE MANUALES No. 22 (MS-22).

ING. ENRIQUE HORCASITAS MANJARREZ. CONGRESO IBERO-AMERICANO DEL ASFALTO. "PERFILADO Y RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN CALIENTE".

MEMORIA 1987.

TOMO II.

ING. FRANCISCO FERNANDO RODARTE LAZO. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS II. "MANTENIMIENTO MENOR Y MAYOR EN PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES".

FACULTAD DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M. DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTÍNUA.

CATERPILLAR INC. "MANUAL DE RENDIMIENTO".

EDICIÓN 27, U.S.A. 1996.

GUSTAVO RIVERA E. "SLURRY-SEAL: MORTERO ASFÁLTICO".
GRUPO INDUSTRIAL ALCE S.A. DE C.V.
MÉXICO, 1990.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. "MANUAL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EN SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS CARRETEROS".
DOCUMENTO TÉCNICO 1.

ING. ENRIQUE HORCASITAS MANJARREZ. "RECICLADO DE PAVIMENTOS EN CALIENTE, UNA ALTERNATIVA VIABLE".
BOLETÍN TÉCNICO.

ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION. "RECUPERACIÓN DE CARRETERAS MEDIANTE RECICLAJE EN FRIO IN-SITU".
BOLETÍN TÉCNICO.

ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION. "GUIA DE ESPECIFICACIONES PARA LA RECUPERACIÓN DE PROFUNDIDAD TOTAL".
BOLETÍN TÉCNICO.

ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION. "GUIA PARA EL RECICLADO EN FRIO EN SITIO".
BOLETÍN TÉCNICO.

ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION. "GUIA PARA EL PERFILADO DE PAVIMENTOS".
BOLETÍN TÉCNICO.

MEXTRAC-CATERPILLAR. "RECUPERACIÓN DE CAMINOS".
BOLETÍN TÉCNICO. 1995.

J. DON BROCK, PH. D. "FRESADO Y RECICLAJE".
BOLETÍN TÉCNICO: T-127S.

ING. JOSÉ ANTONIO LOZANO DOMINGUEZ. "REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS".
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.

TRANSPORTATION RESEARCH RECORD. "CYCLEAN".
BOLETÍN TÉCNICO. 1997.

J. DON BROCK, PH.D. "TAMBOR SECADOR MEZCLADOR".
BOLETÍN TÉCNICO: T-119S
MARTEC RECYCLING CORPORATION. "AR 2000 SUPER RECYCLER".
<http://www.martec.ca>

“QUALITY CONTROL GUIDELINES”.

TERRRA ENGINEERING, Ltd

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. “NORMAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES. Carreteras y Aeropistas. Materiales para terracerías”.

Libro 4, parte 01.01. 1996.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. “NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS. Carreteras y Aeropistas. Pavimentos (II)”.

Libro 6, parte 01.03.

COMITE DE ESPECIFICACIONES, PRECIOS UNITARIOS Y CONTRATACIÓN DE OBRAS. SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. “NORMAS DE CONSTRUCCIÓN. Normas de Materiales”.

Tomo VIII. 1a. edición, México, 1981.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. “NORMAS PARA CONSTRUCCIÓN E INSTALACIONES. Carreteras y Aeropistas. Pavimentos”.

Libro 3, parte 01.03.