

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES



**REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS POR MEDIO DE
RECICLADO**

Carlos Leonel Aldana Urrutia



Guatemala
2000

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES



**REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS POR MEDIO DE
RECICLADO**

Carlos Leonel Aldana Urrutia

Trabajo de graduación presentado para optar
Al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala
2000

**REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS
ASFÁLTICOS POR MEDIO DE RECICLADO**

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Carlos Leonel Aldana Guerra

Ana María Urrutia de Aldana

A MIS HERMANOS:

Jose Rodrigo, Alberto Enrique y Luis Pedro

A MIS ABUELITAS:

Pilar del Angel Guerra

Sonia Ipiña

A MIS TIOS Y PRIMOS

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

A MI PADRE

Carlos Leonel Aldana Guerra

Mis agradecimientos van más allá de lo que las palabras pueden expresar.

A MI TIO

Maynor Palacios Guerra

A LOS QUE COLABORARON CON EL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. Leonel Aguilar

Ing. Héctor Valdez

Ing. Franklin Matzdorf

Ing. Irvin Martínez

Arq. César Alvarado

Ing. Tonio Bonatto

A LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

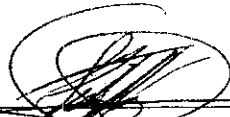
A MIS BUENOS AMIGOS

Juan Pablo Alvarez

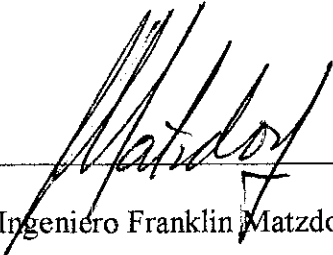
Luis Armando Castellanos

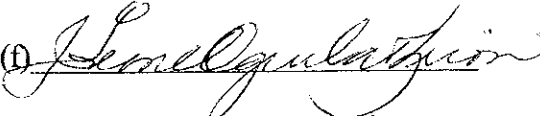
Juan José Barrios

Vo.Bo.:

(f) 
Ingeniero Héctor Valdez Arandi

Tribunal Examinador:

(f) 
Ingeniero Franklin Matzdorf

(f) 
Ingeniero Leonel Aguilar

(f) 
Ingeniero Héctor Valdez

Fecha de aprobación: 31 de Marzo del 2000

Tabla de Contenido

- I. Introducción
- II. Pavimentos
 - A. Tipos de pavimentos
 - 1. Pavimentos rígidos
 - 2. Pavimentos flexibles
 - 2.1 Concreto asfáltico
 - B. Carpetas asfálticas
 - 1. Características de los materiales pétreos
 - 2. Características del material ligante
 - 2.1 Cemento asfáltico
 - 2.2 Rebajados asfálticos
 - 2.3 Emulsiones asfálticas
 - 3. Mezclas asfálticas
 - 3.1 Contenido óptimo de asfalto
- III. Fallas en los pavimentos
 - A. Diferentes fallas en los pavimentos
- IV. Mantenimiento
 - A. Actividades de mantenimiento
 - 1. Conservación
 - 2. Rehabilitación
 - 2.1 Cambio total en el pavimento
 - 2.2 Cambio de algunas capas del pavimento
 - 2.3 Aumento en el espesor de la carpeta asfáltica de pavimentos asfáltico
 - B. Reciclaje de pavimentos asfálticos
 - 1. Reciclaje en superficie
 - 2. Reciclaje en frío
 - 3. Método constructivo
 - 4. Reciclaje en caliente
 - 5. Remoción del pavimento
 - 6. Diseño de la mezcla
 - 7. Maquinaria de reciclado empleada
 - C. Control de calidad
 - 1. Pruebas de laboratorio
 - 2. Método Marshall (modificado)
 - 3. Propiedades de la mezcla para especímenes
 - 4. Ensayos que se proponen
 - 5. Prueba de compresión sin confinar
 - 6. Determinación del contenido práctico de la emulsión

mezclado

7. Determinación de la humedad óptima de

- V. Ventajas del reciclaje
 - A. Reutilización de materiales
 - B. Conservación de energía
 - C. Reducción en el tiempo de ejecución

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias

Bibliografía

Anexos

Introducción

Los costos de la construcción de pavimentos, rehabilitación y mantenimiento han aumentado durante los últimos años y como resultado de esto, la industria de la construcción de pavimentos y agencias gubernamentales han buscado las maneras de llegar a un costo más efectivo en la construcción.

Las principales preocupaciones son la conservación de materiales, la protección del medio ambiente y la economía en los procedimientos de construcción y rehabilitación.

La vida útil de la estructura de un pavimento asfáltico depende de varios factores, entre los principales tenemos, la cantidad y peso del tráfico, el clima, la calidad de los materiales, el grado de resistencia, drenajes y la calidad de la construcción.

El siguiente trabajo describe en forma general los distintos tipos de pavimentos, los materiales que integran las diferentes superficies de rodadura según el tipo de pavimento. Las fallas más comunes que se presentan durante el desempeño de las distintas estructuras y el tipo de mantenimiento que requerirán para prolongar el período de diseño.

El reciclado de pavimentos, en éste caso con asfalto, es un procedimiento que da solución a todas estas preocupaciones, especialmente porque hay un ahorro en energía, materiales y como consecuencia en dinero.

El reciclado de asfaltos no es nuevo; su historia se remonta ya unos 50 años, sin embargo, a medida que aumentan las necesidades económicas y ambientales, se ha dado énfasis a refinamientos técnicos en el proceso de reciclado.

En el reciclado de pavimentos asfálticos, los materiales recuperados del pavimento antiguo son reprocesados junto con algunos materiales nuevos para producir mezclas asfálticas que cumplen con todos los requerimientos especificados.

Las mezclas recicladas pueden ser colocadas sobre la misma estructura de donde se recuperó el material; pero pueden ser utilizadas en cualquier lugar donde las mezclas asfálticas sean necesarias.

El propósito de éste trabajo es brindar al ingeniero en carreteras, la información necesaria para estudiar qué opción de reciclado de pavimentos asfálticos como medio de rehabilitación es el más apropiado.

II. Pavimentos

Se define como pavimento a la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, localizados entre el nivel superior de la terracería y la superficie de rodadura que reciben las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad¹. Una de las funciones principales es la de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales.

De acuerdo con las teorías de esfuerzos y las medidas de campo que se realizan, los materiales con que se construyen los pavimentos deben tener la calidad suficiente para resistir las cargas vehiculares. Por lo mismo, las capas localizadas a mayor profundidad pueden ser de menor calidad, en relación con el nivel de esfuerzos que recibirán, aunque el pavimento también transmite los esfuerzos a las capas inferiores y los distribuye de manera conveniente, con el fin de que éstas lo resistan.

Los materiales que forman las terracerías también deben cumplir normas por lo general menos rigurosas. Esto permite que los terraplenes se construyan con economía, al utilizar los materiales extraídos de los cortes adyacentes. La calidad de los materiales de las capas inferiores y las cargas producidas por el tránsito son factores fundamentales para la estructuración del pavimento; así mismo el ingeniero diseñador deberá tomar la decisión de los espesores y tipo de material a utilizar en cada una de sus capas. Además de considerar los factores mencionados anteriormente deberá considerar otros factores tales como:

¹ Estructuración de Vías Terrestres. Fernando Olivera Bustamante. 2da. Ed. Mexico, 1998.

- Período de Diseño
- Cargas impuestas por el tránsito
- Confiabilidad
- Serviciabilidad

A. Tipos de pavimentos

1. Pavimentos rígidos

La superficie de rodadura de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural². Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados a la superficie de rodadura al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de concreto hidráulico y la sub-base que se construyen sobre la capa subrasante.

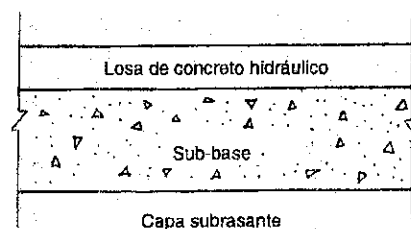


Fig. 1.1 Capas que forman un pavimento rígido

² Ingeniería de Carreteras. Paul H. Wright. 5ta Ed. Mexico, 1999.

2. Pavimentos flexibles

Una carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodadura; 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; y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa³. Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y sub base, las cuales se construyen sobre la capa de subrasante. Es alrededor de este tipo de pavimentos sobre el que trata este trabajo de tesis por lo que a continuación se incluyen aspectos relevantes relacionados con este tema en particular.

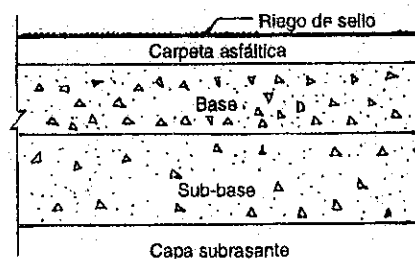


Fig. 1.2 Capas que por lo general forman un pavimento flexible, el riego de sello no siempre se usa.

2.1 Concreto asfáltico

Mezcla asfáltica de alta calidad que se elabora empleando materiales con propiedades óptimas que cumplen con la granulometría especificada para este caso y como ligante se utiliza cemento asfáltico sin solventes⁴.

En las últimas décadas se ha utilizado en forma considerable el concreto asfáltico, el cual, a pesar de tener una falla frágil parecida a la del concreto hidráulico tiene un mayor grado de ductilidad pero una resistencia menor que éste, debido a su mayor capacidad de acomodar pequeñas deformaciones en

³ Ingeniería de Carreteras. Paul H. Wright. 5ta Ed. Mexico, 1999

⁴ Diccionario de Ingeniería de Caminos. L. Morrilla Abad. España, 1979.

las capas inferiores del pavimento se incluye en la categoría de los pavimentos flexibles. Sin embargo, para evitar que la carpeta se agriete debido a deformaciones de la capa de base, ésta debe construirse con una mayor rigidez ya sea estabilizándola con cemento Portland, o con emulsiones asfálticas, proporcionando una base triturada densa con agregados de alta calidad a fin de que los módulos de elasticidad de ambas capas no difieran en forma excesivamente alta.

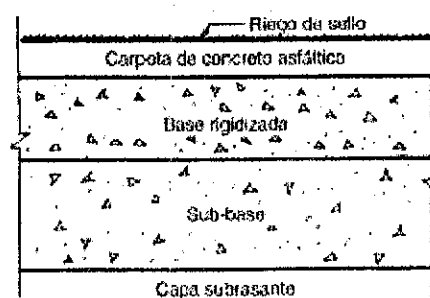


Fig. 1.3 Capas que forman un pavimento flexible de concreto asfáltico con una base estabilizada.

A. Carpetas asfálticas

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodadura para los vehículos y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos. Generalmente ésta capa se subdivide en una capa de base y una capa de superficie de menor espesor que la primera y con una graduación más fina, todo esto cuando se usa un sello⁵.

1. Características de los materiales pétreos

Los materiales pétreos para construir carpetas asfálticas son minerales inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos, de depósitos naturales

⁵ Ingeniería de Carreteras. Paul H. Wright. 5ta Ed. Mexico, 1999

denominados minas o de cantera de roca, los cuales, requieren de triturado y cribado para utilizarse.

Según las normas especificadas por el libro de Especificaciones Generales para construcción de carreteras y puentes de la República de Guatemala, edición 1975, en la sección 405, las características mas importantes que deben tener a satisfacción los materiales pétreos para carpetas asfálticas son granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. La granulometría es de mucha importancia y debe satisfacer las normas correspondientes, pues como los materiales pétreos se cubren por completo con el asfalto, si la granulometría cambia, también cambia la superficie a cubrir. Ya que la superficie por revestir resulta más afectada al aumentar o disminuir los finos que cuando hay un cambio en las partículas gruesas, las especificaciones toleran más los cambios en éstas que en los finos. Para su uso en mezclas asfálticas es necesario evaluar el material pétreo en sus siguientes características:

A. Tamaño y graduación: el tamaño máximo nominal de un agregado triturado, corresponde al de la malla inmediatamente mayor que la del primer tamiz que retiene el 10% del material. El agregado pétreo elaborado, listo para ser mezclado con el asfalto debe llenar los requisitos de graduación determinados por el Instituto de Asfalto, según el tipo seleccionado en el diseño. Para obtener la graduación establecida los agregados son dosificados por lo menos en cinco tamaños diferentes (de Tipo "A, B, C, D y E"), determinados por un análisis granulométrico o de tamices. Ver página 407-03 del libro de Especificaciones Generales.

B. Limpieza: algunos agregados contienen o son revestidos con materiales extraños o materiales que los hacen indeseables para mezclas asfálticas. Las impurezas o sus inadecuadas características minerales pueden causar fallas en el pavimento.

C. Abrasión: la porción del agregado retenido en el tamiz número 8, no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión, AASHTO T96, mayor del 40%, a 500 revoluciones en la máquina de Los Angeles. Los agregados están sujetos a trituración adicional y desgaste abrasivo durante la fabricación de la mezcla, su colocación y compactación, así mismo están sujetos a la abrasión bajo tráfico. Los agregados situados en o cerca de la superficie del pavimento requieren una mayor durabilidad que los agregados de las capas inferiores, donde la carga ha disminuído o no es tan concentrada.

D. Caras fracturadas y partículas planas alargadas: no menos del 90% por peso, de las partículas retenidas en el tamiz No.8 deben tener, por lo menos, una cara fracturada, no menos del 75% por peso de las partículas retenidas en el tamiz No.8 deben tener por lo menos dos caras fracturadas. No más del 8% de su peso, pueden ser partículas delgadas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas⁶.

E. Plasticidad: Un material tiene plasticidad cuando se modela con facilidad sin cambiar su volumen, y su resistencia al corte es de 25 g/cm² como mínimo. Por tanto, en la plasticidad pueden intervenir la humedad, el peso volumétrico y la sensibilidad de las partículas del material, principalmente las finas, respecto del agua y al porcentaje de ellas dentro del total. Para conocer la sensibilidad de los finos al cambiar sus características de consistencia en presencia del agua,

⁶ Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes. Guatemala, 1975.

se realizaron pruebas de plasticidad, como la de los límites de Atterberg y la de contracción lineal. Estas pruebas se efectúan sobre la porción de los materiales que pasan por el tamiz número 40⁷. El material a tratar debe mantenerse dentro de estos límites.

F. Absorción: se refiere a los agregados porosos que absorberán asfalto y hacen la mezcla seca o menos cohesiva. El asfalto absorbido reduce el asfalto disponible para recubrir la superficie de las partículas de lo cual depende la trabajabilidad, la durabilidad de la mezcla y su eficiencia para resistir cargas repetidas, razón por la cual es inconveniente el uso de agregados con un alto índice de absorción.

G. Resistencia al desvestimiento: las partículas de agregado deben ser de tal naturaleza que al recubrirlas completamente con el cemento asfáltico, no presenten evidencia del desvestimiento, permaneciendo mas del 70% de las partículas perfectamente cubiertas con el cemento asfáltico después de haber permanecido sumergidas por el tiempo que requiera la prueba.

H. Desintegración al sulfato de sodio: El agregado retenido en el tamiz No.8 (2.36mm), no debe tener una pérdida de peso mayor de 10% al ser sometido a cinco ciclos, en el ensayo AASHTO T104.

I. Peso: El agregado debe ser razonablemente uniforme en calidad y densidad y su peso unitario, AASHTO T19, no debe ser menor de 70 libras/pie cúbico (1120 kilogramos / metro cúbico). Sección 405-04 del Libro de Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes.

⁷ Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes. Guatemala, 1975.

2. Características del material ligante

Se denomina ligantes bituminosos a una amplia gama de productos que tienen en común su aspecto, color y poder de aglomerante, debiéndose estas similitudes a estar constituidos por una mezcla compleja de hidrocarburos de distintos tipos⁸. El término betún o bituminoso es, por tanto, genérico para todos los productos que tengan estas características comunes.

Entre las diversas clasificaciones de los ligante bituminosos que se han intentado establecer, quizá la más aceptada sea la que hace referencia a su origen, distinguiéndose los ligantes bituminosos naturales: asfaltos y rocas asfálticas, fundamentalmente, y los ligantes bituminosos artificiales: betunes de destilación y alquitranes.

Desde el punto de vista conceptual, y siguiendo la terminología apropiada es preciso aclarar las diferencias entre unos y otros:

A. Alquitrán: ligante bituminoso procedente de la destilación destructiva de carbones, maderas o esquistos.

B. Betún: ligante bituminoso procedente, natural o artificialmente, del petróleo, y con un contenido de impurezas no solubles en sulfuro de carbono inferior al 5%.

C. Asfalto: betún mezclado con impurezas o cargas minerales no solubles en sulfuro de carbono y que están en la composición en proporciones superiores al 5%. Sin embargo, hay que señalar que en la terminología americana la palabra asfalto se aplica para designar lo que se ha definido aquí como betún, aplicable a carreteras.

8. Diccionario de Ingeniería de Caminos. L. Morilla Abad. España, 1979.

2.1 Cemento asfáltico

El asfalto, también llamado cemento asfáltico, es el último residuo de la destilación del petróleo y a temperaturas normales es sólido y de color café oscuro. Para mezclarse con los materiales pétreos, debe calentarse a una temperatura en el orden de 140° C que depende de las características típicas del comportamiento viscosidad-temperatura de cada asfalto en particular. Para el efecto se requiere el uso de una planta de mezclado en caliente. Las especificaciones para el uso correcto del cemento asfáltico se encuentran detalladas en el Libro de Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de la República de Guatemala en la sección 407-07 para concretos asfálticos. Los cementos asfálticos se pueden clasificar de conformidad con sus características de penetración, viscosidad y funcionalidad (Graduación PG- Performance Graded).

En la clasificación por penetración, los asfaltos son sometidos a una prueba cuidadosamente controlada, en las cuales una aguja normal con pesas, penetra en una muestra de asfalto a una temperatura especificada. La distancia que la aguja penetra dentro del asfalto en el tiempo especificado determina el grado de penetración. Así si la aguja a temperatura de 77° F. (25°C) con un peso de 100 grs., penetra 90 décimos de milímetro en 5 seg., el asfalto tiene una penetración de 90⁹.

La clasificación por viscosidad, se determina en función de esta propiedad del asfalto medida a 60°C y expresada en cientos de poises, así un cemento asfáltico de grado 2.5 tiene una viscosidad de 250 poises y uno del tipo AC-40, tiene una viscosidad de 4,000 poises.

⁹ Emulsiones Asfálticas. Gustavo Rivera E. 4ta. Ed. Mexico, 1998.

La clasificación por funcionalidad (Performance Graded-PG), se basa en los resultados de laboratorio de ensayos orientados a medir las siguientes características:

- A. Viscosidad: Aplicable al manipuleo y bombeo.
- B. Resistencia dinámica al corte: aplicable a la evaluación de la tendencia al ahuellamiento o al agrietamiento estructural.
- C. Ensayos de Flexión y Tensión Directa: Aplicable a la evaluación del agrietamiento a bajas temperaturas.

El equipo y los ensayos de laboratorio usados para evaluar las características indicadas anteriormente son el resultado del programa SHRP (Strategic Highway Research Program) que condujo a las especificaciones de "Superpave" que en su conjunto determinan los grados de asfalto de acuerdo con el rango de temperatura de operación a la que estará sometido un pavimento, por ejemplo, un cemento asfáltico del tipo PG 64-22 (64 menos 22) significa que él mismo cumplirá con las propiedades físicas requeridas para una temperatura de servicio del pavimento entre un máximo de 64°C y un mínimo de 22°C¹⁰.

2.2 Asfaltos Rebajados

Con el fin de poder trabajar con el cemento asfáltico a temperaturas menores, es necesario fluidificarlo; para ello se producen los rebajados y las emulsiones asfálticas.

Los rebajados asfálticos se fabrican al diluir el cemento asfáltico en gasolina, tractolina (también conocida como petróleo diáfano), diesel o aceites ligeros.

¹⁰ Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Asphalt Institute. USA, 1996.

En el primer caso se obtienen los rebajados de fraguado rápido, denominado RC; en el segundo caso, los rebajados de fraguado medio o MC; y por último, los de fraguado lento o SC. Todos éstos se pueden producir con diferentes proporciones de cemento asfáltico (de 50 a 80%) y los correspondientes solventes o "fluxes" (de 50 a 20%). De esta manera, hay cinco tipos de cada rebajado, que se numeran del 0 al 4; los que tienen gran cantidad de cemento asfáltico son los de mayor denominación y ésta disminuye a medida que aumenta el contenido de los solventes¹¹. Las especificaciones correspondientes se encuentran en el libro de Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de la República de Guatemala, según su función, en la sección 402.

Para realizar las mezclas con los agregados pétreos y los cementos o los rebajados asfálticos, es necesario que los primeros estén bien secos, pues de otra manera no hay adherencia con el asfalto.

2.3 Emulsiones asfálticas

Para tener un producto asfáltico que se pueda aplicar o mezclar con pétreos húmedos, se fabrican emulsiones asfálticas, en las que el cemento asfáltico se suspende en agua, por medio de un emulsificante y un estabilizador. De acuerdo con el emulsificante usado, se producen emulsiones aniónicas y catiónicas; estas últimas resisten mayores humedades en los pétreos. Las emulsiones también son de fraguado rápido, medio y lento conforme el porcentaje de cemento asfáltico. Los asfaltos emulsificados son los de mayor utilización en el reciclado de asfaltos. Diferentes tipos y cantidades de

¹¹ Emulsiones Asfálticas. Gustavo Rivera E. 4ta Ed. México, 1998.

emulsiones deben ser estudiadas para el agregado y hallar la mejor combinación para el uso que se les va a dar. Esto depende básicamente del tipo de agregado. Las emulsiones de fraguado medio se utilizan para agregado grueso, las emulsiones de fraguado lento son diseñadas para una mayor estabilidad y son utilizadas con alto contenido de finos, estas emulsiones tienen bajas viscosidades que pueden ser reducidas al añadirles agua. A diferencia de cuando se utilizan asfaltos rebajados, en las emulsiones, se requiere que el agregado deba tener como mínimo 7% de humedad para obtener de esta manera una mayor adherencia con el asfalto.

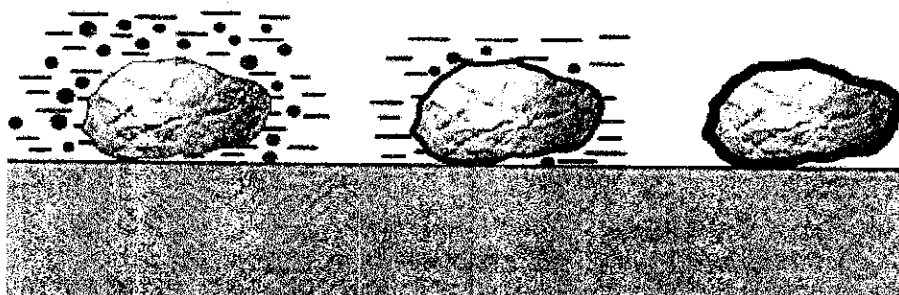


Fig. 1.4 Pasos por los que atraviesa una emulsión hasta tener una rotura completa ante un material pétreo. (Emulsiones Asfálticas, Mexico, 1998)

3. Mezclas Asfálticas

Las propiedades usadas en el diseño de la mezcla y aplicaciones son innumerables, como también los nombres usados para definir las mezclas. Los tipos pueden ser reducidos a dos mezclas de graduación, agregado de relación baja de vacíos o de relación alta de vacíos.

Las mezclas de alta densidad están diseñadas de acuerdo con las siguientes características:

- A. Estabilidad: la capacidad del concreto asfáltico para resistir deformaciones por cargas, tales como canalización y ondulaciones transversales.
- B. Durabilidad: la habilidad para resistir efectos de aire, agua, temperatura, o sea intemperismo (calor extremo y ciclos de congelamiento) y tráfico.
- C. Flexibilidad: la capacidad de un concreto asfáltico para doblarse ligeramente sin agrietarse y conformarse a movimientos y asentamientos de la base.
- D. Resistencia a la fatiga: la habilidad del concreto asfáltico para resistir repetidas flexiones causadas por las pasadas de cargas rodantes.
- E. Resistencia al deslizamiento: la resistencia del concreto asfáltico particularmente cuando está mojado, al patinaje o deslizamiento.
- F. Impermeabilidad: la capacidad del concreto asfáltico a resistir la penetración de agua en su estructura.
- G. Trabajabilidad: la facilidad con la que el concreto asfáltico puede ser colocado y compactado.

El método de diseño de concreto asfáltico más usado en Guatemala es el Marshall, conforme se establece en el manual MS-2 del Instituto de Asfalto, el cual permite establecer las dosificaciones de los agregados según su tamaño y el contenido de asfalto más adecuado para cumplir los requerimientos determinados de resistencia y graduación.

3.1 Contenido óptimo de asfalto

El contenido óptimo de asfalto según el manual del Instituto de Asfalto MS-2, 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, pero que no sea tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad o resistencia y no soporte las cargas de los vehículos.

Es conveniente que las partículas tengan la forma mas cúbica posible, por lo que no deben utilizarse materiales que contengan una cantidad grande de partículas en forma de lascas o de aguja, pues tienden a romperse con facilidad y así cambia la granulometría.

La dureza se puede conocer por medio de las pruebas de densidad y de desgaste; si el material tiene o no buena adherencia se conoce al efectuar las pruebas de desprendimiento por fricción, de pérdida de estabilidad por inmersión en agua y la prueba inglesa. Si esta característica de los pétreos no es aceptable, se puede utilizar un producto para cambiar la tensión superficial de los pétreos. Ultimamente ha habido una tendencia a diseñar el contenido óptimo de asfalto por medio del ensayo "Superpave" con graduaciones de rendimiento o funcionalidad.

III. Fallas en los pavimentos

Las vías terrestres se proyectan y construyen para que estén en servicio por un determinado número de años, llamado vida útil de la obra. Al concluir este tiempo, se rescatan o se reconstruyen con objeto de prolongar su servicio por mas tiempo, que es en general lo que sucede.

Al estar en operación, una obra se deteriora poco a poco y presenta diferentes condiciones de servicio a traves de los años. Los deterioros pueden ser pequeños al principio; pero más adelante probablemente sean más serios y aceleren la falla de la vía; por ésto, una obra requiere mantenimiento o

conservación, para cuando menos asegurar su vida de proyecto y proporcionar un nivel de serviciabilidad adecuado.

Cuando un camino de primer orden tiene bastantes problemas, la comodidad del viaje llega al punto mínimo. En este momento, la obra alcanza su falla funcional. Si el camino sigue en servicio se presenta la falla estructural y prácticamente ya no se puede realizar el tránsito¹².

Debido a un mal diseño de la estructura en cuanto a los materiales o sus espesores, o a que no se pronosticó el tránsito en forma adecuada, una obra vial puede llegar a la falla estructural y estar casi destruida antes de terminar la vida útil del proyecto, sin que quizá hubiese habido falla funcional, pues el deterioro habría sido rápido¹².

Para que una carretera deteriorada con el tiempo no llegue a la falla estructural, es necesario rehabilitar la vía cuando alcance la falla funcional.

Para calificar un camino se utiliza el método visual, donde se toman en cuenta la cantidad de grietas que hay en la superficie de rodamiento; el número de baches, ahuellamientos, ondulaciones, levantamientos y la magnitud de las deformaciones.

Otro método es la medición, que se lleva a cabo principalmente con pruebas para calcular la rugosidad de la superficie mediante levantamientos con rugosímetro usados para establecer el índice de rugosidad IRI (International Roughness Index), los cuales se pueden complementar con estudios de la deformabilidad de la estructura del pavimento y se puede realizar por medio de la viga Benckelman o deflectómetros de Impacto o de caída (FWD). Los resultados de los estudios de rugosidad se pueden relacionar directamente con

¹² Ingeniería en Carreteras. Paul H. Wright. 5ta. Ed. Mexico, 1999.

el nivel de las curvas de deformación mediante deflectómetros proporcionando así información referente a las características mecánicas “en el lugar” de las capas del pavimento y los procedimientos y requerimientos para incrementar la resistencia del pavimento.

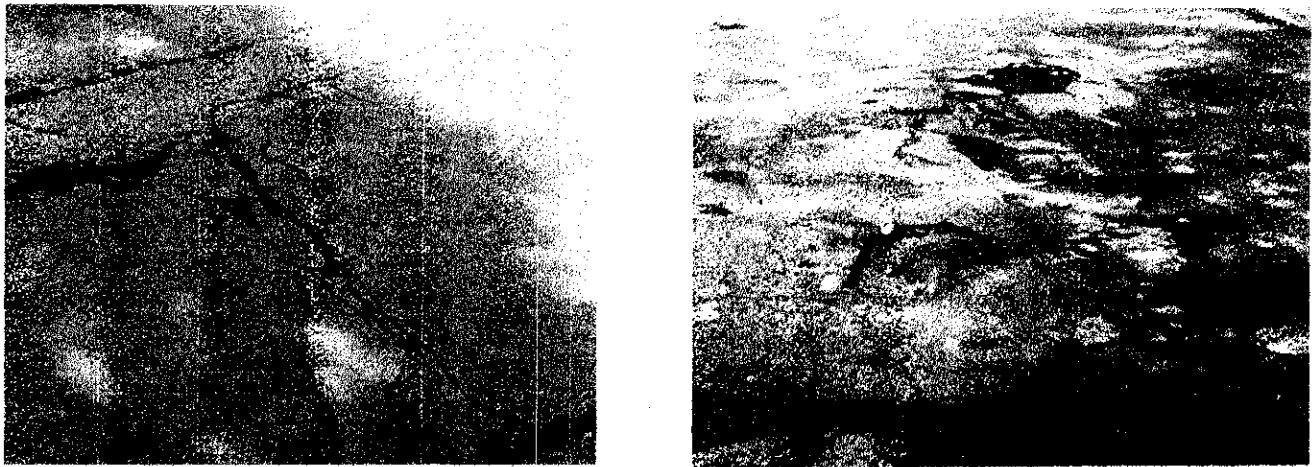


Fig. 1.5 Algunos tipos de fallas en los pavimentos

A. Diferentes fallas en los pavimentos

Los pavimentos presentan numerosos tipos de fallas. Probablemente la principal causa de éstas sea el agua que logra filtrarse en el pavimento¹³.

Algunos de los síntomas superficiales de los diversos tipos de falla en los pavimentos pueden ser:

- A. Piel de lagarto
- B. Grietas en los bordes
- C. Grietas longitudinales a la orilla de la carpeta
- D. Grietas transversales
- E. Grietas de reflexión
- F. Grietas por encogimiento

- G. Grietas por desplazamiento
- H. Grietas por ampliación
- I. Distorsión (Deformaciones)
 - I.a. Ahuellamientos (Rodadas)
 - I.b. Ondulaciones y combaduras
 - I.c. Hundimiento de la rasante
 - I.d. Levantamiento o hinchamiento
- J. Hundimientos sobre zanjas
- K. Desintegración
 - K.a. Baches
 - K.b. Desmoronamiento de los bordes
- L. Exudación o afloración de asfalto
- M. Agregados pulidos
- N. Tratamientos superficiales
 - N.a. Pérdida del agregado de cubierta
 - N.b. Estrías longitudinales
 - N.c. Estrías transversales
- O. Envejecimiento

Diferentes fallas en los pavimentos

A. Piel de lagarto.

Son grietas interconectadas que forman una serie de pequeños bloques que semejan una piel de lagarto o malla de gallinero. Se puede deber a una carpeta de mala calidad o colocada sobre una base con rebote; en caso de

¹³ Reciclaje de Pavimentos Asfálticos. Gustavo Cancinos. Guatemala, 1981.

que la carpeta se haya elaborado con concreto asfáltico, esta falla resulta de que la base no se rigidizó bien. Asimismo, aparece en carpetas con asfalto oxidado.

B. Grietas en los bordes.

Son grietas longitudinales que aparecen a unos 30 cms., o mas del borde del pavimento, acompañados o no de grietas transversales que se extienden hacia el hombro.

C. Grietas longitudinales a la orilla de la carpeta.

Una grieta longitudinal a la orilla de la carpeta y a lo largo del borde es realmente una hendidura; podría decirse también que es la separación de la junta entre el pavimento y el hombro. Sin embargo, se trata como una grieta. Este problema se presenta desde la terracería, ya sea por contracciones que ocurran en ellas o por estar construídas sobre terrenos blandos; también puede deberse a que el tránsito se acerca mucho a las orillas cuando la carpeta cubre toda la corona de la vía, en cuyo caso no hay suficiente confinamiento lateral. De igual manera, estas grietas aparecen cuando las ampliaciones no se realizan en forma adecuada, pues se utilizan materiales sin compactación o sin anclaje adecuado a la parte antigua; con el tiempo, estas grietas surgen en la superficie de rodamiento y se propagan al centro.

D. Grietas a lo largo de la junta de los carriles.

Las grietas en las juntas de los carriles son separaciones longitudinales a lo largo de la junta entre ellos. Esto puede deberse a un efecto del tráfico debido a una mala elaboración en la junta de los carriles.

E. Grietas de Reflexión.

Son aquellos que aparecen en las carpetas asfálticas y que reflejan la configuración de las grietas de la estructura del pavimento que se encuentra debajo, provocadas principalmente por insuficiencia estructural.

F. Grieta por encogimiento.

Las grietas por encogimiento son grietas interconectadas que forman parte de bloques, generalmente con vértices agudos.

G. Grietas por desplazamiento.

Son grietas en forma de luna creciente que se orientan en la dirección del empuje de las ruedas sobre la superficie del pavimento, pero no significa que invariablemente apunten en la dirección del tránsito.

H. Grietas por ampliación.

Las grietas de ampliación son grietas longitudinales de reflexión que aparecen en los recubrimientos asfálticos colocados sobre las juntas de una sección nueva y otra vieja de un pavimento ensanchado, provocadas principalmente por diferencia de rigideces en las capas inferiores en la estructura.

I. Distorsión (Deformaciones).

La distorsión o deformación de un pavimento es cualquier cambio en la forma original de su superficie.

I.a. Ahuellamientos (Rodadas)

Son las depresiones canalizadas que se forman en los pavimentos asfálticos bajo las huellas de las ruedas.

I.b. Ondulaciones y Combaduras.

La ondulación es una forma de movimiento plástico tipificada por crestas transversales en la superficie del pavimento asfáltico.

La combadura es una forma de movimiento plástico consistente en un hundimiento y un levantamiento localizados en la superficie del pavimento.

I.c. Hundimientos de la rasante.

Los hundimientos son áreas localizadas en partes bajas, de tamaño reducido, que pueden estar o no acompañadas de agrietamientos.

Los hundimientos generalmente penetran varios centímetros (dos o más) por debajo de la rasante, provocando un estancamiento de agua.

I.d. Levantamientos o Hinchamientos.

Estos consisten en desplazamientos de un pavimento hacia arriba, debido al hinchamiento de la subrasante o de alguna parte de la estructura del pavimento. Los levantamientos son causados, principalmente por el hinchamiento de los suelos expansivos debido a la humedad.

J. Hundimiento sobre zanjas.

Son hundimientos en el pavimento que se encuentran sobre zanjas que han sido excavadas para la colocación o para la reparación de drenajes e instalaciones de servicios públicos.

K. Desintegración.

La desintegración es la rotura del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos.

K.a. Baches.

Son cavidades de distintos tamaños y formas, que se producen en el pavimento como resultado de una desintegración de la carpeta y de la base

por la mala calidad de los materiales inferiores, incluidas las terracerías con alto contenido de agua. Ocurren también por la presencia de grietas y hundimientos que no se trataron en forma adecuada y oportuna.

K.b. Desmoronamiento de los bordes.

El desmoronamiento es la disgregación progresiva de las partículas de agregado de un pavimento desde la superficie hacia abajo o desde los bordes hacia adentro. Generalmente, el agregado fino se desprende primero y deja algunas partículas sobre la superficie del pavimento. A medida que la erosión continúa las partículas mayores se van rompiendo y el pavimento pronto adquiere un aspecto aspero y rugoso, típico de una superficie erosionada.

L. Exudación o afloración del asfalto.

La exudación es la salida hacia la superficie del asfalto de un pavimento con la consiguiente formación de una película de este material sobre la superficie.

M. Agregados pulidos.

Son partículas de agregados existentes en la superficie del pavimento, cuyas caras han sido pulidas. Incluye tanto a las gravas sin triturar, lisas por naturaleza, como a las rocas trituradas que se desgastan rápidamente bajo la acción del tránsito.

N. Tratamientos Superficiales.

Debido a los métodos de construcción, en los tratamientos superficiales pueden producirse algunos defectos que no aparecen en la superficie de otros tipos de pavimentos asfálticos entre los que se incluyen:

N.a. Pérdida del agregado de la cubierta.

Es el desprendimiento, bajo la acción del tránsito, del agregado de un pavimento tratado superficialmente.

N.b. Estrías longitudinales.

Son delgadas líneas de asfalto que se forman paralelas al eje de la vía, provocadas por la falta de homogeneidad de la densidad de riego del ligante asfáltico.

N.c. Estrías transversales.

Son líneas alternas de asfalto, delgadas y gruesas, que cruzan transversalmente la vía, y que pueden ocasionar ondulaciones en la superficie del pavimento.

O. Envejecimiento.

Es una superficie que está excesivamente seca pero que no ha presentado el fenómeno de disgregación o que lo ha hecho muy levemente.

Todas estas fallas pueden ser tratadas por medio de la Rehabilitación de Pavimentos la cual puede ser: de tipo convencional o por medio del Reciclado.

IV. Mantenimiento.

El mantenimiento de pavimentos es el trabajo rutinario, realizado para conservar el pavimento, bajo la acción normal del tránsito y de las fuerzas de la naturaleza, en condiciones tan semejantes como sea posible, a las del pavimento recién construido¹⁴.

¹⁴ Asphalt Overlays and Pavement Rehabilitation (MS-17) The Asphalt Institute. USA, 1996.

A. Actividades del Mantenimiento.

En un programa planificado de mantenimiento se deben definir sus actividades de trabajo en términos que sean medibles y que estén relacionados con los requerimientos de los recursos que se pueda disponer. Las actividades de mantenimiento se pueden realizar de las siguientes maneras por su frecuencia de operación en:

- A. **Mantenimiento Rutinario:** Se refiere a aquellas actividades que serán requeridas, cualquiera que sean las características técnicas de la carretera o densidad de tránsito durante el año.
- B. **Mantenimiento Periódico:** Incluye aquellas actividades que pueden ser requeridas en intervalos de tiempo durante el año, pero cuya frecuencia varía con el tránsito, topografía y clima.
- C. **Mantenimiento de Emergencia:** Son las actividades que se hacen necesarias realizar en forma urgente cuando se obstruye una carretera e incluye trabajos tales como: limpieza de escombros, construcción de desvíos, etc. que deberán realizarse con el mínimo de demora para evitar peligros al tránsito de vehículos¹⁵.

1. Conservación.

Ésta actividad de mantenimiento es de acción preventiva, es decir que incluye todos aquellos trabajos que sean necesarios para prevenir problemas futuros.

Estos trabajos son:

- Mantenimiento de drenajes

¹⁵ Estructuración de Vías Terrestres. Fernando Olivera. 5ta Ed. México, 1998.

- Mantenimiento de alcantarillas
- Mantenimiento de puentes
- Mantenimiento de señales, etc.

Se debe tomar en cuenta que ninguna de estas actividades es imprevisible y por lo tanto son programables, salvo aquellas en donde se deba realizar un trabajo de emergencia¹⁶.



Fig. 1.6 Esta carretera ya no puede brindar un buen servicio por falta de mantenimiento, pero puede ser rehabilitada.

2. Rehabilitación.

Los ingenieros de carreteras pueden prolongar la utilidad de un pavimento mediante un mantenimiento adecuado y oportuno. Pero con el tiempo, hasta el pavimento mejor mantenido comenzará a desintegrarse y será necesario rehabilitarlo.

El enfoque tradicional de la rehabilitación de pavimentos ha sido la reconstrucción con todos los materiales nuevos y levantar el material en las partes deterioradas y recubrir con una carpeta nueva. Para el recubrimiento de

¹⁶ Ingeniería de Carreteras. Paul H. Wright. 5ta Ed. Mexico, 1999.

pavimentos se han utilizado tanto mezclas asfálticas como de concreto de cemento Portland.

Los crecientes costos de producción han estimulado a los ingenieros de carreteras a buscar nuevos métodos para rehabilitar las carpetas de las carreteras. Es aquí donde veremos con más detalle cómo se beneficia en muchos aspectos la rehabilitación por medio del reciclado de pavimentos¹⁷.

2.1 Cambio total en el pavimento.

Es necesaria la remoción del pavimento asfáltico cuando éste se encuentra deteriorado por completo, esto se debe a un total abandono por falta de mantenimiento al cabo de años de servicio a pesar de estar construídas sobre buenas bases. Sin embargo, al lado de estos pavimentos existen otros que son un verdadero fracaso, pues al poco tiempo de estar construídos se han destruído casi totalmente.

En muchos de estos casos no ha habido deficiencia por parte del pavimento, sino falta de control de la clase de vehículos que circulan por las carreteras, las cuales producen cargas que sobrepasan las del diseño del pavimento haciéndolos fallar.

2.2 Cambio de algunas capas del pavimento.

Se hace imprescindible el cambio de algunas capas del pavimento, cuando la base y la carpeta asfáltica se han deteriorado debido a los constantes esfuerzos a que son sometidos con el paso de los vehículos y los agentes atmosféricos.

¹⁷ World Highways. Road Magazine. Road Recycling. Vol.8. USA, 1999.

2.3 Aumento en el espesor de la carpeta de rodadura.

Cuando la capa de rodadura se deteriora es necesario aumentar su espesor, para darle a la carpeta asfáltica mayor vida útil y proporcionarle al conductor una mayor seguridad y comodidad. Es necesario aumentar el espesor de la capa de rodadura cuando se noten los siguientes deterioros:

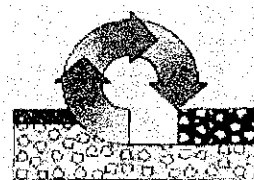
- Cuando sea necesario compensar los promontorios, las huellas de ruedas, los baches y demás irregularidades de la superficie.
- Cuando el pavimento empieza a hacerse cada vez más áspero, o muestra señales de brillantez.
- Cuando los pavimentos se encuentran resbalosos, brillantes y peligrosos en superficies iniciales de alta resistencia al patinaje y seguras.

Debe de tenerse mucho cuidado en proporcionarle la mayor adherencia posible a la capa existente con la nueva capa de rodadura, para evitar deslizamientos, generalmente se hace con los riegos de liga.

B. Reciclaje de pavimentos asfálticos

El reciclaje usualmente consiste en la remoción del pavimento en todo su espesor o en parte del mismo; la reducción del concreto asfáltico recobrado a un tamaño apropiado; la reelaboración del material reducido junto con mas agregado virgen, agregado de base recobrado, cemento asfáltico y/o rejuvenecedor de asfalto en una planta; y la reposición de la mezcla resultante como base, ligante o capa de superficie.

Fig. 1.7 Principio del reciclaje de un pavimento¹⁸



¹⁸ Figura Extraída del Manual Wirtgen. Germany, 1994.

La reutilización de pavimentos bituminosos se pueden dividir en tres tipos: de superficie, en frío y en caliente. El tipo de reciclaje que se puede seleccionar para un proyecto en particular depende de varios factores: el tipo de defecto en el pavimento existente, las propiedades de los materiales que se van a reciclar, el producto final, la disponibilidad de equipo y los costos iniciales.

El primer paso es establecer las probables causas de la falla. Se debe revisar los datos del diseño original y de su construcción. Se deben elaborar pruebas de campo, incluyendo medidas de deflección y muestras de cada capa que integra la estructura del pavimento existente con el objeto de ensayarlos en el laboratorio de suelos y poder así calcular el residuo estructural remanente. Los resultados son analizados para el propósito de decidir que alternativa de método de rehabilitación es el más apropiado.

La evaluación de cada opción debe basarse en los principios del diseño de pavimentos, y se deben tomar en consideración factores tales como el desempeño esperado del asfalto, repercusiones ambientales, volumen y peso del tráfico proyectado, geometría, y costos (tanto de rehabilitación como de mantenimiento).

En función del análisis de los resultados encontrados de los varios ensayos realizados a la estructura del pavimento existente se puede decidir el tipo de reciclaje a realizar en un pavimento dado de acuerdo a la disponibilidad económica y a algunos requerimientos mínimos tales como:

- Si del análisis estructural se obtiene que la estructura existente es insuficiente para soportar las exigencias del tránsito usuario, entonces debe realizarse un reforzamiento estructural ya sea agregándole un recapeo o

utilizando un reciclaje en frío, que pueda permitirle a la carretera crecer tanto espacial como estructuralmente.

- Si el deterioro se presenta a nivel de superficie y se comprueba que su capacidad estructural es adecuada, entonces se debe reforzar con un recapeo o sello asfáltico ya que la superficie perdió su capacidad de proteger la base de la erosión. En caso el espesor de la rodadura sea mayor a los 7 centímetros, entonces se puede realizar un reciclaje en caliente, ya que se trata de devolverle a la rodadura, la textura adecuada para el rodamiento¹⁹.

El asfalto contenido en los pavimentos antiguos es un recurso de mucho valor, debido a varios factores tales como la oxidación, el asfalto envejecido puede haber perdido algunas de sus propiedades originales, pero al ser combinado con asfalto nuevo vuelve a servir como un material ligante efectivo.

Como consecuencia de la reutilización del agregado y el asfalto de los pavimentos deteriorados, la necesidad de materiales nuevos es apreciablemente reducida y el costo de la rehabilitación del pavimento es menor.

1. Reciclaje en superficie

Generalmente se utiliza una máquina calentadora escarificadora para este tipo de operación. Se usa un sistema de calentamiento directo o indirecto para elevar la temperatura de la superficie del pavimento al nivel deseado. Después que el pavimento ha sido calentado, se escarifica al utilizar dientes de corte especiales hasta una profundidad aproximada de 2.54 cm. El material

¹⁹ Manual Wirtgen. Cold in Place Recycling Including Base Rehabilitation. Germany, 1994.

escarificado se puede volver a mezclar luego con una cantidad predeterminada de agente seleccionado de reutilización para obtener una mezcla con las características deseadas. Se puede agregar mezcla caliente nueva durante la operación de reutilización o después de esta para asegurar la calidad de la superficie. Este tipo de reciclaje debe usarse solamente en pavimentos que tengan defectos pequeños en la superficie. De esta forma se han corregido con efectividad problemas tales como superficies oxidadas, pequeñas rajaduras superficiales y problemas de menor importancia. En algunos casos, las operaciones de reciclaje de superficies pueden eliminar la necesidad de nivelar el pavimento y retrasan la aparición de agrietamiento reflectivo en pavimentos revestidos.

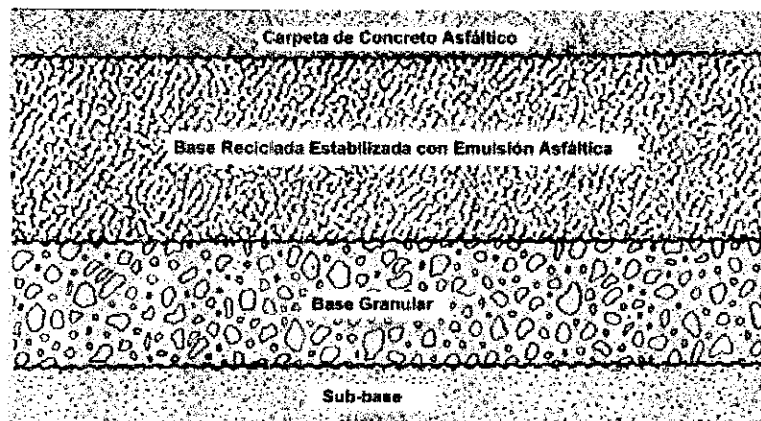


Fig. 1.8 Esquema de reciclaje de un pavimento asfáltico de superficie sobre una porción de base granular. (The Recycling Book. CMI corp. USA, 1980)

2. Reciclaje en Frío.

Este proceso implica generalmente una rehabilitación del pavimento en toda su profundidad y se lleva a cabo mediante una operación in-situ. El pavimento existente de asfalto se puede pulverizar en pequeños fragmentos al usar distintos tipos de equipo. Este asfalto se mezcla con parte de la base subyacente del agregado y luego con una cantidad predeterminada de agente seleccionado de reutilización y/o agente estabilizador adicional (generalmente

en forma de emulsión asfáltica). La adición y mezclado del agente estabilizador se pueden llevar a cabo en operaciones separadas, o en una sola operación utilizando una mezcladora diseñada especialmente para este fin. Después de ser bien mezclada, la mezcla reciclada en frío se vuelve a colocar y a compactar usando equipo convencional. Las mezclas de este tipo generalmente no están tan bien recubiertas como el material de mezcla caliente y su densidad será por lo general menor. Consecuentemente, las mezclas en frío no se usan generalmente para revestir superficies pero pueden funcionar en aplicaciones para bases.

El espesor de la carpeta y el procedimiento con que ésta se diseña es el mismo para una carpeta elaborada con cemento asfáltico. Y requiere que se tome en consideración los siguientes factores:

- Clasificación de tráfico, tipo de calle o carretera, o volumen y peso del tráfico.
- Soporte de las capas del pavimento (subrasante, sub-base y base).

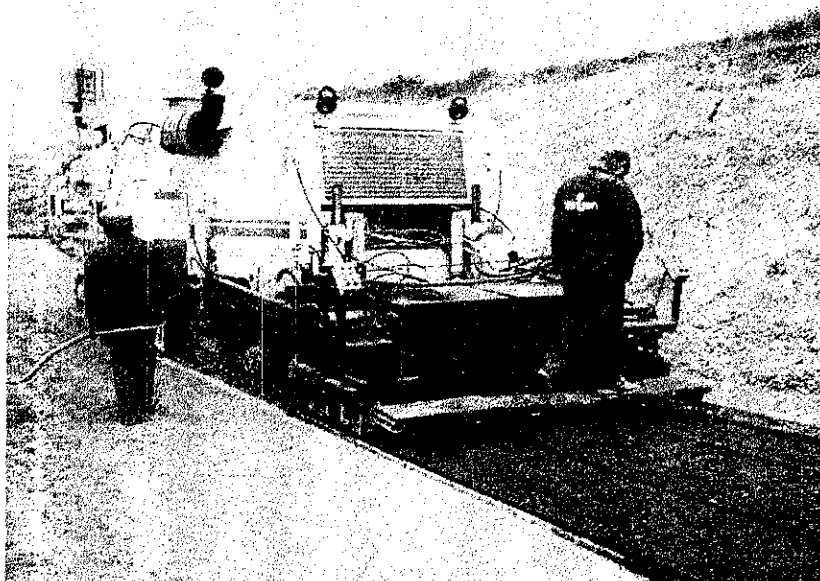


Fig. 1.9 Máquina recicladora en frío. (Asphalt Cold-Mix Recycling, Wirtgen. Germany, 1994)

3. Método constructivo

Al emplearse máquinas recicladoras para disgregar los pavimentos que comprenden carpetas y bases se requiere que hagan su trabajo en dos pasadas o trabajar en tandem con otra. La primera pasada de la máquina disgregará la carpeta dejando una granulometría gruesa dejando para la segunda pasada los siguientes objetivos:

- Disgregar más el material pétreo
- Incorporar y mezclar la emulsión asfáltica

A la mayoría de las máquinas se les pueden adaptar bombas dosificadoras de agua y emulsión, estas llevan los aditamentos computarizados necesarios para realizar la adición debidamente controlada, sin embargo hay que hacer su verificación ya que puede haber variaciones debido al avance tan lento que tiene la máquina y en algunas ocasiones se ha preferido incorporar el agua de premezclado y la emulsión empleando las petrolizadoras o esparcidoras de asfalto.

Se debe ensayar si esta cantidad de líquidos es suficiente para tener un compactado óptimo, ya que en algunas ocasiones es necesario agregar agua de premezclado después de la primera pasada de la máquina. Ésta humedad debe de estar determinada en el laboratorio, comprobada y ajustada en el campo, lo que influye en la determinación óptima de líquidos para tener la máxima compactación.

Realizando el mezclado, el tendido se hace utilizando la motoniveladora o patrol, de forma normal; es decir formando el camellón, repartiendo, compensando y tendiendo para dejar la mezcla lista para su compactación.

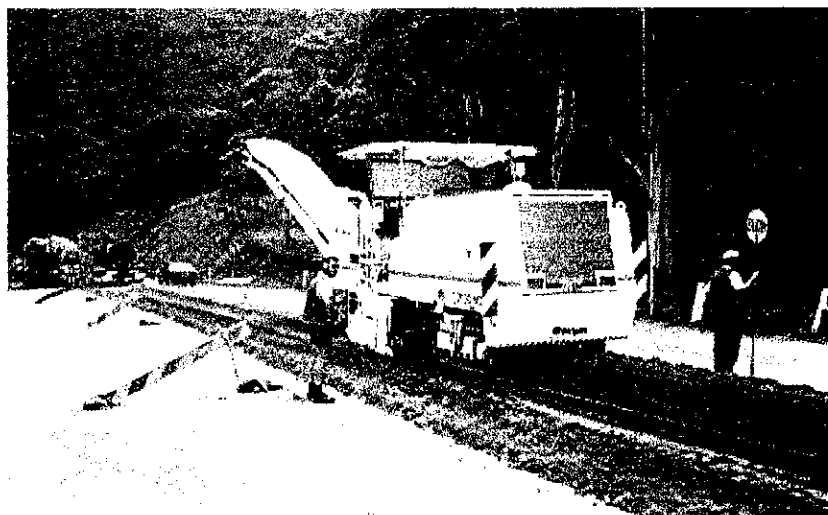


Fig. 1.10 El proceso se inicia con el escarificado, fresado y mezcla del material a recuperar.



Fig. 1.11 La disgregación del material recuperado se realiza con una motoniveladora, repartiendo, compensando y tendiendo para dejar la mezcla lista para su compactación.



Fig. 1.12 El proceso finaliza con una compactación.



Fig. 1.13 Con la tecnología con que se cuenta hoy en día, el proceso de escarificado, mezclado y tendido se puede realizar con una sola máquina.

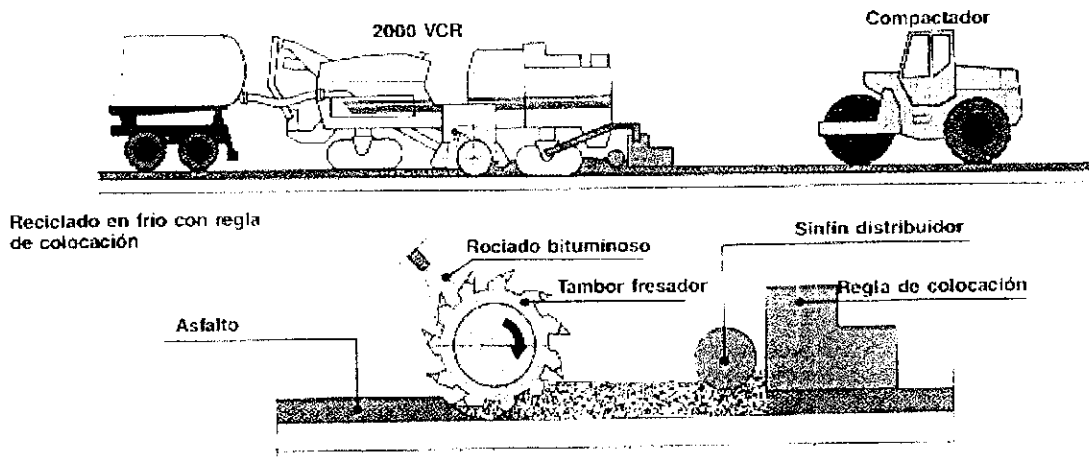


Fig. 1.14 Proceso de las máquinas con las que se cuentan hoy en día. (Manual Wirtgen. Reciclado en Frío y estabilización, Alemania, 1991)

4. Reciclaje en caliente

El reciclado en caliente es un proceso en el cual los materiales de la carpeta asfáltica recuperados, son combinados con nuevo asfalto, como sea necesario, en una planta central para producir mezclas de pavimentación calientes. El producto terminado cumple con todas las especificaciones y requerimientos de construcción para el tipo de mezcla producida.

Este proceso puede comprender rehabilitación de la profundidad parcial o total del pavimento. El material reaprovechado para una operación de reutilización en caliente se obtiene por lo general de una carretera existente.

La cinta asfáltica principal y/o los márgenes laterales se arrancan completos y los fragmentos se transportan a algún sitio central. Este material reaprovechado se puede almacenar para usarse en proyectos futuros o se puede procesar inmediatamente por medio de una operación normal de trituración que lo reduzca al tamaño apropiado para reutilización en caliente.

El pavimento triturado o molido se puede reprocesar luego junto con agregado virgen o un agente de reutilización a través de una planta de asfalto para producir nuevas mezclas para superficie. El producto final es usado como una base de asfalto de mezcla caliente, adhesivo o como una capa de superficie.

Un mayor beneficio del reciclado en caliente es obtenido si se le agrega asfalto al material granular no tratado en las capas inferiores a la estructura del pavimento y luego colocar el material. Este aumento en el espesor de las capas que están adheridas por asfalto aumenta la resistencia de la estructura del pavimento lo que aumenta su capacidad de carga de tráfico²⁰.

A pesar de que el equipo para el reciclaje en caliente es de un costo muy elevado, debe ser evaluado el factor costo-efectividad y tomado en consideración al ser planeada la rehabilitación de cualquier carretera.

Las pruebas de ensayo a efectuarse para este tipo de reciclado son las mismas que se elaborarían en el diseño de una mezcla de reciclado en frío, es decir, los ensayos de laboratorio para el pavimento asfáltico recuperado serían:

- Método Marshall

²⁰ Asphalt Hot-Mix Recycling. Asphalt Institute. Manual Series (MS-21). USA, 1986.

- Graduación del material
- Contenido de asfalto
- Viscosidad del asfalto a 60°C (140°F)

La mezcla del agregado recuperado y el nuevo debe cumplir con los criterios especificados de graduación (ASTM D 3515), además de revisar la resistencia de los agregados y el desvestimiento.

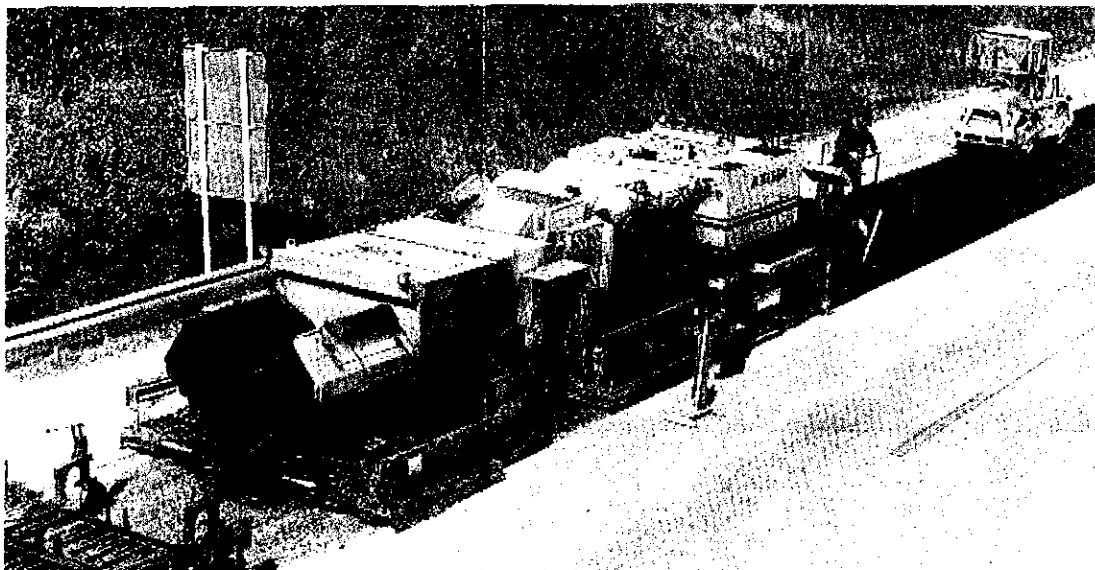


Fig. 1.11 Ejemplo de un trabajo de reciclado en caliente con un tren de reciclaje²¹.

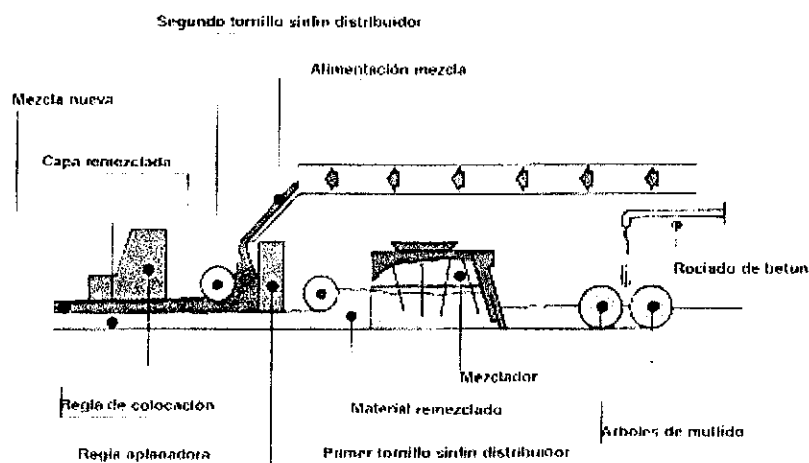


Fig. 1.12 Esquema del reciclaje en caliente con las máquinas actuales.²¹

²¹ Manual Wirtgen. Material and Process Principles for the Hot Recycling Process. Germany, 1994.

5. Remoción del pavimento

Éste método consiste en la escarificación del pavimento en todo su espesor, el acarreo del concreto asfáltico recobrado, a una planta central y la reducción de este material mediante una operación de trituración normal. Este tipo de remoción y reducción es utilizado únicamente cuando toda la superficie de rodadura del pavimento asfáltico debe de ser removida o cuando se encuentran problemas en la base existente.

6. Diseño de la mezcla

No existe universalmente un método para el diseño de la mezcla, pero en general, los ensayos de laboratorio, las fórmulas empíricas y la experiencia con proyectos similares son utilizados para establecer el contenido inicial de asfalto, con la intención de ajustarlo, si es necesario, después que la construcción haya iniciado.

Las propiedades principales de una mezcla bituminosa de pavimentación que se consideran como las de máxima importancia son la estabilidad y la durabilidad. Por "estabilidad" se entiende la propiedad de la mezcla compactada que le permite soportar esfuerzos que le impone el movimiento de la carga sobre ruedas sin sufrir una deformación considerable y permanente. La falta de estabilidad de una mezcla compactada ocasiona el desplazamiento del pavimento terminado, o surcos sobre éste.

"Durabilidad" es la propiedad de la mezcla compactada que le permite resistir los efectos perjudiciales de aire, agua y cambios de temperatura. Para que el

pavimento sea satisfactorio debe ser tanto durable como estable durante toda su vida útil.²²

Tanto la estabilidad como la durabilidad están íntimamente relacionadas a la densidad de la mezcla. Una mezcla densa tendrá un bajo porcentaje de vacíos, en tanto que una mezcla abierta, tendrá un porcentaje alto. Las arenas contribuyen a la estabilización rellenando los vacíos en los agregados gruesos. Este agente rellenedor de huecos llamado sellaporos o "filler" es de gran utilización siendo el polvo de piedra caliza el de mayor utilización. También se han utilizado con éxito como sella poros, el cemento Portland, el polvo de lava, los limos y otros materiales. Los materiales de mayor uso comercial empleados como tapaporos contienen una pequeña proporción que queda retenida en la malla No. 200.

En general, en la mayoría de las especificaciones, se requiere que cada uno de los agregados por separado: gruesos, finos y sellaporos y la combinación de todos ellos tengan una buena graduación de grueso a fino.

Además, una mezcla bien diseñada no va a mostrar falta de antiderrapante, característica que se asocia con un exceso de material bituminoso, aún cuando también pueda ser causada por los materiales que se vuelven excesivamente lisos pulidos bajo la acción del tránsito.

La clase y naturaleza del material bituminoso empleado afecta las propiedades de la mezcla bituminosa para pavimentación. Para las mezclas de planta que se colocan en caliente se pueden usar cualquiera de los grados de viscosidad del cemento asfáltico, desde AC-2.5 hasta AC-40. La elección del grado del asfalto depende de las condiciones del clima y otros factores.

²² Estructuración de Vías Terrestres. Fernando Olivera. 2da Ed. Mexico, 1998.

Otro factor básico que interviene en el pavimento bituminoso terminado es el grado de compactación de la mezcla. Se considera como aceptable un alto grado de compactación, ya que está asociado con la densidad y estabilidad altas. Sin embargo, la compactación no debe continuarse hasta que el agregado se rompa o se "degrade" bajo la acción del apisonamiento.

El elemento de diseño que resta por determinarse es entonces, el contenido bituminoso óptimo (por lo regular, asfalto como se vió en el capítulo 1.2.3.1). Es probable que este sea el factor simple más importante para el diseño satisfactorio de una mezcla bituminosa para pavimentación. El contenido bituminoso más deseable para muchas mezclas es aquel que llene de manera exacta los vacíos en la mezcla compactada. La cantidad de material bituminoso utilizado será tal que produzca una mezcla que tenga, por un lado, más de un cierto contenido mínimo de vacíos, y por el otro, menos de un cierto contenido máximo, usualmente entre el 3 y el 5%. La selección del máximo contenido de vacíos que puede permitirse estará basada en general en consideraciones de durabilidad; también, puede considerarse la permeabilidad al aire y al agua. Por ejemplo, el porcentaje de material bituminoso seleccionado para una mezcla dada, puede ser tal que la mezcla compactada tenga un porcentaje de vacíos que no será menor de dos ni mayor de cinco por ciento²³. Un requisito final, fundamental en el diseño de una mezcla es que ésta sea resistente, durable y además económica.

En el reciclaje de mezclas en caliente, el agregado del pavimento asfáltico recuperado es mezclado con el agregado nuevo, sí es requerido, para obtener la graduación necesaria para cumplir con las especificaciones requeridas. Una

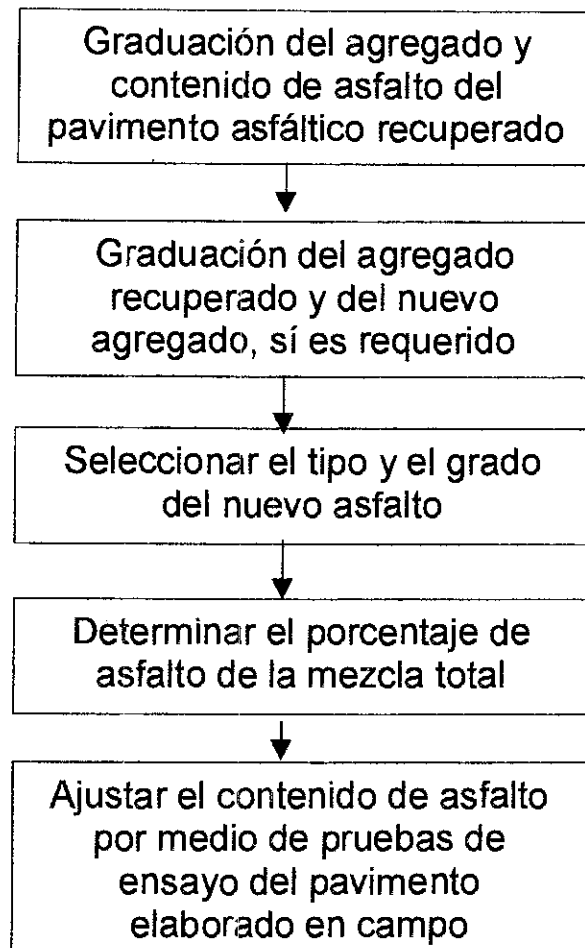
²³ Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes. Guatemala, 1975.

vez las proporciones son determinadas, el grado del nuevo asfalto es seleccionado. Una demanda total de asfalto es determinada. Los cálculos siguientes para los ajustes de la mezcla son hechos por medio de ensayos del proyecto en campo. La utilización de agregado nuevo no es comunmente requerido.

En resumen, los objetivos del diseño de mezclas para la pavimentación con asfalto son seleccionar y proporcionar materiales que produzcan una mezcla que tenga:

- Suficiente asfalto para asegurar un pavimento durable.
- Suficiente estabilidad de la mezcla para cumplir con las exigencias del tránsito sin distorsión o desplazamiento.
- Suficientes vacíos en la mezcla totalmente compactada para permitir un ligero aumento de la compactación adicional por el tránsito sin que haya ensanchamiento ni pérdida de la estabilidad y, que sea suficientemente baja para evitar la entrada de aire y humedad.
- Suficiente trabajabilidad para permitir la colocación eficiente de la mezcla sin segregación.

Flujograma para el procedimiento de diseño de una mezcla con pavimento recuperado



7. Maquinaria empleada en reciclado

En la actualidad hay una lista bastante extensa de la maquinaria utilizada para el reciclado, tanto americanas como europeas, tales como Wirtgen, Caterpillar, CMI, etc. Sin embargo, en Latinoamérica en general hay preferencia por las marcas Wirtgen 2100 DCR o 1000 CR y Caterpillar R-250, R-350 y la RM-350. Ésta preferencia está basada en la experiencia que se tiene en la construcción de caminos con ésta maquinaria, que tiene un servicio de repuestos en cada ciudad importante de cada país.

El constructor prefiere tener una maquinaria igual o parecida a cualquier otra en el mercado, pero que tenga la garantía de tener repuestos cuando se requieran localmente o en la menor cantidad de tiempo posible. También cuenta el hecho que las empresas tienen un patrimonio técnico basado en el personal que conoce estas máquinas²⁴.



Fig. 3.1 La maquinaria utilizada en la actualidad es de una ventaja muy grande ya que puede ejecutar los procesos de reciclado en una sola pasada. (Manual Wirtgen. Cold in Place Recycling including Base Rehabilitation. Germany, 1994)

C. Control de calidad

Para obtener un buen control de calidad en cualquier mezcla asfáltica es necesario contar con ensayos y pruebas de laboratorio que reflejen resultados óptimos en el diseño. La metodología en el diseño de la mezcla puede ser de la siguiente manera:

A. 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.

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

B. Determinación de las siguientes propiedades:

²⁴ Reciclado de Pavimentos en Frío. Gustavo Rivera. México, 1997.

- Peso Volumétrico compacto
 - Peso volumétrico suelto
 - Equivalente de arena
 - Límites de Atterberg
 - Granulometría húmeda
 - Contenido de asfalto en el material recuperado
- C. Determinación teórica del asfalto óptimo para el material de recuperación.
Esta determinación se puede realizar empleando el método del Instituto de Asfalto, como se mencionó con anterioridad.
- D. Determinación del tipo de emulsión que se va a emplear. Se recomienda emplear emulsiones del tipo catiónico de rompimiento medio o lento, que permite que el agua contenida en la mezcla drene libremente.
- E. Determinación del agua de premezclado, en caso se requiera.

1. Pruebas de laboratorio

No hay un ensayo aceptado oficialmente por alguna institución, pero en éste caso nos vamos a referir al Método Marshall Modificado. Este método ayudará a determinar el contenido óptimo teórico de asfalto, peso volumétrico máximo compacto y su comportamiento en un medio humedo.

Las pruebas de ensayo se deben realizar con un mínimo de cinco ejemplares por kilómetro, o en las secciones donde la carretera muestre diferencias significativas en la composición del material, los mismos deben ser examinados por separado.



Fig. 1.10 Para obtener un buen control de calidad en cualquier mezcla asfáltica es necesario contar con ensayos y pruebas de laboratorio que reflejen resultados óptimos en el diseño.
(Wirtgen Manual. Germany, 1994)

2. Método Marshall (modificado)

La modificación de este método aplicable originalmente a concretos asfálticos tiene el propósito de adaptar el mismo para el reciclado y estabilización de pavimento, eliminando al mismo tiempo variaciones que afectan los resultados, y así acelerar el tiempo de ensayo.

Se tiene que recordar que **NO** hay especificaciones que indiquen los valores mínimos de resistencia que se deben de determinar empleando cualquiera de los métodos anteriormente mencionados; por lo que este ensayo nos determinará únicamente el porcentaje óptimo de asfalto por agregar, densidad máxima y su comportamiento en un medio húmedo.

Teniendo los datos que se requieren en todos los casos del ensayo, se procede a realizar los siguientes pasos:

- Determinación de la emulsión más adecuada
- Determinación del contenido de agua de premezclado si se requiere

En éste caso hay que ensayar varios tipos de emulsiones, con el objeto de escoger la que mejor trabaje, todas las emulsiones que se ensayen deben tener un contenido óptimo de asfalto conocido que es el que se empleará para determinar el óptimo de asfalto teóricamente.

Al inicio los ensayos se harán empleando la emulsión directamente con el agregado SIN adicionar el agua de premezclado y se determinará el tipo de emulsión con la que se obtiene la mejor distribución y cubrimiento. Esto nos indicará si es necesario el agua de prehumectación o si se cuenta con una emulsión capaz de mezclar y cubrir el material de recuperación. Si no se tiene una buena distribución y cubrimiento, se escogerá la que haya sido la mejor en su distribución y cubrimiento, entonces se procederá a determinar el agua de prehumectación que se requiera para mejorar su comportamiento en la mezcla. Normalmente éste porcentaje está entre el 2.5 al 3.0% con respecto al peso del material pétreo, el procedimiento correspondiente se explica con mayor grado de detalle más adelante en la sección 3.3.7.

Para la mezcla con el material bituminoso, la humedad contenida en el material reciclado debe ser de 4-6% para provocar que la emulsión asfáltica haga espuma y de esta manera ayude al revestimiento del agregado.

Originalmente el método indica que se debe de buscar el contenido óptimo del agua para tener la máxima compactación, pero en este caso los ensayos se van a simplificar evaporando a peso constante el agua contenida en la mezcla en un horno a 60° C durante 48 horas. Asimismo después de agregar el contenido de emulsión en el porcentaje a ser evaluado al agregado humedecido, el mismo es compactado a 75 golpes por cara para simular la

compactación que se va a tener en el campo²⁵. El número de golpes varía con las especificaciones del Manual del Instituto de Asfalto MS-19 ,que menciona 50 golpes, pero en la práctica en Guatemala se utilizan 75.

Si se requiere de nuevo agregado para corregir la graduación del agregado recuperado o para incrementar el espesor del pavimento a reciclar, la calidad de éste no debe ser menor de la del material recuperado (ASTM C136).

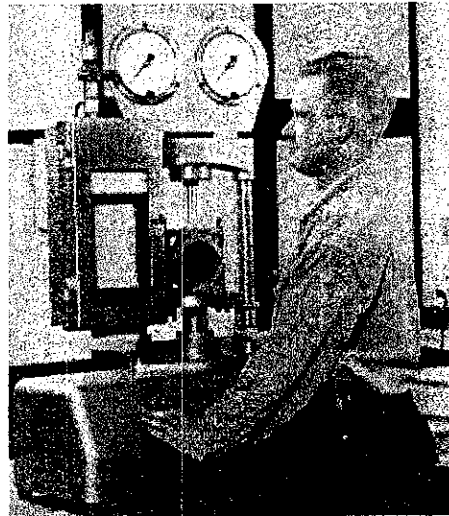


Fig. 3.2 La estabilidad de los especímenes es medida en el laboratorio mediante el método de Marshall modificado. (Wirtgen Manual. Reciclado en frío. Alemania, 1991)

3. Preparación de la mezcla para los especímenes

Las mezclas se preparan empleando cada uno de los contenidos de emulsión a ser evaluados, usualmente el contenido óptimo es determinado en función de la graduación del material y con variaciones de +1% y -1% en dicho contenido y de acuerdo al peso unitario aproximado precalculado +10% de desperdicio.

Se deben preparar tres especímenes para cada contenido de emulsión a ser evaluado. Generalmente, tres incrementos en el contenido de emulsión por una separación de uno por ciento son suficientes para definir la estabilidad (densidad)/ contenido de agua en la curva de compactación.

²⁵ Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. (SP-1) USA, 1997.

Las mezclas elaboradas se dejarán 24 horas en reposo para lograr el curado necesario y que el asfalto emulsionado desarrolle la cohesión y adhesividad como ligante.

El tiempo de curado debe ser de 24 horas a temperatura ambiente con los moldes horizontales para ventilar uniformemente de ambos lados y para poder eliminar el agua contenida de la prehumectación y la que aporta la emulsión (ASTM D 1188 o D 2726).

El compactado será a 50 o 75 golpes en cada cara, empleando el molde Marshall con su propio pisón con un peso de 10 libras y una caída de 18 pulgadas.

Después de un período de reposo para enfriar ligeramente el espécimen, se extrae del molde y se mide la altura y diámetro promedios (4 lecturas) anotando estos valores en la hoja de registro con aproximación de 1.0 mm; en seguida se verifica la relación altura vs. Diámetro que deberá tener una relación aproximada de 1:1.25²⁶.

Se determina el peso específico o volumétrico de cada uno de los especímenes correspondientes a cada contenido de asfalto mediante el método de inmersión en agua.

Se probarán a la compresión los especímenes que deben estar a la temperatura ambiente ($22.2^{\circ}\text{C} \pm 1.1^{\circ}\text{C}$) y se colocan centrado en la máquina de Estabilidad Marshall, aplicando a continuación una carga inicial de 10 kg; se instala el extensómetro y se pone en cero, después de lo cual se somete a la prueba de compresión, aplicando la carga a una velocidad uniforme para obtener una deformación vertical de cincuenta milímetros (50 mm) por minuto,

²⁶ Asphalt Overlays and Pavement Rehabilitation (MS-17). The Asphalt Institute. USA, 1997.

hasta alcanzar la mayor carga que resista el espécimen y se anotará como PI en kilogramos.

Al presentarse esta carga máxima también se registrará la lectura que marca el extensómetro como flujo FI. Igualmente como en el primero se hace en los dos especímenes restantes, con el mismo contenido de asfalto para tener tres valores y poder obtener un promedio confiable.

Esta operación se realiza con todos los especímenes elaborados con los diferentes porcentajes de emulsión seleccionados. Determinados los valores de estabilidad, densidad y flujo de cada una de las series, se procede a graficarlos y se determinará el porcentaje óptimo práctico que se deberá emplear²⁷.

4. Ensayos que se proponen

El material de recuperación o reciclado, debe ser tratado como una materia de base de alta calidad, entonces las pruebas que se apliquen para diseñar la mezcla, deben de ser mínimas ya que se trata de conocer unicamente los valores soportes de la mezcla.

Si se trata de un material con una granulometría que está dentro de los parámetros de las envolventes para base, no puede ser diseñado totalmente por el método Marshall, sino que tendrá que combinarse con otros para determinar sus características completas.

Se puede evaluar la mezcla al emplear cualquier método para diseñar las bases asfálticas.

Hay algunos casos en el que el disgregado del material pétreo recuperado es muy bueno y se logra una granulometría muy cercana a la envolvente para

²⁷ Asphalt Overlays and Pavement Rehabilitation (MS-17). The Asphalt Institute. USA, 1997

carpeta, entonces si se podrá emplear el Método Marshall para determinar el contenido de emulsión o el residuo de cemento asfáltico óptimo (CA opt.) por agregar.

Sin embargo no se debe de considerar un método de diseño, sino un ensayo auxiliar en este contexto.

5. Prueba de pérdida de estabilidad por inmersión

Los especímenes elaborados con los mismos porcentajes de la series ensayadas en seco, se someten a inmersión durante 2 horas a temperatura ambiente, una a 100mm de Hg y la otra dejándola lentamente al vacío hasta llegar a presión ambiente (1 Atm). Después de transcurrido este tiempo se sacan de las tinas y se dejan escurrir, se seca el agua en exceso y se prueban en la máquina de compresión de igual forma que se hizo con los secos.

Para que se considere que un proyecto de mezcla es correcto, la pérdida de estabilidad por inmersión usualmente no debe ser mayor al 25%, aunque el Instituto de Asfalto acepta el 50% respecto del obtenido en seco. Por lo que se seleccionará el porcentaje de asfalto cuyo valor de estabilidad cumpla con este parámetro.

6. Determinación del contenido práctico de emulsión.

Para determinar el contenido óptimo teórico de emulsión, se pueden emplear los métodos del Instituto del Asfalto.

$$\%E = \%CA / \% \text{ Residuo de la emulsión}$$

Las cantidades de ligante asfáltico que se van a emplear para los ensayos son:

% CA óptimo teórico y

% CA op. Teórico + 0.5 %; + 1.0 %; - 0.5%; - 1.0%

Como ya habíamos comentado anteriormente en el capítulo 1.2.2.3 referente a emulsiones asfálticas, la trabajabilidad del asfalto es de mucha importancia para el recubrimiento del agregado, es por eso que necesitamos disminuir su viscosidad o consistencia emulsificándolo. Para seleccionar la emulsión adecuada, los ensayos de laboratorio son indispensables, es decir, NO existe un buen sustituto para la evaluación de laboratorio de la emulsión y el agregado a ser utilizados.

7. Determinación de la humedad óptima de mezclado

Ésta se determinará haciendo pruebas de mezclado empleando el % óptimo teórico de emulsión previamente calculada (% E op. Teo.) con diferentes cantidades de agua agregada al material pétreo. Se escogerá aquella que presente el mejor cubrimiento, apariencia y trabajabilidad de la mezcla.

Con el agua óptima de mezclados se elaborarán tres especímenes de cada uno de los porcentajes de emulsión que se mencionan en el párrafo anterior.

Se determina el peso aproximado del material pétreo que pasa la malla 25 mm., necesario para elaborar cada uno de los especímenes para lo cual se tomará aproximadamente el peso volumétrico compacto de un espécimen de 10.16 cm, de diámetro y 12.7 cm de altura con un volumen de 81.03 cm³.

Si el PV comp.: = 1900 kg/m³; peso del espécimen = 15,400 kg

= 2000 " ; " " " = 16,206 kg

= 2100 " ; " " " = 17,000 kg

= 2200 " ; " " " = 17,826 kg

Se debe hacer la corrección de +25% dado que la mezcla está húmeda y su peso volumétrico es menor.

No toda el agua es compatible con los asfaltos a emulsificar, es por esto que se debe muestrear el agua existente para ser mezclada con la emulsión en la misma cantidad que se utilizará en el pavimento a reciclar. Si un efecto adverso se indica, una nueva fuente de agua debe ser buscada.

Únicamente los grados lentos de fraguado y grados medios de emulsiones aniónicas requieren de humedad para ser mezcladas. Los grados de emulsiones " HFMS y la CMS-2 y 2h " contienen una cantidad de destilados de petróleo. Estos productos tienen un mejor rendimiento con agregados secos²⁸.

V. Ventajas del reciclaje

El reciclaje como medio para la rehabilitación de pavimentos asfálticos ofrece muchas ventajas, entre estas las más obvias son la reutilización de materiales, la conservación de energía y una reducción en el tiempo de ejecución.

A. Reutilización de materiales

Un enorme beneficio en el reciclaje es la conservación de los recursos naturales, debido a que los materiales vírgenes no son extraídos en grandes cantidades como lo son cuando no se utiliza el reciclaje, es decir, tanto la mezcla asfáltica como sus agregados vírgenes son conservados en todo proyecto de reciclaje.

²⁸ Estructuración de Vías Terrestres. Fernando Oliviera. México, 1998.

B. Conservación de Energía

Un factor al que no se le había dado mucha importancia a través de los años es el consumo de energía. Esta situación está cambiando últimamente, ya que es de gran importancia la determinación del consumo de energía en los proyectos de rehabilitación. El reciclaje puede conservar considerables cantidades de energía, más que todo en lo que respecta a la distancia del acarreo del agregado virgen, la cantidad de cemento asfáltico nuevo requerido y la distancia del acarreo del cemento asfáltico. Estos factores constituirán principalmente el ahorro de energía en comparación a un proyecto de rehabilitación corriente.

C. Reducción en el tiempo de ejecución

Otro factor muy importante y muy beneficioso en cualquier tipo de rehabilitación de pavimentos es el tiempo de ejecución. El reciclaje da como resultado una reducción considerable en el tiempo para la rehabilitación de pavimentos lo cual conlleva a una mayor eficiencia y una reducción de costos.

En la mayoría de los proyectos, el costo total es la primera consideración en la selección en el método de rehabilitación que se ha de emplear. Para que se pueda implementar un proyecto de reciclaje, este tiene que ser el método más económico de las alternativas a considerar.

El reaprovechamiento de los materiales, tanto como la reducción en el tiempo de ejecución y el ahorro de energía, dan como resultado un ahorro del 15 al 60%, dato reportado por agencias gubernamentales de distintos países, en un

estudio comparativo entre los costos del reciclaje y otras alternativas de rehabilitación²⁹.

Otros beneficios obtenidos por el reciclaje de pavimentos pueden ser:

- Mejoramientos estructurales significativos con poco o nada de cambio en el espesor de la carpeta.
- No es necesario un derecho de vía adicional
- Problemas en las capas inferiores pueden ser corregidos
- Deficiencias existentes en la mezcla original pueden ser corregidas.
- Una minoría sustancial en la cantidad de problemas a enfrentar en la rehabilitación.

²⁹ Transportation Research Record No. 1427. Asphalt Concrete Recycling. Washington, USA,

Conclusiones

1. La utilidad de un pavimento se puede prolongar mediante un mantenimiento adecuado y oportuno. Pero con el tiempo, hasta el pavimento mejor mantenido comenzará a deteriorarse y será necesario rehabilitarlo.
2. El tipo de reciclaje que se puede seleccionar para un proyecto en particular depende de varios factores, tales como el tipo de defecto en el pavimento existente, las propiedades de los materiales que se van a reciclar, el producto final, la disponibilidad de equipo y los costos.
3. La evaluación de cada opción debe basarse en los principios de pavimentos, y se debe tomar en consideración factores tales como el desempeño esperado del asfalto, repercusiones ambientales, volumen y peso del tráfico proyectado, geometría, y costos de rehabilitación y mantenimiento.
4. El reciclaje en frío implica generalmente una rehabilitación de la carpeta asfáltica y la capa de base en toda su profundidad mediante una operación in-situ. Las mezclas en frío no se usan para revestir superficies pero pueden funcionar en aplicaciones para bases, tales como su estabilización, logrando así una mayor rigidización, o mejora estructural.
5. Los objetivos del diseño de mezclas para la pavimentación con asfalto son seleccionar y proporcionar materiales que produzcan una mezcla que tenga:
 - Suficiente asfalto para asegurar un pavimento durable.
 - Suficiente estabilidad de la mezcla para cumplir con las exigencias del tránsito sin distorsión o desplazamiento.
 - Suficientes vacíos en la mezcla totalmente compactada para permitir un ligero aumento de la compactación adicional por el tránsito sin que haya ensanchamiento ni pérdida de la estabilidad y, que sea suficientemente baja para evitar la entrada de aire y humedad.

- Suficiente trabajabilidad para permitir la colocación eficiente de la mezcla sin segregación.
6. El reciclaje da como resultado una reducción considerable en el tiempo para la rehabilitación de pavimentos lo cual conlleva a una mayor eficiencia y una reducción de costo inicial. El reaprovechamiento de los materiales, así como la reducción en el tiempo de ejecución y el ahorro de energía, dan como resultado un ahorro en los costos iniciales de reconstrucción del 15 al 60%.

Recomendaciones

1. Para plantear soluciones de rehabilitación de pavimentos se debe considerar inicialmente el reciclado del pavimento existente.
2. La selección del método de rehabilitación debe efectuarse en base a un análisis económico para todo el período de diseño.
3. Para evitar gastos prematuro de reconstrucción se deben efectuar operaciones constantes de mantenimiento.
4. La selección del tipo de emulsión para trabajos de reciclado debe hacerse de acuerdo a las características minerales de los agregados existentes.
5. Para la definición de las proporciones del diseño de una mezcla asfáltica se debe tener en cuenta la evaluación de su rigidez, la cual deberá estar de acuerdo al espesor de la carpeta y a la exigencia estructural que el diseñador le asigne dentro de las capas de un pavimento.
6. Para obtener un buen control de calidad en cualquier mezcla asfáltica se deberá contar con ensayos y pruebas de laboratorio que reflejen resultados óptimos en el diseño para lo cual se recomienda utilizar el método Marshall, ya que es el utilizado por la AASHTO.

Bibliografía

1. **Reciclado de Pavimentos en Frío empleando emulsiones asfálticas catiónicas.** Gustavo Rivera E. Editorial Alfa omega. México, 1997.
2. **Transportation Research Record, No. 1427.** Materials and Construction. Asphalt Concrete Recycling. Transportation Research Board. Washington, D.C. 1993.
3. **Ingeniería de Carreteras.** Paul H. Wright. 5ta. Edición. Editorial Limusa. México, 1999.
4. **Estructuración de Vías Terrestres.** Fernando Olivera Bustamante. Segunda Edición. Editorial CECSA. México, 1998,
5. **Emulsiones Asfálticas.** Gustavo Rivera E. 4ta. Edición. Editorial Alfaomega. México, 1998.
6. **Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes.** Dirección General de Caminos. Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas. República de Guatemala, 1975.
7. **Diccionario de Ingeniería de Caminos.** L. Morrilla Abad. Editorial Pirámide. España, 1979.
8. **World Highways.** Roads Magazine. Road Recycling. Vol. 8, issue No. 4. USA, May/June, 1999.
9. **Manual Wirtgen Cold Recycling.** The Method, the equipment and its application. Germany, 1994.
10. **Manual Wirtgen, Reciclado en frío y estabilización.** Germany, 1991.
11. **Manual Wirtgen, Material and Process Procedure Principles for The Hot Recycling Process.** Germany, 1994.
12. **Manual Wirtgen, Cold in Place recycling including base rehabilitation.** An economic and environmentally friendly construction process. Germany, 1994.
13. **Performance Graded Asphalt Binder Specification and testing.** The Asphalt Institute. Superpave Series N.1 (SP-1). USA, 1997.
14. **Asphalt Overlays and Pavement Rehabilitation (MS-17).** The Asphalt Institute. USA, 1996.
15. **The Recycling Book.** CMI Corporation. USA, 1980.
16. **Asphalt Cold-Mix Recycling.** Asphalt Institute. Manual Series No. 21 (MS-21). USA, 1983.
17. **Asphalt Hot-Mix Recycling.** Asphalt Institute. Manual Series (MS-21). USA, 1986.
18. **Reciclaie de Pavimentos Asfálticos.** Gustavo Adolfo Cancinos Sazo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Noviembre, 1981.

ANEXOS

Aplicaciones en Guatemala

1. Tramo de Autopista Villalobos-Villanueva

Método de rehabilitación: Reciclado en Frío

Constructora ejecutora: Conasa

Longitud: 17 Kilómetros

Detalles: El tramo reciclado fue en sus 4 carriles, los cuales originalmente tenían una carpeta en caliente.

Por cuestión económica se decidió reciclar en frío in-situ, con un mezclado, perfilado y colocado con patroles.

Se colocó una base estabilizada con emulsión asfáltica.

2. Tramo San Lucas Sacatepequez- Antigua Guatemala

Método de rehabilitación: Reciclado en Frío

Constructora ejecutora: Asfaltex

Longitud: 15 Kilómetros

Detalles: El tramo reciclado fue unicamente en el carril derecho, el cual originalmente era una carpeta en caliente.

La decisión del reciclado en frío fue por cuestiones económicas.

El mezclado, perfilado y colocado fue por medio de patroles.

Se colocó una base estabilizada con emulsión asfáltica.

3. Tramo San Lucas Sacatepequez- San Raymundo

Método de rehabilitación: Reciclado en frío

Constructora ejecutora: Asfaltex

Longitud: 14 Kilómetros

Detalles: El tramo reciclado fue en sus dos carriles. Estos originalmente tenían una carpeta en caliente.

La decisión del reciclado en frío se tomó por cuestiones económicas.

El mezclado, perfilado y colocado fue hecho con motoniveladoras dejando una base estabilizada con emulsión asfáltica.

4. Tramo Km 74-120 CA-8 Oriente

Método de rehabilitación: Reciclado en frío

Constructora ejecutora: Mapreco

Longitud: 46 Kilómetros

Detalles: El tramo reciclado fue en sus dos carriles, los cuales originalmente tenían un doble tratamiento y se dejó una carpeta en caliente.

La decisión del reciclado en frío se tomó por cuestiones económicas.

El mezclado, perfilado y colocado fue hecho con motoniveladoras dejando una base estabilizada con emulsión asfáltica.

5. Tramo Km 74-166 CA-1 Oriente

Método de rehabilitación: Reciclado en frío

Constructora ejecutora: Sigma Constructores

Longitud: 93 Kilómetros

Detalles: El tramo reciclado fue en sus dos carriles, los cuales originalmente tenían un doble tratamiento y se dejó una carpeta en caliente.

La decisión del reciclado en frío se tomó por cuestiones económicas.

El perfilamiento, mezcla y colocación de la mezcla se realizó con una recicladora Wirtgen 2100 DCR. Dejando una base estabilizada con emulsión asfáltica.

6. Tramo Rio Hondo- Aguacaliente (frontera con Honduras)

Método de rehabilitación: Reciclado en frío

Constructora ejecutora: ICA

Longitud: 116 Kilómetros

Detalles: El tramo reciclado fue en sus dos carriles. Estos originalmente tenían un doble tratamiento y se dejó carpeta en caliente.

La decisión del reciclado en frío se tomó por cuestiones económicas.

Se utilizó recicladora RR-250 para el escarificado. El mezclado, perfilado y colocado fue hecho con motoniveladoras dejando una base estabilizada con cemento.

7. Tramo Popoyá – Nahualate CA-2 Occidente

Método de rehabilitación: Reciclado en frío

Constructora ejecutora: Cogefar

Longitud: 60 Kilómetros

Detalles: El tramo reciclado fue en sus dos carriles. Estos originalmente tenían una carpeta en caliente.

La decisión del reciclado en frío se tomó por cuestiones económicas.

El mezclado, perfilado y colocado fue hecho con motoniveladoras dejando una base estabilizada con emulsión asfáltica.

8. Tramo El Rancho – Rio Hondo CA-9 Oriente

Método de rehabilitación: Reciclado en frío

Constructora ejecutora: Conasa

Longitud: 46 Kilómetros

Detalles: El tramo reciclado fue en sus dos carriles. Estos originalmente tenían una carpeta en caliente y se dejó carpeta en caliente.

La decisión del reciclado en frío se tomó por cuestiones económicas.

El mezclado, perfilado y colocado fue hecho con motoniveladoras dejando una base estabilizada con cemento.

9. Pista Aeropuerto La Aurora

Método de rehabilitación: Reciclado en caliente

Constructora ejecutora: Sigma Constructores

Longitud: 3 Kilómetros por 60 metros de ancho

Detalles: La velocidad para ejecutar este proyecto y el hecho de que no se puede cerrar al tránsito durante su rehabilitación es la razón principal por la que se decidió realizar el reciclado en caliente.

La rehabilitación se realizó sobre una carpeta de aproximadamente 60 cms. (espesor variable en el tramo). Se reciclaron los primeros 7 centímetros de ésta y se dejaron 10 centímetros reciclados.

Éste es el único trabajo de rehabilitación con reciclado en caliente que se ha realizado en Guatemala, debido al alto costo en su ejecución.

Nota:

Todos estos proyectos han respondido en su mayoría a las expectativas de diseño, el cual en promedio es para un período de vida de 5 años.