

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

***RECOMENDACIONES PARA UNA CORRECTA
FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA
EN CALIENTE PARA LA UTILIZACIÓN DE PROYECTOS
DE BACHEO***

Pablo Armando Artiga Ockelman

Guatemala

2,004

***RECOMENDACIONES PARA UNA CORRECTA
FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLA
ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA LA UTILIZACIÓN DE
PROYECTOS DE BACHEO***

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

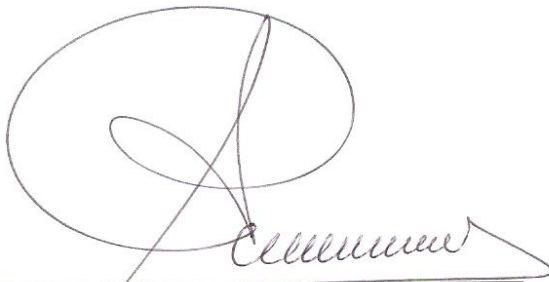
***RECOMENDACIONES PARA UNA CORRECTA
FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA
EN CALIENTE PARA LA UTILIZACIÓN DE PROYECTOS DE
BACHEO***

Trabajo de investigación presentado por Pablo Armando
Artiga Ockelman para optar para el grado de Licenciado en
Ingeniería Civil

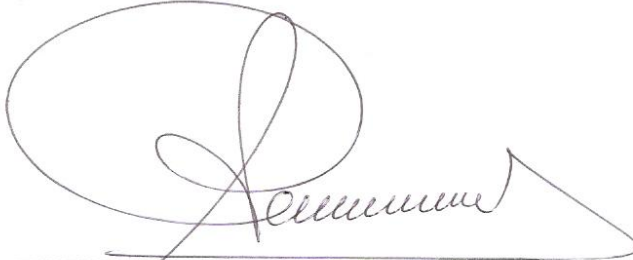
Guatemala

2,004

Vo. Bo.

(f) 
Ing. Roberto Wohlers

Tribunal:

(f) 
Ing. Roberto Wohlers

(f) 
Ing. Franklin Matzdorf

(f) 
Ing. Carlos Jeréz

Fecha de graduación: 23 julio de 2004

RESUMEN

Este es un trabajo de investigación realizado con el propósito de crear una guía práctica y concisa, sobre el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente y su correcta colocación en proyectos de bacheo. Se incluye una completa descripción de los materiales adecuados para hacer una mezcla eficiente, así como el equipo necesario para su colocación. Además están enumerados los problemas más comunes en los pavimentos flexibles como su solución para cada caso descrito. Como parte vital de la investigación se recomienda un estudio previo del tipo de tráfico y las condiciones de la base donde se estarán haciendo las reparaciones, pues solo así se hará una mezcla que se acople a las exigencias del tramo y así se garantizará una mayor vida útil a la carretera y por ende una mayor economía.

INDICE

RESUMEN.....	4
LISTA DE CUADROS.....	7
LISTA DE GRAFICOS.....	8

Capítulos	Página
I. INTRODUCCION.....	1
II. MATERIALES.....	3
2.1 Requisitos de los materiales.....	3
2.2 Agregados.....	3
2.3 Requerimientos para la mezcla asfáltica.....	4
2.4 Agregados minerales gruesos.....	6
2.5 Agregado minerales fino.....	6
2.6 Relleno mineral (Filler).....	7
2.7 Asfaltos.....	9
2.8 Capas de imprimación.....	11
2.9 Capas de pega	12
2.10 Capas de sello.....	13
2.11 Material asfáltico.....	16
2.12 Procedimientos para el diseño de mezclas asfálticas.....	17
2.13 Preparación de mezclas asfálticas en caliente.....	19

III. COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA	
EN CALIENTE	21
3.1 Deformación permanente.....	21
3.2 Fisuración por fatiga.....	25
3.3 Fisuración por baja temperatura.....	28
3.4 Almacenamiento de las mezclas asfálticas en caliente.....	29
IV. EQUIPO.....	31
4.1 Compresores de aire.....	31
4.2 Compactadoras.....	31
4.3 Rodos Vibratorios.....	32
4.4 Compactador de impacto.....	32
4.5 Cortadora de asfalto.....	32
4.6 Raspador o raedera de aluminio.....	33
4.7 Palas, piochas y carretillas.....	33
V. PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LOS PAVIMENTOS	
ASFÁLTICOS Y SU CORRECTA SOLUCIÓN.....	34
5.1 Baches.....	34
5.2 Agrietamientos.....	41
5.3 Ahuellamientos.....	47

5.4 Ondulaciones y combaduras.....	48
5.5 Exudación o afloración de asfalto.....	50
5.6 Agregados Pulidos.....	52
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	55

LISTA DE CUADROS

Tabla	Página
1. Granulometría de agregados para concreto asfáltico.....	3
2. Tolerancias admitidas para las mezclas.....	4
3. Criterio para el diseño Marshall.....	5
4. Vacíos en el agregado mineral.....	5
5. Granulometría del filler.....	7
6. Proporciones aproximadas para los sellos de lechada de emulsión asfáltica.....	14
7. Graduación Típica del agregado para sellos de lechada.....	15
8. Especificaciones del cemento asfáltico.....	17

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura	Página
1. Estabilidad Marshall.....	18
2. Ahuellamiento de una subrasante débil.....	22
3. Ahuellamiento de una mezcla débil.....	23
4. Contribución del ligante asfáltico a la resistencia por corte de mezcla.....	24
5. Contribución del agregado a la resistencia por corte de la mezcla.....	25
6. Compresores de aire.....	31
7. Compactadoras.....	31
8. Rodos Vibratorios.....	32
9. Compactador de Impacto.....	32

10. Cortadora de asfalto.....	32
11. Raspador o raedera de aluminio.....	33
12. Palas, piochas y carretillas.....	33
13. Bache.....	34
14. Bache sin tratar.....	37
15. Cuadrando el bache hasta alcanzar apoyo firme.....	37
16. Limpieza del hueco de material suelto.....	38
17. Aplicación de la capa de pega.....	38
18. Distribución de mezcla asfáltica en el hueco.....	39
19. Compactación de mezcla asfáltica.....	39
20. Bache terminado.....	40
21. Agrietamiento piel de cocodrilo.....	42
22. Grieta en borde.....	43
23. Grieta a lo largo de la junta de los carriles.....	44
24. Grietas de encogimiento.....	45
25. Grietas de desplazamiento.....	46
26. Depresión por efecto del tránsito.....	48
27. Ondulación.....	49
28. Exudación de asfalto.....	50
29. Agregado pulido en pavimento.....	52

I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala una gran parte de las calles pavimentadas se ven afectadas por el tránsito diario, que sufre no sólo por las cargas de vehículos livianos, sino que también por las de transporte pesado, el cual en algunos casos supera el límite de carga permisible y para el cual fue creada la carpeta asfáltica. Si sumamos a esto el deterioro que ocasionan las condiciones climáticas, más el poco mantenimiento, nos da como resultado la aparición de hoyos o baches los cuales con el paso del tiempo, si no son tratados debidamente, ocasionan daños a la base de la carretera afectando directamente su durabilidad y resistencia.

Debido a que todos los pavimentos requieren mantenimiento, siendo la principal razón de desgaste las tensiones que producen los pequeños defectos que están constantemente en acción. Estas tensiones se deben a los cambios de temperatura, humedad y tránsito. Pero, a pesar de estas diferencias, existen métodos de mantenimiento que pueden usarse igualmente en todas las condiciones.

Es usual ver cómo en las carreteras nacionales, las carpetas asfálticas de menos antigüedad se deterioren prematuramente por falta de mantenimiento o por un método de corrección de baches incorrecto, lo que hace que la inversión hecha en estos tramos no sea bien aprovechada.

Es por eso necesario saber cuál es la correcta fabricación y manipulación de la mezcla asfáltica en caliente para poder obtener buenos resultados a la hora de aplicarla en donde la carretera este deteriorada.

Por eso en este trabajo partimos desde las propiedades de la mezcla asfáltica, la selección de los materiales, su correcta manipulación y su comportamiento para poder tener clara la forma adecuada de aplicar el pavimento en la cinta asfáltica.

Si la supervisión y el contratista están consientes que si siguen las recomendaciones de la correcta fabricación, colocación y mantenimiento del pavimento asfáltico, se puede alargar la resistencia de la capa de rodadura, se estará cumpliendo el propósito de esta tesis.

II. MATERIALES

2.1 REQUISITOS DE LOS MATERIALES El concreto asfáltico en caliente se compondrá de agregados minerales gruesos, agregados finos, filler mineral y material bituminoso.

2.2 AGREGADOS El agregado debe conformarse con una de las siguientes designaciones según el tamaño máximo nominal adoptado.

TABLA 1

GRANULOMETRIA DE AGREGADOS PARA CONCRETO ASFÁLTICO

Tamaño De Tamiz	Designación de la Mezcla Usando el Tamaño Máximo Nominal de Agregado (% que pasa)				
	37.5 mm	25.0mm	19.0mm	12.5mm	9.5 mm
	(1½")	(1")	(¾")	(½")	(⅜")
50mm (2")	100	---	---	---	---
37.5mm(1½")	90-100	100	---	---	---
25.0mm (1")	---	90-100	100	---	---
19.0mm(¾")	56-80	---	90-100	100	---
12.5mm (½")	---	56-80	---	90-100	100
9.5mm (⅜")	---	---	56-80	---	90-100
4.75mm (No.4)	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85
2.36mm(No.8)	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67
1.18mm(No.16)	---	---	---	---	---
Tamaño De Tamiz	Designación de la Mezcla Usando el Tamaño Máximo Nominal de Agregado (% que pasa)				
	37.5 mm	25.0mm	19.0mm	12.5mm	9.5 mm
0.60mm(No.30)	---	---	---	---	---
0.30mm(No.50)	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23
0.15mm(No.100)	---	---	---	---	---
0.075mm(No.200)	0-5	1-7	2-8	2-10	2-10
Cemento Asfáltico (% de Peso Total de la Mezcla)	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12

NOTAS GENERALES:

(1) El cumplimiento con los límites indicados será basado en el tamizado por vía húmeda (AASHTO T 11).

(2) Cuando se consideran las características de la graduación total de una mezcla asfáltica, resulta ser que la cantidad de material que pasa el tamiz de 2.36mm (No.8) es un punto importante y conveniente de control de campo entre los agregados finos y los agregados gruesos. Las graduaciones que se aproximan a la cantidad máxima permitida que debe pasar por el tamiz de 2.36 mm resultaran en superficies de pavimento con textura relativamente fina.

(3) El material que pasa el tamiz de 0.075 (No. 200) puede consistir de partículas finas de agregado o de relleno mineral, o de ambos. Este material debe estar libre de materia orgánica y de partículas de arcilla. El material debe ser no plástico (NP) cuando se usa el Método D423 o D424 de la ASTM.

(4) La cantidad de cemento asfáltico está dada en porcentaje por peso de la mezcla total. La amplia diferencia en pesos específicos de varios agregados, así como la diferencia en absorción, resuelta en el amplio margen de cantidad de asfalto requerida. Esta cantidad de asfalto requerida debe determinarse usando las pruebas adecuadas del laboratorio.

Las tolerancias que se aplican a la formula de la mezcla, para obtener la franja de control de graduación en la obra, están indicadas en la Tabla2. La franja de control de graduación de obra no debe salirse de la franja de especificaciones de graduación.

TABLA 2

TOLERANCIAS ADMITIDAS PARA LAS MEZCLAS

Material retenido en el tamiz 19mm (3/4")	±5%
Material comprendido entre los tamices 19mm (3/4") y 9.5mm(3/8")	±4%
Material comprendido entre los tamices 9.5mm (3/8") y 0.075mm (No. 200)	±3%
Material que pasa el tamiz 0.075mm (No. 200)	±2%
Asfalto	±0.3%
Temperatura de la mezcla	11°C (20°F)

2.3 REQUERIMIENTOS PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA Se adoptará el método Marshall (AASHTO T 245) para verificar las condiciones de vacíos y estabilidad que deben satisfacer los valores indicados en la Tabla 3.

TABLA 3

CRITERIO PARA EL DISEÑO MARSHALL

Criterio de Diseño	Tránsito Liviano Carpeta y Base		Tránsito Mediano Carpeta y Base		Tránsito Pesado Carpeta y Base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Golpes por cara De la probeta	35		50		75	
Estabilidad, kg	340	---	545	---	817	---
Libras	750		1200		1800	
Flujo, 0.25mm (0.01 pulgadas)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos en aire	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75
Estabilidad retenida 24h a 60°C en agua/0.5h a 60°C en agua	75%	---	75%	---	75%	---

NOTAS GENERALES:

(1) Clasificación del Tránsito:

- Liviano: ESALS de diseño menor que 10,000
- Mediano: ESALS de diseño entre 100,000 y 1,000,000
- Pesado: ESALS de diseño mayor que 1,000,000

TABLA 4

Vacíos en el Agregado Mineral (Requisitos de VMA)

Tamaño Máximo Nominal		VMA mínimo, por ciento		
		Vacíos en la mezcla total		
mm	pulgadas	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	½	13.0	14.0	15.0
19.0	¾	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

NOTAS GENERALES:

(1) El tamaño máximo nominal de partícula, es un tamaño más grande que el primer tamiz y que retiene más del 10 por ciento de material.

El supervisor no aceptará ninguna mezcla antes de haber verificado y aceptado la fórmula de trabajo. La

fórmula seguirá vigente, hasta que el Supervisor apruebe por escrito su modificación.

2.4 AGREGADOS MINERALES GRUESOS La porción de los agregados retenida en la malla No. 8 se denominará agregado grueso y se compondrá de piedras o gravas trituradas. La piedra o grava triturada debe ser limpia, compactada y durable, carente de suciedad u otras materias inconvenientes y debe tener un desgaste no mayor de 40% a 500 revoluciones al ensayarse por el método de AASHTO T-96. Al ser sometidas a ensayos alternativos de resistencia mediante sulfatos de sodio empleando el método de AASHTO T-104, no podrá tener una pérdida de peso mayor de 12%. Cuando se utilice grava triturada, no menos de un 50% en peso de las partículas retenidas en el tamiz No. 4, debe tener una cara fracturada como mínimo. El agregado grueso no debe contener más de 8% en peso de las partículas planas o alargadas, considerándose partículas alargadas aquellas cuya relación de largo entre ancho es mayor que 3.0 y plana cuando la relación de ancho entre espesor es mayor que 3.0.

2.5 AGREGADO MINERALES FINOS La porción de agregados que pasa la malla No. 8 se denominará agregado fino y podrá estar compuesto por arena natural, tamizados de piedra o de una combinación de ambos. Los agregados finos deben tener granos limpios, compactos, angulares y de superficie rugosa, carentes de terrones de arcilla u otras sustancias inconvenientes.

El agregado fino, incluyendo cualquier material de relleno mezclado, debe ser no plástico (NP).

2.6 RELLENO MINERAL (FILLER) Los fillers son sustancias finamente divididas las cuales son insolubles en asfalto pero que pueden ser dispersadas en el, como un medio de modificar sus propiedades mecánicas y consistencia. Usualmente sus sustancias minerales; materiales orgánicos tales como madera o corcho, raramente se utilizan. Típicos fillers minerales: cal, cemento, polvo de tiza, cenizas de combustible pulverizada, talco, sílice, etc.

El efecto general de la adicción de fillers es endurecer el asfalto. En términos prácticos significa que existirá una reducción en su deformación o fluencia producida por una carga, un incremento en su punto de ablandamiento, una reducción de su penetración y un incremento en la rigidez. La propiedad de endurecimiento o rigidez depende de la cantidad de filler agregado o del tamaño de la partícula así como de la forma de la misma. Fillers tales como polvo de tiza producen un efecto menor. Para fillers normales, el efecto del filler sobre la penetración y el punto de ablandamiento del asfalto es proporcional a la concentración del filler para concentraciones de hasta un 40% del filler/asfalto. Para fillers tipo fibra, el limite es menor a 40%.

El material de relleno de origen mineral que sea necesario emplear, se compondrá de polvo calcáreo, roca dolomítica, cemento Pórtland u otros elementos no plásticos. Estos materiales deben carecer de materias extrañas y objetables, serán secos y libres de terrones, y cuando sean ensayados en el laboratorio deben cumplir las siguientes exigencias granulométricas.

Tabla 5. Granulometría de Filler

No. de Tamiz	Porcentaje que pasa
No. 30	100
No. 100	95 - 100
No. 200	65 - 100

1. Forma del agregado: La forma de las partículas es importante para los agregados de tratamientos superficiales, la forma ideal deberá ser cúbica o piramidal. Una gran cantidad de partículas planas y largas no es deseable porque serán totalmente cubiertas al utilizar suficiente asfalto para retener las partículas que sí tienen forma cúbica o piramidal. Si todas las partículas son planas y largas será necesario sólo un poco de asfalto para unirlos y su control se dificultará.

2. Limpieza del agregado Limpiar el agregado es extremadamente importante. Si las partículas están empolvadas o cubiertas por limo o arcilla, el asfalto no se podrá adherir, ya que el polvo produce una capa que evitará la correcta adhesión del agregado. No se pueden asegurar buenos resultados con agregados empolvados o sucios.

Si se desean obtener los mejores resultados en los tratamientos superficiales, además de la forma y tamaño del agregado debe ponerse especial cuidado en la limpieza de los mismos, pues entre más limpios se encuentren, mejor será su adherencia al asfalto.

El polvo proveniente de la trituración debe ser eliminado por lavado preferiblemente en fábrica y no debe dejarse después el agregado sin protección para evitar que pueda ser nuevamente contaminado. Tanto las partículas de limo o arcilla como el polvo que envuelve los agregados deben eliminarse, pues no permiten la adherencia entre partículas del agregado.

2.7 ASFALTOS El asfalto es un componente del petróleo. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y en algunas ocasiones, el aceite crudo puede ser casi en su totalidad asfalto. Sin embargo, existen algunos aceites crudos que no contienen asfalto.

- i. Base cruda de asfalto.
- ii. Base cruda de parafina (no contiene asfalto)

Basándose en su contenido asfáltico los aceites se clasifican de la manera siguiente:

- iii. Base cruda mezclada (contiene tanto parafina como asfalto).

Debido a que el asfalto es el mayor componente del aceite crudo, no se evapora o hierve cuando se destila. El asfalto utilizado hoy en día se produce en modernas refinerías y se le llama asfalto de petróleo.

El asfalto también es un material bituminoso debido a que contiene bitumen el cual es un material de hidrocarburo soluble en disulfato de carbono (CS₂)

El asfalto de petróleo que se emplea para pavimentos es usualmente llamado asfalto para pavimentación o cemento asfáltico para así distinguirlo del asfalto hecho para otros usos, tales como recubrimiento de techos y propósitos industriales.

El cemento asfáltico bajo temperaturas atmosféricas normales (del ambiente) es un material negro semisólido de alta viscosidad. Debido a lo pegajoso del asfalto, éste se adhiere a las partículas de los agregados y puede ser usado para unirlos o cementarlos unas a otras. El pavimento asfáltico es impermeable y no es afectado por la mayoría de ácidos álcalis y sales. Es también conocido como un material termoplástico, debido

a que se suaviza cuando se le calienta y se endurece cuando se enfría. Esta combinación única de características y propiedades es una razón fundamental para la importancia del asfalto como material de pavimentación.

a. Proporción y mezcla del asfalto con los agregados:

La proporción del asfalto con los agregados y la graduación de estos últimos son de vital importancia para obtener un buen pavimento. Cuando se tiene demasiado asfalto en una mezcla, el resultado es un pavimento con poca estabilidad, que se deforma con el paso del tránsito. Una mezcla con poco asfalto producirá un pavimento de poca impermeabilidad y, por ende, poca durabilidad. Lo que se pretende de una mezcla para que sea eficiente es tener una relación asfalto/agregado adecuada. Esto resulta en un pavimento de mucha durabilidad y buena estabilidad. Tener máxima estabilidad a veces implica el tener poca durabilidad.

b. Asfaltos RC, MC y SC:

Los asfaltos que se diluyen mezclándolos con solventes de petróleo se llaman generalmente “cutbacks”. Cuando se riegan sobre la carretera, los solventes se evaporan y dejan depositado el cemento asfáltico. Estos asfaltos líquidos se fabrican de tres tipos, según el tiempo de curado:

- i. Curado Rápido (RC): que contiene un solvente de tipo nafta o gasolina.
- ii. Curado Medio (MC): con un solvente similar al kerosene.
- iii. Curado Lento (SC): usualmente no se llama cutback porque su solvente, semejante a un fuel-oil (aceite) pesado, no se añade sino que se

deja durante el proceso de refinación. Algunas veces el tipo SC se llama aceite de carretera”

c.Emulsiones asfálticas: Las emulsiones asfálticas son mezclas líquidas que contienen cemento asfáltico, agua y un agente emulsificante. Existen dos tipos generales, la regular y la invertida. En el tipo regular, glóbulos minúsculos de asfalto están suspendidos en el agua. Las emulsiones asfálticas están graduadas de acuerdo con el tiempo que toman en romperse o desemulsificarse, y se llaman de rotura rápida (RS), rotura media (MS), y rotura lenta (SS). Generalmente tienen un color marrón oscuro cuando el asfalto está en suspensión y se hacen negras cuando el agua y el asfalto se separan. Las emulsiones asfálticas del tipo regular se producen en dos tipos: las aniónicas y las catiónicas.

En el tipo aniónico, los glóbulos de asfalto tienen una carga eléctrica negativa. En el tipo catiónico, los glóbulos están positivamente cargados. Estas diferencias en carga eléctrica mejoran la adherencia y las propiedades de recubrimiento de la emulsión cuando se utilizan con agregados que tienen cargas superficiales opuestas.

2.8 CAPAS DE IMPRIMACIÓN La imprimación es el riego de asfalto sobre la superficie de una base no asfáltica, hecho con los siguientes propósitos:

- Impermeabilizar la superficie de la base
- Llenar los vacíos capilares
- Recubrir y unir las partículas minerales sueltas
- Endurecer la superficie
- Lograr adhesión entre la base y el tratamiento superficial

Brevemente descrita, la operación de imprimir consiste en lo siguiente: Se riegan de 0.75 a 1.6 litros por metro cuadrado de un asfalto líquido de baja viscosidad sobre la superficie preparada de la base y se deja que penetre lo más posible. Si el asfalto no es completamente absorbido por la base en 24 horas, el exceso debe ser eliminado con arena, para evitar que sea levantado por el tráfico. Antes de empezar la aplicación de la siguiente capa todos los volátiles del asfalto de imprimación deben haberse evaporado y toda la arena suelta debe barrerse de la base.

2.9 CAPAS DE PEGA Como su nombre lo indica, el propósito de las capas de pega es facilitar la adherencia entre el pavimento existente y la carpeta que se vaya a colocar sobre él. No se supone que parte del material penetre en el pavimento y, por esta razón, la cantidad de asfalto aplicado es reducida. Las emulsiones asfálticas SS-lh, SS-K y SS Kh se utilizan mucho para las capas de pega debido a que pueden disolverse con seguridad en agua. La emulsión se diluye en una cantidad igual de agua y luego se aplica como capa de pega a razón de 0,25 a 0.75 litros de emulsión asfáltica diluida por metro cuadrado.

Algunas veces, para las capas de pega, también se utilizan los asfaltos líquidos RC-250 y MC-70.

La utilización de aplanadoras de ruedas de caucho sobre las capas de pega no uniformes, recientemente aplicadas, permite lograr una mejor uniformidad del recubrimiento, y reduce también la posibilidad de que áreas localizadas con exceso de pega puedan después constituir, en el pavimento, planos de deslizamiento o lugares con exceso de asfalto.

Después de aplicar la capa de pega y antes de colocar el material de bacheo o la capa de recubrimiento se debe dejar transcurrir un tiempo suficiente para lograr la separación del asfalto del agua (si se utiliza una

emulsión), o la evaporación del solvente (si se utiliza un asfalto líquido de curado rápido). Siempre que sea posible, se debe evitar el tráfico sobre la superficie donde se ha aplicado la capa de pega. Cuando no se pueda impedir el tráfico, se deberá limitar la velocidad a 40 kilómetros por hora o menos.

2.10 CAPAS DE SELLO Una capa de sello es un tratamiento superficial delgado. Generalmente consiste en una sola aplicación de un material asfáltico que puede estar o no cubierto con agregado. Los principales tipos y usos de las capas de sello en el mantenimiento de los pavimentos se describen a continuación:

1) Sello negro

Es una aplicación ligera de asfalto líquido, usualmente sin cubierta de agregado. Los principales propósitos del sello negro son los siguientes:

- i. Reducir la entrada de aire y de agua dentro del pavimento.
- ii. Evitar el desgaste del pavimento existente
- iii. Restaurar y rejuvenecer la superficie del pavimento.

Para los sellos negros generalmente se utilizan las emulsiones asfálticas de rotura lenta, SS-1, SS-1b, SS-E y SS-Eh. diluidas en agua.

La emulsión se diluye en una cantidad igual de agua, y se extiende a razón de 0,5 a 1,0 litro (de material diluido) por metro cuadrado, dependiendo de la textura y sequedad del pavimento viejo.

2) Sello con lechada de emulsión asfáltica

Los sellos con lechada de emulsión asfáltica son mezclas de emulsiones asfálticas de rotura lenta, agregado fino, polvillo mineral y agua. Pueden ser mezcladas en mezcladoras de concreto convencionales, en mezcladoras de concreto móviles, en máquinas especialmente destinadas para este propósito, o en carretillas, si las cantidades son

pequeñas. La mezcla se prepara en forma de lechada y se aplica en un espesor promedio de 1,5 a 3 mm (1/16 a 1/8 de pulgada).

La mezcla debe formar una lechada de textura cremosa la cual, cuando se extiende debe fluir en una onda de aproximadamente sesenta centímetros por delante de la regla enrasadora. Esto permite que la lechada penetre en los huecos y grietas del pavimento y los llene antes de pasar sobre ella la enrasadora. Si la mezcla es demasiado pastosa, tendrá tendencia a apilarse inmediatamente delante de la enrasadora y pasará por encima de las grietas en vez de llenarlas. Las proporciones que aquí se dan, basadas en 100 kilogramos de agregado, sirven de guía para hacer un bache de ensayo de lechada asfáltica.

Tabla 6
PROPORCIONES APROXIMADAS PARA LOS SELLOS DE
LECHADA DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

Material	Pesa. (Kilogramo.)
Agregado, incluyendo el polvillo mineral	100
Emulsión asfáltica*	15-30
Agua**	10-15 (según se requiera para obtener la consistencia adecuada)

*Para los sellos de lechada se prefieren las emulsiones asfálticas de rotura lenta, SS-1, SS-1h, SS-K y SS-Kh.

**Esto incluye el agua contenida en la emulsión y en el agregado.

Tabla 7
GRADUACIÓN TÍPICA DEL AGREGADO PARA SELLOS DE
LECHADA

Tamaño del cedazo U.S. Standard	Porcentaje Total que pasa
Nº 8	100
Nº 16	65-90
Nº 30	40-60
Nº 50	25-42
Nº 100	15-30
Nº 200	10-20

3) Sellos de agregado y sellos de arena

Estos sellos consisten en riegos de asfalto que son cubiertos inmediatamente con agregado y luego aplanados. La elección del asfalto a usar depende, en parte, del equipo de que se disponga, del tiempo y de la experiencia de la cuadrilla de mantenimiento. Los tipos recomendados incluyen los cementos asfálticos de grados más blandos y los asfaltos líquidos de grados más duros.

a. Materiales para el relleno de grietas

Las grietas pequeñas, excepto si son grietas capilares, pueden llenarse con cualquier asfalto que pueda licuarse lo suficientemente para que pueda fluir dentro de la grieta. Cuando se utilizan cementos asfálticos en caliente, estos tienden a pasar sobre la grieta y no penetran en ella.

Los asfaltos recomendados para rellenar las grietas pequeñas de los pavimentos asfálticos son los grados más livianos de los asfaltos líquidos de curado rápido y medio (calentados, si es necesario, para obtener la viscosidad adecuada) y los sellos de lechada de emulsión asfáltica.

Para rellenar grietas grandes, estos mismos asfaltos pueden mezclarse con arena fina o con cualquier otro tipo de agregado, y ser aplicados dentro de las grietas. Estas grietas pueden sellarse luego con asfalto y cubrirse con un agregado fino o mineral de polvo para evitar la formación de rodadas.

2.11 MATERIAL ASFÁLTICO

El tipo, grado, y especificación del cemento asfáltico o del cemento asfáltico modificado con polímeros a usar, debe ser uno de los establecidos en la Tabla 8.

Para el caso de asfaltos con clasificación PG, el grado se indicará en las Disposiciones Especiales de acuerdo con el rango comprendido entre el promedio de las temperaturas máximas durante los siete días más calurosos del año y la temperatura mínima donde se localice el proyecto incrementando el valor de temperatura alta un grado de conformidad con el manual SP-2 del Instituto de Asfalto para tránsito lento y un grado adicional si el tránsito esperado excede un ESAL de 30×10^6 en el carril de diseño, pudiéndose fijar grados intermedios para los rangos de temperaturas indicados en la Tabla 5 o grados mayores que los indicados cuando así se requiera.

El rango de las temperaturas del cemento asfáltico para la preparación de la mezcla de los especímenes en el laboratorio, será el correspondiente para producir una viscosidad cinemática entre 0.15 y 0.19 Pascales segundo (Pa-s) (150 y 190 centiStokes cS). Para el diseño de mezcla asfáltica con el procedimiento Superpave, sólo se podrán usar los grados con graduación PG.

Tabla 8

Especificaciones del Cemento Asfáltico

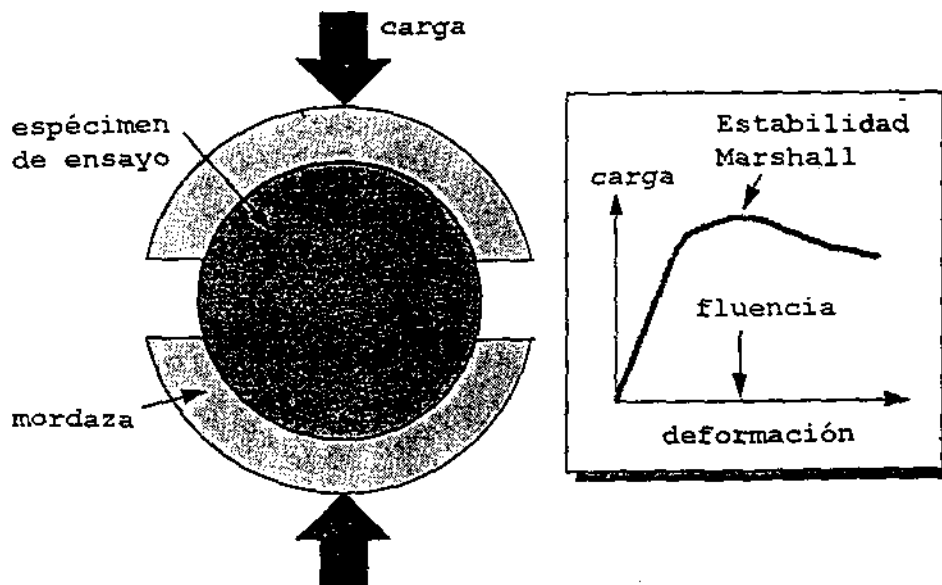
TIPO Y GRADO DEL CEMENTO ASFALTICO	ESPECIFICACION
Graduación por viscosidad: <ul style="list-style-type: none"> • AC-10 • AC-20 • AC-40 	AASHTO M 228
Graduación por penetración: <ul style="list-style-type: none"> • 40 – 50 • 60 – 70 • 85 – 100 • 120-150 	AASHTO M 20
Graduación PG: <ul style="list-style-type: none"> • 64-22 • 70-22 • 76-22 • 82-22 	AASHTO MP 1

2.12 PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Muchas agencias usan actualmente el Método Marshall para el diseño de mezclas. Es por lejos el procedimiento más usado para el diseño de mezclas en caliente en el mundo. Esta técnica fue desarrollada por Bruce Marshall, a la sazón un empleado del Mississippi State Highway Department. El US, Army Corps of Engineers depuró y adicionó ciertos aspectos a las propuestas de Marshall al punto de que el ensayo fue normalizado como ASTM D 1559, Resistencia a la fluencia plástica de mezclas bituminosas usando el aparato de Marshall. El método Marshall es un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de su estabilidad con fluencia y densidad con vacíos.

Una de las virtudes del método Marshall es la importancia que asigna a las propiedades densidad con vacíos del material asfáltico. Este análisis garantiza que las importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla están dentro de rangos adecuados para asegurar una mezcla en caliente durable.

Otra ventaja del método es que el equipamiento requerido no es caro y es muy portable, y, así, se presta a operaciones de control de calidad a distancia. Desafortunadamente, muchos ingenieros creen que el método de compactación de laboratorio por impacto usado en el método Marshall no simula la densificación de la mezcla que asemeja el tránsito en un pavimento real.

Figura 1. ESTABILIDAD MARSHALL



Cuando se prepara una muestra de mezcla en el laboratorio, ésta puede ser analizada para determinar su posible comportamiento en la estructura de un pavimento. El análisis se concentrará en cuatro características de la mezcla y en la influencia que esas características tengan en el comportamiento de la misma. Dichas características son:

- Densidad de la mezcla
- Espacios llenos de aire
- Espacios en el agregado mineral
- Contenido de asfalto

Propiedades consideradas en el diseño de la mezcla

Los buenos pavimentos de mezclas asfálticas en caliente funcionan bien porque son diseñados, producidos y colocados de tal manera. Que se les proporcione ciertas propiedades deseadas.

Existen muchas propiedades que contribuyen a la calidad de los pavimentos de mezclas en caliente. Algunas de estas son:

1. Estabilidad
2. Durabilidad
3. Impermeabilidad

4. Trabajabilidad
5. Flexibilidad
6. Resistencia a la fatiga
7. Resistencia al deslizamiento

El objetivo más importante del diseño de mezclas de lograr que la mezcla del pavimento tenga cada una de estas propiedades. Debido a eso, el inspector deberá estar al tanto de cuales son las propiedades requeridas, cómo se evalúan y qué significado tienen en términos del comportamiento del pavimento.

2.13 PREPARACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE

Esta actividad consiste en la fabricación de una mezcla de agregados pétreos con un aglomerante bituminoso emulsificado, materiales que deben cumplir con los requisitos aquí especificados, los cuales mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

Tanto la dosificación de la mezcla, como su control en obra, se harán mediante el Método Marshall. Las mezclas para pavimentación asfáltica preparadas en plantas centrales de mezclado, son conocidas como plantas de mezcla.

El concreto asfáltico producido en las plantas de mezcla es considerado como el de mayor calidad. Consiste en fina mezcla de agregados bien graduados de alta calidad y cemento asfáltico. El asfalto y el cemento son calentados separadamente de 250 a 325 grados Fahrenheit, cuidadosamente medidos y proporcionados, luego mezclados hasta que todas las partículas de los agregados queden totalmente recubiertas por el asfalto

En una mezcla en caliente para pavimentación asfáltica, el asfalto y el agregado son mezclados en proporciones bien precisas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y ultimadamente, cual será el comportamiento de la mezcla como pavimento terminado.

Procedimiento de aprobación de mezcla asfáltica.

Antes de iniciar la obra, el contratista someterá por escrito, para la aprobación del supervisor, la fórmula de mezcla que utilizará. Esta fórmula se presentará estipulando un porcentaje definido y único de agregados que pasen por cada uno de los tamices especificados, una temperatura definida y única a la cual la mezcla será colocada, debiendo todos estos detalles encontrarse dentro de los regímenes fijados para la composición general de los agregados y los límites de temperatura y el supervisor deberá verificar mediante controles diarios el proceso de construcción.

III. COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Siendo las propiedades individuales de los componentes de la mezcla asfáltica en caliente importantes, el comportamiento de la mezcla asfáltica se explica mejor considerando que el cemento asfáltico y el agregado mineral actúan como un sistema. Un camino para entender mejor el comportamiento de las mezclas asfálticas es considerar los tipos básicos de deterioros que el ingeniero trata de evitar: la deformación permanente, la fisuración por fatiga y fisuración por baja temperatura.

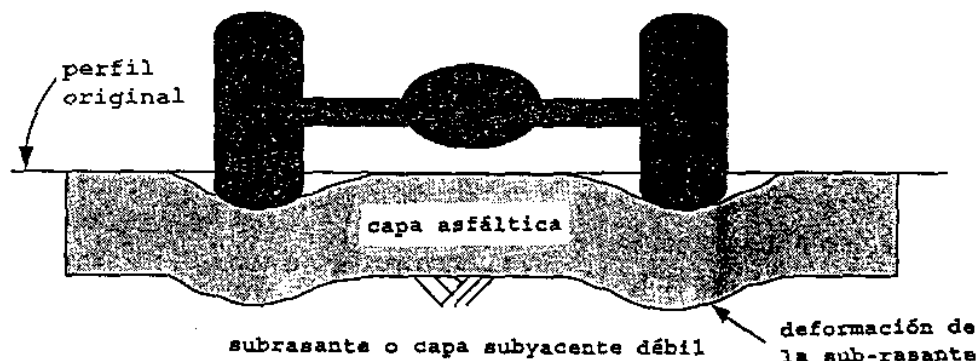
3.1 DEFORMACIÓN PERMANENTE

La deformación permanente es el deterioro caracterizado por la existencia de una sección transversal de la superficie que ya no ocupa su posición original. Se llama deformación permanente pues representa la acumulación de pequeñas deformaciones producidas con cada aplicación de carga. Esta deformación es Irrecuperable. Si bien el ahuellamiento puede tener varias causas (por ejemplo debilidad de la mezcla por daño de humedad, abrasión, densificación del tránsito), hay dos principales.

En un caso, el ahuellamiento es causado por muchas aplicaciones repetidas de carga al suelo natural (es decir, la subrasante), la subbase o la base por debajo de la capa asfáltica (Figura 2). Aunque la utilización de materiales viales más rígidos reduce parcialmente este tipo de ahuellamiento, el fenómeno es normalmente considerado más un problema estructural que un problema de los materiales. Frecuentemente, es el resultado de una sección de pavimento demasiado delgada, sin la suficiente profundidad para reducir a niveles tolerables, las tensiones sobre la sub-rasante cuando las cargas son aplicadas. Podría ser también

el resultado de una subrasante debilitada por el ingreso inesperado de humedad. La acumulación de la deformación permanente ocurre más en la subrasante que en las capas asfálticas.

Figura 2. AHUELLAMIENTO DE UNA SUBRASANTE DÉBIL

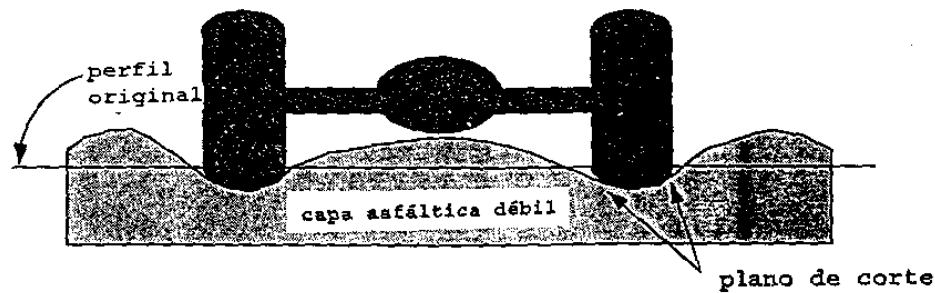


El otro tipo principal de ahuellamiento (el que más nos concierne aquí) se debe a la acumulación de deformaciones en las capas asfálticas. Este tipo de ahuellamiento es causado por una mezcla asfáltica cuya resistencia al corte es demasiado baja para soportar las cargas pesadas repetidas a las cuales está sometida (Fig. 3). A veces el ahuellamiento ocurre en una capa superficial débil. En otros casos, la capa superficial no es en sí misma propensa al ahuellamiento, pero acompaña la deformación de una inferior más débil.

Cuando una mezcla asfáltica se ahuebla, es evidente que tiene una baja resistencia al corte. Cada vez que un camión aplica una carga, una deformación pequeña, pero permanente, se ocasiona. La deformación por corte se caracteriza por un movimiento de la mezcla hacia abajo y lateralmente. Con un número dado de repeticiones de carga aparecerá el ahuellamiento. Los pavimentos asfálticos ahuellados tienen una seguridad

deficiente porque los surcos que se forman retienen suficiente agua para provocar hendiduras.

Figura 3. AHUELLAMIENTO DE UNA MEZCLA DÉBIL

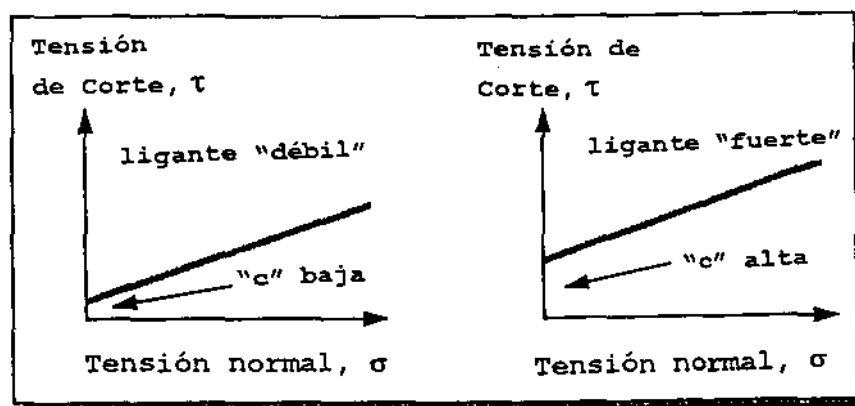


El ahuellamiento de las mezclas asfálticas débiles es un fenómeno asociado a las altas temperaturas. Así ocurre más frecuentemente en verano. Si bien esto podría sugerir que es un problema del cemento asfáltico, es más correcto enfocarla como un problema conjunto del agregado mineral y del cemento asfáltico. De hecho, la ecuación de Mohr-Coulomb ($\tau = c + \sigma \cdot \tan\phi$) puede emplearse nuevamente para ilustrar como ambos materiales pueden influir en el ahuellamiento.

En este caso, c es la resistencia al corte de la mezcla asfáltica. La cohesión (c) puede considerarse la fracción de la resistencia al corte de la mezcla asfáltica provista por el cemento asfáltico. Debido a que con el ahuellamiento es una acumulación de muy pequeñas deformaciones permanentes, una forma de asegurar que el cemento asfáltico aporte una aceptable resistencia al corte es usar un cemento asfáltico no sólo duro sino de comportamiento lo más próximo posible a un sólido elástico a

altas temperaturas del pavimento (Fig. 4). Así cuando una carga es aplicada al cemento asfáltico en la mezcla, aquel tiende a actuar como una banda de goma y a recuperar su posición original en lugar de permanecer deformado.

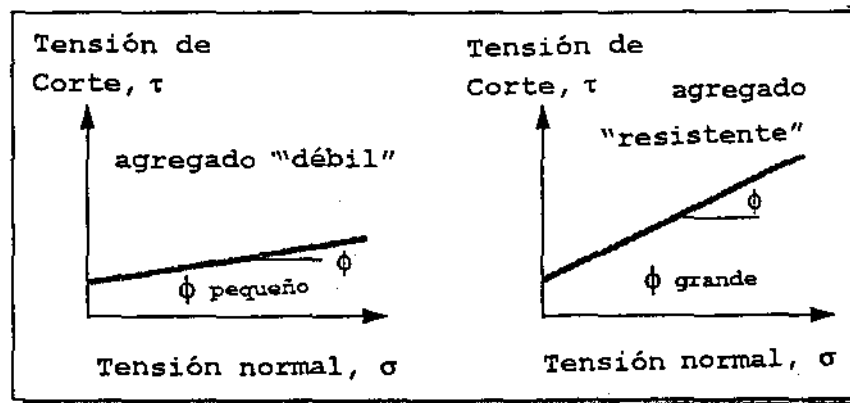
Figura 4. CONTRIBUCIÓN DEL LIGANTE ASFÁLTICO A LA RESISTENCIA POR CORTE DE MEZCLA



Otra forma de incrementar la resistencia al corte de las mezclas asfálticas es eligiendo un agregado con un ángulo de fricción interna alto (ϕ). Esto se logra con la selección de un agregado de buenas cubricidad y rugosidad, y con una granulometría tal que se desarrolle un buen contacto partícula-partícula. En la Figura 5 se compara la contribución de dos agregados a la resistencia al corte de la mezcla. Cuando una carga es aplicada al agregado en la mezcla, las partículas del agregado se juntan y funcionan no sólo como una masa de partículas individuales sino como una enorme, única, roca elástica. Al igual que con el cemento asfáltico, el agregado actuará como una banda de goma que recuperará su forma original cuando es descargado. De esta forma, no se acumularán deformaciones permanentes.

Si bien el mayor aporte a la resistencia a la deformación permanente de la mezcla proviene del agregado, también es importante la colaboración del ligante asfáltico. Los ligantes con bajas características de corte -por composición o por temperatura- minimizan la cohesión y, hasta cierto punto, la tensión normal de confinamiento. Así la mezcla comienza a comportarse como una masa de agregados no ligados.

Figura 5. CONTRIBUCIÓN DEL AGREGADO A LA RESISTENCIA POR CORTE DE LA MEZCLA



3.2 FISURACIÓN POR FATIGA

Como el ahuellamiento, la fisuración por fatiga es un tipo de deterioro que con mucha frecuencia se produce en la huella donde las cargas pesadas son aplicadas. Las fisuras longitudinales intermitentes a lo largo de la huella (esto es, en la dirección del tránsito) son un signo prematuro de la fisuración por fatiga. Esta es un deterioro de tipo progresivo porque, en algún momento, las fisuras iniciales se unirán con otras, causando aún más fisuras. Un estado intermedio de la fisuración por fatiga es el denominado piel de cocodrilo -así llamado porque su forma se asemeja a la piel de un cocodrilo. En algunos casos extremos, el estado final de la fisuración por fatiga es la desintegración con la

formación de baches. Un bache se forma cuando varias piezas comienzan a dislocarse y desprenderse bajo la acción del tránsito.

Los ingenieros han largamente reconocido que una mezcla asfáltica muy rígida tiende a oponer baja resistencia a la fatiga cuando la estructura permite reflectar la capa asfáltica. Materiales rígidos, altas deflexiones y altos niveles de tensiones conducen a vidas útiles reducidas por la fatiga.

Si bien el mecanismo de fatiga es fácil de comprender, sus causas no siempre lo son. No puede ser enfocado como un problema de los materiales exclusivamente. La fisuración por fatiga es usualmente causada por un número de factores que deben producirse simultáneamente. Obviamente, las cargas pesadas repetidas deben estar presentes. Algunos ingenieros creen que una subrasante con pobre drenaje, resultando en pavimentos blandos con altas deflexiones, es la causa principal del fisuramiento por fatiga. Pobres diseños y deficiente construcción de capas del pavimento que son también propensas a sufrir altas deflexiones cuando cargadas, probablemente contribuyen al fisuramiento por fatiga. Así, capas de pavimentos delgadas, muy rígidas, sujetas a altas deflexiones por cargas repetidas son más susceptibles al fisuramiento por fatiga.

En muchos casos, el fisuramiento por fatiga es sólo un signo de que un pavimento ha sido transitado por el número de cargas para el cual fue diseñado. Luego está simplemente agotado y necesita una rehabilitación planificada. Asumiendo que la ocurrencia del fisuramiento por fatiga coincide aproximadamente con el periodo de diseño, esto no sería necesariamente una falla, sino la progresión natural de una estrategia de diseño del pavimento. Si el fisuramiento observado ocurre mucho antes de concluido el periodo de diseño, sería un signo de que el pavimento recibió más cargas pesadas, antes de lo previsto.

En general, las mezclas asfálticas no son afectadas por la humedad al ser mayormente impermeables. En casos extremos no obstante, se ha comprobado que el vapor de agua puede despojar al agregado mineral del cemento asfáltico.

Si bien la remoción del asfalto de una capa asfáltica subyacente puede traducirse como un fisuramiento por fatiga en una capa superior, esto no es considerado una falta por fatiga. Una instancia más común del fisuramiento por fatiga causado por una capa debilitada por la humedad es el de una base no ligada cuyas demasiadas partículas finas impiden el rápido drenaje. Las bases no ligadas deberían ser seleccionadas de manera tal que no atrapen la humedad.

Sólo la elección de materiales resistentes, puede abordarse estrictamente desde la perspectiva de la selección de los materiales. En el momento de aplicación de la carga, se producen tensiones de tracción horizontales cerca del fondo de la capa asfáltica. Evidentemente, el material en esa zona debe ser muy resistente, con suficiente resistencia a tracción para soportar as tensiones de tracción aplicadas. No obstante, para superar el fisuramiento por fatiga, dicho material debe ser también resistente. En este contexto, resistente significa que el material puede resistir, sin fisurarse, muchas cargas a niveles de tensión mucho menores que la resistencia a tracción.

De este modo, para vencer el fisuramiento por fatiga desde la perspectiva de los materiales, la mezcla asfáltica en caliente debe ser seleccionada de modo tal que se comporte como un material elástico blando. Esto se logra, al ser el comportamiento a la tracción de la mezcla en caliente fuertemente influido por el cemento asfáltico, con la selección de un cemento asfáltico cuyos límites superiores están ubicados en la

parte elástica de su dureza. En efecto, asfaltos blandos tienen mejores propiedades de fatiga que los duros.

3.3 FISURACIÓN POR BAJA TEMPERATURA

Como su nombre lo indica, la fisuración por baja temperatura es un deterioro causado más por las condiciones adversas del medio ambiente que por la aplicación de las cargas del tránsito. Se caracteriza por fisuras transversales (es decir, perpendiculares a la dirección del tránsito) intermitentes que se producen con un espaciamiento notablemente uniforme.

Las fisuras por baja temperatura se forman cuando una capa de pavimento asfáltico se contrae en climas fríos. Cuando el pavimento se contrae, se originan tensiones de tracción dentro de la capa. En algún lugar a lo largo del pavimento, la tensión de tracción excede la resistencia de tracción y la capa asfáltica se fisura. Así, las fisuras por baja temperatura ocurren principalmente a partir de un ciclo de baja temperatura. Algunos ingenieros, no obstante, también creen que es un fenómeno de fatiga debido al efecto acumulativo de varios ciclos climáticos fríos.

Ambos grupos concuerdan en que el ligante asfáltico juega el rol central en la fisuración por baja temperatura. En general, los ligantes asfálticos duros son más propensos a la fisuración por baja temperatura que los blandos. Los ligantes asfálticos excesivamente oxidados, sea por excesiva propensión a la oxidación o por pertenecer a una mezcla con muy alto porcentaje de vacíos, o por ambas causas, son más susceptibles al fisuramiento por baja temperatura.

3.4 ALMACENAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

En los casos en que las operaciones de pavimentación deben ser interrumpidas, la planta podría seguir produciendo mezcla. En tales casos, la mezcla que no habrá de utilizarse inmediatamente deberá almacenarse en recipientes (silos con forma cónica). La mezcla caliente es vaciada en la parte superior del silo, de tal manera que caiga verticalmente a lo largo del eje vertical de la estructura. Este sistema se ha diseñado de manera que casi ni exista escurrimiento por las paredes superiores del silo y así la segregación de la mezcla será mínima. Conforme se va llenando el fondo, la mezcla se mantiene uniforme.

Existen también recipientes giratorios que mantienen la mezcla en constante movimiento, como es el caso de algunos camiones que transportan la mezcla en caliente. De este modo la mezcla no se segrega y se mantiene uniforme. Este tipo de recipientes puede ser llenado en cuestión de segundos, mientras que los camiones deben esperar en la planta, por la producción de varias tandas, antes de ser cargados.

Los silos de almacenamiento pueden guardar de 50 a 100 toneladas de mezcla. Normalmente pueden almacenar mezclas en caliente hasta durante 12 horas sin que haya una pérdida significativa de calor o de calidad.

En los casos de las pavimentaciones que requieren producciones mayores a la capacidad de la planta los silos de almacenamiento se usan para ser llenados antes de empezar las operaciones de pavimentación y así incrementar la eficiencia.

A veces es necesario almacenar mezclas en caliente por más de 12 horas. Silos de almacenamiento, similares a los recipientes giratorios, son

utilizados para ese propósito. La capacidad de esos silos (calentados) de almacenamiento puede llegar hasta 50 toneladas. Pueden almacenar mezclas asfálticas en caliente, hasta por 28 días, sin que se dé daño alguno en la mezcla. La mezcla en caliente envejece rápidamente cuando se ve expuesta al aire. El proceso de oxidación endurece el asfalto, Para un almacenamiento a largo plazo se utiliza una atmósfera sin oxígeno, para así prevenir el endurecimiento de la mezcla en caliente.

Los silos de almacenamiento pueden ser ubicados a grandes distancias de la planta. Esto hace posible que la planta pueda servir un área mayor y proveer mezclas asfálticas en caliente, para pavimentación en tiempos en los cuales dicha planta normalmente no estaría operando.

IV. EQUIPO

Dependiendo del proyecto de mantenimiento de carreteras que se este efectuando, se pueden usar varios tipos de maquinas para el buen desempeño de este, pero el equipo más frecuentemente usado es el siguiente.

4.1 COMPRESORES DE AIRE

Figura 6. Compresores de aire



4.2 COMPACTADORAS

Figura 7. Compactadoras



4.3 RODOS VIBRATORIOS

Figura 8. Rodos Vibratorios:



4.4 COMPACTADOR DE IMPACTO

Figura 9. Compactador de impacto:



4.5 CORTADORA DE ASFALTO

Figura 10. Cortadora de asfalto:



4.6 RASPADOR O RASTRILLO DE ALUMINIO

Figura 11. Raspador o raedera de aluminio:



4.7 PALAS, PIOCHAS Y CARRETILLAS

Figura 12. Palas, piochas y carretillas:



V. PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS Y SU CORRECTA SOLUCIÓN

5.1 BACHES

Son cavidades de distintos tamaños, que se forman en el pavimento como resultado de desintegración localizada.

Figura 13: Bache



1) **Causas.** Los baches son causados, generalmente, por debilidad del pavimento, resultante de la escasez de asfalto, superficie de asfalto demasiado delgada, demasiados finos, pocos finos, o drenaje deficiente.

2) **Reparación** Generalmente los baches aparecen cuando es difícil hacer una reparación permanente, requiriéndose entonces aplicar medidas de emergencia. Las reparaciones temporales consisten, usualmente, en la

limpieza del hueco (Figura 17) y su relleno con un material asfáltico de bacheo premezclado. La reparación permanente se realiza abriendo un hueco hasta alcanzar el material firme por los lados y por el fondo, y rellenándolo con un nuevo material de base o con mezcla asfáltica. (Figura 19)

Cuando la base de un bache profundo consiste en material no tratado, sobre ella debe aplicarse una capa de imprimación con 0.75 a 1.00 litro de asfalto líquido por metro cuadrado.

Para aplicar la imprimación, si no se dispone de un equipo de riego se pueden utilizar métodos manuales. Pero debe tenerse cuidado en no aplicar un exceso de asfalto. La cantidad de material asfáltico utilizado para imprimir la base debe ser solamente la suficiente para unir las partículas superficiales.

Los bordes preparados de la superficie que rodea el área que se va a reparar deben ser regados con una capa de pega, a fin de asegurar su unión con el material de bacheo.

Si las capas de imprimación y de pega son de emulsión asfáltica, antes de colocar la mezcla de bacheo se debe dejar que transcurra el tiempo suficiente para que la emulsión rompa y se evapore la mayor parte del agua. Igualmente, a los asfaltos de curado rápido o curado medio debe dárseles tiempo de penetrar y curar antes de colocar la mezcla de bacheo.

Cuando el bacheo es superficial, es necesario aplicar una capa de pega ligera. La ausencia de la capa de pega, o una capa de pega demasiado gruesa puede originar un plano de deslizamiento. Los métodos de aplicación son similares a los utilizados para la imprimación, excepto que las cantidades utilizadas son mucho más pequeñas.

Después que el área a bachear ha sido debidamente preparada, incluyendo la limpieza de los bordes y la aplicación correcta de las capas de imprimación o de pega, solo falta colocar y compactar la mezcla.

Debe evitarse la segregación. Las mezclas de bacheo nunca deben ser descargadas por gravedad desde el camión a la superficie a bachear. Deben ser paleadas directamente desde el camión, o bien desde un tablero sobre el cual se han descargado.

Al hacer una junta, nunca se debe empujar el material desde el centro del bache a los bordes. Si se requiere más material en el borde, debe depositarse allí, y el exceso eliminarse después. La cantidad de material colocado en el área del bache debe ser la suficiente para evitar que, después de la compactación, la superficie del parche quede más baja que el pavimento adyacente. Sin embargo, si se coloca demasiado material en el bache quedará una elevación.

Al compactar un parche, la primera pasada y vuelta del rodillo, compactador vibratorio o ruedas del camión de mantenimiento (si se usan éstas) no deben cubrir más de 15 cm del material del bache en el borde. Esto debe repetirse luego en el lado opuesto, para compactar el material en las juntas del borde. La compactación debe entonces proseguir desde el lado bajo al lado alto, cubriéndola pasada y repasada unos cuantos centímetros más hacia adentro del bache. Cuando se utilizan equipos y procedimientos adecuados, la superficie del parche debe quedar al mismo nivel que la superficie del pavimento circundante. Sin embargo, si se utilizan compactadores de mano o se usa cualquier otro método de compactación empleando equipos livianos, la superficie del parche debe quedar ligeramente más alta que la del pavimento. El tráfico comprimirá más el parche.

Figura 14. Bache sin tratar



Figura 15. Cuadrando el bache hasta alcanzar apoyo firme.



Figura 16. Limpieza del hueco del material suelto.



Figura 17. Aplicación de la capa de pega.



Figura 18. Distribución de mezcla asfáltica en el hueco.



Figura 19. Compactación de mezcla asfáltica.



Figura 20. Bache terminado.



Muchos parches después de colocados exudan asfalto, se hacen inestables y están sometidos a desplazamiento. Generalmente, la causa es un exceso de asfalto en la mezcla de bacheo. La inestabilidad de un parche puede ser causada, también, al no permitirse que el material del parche (cuando se hace con una mezcla de bacheo almacenada) cure antes de someterse al tráfico.

Para lograr la mejor mezcla de bacheo, se debe hacer una investigación de laboratorio de los materiales propuestos para ser usados.

Las mezclas de bacheo de alta calidad, mezcladas en caliente, aunque cuestan más que otros materiales de bacheo, producen parches que duran más. El mayor costo de un parche reside en su colocación, no en el costo del material. Por consiguiente, el uso de materiales mezclados

en caliente para parches que duran mucho más que los hechos con otros materiales, representa una economía fácilmente apreciable.

5.2 AGRIETAMIENTOS

Los agrietamientos pueden aparecer bajo diversos aspectos. En algunos casos, el simple relleno de las grietas puede ser el tratamiento adecuado. En otros puede requerirse la remoción completa del área afectada y la instalación de drenajes, antes de poder hacerse una reparación efectiva. Por consiguiente, para hacer las reparaciones adecuadas, el primer paso es determinar la causa del agrietamiento.

Agrietamientos en forma de piel de cocodrilo

Son grietas interconectadas que forman una serie de pequeños bloques que semejan una piel de cocodrilo o malla de gallinero.

1) Causa: En la mayoría de los casos, los agrietamientos en forma de piel de cocodrilo son ocasionados por deflexiones excesivas de una superficie apoyada sobre una subrasante o capas inferiores del pavimento inestable. El soporte inestable es, generalmente, la consecuencia de la saturación de bases granulares o subrasantes. En la mayoría de los casos, el área afectada no es grande, sin embargo, algunas veces puede cubrir secciones completas de un pavimento. Cuando esto ocurre, probablemente es debido a la acción de cargas repetidas que exceden la capacidad de carga del pavimento.

2) Reparación. Puesto que las grietas en forma de piel de cocodrilo son, usualmente, el resultado de la saturación de bases o subrasantes, la

corrección debe incluir la remoción del material húmedo y la instalación de los drenajes necesarios, Para obtener un parche resistente se debe emplear únicamente un material asfáltico mezclado en planta. (Esta puede ser la reparación menos costosa, debido a que se realiza en una sola operación usando un solo material). Si no se dispone del material asfáltico mezclado en planta, se puede colocar un material granular de base nuevo, compactándolo en capas que no excedan de 15 cms.

La base granular debe ser luego imprimada y bacheada. Cuando sea necesario, se pueden realizar reparaciones temporales, aplicando parches superficiales o capas de sello con agregado en las áreas afectadas. En todos los casos, las reparaciones deben hacerse prontamente para evitar mayores daños al pavimento.

Figura 21. Agrietamiento piel de cocodrilo



Grietas en los bordes

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

Figura 22. Grieta en borde.



1) Causas: Generalmente, las grietas en los bordes son debidas a falta de soporte lateral. También pueden haber sido ocasionadas por el asentamiento o desplazamiento del material que se encuentra debajo del área agrietada, lo cual, a su vez, puede ser el resultado de drenaje deficiente, levantamiento por congelación, o encogimiento debido a la evaporación del agua en los suelos cercanos. En los tres últimos casos, los arbustos o cualquier vegetación fuerte próxima al borde del pavimento pueden ser la causa.

2) Reparación: Para efectuar reparaciones provisionales se rellenan las grietas como en el caso de las grietas de reflexión, Para reparaciones de más duración, se rellenan las grietas con lechada de emulsión asfáltica o asfalto liquido mezclado con arena. Si el borde del pavimento se ha asentado, se debe llevar a su nivel utilizando material de bacheo mezclado en planta en caliente.

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- a) Se mejoran los drenajes, instalando subdrenajes cuando sea necesario.
- b) Se limpian el pavimento y las grietas con cepillo y aire comprimido.
- c) Se rellenan las grietas con lechada de emulsión o asfalto líquido, mezclado con arena, enjugando con una escobilla de goma.
- d) Se aplica una capa de pega.
- e) Se nivelan los bordes asentados, extendiendo material asfáltico mezclado en planta en caliente. Se compacta con un compactador vibrante plano o con una apisonadora. Los bordes del parche deben quedar limpios y rectos.
- f) Se remueven los árboles, hierbas o cualquier otra vegetación, excepto la grama, que se encuentren próximos a los bordes del pavimento.

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 dichos carriles.

Figura 23. Grieta a lo largo de la junta de los carriles.



1) Causas. Este tipo de grietas es debido, generalmente, a la debilidad de la junta entre las capas de pavimento contiguo, cuando éste se está extendiendo.

2) Reparación: Las grietas pequeñas de menos de tres milímetros de ancho, son demasiado pequeñas para poder sellarlas efectivamente. Las grietas grandes se pueden llenar con lechada de emulsión asfáltica o con un asfalto líquido liviano mezclado con arena fina.

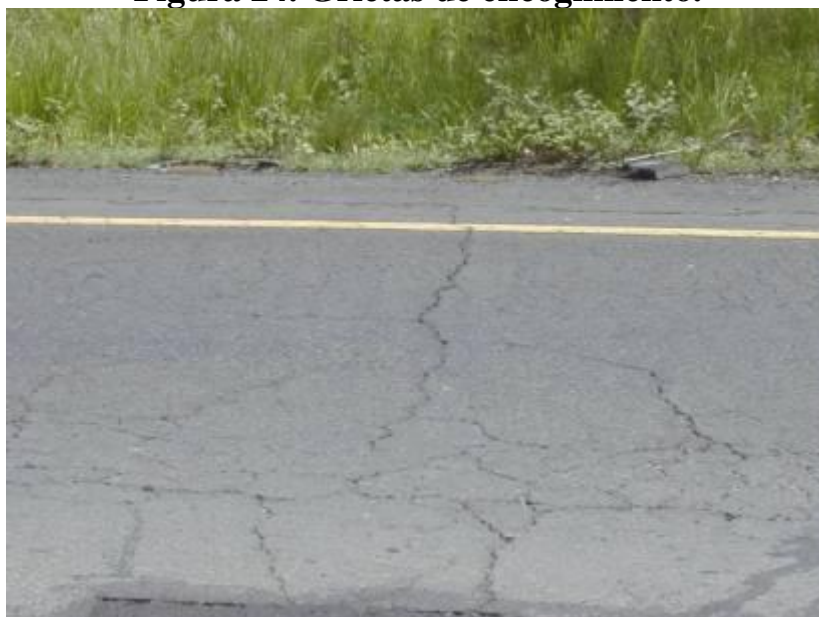
Se procede así para corregir el problema:

- a) Se limpian las grietas con un cepillo, o con aire comprimido.
- b) Utilizando una maestra de mano, y un cepillo se rellenan (sin exceso) con lechada de emulsión o asfalto líquido, mezclado con arena. Después del curado se sella con asfalto líquido.
- c) Se cubre con arena seca para evitar que el tráfico la levante.

Grietas de encogimiento

Las grietas de encogimiento son grietas interconectadas que forman una serie de bloques grandes, generalmente con vértices agudos

Figura 24. Grietas de encogimiento.



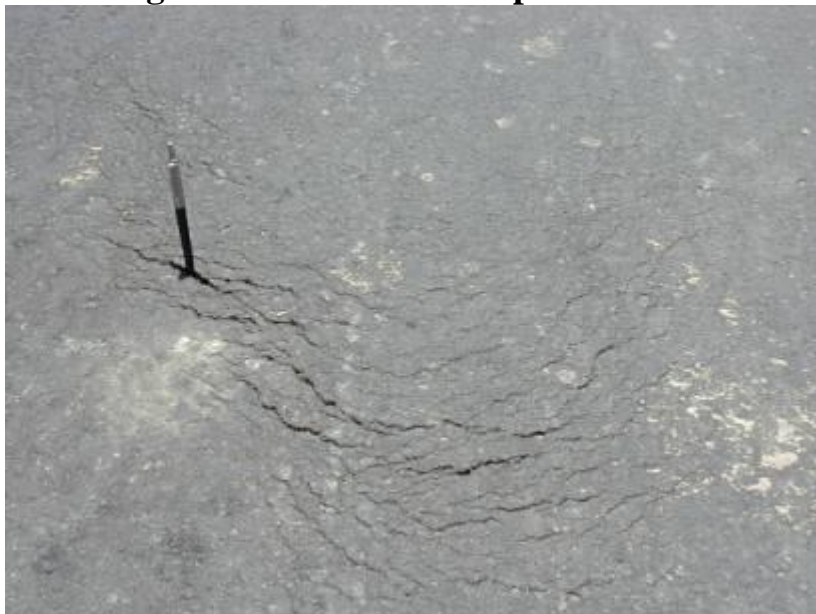
1) Causas. Generalmente es difícil determinar si las grietas de encogimiento han sido ocasionadas por cambios de volumen de la mezcla asfáltica, de la base o de la subrasante. Frecuentemente son producidas por los cambios de volumen de las mezclas asfálticas fabricadas con agregado fino y que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. En estos pavimentos, la ausencia de tráfico apresura la aparición de las grietas de encogimiento.

2) Reparación. Las grietas se rellenan con lechada de emulsión asfáltica, seguida por un tratamiento superficial o un sello de lechada sobre toda la superficie.

Grietas de 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 sin significar esto que invariablemente apunten en la dirección del tráfico. Por ejemplo, si se aplican los frenos a un vehículo que baja por una pendiente, el empuje de las ruedas queda invertido. El desplazamiento que se produce en estas circunstancias forma grietas que apuntan hacia arriba.

Figura 25. Grietas de desplazamiento.



1) Causas. Las grietas de desplazamiento son ocasionadas por la falta de una buena adherencia entre la carpeta de superficie y la carpeta inferior. La falta de adherencia puede deberse a la presencia de polvo, aceite, caucho, barro, agua o cualquier otro material no adhesivo entre las dos carpetas. Generalmente, tal falta de adherencia existe cuando no se ha colocado una capa de pega. Las grietas de desplazamiento pueden deberse también a que la mezcla tenga un alto contenido de arena, y pueden producirse tanto si la arena es de grano redondo como angular. Algunas veces, el desplazamiento puede producirse bajo la acción del tráfico debido a que durante la construcción una compactación inapropiada ocasionó la rotura de la adherencia entre las carpetas.

2) Reparación. La única manera apropiada para reparar una grieta de desplazamiento es remover la carpeta superficial alrededor de la grieta, hasta donde exista buena adherencia entre las capas, y bachear luego la superficie con un material asfáltico producido en planta.

5.3 AHUELLAMIENTOS

Son las depresiones canalizadas que se forman en los pavimentos asfálticos por el efecto de la huellas.

Figura 26. Depresión por efecto del tránsito.



1) Causas. Los ahuellamientos pueden producirse por la consolidación o por el movimiento lateral, bajo el tráfico, de una o más de las capas inferiores, o por desplazamientos, en la propia capa asfáltica superficial. Pueden desarrollarse, bajo la acción del tráfico, en los pavimentos asfálticos nuevos que han tenido poca compactación durante la construcción o, también por movimientos plásticos en las mezclas que no tengan suficiente estabilidad para soportar el tráfico.

2) Reparación. Se enrasa el pavimento rellenando las depresiones con mezcla asfáltica producida en planta en caliente y luego se coloca un recubrimiento asfáltico delgado de mezcla en planta.

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera:

- a. Se determinan los límites de las depresiones con una regla o con un cable, demarcando las áreas a rellenar.
- b. Se aplica una capa de pega ligera (0,25 a 0,75 litros por metro cuadrado de emulsión asfáltica SS-1 o SS-1h diluida en partes iguales de agua).

- c. En las depresiones se extiende concreto asfáltico densamente graduado (mezcla tipo IVa o IVb del Instituto del Asfalto) con una pavimentadora, debiendo quedar el material rebajado en los bordes.
- d. Se compacta con un rodillo de ruedas de goma. Si no se dispone de él, se utiliza un rodillo de rueda metálica
- e. Se aplica un recubrimiento delgado de material mezclado en planta en caliente.
- f. Si el pavimento no se va a recubrir con una carpeta, se aplica un sello de arena sobre el área bacheada a fin de evitar la entrada de agua, teniendo cuidado de no regar asfalto en exceso.

5.4 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 levantamiento localizado de la superficie del pavimento. Ocurre, usualmente, en los sitios donde los vehículos frenan durante la bajada, en las curvas cerradas, y donde los vehículos golpean un resalto y se balancean.

Figura 27. Ondulación.



1) Causas. Las ondulaciones y combaduras generalmente se producen en las capas asfálticas que carecen de estabilidad. La falta de estabilidad puede ser debida a que la mezcla sea demasiado rica en asfalto, tenga una alta proporción de agregados finos, o tenga agregados finos o gruesos demasiado redondos o de textura demasiado lisa, o que el cemento asfáltico sea demasiado blando. También puede ser debido a humedades excesivas, contaminación con aceite, o falta de aeración cuando se colocan las mezclas utilizando asfalto líquido.

2) Reparación. Si el pavimento ondulado está formado por una base de agregado y un tratamiento superficial delgado, una medida correctiva satisfactoria es escarificar la superficie, mezclarla con la base, y extender y recomprimir esta mezcla antes de repavimentar.

Si el pavimento tiene una base y una superficie asfáltica de más de 5 cm. de espesor las ondulaciones superficiales pueden eliminarse, aplicando a una capa de sello o una carpeta superficial de mezcla en planta.

Para lograr una reparación efectiva de las áreas combadas, éstas deben ser removidas y bacheadas.

5.5 EXUDACIÓN O AFLORACIÓN DE ASFALTO

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

Figura 28. Exudación del asfalto.



1) Causa. La causa más común de la exudación o afloración, la cual usualmente se produce en tiempo caluroso, es un exceso de asfalto en una o más de las capas del pavimento. Esto puede resultar cuando se usa una mezcla en planta demasiado rica, una capa de sello mal construida, una imprimación o capa de pega demasiado gruesa, o un solvente que arrastra el asfalto hacia la superficie. También, un tráfico demasiado pesado puede ocasionar la compresión del pavimento que contiene demasiado asfalto, obligando a éste a brotar hacia la superficie.

2) Reparación. En muchos casos, la exudación puede corregirse esparciendo repetidamente arena caliente o cerniduras de escoria o de roca en caliente, para absorber el exceso de asfalto. Algunas veces, cuando la exudación es ligera, un tratamiento superficial con mezcla en planta o un sello de agregado, usando agregado absorbente, es el único tratamiento requerido. Otras, una carpeta niveladora de mezcla en planta en caliente, con bajo contenido de asfalto, puede ser efectiva para absorber el exceso de asfalto. Con este tratamiento, sin embargo, es

necesario colocar una nueva carpeta sobre la carpeta de nivelación, para evitar el desgaste.

Para realizar la reparación este trabajo se procede de la siguiente manera:

- i) Se esparcen cerniduras de escoria, arena o roca cuyo tamaño máximo no sobrepase un centímetro, sobre el área afectada. Este agregado debe ser calentado al menos a 150°C, y extendido a razón de 5 a 7,5 kilos por metro cuadrado.
- ii) Inmediatamente después de extendido el agregado, se apisona con un rodillo de ruedas de goma.
- iii) Cuando el agregado se ha enfriado, se barren las partículas sueltas.
- iv) Si es necesario, se repite el proceso.

5.6 AGREGADOS PULIDOS

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

Figura 29. Agregado pulido en pavimento.



1) Causa: Algunos agregados, particularmente algunos tipos de calizas se pulen rápidamente bajo el tráfico. Otros, tales como algunas gravas, son lisos por naturaleza y, si se utilizan sin triturar en la superficie del pavimento, éstos serán peligrosos por resbaladizos, en especial cuando estén mojados.

2) Reparación. La única forma efectiva de reparar un pavimento construido con agregados pulidos es recubriendo la superficie con un tratamiento antiresbaladizo. Para ello se debe aplicar un tratamiento superficial de mezcla en planta en caliente, un sello de arena o un sello de agregado. El agregado debe ser duro y angular, tal como la arena silícea u otro material comprobado como no pulimentable.

Los pasos para corregir el problema son los siguientes:

- a) Se aplica una capa de pega ligera (0,25 a 0,75 litros por metro cuadrado de emulsión asfáltica SS-1 o SS-lh diluida en partes iguales de agua).
- b) Se extiende material mezclado en planta en caliente, utilizando un agregado como escoria triturada o arena silicea, si no se dispone de material mezclado en planta en caliente, podrá usarse un seno de arena o de agregado.
- e) Se apisona con rodillos de ruedas de goma y con un rodo liso.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se considera como mantenimiento de un pavimento asfáltico, el trabajo desarrollado para lograr que éste, bajo las condiciones normales de tráfico y bajo las fuerzas de la naturaleza, se mantenga funcionando lo más cerca posible a las condiciones iniciales de construcción.
2. Para lograr un buen acabado final en carreteras, es necesario prestar atención a una buena calidad de los materiales que componen la mezcla asfáltica en caliente, y también es importante que tanto peones, encargados de maquinaria y supervisores de obra estén lo suficientemente capacitados para realizar estos trabajos, porque no tiene objeto que mezcla asfáltica sea buena si no se sabe manipular y aplicar correctamente.
3. Podemos decir que en consecuencia, la mejor forma de evitar las deformaciones y baches se logra de la siguiente manera:
 - a. Estimación adecuada del número de cargas pesadas en la etapa de diseño de mezcla en caliente.
 - b. Mantener, por todos los medios posibles, seca la sub-rasante
 - c. Usar pavimentos de mayor espesor.
 - d. Emplear materiales que no sean excesivamente débiles ante la presencia de la humedad.
 - e. Utilizar materiales para pavimentos que sean lo suficientemente resistentes para resistir deflexiones normales.

4. Debido a que en Guatemala la mayoría del transporte pesado no se acopla a las cargas permisibles de circulación, es bueno tomar en cuenta un sobre diseño de la mezcla asfáltica en caliente, para poder dar una mayor vida útil a la carretera.
5. Es muy importante la preparación de una buena base en lo que respecta a pavimentos flexibles pues si no existe ésta o un buen drenaje, el agua puede afectar la capa de base, la cual refleja directamente a la superficie de rodadura cualquier deformación que es corregible, pero con un mayor costo.
6. Es necesario una buena comunicación entre el supervisor y el contratista, para tener definida la formula, que se utilizará y la temperatura a que deberá ser colocada la mezcla para no tener problemas al momento de realizar el bacheo.
7. Una de las tareas más importantes es tener una cuadrilla de mantenimiento, pues la mayoría de equipo necesita lubricación adecuada, servicios periódicos y ajustes menores que si no se realizan a tiempo ocasionan una pérdida de tiempo o un trabajo deficiente que debe de ser repetido.
8. Hoy en día existe maquinaria para mantenimiento de carreteras y una muy utilizada son las mencionadas perfiladoras que facilitan el trabajo de remoción de la capa antigua de asfalto que al hacerse a mano es mucho más tardado. Es importante que el contratista evalúe la utilización de estas maquinas para agilizar el desarrollo del proyecto.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- *Asphalt Plant Manual*. 1983. United States of America. Asphalt Institute. Manual Series No. 3 MS-3. 126 págs.
- *Asphalt paving Manual*. 1983. United States of America. Asphalt Institute. Manual Series No. 8 MS-8. 423 págs.
- *El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos*. Estados Unidos de America. 1970. Instituto de Asfalto. Manual No. 16 – Serie de Manuales (MS-16). 85 págs.
- *Especificaciones generales en la Construcción de Carreteras y Puentes*. 1975. Guatemala. Dirección General de Caminos de Guatemala. 707 págs.
- García Maya Baldini. 1992. *Interpretación sobre el uso correcto de pavimentos asfálticos usados en caliente*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 133 págs.
- Gutiérrez Jorge Alejandro. 2000. *Doble tratamiento asfáltico superficial, una alternativa eficiente y económica para las carreteras de Guatemala*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 189 págs.
- *Principles of construction of hot mix asphalt pavements*. 1983 United States of America. Asphalt Institute. Edición. Manual Series No 22. MS-22. 300 págs.