



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

MANTENIMIENTO DE CARRETERAS CON CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE

Josué Roberto Aldana Salguero
Asesorado por Ing. Hugo Rodríguez Guzmán

Guatemala, octubre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MANTENIMIENTO DE CARRETERAS CON CONCRETO ASFÁLTICO EN
CALIENTE

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSUÉ ROBERTO ALDANA SALGUERO

ASESORADO POR ING. HUGO RODRÍGUEZ GUZMÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Ronny de Jesús Mayorga Licon
EXAMINADORA	Ing. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Calixto Santiago Monteagudo Cordero
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**MANTENIMIENTO DE CARRETERAS CON CONCRETO
ASFÁLTICO EN CALIENTE**

Tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 13 de julio de 2004.

Josué Roberto Aldana Salguero

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad de San Carlos de Guatemala, en especial a la Facultad de Ingeniería.
- Al ingeniero Hugo A. Rodríguez Guzmán, asesor del presente trabajo.
- A mi amigo y compañero: Ing. Byron de León.
- Al pueblo de Guatemala.
- A usted, muy especialmente.

ACTO QUE DEDICO

- **A DIOS**

Porque Él es la fuente de toda sabiduría y porque gracias a su amor, fidelidad e infinita misericordia he podido llegar hasta este día.

- **A MIS PADRES**

Roberto Aldana y Leonor Salguero: porque me han brindado su amor y su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida; porque me han enseñado a amar a Dios, a los demás y siempre dar lo mejor de mi mismo, y porque el mejor regalo que me han podido dar es su ejemplo y los valores que me han inculcado.

- **A MIS HERMANAS**

Erika, Débora y Dámaris: porque han sido un gran ejemplo para mí, porque siempre me han brindado su amor y su apoyo, y porque sé que puedo contar con ustedes en todo momento.

- **A UNA PERSONA MUY ESPECIAL**

Paola Fernández: porque tu amor y tu apoyo me han ayudado a salir adelante.

- **A MIS AMIGOS**

Estiver, Arnoldo, Charly, Hendri, Marlon y Julmy, por darme su cariño y porque han estado conmigo en las buenas y en las malas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV

1 GENERALIDADES

1.1	Definición de mantenimiento vial	1
1.1.1	Mantenimiento rutinario	1
1.1.2	Mantenimiento periódico	2
1.1.3	Mantenimiento preventivo	2
1.1.4	Mantenimiento a costo más porcentaje por administración/administración delegada	3
1.1.5	Mantenimiento de emergencia	3
1.2	Pavimento de concreto asfáltico	4
1.2.1	Definición de pavimento	4
1.2.2	Concreto asfáltico	5
1.2.3	Tratamiento superficial o sellos asfálticos	6
1.2.4	Riegos asfálticos	8
1.2.4.1	Imprimación	8
1.2.4.2	Adherencia	8

2 MANTENIMIENTO GENERAL

2.1	Mantenimiento de derecho de vía	9
2.2	Mantenimiento de obras auxiliares	10
2.2.1	Mantenimiento de hombros	11
2.2.1.1	Reconstrucción de hombros	11
2.2.1.1.1	Escarificación y re conformación	12
2.2.1.1.2	Base en hombros	13
2.2.1.1.3	Imprimación en hombros	14
2.2.1.1.4	Capa de rodadura	15
2.2.2	Mantenimiento de cunetas	19
2.2.3	Mantenimiento de taludes	20
2.2.3.1	Conservación de taludes de relleno	21
2.2.3.2	Mantenimiento de contra cunetas	22
2.2.4	Mantenimiento de drenaje	23
2.3	Mantenimiento de señalización vial	24
2.3.1	Señalización horizontal	24
2.3.2	Señalización vertical	26
2.3.3	Marcador reflectorizado de pavimentos	27

3 MANTENIMIENTO DE CARPETA ASFÁLTICA

3.1	Tipos de fallas en concreto asfáltico	29
3.1.1	Fisuras y grietas	30
3.1.1.1	Fisura piel de cocodrilo	30
3.1.1.2	Fisuras en bloque	31
3.1.1.3	Fisuras en arco	32
3.1.1.4	Fisura transversal	33
3.1.1.5	Fisura longitudinal	35

3.1.1.6	Fisura por reflexión de junta	37
3.1.2	Deformaciones superficiales de pavimentos asfálticos	39
3.1.2.1	Ahuellamiento	39
3.1.2.2	Corrimiento	41
3.1.2.3	Corrugación	42
3.1.2.4	Hinchamiento	43
3.1.2.5	Hundimiento	44
3.1.3	Desintegración en los pavimentos asfálticos	45
3.1.3.1	Bache	45
3.1.3.2	Desvestimiento	48
3.1.3.3	Desintegración de bordes	49
3.1.4	Otros deterioros en los pavimentos asfálticos	50
3.2	Tratamiento de fallas con concreto asfáltico en caliente	51
3.2.1	Materiales	51
3.2.1.1	Materiales para sello de grietas de contracción	51
3.2.1.2	Materiales para bacheo menor, bacheo mayor y recapeo	51
3.2.2	Mano de obra y equipo	52
3.2.3	Sello de grietas de contracción	54
3.2.3.1	Procedimiento de ejecución para sello de grietas	55
3.2.4	Bacheo menor	56
3.2.4.1	Procedimiento de ejecución para bacheo menor	56
3.2.5	Bacheo mayor	57
3.2.5.1	Procedimiento de ejecución para bacheo mayor	58

3.2.6	Colocación de capas asfálticas de refuerzo en caliente	59
3.2.6.1	Procedimiento de ejecución para recapeo	60

4 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES Y EQUIPO

4.1	Especificaciones de materiales	63
4.1.1	Asfaltos	63
4.1.1.1	Cementos asfálticos (AC)	64
4.1.1.2	Asfaltos de curado lento (SC)	65
4.1.1.3	Asfaltos diluidos de curación media (MC)	66
4.1.1.4	Asfaltos diluidos de curación rápida (RC)	67
4.1.2	Emulsiones	68
4.1.3	Material pétreo (agregados)	70
4.1.3.1	Abrasión	70
4.1.3.2	Desintegración al sulfato de sodio	70
4.1.3.3	Caras fracturadas y partículas planas o alargadas	70
4.1.3.4	Impurezas	71
4.1.3.5	Graduación	71
4.1.3.6	Plasticidad	72
4.1.3.7	Peso	72
4.1.3.8	Resistencia al desvestimiento	72
4.1.4	Material secante para sello de fisuras	73
4.1.5	Material para el sellado de grietas o fisuras	74
4.1.6	Base granular	75
4.1.6.1	Valor soporte	76
4.1.6.2	Abrasión	76
4.1.6.3	Partículas planas y alargadas	76
4.1.6.4	Impurezas	76

4.1.6.5	Graduación	76
4.1.6.6	Plasticidad y cohesión	77
4.1.6.7	Equivalente de arenas	78
4.2	Ensayos para materiales de mezcla asfáltica	78
4.2.1	Ensayos para asfaltos	78
4.2.1.1	Penetración	78
4.2.1.2	Viscosidad	78
4.2.1.3	Punto de inflamación	79
4.2.1.4	Ductilidad	79
4.2.1.5	Solubilidad	79
4.2.2	Ensayos para agregados	80
4.2.2.1	Granulometría	80
4.2.2.2	Abrasión	80
4.2.2.3	Peso específico	81
4.2.2.4	Peso unitario	81
4.2.2.5	Humedad	81
4.2.2.6	Ensayo de resistencia a los sulfatos	82
4.3	Métodos de dosificación de mezclas asfálticas	82
4.3.1	Mezclas asfálticas de fraguado lento	82
4.3.2	Mezclas asfálticas de fraguado medio	83
4.3.3	Mezclas asfálticas de fraguado rápido	84
4.4	Especificaciones de equipo	84
4.4.1	Equipo para mantenimiento general	85
4.4.2	Equipo para mantenimiento de carpeta asfáltica	89
4.4.2.1	Equipo para escarificación	85
4.4.2.2	Equipo para limpieza de área de trabajo	86
4.4.2.3	Equipo para riego de liga o imprimación	86
4.4.2.4	Equipo para pavimentación	87
4.4.2.5	Equipo de compactación	87

4.4.3	Equipo de seguridad	88
	CONCLUSIONES	89
	RECOMENDACIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Estructura de pavimento de concreto asfáltico	5
2	Tipos de mezclado de concreto asfáltico	6
3	Mantenimiento de taludes	22
4	Ejemplos de señales verticales	27
5	Fisura piel de cocodrilo en anillo periférico zona 11	30
6	Fotografía de fisuras en bloque	32
7	Fisuras en arco	33
8	Fotografía de fisura transversal en 46 calle zona 12, ciudad de Guatemala	35
9	Fotografía de fisura longitudinal	37
10	Fisura por reflexión de junta	38
11	Fotografía de ahuellamiento en bulevar El Naranjo zona 7	40
12	Fotografía de corrimiento en calzada Aguilar Batres	42
13	Esquema de corrugación	43
14	Esquema de hinchamiento	44
15	Esquema de hundimiento	45
16	Esquema de un bache	47
17	Fotografía de bache en calzada Aguilar Batres	47
18	Esquema de desvestimiento	49
19	Esquema de desintegración de bordes	50

TABLAS

I	Niveles de severidad de los baches	46
II	Especificaciones para cementos asfálticos	64
III	Especificaciones para asfalto fluidificado de fraguado lento (SC)	65
IV	Especificaciones para asfalto fluidificado de curado medio (MC)	66
V	Especificaciones para asfalto fluidificado de curado rápido (RC)	67
VI	Especificaciones para emulsión asfáltica en tratamiento superficial	68
VII	Requisitos para las emulsiones asfálticas	69
VII	Tipos de graduación para agregados de mezcla asfáltica	71
IX	Granulometría para el material secante	73
X	Requisitos para el material bituminoso	74
XI	Especificaciones de sellos para juntas	75
XII	Tipos de graduación para el material de base granular	77

GLOSARIO

Agregado	Material pétreo de composición mineralógica que se combina con un material cementante para formar concreto asfáltico.
Asfalto	Producto derivado de los hidrocarburos que endurece por enfriamiento o evaporación de sus disolventes.
Bache	Desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento
Carpeta asfáltica	Capa del pavimento destinada a la circulación de vehículos que protege las capas inferiores y brinda comodidad y seguridad a los transeúntes.
Carretera	Vía de tránsito público en zonas no urbanas.
Cemento asfáltico	Hidrocarburos provenientes de los aceites lubricantes y los combustibles que sirve como aglutinante en el concreto asfáltico.
Derecho de vía	Área o superficie de terreno propiedad del Estado dentro de la cual se construye una vía
Emulsión	Material formado por tres ingredientes básicos: cemento asfáltico, agua y agente emulsivo.

Hombro	Área a ambos lados de la vía que proporciona soporte lateral al pavimento y sirve como parada de emergencia para los vehículos que circulan por la carretera.
Imprimación	Aplicación de riego por aspersion de un producto asfáltico rebajado de curado medio sobre la base granular, con el objetivo de conservar sus propiedades físicas y mecánicas.
Pavimento	Estructura principal de una carretera, construida sobre la sub-rasante y formada por tres capas principales: la sub-base, la base y la capa de rodadura, cuya función principal es soportar las cargas de los vehículos y transmitir los esfuerzos al terreno, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones peligrosas.
Talud	Área de terreno en corte o relleno comprendido entre la cuneta y el terreno original.
Tamiz	Aparato con mallas de abertura cuadrada utilizado en campo o en laboratorio para separar el material en sus distintos tamaños.
Vía	Calle, camino o carretera por donde transitan los vehículos.

RESUMEN

El mantenimiento vial se define como el conjunto de trabajos que se realizan en diferentes periodos de tiempo en los diferentes elementos de una carretera: derecho de vía, hombros, drenajes, cunetas, taludes, etc., con el propósito de conservarlos en buenas condiciones de modo que presten el servicio para el cual fueron diseñados de una manera eficiente.

Las carreteras de concreto asfáltico requieren de un mantenimiento periódico y efectivo en sus diferentes elementos tales como drenajes, taludes, cunetas, etc., para poder mantener la estructura principal del pavimento en buenas condiciones. Recordemos que el principal elemento que daña una carretera es el agua lo que significa que se deben mantener en buenas condiciones las obras auxiliares.

La acción constante de los elementos y las cargas que actúan sobre una carretera la desgastan, provocando daños que deben ser tratados de acuerdo con el grado de severidad.

Además, para que un mantenimiento sea efectivo se deben emplear materiales que cumplan con los requisitos o especificaciones normados que se determinan a través de ensayos de laboratorio. Para que un mantenimiento sea adecuado, también se debe utilizar el equipo correcto y específico para cada tarea, de modo que buenos materiales sean respaldados por buenos métodos, llevados a cabo con el equipo y maquinaria.

OBJETIVOS

General

Elaborar un documento en el cual se recopilen las normas, métodos, criterios, especificaciones y procedimientos necesarios para un adecuado mantenimiento de carreteras con concreto asfáltico en caliente.

Específicos

1. Proveer información necesaria acerca de los métodos, equipo y materiales necesarios para llevar a cabo el mantenimiento en los elementos u obras auxiliares de una carretera.
2. Determinar los principales problemas o fallas que ocurren en el concreto asfáltico, sus causas y su tratamiento.
3. Brindar información al estudiante o al ingeniero civil sobre los materiales que se utilizan en el mantenimiento de carreteras con concreto asfáltico en caliente, sus especificaciones y los ensayos necesarios para determinar su calidad.
4. Determinar cual es el equipo adecuado para llevar a cabo cada actividad de mantenimiento de carreteras

INTRODUCCIÓN

Las carreteras son en nuestro país la vía de comunicación terrestre más importante. La mayor parte de los intercambios comerciales a nivel nacional e internacional se lleva a cabo por éstas, además, la mayoría de la población se transporta a través de las carreteras que forman parte de la red vial del país.

No obstante son la vía de comunicación más importante, la mayor parte de las carreteras del territorio nacional se encuentran en malas condiciones. Esto se debe principalmente a un mal mantenimiento por parte de las instituciones encargadas de efectuarlo y además muchas de las carreteras ya completaron a su periodo de vida útil. Muchas veces, este deficiente mantenimiento se debe a la mala aplicación de los métodos y de los materiales que se utilizan.

Por esta razón se hace necesario contar con un documento que recopile los principales aspectos que intervienen en el mantenimiento de carreteras con concreto asfáltico en caliente.

En el presente documento se presenta una guía práctica para poder llevar a cabo el mantenimiento de carreteras. Primero se exponen los aspectos generales del mantenimiento, sus definiciones y su alcance. Además se describen de una manera práctica los procedimientos básicos para realizar el mantenimiento general.

Se presentan también los aspectos generales del mantenimiento de la capa de concreto asfáltico, describiendo los diferentes tipos de fallas, cómo ocurren y su tratamiento adecuado de acuerdo a los diferentes grados de severidad.

Finalmente, se describen las especificaciones de los materiales que se emplean, los ensayos de laboratorio necesarios para llevar un estricto control de calidad y los requisitos del equipo preciso para llevar a cabo cada actividad dentro del mantenimiento de carreteras.

1. GENERALIDADES

1.1 Definición de mantenimiento vial

Son los trabajos realizados en diferentes periodos de tiempo, en los diferentes elementos de una carretera: derecho de vía, hombros, drenajes, cunetas, taludes, etc., con el propósito de conservarlos en buenas condiciones con el fin de que presten el servicio para el cual fueron diseñados de una manera eficiente.

Una carretera, por mejor diseñada o construida que esté, necesita un mantenimiento adecuado, de lo contrario se deteriorará rápidamente. El mantenimiento vial nos permite conservar una vía inclusive más allá de su periodo de diseño, lo que significa, a la larga, un ahorro de recursos económicos.

Los trabajos de conservación vial, para fines de este trabajo, se dividen en cinco categorías generales que son: a) mantenimiento rutinario, b) mantenimiento periódico, c) mantenimiento preventivo, d) mantenimiento a costo más porcentaje por administración/ administración delegada, y e) mantenimiento de emergencia.

1.1.1 Mantenimiento rutinario

Comprende todas aquellas actividades que se requieren para conservar una vía de regular a buen estado, las cuales se repiten una o más veces al año.

Es necesario señalar que este mantenimiento se utiliza para conservar una vía mientras dure su vida útil, más allá de ésta es necesario hacer un trabajo de mayor envergadura.

1.1.2 Mantenimiento periódico

En el mantenimiento periódico se encuentran las obras de conservación vial que se repiten en períodos de más de un año para mantener la vía a un nivel de servicio de regular a buen estado. Asimismo, está considerada la colocación de sobrecapas (recapeo) sobre pavimentos deteriorados existentes.

Como ejemplo de este tipo de mantenimiento tenemos el sellado de grietas y fisuras, bacheo mayor y menor, pintura de señalización horizontal, entre otros.

1.1.3 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo consiste en actividades y obras destinadas a prevenir fallas en la vía antes de que ocurran. Este mantenimiento es muy efectivo ya que al prevenir posibles fallas en alguno de los elementos de una carretera se evita que falle a corto, mediano o largo plazo y evita que su reparación o reemplazo represente un costo mucho más alto que el del mantenimiento en sí.

Muchas veces, la reparación de algunos elementos de una carretera, como un talud por ejemplo, puede representar un costo más elevado que su construcción, por lo que se hace evidente la importancia del mantenimiento preventivo.

1.1.4 Mantenimiento a costo más porcentaje por administración /administración delegada

Habrán casos para los cuales los trabajos de mantenimiento a realizarse no se pueden cuantificar, no exista una partida de pago en el contrato para cubrirlos, o son para ejecutar obras de emergencia o no previstas. En estos casos es necesario proceder con la modalidad de trabajos por administración mediante el cual el pago por todos los trabajos realizados y mano de obra o materiales provistos se efectúa sobre una base de costo para cubrir todos los gastos de maquinaria, equipo, materiales, mano de obra, etc., más un porcentaje de administración según se designe en los manuales de mantenimiento vial.

1.1.5 Mantenimiento de emergencia

Se define como las labores y las intervenciones que se aplican en forma urgente, como consecuencia de una causa de fuerza mayor, como es el caso de desastres naturales, con el propósito de habilitar la vía permitiendo así el paso vehicular.

Un claro ejemplo de este tipo de mantenimiento lo tenemos al observar lo que sucedió con el huracán Mitch. Muchos de los puentes y carreteras fueron dañados en diferente medida por las crecidas de los ríos, por deslaves o derrumbes, fue necesaria la intervención inmediata de las autoridades para habilitar estos pasos y de esta manera facilitar el traslado de heridos, víveres, etc. y además se permitió el traslado normal de personas y productos a través de estas vías de comunicación.

1.2 Pavimento de concreto asfáltico

1.2.1 Definición de pavimento

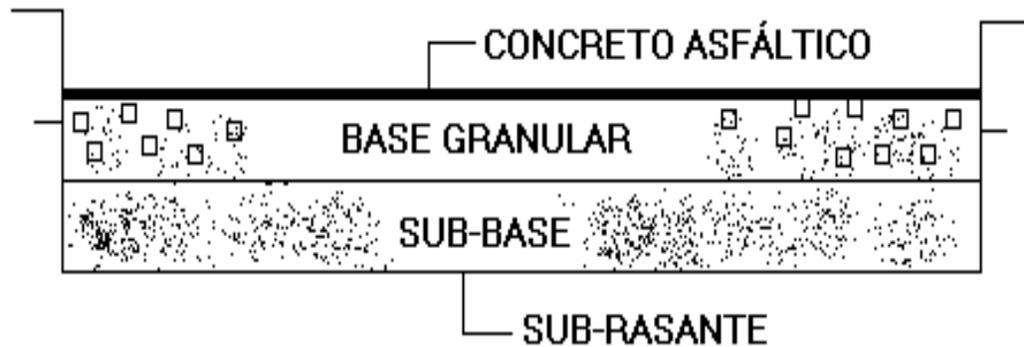
Un pavimento es una estructura construida por el hombre, con el fin de mejorar la calidad de un terreno existente para que el tránsito sea más rápido, confortable, seguro y económico. Además permite conservar una vía de comunicación en buen estado, lo que redunda en beneficios sociales y económicos.

Para construir un pavimento se colocan en orden ascendente, sobre el terreno al que se le denomina sub-rasante, la sub-base, la base y la capa de rodadura que soporta directamente el tráfico y transmite las cargas a las demás capas.

La base y la sub-base generalmente están conformadas por material pétreo, suelos estabilizados, concreto pobre o concreto asfáltico. La capa de rodadura casi siempre está hecha de uno de los tres materiales siguientes: concreto asfáltico, concreto hidráulico o adoquines de concreto.

Las primeras capas que constituyen la estructura del pavimento son importantes, ya que si no cumplen con los requisitos mínimos de resistencia y de calidad de materiales, no sirve de nada colocar una buena capa de rodadura. Ésta muchas veces es construida con excelentes materiales que cumplen con las normas establecidas, pero debido a malos materiales o a una mala ejecución en las capas inferiores del pavimento, la carretera se puede deteriorar en poco tiempo, es decir, se reduce la vida útil.

Figura 1. Estructura de pavimento de concreto asfáltico



1.2.2 Concreto asfáltico

Los concretos asfálticos constituyen la clase superior de los pavimentos bituminosos. El concreto asfáltico consiste en una o varias capas compactadas de una mezcla de agregados minerales, asfalto líquido, producido en plantas especializadas o en el sitio con máquinas capaces de mezclar agregados y asfalto sobre la superficie de la vía. Este tipo de concreto asfáltico se emplea o se puede emplear como capa de rodamiento para tráfico liviano y mediano, como base de pavimentos flexibles para tráficos mediano y pesado, o como capa intermedia.

El concreto asfáltico se produce en plantas especializadas formadas por sistemas eléctricos y mecánicos por medio de los cuales los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con el cemento asfáltico, para producir mezclas asfálticas en caliente que cumplan con las especificaciones establecidas. Estas plantas, en general, se clasifican como: plantas de dosificación o plantas mezcladoras de tambor.

Para la construcción de este tipo de pavimento se usan cementos asfálticos de penetración 60-70 (AC-20), que son los más comercializados en nuestro país.

Figura 2. Tipos de mezclado de concreto asfáltico



Foto - Planta Dosificadora de los áridos



www.construaprende.com



Foto - Camión Mezclador utilizado

www.construaprende.com



Foto - Dosificación de los agregados en planta

Fuente: Charlie Betances. **Concreto asfáltico**. Página 1

1.2.3 Tratamiento superficial o sellos asfálticos

Los tratamientos superficiales con asfalto pueden utilizarse para cumplir las siguientes funciones:

- Proveer una superficie de bajo costo para toda condición del tiempo atmosférico, en caminos de categoría ligera y mediana.
- Sellar una superficie de rodamiento existente.

- Proveer una superficie resistente al deslizamiento.
- Rejuvenecer las superficies existentes deterioradas por el intemperismo o proceso de oxidación, o simplemente desvestidas.
- Proveer una cubierta temporal para una nueva base granular que no va a recibir su cubierta final por un amplio período.
- Cubrir los pavimentos existentes y proveer cierto aumento en resistencia.
- Servir como paliativo para el polvo.

Los tipos de tratamientos para superficies con asfalto pueden ser simples y múltiples.

Los tratamientos de superficie simple consisten en una aplicación de material asfáltico cubierta con una capa de agregados pétreos de tamaño uniforme (grava) que cumplan con la norma AASHTO M43. Estos tratamientos asfálticos, también llamados en monocapa, se usan como capas de protección sobre bases flexibles o semirígidas para tráfico liviano o como pavimento provisional sobre bases destinadas a soportar tráfico pesado mientras se construye la carpeta asfáltica definitiva.

El tratamiento superficial múltiple resulta de repetir dos o más veces el procedimiento constructivo de los tratamientos de una capa.

1.2.4 Riegos asfálticos

1.2.4.1 Imprimación

La imprimación es una capa preliminar de asfalto de baja viscosidad aplicada sobre la base granular que se prepara para la colocación de la capeta asfáltica. La capa de imprimación está diseñada para cumplir varias funciones:

- Proteger las propiedades mecánicas e hidráulicas de la base.
- Impermeabilizar la superficie de la base.
- Proveer adherencia entre la base y la capa siguiente.
- Sellar la base para darle cierta impermeabilidad.

1.2.4.2 Adherencia

Una capa de adherencia es una aplicación muy ligera asfáltica diluida. Es utilizada para asegurar la adherencia entre la superficie pavimentada y la nueva carpeta o capa. La cantidad aplicada debe ser de acuerdo con las especificaciones. Aunque otros asfaltos líquidos pueden ser utilizados como capa de adherencia (MC-70, RC-250), las emulsiones diluidas dan los mejores resultados. Esto se debe a que pueden diluirse para dejar luego un cubrimiento ligero y uniforme de asfalto residual.

2. MANTENIMIENTO GENERAL

Las carreteras requieren para su funcionamiento óptimo de una serie de trabajos en sus diferentes partes. Muchas veces se le da importancia únicamente a la carpeta asfáltica y se descuidan las demás partes de la carretera, pero recordemos que el estado de la carpeta de rodadura depende en gran manera del estado de las otras partes que conforman una carretera tales como drenajes, taludes, cunetas, señalización vertical y horizontal, derecho de vía, etc.

2.1 Mantenimiento de derecho de vía

El derecho de vía es una parte importante de una carretera ya que influye en la seguridad de los conductores al trasladarse por ella. Cuando la maleza crece demasiado se puede tener problemas de visibilidad en las curvas, además, las vallas publicitarias muchas veces impiden una buena visibilidad de los vehículos o posibles obstáculos. La acumulación de desperdicios o basura en el derecho de vía produce contaminación y da un mal aspecto, un bello paisaje se ve opacado ante un basurero clandestino o una serie de vallas publicitarias, en un país turístico como el nuestro, esto trae consecuencias negativas.

El trabajo consiste en el corte de toda la maleza, la remoción del producto de esta operación y en general de toda la basura y desperdicio que se encuentre en el área comprendida dentro de los límites del derecho de vía legal del proyecto, salvo en casos que el supervisor especifique límites diferentes.

La maleza debe tener una altura no mayor de 15 centímetros. En el proceso de corte, se debe tratar de conservar aquellos árboles que hayan crecido dentro del derecho de vía, que en su fase adulta puedan proporcionar ornato y sombra a la carretera y que se encuentren a una distancia del hombro tal que no representen obstrucción a la visibilidad ni peligro para el tránsito vehicular.

Los materiales, basura y desperdicios deben ser llevados fuera del lugar y depositados en sitios autorizados donde no puedan ser arrastrados al sistema de drenaje de la vía. En caso de suelos orgánicos o materiales vegetales, estos pueden ser depositados sobre los taludes de los rellenos a fin de aprovechar este material como abono orgánico para el crecimiento de plantas que puedan protegerlos contra la erosión, si así lo indica el supervisor y en la forma establecida por éste.

En ningún caso se permitirá la incineración de maleza o basuras producto del corte y la limpieza, así como el uso de productos químicos para controlar el crecimiento de la misma. Todos los trabajos deben llevarse a cabo con herramientas o máquinas para cortar maleza y deben realizarse periódicamente.

2.2 Mantenimiento de obras auxiliares

Las obras auxiliares son aquellas que complementan a la estructura principal o pavimento, cuya función primordial es mantener en buen estado la carpeta asfáltica y proveer seguridad a los conductores al transitar por la vía.

La preservación de estas obras es primordial para mantener en buen estado la carretera y para que el tránsito sea fluido. Por ejemplo, si una cuneta o un drenaje se llenan de basura, el agua pluvial no podrá ser drenada de la vía, lo que ocasiona daños a la carpeta asfáltica y evita que los vehículos puedan transitar libremente.

2.2.1 Mantenimiento de hombros

El hombro es el soporte lateral del pavimento, que además sirve como área de parada de emergencia de los vehículos que circulan por una carretera. El hombro varía en sus dimensiones de una carretera a otra, según el diseño y es indispensable para un mejor funcionamiento de la vía.

2.2.1.1 Reconstrucción de hombros

Esta actividad consistirá en la reconstrucción del área del hombro de la carretera en aquellos sectores en donde se haya perdido parte del material original, se encuentre dañado con exceso de agujeros que tornen irremediable su reparación mediante bacheo asfáltico o bien donde el material se encuentra flojo y/o suelto, o con una combinación de lo anterior. Por efecto de la intemperie y/o de las cargas de tránsito, los trabajos estarán encaminados a devolver la condición original a esta característica de la carretera tanto en su ancho como en sus niveles y su pendiente longitudinal y transversal.

El material de hombros debe ser de preferencia de la misma calidad y características del material del tipo de base que se haya utilizado en la obra, con excepción de cuando se use pavimento de base y carpeta de concreto asfáltico, pavimento de concreto hidráulico o cuando lo modifiquen de otra forma las disposiciones especiales de la obra.

El procedimiento de trabajo para la correcta y adecuada realización de esta actividad estará dividido en cuatro conceptos bien definidos:

- Escarificación y reconformación de hombros,
- Base en hombros,
- Imprimación en hombros y
- Capa de rodadura (según sea el caso)

2.2.1.1.1 Escarificación y reconformación

Consiste en la escarificación, humedecimiento, mezclado, reconformado, compactado y afinado del material que constituye la base o la sub-base o del tratamiento asfáltico del pavimento original de la carretera. El trabajo descrito debe hacerse de modo tal que la capa escarificada llegue a mezclarse con el material de base presente en la estructura del pavimento, y/o con el material de base que pudiera agregarse con fines de reforzar la estructura.

El trabajo debe realizarse siguiendo las cotas y alineamiento en todo el ancho de las secciones transversales indicadas en los planos del proyecto, o como lo indique el supervisor.

Es necesario utilizar nivelación de precisión. El supervisor deberá tomar las secciones transversales de la carretera y en tramos máximos de veinte metros, nivelará previo a la ejecución de los trabajos. Las secciones transversales medidas deben considerarse como las originales, para la determinación del volumen de base colocada en la capa de refuerzo.

El ejecutor procederá, con el equipo adecuado y suficiente, a efectuar las labores descritas previamente. Para el proceso de escarificación, debido a que los hombros de las carreteras en nuestro país son angostos, se podrá utilizar mano de obra según sea necesario.

La humedad de compactación debe tener una tolerancia de $\pm 2\%$ de la respectiva humedad óptima. El equipo de compactación debe ser de tal diseño, peso y calidad que permita obtener la densidad especificada.

2.2.1.1.2 Base en hombros

Este trabajo consiste en la colocación de base de grava o de roca triturada, colocada de acuerdo con las dimensiones, espesores y cotas señalados u ordenados por el supervisor, en aquellos tramos donde sea necesario reforzar la estructura del pavimento existente.

El equipo a utilizar incluye moto niveladora, camiones cisterna para agua, compactadora de cilindro vibratorio, compactadoras neumáticas y camiones de volteo. El material se extenderá en una o más capas de espesor similar, no mayor a 20 centímetros cada una, mediante el uso de moto niveladoras o equipos destinados para este fin, sin permitir la segregación de los materiales y de acuerdo a los requerimientos de pendientes y coronamientos establecidos.

Las áreas de la base inaccesibles para los equipos de compactación autopropulsados, deben compactarse satisfactoriamente mediante el uso de compactadores mecánicos manuales aprobados. La compactación de la base debe comenzar en los bordes y avanzar hacia el centro, con excepción en las curvas peraltadas donde la compactación comenzará en el borde interno de la curva y avanzará hacia el borde alto.

Se podrá comprobar la regularidad de la base con una regla de 3 metros de largo, proporcionada por el contratista, no debe haber diferencias superiores a un centímetro, en ninguno de sus puntos. Se podrá utilizar otro método aprobado por el supervisor.

2.2.1.1.3 Imprimación en hombros

Consiste en la aplicación de riego por aspersion de un producto asfáltico rebajado de curado medio, por ejemplo MC-70, sobre una base granular previamente tratada, según sea necesario y cuando ésta haya sido recibida por el supervisor.

El equipo mecánico necesario para ejecutar esta actividad comprende barredora, equipo de calentamiento, distribuidor de asfalto, equipo de distribución de material secante. La temperatura atmosférica mínima admisible para los trabajos de imprimación es de quince grados centígrados (15 °C.), Se prohíbe imprimir cuando existan condiciones de precipitación pluvial. La superficie por imprimir debe ser cuidadosamente barrida con equipo mecánico, de forma tal que limpie todo material suelto. Tales operaciones deben complementarse mediante el barrido con cepillo de mano o soplado con compresor mecánico. Se podrá aplicar un riego con agua a la superficie por imprimir, si así se estima conveniente. La imprimación se ejecutará sobre la base acabada y aceptada por el supervisor.

2.2.1.1.4 Capa de rodadura

La capa de rodadura puede tener dos tipos de tratamiento, primordialmente: 1) sello de grietas por contracción, y 2) reparación de áreas de falla por inestabilidad local. Los hombros deberán ser tratados de la misma forma que se trata la carpeta asfáltica de la superficie de rodadura para evitar de esta manera que, debido a filtraciones de agua, la estructura principal del pavimento se vea afectada.

A continuación se presentan las principales características de estos dos tipos de tratamiento:

El sello de grietas por contracción es necesario para grietas de abertura superior a 3 mm aparecidos en la superficie del pavimento, mediante el sellado en frío o en caliente, con un material asfáltico según las especificaciones. Las grietas se producen a raíz de la contracción de las capas inferiores del pavimento y se reflejan en la superficie de rodadura de la carretera.

Esta actividad no será ejecutada en áreas donde las grietas formen bloques interconectados de carácter poliédrico, semejante al agrietamiento piel de cocodrilo, cuya formación se debe en mayor parte a la fatiga del pavimento, debido a repeticiones de carga por exceso de peso en los ejes. Esta actividad no se aplica a fisuras con aberturas menores de 3 mm. Dicho trabajo se hará a lo largo de la línea de grieta a sellar, a fin de lograr la adecuada impermeabilización de la estructura en el sitio tratado.

Primero se procede a limpiar el área de la grieta, en un ancho no menor de 20 cm con aire a presión u otro equipo que permita hacer este trabajo satisfactoriamente. Una vez efectuada la limpieza, como se expuso anteriormente, se debe proceder a llenar el espacio agrietado con asfalto, utilizando para ello un recipiente de volumen fácilmente maniobráble que posea una boca de salida del tamaño y forma que permita derramar, en línea fina sobre la grieta, el asfalto con el cual la grieta debe ser rellenada. El asfalto debe ser calentado a la temperatura especificada conforme su tipo.

La **reparación de fallas por inestabilidad local** se aplicará en las zonas inestables bajo la estructura del pavimento de una carretera, independientemente que la inestabilidad sea producida por problemas de la capa de rodadura, por saturación del suelo circundante, bolsón de suelo indeseable o por contaminación de cualquier naturaleza. Las áreas con problemas de este tipo deben ser preparadas con el objeto de devolver el aporte estructural original de la carretera y para proporcionar la comodidad y seguridad esperadas.

Debido a que las diferentes labores que deben emprenderse para dar solución al problema planteado tendrán variaciones que estarán en función directa del área superficial a tratar, y de la profundidad en que se haya visto afectada la estructura, se hace necesario separar las diferentes labores involucradas en la solución, enfrentándolas desde un punto contextual que permita suministrar a los involucrados una herramienta que trate con equidad el esfuerzo hecho en la realización de tales tareas.

Las tareas involucradas en este proceso son las siguientes:

- Excavación,
- Relleno con material clasificado,
- Relleno con base triturada y
- Relleno con concreto asfáltico.

El primer trabajo consiste en la excavación y remoción de todo aquel material inadecuado, por razones de inestabilidad y reflejado en el pavimento, ya sea por medio de agujeros en la superficie, hundimiento localizado, grietas poliédricas, ensanchamiento o cualquier otra forma de falla. La excavación del área tratada debe hacerse hasta el nivel y en la forma que el supervisor indique al contratista.

Para la realización del relleno con base triturada, el ejecutor debe transportar el material de base hasta el sitio de trabajo en donde debe proceder a su colocación, humedecimiento, mezclado y compactación. El material debe ser colocado y extendido en capas de espesor similar y en el proceso de mezclado no debe permitirse la segregación del mismo. El proceso de compactación debe ejecutarse utilizando el equipo que asegure obtener la densidad adecuada de acuerdo con las especificaciones de Civial.

Las zonas inaccesibles para el equipo utilizado en la compactación, deben ser compactadas satisfactoriamente mediante el uso de compactadores vibratorios manuales previamente aprobados por el supervisor.

En el relleno con concreto asfáltico el nivel inferior de colocación debe coincidir por lo menos con el nivel inferior de la carpeta existente. En el caso de que la superficie de rodadura haya sido construida mediante algún tipo de tratamiento superficial, el espesor mínimo de concreto a colocar debe ser de cinco centímetros.

De acuerdo a la mejor conveniencia y a criterio de la unidad ejecutora, el concreto asfáltico a utilizar debe ser fabricado en caliente, mediante la utilización de una planta procesadora utilizando cemento asfáltico o una mezcla asfáltica podrá ser fabricada en frío, utilizando emulsión asfáltica mediante el uso del equipo de mezclado adecuado para tal fin. El proceso seleccionado debe ser previamente autorizado por el supervisor. El método de diseño y control del concreto asfáltico o de la mezcla asfáltica será el método Marshall (AASHTO T-245).

El relleno con concreto asfáltico se divide en tres labores principales que son: 1) riego de imprimación, de acuerdo a lo especificado en la sección 2.2.1.1.3 de este documento, 2) transporte de concreto asfáltico, 3) colocación y compactación de concreto asfáltico.

El relleno debe colocarse en las esquinas y en los bordes del área excavada, el material se extenderá hacia el centro en capas de 5 cm de espesor máximo, mediante el uso de rastrillos extendedores, sin permitir la segregación de la mezcla. La superficie debe estar preparada y limpia. Debe compactarse cada capa con rodillo vibratorio; complementando la compactación mediante el uso de compactadoras vibratorias de uso manual en las esquinas y áreas inaccesibles. La compactación debe iniciarse desde la parte exterior del área tratada hacia el interior de la misma, haciendo traslapes con el equipo de compactación utilizado.

2.2.2 Mantenimiento de cunetas

Las cunetas son zanjas laterales paralelas al eje de la carretera. Construidas entre los extremos de los hombros y el pie de los taludes, cuya función principal es captar y transportar el agua pluvial que precipita sobre la carretera para ser evacuada adecuadamente.

El agua es el elemento que más problemas causa en una carretera; cuando se acumula sobre la superficie de rodadura y transitan vehículos, se logra filtrar a las capas inferiores, causando fisuras o agrietamientos que con el paso del tiempo se convierten en baches. Por esta razón, las carreteras se diseñan de tal manera que el agua sea drenada lo más pronto posible. Además, el agua acumulada constituye un riesgo para las personas que transitan por la vía y también produce congestionamientos de tránsito.

Por las razones descritas anteriormente es necesario dar un adecuado mantenimiento a las cunetas de una carretera. En primer lugar, se debe limpiar las cunetas con regularidad, removiendo la basura u objetos sólidos que puedan obstruir el paso del agua. En segundo lugar, se debe hacer una inspección visual en todo el trayecto de la carretera para detectar grietas o daños mayores que pueda haber en la cuneta, pues el agua se puede filtrar a través de las grietas y afectar la estructura principal de la carretera.

Cuando se detecte algún tipo de grieta, fisura o daño mayor, se debe reparar adecuadamente utilizando materiales especiales para el llenado e impermeabilización de grietas. Si el daño es muy grande, es necesario repararlo con concreto hidráulico, siempre teniendo el cuidado de tratar previamente la superficie con un pegante de concreto.

2.2.3 Mantenimiento de taludes

Un talud es el área de terreno en corte o relleno comprendida entre la cuneta y el terreno original. El talud puede variar en su inclinación, de acuerdo con las características del suelo y las características de la carretera, es indispensable para la estabilidad del terreno natural que rodea la carretera.

Debido a que no es posible controlar todos los factores que influyen en el estado de los taludes (lluvias, sismos, etc.) es necesario tomar las medidas necesarias para evitar que derrumbes y deslizamientos bloqueen las carreteras. Por lo tanto, durante la época seca se deben realizar como actividad de mantenimiento rutinario las siguientes actividades en las zonas críticas susceptibles a derrumbes.

1. Limpieza de los drenajes superficiales
2. Limpieza de alcantarilla
3. Limpieza de zonas azolvadas
4. Limpieza de las bermas
5. Protección de las laderas y taludes, ya sea reforestando, con la colocación de mallas para desprendimiento, mortero lanzado con malla para evitar la erosión o la medida necesaria específica que prevenga la erosión, desprendimiento o deslizamiento.

En lugares donde el grado de vulnerabilidad de la zona a deslizamientos es alto, se debe realizar las investigaciones geotécnicas correspondientes para poder diseñar y construir las obras preventivas necesarias o reubicar el trazado de la vía afuera de la zona de peligro.

2.2.3.1 Conservación de taludes de relleno

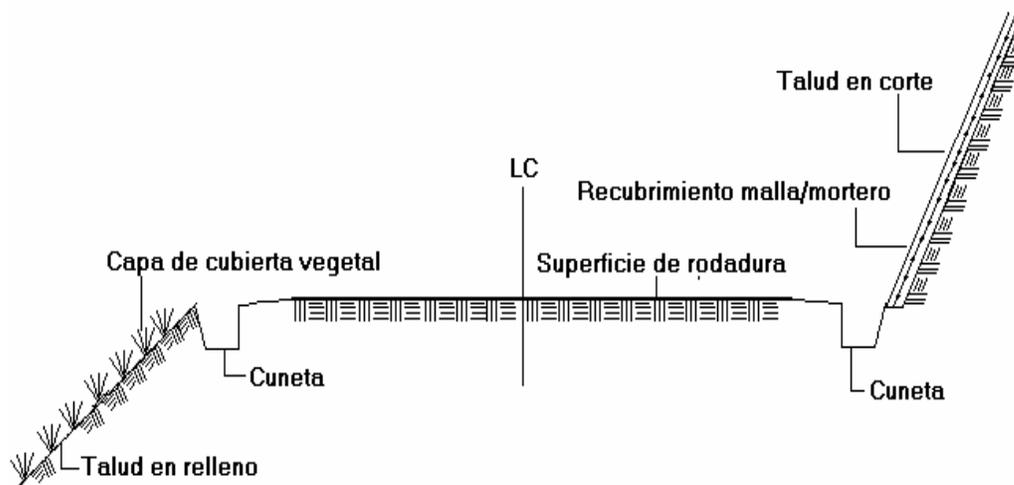
Consiste en la protección del área total del talud de relleno, con el propósito de evitar la socavación o erosión de la zona y eventualmente evitar derrumbes producidos por deficiencias en su mantenimiento. Para ello se debe realizar diferentes labores tendientes a su estabilización que pueden comprender desde agregar material de relleno en sitios que así lo requieran hasta sembrar algún tipo de vegetación compatible con su zona de ubicación o, incluso, la reparación de los bordillos con el propósito de controlar y dirigir el flujo superficial de la carretera una vez construidos.

Se debe agregar suelo vegetal en aquellas zonas donde existan depresiones producidas por socavaciones anteriores, a manera de dejar un talud uniforme en toda el área a estabilizar. En esta operación, el ejecutor debe conservar la forma y pendiente del talud originalmente construido.

Después se debe proteger el suelo del talud sembrando la superficie con vegetación del tipo que más se acomode a la zona del lugar. Esta vegetación debe estar constituida esencialmente por plantas de escasa estatura, preferiblemente rastreras de la familia de las gramíneas que adultas puedan proveer un colchón protector de plantas con raíces relativamente profundas, y que aglomeren el suelo subyacente controlando la velocidad de infiltración al cuerpo del talud. Además, éstas sirven como disipador de energía al agua que fluye superficialmente por el mismo.

Adicionalmente es necesario reparar los bordillos y cunetas que pudieran estar dañados, para encausar el agua adecuadamente, desfogándola en los lugares adecuados, evitando de esta manera que escurra por el talud una cantidad excesiva de agua.

Figura 3. Mantenimiento de taludes



2.2.3.2 Mantenimiento de contra cunetas

Para conservar adecuadamente un talud en corte debemos tomar en cuenta el mantenimiento de las contra cunetas. Estas tienen la función de evitar que el agua de lluvia escurra por la superficie del talud y de esta manera erosione causando problemas serios.

El mantenimiento consiste en conservar la contra cuneta y sus desfogues libres de cualquier obstáculo que impida el paso del agua y, en el caso de las contra cunetas que no sean revestidas con concreto, es necesario excavarlas periódicamente para mantener la forma con el objetivo de que el agua circule por la misma adecuadamente.

2.2.4 Mantenimiento de drenaje

El mantenimiento de drenaje consiste básicamente en la limpieza de alcantarillas, cajas y otras obras de arte. Estas tienen la función de, como su nombre lo indica, drenar el agua pluvial de una manera controlada y segura tanto para las personas que transitan por la carretera como para la estructura misma.

Para llevar a cabo este trabajo se deberá recolectar, extraer y remover todo tipo de materiales que se encuentren depositados en la sección de cada una de las alcantarillas y cajas del proyecto, independientemente de su dimensión respectiva, incluyendo además la limpieza y remoción de todo material que se encuentre en todas las obras de arte de entrada y salida de dichas estructuras.

La limpieza incluye la obra de arte misma, así como sus cauces de entrada y salida existente dentro del derecho de vía de la carretera y hasta una longitud de 50 m dentro de cauces naturales agua arriba y aguas debajo de la obra de arte. En caso de haber impedimentos para limpiar cauces fuera del derecho de vía, debe ser puesto en conocimiento del supervisor.

La limpieza de las alcantarillas y cajas debe ser hecha utilizando fundamentalmente mano de obra y herramientas manuales, a menos que por razones especiales sea necesario el uso de algún equipo mecánico, cuando esto suceda, la cantidad y tipo de equipo debe ser aprobado por el supervisor.

Todo el material que sea extraído debe considerarse como desperdicio y deberá ser removido del lugar y transportado a sitios donde no represente problemas de carácter ecológico o problemas inminentes a los drenajes; se recomienda utilizar los botaderos autorizados por la municipalidad en cuya jurisdicción se encuentre el proyecto.

2.3 Mantenimiento de señalización vial

Este mantenimiento tiene una vital importancia debido a que está relacionado directamente con la seguridad vial. Una carretera mal señalizada representa un peligro para conductores, principalmente de noche. Lamentablemente, en nuestro país no se le da la importancia necesaria a la señalización vial, muchas veces se hace mantenimiento a la carpeta asfáltica o a los drenajes, pero se deja a un lado la señalización. Muchos accidentes de tránsito, a veces fatales, son el resultado de una deficiente de marcación de la carretera o la falta de señales verticales.

2.3.1 Señalización horizontal

Este trabajo consiste en pintar las líneas central y lateral de la guía visual necesaria para seguridad y comodidad de los conductores de vehículos, a efecto de realizar maniobras en forma segura, y comprende los trabajos que se describen a continuación:

- Limpieza y premarca de la superficie de rodadura.
- Aplicación de pintura en líneas centrales y/o laterales de pavimento.
- Protección de líneas recién pintadas y mantener los dispositivos de seguridad vial en óptimas condiciones.

La **limpieza** de la superficie de rodadura se llevará a cabo mediante el uso de escobas manuales o mecánicas, dejando la superficie libre de polvo, grasa, aceite y sustancias que impidan o disminuyan la adherencia apropiada de la pintura a la superficie.

La **premarca** se hará en aquellos segmentos de carretera en donde las líneas de pavimento no sean visibles, para lo cual se utilizará la misma pintura especificada. Los puntos de premarca se harán a cada metro.

Para la **aplicación de pintura en líneas centrales y/o laterales** se debe utilizar equipo autopropulsado con un rendimiento mínimo de 12 kilómetros diarios en condiciones climáticas no adversas, capaz de mantener una uniformidad que, a juicio del supervisor, sea aceptable tanto en ancho y espesor de película húmeda como en alineamiento.

Posteriormente se le deberá dar **protección** a las líneas recién pintadas durante el periodo de secado, sin obstaculizar el tránsito vehicular que debe guiarse ordenadamente en todo momento.

2.3.2 Señalización vertical

Este trabajo consiste en la fabricación, suministro, instalación y reparación de señales verticales de tránsito, apoyos para señales, puesta de marcos y paneles, todos conforme con las especificaciones y en conformidad razonablemente cerca de las ubicaciones que indican los planos o según lo indique el supervisor.

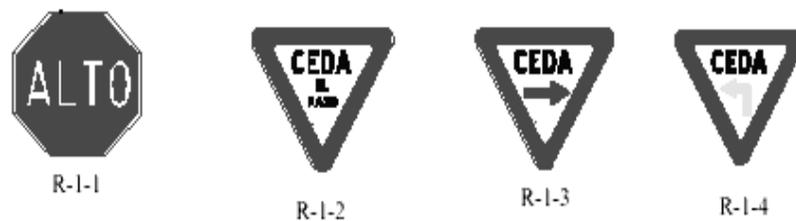
La señalización vial en Guatemala consiste en:

6. Señales de información. Guían o informan al conductor sobre las rutas, distancias, servicios y todo aquello que se relacione con lugares y poblaciones de interés, accesibles por la carretera en que viajan.
7. Señales de prevención. Advierten al conductor de la existencia de un posible peligro y también la naturaleza de éste.
8. Señales restrictivas Tienen por objeto indicarle al conductor la existencia de ciertas limitaciones, prohibiciones y restricciones que regulan el uso de las vías. La violación del mensaje de estas señales constituye un delito.

Todas las señales deben ser fabricadas de acuerdo con las especificaciones vigentes en el país, utilizando materiales reflectivos grado ingeniería, lámina de acero calibre 16 y deben ser anclados con concreto hecho en obra. Las señales deben ser ubicadas lo más cercano posible a lo planteado en los planos.

Es necesario también hacer conciencia a los usuarios de las carreteras de que las señales son para seguridad de ellos, y que los perjudicados por dañarlas o quitarlas son ellos mismos.

Figura 4. Ejemplos de señales verticales



Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito.** Anexo C.

2.3.3 Marcador reflectorizado de pavimento

Se debe reemplazar los marcadores en todos aquellos lugares donde se hayan desprendido, limpiando perfectamente la superficie donde va a ser colocada y cuidando de usar el adhesivo epoxi correcto: pegamento bituminoso de alta adherencia en asfalto. Deben ser reemplazadas todas aquellas vialetas que presenten deterioro tales como fisuras, hundimiento, etc..

La superficie de rodadura debe estar seca, y libre de polvo, grasa, o cualquier material extraño que perjudique su adherencia. Cada marcador reflectivo de pavimento (Ojo de gato) debe instalarse centrado sobre el eje de las líneas de marca del pavimento central y/o no central, quedando la o las pantallas reflectivas perpendicularmente a dicho eje.

En línea discontinua, se instalarán a la misma distancia que hay dentro el punto medio del segmento no pintado en línea discontinua y el punto medio del segmento no pintado siguiente.

3. MANTENIMIENTO DE CARPETA ASFÁLTICA

La carpeta asfáltica o superficie de rodadura es el área destinada a la circulación de vehículos. Tiene varias funciones, entre ellas tenemos:

1. Proteger la estructura principal del pavimento del agua y el desgaste producido por la circulación de vehículos.
2. Proveer de una superficie segura y cómoda para el tránsito de vehículos por la carretera.
3. Transmitir cargas a las capas inferiores del pavimento (base y sub-base)

El asfalto, como cualquier otro material, al ser sometido repetidamente a cargas de diferentes tipos presenta fallas que dependen de la magnitud y el tipo de fuerza aplicada. También la calidad de los materiales empleados en la construcción de la carretera y los métodos constructivos empleados tienen relación con el apareamiento de fallas en la carpeta asfáltica.

3.1 Tipos de fallas en concreto asfáltico

Existen diferentes tipos de fallas en concreto asfáltico que, como se explicó anteriormente, depende del tipo y magnitud de la carga aplicada y del uso y calidad de los materiales empleados en la construcción de una carretera. El mantenimiento de la superficie de rodadura pretende conservarla en buen estado, de tal manera que preste el servicio para el cual fue diseñada de una manera eficiente.

3.1.1 Fisuras y grietas

3.1.1.1 Fisura piel de cocodrilo

Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio menor a 30 cm. El fisuramiento empieza en la parte inferior de las capas asfálticas, donde las tensiones y deformaciones por tracción alcanzan su valor máximo y se propagan a la superficie.

Este tipo de fisuras ocurren necesariamente en áreas sometidas al tránsito, como las huellas de canalización del tránsito. Si la base y la sub-base son débiles, el fisuramiento será acompañado por ahuellamientos. Cuando el drenaje es inadecuado, el fisuramiento se presentará en primera instancia, en las huellas de canalización exteriores. En su etapa final, el agrietamiento se transforma en bache (Figura 5).

Figura 5. Fisura piel de cocodrilo en anillo periférico zona 11



Estas fisuras son causadas por la fatiga de las capas de asfalto al ser sometidas repetidamente a la acción de cargas. Existen tres tipos de severidad: bajo, mediano, y alto.

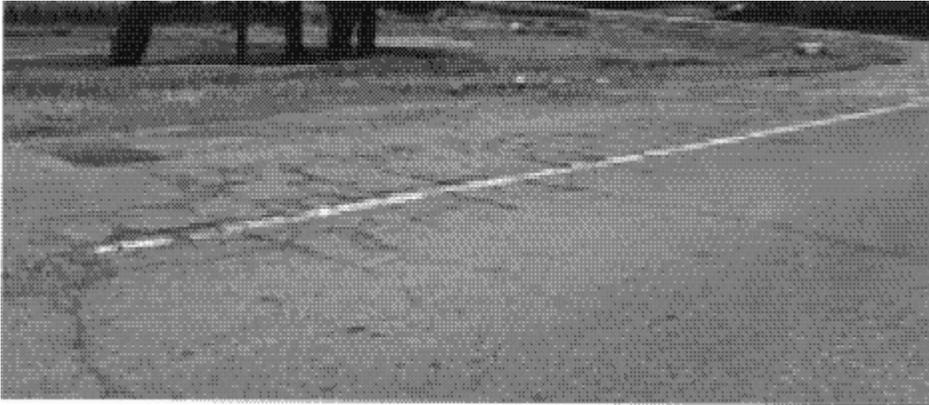
3.1.1.2 Fisuras en bloque

Conjunto de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm, con un área variable de 0.10 a 9.0 m². La fisura en bloque se presenta normalmente en un gran área del pavimento y algunas veces ocurren solamente en las áreas no afectadas por el tráfico.

Su causa es principalmente la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura. También suelen ocurrir en pavimentos bituminosos colocados sobre bases granulares estabilizadas o mejoradas con cemento Pórtland, que se producen a raíz de la contracción eventual de la capa estabilizada, y se reflejan en la superficie del pavimento. A veces es difícil constatar si las fisuras y grietas son debido a contracciones producidas en la capa de rodadura o en la base y sub-base. La ausencia de tráfico tiende a acelerar la formación de estas grietas de contracción. También se debe a cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas con un ligante de penetración baja.

Las fisuras en bloque se miden en metros cuadrados de superficie afectada. Normalmente ocurren a un nivel de severidad en una sección del pavimento, pero cuando se observe diferentes niveles de severidad, se miden y registran separadamente. En caso que no se puedan diferenciar, la totalidad del área se califica con la mayor severidad observada (Figura 6).

Figura 6. Fotografía de fisuras en bloque



Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de mantenimiento por carreteras.** Tomo III b.

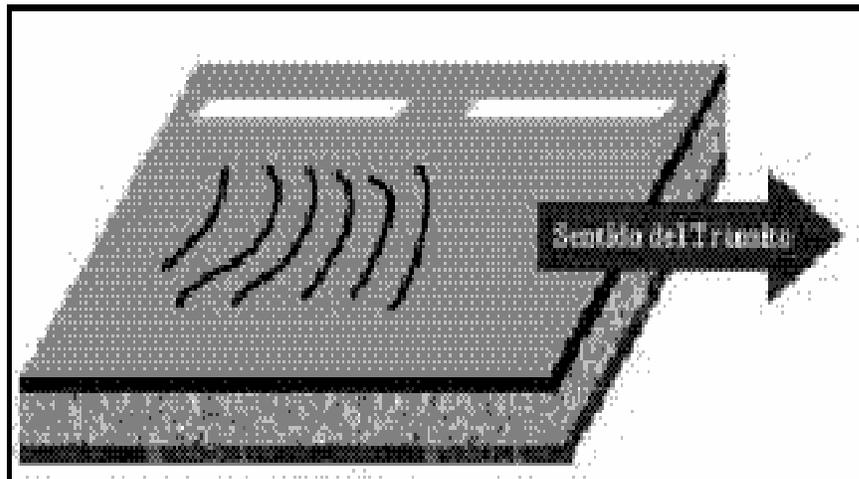
3.1.1.3 Fisuras en arco

Son fisuras en forma de la luna en cuarto creciente que apuntan en la dirección de las fuerzas de tracción de las ruedas sobre el pavimento. Las fisuras en arco no necesariamente apuntan en el sentido del tránsito. Por ejemplo, cuando se frena un vehículo en una cuesta, las líneas estarán en sentido contrario.

Son producidas cuando los efectos de frenado o giro de las ruedas de los vehículos provocan un resbalamiento y deformación de la superficie de pavimento. Esto ocurre generalmente cuando se combinan una mezcla asfáltica de baja estabilidad y una deficiente adherencia entre la superficie y la siguiente capa de la estructura del pavimento.

La falta de riego de liga, un exceso de ligante o la presencia de polvo durante la ejecución de los riegos, son factores que con frecuencia conducen a tales fallas. Asimismo, espesores de carpeta muy reducidos sobre superficies pulidas, especialmente sobre pavimentos de concreto, suelen ser causas primarias en muchos casos. La causa también puede ser un contenido alto de arena en la mezcla, sea arena de río o finos triturados.

Figura 7. Fisuras en arco



Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de mantenimiento por carreteras.** Tomo III b.

3.1.1.4 Fisura transversal

Fractura de longitud variable que se extiende a través de la superficie del pavimento, formando un ángulo aproximadamente de 90° con el eje de la carretera. Puede afectar todo el ancho del carril o limitarse a los 0.60 m próximos al borde del pavimento.

Las posibles causas de estas fisuras pueden ser:

1. Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, debido a un exceso de filler, envejecimiento asfáltico, etc., particularmente ante las bajas temperaturas y gradientes térmicos importantes.
2. Reflexión de grietas en la capa subyacente, incluyendo pavimentos de concreto, con excepción de la reflexión de sus juntas.
3. Defectuosa ejecución de las juntas transversales de construcción de las capas asfálticas de superficie.
4. Se producen en drenajes transversales mal compactados.
5. Por cambio de rigidez en los materiales, específicamente en la base.

De acuerdo con el ancho de las fisuras, se puede establecer tres tipos de severidad:

1. **Baja:** un ancho promedio inferior a 3 mm sin ramificaciones.
2. **Media:** un ancho promedio entre 3 mm y 6 mm sin sellar, y cualquier fisura sin sellar menor a 6 mm que presente ramificaciones.
3. **Alta:** cualquier fisura sin sellar con un ancho promedio mayor a 6 mm. Cualquier fisura sellada o no con ramificaciones constituidas por fisuras erráticas, moderadas a severas.

Las fisuras transversales se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse después de su identificación. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su extensión, cada porción evidenciando un diferente nivel de severidad, debe ser registrada separadamente.

Figura 8. Fotografía de fisura transversal en 46 calle zona 12, ciudad de Guatemala



3.1.1.5 Fisura longitudinal

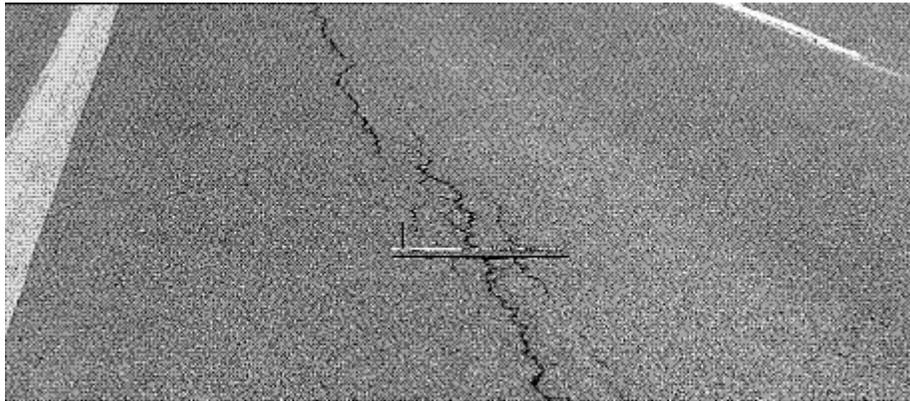
Fractura que se extiende a través de la superficie del pavimento, paralelamente al eje de la carretera, pudiendo localizarse en las huellas de canalización de tránsito, en el eje o en los bordes del pavimento. La ubicación de la fisura es indicativa de la causa más probable.

Entre las posibles causas de las fisuras longitudinales tenemos:

1. Principio del fenómeno de fatiga por debilidad estructural, ocurren en las huellas de canalización del tránsito.
2. Deficiente ejecución de las juntas longitudinales de construcción al distribuir las mezclas asfálticas durante la construcción; ocurren en el eje y coincidencia con los carriles de distribución y sobreanchos.
3. Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, particularmente ante cambios de temperatura importantes.
4. Reflexión de fisuras causadas por grietas existentes por debajo de la superficie de rodamiento, incluyendo fisuras en pavimentos conformadas por capas estabilizadas químicamente o de concreto. Usualmente se presentan combinadas con fisuras transversales.
5. Deficiente confinamiento lateral, por falta de hombros y cordones o bordillos, que provocan un debilitamiento del pavimento en correspondencia con el borde. Éstas, asociadas a las cargas del tránsito, ocurren a una distancia de 0.30 a 0.60 m del borde.
6. También se presentan en zanjas de drenaje, teléfono, electricidad, etc..

De la misma manera que con las fisuras transversales, existen tres niveles de severidad: bajo, mediano y alto (Figura 9).

Figura 9. Fotografía de fisura longitudinal



Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras**. Tomo III b.

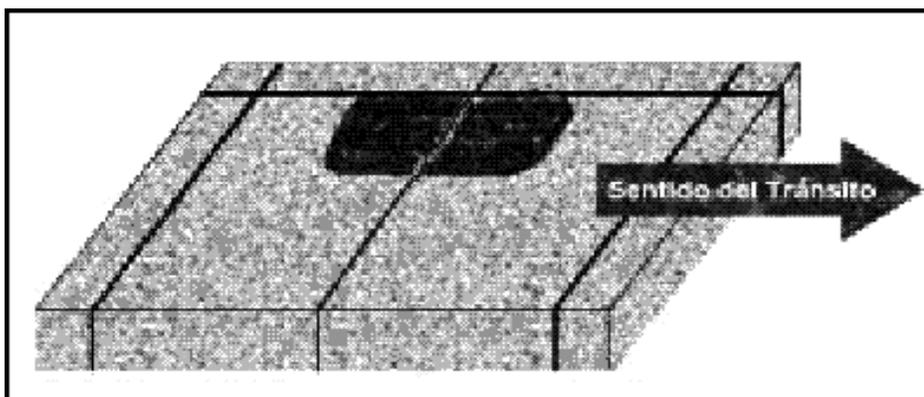
3.1.1.6 Fisura por reflexión de junta

Se presentan en pavimentos mixtos constituidos por una superficie asfáltica sobre un pavimento de concreto con juntas y en áreas de recapeo de mezcla asfáltica sobre concreto rígido. Consiste en la propagación ascendente hacia la superficie asfáltica de las juntas del pavimento de concreto. Como consecuencia, por efecto de la reflexión, se observan en la superficie fisuras longitudinales y/o transversales que tienden a reproducir las juntas longitudinales y transversales de las losas inferiores.

Son causadas principalmente por el movimiento de las losas de concreto, como resultado de cambios de temperaturas o cambios en los contenidos de humedad. Las grietas por reflexión se propagan dentro de la capa asfáltica, como consecuencia directa de una concentración de tensiones; asimismo, si por la aplicación de las cargas de tránsito las losas experimentan deflexiones verticales importantes en las juntas, la reflexión se produce con mayor rapidez. El tránsito puede producir la rotura de la capa asfáltica en la proximidad de las fisuras reflejadas, resultando en peladuras y eventualmente baches.

De acuerdo con el ancho que presenten estas fisuras, se puede determinar su grado de severidad de la siguiente manera: a) **bajo**: fisura sin sellar de ancho promedio menor a 5 mm o fisuras selladas de cualquier ancho con material de sello en condición satisfactoria, b) **mediano**: fisura sin sellar de ancho promedio entre 5 mm y 15 mm y c) **alto**: cualquier fisura, sellada o no, que presente un agrietamiento en la superficie de moderado a severo o fisuras sin sellar de ancho promedio mayor a 15 mm. (Figura 10)

Figura 10. Fisura por reflexión de junta



Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras**. Tomo III b.

3.1.2 Deformaciones superficiales de pavimentos asfálticos

3.1.2.1 Ahuellamiento

Hundimiento longitudinal continuo a lo largo del rodamiento del tránsito, de longitud mínima de 6 m. Las cargas repetidas de tránsito conducen a deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o en la sub-rasante. Las deformaciones son el resultado de una compactación o movimiento lateral de los materiales (fluencia plástica o punzonamiento por corte), ambos por efecto de tránsito.

El ahuellamiento indica una insuficiencia estructural del pavimento o una deficiente estabilidad del sistema sub-rasante-pavimento. En algunos casos se hace más evidente cuando la mezcla asfáltica se desplaza formando un cordón a cada lado del área deprimida. Las causas posibles incluyen:

1. Las capas estructurales fueron pobremente compactadas en su construcción.
2. Inestabilidad en bases y sub-bases granulares, creada por la presión del agua o saturación de la misma.
3. Mezcla asfáltica inestable.
4. Falta de apoyo lateral por erosión del hombro.
5. Capacidad estructural del pavimento con espesores deficientes de las capas que lo integran.

6. Técnica de construcción pobre y un bajo control de calidad.
7. Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad.
8. Las sobrecargas producidas por el tránsito al no estar diseñada la carretera para estos volúmenes.
9. El acompañamiento por levantamiento adyacentes a los ahuellamientos, que indica que hay fallas en las capas superiores del pavimento.

Existen tres niveles de severidad, que dependen de la profundidad del ahuellamiento: a) bajo, con profundidad promedio debajo de 10 mm, b) medio, con profundidad promedio entre 10 mm y 25 mm y c) alto, con profundidad promedio mayor de 25 mm (Figura 11).

Figura 11. Fotografía de ahuellamiento en bulevar El Naranjo zona 7



3.1.2.2 Corrimiento

Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañados por levantamientos de material formando "cordones", principalmente laterales, o bien por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie subyacente, generalmente acompañada de un levantamiento hacia el eje de la carretera.

Los desplazamientos son ocasionados por las cargas del tránsito, actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de asfalto, falta de vacíos, o bien por falta de confinamiento lateral. La inadecuada ejecución del riego de liga o imprimación no permite una adecuada adherencia entre la capa asfáltica de rodadura y la subyacente, originando mayor posibilidad de corrimiento. También se pueden dar cuando se construye una base muy rígida y se aplica asfalto sobre ella, por ejemplo, un suelo cemento.

Existen tres niveles de severidad, bajo, mediano y alto. En el primer nivel el corrimiento es perceptible, causa cierta vibración en el vehículo. En el segundo nivel causa una significativa vibración o balanceo del vehículo. El nivel alto se caracteriza por causar a los vehículos un excesivo balanceo que genera una substancial incomodidad y riesgo.

La siguiente fotografía nos muestra claramente las principales características del corrimiento.

Figura 12. Fotografía de corrimiento en calzada Aguilar Batres

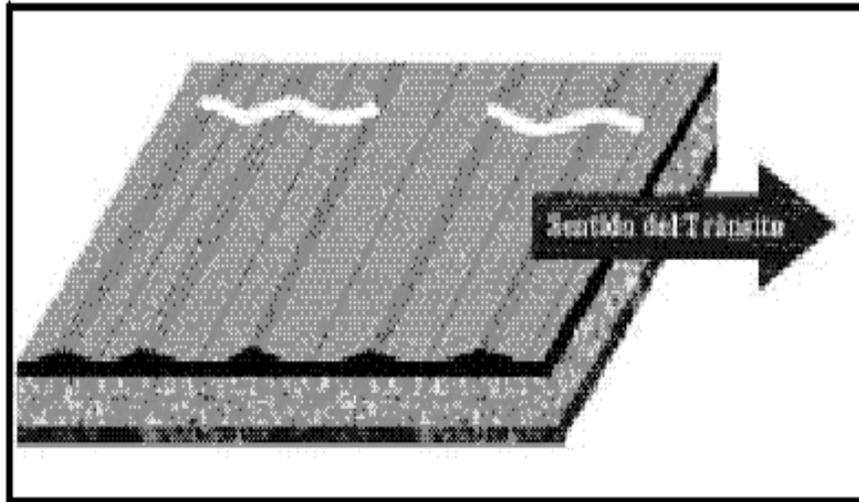


3.1.2.3 Corrugación

Serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menor de un metro entre ellas, a lo largo del pavimento.

La corrugación es ocasionada por la acción del tránsito sobre las capas superficiales (carpeta o base) del pavimento. Se tienen tres niveles de severidad: bajo, medio y alto, que dependen de la incomodidad o peligro que representen para las personas que transitan por la carretera.

Figura 13. Esquema de corrugación



Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de mantenimiento por carreteras.** Tomo III b.

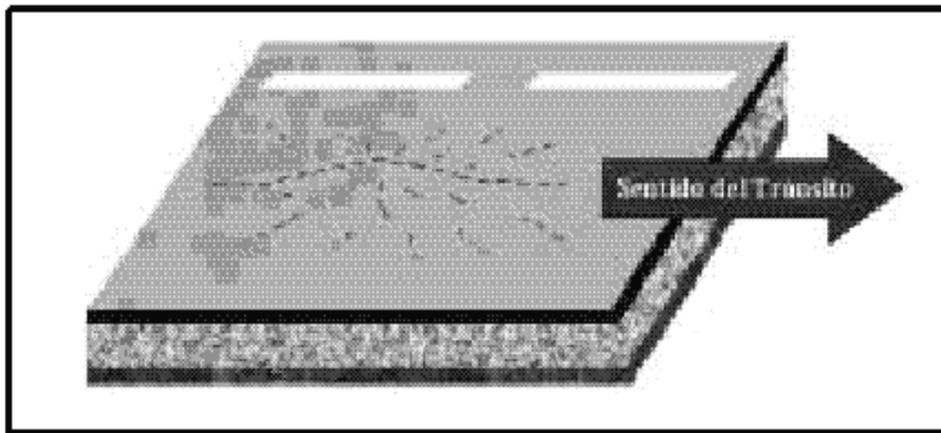
3.1.2.4 Hinchamiento

Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera. Son causadas fundamentalmente por la expansión de los suelos de sub-rasante del tipo expansivo. En muchos casos pueden estar acompañadas por el fisuramiento de la superficie. Existen tres tipos de severidad:

1. **Bajo:** baja incidencia en la comodidad de manejo y casi imperceptible a la velocidad de manejo promedio.
2. **Mediano:** genera incomodidad y obliga a disminuir la velocidad.

3. **Alto:** condiciona la velocidad de circulación y produce una severa incomodidad y peligro para los conductores.

Figura 14. Esquema de hinchamiento



Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras.** Tomo III b.

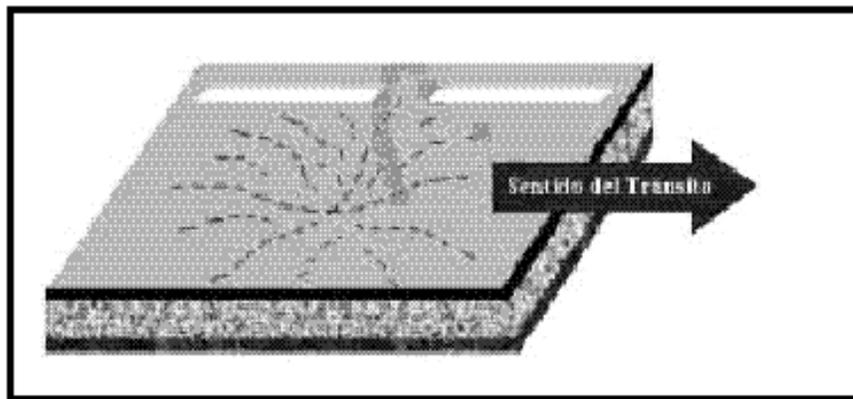
3.1.2.5 Hundimiento

Depresión de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo. Los hundimientos son causados por asentamientos de la fundación, deficiencias durante la construcción o falta de un continuo mantenimiento a los drenajes. La heterogeneidad constructiva puede provocar, desde simples descensos de nivel, hasta insuficiencia de espesor o estabilidad de los materiales.

En casos especiales donde el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie, es posible que ocurran hundimientos debido al asentamiento del suelo saturado de agua.

De la misma manera que con los hinchamientos, el nivel de severidad de los hundimientos se divide en tres, que son bajo, mediano y alto.

Figura 15. Esquema de hundimiento



Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras.** Tomo III b.

3.1.3 Desintegración en los pavimentos asfálticos

3.1.3.1 Bache

Desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.

Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo cuero de cocodrilo, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, es decir, se ha cumplido el tiempo de vida útil.

Existen tres niveles de severidad bajo (B), mediano (M) y alto (A) en función del área afectada y de la profundidad del bache, de acuerdo a la siguiente tabla:

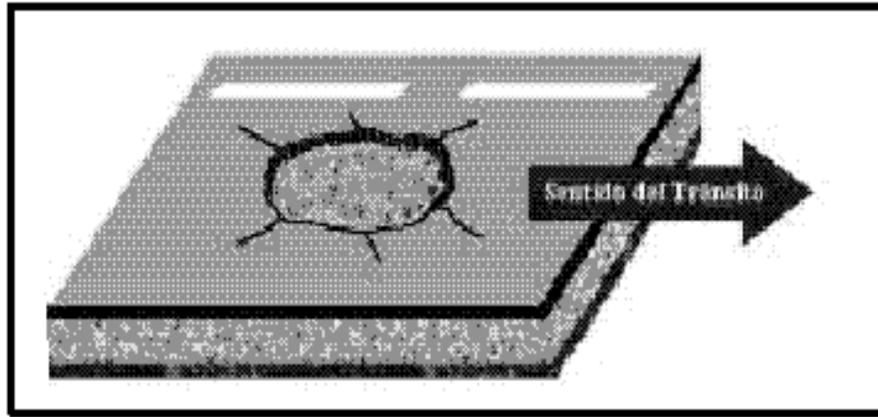
Tabla I. Niveles de severidad de los baches

PROFUNDIDAD MÁXIMA (cm)	DIÁMETRO PROMEDIO DEL BACHE (cm)		
	MENOR A 70	DE 70 A 100	MAYOR A 100
Menor de 2.5	B	B	M
De 2.5 a 5.0	B	M	A
Mayor de 5.0	M	M	A

Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras**. Tomo III b.

Los baches pueden afectar únicamente la carpeta asfáltica, pero además pueden afectar la estructura principal del pavimento (base y sub-base), por lo que el tratamiento varía según el caso.

Figura 16. Esquema de un bache



Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras.** Tomo III b.

Figura 17. Fotografía de bache en calzada Aguilar Batres



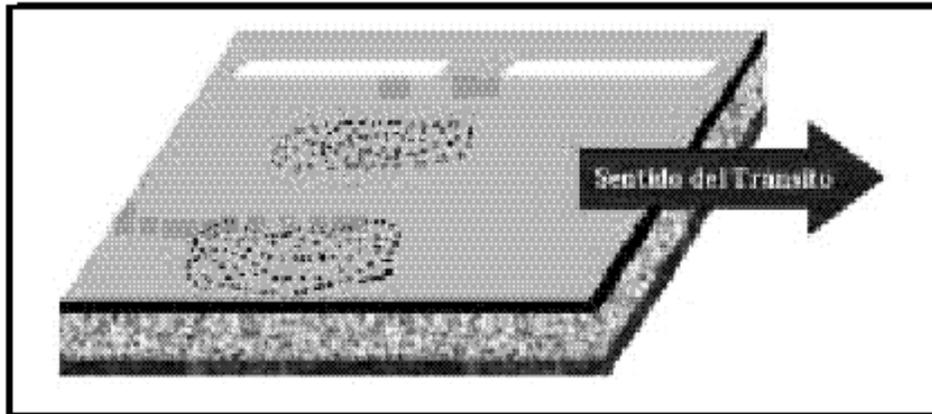
3.1.3.2 Desvestimiento

Desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del agregado pétreo, aumentando la textura del pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y clima.

Esta anomalía es muestra de que el ligante se ha endurecido perceptiblemente, perdiendo sus propiedades cementantes, o bien que la mezcla asfáltica existente es de deficiente calidad, ya sea por un contenido de ligante insuficiente, empleo de agregados sucios o muy absorbentes, como también por deficiencias durante la construcción, especialmente en tratamientos superficiales bituminosos. Frecuentemente se presenta como un desprendimiento de agregados en forma de estrías longitudinales, paralelas a la dirección del riego. Tal desprendimiento puede ser originado también en un proceso de descubrimiento por pérdida de adherencia entre el agregado y el asfalto, cuando actúan agentes agresivos tales como solventes y otros derivados del petróleo, e inclusive, la acción del agua (pluvial). También puede ser originado por desgaste natural o envejecimiento del pavimento.

Hay tres tipos de severidad de desvestimiento: bajo, medio y alto. En el primero se presenta pequeños desprendimientos distribuidos erráticamente a lo largo del pavimento. En el nivel medio, tenemos extensivos desprendimiento de agregados pétreos y/o ligante. En el tercero, extensivos desprendimientos de agregados gruesos y finos. En la figura 18 se muestra un esquema de cómo se desprende gradualmente el agregado pétreo cuando se comienza a desvestir.

Figura 18. Esquema de desvestimiento



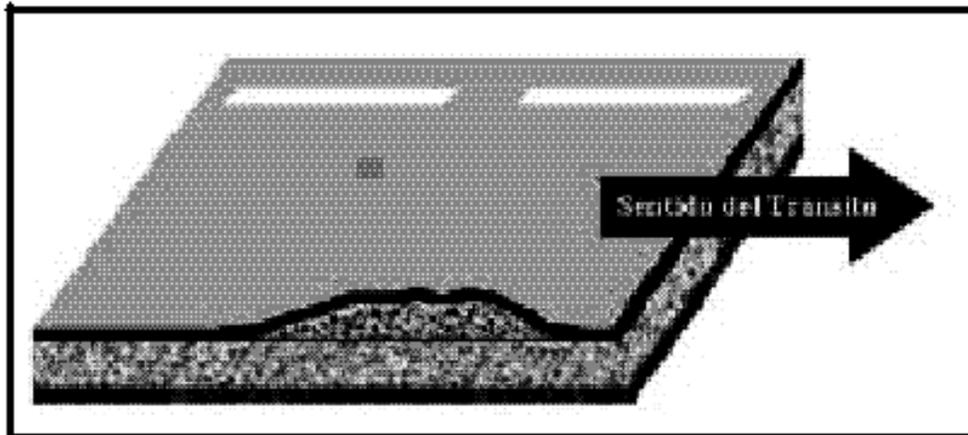
Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras.** Tomo III b.

3.1.3.3 Desintegración de bordes

Consiste en la gradual destrucción de los bordes del pavimento por la acción del tránsito. Se hace especialmente manifiesto en pistas con hombros no pavimentados, en las que existe una significativa porción de vehículos que acceden del hombro al pavimento o en el sentido contrario.

La causa principal es la acción localizada del tránsito, tanto por su efecto abrasivo como por el poder destructivo de las cargas, sobre el extremo del pavimento donde la debilidad de la estructura es mayor debido al menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde, etc. Cuando existen partículas de agregados en la superficie y bajo la acción del tránsito, se producen severos desvestimientos

Figura 19. Esquema de desintegración de bordes



Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras**. Tomo III b.

3.1.4 Otros deterioros en los pavimentos asfálticos

Además de los ya descritos anteriormente, existen otros deterioros en los pavimentos de concreto asfáltico, entre ellos están:

1. **Exudación de asfalto:** consiste en el afloramiento de un material bituminoso de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento. Es causada por un excesivo contenido de asfalto en las mezclas, ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficiente durante épocas calurosas.
2. **Parchados y reparaciones de servicios públicos:** un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido para reparar el existente. Los parchados disminuyen el nivel de servicio de la carretera. En general, las áreas parchadas tienen un comportamiento inferior al pavimento original.

3.2 Tratamiento de fallas con concreto asfáltico en caliente

Las fallas o deterioros en concreto asfáltico pueden ser tratadas para, de esta manera, mantener la carretera en buenas condiciones para el tránsito de vehículos. Este tratamiento depende del tipo de falla y de la magnitud de la misma.

3.2.1 Materiales

3.2.1.1 Materiales para sello de grietas de contracción

Los materiales utilizados para este trabajo son principalmente asfalto y arena fina. Se deben usar asfaltos rebajados tales como: emulsión SS-1h, según la norma AASHTO M-140; emulsión CSS-1h, según la norma AASHTO M-208, u otro que sea adecuado para dicho procedimiento.

La arena se constituye la porción de agregado pétreo seco, de granulometría que pase el tamiz No. 4. Se puede utilizar arena natural o triturada con granos densos, limpios y duros, no se recomienda el uso de arena de río debido a su alto contenido de arcilla y de sustancias químicas.

3.2.1.2 Materiales para bacheo menor, bacheo mayor y recapeo

Para estas actividades se utilizan básicamente los siguiente materiales:

1. **Material de reemplazo para sub-base y/o base:** deberá cumplir con las especificaciones de construcción de carreteras de la Dirección General de Caminos, las cuales veremos en el capítulo 4 de este documento.

2. **Mezcla asfáltica:** tendrá que ser mezcla asfáltica en caliente, según las normas que veremos en el capítulo 4 de este documento.
3. **Riego de imprimación:** asfalto rebajado tipo MC-30 o MC-70 que reúna las características especificadas en la norma AASHTO M-82, o emulsiones asfálticas SS-1(AASHTO M-140) o CSS-1 (AASHTO M-208).
4. **Riego de liga:** asfalto rebajado tipo MC-70 que reúna las características especificadas según la designación AASHTO M-81, o emulsiones asfálticas SS-1 (AASHTO M-208) o CSS-1 (AASHTO M-140) diluidas en agua.

3.2.2 Mano de obra y equipo

Para llevar a cabo las actividades de mantenimiento de carpeta asfáltica es necesario utilizar el equipo adecuado y mano de obra calificada que lo opere. La mano de obra necesaria para estas actividades es la siguiente:

1. **Caporal:** tiene a su cargo la dirección de los trabajadores involucrados en este mantenimiento: peones, pilotos, ayudantes, etc.
2. **Peones:** realizan trabajos como: remoción de obstáculos o basura, guían al tránsito con banderillas, aplican la liga, etc.
3. **Pilotos:** conducen los camiones de volteo donde es transportada la mezcla asfáltica en caliente y los materiales como arena, etc.
4. **Operadores:** encargados de operar las distintas máquinas o vehículos utilizados en el recapeo, como barredoras, compactadoras, pavimentadora, etc.

5. **Ayudantes de operador:** dirigen a los operadores y ayudan en la carga de materiales y en el mantenimiento del equipo.

Además para realizar efectivamente este mantenimiento, debemos contar con el siguiente equipo:

1. **Camión de volteo:** sirve para transportar los diferentes materiales necesarios como arena, asfalto, etc.
2. **Distribuidor calentador de asfaltos con regadora manual:** con este equipo se puede rociar asfalto para el sello de grietas, también es utilizado para aplicar la capa de liga o imprimación.
3. **Compresor:** sirve para aplicar un chorro de aire comprimido, de tal forma que se eliminen las partículas que puedan estar en la grieta.
4. **Rodillo vibratorio portátil:** este aparato permite compactar de una manera adecuada el material asfáltico y los materiales para base y sub-base de reposición.
5. **Camión regador de agua:** comúnmente llamado pipa, sirve para regar agua en área que va a trabajar y para mezcla de materiales.
6. **Barredora autopropulsada:** sirve para barrer el área de trabajo con el objetivo de eliminar suciedad, basura o polvo que pueda afectar el trabajo de colocación de asfalto.
7. **Compactadora de rodillo metálico:** compacta la mezcla asfáltica de modo que tenga el espesor deseado y para obtener la resistencia inicial.

8. **Compactadora de llantas neumáticas:** con esta máquina se le brinda la compactación final a la mezcla, de modo que quede sellada y permita el tránsito vehicular una vez la mezcla haya fraguado.
9. **Pavimentadora autopropulsada:** mejor conocida como *finisher* o terminadora de asfalto, esta máquina da el acabado y el espesor deseado a la carpeta asfáltica, además de dar la compactación inicial.

3.2.3 Sello de grietas de contracción

Este mantenimiento consiste en la ejecución de las labores necesarias para el sellado de grietas de abertura superior a 3 mm aparecidas en la superficie del pavimento, mediante el sellado en caliente, con un mástic asfáltico adecuado. Las grietas se forman a raíz de la ocasional contracción de las capas inferiores del pavimento y se reflejan en la superficie de rodadura de la carretera.

Esta actividad no será ejecutada en aquellas áreas en que las grietas formen bloques interconectados de carácter poliédrico, semejante al agrietamiento piel de cocodrilo. Esta actividad no se aplica a fisuras con aberturas menores de 3 mm. Dicho trabajo se hará a lo largo de la línea de grieta a sellar, a fin de lograr la adecuada impermeabilización de la estructura en el sitio tratado

El sello de grietas por contracción se aplica en casos donde se presenten fisuras en arco, fisuras transversales y fisuras longitudinales. Como se menciona anteriormente este trabajo, no es adecuado cuando se presentan fisuras en bloques (interconectadas).

3.2.3.1 Procedimiento de ejecución para sello de grietas

Primero se procederá a la limpieza del área de trabajo. Esta limpieza debe hacerse con mayor esmero y detalle a todo lo largo de la grieta por sellar, utilizando para ello aire a presión y cepillos especiales o cualquier otro instrumento que pudiese facilitar la labor.

Tanto el espacio de la grieta como el área adyacente a la misma, en un ancho no menor de 0.20 m debe estar libre de polvo, arcilla o de cualquier otro material, previo a continuar con la siguiente operación. Una vez efectuada la limpieza, como se expuso anteriormente, se debe proceder a llenar el espacio agrietado con asfalto, utilizando para ello un recipiente de volumen fácilmente maniobrable que posea una boca de salida del tamaño y forma que permita derramar, en línea fina sobre la grieta, el asfalto con el cual la grieta debe ser rellenado.

El asfalto debe ser calentado a la temperatura especificada conforme su tipo. En caso de que la grieta a tratar fuese de abertura que no permitiese ejecutar con relativa facilidad las labores, ésta debe picarse en las orillas y debe desprenderse el material suelto, limpiando completamente el agujero longitudinalmente, el cual será rellenado con una mezcla, lo suficientemente fluida, de arena fina mezclada con asfalto.

Completadas las operaciones anteriores, debe esparcirse una delgada capa de arena fina sobre el área longitudinal de la grieta en proceso de sello, con el objeto de cubrir el asfalto derramado, para formar una cáscara o costra que no permita desprendimiento.

Si se colocaron señales de advertencia, estas deben ser removidas para rehabilitar la vía para el tránsito de vehículos.

3.2.4 Bacheo menor

Consiste en la reparación a mano de pequeñas áreas de superficie pavimentada, realizada con mezcla asfáltica en caliente con un espesor máximo de 10 cm de carpeta.

El propósito de este trabajo es corregir baches, depresiones, rotura de bordes y otras irregularidades que presentan peligro tanto para la vía como para las personas que transitan por ella. Estas irregularidades pueden ser fisuras piel de cocodrilo, fisuras en bloque, hundimientos leves y cualquier otra que no presente daños en las capas inferiores del pavimento.

3.2.4.1 Procedimiento de ejecución para bacheo menor

El procedimiento que se debe seguir es el siguiente:

1. Poner señales o dispositivos de seguridad, y si es necesario colocar banderilleros.
2. Extraer material suelto y encuadrar el área a reparar; procediéndose según el tipo de falla. En general, las paredes deben quedar parejas y verticales debiendo ser dos de ellas perpendiculares al eje del camino. Antes de colocar la liga, se debe aplicar un chorro de aire para eliminar partículas sueltas.

3. Aplicar una capa de liga, o imprimación, debiendo calentarse el asfalto a la temperatura adecuada según el tipo de emulsión asfáltica utilizada. Se debe cubrir toda el área incluyendo las paredes verticales, utilizando la regadora manual a presión; se debe dar tiempo para que el asfalto penetre en la base, si existen charcos se regará arena sobre ellos y se quitará posteriormente.
4. Esparcir la mezcla asfáltica en capas de 5 cm de espesor como máximo cuando se cuente con equipo de compactación y 2.5 cm máximo cuando se haga manualmente. Depositarla en las esquinas y/o bordes y esparcirla hacia el centro, utilizando un rastrillo para evitar segregación.
5. Compactar cada capa con el rodillo, complementando la compactación con mazos metálicos en las esquinas y en áreas que sean inaccesibles para el rodillo.
6. Asegurarse que el área compactada esté a nivel con la carpeta asfáltica, por medio de un hilo o con una regla.

3.2.5 Bacheo mayor

Consiste en la excavación de la superficie de la carpeta asfáltica y de las capas inferiores, en el área delimitada para el bacheo; el relleno de las capas removidas con el material especificado; la aplicación de un riego de liga y/o de imprimación en el fondo y en las paredes de la excavación efectuada; el suministro, transporte tendido, conformación y compactación de la mezcla asfáltica utilizada para el relleno del bache; el barrido y limpieza de la superficie reparada; y el control del tránsito, la protección y señalización del área en reparación.

La diferencia principal entre bacheo menor y mayor consiste en que en el bacheo menor se repone únicamente la capa de carpeta asfáltica, en cambio, el bacheo mayor significa que será necesario remover y corregir las capas inferiores del pavimento (base y/o sub-base) para posteriormente reponer la carpeta asfáltica del área dañada.

3.2.5.1 Procedimiento de ejecución para bacheo mayor

El procedimiento de ejecución del bacheo mayor se resume en los siguientes pasos:

1. Colocar señales y dispositivos de seguridad. En todo trabajo que se realice en carreteras es indispensable alertar a los conductores de cualquier trabajo que se esté realizando, para evitar así posibles accidentes.
2. Remover el material de la superficie, así como el de la base y/o sub-base que se encuentre dañado. En general, las paredes deben quedar parejas y verticales debiendo ser dos de ellas perpendiculares al eje del camino.. Antes de colocar la liga, debe aplicar un chorro de aire para eliminar partículas sueltas.
3. Acarrear el material de la superficie, base y sub-base afectada que se requieran para realizar el trabajo.

4. Cuando la zona es profunda, se debe colocar y compactar con el rodillo el material en capas no mayores de 10 cm, hasta llegar al nivel de la base. Antes de proceder a imprimir se debe compactar manualmente utilizando mazos el material que no fue posible compactar adecuadamente con el rodillo, además, se debe aplicar un chorro de aire para eliminar partículas sueltas.
5. Imprimir uniformemente el área con asfalto, según las especificaciones, incluyendo las paredes, utilizando una rociadora manual. Se debe dejar que penetre adecuadamente el riego.
6. Esparcir la mezcla asfáltica en capas de 5 cm de espesor como máximo cuando se cuente con equipo de compactación, y 2.5 cm máximo cuando se haga manualmente. Depositarla en las esquinas y/o bordes y esparcirla hacia el centro, utilizando un rastrillo para evitar segregación.
7. Compactar cada capa con el rodillo, complementando la compactación con mazos metálicos en las áreas que sean inaccesibles para el rodillo.
8. Se debe asegurar que la mezcla compactada quede a nivel con la superficie circundante.
9. Remover cualquier material que puede haber quedado suelto en el área.

3.2.6 Colocación de capas asfálticas de refuerzo en caliente

Este trabajo, mejor conocido como **recapeo**, consiste en la colocación de una nueva capa de mezcla asfáltica, con el objetivo de reforzar la capa asfáltica existente, prolongar su vida útil y proveer una superficie lisa para el tránsito.

Este mantenimiento debe emplearse cuando la superficie existente se está deteriorando o se presenten huellas, rugosidad, etc, tomando en cuenta la finalidad de pavimentar cada carretera con superficie asfáltica en forma periódica.

3.2.6.1 Procedimiento de ejecución para recapeo

En el recapeo se debe cumplir un procedimiento establecido, que es el siguiente:

1. Se debe hacer una inspección y revisión del lugar y del equipo a utilizar, comprobando que éste se encuentre en buenas condiciones y que la superficie haya sido correctamente corregida con los procedimientos antes mencionados.
2. Colocar señales y dispositivos de seguridad para advertir a los conductores de los trabajos que se están realizando.
3. Marcar la línea guía para la pavimentadora y barrer la superficie con el equipo adecuado para este fin.
4. Aplicar la capa de liga según sean las especificaciones de diseño.
5. Se debe comprobar la temperatura de la mezcla en cada camión que llegue de la planta.

6. Colocar la carpeta bituminosa en caliente según ancho y espesor establecidos con la pavimentadora autopropulsada (*finisher*). Esto se hace colocando el contenido de los camiones de volteo directamente en la tolva de la *finisher* para esparcirlo uniformemente en la superficie al espesor deseado.
7. Compactar de la siguiente manera:
 - a) Con rodillo metálico antes de que enfríe la mezcla, teniendo el cuidado de haber tratado las juntas previamente.
 - b) Con la compactadora neumática (hule) repetidas veces, hasta que la carpeta asfáltica quede bien sellada.
 - c) Con rodillo metálico una última vez.
 - d) Compactar las área inaccesibles a las máquinas con una vibrocompactadora manual de plancha ancha o, en su defecto, un mazo metálico.
8. Antes de finalizar la jornada se debe preparar la junta transversal adecuadamente para continuar al día siguiente.
9. Limpiar y revisar el equipo diariamente después de cada jornada de trabajo.
10. Retirar las señales de precaución y los dispositivos de seguridad.

4. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES Y EQUIPO

Para realizar el mantenimiento de carreteras con concreto asfáltico en caliente de una manera adecuada, es necesario contar con los materiales y el equipo necesario y específico para cada trabajo. En el caso de los materiales, éstos deben de cumplir con los requisitos mínimos de calidad, por lo que es necesario realizar ensayos de laboratorio. El equipo utilizado debe ser el adecuado para que los trabajos realizados sean ejecutados satisfactoriamente y de una manera técnica.

4.1 Especificaciones de materiales

En los trabajos de mantenimiento vial se utilizan diversos materiales, dependiendo del tipo de trabajo y del diseño de las diferentes partes que conforman la carretera. Entre estos materiales tenemos asfalto, material para base, material para sub-base, emulsiones, material pétreo, y otros. Cada uno de ellos debe cumplir las especificaciones que se encuentran en las normas con las cuales se está trabajando.

4.1.1 Asfaltos

Son productos derivados de hidrocarburos más o menos líquidos y viscosos, que endurecen por enfriamiento o evaporación de sus disolventes. El asfalto es un material aglomerante de consistencia, que va desde ligeramente más espeso que el agua hasta materiales duros y quebradizos. Se clasifican de la siguiente manera:

1. Cementos asfálticos (AC)
2. Asfaltos de curado lento (SC)
3. Asfaltos diluidos de curación media (MC)
4. Asfaltos diluidos de curación rápida (RC)

4.1.1.1 Cementos asfálticos (AC)

Son los aglutinantes más utilizados en los tipos finos de pavimentos bituminosos. Son hidrocarburos que provienen de los aceites lubricantes y los combustibles, ya que son extraídos del petróleo. Las especificaciones para estos asfaltos se describen en la tabla II.

Tabla II. Especificaciones para cementos asfálticos

Características	Norma AASHTO	Norma ASTM	Tipos				
			40-50	80-70	85-100	120-150	200-300
Penetración 25°C, 100 gr. 5 seg	T-49	D-5	40-50	80-70	85-100	120-150	200-300
Viscosidad a 135 °C Saybolt-Furol, SSF Cinemática, entistokes	-	-	120+	100+	85+	70+	50+
	-	E-102	240+	200+	170+	140+	100+
	-	D-445					
Punto de inflamación vaso abierto de Cleveland °C	T-46	D-92	232+	232+	232+	232+	177+
Ensayo en horno en película delgada	T-179		-	-	-	-	-
Penetración después del ensayo 25°C 100 gr., 5 seg., % de la original	T49	D-5	52+	50+	45+	42+	37+
Ductilidad: A 25 ° C, cm. A 15.6 °C, cm.	T-51	D-113	100+	100+	100+	60+	- 60+
Solubilidad en CCl ₄ , %	T-44	D-4	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+

Fuente: Erick R. Anleu H. **Producción de mezclas asfálticas en caliente.** Página 12.

4.1.1.2 Asfaltos de curado lento (SC)

Son materiales derivados del petróleo en estado líquido que tienen un tiempo de fraguado largo. Se utilizan cuando se necesita que el asfalto conserve sus propiedades, desde que se produce hasta que se cumple su periodo de fraguado.

Es posible obtenerlos directamente de la destilación o pueden ser producidos combinando cementos asfálticos con aceites fluidificantes de alto punto de ebullición (mayor de 527 ° F). Las especificaciones para este tipo de material se describen en la tabla III.

Tabla III. Especificaciones para asfalto fluidificado de fraguado lento (SC)

Características	Método Ensayo AASHTO	Método Ensayo ASTM	Grados					
			SC-0	SC-1	SC-2	SC-3	SC-4	SC-5
Pto. De inflamación vaso abierto °C	T-48	D-92	65.6	65.6	79.4	93.3	107. 2	121.1
Viscosidad Furol a 25 °C 50 °C 60 °C 82.2 °C	T-72	D-88	75150	75-150	100- 200	250- 500	125- 250	100+ 300- 600
Agua %	T-55	D-95	0.5-	0.5-	0.0	0.0	0.0	0.0
Destilación: Total destilado a 350 °C	T-78	D-402	15-40	10-30	5-25	2-15	10-	5-
Ensayo de flotador sobre residuo de Destilación a 50 °C, seg.	T-50	D-139	15100	20-100	25-100	50- 125	60- 150	75-200
Residuo asfáltico penetración 100%		D-243	40+	50+	60+	70+	75+	80+
Ductilidad del residuo asfáltico de penetración 100, a 25 °C, cm.	T-51	D-113	100+	100+	100+	100+	100+	100+
Solubilidad en CCl ₄	T-44	D-4	99.5+	99.5+	99.5+	99.5 +	99.5 +	99.5+

Fuente: Erick R. Anleu Hernández. **Producción de mezclas asfálticas en caliente.** Página 12.

4.1.1.3 Asfaltos diluidos de curación media (MC)

Son cementos asfálticos en estado líquido con mayor fluidez que los dos anteriores, combinados con destilados del tipo del petróleo o el aceite Diesel ligero. El rango de ebullición de estos líquidos es de 325 a 525 ° F, por lo tanto se evaporan a una velocidad relativamente baja. Se utilizan cuando se quiere una menor densidad en el momento del tratamiento. Las principales especificaciones para los asfaltos MC se muestran en la tabla IV.

Tabla IV. Especificaciones para asfalto fluidificado de curado medio (MC)

Características	Método Ensayo AASHTO	Método Ensayo ASTM	Grados					
			MC-0	MC-1	MC-2	MC-3	MC-4	MC-5
Punto de inflamación grado abierto, ° C	T-79	D-1310	37.8	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6
Viscosidad Furol a 25 ° C	T-72	D-88	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250	100+
50 ° C								
60 ° C								
82.2 ° C								
Destilación: Destilado (% del total destilado ° C)	T-78	D-402						
A 190 ° C			25-40-70	10-15-55	10-15-55	5-5-40	0-30-	0-20-
A 260 ° C			75-93	60-87	60-87	55-85	40-80	20-75
A 316 ° C								
Residuo de destilación 360 ° C, % en Volumen por diferencia			50+	60+	67+	73+	78+	82+
Ensayos sobre residuo de destilación:								
Penetración 25 ° C, 100 gr., 5 seg	T-49	D-5	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad 25 ° C, cm	T-51	D-113	100+	100+	100+	300	100+	100+
Solubilidad en CCl ₄	T-44	D-4	99.5+	99.5+	99.5+	100+	99.5+	99.5+
Condiciones generales			El material no contendrá agua					

Fuente: Erick Rolando Anleu Hernández. **Producción de mezclas asfálticas en caliente.**

4.1.1.4 Asfaltos diluidos de curación rápida (RC)

Son cementos diluidos con materiales destilados provenientes del petróleo, tales como la gasolina o la nafta. El rango de ebullición es de 250 a 400 ° F, por lo tanto se evaporan rápidamente.

Este tipo de asfalto se utiliza cuando se desea un fraguado rápido. Las especificaciones se muestran en la tabla a continuación:

Tabla V. Especificaciones para asfalto fluidificado de curado rápido (RC)

Características	Método Ensayo AASHTO	Método Ensayo ASTM	Grados					
			RC-0	RC-1	RC-2	RC-3	RC-4	RC-5
Pto. de inflamación vaso abierto, °C	T-79	D-1310						
Viscosidad Furol a 25 ° C			75-150					100+
50 ° C				100+	85+	70+	50+	
60 ° C	T-72	D-88		200+	170+	140+		
82.2 ° C								
Destilación:								
Destilado (% del total destilado ° C)								
A 190 °C			15+	10+	-	-	-	-
A 225 °C	T-78	D-402	55+	50+	40+	25+	8+	-
A 260 °C			75+	70+	65+	55+	40+	25+
A 318 °C			90+	88+	87+	83+	80+	70+
Residuo de destilación 360 °C, % en Volumen por diferencia			50+	60+	67+	73+	78+	82+
Ensayos sobre residuo de destilación:								
Penetración 25 °C, 100 gr., 5 seg	T-49	D-5	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad 25 °C, cm	T-51	D-113	100+	100+	100+	100+	100+	100+
Solubilidad en CCl ₄	T-44	D-4	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+
Condiciones generales			El material no contendrá agua					

Fuente: Erick Rolando Anleu Hernández. **Producción de mezclas asfálticas en caliente.**

4.1.2 Emulsiones

Las emulsiones asfálticas están formadas de tres ingredientes básicos: cemento asfáltico (AC), agua y agente emulsivo. Como tal, las emulsiones deben cumplir con los requisitos estipulados en la sección 4.1.1.1 de este documento.

Existen dos tipos de emulsiones: las aniónicas, las cuales tienen cargas electroquímicas negativas, y las catiónicas, con cargas electroquímicas positivas. Las emulsiones se clasifican de acuerdo al tiempo de fraguado de las mismas, siendo éstas RS, MS, SS y QS, que significan de fraguado rápido, medio, lento y ultra-rápido, respectivamente. (Tabla VI)

Tabla VI. Especificaciones para emulsión asfáltica en tratamiento superficial

Tipo y grado de material bituminoso	Especificación AASHTO	Temperatura de aplicación en ° C
<u>Emulsiones asfálticas</u>		
-Aniónicas	AASHTO M 140	20-60
• RS-1		50-85
• RS-2		20-70
• MS-1		20-70
• HFMS-1	AASHTO M 208	
-Catiónicas		50-85
• CRS-1		50-85
• CRS-2		

Adaptado de: Dirección General de Caminos. **Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.** Sección 404-2

Para sellos asfálticos, sellado de grietas, bacheo y riego de liga se cumplen las especificaciones que se encuentran en la tabla VII de esta sección.

Tabla VII. Requisitos para las emulsiones asfálticas

Tipo y grado de emulsión asfáltica	Especificación AASHTO	Temperatura de aplicación en ° C
<u>Sello de brisa (Fog Seal) y Lechada asfáltica (Slurry Seal)</u> -Aniónicas <ul style="list-style-type: none"> • SS-1, SS-1h -Catiónicas <ul style="list-style-type: none"> • CSS-1, CSS-1h 	<p>M 140</p> <p>M 208</p>	<p>20-70</p> <p>50-85</p>
<u>Lechada asfáltica modificada con polímeros (Micro surfacing)</u> -Catiónicas <ul style="list-style-type: none"> • CSS-1h 	<p>M 208</p>	<p>20-70</p>
Sello ordinario (Sand Seal) -Aniónicas <ul style="list-style-type: none"> • RS-1 • MS-1, HFMS-1 -Catiónicas <ul style="list-style-type: none"> • CRS-1 	<p>M 140</p> <p>M 208</p>	<p>20-60</p> <p>20-70</p> <p>50-85</p>

Fuente: Dirección General de Caminos. **Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.** Sección 406-1

4.1.3 Material pétreo (agregados)

Los agregados se emplean combinados con asfaltos líquidos; constituyen del 88 al 96 % del peso, más del 75 % del volumen de las mezclas asfálticas. Los agregados en una mezcla asfáltica pueden ser gruesos (retenidos en tamiz No.8) y finos (pasan tamiz No. 8) variando las proporciones de cada uno de acuerdo con la granulometría requerida por el diseño.

Los requisitos de los agregados se describen a continuación:

4.1.3.1 Abrasión

La parte del agregado retenida en el tamiz número 4 (4.75 mm) no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión mayor de 40 a 500 revoluciones, según la norma AASHTO T96.

4.1.3.2 Desintegración al sulfato de sodio

Al llevarse a cabo este ensayo, según la norma AASHTO T-104, el agregado no debe tener una pérdida de peso mayor al 15%.

4.1.3.3 Caras fracturadas y partículas planas o alargadas

No menos del 40 % por peso de partículas retenidas en el tamiz No. 4, debe tener por lo menos una cara fracturada, esto en el caso de que se utilice grava triturada.

Además, no más del 15% en peso pueden ser partículas planas o alargadas. Estas deben tener una longitud mayor que cinco veces su espesor.

4.1.3.4 Impurezas

El agregado debe estar libre de cualquier tipo de impurezas que puedan afectar sus propiedades físicas, químicas o mecánicas, tales como materia vegetal, basura, arcilla, sustancias químicas nocivas, etc.

4.1.3.5 Graduación

El agregado que se utilice para ser combinado con el material bituminoso, debe cumplir con las características de graduación de acuerdo con las normas AASHTO T 27 y T 11, como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla VIII. Tipos de graduación para agregados de mezcla asfáltica

Porcentaje de peso que pasa por un tamiz de abertura cuadrada, AASHTO T 27

Tamiz Número	Estándar mm	Tipo A 1 ½" max		Tipo B 1" max			Tipo C ¾" maz			Tipo D ½" maz	
		A-1	A-2	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2
11/2	37.5	100	100								
1	25.0	90-100	70-100	100	100	100					
¾	19.0	40-75	50-80	90-100	70-100	80-100	100	100	100		
½	12.5	10-35				70-90	90-100	70-100	80-100	100	100
3/8	9.5	5-25	25-50	20-55	35-60	60-80	40-70	45-75	70-90	70-100	80-100
4	4.75	0-20	10-30	0-10	15-35	50-70	0-15	20-40	50-70	20-40	55-75
8	2.36	0-10	5-20	0-5	5-20	35-50	0-5	5-20	35-50	5-20	35-50
30	0.600					19-30			18-29		18-29
50	0.300					13-23			13-23		13-23
100	0.150								8-16		8-16
200	0.075		0-4		0-4	0-8		0-4	4-10	0-4	4-10

Fuente: Erick Rolando Anleu Hernández. **Producción de mezclas asfálticas en caliente.**

4.1.3.6 Plasticidad

El porcentaje de agregado que pasa el tamiz número 40 no debe tener un índice de plasticidad mayor del 25 %, según la norma AASHTO T 89, además, el equivalente de arena no debe ser menor que 40 %, según la norma AASHTO T 176.

4.1.3.7 Peso

El agregado debe tener una buena calidad en sus características físicas, tales como la densidad y la uniformidad y cumplir con un peso unitario mayor o igual de 70 lb/pie³, según la norma AASHTO T 19.

4.1.3.8 Resistencia al desvestimiento

Las partículas de agregados, al ser recubiertas completamente con el material bituminoso a usarse en la mezcla asfáltica, no deben presentar evidencia de desvestimiento, de modo que al practicarse el ensayo de inmersión en agua a 60 °C, según la Dirección General de Caminos, permanezcan más del 70 % de las partículas perfectamente cubiertas con el material bituminoso.

4.1.4 Material secante para sello de fisuras

Cuando se realizan trabajos como sello de grietas o fisuras e imprimación se debe cumplir con ciertos requisitos para el material secante: las partículas deben ser duras, durables y fragmentadas de la trituración de grava o piedra o bien arena natural lavada, que cumplan con los siguientes requisitos:

1. El porcentaje de material que pasa por la malla 9.5 mm debe de 100 %.
(Tabla IX)
2. El límite líquido, según la norma AASHTO T 89, no debe ser mayor de 25.
3. Las partículas deben estar libres de materia orgánica o grumos de arcilla.

Tabla IX. Granulometría para el material secante

Estándar mm	Tamiz N°	Porcentaje total que pasa un tamiz de abertura cuadrada (AASHTO T 27)
9.50	$\frac{3}{8}$	100 %
4.25	4	90 – 100 %
0.075	200	0 – 7 %

Fuente: Dirección General de Caminos. **Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.** Sección 407-3

4.1.5 Material para el sellado de grietas o fisuras

El tipo, grado, especificación y temperatura de aplicación del material bituminoso a usar para el sello de grietas finas, será uno de los establecidos en la tabla siguiente:

Tabla X. Requisitos para el material bituminoso

Tipo y grado de material bituminoso	Especificación AASHTO	Temperatura de aplicación en ° C
<u>Cementos asfálticos</u> Graduación por viscosidad AC-2.5 Graduación por penetración 200-300	AASHTO M 226 AASHTO M 20	> 130 > 130
<u>Emulsiones asfálticas</u> -Aniónicas • SS-1, SS-1h -Catiónicas • CSS-1, CSS-1h	AASHTO M 140 AASHTO M 208	20-70 20-70

Fuente: Dirección General de Caminos. **Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.** Sección 406-1

Cuando sean grietas medianas, el material utilizado debe ser del tipo elástico vertido en caliente y debe cumplir con los requisitos de AASHTO M 173 (ASTM D 1190). Se debe aplicar sobre un respaldo de esponja de polietileno Tipo 1 de acuerdo con lo indicado en ASTM D 3204. El respaldo debe ser capaz de soportar la temperatura de aplicación del sellador sin derretirse.

En el caso de las juntas, los materiales deben cumplir los requerimientos que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla XI. Especificaciones de sellos para juntas

Propiedades Físicas	ASTM	EPDM	Neopreno Masilla	Método de Butil
Prueba				
Tensión, Mpa	D142	10	12	-
Elongación, %	D142	440	230	280
Resistencia al Desgarre, N/mm	D 624 (molde B)	40	20	-
Rebote, %, 5 min. (mod)	C 972	-	-	11
Rebote, %, 2Hr.	C972			12

Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana. **Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales.** Sección 712-1.

4.1.6 Base granular

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural, clasificados o con trituración parcial para constituir una base integrante de un pavimento.

Los materiales utilizados en la base granular deben cumplir ciertos requisitos, que se describen a continuación:

4.1.6.1 Valor soporte

Debe tener un CBR determinado por el método AASHTO T 193 de 70 para base, efectuado sobre una muestra saturada a 95 % de compactación determinada por el método AASHTO T 180.

4.1.6.2 Abrasión

La porción de agregado retenida en el tamiz 4.75 mm (N° 4), no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión determinado por el método AASHTO T 96, mayor de 50 a 500 revoluciones.

4.1.6.3 Partículas planas o alargadas

No más del 25% en peso del material retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4), pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

4.1.6.4 Impurezas

El material de base granular debe estar exento de materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de base granular puedan causar fallas en el pavimento.

4.1.6.5 Graduación

El material para capa de base granular debe llenar los requisitos de graduación, determinada por los métodos AASHTO T 27 y AASHTO T 11, de los que se estipulan en la tabla XII.

Tabla XII. Tipos de graduación para material de base granular

Estándar mm	Tamiz N°	Porcentaje por peso que pasa un tamiz de abertura cuadrada (AASHTO T 27)					
		TIPO "A" (Sub-base) 50 mm (2") máximo	TIPO "A" (Base) 50 mm (2") máximo		TIPO "B" (Sub-base y Base) 38.1 mm (1 ½") máximo		TIPO "C" (Sub-base y Base) 25 mm (1") máximo
		<u>A-1</u>	<u>A-1</u>	<u>A-2</u>	<u>B-1</u>	<u>B-2</u>	<u>C-1</u>
50.0	2"	100	100	100			
38.1	1 ½"	-	-	-	100	100	
25.0	1"	60-90	65-90	60-85	-	-	100
19.0	¾"	-	-	-	60-90	-	-
9.5	⅜"	-	-	-	-	-	50-85
4.75	N° 4	20-60	25-60	20-50	30-60	20-50	35-65
2.00	N° 10	-	-	-	-	-	25-50
0.425	N° 40	-	-	-	-	-	12-30
0.075	N° 200	3-12	3-12	3-10	5-15	3-10	5-15

Fuente: Dirección General de Caminos. **Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.** Sección 304-1.

4.1.6.6 Plasticidad y cohesión

El material de la capa de base granular, en el momento de ser colocado en la carretera, no debe tener en la fracción que pasa el tamiz 0.425 mm (N° 40), incluyendo el material de relleno, un índice de plasticidad mayor de 6 para la base, determinado por el método AASHTO T 90, ni un límite líquido mayor de 25, según AASHTO T 89, determinados ambos sobre muestra preparada en húmedo de conformidad con AASHTO T 146.

4.1.6.7 Equivalente de arena

El equivalente de arena no debe ser menor de 30 como para base, según AASHTO T 176.

4.2 Ensayos para materiales de mezcla asfáltica

4.2.1 Ensayos para asfaltos

El asfalto, como cualquier otro material de construcción, debe cumplir con los requisitos mínimos para garantizar que sea de calidad y que el producto final, en este caso la mezcla asfáltica, cumpla con los requerimiento físicos y mecánicos. Estos requisitos se determinan a través de ensayos de laboratorio normados, que describimos a continuación.

4.2.1.1 Penetración

Este ensayo se utiliza para determinar la consistencia relativa de un cemento asfáltico midiendo la profundidad que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto, bajo estrictas condiciones de temperatura (25 °C), tiempo (5seg) y carga (100 gr).

4.2.1.2 Viscosidad

Midiendo el tiempo que se necesita para que fluya un volumen de asfalto bajo condiciones de temperatura y altura del líquido controladas, se determina la viscosidad cinemática, que a su vez determina el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas de aplicación.

4.2.1.3 Punto de inflamación

El punto de inflamación de un asfalto es la temperatura a la que se puede calentar sin peligro de inflamación. Para determinar este punto se utiliza el ensayo en vaso abierto de Cleveland. En éste, un vaso abierto de latón se llena parcialmente de cemento asfáltico y se calienta a una velocidad establecida. Periódicamente se enciende una llama sobre la superficie de la muestra y se determina la temperatura a la que los vapores del cemento asfáltico producen una llama repentina.

4.2.1.4 Ductilidad

La ductilidad es una propiedad muy importante, ya que determina en gran parte la capacidad aglomerante de un cemento asfáltico. Por otra parte, si un asfalto tiene una ductilidad muy elevada, es más propenso a los cambios de temperatura.

El ensayo consiste en colocar una probeta de cemento asfáltico, posteriormente se hace llegar a una temperatura normalizada y se somete a un alargamiento con una velocidad específica hasta que el hilo que une los dos extremos se rompe, la distancia entre los dos puntos mide la ductilidad.

4.2.1.5 Solubilidad

Se utiliza para determinar la pureza de un cemento asfáltico. Se sumerge la muestra en un solvente, las impurezas como las sales o contaminantes inorgánicos no se disuelven por lo que se filtran y se mide su cantidad.

4.2.2 Ensayos para agregados

4.2.2.1 Granulometría

Los tamaños de las partículas de agregados y su dosificación en la mezcla asfáltica dependen del tipo de pavimento, no obstante es necesario tener un control adecuado del tamaño para asegurar un concreto de buenas propiedades físicas y mecánicas. Existen dos métodos para determinar las proporciones de los distintos tipos de agregados: tamizado vía seca y tamizado vía húmeda.

En el **tamizado vía seca** se colocan los tamices necesarios desde el de abertura más grande en la parte superior a la abertura más pequeña en la parte inferior, colocándose la muestra en el primero. Después se agitan los tamices conteniendo la muestra y se pesa el material retenido en cada uno de ellos para plotear la curva granulométrica.

El **tamizado vía húmeda** se utiliza cuando la muestra del material contiene muchas partículas finas, tales como las arcillas, por lo que el ensayo anterior nos proporcionaría datos erróneos acerca de la granulometría.

4.2.2.2 Abrasión

Consiste en la utilización de la denominada máquina de Los Ángeles. El procedimiento consiste en depositar el material que va a ser estudiado dentro de la máquina, posteriormente se colocan unas esferas de acero junto con el material, se debe dar al tambor 500 revoluciones. Después de este procedimiento, se determina el porcentaje de material que pasa el tamiz número 12, lo que representa el porcentaje de desgaste.

4.2.2.3 Peso específico

El peso específico es la relación entre el peso de un volumen dado de un material y el peso de un volumen igual de agua destilada, tomándose 20 °C como la temperatura normal.

Existen tres tipos de peso específico: peso específico total, peso específico aparente y peso específico efectivo. Los tres se diferencian por la consideración que se hace de los poros, por lo que el peso específico total incluye todos los poros de la muestra, el aparente no incluye los poros que se llenarán de agua al ser mojado el material, y el efectivo excluye todos los poros que se llenarán de asfalto.

4.2.2.4 Peso unitario

Es el peso que tiene un material por unidad de volumen. Existen dos tipos de peso unitario, el suelto y el compactado. Se ha establecido un mínimo de 1137 Kg/m³ para agregados menores de 2 pulgadas y 1041 Kg/m³ para los de tamaños mayores a 2 pulgadas.

4.2.2.5 Humedad

Para determinar el porcentaje de humedad de los agregados, primero se pesa una cantidad determinada de los mismos, luego se seca y se vuelve a pesar. La diferencia de pesos es la humedad contenida en los agregados.

4.2.2.6 Ensayo de resistencia a los sulfatos

Cuando los agregados van a ser sometidos a los efectos de estos compuestos químicos, por ejemplo cerca del mar, es necesario determinar la resistencia a la disgregación por los sulfatos, esto se logra sometiendo a los agregados a soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio.

4.3 Métodos de dosificación de mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas se dosifican de acuerdo con los requerimientos de diseño del proyecto en plantas especializadas, que pueden ser de dosificación y de tambor. Por medio de un análisis de cargas, suelos y materiales, se realiza un diseño del pavimento que será constituido por las tres capas principales: sub-base, base y carpeta asfáltica. Esta última puede tener una mezcla de fraguado lento, medio o rápido, según las necesidades y dependiendo del tipo de cemento asfáltico utilizado.

4.3.1 Mezclas asfálticas de fraguado lento

Están compuestas básicamente de los siguientes materiales: a) agregado fino, que puede ser arena natural o materiales obtenidos de la trituración de piedra, b) agregado grueso, que deben ser de piedra o escoria triturada, grava triturada o una combinación de ambas, y c) cemento asfáltico SC. Éste último es una mezcla de cemento asfáltico AC con un aceite residual de alto punto de ebullición (mayor de 527 °F).

Cada uno de los componentes varía de acuerdo con las condiciones de diseño para el proyecto. La cantidad de cemento asfáltico a utilizarse determina en gran manera el aspecto económico de la mezcla, y ésta depende de la cantidad y el tamaño de los agregados gruesos de la mezcla. La mezcla debe estar constituida aproximadamente en un 75 % del volumen en agregados, de esta manera se logra una mezcla estructuralmente aceptable y económica.

4.3.2 Mezclas asfálticas de fraguado medio

Las mezclas asfálticas de fraguado medio están compuestas básicamente de los siguientes materiales: a) agregado fino, que puede ser arena natural o materiales obtenidos de la trituración de piedra, b) agregado grueso, que deben ser de piedra o escoria triturada, grava triturada o una combinación de ambas, y c) cemento asfáltico MC.

Los cementos asfálticos de curación media son asfaltos mezclados con destilados del tipo del petróleo, Diesel ligero o querosén. Estos materiales tienen un rango de ebullición de entre 325 a 525 °F por lo que su velocidad de fraguado es relativamente baja. Se debe tomar en consideración que los componentes tales como el diesel o el querosén son volátiles y perjudiciales ecológicamente.

Con respecto a los agregados podemos decir que, como mencionamos anteriormente, deben conformar aproximadamente un 75 % del volumen total de la mezcla, para que la misma sea económica y deben cumplir con los requisitos de granulometría de la tabla IX de este capítulo.

4.3.3 Mezclas asfálticas de fraguado rápido

Las mezclas asfálticas de fraguado rápido están compuestas básicamente de los siguientes materiales: a) agregado fino, que puede ser arena natural o materiales obtenidos de la trituración de piedra, b) agregado grueso, que deben ser de piedra o escoria triturada, grava triturada o una combinación de ambas, y c) cemento asfáltico RC.

El cemento asfáltico RC es un asfalto diluido con un destilado del petróleo tal como la gasolina o la nafta. Estos componentes tienen la característica de evaporarse rápidamente, por lo que el tiempo de fraguado es bastante corto en relación con las mezclas asfálticas descritas anteriormente, esto se debe a que su rango de ebullición es de 250 a 400 °F.

La cantidad y la graduación de los agregados (98 % en peso de la mezcla) finos y gruesos dependen del diseño, pero hay que tomar en cuenta que debe ser balanceada para que la carpeta asfáltica cumpla con las especificaciones de diseño pero a la vez sea económica.

4.4 Especificaciones de equipo

El equipo utilizado en el mantenimiento de carreteras con concreto asfáltico en caliente varía según las necesidades y requerimiento de diseño, debemos tomar en cuenta que hay que utilizar el equipo que sea más eficiente y el que más se adapte a las necesidades constructivas.

4.4.1 Equipo para mantenimiento general

El mantenimiento general consiste en tareas sencillas como limpieza de drenajes, limpieza de derecho de vía, limpieza de cunetas, pintura de señalización vial, etc., por lo tanto se utiliza equipo o herramienta de relativamente bajo costo como piochas, palas, brochas, cepillos, escobas, machetes, etc.

En el caso del mantenimiento de hombros hay que considerar otro tipo de equipo debido a que éstos forman parte de la estructura del pavimento, entonces se necesita el equipo para mantenimiento de carpeta asfáltica que describiremos en el siguiente inciso.

4.4.2 Equipo para mantenimiento de carpeta asfáltica

En el capítulo tres de este documento se describe detalladamente en qué consisten los trabajos de mantenimiento de carpeta asfáltica, además se hace mención del equipo necesario para llevarlos a cabo. A continuación se presentan los aspectos más importantes.

4.4.2.1 Equipo para escarificación

De acuerdo con el tamaño del área a trabajar, se debe considerar el tipo de equipo necesario, por ejemplo, en un área donde el ancho es menor a los 2.5 m no es posible utilizar maquinaria pesada, por lo que es necesario utilizar herramientas básicas como piochas, palas o azadones.

En el caso de secciones de pavimento de un ancho mayor a los 2.5 m se puede utilizar un patrol, una maquinaria del tipo CAT RR-250 o una retroexcavadora, según fuera necesario.

4.4.2.2 Equipo para limpieza de área de trabajo

Cuando el área a trabajar es pequeña, como un bache, por ejemplo, se puede utilizar equipo de uso manual como compresor de aire, un cepillo, una escoba o cualquier otro implemento que permita dejar la superficie perfectamente libre de objetos o materiales.

En trabajos de mayor envergadura, como recapeo, por ejemplo, se debe utilizar una barredora autopropulsada con el objetivo de dejar el área de trabajo perfectamente limpia. Esta máquina consta de un cepillo hidráulico que está adaptado a un cilindro que gira hacia ambos lados que sube y baja para adaptarse a la superficie, además, consta de un sistema de rociado de agua que impide levantar mucho polvo.

4.4.2.3 Equipo para riego de liga o imprimación

Para este fin se utiliza un distribuidor calentador de asfaltos con regadora manual. Esta máquina permite calentar el líquido de imprimación o de riego de liga a la temperatura de aplicación, según las especificaciones de diseño, y esparcirlo uniformemente sobre la superficie, a modo de cubrirla completamente.

4.4.2.4 Equipo para pavimentación

Cuando se hacen trabajos de mantenimiento de carpeta asfáltica que implican pavimentación, como la colocación de capas de refuerzo se debe utilizar el equipo adecuado: la *finisher* o terminadora.

Esta máquina permite tender el asfalto al ancho y espesor de diseño, además de proveer la compactación inicial. Consta básicamente de dos elementos: el tractor y la regla niveladora. El tractor tiene la función de recibir, entregar, dosificar y esparcir la mezcla asfáltica. La regla niveladora delimita el ancho de la carpeta y su espesor, contribuyendo al acabado de la carpeta.

4.4.2.5 Equipo de compactación

Para actividades como el bacheo se debe utilizar equipo pequeño que permita obtener la compactación y el acabado deseado. Este puede ser un rodillo vibratorio manual que sea del peso adecuado para lograr la compactación necesaria. También se puede utilizar una vibrocompactadora de plancha ancha que permite compactar el asfalto correctamente, ya que distribuye la carga de compactación de manera uniforme en un área relativamente amplia. En lugares donde este equipo sea inaccesible, como en las esquinas de los baches, se debe compactar a mano con un mazo metálico.

En el caso de la restitución de base que comprende el bacheo mayor se puede utilizar una vibrocompactadora (bailarina) para dar la compactación adecuada a las capas de sub-base o base granular según sea el caso.

Cuando se requiere compactar en un área más amplia y extensa se necesita utilizar maquinaria pesada de compactación: compactadora de asfalto con dos tambores vibratorios y compactadora de llantas para asfalto.

La compactadora de tambores vibratorios consta de dos tambores lisos que permiten compactar sin causar segregaciones o deformaciones en la carpeta asfáltica. El vibrado permite compactar más rápida y eficientemente. La compactadora neumática sirve para dar el acabado final al asfalto, con ella se logra sellar y dejar perfectamente compactada el área trabajada, además brinda el acabado final a la capa de asfalto. Consta de un sistema de abastecimiento de agua que permite mantener las llantas limpias sin que se adhiera asfalto.

4.4.3 Equipo de seguridad

La seguridad es un aspecto muy importante del mantenimiento vial. La mayoría de trabajos se realizan sin detener completamente el tránsito vehicular por lo que representan un riesgo tanto para trabajadores como para conductores.

Es necesario contar con la señalización preventiva adecuada, por ejemplo, conos, rótulos, banderilleros, luces, etc., que ayuden a prevenir a los conductores con suficiente tiempo del peligro que representan los trabajos de mantenimiento. Los trabajadores deben llevar chalecos reflectivos que los identifique, pero que principalmente los haga visibles a los conductores. Se debe tener especial cuidado cuando los trabajos se realicen de noche, pues la visibilidad es mucho menor que de día, por lo tanto las luces y señales reflectivas son indispensables.

CONCLUSIONES

1. El principal agente destructor de una carretera es el agua, la acumulación de ella no sólo representa un peligro para la estructura de una carretera sino que también para las personas que la utilizan, por esta razón, es necesario mantener en buenas condiciones los elementos auxiliares de una carretera, tales como drenajes, cunetas, taludes, derecho de vía, etc para que el agua que precipita sea drenada rápida y efectivamente.
2. Una carretera en malas condiciones pone en riesgo la seguridad de las personas que la transitan, muchos accidentes son causados por el mal estado en que se encuentran estas vías de comunicación.
3. Un inadecuado mantenimiento de carreteras representa pérdidas económicas, ya que es mucho más grande la inversión que se requiere para reconstruir una vía que la que se necesita para conservarla en buenas condiciones de funcionamiento.
4. El mejor mantenimiento que existe es el preventivo, pues advertir posibles daños o fallas en una carretera evita gastos innecesarios de recursos humanos y económicos, además, evita potenciales accidentes, pérdidas de vidas humanas y recursos económicos.
5. Los métodos correctos de mantenimiento de carreteras deben ir acompañados de buenos materiales que cumplan con las normas de calidad, del equipo adecuado y su buena utilización.

6. Las vías de comunicación más importantes en nuestro país son las carreteras, por ellas se traslada la mayor parte de la población y se realizan la mayoría de los intercambios comerciales, por lo tanto, preservarlas en buenas condiciones representa un enorme beneficio económico y social.

RECOMENDACIONES

1. Dada la importancia económica y social de las carreteras, se deben crear políticas y erogar recursos para que la red vial del país sea mantenida de manera eficiente y periódica.
2. En el mantenimiento vial en general se deben utilizar materiales que realmente cumplan con las normas o especificaciones, pues de ellos depende en gran medida la calidad del proyecto y su vida útil.
3. La seguridad de los conductores debe ser prioridad al momento de dar mantenimiento a una carretera, por lo que no se debe dejar a un lado la señalización vial y se le debe brindar el mantenimiento que sea necesario.
4. Al momento de llevar a cabo el mantenimiento vial se debe señalar adecuadamente y con suficiente anticipación, para evitar congestionamientos o cualquier tipo de accidente que pueda ocurrir.
5. Se recomienda incluir este tema en el programa de alguno de los cursos de carreteras de la carrera de ingeniería, para que se adquieran los conocimientos básicos en lo que respecta al mantenimiento de carreteras.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. **Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes**. Guatemala: s.e., 2000.
2. Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). **Acuerdo centroamericano sobre circulación por carretera**. Guatemala: s.e., 2000. 31 pp.
3. Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). **Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras**, Tomo I: Condiciones generales y especificaciones técnicas para actividades de mantenimiento contratadas en base a precios unitarios. Guatemala: s.e., 2000. 121 pp.
4. Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). **Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras**, Tomo III: Normas y procedimientos de ejecución para mantenimiento vial. Guatemala: s.e., 2000. 92 pp.
5. Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). **Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras**, Tomo II: Mantenimiento por estándares. Guatemala: s.e., 2000. 92 pp.
6. Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). **Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales**. Guatemala. s.e., 2000. 801 pp.
7. Anleu Hernández, Erick Rolando. Producción de mezclas asfálticas en caliente. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002. 91 pp.

8. Guzmán Rodríguez, Hugo Alexander. Reciclado en frío de pavimentos flexibles estabilizados con emulsión. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1997. 120 pp.
9. López López, Juan Carlos. Manual del curso de pavimentos. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998. 96 pp.
10. Fajardo Ochaeta, Gustavo Adolfo. Mantenimiento de la red vial, derecho de vía, cunetas y estructuras de drenaje aplicando contrataciones por estándares, resultados o niveles de servicio. Tesis Ing. Civil, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1997. 128pp.
11. Salazar González, Walter Rolando. Integración de los renglones utilizados en carreteras pavimentadas en el programa de mantenimiento de carreteras por contrato. Tesis Ing. Civil, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996. 64 pp.
12. Construaaprende, www.construaaprende.com. 2004.