



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

**ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS
DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE**

Julia Gabriela Hernández López

Asesorado por el Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno

Guatemala, agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS
DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JULIA GABRIELA HERNÁNDEZ LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. ALFREDO ENRIQUE BEBER ACEITUNO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 22 de noviembre de 2012.



Julia Gabriela Hernández López

Guatemala, 12 de mayo de 2015

Ingeniero:

Mario Estuardo Arriola Ávila

Jefe del Departamento de Topografía y Transportes

Escuela de Ingeniería Civil

Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Arriola:

Por este medio hago de su conocimiento que he concluido con el asesoramiento de la estudiante universitaria JULIA GABRIELA HERNÁNDEZ LÓPEZ, en el desarrollo del trabajo de graduación titulado: **"ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE"**, después de haber revisado y corregido su contenido, sin encontrar alguna objeción al respecto, doy mi satisfactoria aprobación al mencionado trabajo de graduación.

El autor de este trabajo de graduación y su asesor son responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

 Alfredo E. Beber A

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno

Ingeniero Civil

Colegiado 3,079

Asesor

INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 3079



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, 13 de Julio de 2015

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **“ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE”** desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil **Julia Gabriela Hernández López** con carné 2007-14561, quien contó con la asesoría del Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para la Facultad de Ingeniería y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación de la estudiante Julia Gabriela Hernández López, titulado **ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto 2015

/bbdeb.

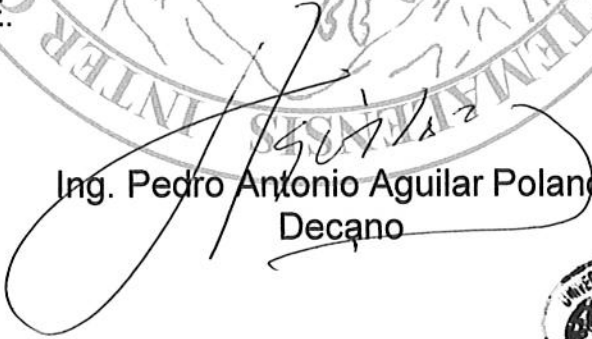
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE**, presentado por la estudiante universitaria: **Julia Gabriela Hernández López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, agosto de 2015

/cc

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 22 de noviembre de 2012.

Julia Gabriela Hernández López

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Gracias Padre Celestial, por tu amor, bondad y misericordia, por ayudarme a lograr a culminar este tan anhelado sueño.
Mis padres	Julia López y Santos Hernández, gracias por su ejemplo, esfuerzo y apoyo incondicional en mi vida. Su amor será siempre mi inspiración.
Mi hermano	Carlos Hernández, por su amor, ejemplo y apoyo en todo momento.
Mi esposo	Cristian Cordón, por su amor y apoyo incondicional en todo el transcurso de mi carrera.
Mi familia	Gratitud, amor y respeto por su apoyo, en especial a la familia Gatica por su comprensión y ánimo brindado en todo momento.
Mi asesor	Ingeniero Alfredo Beber. Por su apoyo y valiosa asesoría en este trabajo de graduación.

Amigos

Gracias a todas esas personas que estuvieron en los buenos y malos momentos de mi vida y de mi carrera, por su apoyo y todas esas cosas que compartimos, no solo como amigos sino también como hermanos.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por formarme como profesional y en especial a la Escuela de Ingeniería Civil.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres

Gracias madre, por tu amor y apoyo, por tu dedicación y desvelos a mi lado, por haberme forjado en la persona que soy, por ser ese ejemplo de mujer fuerte y capaz de todo por el bienestar de sus hijos, eres maravillosa. A ti padre, porque aunque no hemos podido estar juntos, haz sido un gran apoyo y ejemplo en mi vida, por enseñarme a perseverar y luchar por cumplir mis sueños, gracias por todo ese esfuerzo para que yo pudiera seguir y cumplir esta meta.

Mi hermano

Gracias por ese apoyo que me brindaste para seguir mi sueño, el cual íbamos a seguir juntos, pero por cuestiones del destino tuvimos que separarnos, pero a pesar de la distancia siempre me has apoyado y enseñado muchas cosas.

Mi esposo

Gracias porque aceptaste estar a mi lado y apoyarme para cumplir esta meta y sueño anhelado, por no dejar que me rindiera en ningún momento, haz estado a mi lado desde el inicio de mi carrera y junto a ti logré llegar al final de esta meta, te amo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. GENERALIDADES.....	1
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 de emergencia.....	3
1.2. Ordenamiento del tránsito y plan de seguridad al ejecutarse obra de mantenimiento vial.....	3
2. MANTENIMIENTO GENERAL.....	9
2.1. Sección transversal de una carretera.....	9
2.1.1. Generalidades	10
2.1.1.1. Elementos que componen una carretera	11
2.2. Mantenimiento de derecho de vía	13
2.3. Mantenimiento de obras auxiliares	14
2.4. Mantenimiento de hombros	14
2.4.1. Reconstrucción de hombros	14

2.4.1.1.	Escarificación y re conformación de hombros	15
2.4.1.2.	Base para hombros	15
2.4.1.3.	Imprimación en hombros	18
2.4.1.4.	Riego de liga	19
2.4.1.5.	Material de secado	19
2.4.1.6.	Capa de rodadura	20
2.4.2.	Mantenimiento de cunetas	23
2.4.3.	Mantenimiento de taludes de relleno y corte	24
2.4.3.1.	Descripción.....	24
2.4.3.2.	Materiales.....	25
2.4.3.3.	Procedimiento de ejecución	26
2.4.4.	Mantenimiento de drenaje	28
2.5.	Lineamientos para el mantenimiento preventivo	29
3.	MANTENIMIENTO DE CARPETA ASFÁLTICA.....	31
3.1.	Deterioro en pavimentos asfálticos	31
3.1.1.	Fisuras y grietas	32
3.1.1.1.	Fisura piel de cocodrilo	32
3.1.1.2.	Fisura en bloque.....	34
3.1.1.3.	Fisura en arco	37
3.1.1.4.	Fisura transversal.....	39
3.1.1.5.	Fisura longitudinal	41
3.1.1.6.	Fisura por reflexión en junta.....	44
3.1.2.	Deformaciones superficiales en pavimentos asfálticos	46
3.1.2.1.	Ahuellamiento.....	46
3.1.2.2.	Corrimiento.....	48
3.1.2.3.	Corrugación.....	50

	3.1.2.4.	Hinchamiento.....	51
	3.1.2.5.	Hundimiento.....	53
3.1.3.		Desintegración en los pavimentos asfálticos	55
	3.1.3.1.	Bache	55
		3.1.3.1.1. Procedimiento de ejecución	56
	3.1.3.2.	Desintegración de bordes.....	57
	3.1.3.3.	Exposición de agregados	59
3.2.		Tratamientos asfálticos superficiales.....	61
	3.2.1.	Materiales	61
		3.2.1.1. Materiales para sello de grietas de contracción	64
		3.2.1.2. Materiales para bacheo menor, bacheo mayor y recapeo	64
	3.2.2.	Sello de grietas de contracción.....	66
		3.2.2.1. Procedimiento de ejecución para sello de grietas.....	67
	3.2.3.	Bacheo menor (nivel de severidad, baja, media, alta según rango de profundidad $2,5 < P \leq 5$ y rango de diámetro $70 < \emptyset \leq 100$ ver tabla XIV)	69
		3.2.3.1. Procedimiento de ejecución para bacheo menor.....	69
	3.2.4.	Bacheo mayor (nivel de severidad, baja, media, alta según rango de profundidad $P > 5$ y rango de diámetro $\emptyset > 100$ ver tabla XIV)	71
		3.2.4.1. Procedimiento de ejecución para bacheo mayor.....	72
	3.2.5.	Colocación de capas asfálticas de refuerzo en caliente	74

	3.2.5.1.	Procedimiento de ejecución para recapeo	74
	3.2.6.	Lechada asfáltica (<i>slurry seal</i>).....	75
	3.2.7.	Microcarpeta (<i>microsurfacing</i>).....	78
4.		ESPECIFICACIONES DE ENSAYOS PARA ASFALTOS	81
	4.1.	Ensayos de asfaltos	81
	4.1.1.	Método Marshall.....	81
	4.1.1.1.	Equipo a utilizar	82
	4.1.1.2.	Selección de la muestra de material	86
	4.1.1.3.	Preparación del agregado	87
	4.1.1.4.	Preparación de las probetas de ensayo.....	91
	4.1.1.5.	Procedimiento para realizar la prueba	92
	4.1.1.6.	Determinación del peso específico total	92
	4.1.1.7.	Contenido de bitumen	93
	4.1.1.8.	Ensayo de estabilidad y fluencia	94
	4.1.1.9.	Valor de estabilidad Marshall	96
	4.1.1.10.	Valor de fluencia Marshall	96
	4.1.1.11.	Análisis de densidad y vacíos	97
	4.1.1.12.	Determinación del óptimo contenido de asfalto.....	105
	4.1.2.	Penetración	108
	4.1.3.	Viscosidad.....	111
	4.1.4.	Punto de inflamación.....	113
	4.1.5.	Ductilidad.....	115
	4.1.6.	Solubilidad.....	117

CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Señales de obras	6
2.	Señales de estrechamiento de calzada.....	6
3.	Señales de velocidad máxima.....	7
4.	Conos de balizamiento.....	7
5.	Señales de fin de prohibiciones	8
6.	Sección transversal de una carretera.....	10
7.	Mantenimiento de taludes	27
8.	Fisura piel de cocodrilo	33
9.	Fisura en bloque	36
10.	Fisura en arco	39
11.	Fisura transversal.....	41
12.	Fisura longitudinal	43
13.	Reflexión en junta	45
14.	Ahuellamiento	47
15.	Corrimiento.....	49
16.	Corrugación.....	51
17.	Hinchamiento	53
18.	Hundimiento	54
19.	Bache.....	57
20.	Desintegración de bordes	58
21.	Exposición de agregados	60
22.	Sello de grietas	68
23.	Terminación de un proceso adecuado de un bache	71

24.	Prensa de estabilidad Marshall	83
25.	Cabeza de estabilidad Marshall	83
26.	Molde de compactación Marshall.....	84
27.	Martillo de compactación Marshall.....	84
28.	Pedestal de compactación	85
29.	Baño de circulación de agua.....	85
30.	Picnómetro de vacíos	86
31.	Secado de la muestra del agregado	88
32.	Gráfica granulométrica tipo E máximos y mínimos	89
33.	Graduación agregados DGC 2001 tipo D y rangos de riesgos	90
34.	Determinando el peso específico de una muestra de agregado	91
35.	Probeta en el aparato Marshall	95
36.	Ejecución de la prueba de estabilidad y fluencia Marshall.....	97
37.	Ejemplos de gráficas para los resultados de una serie de cinco probetas Marshall	107
38.	Aguja de penetración	109
39.	Ensayo de penetración	109
40.	Viscosímetro de vacío del Asphalt Institute y viscosímetro de vacío de Cannon-Manning	111
41.	Equipo de ensayo para viscosidad Saybolt-Furol	112
42.	Determinación de punto de inflamación de vaso abierto Cleveland ...	114
43.	Determinación del punto de inflamación Pensky-Martens	115
44.	Ensayo de ductilidad.....	116

TABLAS

I.	Distancias de colocación de las señales en zona de trabajo.....	5
II.	Granulometría de base triturada.....	17
III.	Niveles de severidad fisura piel de cocodrilo.....	33

IV.	Niveles de severidad de fisura en bloque	35
V.	Niveles de severidad de fisura en arco	38
VI.	Niveles de severidad de fisura transversal	40
VII.	Niveles de severidad de fisura longitudinal.....	42
VIII.	Niveles de severidad de fisura por reflexión en junta.....	44
IX.	Niveles de severidad de ahuellamiento	47
X.	Niveles de severidad de corrimiento	49
XI.	Niveles de severidad de corrugación.....	50
XII.	Niveles de severidad de hinchamiento	52
XIII.	Niveles de severidad de hundimiento	54
XIV.	Niveles de severidad del bache	56
XV.	Niveles de severidad de desintegración de bordes.....	58
XVI.	Niveles de severidad de exposición de agregados.....	60
XVII.	Especificaciones de referencia	62
XXVIII.	Graduación de los agregados para tratamientos superficiales (AASHTO M-43).....	62
XIX.	Requisitos para el material bituminoso	63
XX.	Granulometría del agregado hacer utilizado en <i>slurry seal</i>	77
XXI.	Granulometría del agregado utilizado para <i>microsurfacing</i>	79
XXII.	Porcentajes mínimos de vacíos en el agregado mineral VMA.....	99
XXIII.	Criterios del Instituto de Asfalto (USA) para el diseño Marshall...	100
XXIV.	Requisitos para la mezcla de concreto asfáltico	101
XXV.	Clasificación del tránsito	102
XXVI.	Requisitos de calidad para cemento asfáltico clasificado	103
XXVII.	Clasificación de bitúmenes y uso.....	104
XXVIII.	Penetración recomendable para diversos tipos de betunes asfálticos.....	110

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
cm³	Centímetro cúbico
cm/min	Centímetro por minuto
°C	Grado Centígrado
°F	Grado Fahrenheit
gal	Galón
g	Gramo
h	Hora
Kg	Kilogramo
Kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
kN	Kilo Newton
lb	Libra
lb/pie³	Libra por pie cúbico
l	Litro
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
min	Minuto
ml	Mililitro
mm	Milímetro
mm²/s	Milímetro cuadrado por segundo
mm/min	Milímetro por minuto

N

Newton

Pa-s

Poises

plg

Pulgada

s

Segundo

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials, en español, Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.
ASSHTO T-90	Ensayo de plasticidad.
ASSHTO T-135	Ensayo de resistencia a mojado y secado.
Ahuellamiento	Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos de tránsito.
Alcantarilla	Se refiere a cualquier estructura por debajo de la subrasante de una carretera u obras viales, cuyo objetivo es evacuar las aguas superficiales y profundas.
Arena	Material de granos finos procedentes de la erosión de las rocas o de su trituración artificial y cuyas partículas varían entre 0,05 y 2 mm para las normas AASHTO.

Asfalto	Producto derivado de los hidrocarburos que endurece por enfriamiento o evaporación de sus disolventes.
ASTM	American Society for Testing Material, en español, Asociación Americana para el Ensayo de Materiales.
ASTM C-13	Ensayo de desgaste de Los Ángeles.
ASTM D-242	Especificaciones para llenante mineral.
ASTM D-977	Especificaciones para emulsión asfáltica.
ASTM D-1632	Ensayo de CBR.
ASTM D-1633	Ensayo de resistencia a compresión no confinada.
ASTM D-2419	Ensayo de equivalente de arena.
ASTM D-3910	Ensayo de granulometría del agregado.
ASTM D-5102	Ensayo de resistencia a compresión de suelo-cal.
ASTM D-6276	Especificaciones para el contenido de cal.
Bache	Desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento.

Bacheo	Son reparaciones de pequeñas áreas dañadas que tiene el propósito de reponer una superficie de rodadura lisa, impermeable y con su debido soporte estructural.
Base	Es la capa de espesor que constituye la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes, y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.
Bitumen	Un tipo de sustancia cementante de color negro u oscuro (solida, semi-solida, o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, los betunes y las asfaltitas.
Calzada	Componente de la carretera destinada a la circulación de vehículos, excluyendo los hombros laterales.
Carpeta asfáltica	Capa del pavimento destinada a la circulación de vehículos que protege las capas inferiores y brinda comodidad y seguridad a los transeúntes.
Capa de rodadura	Es la parte superior de un pavimento, por lo general de pavimento bituminoso o rígido, sostiene directamente la circulación vehicular.

Carretera	Un calificativo general que designa una vía pública para fines de tránsito de vehículo y que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía.
Cemento asfáltico	Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad o consistencia para ser usado directamente en la construcción de pavimentos asfálticos.
Confinamiento	Consiste en conseguir las condiciones necesarias para que se produzca la fusión entre partículas.
Corona	Superficie terminada de una carretera, comprendida entre sus hombros.
CSS	Emulsión asfáltica catiónica de quiebre lento, se emplean en riegos de liga, en la preparación de lechadas asfálticas (<i>slurry seal</i>) y riegos negros (<i>fog seal</i>).
Cuneta	Canales abiertos construidos lateralmente a lo largo de la carretera, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales y subsuperficiales procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes a fin de proteger la estructura del pavimento.

Derecho de vía	Faja de terreno de ancho variable dentro del cual se encuentra comprendida la carretera, sus obras complementarias, servicios, áreas previstas para futuras obras de ensanche o mejoramiento y zonas de seguridad para el usuario. Su ancho se establece mediante resolución del titular de la autoridad competente respectiva.
Desportillamiento	Descomposición o desintegración de la carpeta asfáltica en sus bordes en una extensión, formando una cavidad de bordes irregulares.
Emulsión asfáltica	Una emulsión de cemento asfáltico y agua, que contiene una pequeña cantidad de agente emulsivo.
Emulsión asfáltica aniónica	Es aquella en que la polaridad del emulsionante es de carga negativa y descargan en el ánodo ideal (ideales para agregados calizos que ionizan positivamente, utilizadas para aplicaciones industriales, levemente en pavimentación).
Emulsión asfáltica catiónica	Es aquella en que la polaridad del emulsionante es de carga positiva y descargan en el ánodo (ideal para agregados silíceos que ionizan negativamente, utilizadas referentemente en pavimentación).
ESAL	<i>Equivalent Standard Axle Loads</i> (Cargas equivalentes de ejes sencillos estándar de 8,2 toneladas).

Escarificado	La rotura sistemática y el desmenuzado de la capa superior de un pavimento, con medios mecánicos o con otros medios. (Según Manual de procedimientos de conservación de carreteras, Sección 3, Mantenimiento de la Red Vial Pavimentada, p. 8).
Estabilidad	Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.
Falla	Condición no deseada que hace que el elemento estructural no desempeñe la función para la cual existe.
Filler mineral	Producto mineral dividido del que al menos el 65 % pasa por el tamiz número 200. La piedra caliza pulverizada es el “ <i>filler</i> ” más frecuentemente empleado, aunque pueden utilizarse también otros polvos de piedra, sílice, cal apagada, cemento y algunas sustancias minerales naturales muy finas. Empleado en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente como relleno de vacíos, espesante de la mezcla o como mejorador de adherencia.
Fisura	Fractura fina, por lo general con un ancho igual o menor a 3 mm.

Granulometría	Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.
Grieta	Fractura, por lo general con ancho mayor de 3 mm.
Homogeneizar	Transformar en homogénea una cosa compuesta de elementos diversos o hacer que cosas diversas tengan características homogéneas.
Hombro	Es el área de la carretera, contigua y paralela a la carpeta o superficie de rodadura, que sirve de confinamiento a la capa de base y de zona de estacionamiento accidental de vehículos.
Humedad óptima	Es el contenido de humedad al cual un suelo o material granular, al ser compactado utilizando un esfuerzo especificado, proporciona una máxima densidad seca.
Imprimación	Aplicación de riego por aspersión de un producto asfáltico rebajado de curado medio sobre la base granular, con el objetivo de conservar sus propiedades físicas y mecánicas.
Lechada asfáltica	Una mezcla que contiene generalmente áridos finos, agua, emulsión de asfalto, cemento y, a veces, un aditivo extendida en la carretera por una máquina especialmente equipada o a mano.

Ligante	Un producto derivado del petróleo o producto natural usado para unir o envolver áridos para pavimentos de carretera.
Mantenimiento	Son todas las acciones que tienen como objetivo mantener o restaurar la carretera y sus componentes, al estado en el cual pueda brindar el nivel de servicio requerido y para el que fue diseñado.
MC	Asfalto cortado de curado medio (<i>medium curing</i>), cuyo solvente es la parafina o kerosene, lo que da trabajabilidad a temperatura relativamente baja.
Mezclas aplicadas en caliente	Mezclas en instalación mezcladora que deben extenderse y compactarse mientras aún están calientes, a temperatura de 135 a 165 °C. Los pavimentos asfálticos de mejor calidad se construyen empleando este tipo de mezclas.
Mezcla aplicada en frío	Mezclas en instalación mezcladora que pueden extenderse y compactarse a temperaturas no inferiores a los 20 °C ni superiores a los 40 °C.
Pavimento	Estructura integral de las diferentes capas colocadas sobre la subrasante, destinadas a soportar las cargas vehiculares.

Pavimento flexible	Pavimento con capa de rodadura de tipo bituminoso y capas granulares o tratadas con ligante bituminoso, que sufre deformaciones elásticas de algunas consideración bajo las cargas normales del tránsito vehicular.
Proctor modificado	Ensayo en el que se caracteriza la compactación de un terreno mediante el compactado de probetas a las que se añade agua. Se toma una porción de suelo y se mezcla con distintas cantidades de agua, se compacta y apisona en un molde mediante una masa registrando los valores humedad y densidad seca. A partir de estos dos valores se dibuja una gráfica que representa un máximo el que el terreno logra su relación densidad seca máxima-humedad óptima.
Recapeo asfáltico	Colocación de una o más capas de mezcla asfáltica sobre la superficie de rodadura de un pavimento existente con fines de mantenimiento o rehabilitación.
SC	Asfaltos cortados de curado lento (<i>slow curing</i>), los aceites son los que le dan cierta fluidez.
Sección transversal	Vista vertical a través de la carretera perpendicular a la línea central.
Sellos de grietas	Técnica que evita la entrada de agua superficial y otro material extraño que pueda contaminar o dañar la estructura del pavimento.

Socavar	Erosión de la cimentación de una estructura u otro elemento de la vía por la acción del agua.
Subbase	Las capas de material especificado de espesor establecido según el valor soporte, colocado sobre una subrasante para sostener la capa de base superior.
Talud	Área del terreno en corte o relleno, comprendida entre la cuneta y el terreno original.
Terraplén	Obra de tierra, bajo el pavimento, que eleva la carretera sobre el terreno circundante.
Tratamiento superficial	Consiste en una película de asfalto, rociada o tendida a mano, seguida por la extensión de una capa de gravilla y de aplicación de rodillo.
VFA	Porcentajes de vacíos llenos de asfalto.
VMA	Porcentajes de vacíos en el agregado mineral.

RESUMEN

Es necesario tomar en cuenta varios factores que influyen en el diseño de una carretera, tales como: el tipo de clima que predomina en el lugar, el tipo de material existente en dicho lugar y la cantidad de vehículos que circularán en esa carretera, ya que todo esto afectará su estructura.

Este trabajo de graduación hace una descripción general de cada tipo de mantenimiento que debe recibir una calzada, refiriéndose al tipo de falla que presente en su estructura, pudiendo ser estos: mantenimiento rutinario que se encarga de limpieza de cunetas, limpieza de alcantarillas, tratamientos superficiales, así como el mantenimiento periódico que se efectuará en períodos de más de un año para poder mantener un nivel de servicio adecuado.

Se describen cada uno de los elementos que componen una carretera, así como los materiales que se utilizan para la elaboración de cada uno de estos y el proceso que se debe realizar para su construcción, especificaciones normalizadas, rangos de agregados, porcentajes de materiales a utilizar y descripción del mantenimiento que deben recibir.

Se presenta cada falla que puede presentarse en una carretera, como también algunas de las causas por las cuales se producen, niveles de severidad que presentan dichas fallas, así como también habla de tratamientos superficiales para arreglar fallas como: fisuras y grietas, el procedimiento de ejecución de sello de grietas y el procedimiento que se puede utilizar según el espesor y abertura de estas, como también el procedimiento para la reparación

de baches y la mención de las normas que especifican cada proceso que debe seguirse.

Se describen los ensayos que se le realizan al asfalto, el equipo a utilizar para cada ensayo, el proceso que debe seguirse para obtener los resultados exactos, el proceso a seguir para la selección de la muestra, la descripción del objetivo de cada uno de estos ensayos, ya sea para determinar: contenido de asfalto, dureza según especificaciones normalizadas, estado de fluidez, punto de inflamación de un betún asfáltico, ductilidad de los betunes asfálticos, así como también el contenido de betún que debe utilizarse.

OBJETIVOS

General

Conocer el proceso y aplicación del material adecuado para la reparación de carreteras de concreto asfáltico y los factores que influyen en la aparición de fallas en la carpeta asfáltica.

Específicos

1. Analizar los antecedentes del mantenimiento vial.
2. Detallar las generalidades del mantenimiento de carreteras de concreto asfáltico.
3. Describir los niveles de severidad de fallas como fisuras, grietas y baches.
4. Identificar el tipo de falla que se da en las carreteras de concreto asfáltico y como efectuar la reparación según tipo de fallo.

INTRODUCCIÓN

Las carreteras son el medio de comunicación más importantes, ya que permite transportar y exportar productos, da la oportunidad de mantener un comercio nacional e internacional, importante para el desarrollo del país.

El cuidado y mantenimiento que se le debe dar a las carreteras es muy importante, sin estas no habría ninguna vía transitable para el país y para esto es necesario conocer, el mantenimiento que esta debe tener en el momento que se presente alguna falla, algún agrietamiento, o fisura, y qué se debe hacer cuando algunos de estos problemas se presenten.

No obstante hay que tomar en cuenta que el Gobierno de la República, no brinda un buen mantenimiento por parte de las instituciones encargadas y a consecuencia de esto la mayoría de las carreteras se encuentra en un mal estado.

Se pretende identificar los motivos por los cuales las carreteras no cumplen con un período de diseño, analizar cuáles son las causas que producen las fallas que se dan en estas, así como también presentar información para seleccionar el tratamiento correctivo adecuado y conocer o aplicar un mantenimiento adecuado según el problema que se presente.

1. GENERALIDADES

1.1. Definición de mantenimiento vial

Consiste en prever y realizar reparaciones generales que se presenten en una calzada, a causa del uso, lo cual se realiza en cada uno de los elementos siguientes que componen una carretera, estos son: taludes, hombros, cunetas, capa de rodadura, con el propósito de conservarlos en buenas condiciones, con el fin de que presten el servicio para el cual fueron diseñados de manera eficiente y prolongando así su vida útil.

1.1.1. Mantenimiento rutinario

Comprende los trabajos realizados en un período determinado de tiempo, los cuales se efectúan una o más veces al año, en función de la necesidad que se presente, esto con el fin de conservar un nivel de servicio adecuado a los requerimientos, según el funcionamiento que presente la vía.

Se aplicará cuando sea una reparación vial destinada a recuperar elementos con daños menores, más allá de esto es necesario hacer un trabajo de mayor envergadura.

Las actividades normalmente consideradas en este tipo de mantenimiento son las siguientes:

- Desmonte del derecho de vía
- Limpieza de cunetas revestidas

- Limpieza de alcantarillas
- Sello de juntas y grietas en pavimentos y hombros asfálticos
- Bacheo
- Tratamientos superficiales

1.1.2. Mantenimiento periódico

Comprende las obras de conservación vial, las cuales se efectúan en períodos de más de un año, con el objetivo de mantener la vía a un nivel de servicio adecuado.

Las actividades normalmente consideradas en este tipo de mantenimiento son las siguientes:

- Revestimiento asfáltico.
- Colocación de señalización vial.
- Aplicación de tratamientos especiales como lechada asfáltica y en grietas superficiales en pavimentos flexibles.
- Limpieza de drenaje (tubería más alcantarillas).

1.1.3. Mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento se realiza cuando se pretende prevenir fallas en la vía, las cuales han sido identificadas como defectuosas o de alto riesgo que ocurran a un corto, mediano o largo plazo.

El mantenimiento preventivo consiste en realizar actividades y obras destinadas a ejecutar reparaciones de algunos elementos de una carretera

antes que se presenten fallas graves en la vía, evitando con ello, que más adelante se tenga que dar mantenimiento que implique un mayor costo.

1.1.4. Mantenimiento de emergencia

Se considera como una acción no prevista ni ponderable, la cual es ejecutada de manera urgente. Estas acciones no previstas, se realizan debido a los efectos de las fuerzas de la naturaleza o acciones humanas impredecibles que obstaculicen la vía, impidiendo el libre tránsito.

Un ejemplo claro de estos tipos de sucesos es el huracán Stan, que provocó grandes daños, tales como: deslaves, derrumbes, destrucción de carreteras y puentes, ocasionados por crecidas de ríos; ocasionando así la intervención inmediata de las autoridades, las cuales se encargaron de facilitar y habilitar vías para el traslado de víveres.

1.2. Ordenamiento del tránsito y plan de seguridad al ejecutarse obra de mantenimiento vial

Para este tipo de mantenimiento se deben tomar todas las medidas necesarias para mantener un orden, mientras que se efectúen mejoras en una carretera existente o en la construcción de una nueva, evitando que se produzca un congestionamiento vehicular.

El propósito principal es mantener la vía en condiciones de transitabilidad cómoda y segura por medio de elementos de señalización sobre la carretera de día y noche.

Se puede cerrar la vía en horas permitidas y autorizadas, para darle el mantenimiento a la carretera, siempre y cuando no afecte en la circulación vehicular de los sectores aledaños.

Si existieran caminos a donde se pueda desviar el tránsito público, deben ser habilitados y mantenidos para que se pueda circular por ellos donde esto sea factible.

Se debe presentar un plan detallado de cómo se aplicará el control de tránsito y mantenimiento de la obra, incluyendo los períodos de descanso y paros en el proyecto, a efecto de que no causen molestias e inconvenientes a los usuarios.

Existe un conjunto de contenidos mínimos necesarios en este plan, como lo son detalles de las actividades de mantenimiento a efectuar y la frecuencia con la cual se efectuarán; desvíos, caminos auxiliares y todo canal de tránsito previsto durante la obra, así como enumerar y detallar los dispositivos de señalización a implementar especificando su localización.

Se procederá a colocar barricadas en las carreteras cerradas al tránsito, señales de precaución y dirección, banderas rojas y luces de prevención en todos los cierres, intersecciones y a lo largo de las rutas de desvío, señalando el tránsito alrededor de las partes cerradas de la carretera, que sean necesarias para la protección del trabajo y la seguridad del público.

Las señales se colocarán en el siguiente orden: señales de obras quinientos, trescientos y cien metros antes de la zona de trabajo. Las señales de estrechamiento de calzada a cien metros de la zona de trabajo. Señales de velocidad máxima, trescientos metros, cien metros y al inicio del área de

trabajo. Los conos de balizamiento en la embocadura de llegada a la zona de trabajo y luego a lo largo del tramo con un espaciamiento máximo de diez metros, limitando la zona de trabajo y las señales de fin de prohibiciones cincuenta metros más allá de la zona de trabajo, estas señales se colocarán al inicio y al final de la zona de trabajo.

Tabla I. **Distancias de colocación de las señales en zona de trabajo**

Tipos de Señalización	Distancias (m)			
Señales de obras	500	300	100	----
Señales de estrechamiento de calzada	---	---	100	---
Señales de velocidad máxima	---	300	100	---
Conos de balizamiento	Espaciamiento máximo de 10 m			
Señales de fin de prohibiciones	---	---	---	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. **Señales de obras**



Fuente: *Señales de obra*. <http://www.photosnack.com/F978FF6569B/phk3w5sl.html>.

Consulta: 24 de junio de 2015.

Figura 2. **Señales de estrechamiento de calzada**



Fuente: *Señales de estrechamiento de calzada*. <http://www.vw.com.mx/es/vw-blog/conoce-tu-volkswagen/senales-de-transito-preventivas.html>. Consulta: 24 de junio de 2015.

Figura 3. **Señales de velocidad máxima**



Fuente: *Señales de velocidad máxima*. <http://senaleticasycartelesonline.cl/99-velocidad-m%C3%A1xima.html>. Consulta: 24 de junio de 2015.

Figura 4. **Conos de balizamiento**



Fuente: *Conos de balizamiento*. <http://www.manutan.es/p-MIG1413406/cono-de-balizamiento-polietileno-pie-estabilizado-caucho.html>. Consulta: 24 de junio de 2015.

Figura 5. **Señales de fin de prohibiciones**



Fuente: *Señales de fin de prohibiciones.*

http://www.reynober.com/Galerias/REGLAMENTACION/FIN_PROHIB_RESTR/pages/R502.htm

Consulta: 24 de junio de 2015.

La maquinaria que se utilizará para la elaboración del mantenimiento de una calzada debe ser protegida por una señalización óptima, para ser vistos en la zona de trabajo por los usuarios de la vía, deberá ser operado sin poner en riesgo la seguridad de usuarios de la carretera y trabajadores de la obra.

2. MANTENIMIENTO GENERAL

Para obtener el funcionamiento ideal de una vía se debe realizar una serie de trabajos en los diferentes elementos que la componen. Así como se le da importancia a la carpeta asfáltica se debe tomar en cuenta también que esta depende del estado de cada uno de sus elementos tales como: drenajes, taludes, cunetas, señalizaciones, derecho de vía, entre otros, ya que si no se conservan en un estado adecuado esto afectaría también a la carpeta de rodadura, ya que todos estos juntos conforman una carretera adecuada.

2.1. Sección transversal de una carretera

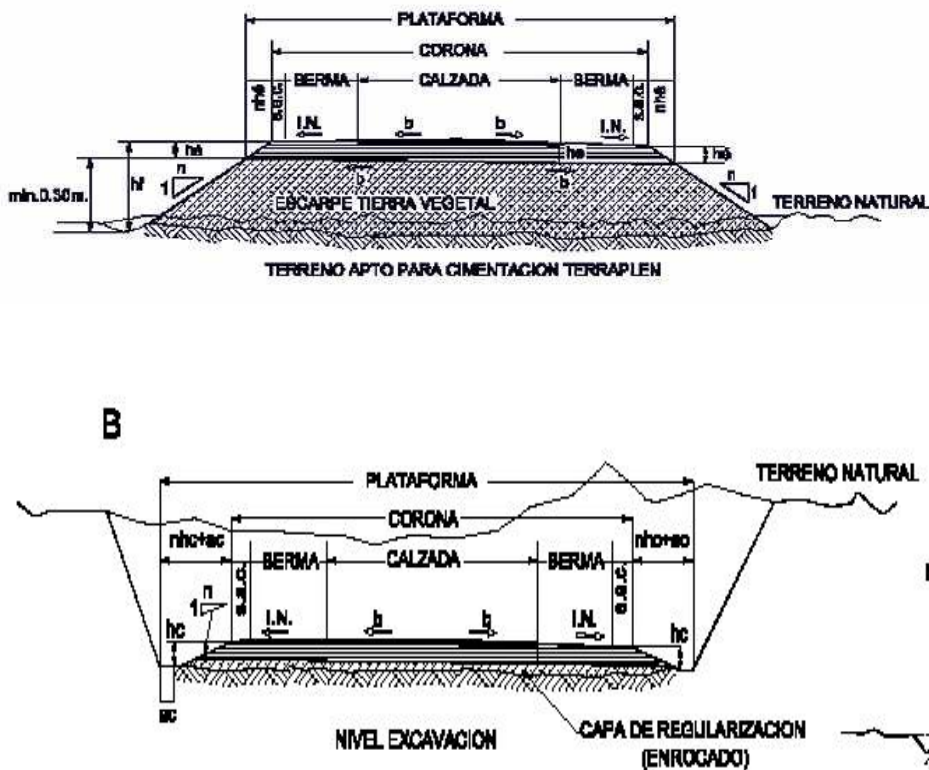
La sección transversal de una carretera en un punto de esta, es un corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

Para agrupar los tipos de carreteras se acude a normalizar las secciones transversales, teniendo en cuenta la importancia de la vía, el tipo de tránsito, las condiciones del terreno, los materiales por emplear en las diferentes capas de la estructura de pavimento, de tal manera que la sección típica adoptada influya en la capacidad de esta, mantenimiento y en la seguridad.

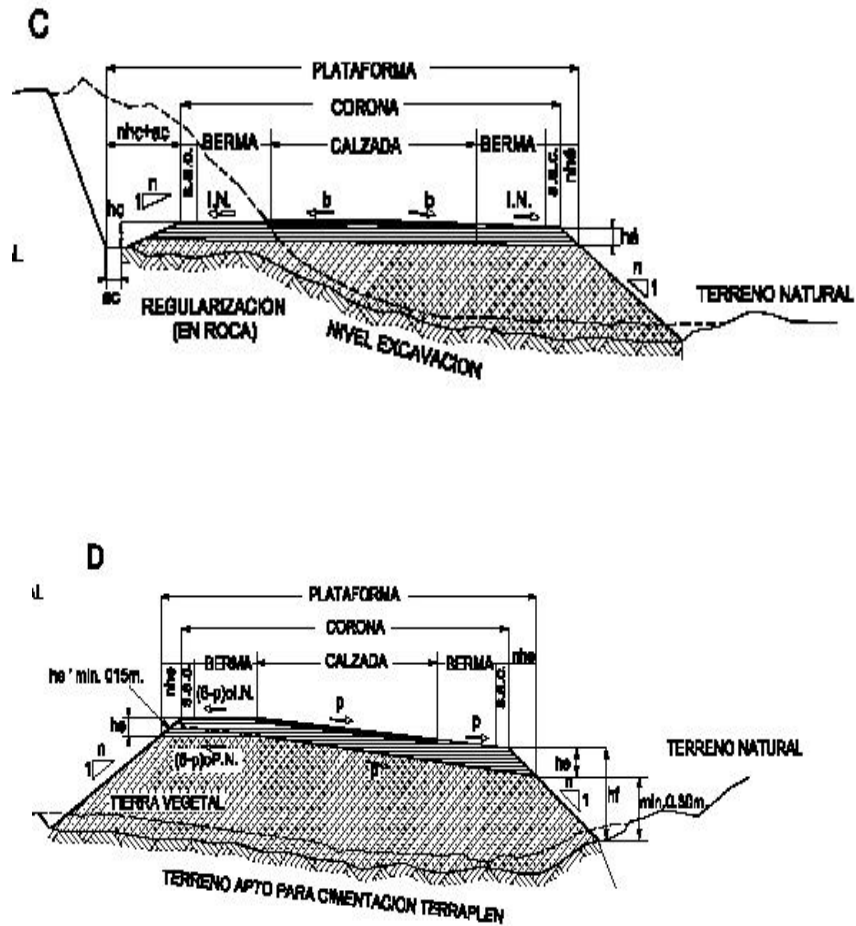
2.1.1. Generalidades

La sección transversal está comprendida por elementos como: corona, calzada, las cunetas, los taludes, las contra-cunetas, los hombros, las partes complementarias y el terreno comprendido dentro del derecho de vía.

Figura 6. Sección transversal de una carretera



Continuación de la figura 6.



Fuente: *Sección transversal de una carretera.*

http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/DG-2001%20corregido-ok/GRAFICOS/VOLUMEN2/302-01.jpg. Consulta: marzo de 2014.

2.1.1.1. Elementos que componen una carretera

Los elementos de una carretera influyen sobre sus características operativas, estéticas y de seguridad. Estos elementos deben ser compatibles con los patrones ya establecidos de la velocidad, capacidad, nivel de servicio, estética, seguridad y drenaje superficial.

- Corona: área de la carretera o camino que comprende la superficie de rodadura y los hombros.
- Calzada: se refiere al componente de la carretera destinada a la circulación vehicular, excluyendo los hombros.
- Hombros: es el área adyacente a la calzada, que sirve de confinamiento a la capa de base y de zona de estacionamiento accidental de vehículos.
- Pendiente transversal: es la inclinación que se da a la superficie de rodadura para evacuar hacia los drenajes toda el agua superficial que caiga sobre la superficie de rodadura.
- Taludes: es la inclinación del área del terreno en corte o en relleno, comprendida entre la cuneta y el terreno original.
- Cunetas: zanja lateral paralela al eje de la carretera, ubicada entre los extremos de los hombros y al pie de los taludes.
- Contracunetas: zanja lateral paralela al eje de la carretera, construida en la parte superior de las laderas de los cortes, utilizada para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno.
- Derecho de vía: área o superficie de terreno propiedad del estado, utilizado para la construcción de una carretera o camino.

2.2. Mantenimiento de derecho de vía

El derecho de vía lo constituyen la calzada, los hombros, y los taludes laterales, así como todas las estructuras de drenaje de la carretera, aunque los vehículos no utilicen las zonas aledañas, la conservación de estas en buen estado contribuye a la seguridad de los usuarios.

El mantenimiento del derecho de vía involucra, su limpieza generalmente en actividades rutinarias y en algún momento actividades periódicas, ya que este no debe tener ningún obstáculo, ya sea por vallas publicitarias, por acumulación de desperdicios, maleza o basura, los vehículos que transitan en la vía deben tener una visibilidad adecuada.

Las actividades específicas a realizar en este tipo de mantenimiento son:

- Limpieza de la superficie de rodadura y hombros
- Limpieza de drenajes longitudinales
- Limpieza de drenajes transversales
- Corte de maleza
- Remoción de derrumbes
- Limpieza de señales verticales y defensas metálicas
- Pintura en bordillos (en caso que hayan en el área)

2.3. Mantenimiento de obras auxiliares

Son aquellas correspondientes al pavimento, su objetivo principal es mantener la carpeta asfáltica en buen estado y transmitir seguridad a los usuarios que transitan por la vía.

El cuidado y la atención a estas obras son importantes, ya que la aplicación de estas permite que se mantenga en buen estado la carretera y que se produzca una adecuada transitabilidad. Ya que un descuido en estas puede ocasionar daños en la carpeta asfáltica y evitar que los usuarios puedan transitar libremente.

2.4. Mantenimiento de hombros

Este tipo de mantenimiento será rutinario, ya que se aplicará en aquellos sectores donde la carretera presente baches, en donde estos no hayan causado ningún daño estructural en la carpeta asfáltica, su objetivo principal es el parchado de las áreas afectadas.

2.4.1. Reconstrucción de hombros

Es la reparación del área del hombro de la carretera, en donde se encuentran daños superficiales causados por: la pérdida del material existente, que esté dañado por exceso de agujeros, por el levantamiento del material original a causa del intemperismo y por las cargas de tránsito.

Este tipo de trabajos se realizan con el objetivo de devolver la condición original a la parte dañada de la carretera, ya sea un problema a resolver en la

base, subbase o carpeta asfáltica de acuerdo a lo establecido en el diseño original.

2.4.1.1. Escarificación y re conformación de hombros

Esto consiste en la escarificación, desintegración, humedecimiento, mezclado, homogenización, re conformado, compactado y afinado del material constitutivo de la carpeta asfáltica o del tratamiento asfáltico del pavimento original de la carretera, esto se aplicará en el área del hombro afectado.

Se debe realizar una nivelación del terreno previo a la re conformación y escarificación de hombros, tomando las secciones transversales de la carretera en tramos máximos de 20 m. Este trabajo debe realizarse en áreas donde el pavimento existente impida la reparación aislada de las áreas afectadas, se puede emplear material de base triturado cuando se requiera material adicional para ajustar el material de la estructura.

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.

2.4.1.2. Base para hombros

Esta base está constituida por la combinación de piedra o grava triturada, estas se mezclan con material de relleno, la mezcla tendrá la función de distribuir y transmitir las cargas originales por el tránsito. Se debe tomar en cuenta que el material a utilizar será producto de la trituración de grava, piedra

natural o roca dura y resistente, siempre y cuando cumplan con requisitos especificados para esta actividad.

El material que se utilizará debe ser por lo menos del 50 % del material retenido en el tamiz núm. 4, así como también debe presentar un desgaste menor del 40 %, al material que sea sometido al ensayo de abrasión en la Máquina de los Ángeles (AASHTO T-96), no debe contener materia orgánica, arcilla y otros componentes que pueda perjudicar el resultado que se quiere obtener.

El material colocado para la base debe ser extendido en una o varias capas, no sobrepasando los 20 cm de espesor, en cada una de las capas, mediante el uso del equipo adecuado como motoniveladora o equipo distribuidor, evitando que se produzca una segregación de los materiales y cumpliendo siempre con las especificaciones y requerimientos de pendientes y coronamientos.

La compactación de la base debe comenzar en los bordes y avanzar hacia el centro, con el propósito de que no se produzca un desbordamiento del material en el momento del apisonamiento, cuando el área de la base no permita realizar la compactación con equipos especializados, será necesario realizarla mediante el uso de compactadores mecánicos o manuales aprobados.

Las especificaciones que una base debe cumplir, son las siguientes:

- La distancia entre el eje central de la carretera y el borde de la base no debe diferir en más de 2 cm, de la medida original.

- El espesor verificado en la base perforada no debe ser inferior en más de 1 cm, al espesor proyectado.
- La comprobación de la regularidad de la base con una regla de 3 m, no debe acusar diferencias superiores a 1 cm, en ningunos de sus puntos.
- Si después de aceptada la base, se presentará una demora en la construcción de la superficie de rodadura, al punto de dañarse, el contratista está obligado a restablecerla al mismo estado en que fue aceptada, asumiendo el costo que este implique.

El material debe ser medido analíticamente en metros cúbicos colocados y terminados en la obra después de su compactación. La granulometría debe ser conformada por alguno de las especificaciones presentadas en la tabla II, según los tipos indicados.

Tabla II. **Granulometría de base triturada**

Núm. Tamiz	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F
50 mm (2")	100	100	---	---	---	---
25 mm (1")	---	75 - 95	100	100	100	100
9.5 mm (3/8 ")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	---	---
Núm. 4 (4.75 mm)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
Núm. 100 (2.00 mm)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 70	55 - 100
Núm. 40 (0.415 mm)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
Núm. 200 (0.075 mm)	2 - 8	5 - 20	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial.* p. 119.

2.4.1.3. Imprimación en hombros

Se procede a la aplicación de un asfalto líquido por medio de un riego por aspersión, sobre la superficie de la subbase o sobre la base y hombros de una carretera, con el objetivo de proteger una base preparada con material asfáltico y un curado medio, impermeabilizándola. El resultado que se desea obtener es unir entre si las partículas en la superficie, favoreciendo así la adherencia entre la superficie imprimada y la capa superior de la carretera.

Debe realizarse una preparación de la superficie que se debe imprimir, efectuando una limpieza y humedeciendo previamente la superficie, esto de acuerdo al tipo de asfalto que sea utilizado, el mantenimiento de la superficie imprimada y el barrido del exceso de material secante, previo al riego y la colocación de la capa que corresponda. Eventualmente este tipo de proceso solo puede ser aplicado en el área de los hombros.

El material a utilizar, deberá ser asfalto líquido MC-70 o emulsión asfáltica, siempre y cuando cumplan con los requisitos establecidos en las especificaciones de la AASHTO (M-81, M-82 o M-140). La temperatura mínima admisible para los trabajos de imprimación es 15°C, no se debe imprimir cuando sea temporada de lluvia. En el momento que se prepara la superficie se debe barrer con equipo mecánico, esto debe complementarse mediante el barrido con cepillo de mano o soplado con fuelle mecánico.

El asfalto rebajado MC-70 se aplicará a una temperatura entre 40 y 70 °C, mediante un distribuidor de asfalto a presión, distribuyendo la cantidad de asfalto especificada que varía entre 0,25 a 0,50 gal (0,95 a 1,9 l) por m² y serán supervisadas conforme a las condiciones de campo.

2.4.1.4. Riego de liga

Es la aplicación de una emulsión asfáltica diluida por medio de riego a presión, sobre una superficie bituminosa existente, la cual debe ser cubierta con la capa de material asfáltico inmediato superior. Este riego tiene por objetivo mejorar las condiciones de adherencia entre las dos superficies y prevenir deslizamientos.

Este trabajo consistirá en la preparación y tratamiento de una superficie ya existente, bituminosa o de concreto hidráulico, con material asfáltico a modo de ligar la superficie existente y la nueva capa de rodadura, el material asfáltico correspondiente debe ser un asfalto rebajado, MC-70 (AASHTO M-81) o una emulsión asfáltica SS-1 (AASHTO M-41) o CSS-1 (AASHTO M-208).

Ambas emulsiones serán diluidas con agua en un 50 % de agua añadida y aplicadas a una tasa establecida por el supervisor, previo a este riego se debe preparar la superficie, limpiándola y quitándole todas las irregularidades. En el momento de realizar este riego debe dejarse secar hasta que se obtenga el curado adecuado y esté en óptimas condiciones para recibir la capa de cobertura.

2.4.1.5. Material de secado

Consiste en suministrar, transportar y distribuir el material secante, este debe estar constituido por arena natural o de trituración, no debe contener materia orgánica, materias vegetales, basura, terrones de arcilla u otras sustancias que puedan ser perjudiciales para la superficie imprimada.

Luego de imprimir la superficie y que esta esté disponible al tránsito, debe cubrirse con las cantidades adecuadas de material secante, las cuales varían entre 0,00030 y 0,006 m³ por m², la granulometría del material secante debe cumplir con lo especificado en la Norma AASHTO T-27. Ese debe ser esparcido de preferencia con distribuidores de agregados u otro equipo adecuado, que contengan sistema de riego de llantas neumáticas.

2.4.1.6. Capa de rodadura

Su función es proteger la base impermeabilizando la superficie para evitar posibles infiltraciones del agua de lluvia que podrían producir una saturación parcial o total, consiste en una capa final, hecha para la rodadura y a veces es una capa base o una capa intermedia.

Para obtener el funcionamiento adecuado de la capa de rodadura es recomendable realizar las siguientes acciones de mantenimiento preventivo:

- Sello de grietas por contracción
- Reparación de áreas de falla por inestabilidad local

Se debe tomar en cuenta que el hombro debe ser tratado como una capa asfáltica para evitar que se produzca una filtración de agua en la estructura pavimentada.

A continuación se hace una descripción de cada una de las características de los tipos de tratamiento que se le pueden dar a la carpeta asfáltica:

Sello de grietas por contracción es una actividad de mantenimiento preventivo y debe realizarse cuando este tipo de fallas se refleje claramente en

el pavimento, pueden aparecer de forma longitudinal o transversal (ver secciones 3.1.1.4 y 3.1.1.5) en la línea de rodadura, evitando así que con el inicio de estas puedan producirse en un futuro una falla tipo piel de cocodrilo y finalmente un bache, se aplicará en grietas con aberturas superiores a 3 mm, mediante el sellado en frío o en caliente, según indiquen las especificaciones.

Las grietas se producen a raíz de la contracción de la capa inferior del pavimento, dicho sellado se realizará a lo largo de la línea de la grieta a sellar, a fin de lograr la impermeabilización adecuada a la estructura en el sector tratado. Las fisuras y grietas que deben sellarse no tienen que superar los 12 mm de ancho. Las que sobrepasen esta medida, serán tratadas con el procedimiento adecuado.

Los materiales bituminosos y el asfalto líquido poseen poca flexibilidad y son susceptibles a la temperatura, estos pueden utilizarse como llenadores de grietas, debido a que las partículas de fibra que poseen proporcionan elasticidad mínima al asfalto y no son afectados significativamente por la temperatura. Cuando el material bituminoso es aplicado en frío debe cumplir con los requisitos establecidos en las especificaciones ASTM D-5893.

Cuando se utiliza material asfáltico líquido (emulsión) debe cumplir con lo establecido en las especificaciones AASHTO M -140 para emulsiones asfálticas aniónicas y AASHTO M-208 para emulsiones asfálticas catiónicas. En ambos casos debe ser aplicado a una temperatura de 20 y 70 °C, asimismo, dándole una mejor flexibilidad al asfalto.

La reparación de fallas por inestabilidad local se realizará en zonas donde se presenten fallas en la estructura del pavimento de la carretera, ya sea por problemas de la capa de rodadura, por filtración, material inadecuado por

procontaminación de cualquier naturaleza. Este tipo de solución debe realizarse con tareas establecidas, ya que se debe llevar un orden meticulado de estas tareas para poder darle o devolverle la sustentación estructural original a la carretera, proporcionando así comodidad y seguridad a los usuarios.

Las tareas que deben realizarse para reparar baches, son las siguientes:

- Excavación
- Material de relleno
- Relleno con material de base triturada
- Relleno con concreto asfáltico
- Riego de imprimación
- Riego de liga

Cada una de estas tiene su función específica, antes que cualquier proceso se debe hacer una limpieza del sector afectado de la carretera, la excavación y la remoción de todo el material inadecuado, que se encuentre en las fallas presentadas en la carretera, ya sea grietas, fisuras o ensanchamientos, estas remociones deben hacerse de acuerdo a lo indique y especifique el contratista. La colocación del material de relleno se debe realizar con el material adecuado y aprobado por el contratista, el nivel superior máximo de relleno en esta actividad, debe coincidir con el nivel inferior de la subbase de la estructura existente que se presenta en la carretera.

Al momento de la realización del relleno con material de base triturada se debe extraer del sitio de préstamo, para poder hacer una reposición de la estructura del pavimento que ya se ha extraído, en la colocación de la base no se debe exceder la cota ya fijada por el nivel inferior de la subbase.

El relleno con concreto asfáltico consiste en el riego asfáltico para imprimación de la base previamente colocada, se debe verificar que al momento de la colocación del concreto asfáltico y luego de ser compactado, este quede al mismo nivel de la superficie de rodadura existente. En caso que se haya aplicado al tipo de tratamiento superficial, el espesor mínimo de concreto asfáltico que se debe colocar tiene que ser de 5 cm.

Este proceso debe ser previamente autorizado por el contratista encargado del proyecto. El método de dosificación y control será el Método Marshall (AASHTO T-245). El relleno de concreto asfáltico consta de cuatro procesos:

- Riego de imprimación, de acuerdo a lo especificado en la sección 2.4.1.3.
- Riego de liga, de acuerdo a lo especificado en la sección 2.4.1.4.
- Transporte de concreto asfáltico.
- Colocación y compactación de concreto asfáltico.

2.4.2. Mantenimiento de cunetas

La cuneta es una excavación larga y estrecha paralela al eje de la carretera, preparada para recoger y llevar fuera el agua de la superficie de la carretera. Esta es construida entre los extremos de los hombros y al pie de los taludes.

Se construyen ya que se pretende evitar que se produzca una filtración en la capa de rodadura y esta fluya hasta la estructura de la carretera, produciendo así alguna falla en la superficie de la carretera, así como también para evitar un congestionamiento vehicular, ya que con agua en la carretera estos no pueden transitar con facilidad. Se deben limpiar con frecuencia las cunetas,

contracunetas, cunetas de desfogues, cunetas al pie de taludes, para que estas tengan el funcionamiento adecuado para el cual fueron diseñadas.

2.4.3. Mantenimiento de taludes de relleno y corte

Un talud es una superficie natural o construida, que forma un ángulo con la horizontal ya sea con la superficie de la carretera o en el suelo. Este puede variar en su inclinación, de acuerdo con las características del suelo y las características de la carretera, estos pueden ser de relleno y corte comprendida entre la cuneta y el terreno natural.

2.4.3.1. Descripción

El mantenimiento preventivo de taludes de corte se implementa para prevenir derrumbes y deslizamiento que bloqueen las carreteras. Por consiguiente durante la época seca se deben realizar actividades en zonas con riesgo a derrumbes, tales como:

- Limpieza de los drenajes superficiales.
- Limpieza en zonas sedimentadas.
- Limpieza de obras de protección de taludes.
- Protección de las laderas y taludes por medio de reforestación, colocación de mallas para desprendimiento, mortero lanzado con malla para evitar la erosión o la medida necesaria específica que prevenga erosión, desprendimiento o deslizamiento.

Mientras que los taludes de relleno se construyen con el propósito de evitar la socavación o erosión de la zona señalada y asimismo, evitar derrumbes que se produzcan por falta de mantenimiento, se debe agregar

material de relleno en los sectores donde sea necesario, hasta sembrar vegetación compatible con la zona, realizar una reparación de bordillos con el propósito de controlar y dirigir el flujo superficial de la carretera una vez construidos.

2.4.3.2. Materiales

Serán variables y dependen de las condiciones locales y los trabajos que se realizan en cada lugar, mientras que los materiales para hacer revestimiento, serán por ejemplo: suelo orgánico, semillas de grama o grama en bloques y de ser requerido cemento, grava, arena y agua, para obtener una estabilidad del suelo y no se produzca ningún deslizamiento o erosión de suelo.

Así como también se pueden utilizar otro tipo de materiales como: geosintéticos, geotextiles, también la utilización de refuerzos para la estabilización del talud, como: gaviones y geomalla.

Los geosintéticos son las telas o membranas de material geotextil o de geocompuestos, que facilita el flujo del exceso de agua entre capas de materiales de terraplenes y además evita la contaminación de los suelos.

Los geotextiles son materiales de composición sintética, siendo de utilidad en taludes por su versatilidad en aplicaciones geotécnicas cumpliendo fundamentalmente funciones de rotura de capilaridad y refuerzo a la tracción. Se extiende el geotextil anclándolo sobre el talud por su parte superior e inferior, protegiéndolo con material de aporte, este debe tener alta resistencia a la perforación para no sufrir roturas por punzonamiento con piedras y otro material cortante y poseer gran permeabilidad, se recomiendan geotextiles no tejidos por tener mayor permeabilidad.

En condiciones más exigentes, con mayor altura del terraplén o sobrecargas importantes, la solución es recurrir a las geomallas, estas son geosintéticos de malla abierta que poseen menor peso que los no tejidos y ofrecen una mayor resistencia a la tracción con menor elongación, estas poseen estructura abierta, lo cual les impide cumplir funciones de filtración o separación.

Los gaviones son estructuras formadas por una canasta de malla de alambre galvanizada, relleno de material pesado y resistente, construidas de tal manera que mantengan una forma definida, de consistencia sólida. Por lo general se utilizan mallas de triple torsión, el material de relleno debe ser 1,5 veces mayor que la abertura de la malla.

2.4.3.3. Procedimiento de ejecución

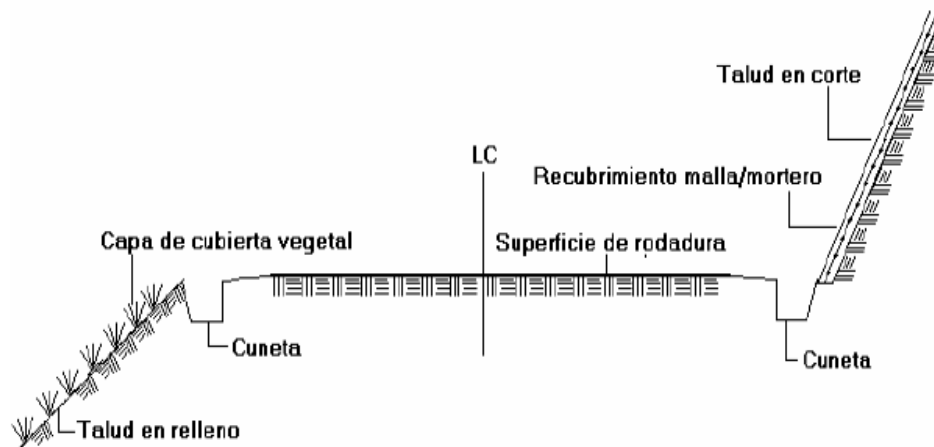
Antes que nada se debe realizar un inventario geológico-geotécnico actualizado para cada carretera mostrada sobre un plano, con la identificación de las zonas de riesgo por la inestabilidad de los taludes, para tener un control continuo en su mantenimiento y prevención de los deslizamientos y sus remociones respectiva y ya teniendo los límites de trabajo, se procederá a ejecutar las otras requeridas de acuerdo con los planos o como lo indique el contratista. Cuando se produzca un cambio de pendiente entre el hombro de la carretera y el talud de relleno y este tenga forma de arista, se debe proceder a redondearlo, siempre teniendo cuidado de no desestabilizar el suelo del talud.

En el talud de relleno se debe sembrar vegetación en aquellas zonas donde existen depresiones producidas por socavación anteriores, para dejar un talud uniforme en toda el área que se debe estabilizar, esta vegetación puede ser: suelo orgánico o semillas de grama en bloques; debe estar constituida por

plantas de escasa estatura, sirviendo estas como disipadoras de energía al agua que fluye superficialmente por el mismo.

Los bloques de grama deben ser trasplantados en piezas de aproximadamente 25 cm por lado, colocados en el sentido horizontal sobre la dirección del talud y espaciarse aproximadamente 30 cm entre piezas, tanto transversal como longitudinalmente. Se debe conservar el riego de agua por lo menos en cinco ocasiones aplicadas en días alternos. Se recomienda que esta actividad se realice al finalizar la época seca.

Figura 7. **Mantenimiento de taludes**



Fuente: ALDANA SALGUERO, Josué Roberto. *Mantenimiento de carreteras con concreto asfáltico en caliente*. p. 22.

2.4.4. Mantenimiento de drenaje

Este tipo de mantenimiento consiste en la limpieza de alcantarillas, cajas y otras obras de arte que estén cerca de una carretera. Ya que esta construcción tiene como función, drenar el agua pluvial de una manera satisfactoria y segura tanto para los usuarios que transitan por la carretera como para la estructura de la misma, ya que si llega a filtrarse el agua en ella, puede producir fallas como fisuras, grietas y finalmente baches.

La realización de este tipo de trabajo consiste en extraer de las alcantarillas todos los desechos sólidos, que puedan impedir que estas cumplan con el funcionamiento para el cual fueron diseñadas, debe realizarse una limpieza de todo material que se encuentre en estas obras de arte en la entrada y salida de estas estructuras.

Esta limpieza debe hacerse en el momento adecuado tanto dentro de la estructura de las obras de arte como dentro del derecho de vía de la carretera y hasta una longitud de 50 m dentro de cauces naturales, evitando así que cualquier material que obstaculice su funcionamiento llegue a esta estructura.

Todo el mantenimiento que se le realice a las obras de arte debe ser con equipo manual y todo material que se extraiga de estas, debe ser depositado en lugares donde no obstruya ni cause un problema ecológico. A menos que sea necesario usar un tipo de equipo mecánico debe ser supervisado para verificar que se realice el procedimiento adecuadamente.

2.5. Lineamientos para el mantenimiento preventivo

En muchas oportunidades se han realizado mantenimientos rutinarios, sin embargo, se debe cambiar hacia el enfoque de realizar mantenimiento preventivo para evitar que las fallas ocurran, ya que esto también conllevaría economías sustanciales, ya que esto implicaría una disminución de material, así como también una disminución de la mano de obra. Este abarca intervenciones tales como:

- Lechada asfáltica (*slurry seals*)
- Tratamientos superficiales
- Microcarpetas
- Sobrecapas asfálticas delgadas
- Sello de grietas y juntas en pavimentos de concreto hidráulico
- Fresado y reciclaje de pavimentos bituminosos
- Reciclaje de pavimentos asfálticos

Lo importante es aplicar los tratamientos mientras que el pavimento todavía esté en regulares condiciones, es decir, cuando este se encuentre en buen estado, ya que el fin es evitar una reconstrucción total del área que ha fallado y también estas fallas mayores comprometan la capacidad de soporte del mismo.

3. MANTENIMIENTO DE CARPETA ASFÁLTICA

La carpeta asfáltica es la capa superior en el pavimento que proporciona la superficie de rodamiento para la circulación de vehículos.

Esta cumple con varias funciones, entre ellas se pueden mencionar:

- Proteger la estructura del pavimento, evitando filtraciones
- Proveer de una calzada segura para la circulación de vehículos
- Transmitir cargas a las capas inferiores del pavimento (base y subbase)

La carpeta asfáltica como cualquier otro elemento de la estructura del pavimento, puede ser afectada continuamente por diferentes tipos de carga, presentará distintas fallas que dependerán de la magnitud de las fuerzas aplicadas a la calzada. Considerando que también perjudicará la calidad que tengan los materiales y los métodos de aplicación de cada uno de estos, ya que tiene relación con el apareamiento de dichas fallas.

3.1. Deterioro en pavimentos asfálticos

Existen diferentes tipos de fallas que se producen en el pavimento asfáltico, estas pueden tener una causa variada, ya que algunas dependen de la carga que se le aplique, otras de la ineficiente compactación que se realizó durante la construcción de la carretera y la calidad de los materiales que se utilicen para su construcción, así como también la práctica inadecuada de los métodos constructivos a utilizar. Dándole el apropiado mantenimiento es como

se pretende conservarla en óptimo estado, de tal modo que preste el servicio para el cual fue diseñada de una manera eficiente.

3.1.1. Fisuras y grietas

Este tipo de falla se presentará en la carpeta asfáltica en formas tales como: transversales, longitudinales o formando polígonos irregulares.

3.1.1.1. Fisura piel de cocodrilo

Este tipo de falla se presenta como una serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos en forma de mallas. Este tipo de deterioro comienza en la parte inferior de la capa de concreto asfáltico o de la base, donde las tensiones y deformaciones causadas por las cargas de tránsito vehicular alcanzan sus mayores valores.

Esto es producido por algunas de las siguientes causas:

- Repetición de cargas en el pavimento
- Falla de drenaje
- Espesor deficiente
- Falla en la compactación
- Fin de su vida útil
- Envejecimiento del ligante
- Perdida de flexibilidad

Tabla III. **Niveles de severidad fisura piel de cocodrilo**

Nivel	Descripción
B (Bajo)	Fisuras muy finas, menores de 2 mm de ancho, paralelas con escasa interconexión, dando origen a polígonos de cierta longitud; los bordes de las fisuras no presentan desportillamiento.
M (Mediano)	Fisuras muy finas, menores de 5 mm, interconectadas formando polígonos pequeños y angulosos, que pueden presentar un moderado desportillamiento en correspondencia con las intersecciones.
A (Alto)	La red de fisuras ha progresado y constituye una malla cerrada de pequeños polígonos bien definidos, con desportillamiento de severidad moderada a alta, a lo largo de sus bordes; algunas de estas piezas pueden tener movimientos al ser sometidos al tránsito o pueden haber sido removidas por el mismo formando baches.

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 300.

Figura 8. **Fisura piel de cocodrilo**



Fuente: colonia Atlántida, zona 18.

Continuación de la figura 8.



Fuente: colonia Atlántida, zona 18.

3.1.1.2. Fisura en bloque

Son fisuras interconectadas formando amplios polígonos más o menos rectos, este tipo de falla se produce normalmente en un gran área del pavimento, producto de la contracción del concreto asfáltico y los cambios de temperatura diarios que este sufre, este tipo de falla no está asociada a las cargas vehiculares y se produce porque el asfalto se ha endurecido significativamente.

Esto se presenta por algunas de las siguientes causas:

- Contracción de las mezclas asfálticas.
- Cambios de extremos de temperatura.

- Fatiga de la estructura, causada por una degradación y pérdida de resistencia por situaciones no consideradas en el diseño.
- Falla de drenaje.
- Fatiga de capas de la base hidráulica, producida por espesores inadecuados de cada uno de los elementos que componen la carretera.
- Capa de rodadura con agregado fino y alto contenido de asfalto de baja penetración (granulometría de diseño deficiente).

A menudo es difícil constatar si las fisuras y grietas son debido a contracciones producidas en la capa de rodadura o en la base y subbase, la ausencia de tráfico tiende a acelerar la formación de estas grietas de contracción.

Por lo general, el origen de estas fisuras no está asociado a las cargas de tráfico; sin embargo, estas incrementan la severidad de las fisuras.

Tabla IV. **Niveles de severidad de fisura en bloque**

Nivel	Descripción
B (Bajo)	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras sin sellar, de ancho promedio de 2 mm con presencia de desportillamiento menor. • Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condiciones satisfactorias que no permiten la filtración de agua.
M (Mediano)	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 2 y 5 mm. • Fisuras sin sellar de ancho promedio menor de 5 mm con presencia de desportillamiento menor. • Fisura sellada de cualquier ancho, sin desportillamiento o cuando éste es breve, pero el material de sello está en condiciones insatisfactorias.

Continuación de la tabla IV.

A (Alto)	<ul style="list-style-type: none">• Fisuras sin sellar, de ancho promedio a 5 mm• Fisuras con presencia de desportillamiento severo.
-----------------	---

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 301.

Figura 9. **Fisura en bloque**



Fuente: colonia Ilusiones, zona 18.

Continuación de la figura 9.



Fuente: El paso de los Jalapas, El Jícaro.

3.1.1.3. Fisura en arco

Son fisuras en forma de media luna que apuntan en la dirección de las fuerzas de tracción de las ruedas sobre el pavimento. Son producidas cuando los efectos de frenado de los vehículos o giro de sus ruedas provocan un deslizamiento y deformación de la superficie del pavimento.

Esto ocurre generalmente cuando la mezcla asfáltica colocada es de baja estabilidad y deficiente adherencia entre la superficie y la siguiente capa de la estructura del pavimento.

Sus posibles causas serán provocadas por algunos de los siguientes elementos:

- Frenado o giro de vehículos de carga.
- Falta de riego de liga, o un exceso de ligante o la presencia de polvo durante la ejecución de los riegos de imprimación o liga.
- Espesores de carpeta asfáltica muy reducidos sobre superficies pulidas.
- Contenido alto de arena en la mezcla, sea arena de río o finos triturados.

Sus niveles de severidad son tres: bajo, mediano y alto, los cuales se describen en la tabla siguiente. Se mide en metros cuadrados de superficie afectada, calificándolo según el grado de severidad que presente la falla.

Tabla V. **Niveles de severidad de fisura en arco**

Nivel	Descripción
B (Bajo)	Fisura de ancho promedio inferiores a 3 mm.
M (Mediano)	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 3 y 6 mm. • Área alrededor de las fisuras se encuentran fracturas, teniendo piezas bien ligadas y firmes.
A (Alto)	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras sin sellar, de ancho promedio superior a 6 mm. • Área alrededor de las fisuras se encuentran fracturadas, con piezas fácilmente removibles o que han desaparecido por completo.

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial.* p. 302.

Figura 10. **Fisura en arco**



Fuente: colonia Laguneta, carretera a San Pedro Ayampuc.

3.1.1.4. Fisura transversal

Este tipo de falla se presenta como una línea de rotura transversal o sensiblemente perpendicular al eje de la carretera y puede afectar todo el ancho del carril.

Algunas de las posibles causas por las cuales se produzcan este tipo de fisuras pueden ser:

- Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad.
- Gradiente térmico ambiental superior a los 30 °C.

- Reflexión de grietas en la capa subyacente, así como también una reflexión de sus juntas; la cual puede ser producida por una mezcla fuera de especificaciones o un exceso de compactación.
- Defectuosa ejecución de juntas transversales de construcción de las capas asfálticas de superficie.

En la siguiente tabla se observarán los niveles de severidad de este tipo de falla:

Tabla VI. **Niveles de severidad de fisura transversal**

Nivel	Descripción
B (Bajo)	<ul style="list-style-type: none"> • Fisura sin sellar de ancho promedio inferiores a 3 mm, sin ramificaciones. • Fisuras selladas de cualquier ancho, con sello satisfactorio.
M (Mediano)	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 3 y 6 mm. • Área de fisuras que evidencian ramificaciones o fisuras erráticas.
A (Alto)	<ul style="list-style-type: none"> • Fisura sin sellar, de ancho promedio superior a 6 mm. • Área alrededor con ramificaciones constituidas por fisuras erráticas, moderadas a severas, con tendencia a formar una malla, o bien, que evidencian un desportillamiento severo.

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 303.

Figura 11. **Fisura transversal**



Fuente: colonia San Rafael, zona 18.

3.1.1.5. Fisura longitudinal

Este tipo de fisura se presenta como una fracturación que se extiende a través de la superficie del pavimento, paralela a la rodadura de la carretera, pudiendo ir aislada o en grupos, cuyas longitudes son variables.

Entre algunas de las causas que producen fisuras longitudinales se pueden mencionar:

- Fatiga por debilidad estructural.
- Juntas longitudinales de construcciones inadecuadamente trabajadas.
- Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al envejecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.
- Deficiente confinamiento lateral, por falta de hombros y cordones o bordillos que provocan un debilitamiento del pavimento en

correspondencia con el borde. Estas, asociadas a las cargas del tránsito, ocurren a una distancia de 0,30 a 0,60 m del borde.

- Reflexión de juntas por grietas existentes debajo de superficie de rodamiento.

Como se ha mencionado anteriormente y dan tres niveles de severidad: bajo, mediano y alto, los cuales se describen en la siguiente tabla:

Tabla VII. **Niveles de severidad de fisura longitudinal**

Nivel	Descripción
B (Bajo)	<ul style="list-style-type: none"> • Fisura sin sellar de ancho promedio inferiores a 3 mm, sin ramificaciones. • Fisuras selladas de cualquier ancho, con sello satisfactorio.
M (Mediano)	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras sin sellar de ancho promedio entre 3 y 6 mm. • Áreas de fisuras que evidencian ramificaciones o fisuras erráticas.
A (Alto)	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras sin sellar, de ancho promedio superior a 6 mm. • Áreas alrededor con ramificaciones constituidas por fisuras erráticas, moderadas a severas, con tendencia a formar una malla, o bien, que evidencian un desportillamiento severo.

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 304.

Figura 12. Fisura longitudinal



Fuente: colonia Ilusiones, zona 18.



Fuente: colonia Ilusiones, zona 18.

3.1.1.6. Fisura por reflexión en junta

Fisuras o grietas que se observan en la superficie de sobrecapas que tienden a reproducir las fallas y juntas que se producen en la capa de abajo. Consiste en la propagación ascendente hacia la superficie asfáltica de las juntas del pavimento de concreto asfáltico. Como consecuencia, por efecto de la reflexión, se observan en la superficie fisuras longitudinales y transversales que tienden a reproducir las juntas longitudinales y transversales de las losas inferiores.

Se considera que estas fallas son causadas por un proceso excesivo de compactación, ya que esto produce una segregación que provoca una laminación. La acción del tránsito puede resultar en peladuras y eventualmente en baches. 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 se experimentan deflexiones verticales importantes en las juntas, la reflexión se produce con mayor rapidez.

Se presenta con un tipo de severidad, el cual se describe en la tabla siguiente:

Tabla VIII. Niveles de severidad de fisura por reflexión en junta

Nivel	Descripción
B (Bajo)	<ul style="list-style-type: none">• Fisuras sin sellos, de ancho promedio inferiores a 5 mm, sin descascaramiento o desportillamiento de sus bordes.• Fisuras selladas de cualquier ancho, con sello satisfactorio, no causan incomodidad a la conducción vehicular.

Continuación de la tabla VIII.

M (Mediano)	<ul style="list-style-type: none">• Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 5 y 15 mm.• Fisuras sin o con sellar, que evidencien leve desportillamiento de sus bordes y rodeadas por fisuras erráticas leves.• Fisuras selladas de cualquier ancho, con sello satisfactorio, causan leve incomodidad a la conducción vehicular.
A (Alto)	<ul style="list-style-type: none">• Fisuras sin sellar, de ancho promedio superior a 15 mm.• Fisuras sin o con sellar, que evidencien moderado o severo agrietamiento de su superficie, o que muestre rotura o desprendimiento de parte del material asfáltico próximo a la fisura.• Fisuras selladas de cualquier ancho, con sello satisfactorio, provocan severa incomodidad a la conducción vehicular.

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 305.

Figura 13. **Reflexión en junta**



Fuente: carretera al Atlántico.

3.1.2. Deformaciones superficiales en pavimentos asfálticos

Son variaciones de los perfiles del pavimento que presentan daños a simple vista del usuario en la carpeta asfáltica, daños que provocan el desprendimiento del material asfáltico.

3.1.2.1. Ahuellamiento

Deformación longitudinal continúa a lo largo de la rodadura, a lo largo de las huellas de los vehículos. Las cargas repetidas de tránsito conducen a deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o en la subrasante. Las deformaciones son el resultado de una mala compactación o movimiento de los materiales, ambos por efecto del tránsito vehicular.

Este tipo de falla indica una insuficiencia estructural del pavimento o una deficiente estabilidad del sistema subrasante pavimento. Algunas de las causas pueden ser:

- Capas estructurales pobremente compactadas.
- Inestabilidad en bases y subbases.
- Mezcla asfáltica inestable, ya que no soporta la tensión aplicada en la base de la capa asfáltica o no es lo suficientemente elástica para soportar la aplicación de cargas repetidas sin romperse.
- Baja capacidad estructural del pavimento.
- Saturación de la estructura del pavimento.
- Estacionamiento prolongado de vehículos pesados.
- Exceso de ligantes de riegos.
- Técnica de construcción pobre y un bajo control de calidad.
- Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad.

- Las sobrecargas producidas por el tránsito al no estar diseñada la carretera para estos volúmenes.

Si la base y la subbase son débiles, el fisuramiento será acompañado por ahuellamiento, en su etapa final, el agrietamiento se transforma en bache, a continuación se describen los niveles de severidad que presenta esta falla:

Tabla IX. **Niveles de severidad de ahuellamiento**

Nivel	Descripción
B (Bajo)	Profundidad promedio menor de 10 mm
M (Mediano)	Profundidad promedio es entre 10 y 25 mm
A (Alto)	Profundidad promedio mayor a 25 mm

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 306.

Figura 14. **Ahuellamiento**



Fuente: colonia Kennedy, zona 18.

3.1.2.2. Corrimiento

Este tipo de fallas son distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, eventualmente se produce el levantamiento de material formando cordones, ya sean laterales o por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie.

Los desplazamientos pueden ser ocasionados por las cargas del tránsito actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de asfalto, o incluso la falta de vacíos, o bien por falta de confinamiento lateral, así como también la inadecuada ejecución del riego de liga o imprimación.

Algunas de las posibles causas pueden incluir:

- Desplazamiento ocasionado por cargas del tránsito.
- Mezclas asfálticas poco estables.
- Mala ejecución de riego de liga o imprimación.
- Falta de vacíos o por confinamiento lateral.
- Inestabilidad del suelo.
- La mala instalación tanto del drenaje superficial como del drenaje del subsuelo, ya que esto implicaría que tanto el agua superficial como la del suelo penetren la estructura del pavimento.

Tabla X. **Niveles de severidad de corrimiento**

Nivel	Descripción
B (Bajo)	El corrimiento es perceptible, causa cierta vibración o balanceo en el vehículo, sin generar incomodidad.
M (Mediano)	El corrimiento causa una significativa vibración o balanceo al vehículo, que genera cierta incomodidad.
A (Alta)	El corrimiento causa a los vehículos un excesivo balanceo que genera una sustancial incomodidad o riesgo para la seguridad de circulación, siendo necesaria una reducción de velocidad.

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 307.

Figura 15. **Corrimiento**



Fuente: colonia Maya, zona 18.

3.1.2.3. Corrugación

Falla que se presenta por medio de distorsiones y ondulaciones localizadas en la superficie del pavimento, generalmente se presenta por medio de ondulaciones que distorsionan el perfil de la carretera, este tipo de ondulaciones están constituidas por crestas y depresiones perpendiculares a la dirección del tránsito.

Esta corrugación suele ocurrir en intervalos bastantes regulares, usualmente a menos de 3,0 m, siendo estas perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente ocasionado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestable.

Se puede presentar por medio de tres niveles de severidad, como se describen en la siguiente tabla:

Tabla XI. Niveles de severidad de corrugación

Nivel	Descripción
B (Bajo)	El corrimiento es perceptible, causa cierta vibración o balanceo en el vehículo, sin generar incomodidad.
M (Mediano)	El corrimiento causa una significativa vibración o balanceo al vehículo, genera cierta incomodidad.
A (Alto)	El corrimiento causa a los vehículos un excesivo balanceo que genera una sustancial incomodidad o riesgo para la seguridad de circulación, siendo necesaria una sustancial reducción de velocidad.

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 308.

Figura 16. **Corrugación**



Fuente: colonia Ilusiones, zona 18.

3.1.2.4. Hinchamiento

Esta se presentara por medio de abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente se presenta por medio de una onda que distorsiona el perfil de la carretera, este tipo de ondulaciones están constituidas por crestas y depresiones perpendiculares a la dirección del tránsito.

Tomando en cuenta que esto también podrá producirse por una infiltración de aguas superficiales en la calzada, durante las primeras fases de la construcción de la carretera, se deben evitar zonas de acumulación de aguas subterráneas o de infiltración.

También es ocasionada por la expansión de los suelos de la subrasante, del tipo expansivo. Este tipo de falla también puede producirse con el acompañamiento de fisuramiento de la superficie.

Se puede presentar por medio de tres niveles de severidad, los cuales se describen a continuación:

Tabla XII. **Niveles de severidad de hinchamiento**

Nivel	Descripción
B (Bajo)	Baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a la velocidad de operación promedio.
M (Mediano)	Moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir la velocidad de circulación.
A (Alto)	Alta incidencia en la comodidad de manejo, condiciona la velocidad de circulación y produce una severa incomodidad con peligro para la circulación (el vehículo es proyectado por efecto del hinchamiento).

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 309.

Figura 17. **Hinchamiento**



Fuente: colonia Maya, zona 18.

3.1.2.5. Hundimiento

Son áreas de tamaño reducido, acompañadas algunas veces de agrietamientos, se presenta por medio de una depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo, sin tener definido un tamaño específico.

Los hundimientos generalmente penetran por debajo de la rasante, provocando estacionamiento del agua y lo cual producirá una posible filtración de la carpeta asfáltica, causando un daño más severo.

Algunas de sus causas pueden ser:

- Asentamientos de la fundación de las capas subyacentes.
- Deficiencias durante el proceso constructivo.
- Falta de mantenimiento de los drenajes.

- Deficiencia en la reparación de la estructura del pavimento por la instalación de servicios públicos.

Este tipo de falla se presenta con tres niveles de severidad, los cuales se describen en la siguiente tabla:

Tabla XIII. **Niveles de severidad de hundimiento**

Nivel	Descripción
B (Bajo)	Baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a la velocidad de operación promedio.
M (Mediano)	Moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir la velocidad de circulación.
A (Alto)	Alta incidencia en la comodidad de manejo, produciendo una severa incomodidad, requiriéndose reducir la velocidad por razones de seguridad.

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 310.

Figura 18. **Hundimiento**



Fuente: colonia Santa Elena II, zona 18.

3.1.3. Desintegración en los pavimentos asfálticos

Las desintegraciones son la rotura en pequeños fragmentos sueltos del pavimento y la disgregación de las partículas del agregado. Son cavidades de tamaño y forma diferente que se producen en un pavimento debido a una desintegración localizada.

3.1.3.1. Bache

Falla que se presentará con una desintegración de la superficie de rodadura, que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares. Regularmente aparecen cuando es difícil hacer una reparación permanente, ya que se generalizan en épocas de intensas lluvias agravando el problema.

Esto puede ser ocasionado por las posibles causas siguientes:

- Baja calidad de materiales en la construcción del pavimento.
- Infiltración de agua.
- Fundaciones y capas interiores inestables.
- Defectos constructivos.
- Espesores insuficientes.
- Retención de agua en zonas hundidas o fisuradas.
- Acción del tránsito sobre áreas con fisuras tipo piel de cocodrilo, con nivel alto de severidad, causa desintegración y posterior remoción de la superficie del pavimento.

Se definen en función del área afectada y de la profundidad del bache de acuerdo a la siguiente tabla, se observará su nivel de severidad:

Tabla XIV. **Niveles de severidad del bache**

Profundidad máxima (cm)	Diámetro promedio del bache (cm)		
	Menor a 70	70 - 100	Mayor a 100
Menor de 2,5	B	B	M
De 2,5-5,0	B	M	A
Mayor de 5,0	M	M	A

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial.* p. 311.

3.1.3.1.1. Procedimiento de ejecución

Consiste en la excavación, extracción y retiro de todo material inadecuado por debajo de la superficie del pavimento existente, hasta llegar a la capa no alterada. La colocación en sucesivas capas de material compactadas hasta alcanzar la subrasante, este puede ser a base de grava o de roca triturada, para luego colocar mezcla asfáltica la que puede ser fría o caliente.

Se realiza con el propósito de corregir daños o defectos superficiales, tales como peladuras, desintegraciones, fisuramiento tipo piel de cocodrilo, daños en la base y subbase debido a la fatiga y fracturamiento que ha sufrido la carpeta asfáltica.

Figura 19. **Bache**



Fuente: colonia el Valle, zona 18.

3.1.3.2. Desintegración de bordes

Este tipo de falla consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento a causa de la continua circulación del tránsito. Regularmente se hace presente en los hombros que no están asfaltados en el momento que los vehículos acceden a él.

Posibles causas de este tipo de falla:

- Acción localizada del tránsito, producida en porciones de estructura débil, ya sea por una compactación deficiente del borde.
- Ausencia de confinamiento lateral.
- Deficiente compactación del borde.

Se observan por tres distintos niveles de severidad, los cuales se presentan a continuación:

Tabla XV. **Niveles de severidad de desintegración de bordes**

Nivel	Descripción
B (Bajo)	Se observan fisuras paralelas al borde, de severidad baja o moderada, sin signos de peladuras, desintegración y canales de erosión.
M (Mediano)	Se observan fisuras paralelas al borde, de severidad alta, y/o peladuras de cualquier tipo, sin llegar a la rotura o desintegración total de los mismos.
A (Alto)	Se observa una considerable desintegración total de los bordes, con importantes sectores removidos por el tránsito; el borde resulta serpenteante, reduciendo el ancho de la calzada.

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 312.

Figura 20. **Desintegración de bordes**



Fuente: calle Real las Tapias, zona 18.

3.1.3.3. Exposición de agregados

Esto consiste en la presencia de agregados parcialmente expuestos, fuera del elemento ligante con los materiales finos que forman la estructura del pavimento, esto puede producirse por la deficiente homogeneidad de los materiales utilizados. Ocasionando así posible filtración y fallas severas en la vía.

Este tipo de desintegración en los pavimentos asfálticos puede presentarse por las siguientes causas:

- Distribución granulométrica deficiente en el rango de las arenas.
- Segregación de los agregados durante su manejo en obra.
- Circulación vehicular durante el proceso de colocación de la estructura del pavimento.
- Ligante endurecido, ha perdido la capacidad de contener los agregados.
- Empleo de agregados sucios o muy absorbentes.
- Uso de agregados húmedos, que no se ligan con el asfalto.
- Un exceso de partículas planas y alargadas que interferirán en la adecuada compactación y colocación de los materiales.

Esta es observada por medio de tres niveles de severidad, que se describen a continuación:

Tabla XVI. **Niveles de severidad de exposición de agregados**

Nivel	Descripción
B (Bajo)	Se observan agregados expuestos en áreas menores del 20 % del total del tramo a evaluar.
M (Mediano)	Se observan agregados expuestos en áreas entre el 20 y el 50 % del total del tramo a evaluar.
A (Alto)	Se observan agregados expuestos en áreas mayores del 50 % del total del tramo a evaluar.

Fuente: *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 313.

Figura 21. **Exposición de agregados**



Fuente: colonia Ilusiones, zona 18.

3.2. Tratamientos asfálticos superficiales

Este tipo de tratamientos abarcan desde una simple y ligera aplicación de cemento asfáltico o emulsión bituminosa, a múltiples aplicaciones de materiales asfálticos recubiertos cada uno con agregados pétreos. Los tratamientos superficiales también se identifican como: simple, dobles y triples o múltiples.

Este tratamiento tiene una variedad de aplicaciones ya que tienen bajos costos de construcción, siendo aplicados en forma adecuada en bases sólidas y firmes, obteniendo así una prolongada vida útil en las carreteras.

Sus principales funciones son las siguientes:

- Suministrar una superficie asfáltica de bajo costo inicial, que sirva al tránsito en todo tiempo.
- Impermeabilizar los pavimentos que se han agrietado o envejecido, para evitar la entrada de agua a las bases.
- Proporcionar una superficie de rodamiento con mayor adherencia, cuando la superficie existente se haya vuelto resbaladiza por desgaste o pulimento.
- Dar nueva vida a las superficies secas y envejecidas de los pavimentos asfálticos que estén a punto de desintegrarse por el tiempo, uso u otras características.

3.2.1. Materiales

Los agregados pétreos de los tratamientos asfálticos deben ser partículas de grava triturada o piedra de buena calidad, debiendo llenar los requisitos siguientes:

Tabla XVII. **Especificaciones de referencia**

Abrasión	AASHTO T-96
Desintegración al sulfato de sodio	AASHTO T-104
Caras fracturadas, partículas planas o alargadas	ASTM D-4791
Impurezas y polvo	AASHTO T-11
Peso	AASHTO T-19
Graduación	AASSHTO M-43

Fuente: COVIAL, Unidad Ejecutora de Conservación Vial. *Especificaciones generales*. Sección 404. p. 1.

Tabla XVIII. **Graduación de los agregados para tratamientos superficiales (AASHTO M-43)**

Tamaño del tamiz	Porcentaje en masa que pasa el tamiz designado (AASHTO T-27 y T-11)				
	Núm. 6 25,4 mm (1")	Núm.7 19 mm (3/4")	Núm. 8 12,5 mm (1/2")	Núm.9 9,5 mm (3/8")	Núm.10 4,75 mm (No.4)
25,0 mm	100				
19,0 mm	90 – 100	100			
12,5 mm	20 – 55	90 - 100	100		
9,50 mm	0 – 15	40 - 70	85 – 100	100	100
4,75 mm	0 – 5	0 - 15	10 – 30	85 - 100	85 - 100
2,36 mm	---	0 - 5	0 – 10	10 – 40	---
1,18 mm	---	---	0 – 5	0 – 10	---
0,300 mm	---	---	---	0 – 5	---
0,150 mm	---	---	---	---	10 - 30

Fuente: COVIAL, Unidad Ejecutora de Conservación Vial. *Especificaciones generales*. Sección 404. p. 2.

El material bituminoso a utilizar será según tipo, grado, especificaciones y temperatura de aplicación, será según lo establecido en la siguiente tabla, según lo indiquen las disposiciones especiales.

Tabla XIX. **Requisitos para el material bituminoso**

Tipo y grado de material bituminoso	Especificaciones AASHTO	Temperatura de aplicación en °C
<u>Cementos Asfálticos</u> Graduación por viscosidad: <ul style="list-style-type: none"> • AC-2.5 • AC-5 Graduación por penetración: <ul style="list-style-type: none"> • 200-300 • 120-150 	AASHTO M-226 AASHTO M-20	<ul style="list-style-type: none"> • 130 • 140 • 130 • 130
<u>Emulsiones asfálticas</u> Aniónicas: <ul style="list-style-type: none"> • RS-1 • RS-2 • MS-1 • HFMS-1 Cationicas: <ul style="list-style-type: none"> • CRS-2 • CRS-2 	AASHTO M-140 AASHTO M-208	20-60 50-85 20-70 20-70 50-85 50-85

Fuente: COVIAL, Unidad Ejecutora de Conservación Vial. *Especificaciones generales*. Sección

404. p. 3.

3.2.1.1. Materiales para sello de grietas de contracción

Estos materiales son principalmente asfalto líquido modificado con polímeros y arena fina. Se deben usar tipo, grado, especificaciones y temperaturas establecidas según las disposiciones generales que indican utilizar asfaltos rebajados tales como: emulsión SS-1h, (según especificaciones de la Norma AASHTO M-208) y otro que sea adecuado para dicho procedimiento.

La arena constituye la porción de agregado pétreo seco, esta debe estar constituida por arena natural o de trituración. Debe tener una granulometría que pase por el tamiz núm. 4, no debe tener un índice de plasticidad mayor de 6, (según especificaciones de la Norma AASHTO T-90) y el límite líquido no debe ser mayor de 25 (según especificaciones de la Norma AASHTO T-89) ambos determinados sobre muestra preparada en húmedo, así como también no debe contener materias vegetales, basura, terrones de arcilla u otras sustancias que puedan causar un deterioro en la zona a sellar.

3.2.1.2. Materiales para bacheo menor, bacheo mayor y recapeo

La variedad de materiales que se utilizan para cada uno de estos procesos son:

- Material de liga: este debe cumplir con especificaciones que indicarán el tipo de emulsión asfáltica a utilizar, según grado, norma y temperatura en °C, para las emulsiones aniónicas (utilizadas referentemente en pavimentación) deben seguir Norma AASHTO M-140, mientras que para

emulsiones catiónicas (aplicaciones industriales, levemente en pavimentación) se debe utilizar Norma AASHTO M-208 y realizar el riego de liga según lo descrito en la sección 2.4.1.4.

- Mezclas asfálticas: para el relleno de los baches podrá usarse mezcla asfáltica en frío o en caliente, el concreto asfáltico en caliente se compondrá de agregados minerales gruesos, agregados finos, llenante mineral (*filler*) y material bituminoso, mientras que para concreto asfáltico en frío se compondrá de agregados pétreos y material bituminoso, el cual podrá ser asfalto líquido o emulsión asfáltica (aniónica o catiónica). Tomando en cuenta que el material bituminoso utilizado para mezcla en frío depende de varios factores, tales como; si es elaborado en planta o en la carretera, si se usara como material para capa asfáltica o como material para bacheo, dependiendo estos si es para capa asfáltica debe considerarse el tipo de graduación de los agregados, si es cerrada o abierta, mientras que si es para bacheo se debe considerar el tiempo en que se vaya a utilizar la mezcla.

- Material de relleno: este será empleado para reponer el volumen excavado hasta el nivel de subrasante inclusive, no debe tener materia orgánica, terrones de arcilla, basura u otro tipo de material indeseable, este debe cumplir con los siguientes requerimientos:
 - El índice de plasticidad no mayor de 8.
 - El límite líquido no mayor de 30.
 - El valor soporte (CBR) debe ser mayor de 30.
 - El tamaño máximo será de 7,5 cm (3”).
 - El porcentaje que pasa por tamiz núm. 200 no mayor del 15 %.

- Para partículas planas o alargadas no más del 20 % en peso del material retenido en el tamiz 4,75 mm (núm. 4), con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas particular.
- Material de base triturada para relleno: sirve para proporcionar características adecuadas de granulometría y cohesión, este debe mantenerse libre de impurezas, material orgánico y consistir en arena, limo inorgánico, polvo de roca, u otro material con alto porcentaje de partículas que pase por el tamiz de 2,00 mm (núm. 10).
- Material de imprimación: este será material secante y asfaltos líquidos que serán de un tipo, grado y temperatura de aplicación según lo especificado en la Norma AASHTO M-82, tomando en cuenta lo descrito en la sección 2.4.1.3.

3.2.2. Sello de grietas de contracción

Este mantenimiento consiste en la ejecución de lo necesario para poder llenar grietas de aberturas superiores a 3 mm producidas en la superficie asfáltica, mediante un sellado en caliente.

Es un tipo de mantenimiento preventivo y debe realizarse cuando estas se ven claramente en el pavimento, este tipo de actividad no podrá ser ejecutada donde:

- Las grietas tengan forma de bloques interconectados, semejante a la piel de cocodrilo.
- Cuando existan deflexiones en las grietas.
- Cuando los pavimentos se encuentren demasiado deteriorados.

Debe verificarse en el pavimento existente esté en condiciones adecuadas para proceder con este tipo de actividad.

3.2.2.1. Procedimiento de ejecución para sello de grietas

Primero se debe hacer una identificación de las grietas, indicando las zonas donde se encuentran las grietas que se deben sellar, luego se procederá a marcarlas directamente sobre el pavimento con yeso, tiza u otro material de color visible, indicando así el inicio y el final de cada grieta.

Obteniendo la ubicación de cada una de las grietas se procede a realizar una limpieza del área de trabajo, esta debe realizarse utilizando un chorro de aire a presión, limpio y seco, que debe ser generado por un compresor móvil, obteniendo así un área libre de polvo, humedad, arcilla o de cualquier otro material que pueda contaminar el área a ser reparada.

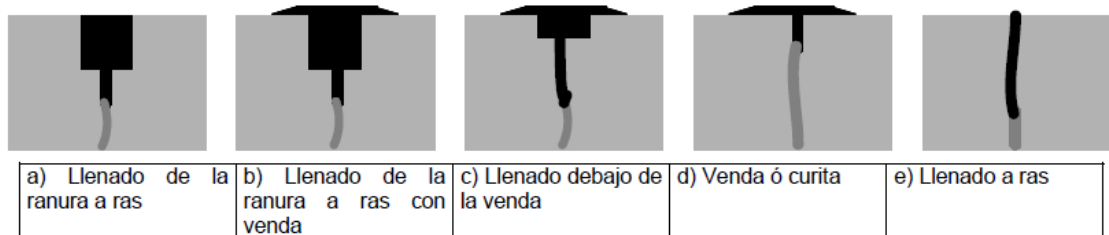
Luego de tener un área limpia se procede a la aplicación del material sellante, se aplica el asfalto tomando en consideración el procedimiento adecuado para este proceso, al momento de colocar el asfalto en la grieta no se debe permitir la formación de charcos o exceso de material sellante sobre esta, ya que esto provocaría un leve impacto en la circulación de un vehículo.

A continuación de la aplicación del material sellante sobre la grieta debe esparcirse una capa delgada de arena fina como secante del sello, para evitar la pérdida del asfalto recién aplicado en la superficie, debido a que en el momento de la circulación de los vehículos se adherirá a las ruedas de este. Esta arena debe ser aplicada entre 1 y 3 min posteriores a la aplicación del sello.

Los sellos de grietas podrán realizarse por medio de los siguientes métodos;

- a) Llenado de la ranura a ras (*standard reservoir and flush*)
- b) Llenado de la ranura a ras con venda (*standard recessed band aid*)
- c) Llenado debajo de la venda (*shallow recessed band aid*)
- d) Venda o curita (*overband*)
- e) Llenado a ras (*flush fill*)

Figura 22. Sello de grietas



Fuente: COVIAL, Unidad Ejecutora de Conservación Vial, *Especificaciones especiales*. División 300. p. 53.

El sello tipo venda o curita deben tener un espesor de 0,124 plg y un ancho mínimo de 3 plg. La venda o curita se pondrán con el objetivo de no permitir el desprendimiento o la pérdida del material o mezcla bituminosa recién aplicada, por adherencia a las ruedas del tránsito.

Estos métodos deben cumplir con condiciones tales como;

- Tomar en cuenta el material sellante a utilizar ya que hay algunos que no son más resistentes al contacto del tránsito.

- Así también, hay material que trabajan mejor dejando el sello al ras como se presenta en los procesos de los incisos a) y e).
- En los casos a), b) y c) se debe realizar un perfilado proceso que se realizará en grietas mayores de 6 hasta 25 mm de espesor, siendo este proceso supervisado para que no ocurra un desportillamiento de los agregados del pavimento.
- Cuando un perfilado sea dañino para el pavimento se recomienda realizar un sello de grietas tipo d) o e), ya que estos no provocan ninguna falla al pavimento existente durante su proceso de ejecución.

3.2.3. Bacheo menor (nivel de severidad, baja, media, alta según rango de profundidad $2,5 < P \leq 5$ y rango de diámetro $70 < \emptyset \leq 100$ ver tabla XIV)

Consiste en la reparación manual o por medios mecánicos de estas áreas de superficie pavimentada, que se realiza con mezcla en caliente o mezcla en frío, con un espesor máximo igual al existente, incluyendo la excavación, extracción y cuadrado del área que debe repararse y la colocación de mezcla asfálticas.

3.2.3.1. Procedimiento de ejecución para bacheo menor

El área afectada debe ser marcada, debiendo ser dos lados perpendiculares al eje del camino, realizando cortes parejos y verticales. Debe realizarse una excavación, nivelar y compactar adecuadamente de tal forma que no quede material suelto.

Estas excavaciones deben ser rellenadas el mismo día, no se permite trabajarlos al día siguiente. Previamente se realiza la excavación, nivelación y compactación, se procede a realizar la aplicación de liga, se aplica sobre toda la superficie excavada, aplicándola sobre toda el área, incluyendo las paredes que podrán variar sus proporciones desde 0,3 a 0,6 litros por metro cuadrado de superficie, debiendo estar esta liga a una temperatura entre 60 a 80 °C, evitando la formación de charcos y dejando que el asfalto penetre en la base durante el tiempo necesario.

Luego se procederá a extender en una o dos capas de espesor similar la mezcla asfáltica, mediante el uso de carretillas y rastrillos extendedores, sin permitir que se produzca una segregación de los materiales, el nivel del bache terminado debe quedar al ras del nivel de la carretera. Para mezcla en caliente, la temperatura de colocación y compactación será no menor de 100 °C. Para la mezcla en frío la temperatura de colocación y compactación será no inferior a los 20 °C ni superiores a los 40 °C.

Figura 23. **Terminación de un proceso adecuado de un bache**



Fuente: colonia Carmencita, zona 5.

3.2.4. Bacheo mayor (nivel de severidad, baja, media, alta según rango de profundidad $P > 5$ y rango de diámetro $\varnothing > 100$ ver tabla XIV)

Son las zonas inestables bajo la estructura del pavimento, independientemente que esta se haya producido por problema de la capa de rodadura, por saturación del suelo circundante, por colocación de material inadecuado o por contaminación del área de trabajo.

Consiste en la excavación de la superficie de la carpeta asfáltica y de las capas inferiores, en el área delimitado para el bacheo, estas áreas con problemas deben ser reparadas con el objetivo principal de devolver la sustentación estructural original diseñada y para proporcionar comodidad y seguridad.

Esta estabilidad puede obtenerse utilizando la combinación de materiales tales como suelo y cemento, que forman bases de suelo-cemento (se aplican cuando se presentan materiales de origen volcánico compuestos y por pómez o arenas de río, incluyendo gravas en estado natural existentes en dichos suelos) así como también suelo cal, (se aplica cuando los materiales que se presentan en campo son materiales grava sucia, grava arcillosa o grava arena arcillosa, así como también un exceso de humedad, ya que la aplicación de cal ayuda al suelo a obtener una humedad óptima). Estas combinaciones de materiales son altamente resistentes a la desintegración, obteniendo valores de soporte (CBR) no menores del 80 %, se deben cumplir con las siguientes especificaciones de normativas como:

- ASTM D-1632
- ASTM D-1633
- ASTM D-5102
- ASTM D-6276
- AASHTO T-90
- AASHTO T-135

Para mezcla en caliente se deberá tener la mezcla a una temperatura entre el rango de 140 ± 10 °C. Mientras que para mezcla en frío debe ser una temperatura no inferior a los 20 °C ni superior a los 40 °C.

3.2.4.1. Procedimiento de ejecución para bacheo mayor

Se debe realizar una identificación del área de trabajo, ubicar la zona de la estructura en falla y una marcación de esta para la realización del proceso de reparación.

Se utilizarán figuras geométricas determinadas como, cuadradas o rectangulares para la identificación de la falla en el pavimento, se realizarán cortes verticales que deben ser hechos de modo que las paredes sean uniformes y verticales. Se debe excavar hasta alcanzar los niveles donde se encuentre el material estable (*especificaciones de Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*, Edición 2010, Sección 302.03).

Luego de realizar la excavación se debe proceder a nivelar y compactar la superficie inferior, también realizar una limpieza para que esta quede libre de algún contaminante. Así también, luego de la reparación observar que no haya material excedente ni desperdicios, del trabajo realizado.

El material que sea inestable y se sustituya debe alcanzar el 95 % de la densidad máxima seca (PUS), resultado por medio del procedimiento Proctor Modificado que cumpla con las especificaciones de la Norma AASHTO T-99. En ningún caso, deberá colocarse este material más arriba que el nivel inferior de la subbase existente, con el fin de no disminuir el espesor de la estructura original del pavimento.

Se aplicará un riego de imprimación en toda el área, incluyendo las paredes, en proporciones que podrán variar desde 0,5 a 1,3 l (0,3 a 0,32 gal) por metro cuadrado de superficie, para lo que se debe calentar el asfalto a una temperatura entre 100 y 175 grados °F para el RC-250. Se utilizará para esto una rociadora manual a presión.

El concreto asfáltico debe ser colocado inicialmente en esquinas y en los bordes del área excavada, extendiéndolo hacia el centro en capas de 5 cm de espesor máximo, siempre observando que no haya residuos de material, ni

depressiones o abultamientos, el material colocado debe quedar al ras del nivel de la carretera.

Se debe realizar el colocado en espesores uniformes, que permitan, de acuerdo al equipo de compactación disponible, la colocación del material en cantidades y dimensiones iguales evitando así en el proceso de compactación una segregación del concreto asfáltico.

3.2.5. Colocación de capas asfálticas de refuerzo en caliente

Consiste en la colocación de mezcla asfáltica en caliente, en espesores no menores de 5 cm, ni máximos de 30 cm, sobre la carpeta de rodadura existente, con el objetivo de reforzar la estructura del pavimento, esta carpeta asfáltica o del recapeo debe hacerse inmediatamente.

Este se puede tender y compactar de inmediato en la carretera, en una o en varias capas de calidad uniforme debidamente compactadas, con el fin de rehabilitar zonas con muchos baches o superficies con daños severos, para dar una cómoda transitabilidad al usuario.

3.2.5.1. Procedimiento de ejecución para recapeo

Antes de la realización del procedimiento en bases imprimadas, se debe esperar 24 horas antes de iniciar la colocación de la mezcla asfáltica para que la superficie a trabajar este seca y en perfecto estado. Si el recapeo se pretende realizar en áreas seriamente deterioradas, se debe hacer una previa reparación de la base o capas subyacentes que estuvieran dañadas, antes del procedimiento de recapeo.

Después de la previa colocación de la mezcla asfáltica en caliente se procede a la compactación en forma continua hasta la terminación del trabajo, para el trabajo de compactación inicial se usará un cilindro tipo vibratorio de aproximadamente 10 ton o menos. El cilindrado debe empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro.

Cuando el espesor final obligue a colocar la mezcla por capas, se procederá a ligar entre estas, ya que deriva de la necesidad de un espesor mayor a los máximos ya especificados. La carpeta solamente será puesta en servicio, cuando haya sido compactada adecuadamente y en ningún caso, antes de 6 horas de haberse completado la compactación con un cilindro metálico, el cual ayudará a acomodar poros y el compactador neumático para terminar de cerrar poros, obteniendo así una superficie homogénea.

La densidad del concreto asfáltico colocado y compactado debe ser mayor o igual al 92 % de la densidad máxima de la mezcla asfáltica determinada en laboratorio. (Según especificaciones de *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras*. 2010. p. 114).

3.2.6. Lechada asfáltica (*slurry seal*)

Consiste en tratamientos superficiales de mezclas compuestas de agregados pétreos finos (ver tabla XVIII), emulsión asfáltica, llenante mineral, agua, aditivos proporcionando una mezcla homogénea que puede ser aplicada sobre pavimentos, como un tratamiento de sellado impermeable y antideslizante, pudiéndolo aplicar en una o dos capas continuas (de 3 a 20 mm de espesor) dando una textura resistente y adherida firmemente sobre la superficie, para darle protección a pavimentos envejecidos.

Se emplea generalmente para revivir asfaltos viejos, sellar grietas, o como capas intermedias entre un asfalto viejo y tratamientos superficiales o carpetas asfálticas.

La superficie a sellar deberá ser preparada cuidadosamente barriéndola, soplando las grietas con aire comprimido y de ser necesario lavarla y debe estar húmedo antes de colocar la lechada asfáltica. Al momento de su colocación esta debe presentar una consistencia cremosa y un aspecto homogéneo.

El tiempo de curado de la lechada variará desde media hora en climas cálidos hasta 4 horas en climas fríos. Si es necesario se debe compactar la lechada asfáltica con un rodillo neumático después del tiempo de curado.

La lechada asfáltica tiene ventajas tales como:

- Mayor facilidad y rapidez de puesta en obras y mínimo tiempo de apertura al tránsito.
- Utilización de materiales económicos y posibilidad de utilización durante todo el año.
- Impermeabilización total del soporte y aprovechamiento total del material empleado.
- Máximo automatismo de fabricación y puesta en obra y ningún peligro de desprendimiento de partículas.

Así como presenta ventajas, se pueden mencionar desventajas tales como:

- No se puede utilizar este proceso cuando la carretera presente ahuellamiento.

- No es efectivo cuando la carretera presente daño por humedad.
- No es recomendable aplicarla donde se haya producido un deterioro avanzado, tal como: grietas transversales con desprendimiento severo en el borde y agrietamientos como piel de cocodrilo y rupturas en bloque.
- No se permitirá la elaboración y aplicación de la lechada si la temperatura ambiente de la superficie es inferior a 5 °C o haya lluvia.

Los agregados a utilizar en la lechada asfáltica pueden ser naturales o producidos por trituración, tales como; granito, basalto, escoria o algún otro material de alta calidad o combinación de estos.

- ASTM C-13
- ASTM D-2419
- ASTM D-3910

Tabla XX. **Granulometría del agregado hacer utilizado en *slurry seal***

MALLA	PORCENTAJE QUE PASA		
	TIPO I	TIPO II	TIPO III
3/8 " (9,6 mm)	100	100	100
Núm. 4 (4,75 mm)	100	90 - 100	70 – 90
Núm. 8 (2,36 mm)	90 – 100	65 - 90	45 – 70
Núm. 16 (1,18 mm)	65 – 90	45 - 70	28 – 50
Núm. 36 (600,4 µ)	40 – 60	330 - 50	19 – 34
Núm. 50 (300,4 µ)	25 – 42	18 - 30	12 – 25
Núm. 100 (150,4 µ)	15 – 30	10 - 21	7 – 18
Núm. 200 (75,4 µ)	10 – 20	5 - 15	5 – 15

Fuente: COVIAL, Unidad Ejecutora de Conservación Vial. *Especificaciones generales*. p. 82.

El llenante mineral (*filler*) utilizado debe ser cemento, cal hidratada procesada, cenizas volantes o algún otro llenante que cumpla con lo especificado en la Norma ASTM D-242. Mientras que la emulsión asfáltica debe cumplir con lo especificado en la Norma ASTM D-977.

3.2.7. Microcarpeta (*microsurfacing*)

Es una mezcla de emulsión catiónica de asfalto modificado con polímeros los cuales proporcionarán resistencia a altas temperaturas, así como también una mayor elasticidad, agregados minerales, rellenos, agua y otros aditivos que son tendidos sobre la superficie pavimentada.

Estas no incluyen un diseño estructural, son utilizadas para mejorar la calidad de rodadura, se utilizan cuando se presentan defectos superficiales menores, mejora las condiciones de seguridad como drenaje y adherencia de los neumáticos, mejora la apariencia.

Esta mezcla de emulsiones asfálticas está constituida con un polímero que se incorporará al cemento asfáltico antes de emulsionarlo, este residuo asfáltico debe tener al menos 3 % de polímero calculado, así como también debe ser formulada para que la mezcla de pavimento SC-1 (Asfalto de fraguado lento), pueda ser aplicada con una humedad relativa óptima no mayor del 50 % y una temperatura ambiente de no menos de 24 °C, curando lo suficiente para que en el transcurso de 1 hora que ya esté siendo transitada, la carpeta no sufra ningún daño¹.

Los agregados minerales deben estar libres de materia orgánica (limpios o lavados), duros y durables de piedra triturada cumpliendo con las

¹ Unidad Ejecutora de conservación vial. *Especificaciones especiales*. p. 86.

especificaciones y ensayos que rigen las Normas ASTM D-2419 o AASHTO T-176, ASTM C-131 o AASHTO T-96.

A continuación se presenta la tabla XXI, que indica los tipos de granulometría que se utilizan en los trabajos de *microsurfacing*.

Tabla XXI. **Granulometría del agregado utilizado para *microsurfacing***

MALLA	TIPO II (Carpeta de granulometría fina) % que pasa	TIPO III (Carpeta de granulometría gruesa) % que pasa
3/8		100
¼	100	80 – 95
Núm. 4	90 - 100	70 – 90
Núm. 8	65 - 90	45 – 70
Núm. 16	45 - 70	28 – 50
Núm. 30	30 - 50	15 – 35
Núm. 50	18 - 30	10 – 25
Núm. 100	10 - 21	7 – 18
Núm. 200	7 - 15	5 – 15

Fuente: COVIAL, Unidad Ejecutora de Conservación Vial. *Especificaciones especiales*. p. 87.

Así como se necesita agregados minerales gruesos, también es necesario que la mezcla contenga un rellenedor mineral fino, el cual puede ser cemento o cal hidratada, el porcentaje a utilizar es como máximo el 3 % en peso, con una tolerancia de $\pm 0,25$ %.

4. ESPECIFICACIONES DE ENSAYOS PARA ASFALTOS

4.1. Ensayos de asfaltos

El asfalto se conoce con una amplia variedad de tipo y grados normalizados. Con el fin de conocer o controlar la cantidad de asfalto en una mezcla, se someten a ensayos específicos, según las especificaciones que establecen las normas AASHTO.

4.1.1. Método Marshall

El objetivo principal de la utilización de este método es para realizar el diseño de mezcla de pavimentación asfáltica, especialmente mezclas en caliente, con el cual se determina el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, así como también por medio de este se realizan análisis de densidad-vacíos y los ensayos de estabilidad y fluencia sobre probetas de mezcla compactada, pudiendo realizarse el diseño en laboratorio como también para el control de campo.

Las probetas a utilizar son de dimensiones de 2,5 plg (64 mm) de espesor por 4 plg (102 mm) de diámetro. Estas probetas deben prepararse con la misma combinación de agregados pero con diferente contenido de asfalto, usando un procedimiento específico, para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado.

4.1.1.1. Equipo a utilizar

- Prensa de estabilidad Marshall, provista de un anillo con capacidad de 6 000 lb (27 kN)(ver figura 24).
- Cabeza de rotura de estabilidad Marshall, de 4 plg (101,7 mm) de diámetro y peso total de 20 lb (9 kN)(ver figura 25).
- Molde de compactación Marshall, de 4 plg (101,7 mm) de diámetro y peso total de 8 lb (3,6 kg)(ver figura 26).
- Martillo de compactación Marshall, de 10 lb (4,54 kg) con una altura de caída de 18 plg (457 mm) con un peso total de 17 lb (7,7 kg)(ver figura 27).
- Pedestal de compactación, con dimensiones de 8 x 8 plg de lado y 18 plg de altura con un peso total de 85 lb (38 kg)(ver figura 28).
- Placa superior del pedestal de compactación, con dimensiones de 12 x 12 plg de lado y 1 plg de espesor.
- Baño de circulación de agua, tipo magnético, con capacidad de calentar hasta 12 probetas Marshall de 4 plg. Con termómetro de control, con un peso total de 47 lb (21,4 kg)(ver figura 29).
- Picnómetro de vacíos, con capacidad de 2 000 g y un peso total de 15 lb (6,8 kg)(ver figura 30).

Figura 24. **Prensa de estabilidad Marshall**



Fuente: ELE International. *Testing equipment for construction materials: Catalog 2007*. p. 110.

Figura 25. **Cabeza de estabilidad Marshall**



Fuente: ELE International. *Testing equipment for construction material: Catalog 2007*. p. 111.

Figura 26. **Molde de compactación Marshall**



Fuente: ELE International. *Testing equipment for construction material: Catalog 2007*. p. 112.

Figura 27. **Martillo de compactación Marshall**



Fuente: ELE International. *Testing equipment for construction material: Catalog 2007*. p. 113.

Figura 28. **Pedestal de compactación**



Fuente: ELE International. *Testing equipment for construction material: Catalog 2007*. p. 113.

Figura 29. **Baño de circulación de agua**



Fuente: ELE International. *Testing equipment for construction material: Catalog 2007*. p. 114.

Figura 30. **Picnómetro de vacíos**



Fuente: ELE International. *Testing equipment for construction material: Catalog 2007*. p.119.

4.1.1.2. Selección de la muestra de material

Diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características, provocando un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, será determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, entre otras) que debe tener la mezcla de pavimentación.

Luego se procede a seleccionar las muestras del asfalto y del agregado que van a ser utilizados en la mezcla de pavimentación. Esta selección debe realizarse tomando en cuenta que estas muestras deben tener características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final.

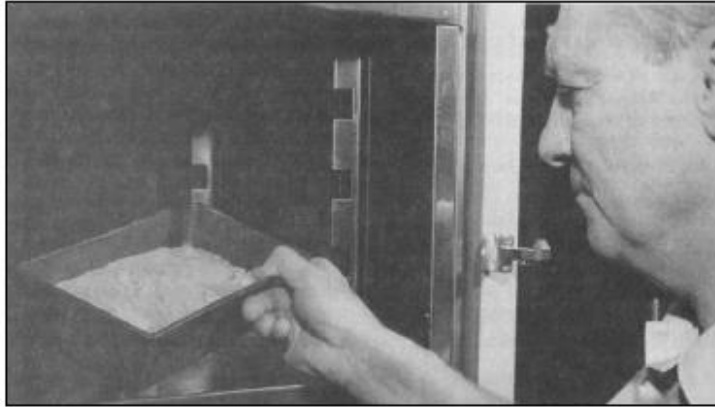
4.1.1.3. Preparación del agregado

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida, para poder establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio. Por lo tanto los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el objetivo de identificar sus características.

El agregado a utilizar debe ser sometido a varios procedimientos tales como:

- Secar el agregado.
- Análisis granulométrico por vía húmeda (por lavado).
- Determinación del peso específico.
- Secar el agregado: se procede a tomar una muestra de cada agregado y colocarlo en una bandeja, por separado, y se calienta en un horno a una temperatura de 110 °C (230 °F) como se muestra en la figura siguiente. Después de 24 h, la muestra caliente se pesa y se registra su valor, se calienta completamente una segunda vez y se vuelve a pesar la muestra fría y se registra su valor, este proceso se repite hasta obtener un resultado constante, que indicará que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

Figura 31. **Secado de la muestra del agregado**



Fuente: Instituto de Asfalto. *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. p. 72.

- Análisis granulométrico por vía humedad: este proceso se realiza lavando una muestra tamizada a fondo para remover el polvo y el material limo-arcilloso, con el objetivo de identificar las proporciones de las partículas en la muestra del agregado.

Este proceso consta de los siguientes pasos:

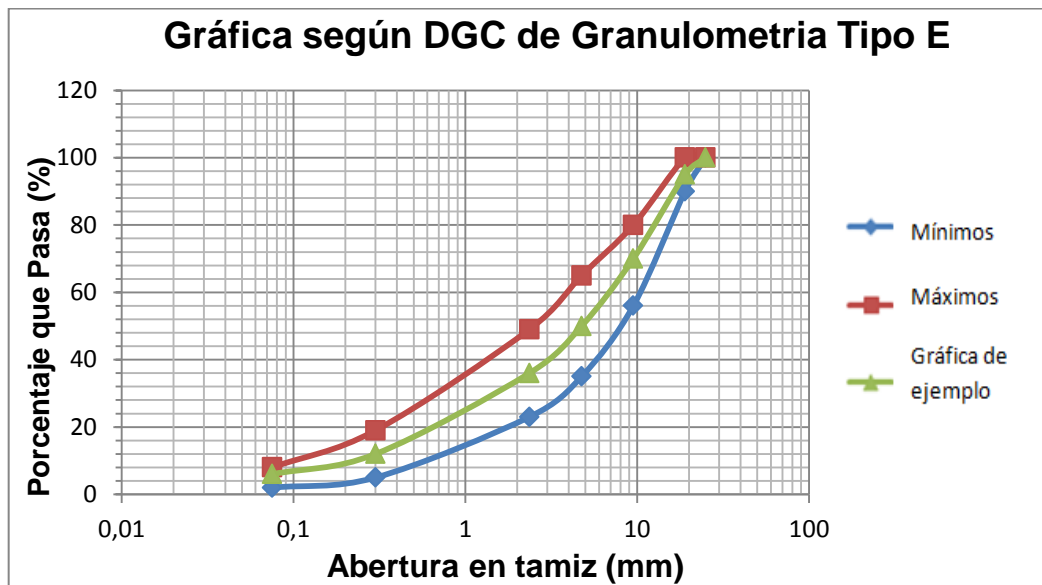
- Cada muestra de agregado es secada y pesada.
- Luego cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0,075 mm (núm. 200), para remover cualquier polvo mineral que esté cubriendo al agregado.
- Las muestras lavadas son secadas siguiendo el proceso descrito en el secado del agregado.

- El peso seco de cada muestra se registra. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada comparando los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.

Para obtener los pasos detallados del procedimiento a realizar referirse a la Norma AASHTO T-11.

La gráfica que se presenta a continuación se elaboró tomando datos máximos y mínimos de agregados de ½ plg, según tamaño de tamiz y % que pasa, (según tabla 401-1 Graduación de agregados para pavimentos de concreto asfáltico, de Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes) para obtener una gráfica ejemplo que debe estar dentro de los rango para que sea una granulometría adecuada.

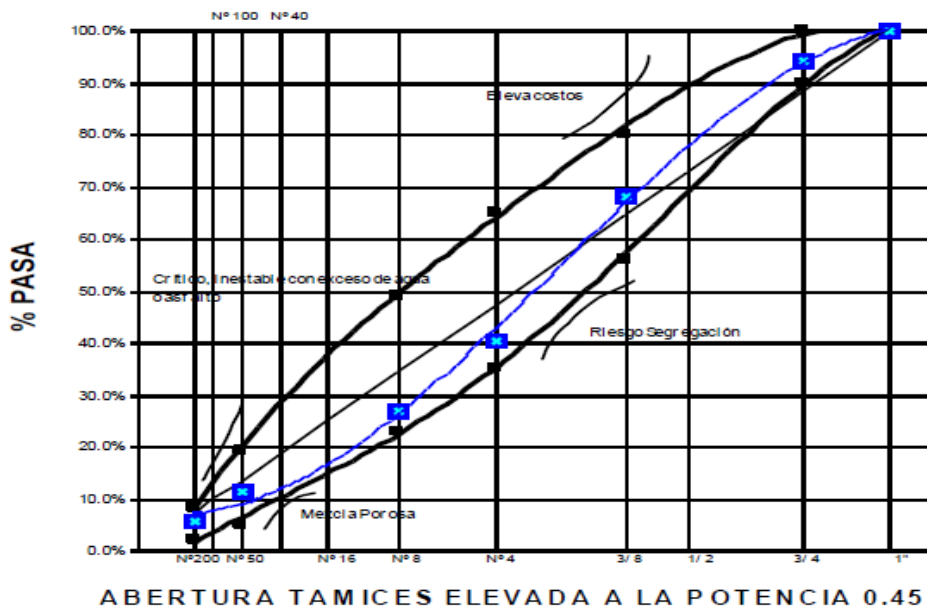
Figura 32. **Gráfica granulométrica Tipo E máximos y mínimos**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

A continuación se observará una gráfica que representa rangos adecuados (líneas en negro) y rangos de riesgo de agregados y rangos de ejemplo que si se elevan o salen de los puntos de referencia, se producirán riesgos de segregación, una elevación de costos, así como también una inestabilidad con exceso de agua o asfalto.

Figura 33. **Graduación agregados DGC 2001 Tipo D y rangos de riesgos**



Fuente: AGUILAR GIRÓN, José Leonel, *Diseño y colocación de mezclas de concreto asfáltico en caliente*. p. 34.

- Determinación del peso específico: esto es la proporción peso-volumen de una unidad de esa sustancia comparada con la proporción peso-volumen de una unidad igual de agua, esto es determinado comparando el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura (figura 34). El peso específico del agregado se expresa en múltiplos del peso específico del agua (la cual siempre tiene

un valor de uno). El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia, para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones de agregado, asfalto y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

Figura 34. **Determinando el peso específico de una muestra de agregado**



Fuente: Instituto de Asfalto. *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. p. 34.

4.1.1.4. Preparación de las probetas de ensayo

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

- El asfalto y el agregado se calientan y se mezclan completamente hasta que todas las partículas del agregado estén cubiertas de asfalto. Esto

simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.

- Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes precalentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.
- Las probetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación, siendo 75 el número de golpes del martillo que se aplicarán en ambos lados de la probeta, luego de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

4.1.1.5. Procedimiento para realizar la prueba

Teniendo las probetas frías y extraídas se procede a realizar tres procedimientos en el método del ensayo Marshall, los cuales son: determinar peso específico total, medición ensayos de estabilidad y la fluencia Marshall, el análisis de densidad y el contenido de vacíos, siendo todo esto el procedimiento del ensayo Marshall.

4.1.1.6. Determinación del peso específico total

Se determina el peso específico total de cada probeta tan pronto hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad de vacío. El peso específico total se determinará utilizando el procedimiento descrito en la Norma AASHTO T-166.

4.1.1.7. Contenido de bitumen

- Para determinar el contenido de bitumen o contenido de asfalto, se selecciona una muestra representativa de 500 g; dependiendo de las condiciones del asfalto y la proporción del agregado en dicha mezcla.
- Colocar en el horno la muestra anterior, a 60 °C (140 °F). En el instante en que la muestra llegue a los 60 °C se debe retirar del mismo.
- Se saca el material del horno y se coloca en el extractor de bitumen.
- Colocar 350 cm³ de gasolina en la boquilla de la centrífuga e iniciar la extracción. En la primera etapa, la extracción se concluye cuando no se obtenga más gasolina de la manguera de salida.
- Colocar otros 350 cm³ de gasolina en la boquilla de la centrífuga e iniciar de nuevo la extracción.
- El proceso concluye cuando en la manguera de salida de la centrífuga se obtenga gasolina limpia; es decir, gasolina sin presencia de material asfáltico. Esto asemeja el procedimiento de lavado en el ensayo de granulometría por tamizado.
- Terminado el proceso de extracción, se coloca todo el material de la centrífuga en una tara y se pesa. Luego se coloca en el horno a 110 °C.
- Obtener la humedad de la muestra.

- El contenido de bitumen o contenido de asfalto se expresa en porcentaje y se obtiene de la siguiente forma:

$$\%Asfalto = \frac{Diferencia}{Peso - neto - muestra} \times 100$$

Diferencia = peso neto muestra – peso neto después del horno

Peso neto muestra = peso bruto húmedo – tara

Peso bruto húmedo = tara + material de muestra

4.1.1.8. Ensayo de estabilidad y fluencia

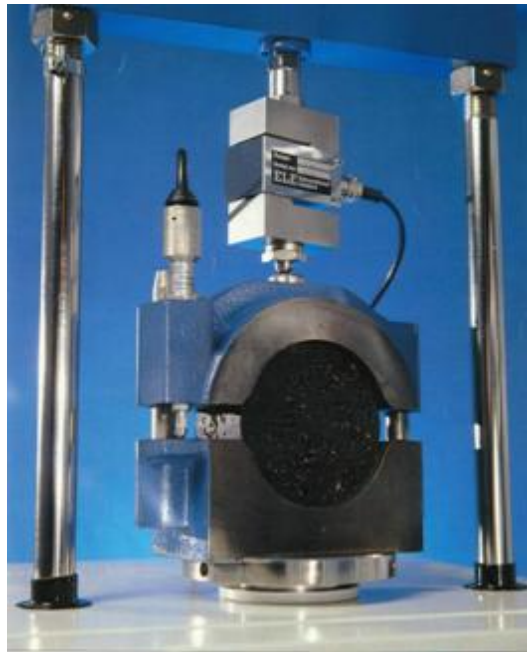
Luego se realizará el ensayo de estabilidad y fluencia que tiene el objetivo de medir la resistencia a la deformación de la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- Se obtienen 2 probetas las cuales son calentadas en un baño de agua a 60 °C (140 °F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall (ver figura 35). El aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta y de unos medidores de carga y deformación.

- La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm/min (2 plg/min) hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la probeta puede resistir.
- La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

Figura 35. **Probeta en el aparato Marshall**



Fuente: Instituto de Asfalto. *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.* p. 76.

4.1.1.9. Valor de estabilidad Marshall

Es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente, durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador del cuadrante.

Luego se suspende la carga una vez obtenida la carga máxima, que es indicada por el medidor (anillo de carga) y este dato será el valor de estabilidad Marshall.

4.1.1.10. Valor de fluencia Marshall

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada (10^{-2} plg), representa la deformación de la briqueta, esta deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Las mezclas que tiene valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio, aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

Figura 36. **Ejecución de la prueba de estabilidad y fluencia Marshall**



Fuente: *Planta de asfalto*, http://www.plantadeasfalto.df.gob.mx/wb/pa/metodo_marshall .
Consulta 12 de agosto de 2014.

4.1.1.11. Análisis de densidad y vacíos

Una vez terminados los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos, con el propósito de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

- Análisis de vacíos: los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregados revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos).

Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado, para tener

en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado; o directamente mediante el ensayo normalizado (AASHTO T-209) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar.

- Análisis de peso unitario: el peso unitario promedio, para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por el peso unitario patrón, es decir, el agua que tiene un valor de $1\ 000\ \text{kg/m}^3$ ($62,4\ \text{lb/pie}^3$).
- Análisis de VMA: los vacíos en el agregado mineral, VMA, están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El VMA es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como porcentaje del volumen total de la mezcla compactada.

Tabla XXII. **Porcentajes mínimos de vacíos en el agregado mineral VMA**

Tamaño Máximo Nominal del agregado ⁽²⁾		VMA mínimo, por ciento		
		Vacíos de diseño, por ciento ³		
mm	plg	3,0 %	4,0 %	5,0 %
1,18	Núm. 16	21,5	22,5	23,5
2,36	Núm. 8	19,0	20,0	21,0
4,75	Núm. 4	16,0	17,0	18,0
9,50	3/8	14,0	15,0	16,0
12,5	1/2	13,0	14,0	15,0
19,0	3/4	12,0	13,0	14,0
25,0	1,0	11,0	12,0	13,0
37,5	1,5	10,0	11,0	12,0
50,0	2,0	9,5	10,5	11,5
63,0	2,5	9,0	10,0	11,0

Fuente: Instituto de Asfalto. *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. p. 82.

NOTAS

¹ Especificación Normal, para Tamaños de Tamices usados en pruebas, ASTM E-11 (AASHTO M-92).

² El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más de 10 % del material.

³ Interpole el VMA mínimo, para los valores de vacíos de diseño que se encuentran entre los que están citados.

- Análisis de VFA: los vacíos lleno de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA y luego dividiendo por el VMA y expresando el valor final como un porcentaje.

Tabla XXIII. **Criterios del Instituto de Asfalto (USA) para el Diseño Marshall**

Criterios para mezcla del Método Marshall		Tránsito ⁽²⁾ liviano carpeta y base		Tránsito mediano carpeta y base		Tránsito pesado carpeta y base	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta ⁽³⁾		35		50		75	
Estabilidad ⁽¹⁾	N	3 336	-----	5 338	----	8 006	----
	Lb	750	----	1 200	----	1 800	----
Flujo, 0,01 plg (0,25 mm) ⁽⁴⁾		8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos ⁽⁵⁾		3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) ⁽⁶⁾		Ver Tabla XXII					
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)		70	80	65	78	65	75

Fuente: Instituto de Asfalto. *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. p. 76.

NOTAS

¹ Todos los criterios y no solo estabilidad, deben ser considerados al diseñar una mezcla asfáltica de pavimentación. Las mezclas asfálticas en caliente de base que no cumplan estos criterios, cuando se ensayen a 60 °C, se considerarán satisfactorias si cumplen los criterios cuando se ensayen a 38 °C y si se colocan a 100 mm o más por debajo de la superficie. Esta recomendación se aplica solamente a las regiones que tengan una variedad de consideraciones climáticas similar a la que prevalece en casi todas las regiones de Estados Unidos. En las regiones que tengan condiciones climáticas más extremas puede ser necesario usar temperaturas más bajas de ensayo.

² Clasificaciones del Tránsito

Liviano, condiciones de tránsito que resultan en un ESAL de diseño $< 10^4$

Mediano, condiciones de tránsito que resultan en un ESAL de diseño entre 10^4 y 10^6

Pesado, condiciones de tránsito que resultan en un ESAL de diseño $> 10^6$

³Los refuerzos de compactación en el laboratorio deberán aproximarse a la densidad máxima obtenida en el pavimento bajo el tránsito.

⁴Los valores de fluencia se refieren al punto en donde la carga comienza a disminuir

⁵Cuando se esté calculando porcentaje de vacíos, deberá permitirse cierta tolerancia en la porción de cemento asfáltico pérdida por absorción en las partículas de agregado.

⁶El porcentaje de vacíos en el agregado mineral debe ser calculado con base en el peso específico total ASTM del agregado.

Tabla XXIV. **Requisitos para la mezcla de concreto asfáltico**

MÉTODO DE DISEÑO ⁽¹⁾	VALORES LÍMITE	
	MÍNIMO	MÁXIMO
MARSHALL (AASHTO T-245)		
Temperatura de compactación de pastilla, para producir una viscosidad de	0,25 Pa-s (250 cS)	0,31 Pa-s (310 cS)
Número de golpes de compactación en cada extremo del espécimen ⁽²⁾	75	75
Estabilidad	5 338 N (1 200 lb)	
Fluencia en 0,25 mm (0,01 plg)		
Tránsito < 10 ⁶ ESAL	8	16
Tránsito > 10 ⁶ ESAL	8	14
Relación Estabilidad/ Fluencia (lb/0,01 plg)	120	275
Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada ⁽³⁾	3	5
Porcentaje de vacíos en agregado mineral (VMA)	ver tabla XXII	
Porcentaje de vacíos rellenos con asfalto		
Tránsito < 10 ⁶ ESAL	65	78
Tránsito > 10 ⁶ ESAL	65	75
Relación finos / bitumen ⁽⁴⁾	0,6	1,6
Sensibilidad a la humedad AASHTO T-283	80 %	
Partículas recubiertas con bitumen, para definir tiempo de mezclado, AASHTO T-195	95 %	

Fuente: Dirección general de caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, Sección 401. *Pavimentos de concreto asfáltico en caliente*. p. 7.

NOTAS

⁽¹⁾ El porcentaje de vacíos con aire se basa en AASHTO T-166, AASHTO T-209 y AASHTO T-269.

⁽²⁾ Cuando se establezca en las Disposiciones Especiales, los especímenes podrán ser preparados usando el compactador giratorio aplicando las mismas especificaciones de compactación indicadas más adelante para mezclas Superpave.

⁽³⁾ Este valor deberá calcularse en función de la gravedad específica máxima de la mezcla compactada determinada directamente conforme el ensayo Rice-AASHTO T-209.

⁽⁴⁾ La razón polvo-asfalto se define como el porcentaje de material que pasa el tamiz de 75 micrómetros dividido por el contenido efectivo de asfalto calculado por masa de mezcla.

Tabla XXV. **Clasificación del tránsito**

TRÁNSITO	ESAL	Estabilidad⁽³⁾
T1 ⁽¹⁾	<100 000 ⁽²⁾	1 200 lb
T2	100 000 – 500 000	1 400 lb
T3	500 000 – 10 000 000	1 600 lb
T4	>1 000 000	1 800 lb

Fuente: COVIAL, Unidad Ejecutora de Conservación Vial. *Especificaciones especiales*. División 304. p. 63.

NOTAS

⁽¹⁾ Se refiere al tipo de tránsito, según su eje equivalente.

⁽²⁾ Se refiere a la cantidad de vehículos que circularán por la carretera distribuidos en ejes equivalentes (cada juego de llantas es un eje equivalente).

⁽³⁾ Es capacidad del asfalto para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito.

Tabla XXVI. **Requisitos de calidad para cemento asfáltico clasificado**

Características	CLASIFICACIÓN			
	AC - 5	AC - 10	AC - 20	AC - 30
Viscosidad 60 °C, Poises	500 ± 100	1 000 ± 200	2 000 ± 400	3 000± 600
Viscosidad 135 °C, mm ² /s	175	250	300	350
Penetración 25 °C 100 g, 5 s-min	140	80	60	50
Punto de inflamación, °C-min	177	219	232	232

Fuente: Norma N-CMT-4-05-001/00. *Características de los materiales: Calidad de materiales asfálticos*. p. 7.

Tabla XXVII. **Clasificación de bitúmenes y uso**

Clasificación	Viscosidad a 60 °C, Pa-s (Poises)	Usos más comunes
AC – 5	500 ± 100	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como estabilizaciones.
AC - 10	1 000 ± 200	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente. • En la elaboración de emulsiones asfálticas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos.
AC - 20	2 000 ± 400	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas en mezcla en caliente. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos.
AC - 30	3000 ± 600	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos. • En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.

Fuente: Norma N-CMT-4-05-001/00. *Características de los materiales: Calidad de materiales asfálticos*. p. 3.

4.1.1.12. Determinación del óptimo contenido de asfalto

Para obtener el dato del contenido de asfalto se procede a trazar los resultados en gráficas de cada probeta que se ensayó.

El contenido de asfalto óptimo para el diseño de un pavimento asfáltico se determinará mediante el resultado que será por medio de las gráficas (ver figura 37).

Se procederá a determinar el contenido de asfalto del gráfico 1, tomando como ejemplo: el contenido de vacíos de 4 %, el cual será de 4,7 %. Luego de obtener el dato del contenido de asfalto se obtendrán los datos de las demás propiedades (VMA, VFA, estabilidad y fluencia) por medio de las gráficas (ver figura 37). Con el contenido de asfalto de 4,7 %, se observan los siguientes valores de las otras propiedades:

Estabilidad (gráfico 5) = 10,2 kN (2 300 lb)

Fluencia (gráfico 6) = 9

Porcentaje VFA (gráfico 3) = 70

Porcentaje VMA (gráfico 2) = 14

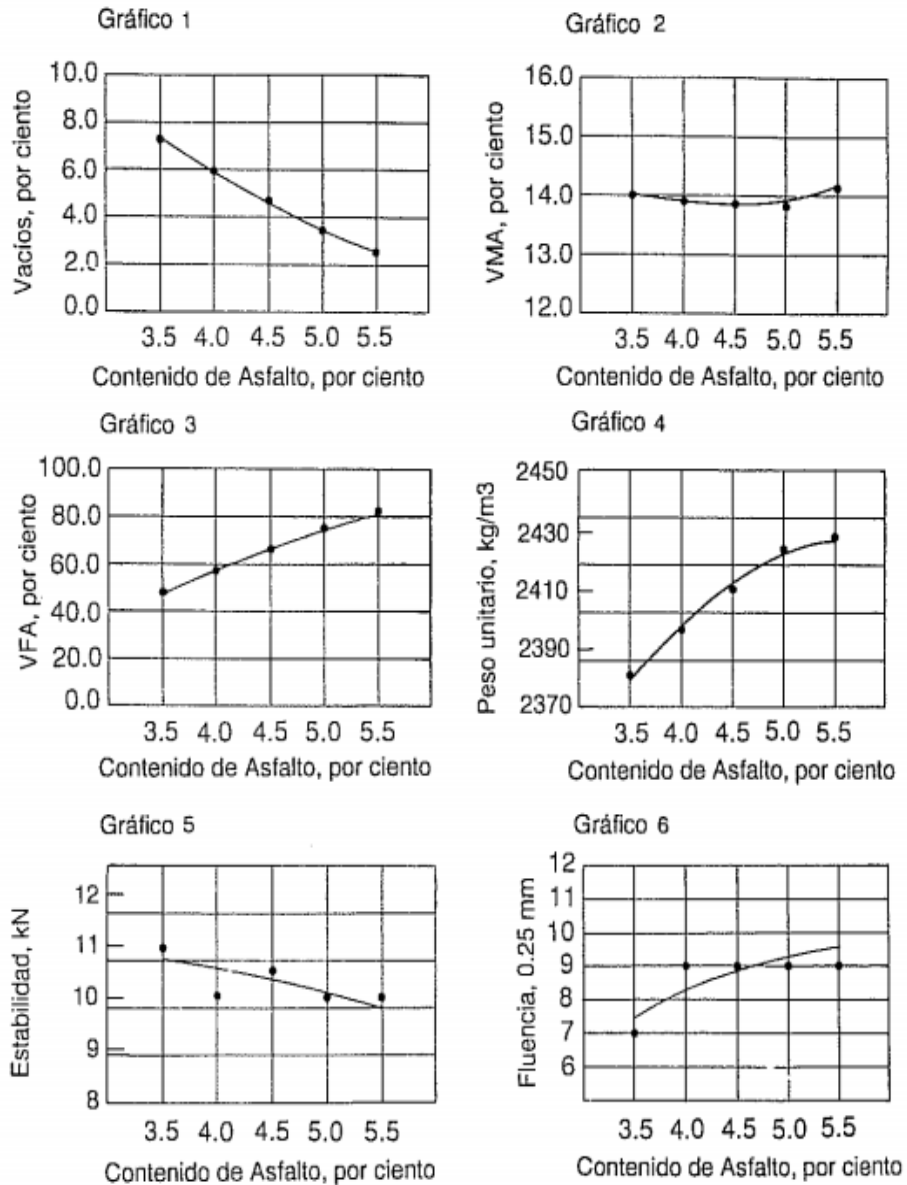
Con todos los datos calculados obtenidos se realizará una comparación con los criterios de Diseño Marshall (tabla XXII), para una mezcla de tránsito pesado. El valor de estabilidad obtenido es de 10,2 kN (2 300 lb) el cual excede el criterio mínimo de 8 kN (1 800 lb).

El valor de fluencia obtenido es igual a 9, el cual está dentro del rango establecido por los criterios de diseño, que es de 8 - 14. El porcentaje de vacíos

llenos de asfalto (VFA) es de 70 %, el cual está dentro del rango según los criterios de diseño (tabla XXII) que es de 65 - 75 %. El porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral también puede ser revisado usando la tabla XXIII, donde debe ser comparada con el VMA de la gradación del agregado en cuestión. Se asume una gradación con un agregado de $\frac{3}{4}$ de plg (19 mm). Se puede observar, entonces, que el valor VMA de 14 sobrepasa el mínimo requerido de 13, para una mezcla de 19 mm que tiene un contenido de vacíos de 4 %.

Si se cumple con todos los rangos establecidos en los criterios de diseño (ver tabla XXII), este será el contenido de diseño de asfalto, de lo contrario será necesario hacer algunos ajustes o volver a diseñar la mezcla.

Figura 37. Ejemplos de gráficas para los resultados de una serie de cinco probetas Marshall



Fuente: Instituto del Asfalto. *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. p. 80.

4.1.2. Penetración

La penetración en un asfalto es la distancia, expresada en decimas de milímetro hasta la cual una aguja se introduce verticalmente en el material.

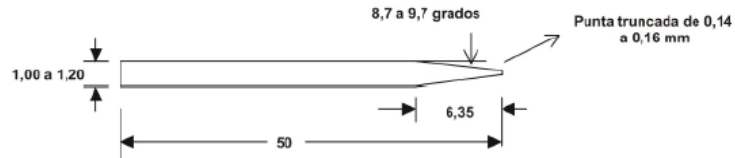
Este tipo de ensayo determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra del asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se realizara a 25 °C, que la aguja está cargada con 100 g y que la carga se aplica durante 5 s.²

La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal, con dimensiones de una décima de milímetro. Cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración. Tomando en cuenta que los betunes asfálticos se clasifican en grados según su dureza o consistencia por medio de la penetración, dentro de los márgenes siguientes: 60 - 70, 85 - 100, 120 - 150. (ver tabla XXVIII. Penetración recomendable para diversos tipos de betunes asfálticos).

Los aparatos y procedimientos para la realización adecuada del ensayo de penetración se describen en las especificaciones de las Normas AASHTO T-49-97 y en la ASTM D-5.

² The Asphalt Institute. *Manual de asfalto*. 1973. p. 38.

Figura 38. **Aguja de penetración**



Fuente: Manual de carreteras de Paraguay. *Normas para materiales y ensayos de materiales*, Tomo 6, Volumen II. p. 44.

Figura 39. **Ensayo de penetración**

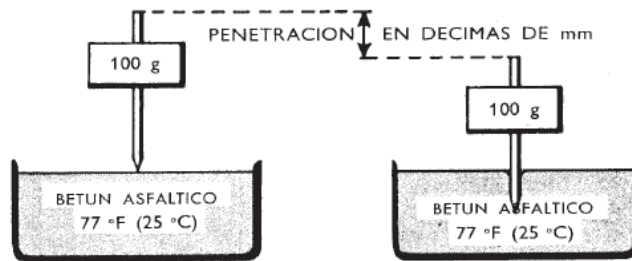


Figura III-1. Ensayo normal de penetración.

Fuente: The Asphalt Institute. *Manual del asfalto*. 1973. p. 39.

En la tabla siguiente se presentará información para cada tipo de pavimentación y la penetración que debe tener según el clima que se presente en el área donde se realice el ensayo.

Tabla XXVIII. **Penetración recomendable para diversos tipos de betunes asfálticos**

PAVIMENTACIÓN	CLIMA			
	Cálido Árido	Cálido Húmedo	Moderado	Frío
Aeropuertos				
Pistas de despegue	60-70	60-70	60-70	85-100
Caminos auxiliares	60-70	60-70	60-70	85-100
Aparcamientos	60-70	60-70	60-70	85-100
Carreteras				
Tráfico pesado y muy pesado	60-70	60-70	60-70	85-100
Tráfico medio a ligero	85-100	85-100	85-100	120-150
Calles				
Tráfico pesado y muy pesado	60-70	60-70	60-70	85-100
Tráfico medio a ligero	85-100	85-100	85-100	85-100
Caminos particulares				
Industriales	60-70	60-70	60-70	85-100
Estaciones de servicio	60-70	60-70	60-70	85-100
Residenciales	60-70	60-70	85-100	85-100
Aparcamientos				
Industriales	60-70	60-70	60-70	60-70
Comerciales	60-70	60-70	60-70	85-100
Zonas de recreo				
Pistas de tenis	85-100	85-100	85-100	85-100
Terrenos de juego	85-100	85-100	85-100	85-100
Bordillos	60-70	60-70	60-70	85-100

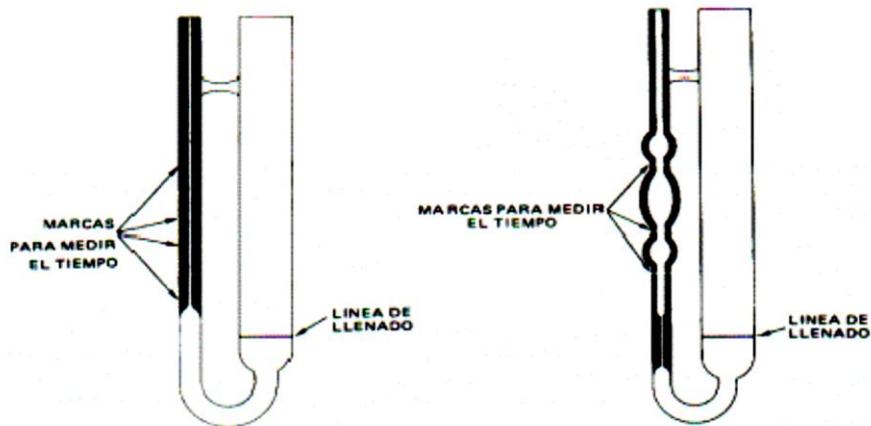
Fuente: The Asphalt Institute. *Manual de asfalto*. 1973. p. 25.

4.1.3. Viscosidad

El objetivo principal del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación, la viscosidad se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol, el cual se realiza a dos temperaturas de 25 °C y 50 °C o en el ensayo de viscosidad cinemática.

Esta viscosidad se mide en viscosímetros capilares de flujo inverso o viscosímetros Saybolt, observando la facilidad con la que un fluido fluye a través de un orificio pequeño. La muestra de fluido se coloca en un aparato que se muestra en la siguiente figura:

Figura 40. **Viscosímetro de vacío del Asphalt Institute y Viscosímetro de vacío de Cannon-Manning**



Fuente: *Ensayos a cemento asfáltico*,

<http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/ensayosm7.htm> . Consulta: 13 de agosto de 2014.

Se coloca el material en un tubo normalizado cerrado con un tapón de corcho, una cantidad especificada de betún asfáltico. Como las temperaturas a que se determina la viscosidad de los betunes asfálticos son frecuentemente superiores a los 100 °C, el baño de temperatura constante del viscosímetro se llena con algún tipo de aceite. Cuando el asfalto ha alcanzado una temperatura establecida, se quita el tapón y se mide el tiempo necesario en segundos para que pasen a través del orificio Furol 60 ml del material.

Cuanto más viscosos son los materiales más tiempo es necesario para que pasen a través del orificio. El procedimiento del ensayo así como también la descripción de los aparatos a utilizar se describen en las especificaciones de la Norma ASTM E-102.

Figura 41. **Equipo de ensayo para viscosidad Saybolt-Furol**



Fuente: AGUILAR GIRÓN, José Leonel. *Diseño y colocación de mezclas de concreto asfáltico en caliente*. p. 17.

Para tener una mayor precisión de resultados se procede a realizar también el ensayo de viscosidad cinemática de los betunes asfálticos y de los asfaltos fluidificados, se ejecuta con el objetivo de medir el tiempo necesario para que fluya un volumen constante de material bajo condiciones de ensayo, así como, temperatura y altura de líquido.

Se calculará la viscosidad cinemática mediante el tiempo medido, en segundos y la constante de calibración del viscosímetro.

El procedimiento de este ensayo así como también la descripción de los aparatos a utilizar y el procedimiento de calibración para el viscosímetro se describen en las especificaciones de la Norma ASTM D-445, en los apéndices D, G y H.

4.1.4. Punto de inflamación

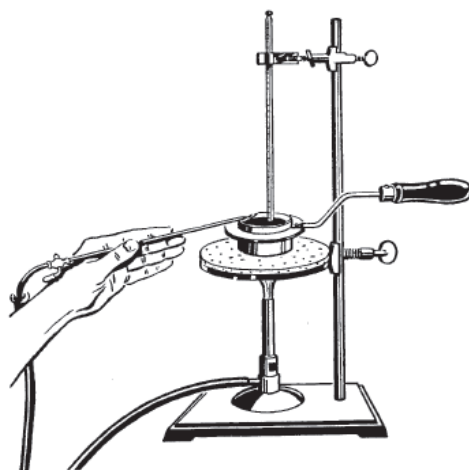
El objetivo de este ensayo es observar la temperatura a la cual puede calentarse el material sin peligro de producir un punto de inflamación en presencia de llama libre.

El punto de inflamación de un betún asfáltico se mide por el ensayo en vaso abierto Cleveland, según especificaciones normalizadas en las Normas AASHTO T-48 y ASTM D-92, en donde se describe totalmente el ensayo.

Se procede a llenar parcialmente un vaso de latón con betún asfáltico y se calienta a una velocidad establecida, se hace periódicamente sobre la superficie de la muestra con una pequeña llama y se define como punto de llama la

temperatura a la que se han desprendido vapores suficientes para producir una llamarada repentina.³

Figura 42. **Determinación de punto de inflamación de vaso abierto Cleveland**



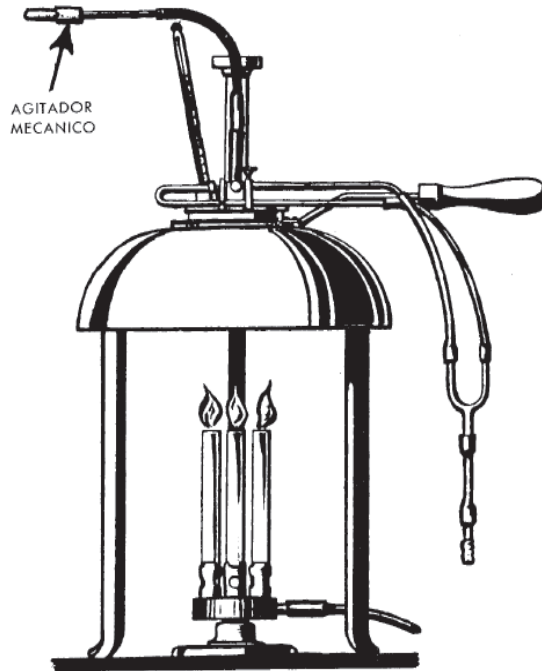
Fuente: The Asphalt Institute. *Manual de asfalto*. 1973. p. 43.

Así como también a veces se emplea para los betunes asfálticos el punto de inflamación Pensky-Martens, en este ensayo el material y el procedimiento difieren esencialmente en que se prevé la continua agitación de la muestra durante el período de ensayo.

El material y procedimiento de aplicación de este ensayo se describen en las Normas AASHTO T-33 y ASTM D-93, la figura siguiente representa el aparato empleado en este ensayo.

³ The Asphalt Institute. *Manual del asfalto. Punto de inflamación*. p. 43.

Figura 43. **Determinación del punto de inflamación Pensky-Martens**



Fuente: The Asphalt Institute. *Manual de Asfalto*. 1973. p. 44.

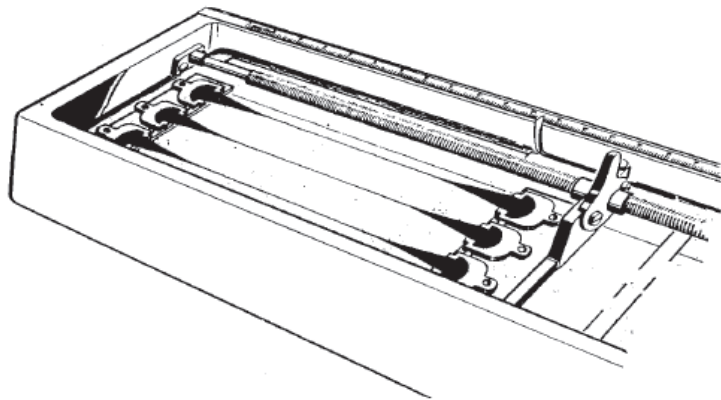
4.1.5. **Ductilidad**

La ductilidad es una característica importante de los betunes asfálticos en muchas aplicaciones, ya que los betunes asfálticos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica.

Así también hay que considerar que una ductilidad muy elevada puede provocar que el pavimento sea más susceptible a los cambios de temperatura.

La ductilidad del betún asfáltico se mide en un ensayo de extensión como se podrá ver en la siguiente figura:

Figura 44. **Ensayo de ductilidad**



Fuente: The Asphalt Institute. *Manual de Asfalto*. 1973. p. 46.

Primero se escoge una muestra de material bituminoso el cual tiene que estar limpio, se pone a calentar y se debe esperar hasta el punto en que el asfalto pueda fluir. Mientras se espera que el asfalto fluya, se preparan los moldes, los cuales deben estar engrasados en sus paredes laterales pero tomando en cuenta que las pinzas no deben tener grasa, únicamente la parte de los centros y también se debe engrasar el plato base.

Una vez que el asfalto esté listo para verter, se procede a realizar el llenado de los moldes pero con un chorro fino y avanzando de extremo a extremo, se deja secar a una temperatura de 25 °C.

Luego se somete a alargamiento con una velocidad de 5 cm/min hasta que el hilo que une los dos extremos se rompe. La longitud a la cual este se rompe define la ductilidad, la cual se mide con un ductilómetro.

Las condiciones para realizar este ensayo se especifican detalladamente en las Normas AASHTO T-51 y ASTM D-113.

4.1.6. Solubilidad

Este tipo de ensayo determina el contenido de betún en el betún asfáltico. La porción de betún asfáltico soluble en sulfuro de carbono está constituida por los elementos aglomerantes activos.

La mayor parte de los betunes asfálticos se disuelven en igual proporción en sulfuro de carbono y en tetracloruro de carbono ya que este no es inflamable. Este ensayo es un proceso de disolución del betún asfáltico en un disolvente separando la materia insoluble.

Se procede a disolver aproximadamente 2 g, de asfalto en 100 ml de solvente y se filtra la solución a través de una plancha de asbesto colocada en un crisol de porcelana. Se pesa el material retenido por el filtro y se lo expresa como porcentaje de la muestra original, obteniéndose el porcentaje soluble en bisulfuro de carbono.

El proceso para realizar este ensayo se especifican detalladamente en las Normas AASHTO T-44 y ASTM D-4.

CONCLUSIONES

1. El mantenimiento preventivo permite realizar acciones que requieren de inversiones pequeñas, para que la infraestructura vial esté disponible sin mayores interrupciones.
2. El mantenimiento correctivo requiere de actividades que involucran trabajos más complicados e inversiones mayores, en los tramos que no haya sido suficiente el mantenimiento preventivo.
3. El principal elemento que daña el pavimento es el agua en todas sus manifestaciones (escorrentía, infiltración y otras).
4. Otro de los elementos importantes que causa daño a una carretera es el abuso de las cargas, que pueden sobrepasar a las consideradas en el diseño, lo que provoca un deterioro temprano al tramo que se vea afectado por estas sobrecargas.

RECOMENDACIONES

1. El mantenimiento preventivo debe realizarse frecuente y permanentemente, para implementar las acciones en forma oportuna y rápida, para evitar daños mayores y la interrupción de la utilización de la carretera.
2. El mantenimiento correctivo debe realizarse respetando las normas técnicas establecidas (AASHTO, especificaciones técnicas de la DGC, Covial, Sieca, entre otras) para asegurar la duración de los mismos y contribuir a la vida útil del proyecto vial.
3. Siendo el agua el principal elemento de degradación al pavimento debe implementarse en el plan de mantenimiento, la limpieza periódica y permanente de todos los elementos que conducen dicho fluido (cunetas, contracunetas, transversales, entre otros). Asimismo, es importante el monitoreo de la estabilidad de los muros de contención, taludes y bermas, para evitar derrumbes y deslizamientos, que requieren de inversiones muy altas para revertir los daños que estos pueden causar.
4. Dentro del mantenimiento preventivo y correctivo es factible verificar la correcta utilización de la estructura vial y detectar las posibles sobrecargas que el tramo pudiera estar soportando y tomar las acciones prontas y oportunas para evitar sobrecargas que pudieran dañar y acelerar el deterioro del mismo (ahuellamientos, hundimientos y otros).

BIBLIOGRAFÍA

1. BARRIOS BOLANOS, Walter Raúl. *Guía teórica y práctica del curso de pavimentos y mantenimiento de carreteras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2007. 143 p.
2. Covial, Unidad Ejecutora de Conservación Vial. *Especificaciones Especiales*. Guatemala: Covial, 2011. 199 p.
3. _____. *Especificaciones Especiales*. Guatemala: Covial, 2011. 199 p.
4. Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Sección 407. Guatemala: DGC, 2000. 724 p.
5. _____. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Sección 408. Guatemala: DGC, 2000. 724 p.
6. Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda Unidad. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. División 400. Guatemala: Micivi, 2000. 690 p.

7. Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda, Unidad Ejecutora de Conservación Vial. *Manual de Procedimientos de Conservación de Carreteras*. Sección 3. Guatemala: Covial, 2001. 62 p.
8. SAMPEDRO RODRÍGUEZ, Ángel. *Tratamientos de suelos con cal, planteamiento general, diseño y control de calidad*. España: s.e. 2005. 101 p.
9. Secretaría de Integración Económica Centroamérica. *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. Guatemala: Sieca, 2010. 346 p.
10. The Asphalt Institute. *Manual del asfalto*. USA: The Asphalt Institute 1973. Capítulo III, Ensayos. 38 p.