



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

FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES

Juan Pablo Barrera Gómez

Asesorado por el Ing. Efraín Antonio de León Mendoza

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JUAN PABLO BARRERA GÓMEZ

ASESORADO POR EL ING. EFRAÍN ANTONIO DE LEÓN MENDOZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

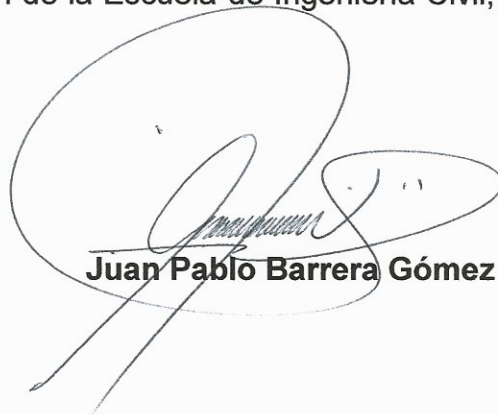
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarría
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 21 de octubre de 2010.



Juan Pablo Barrera Gómez

Guatemala, 22 de septiembre de 2014

Ingeniero:

Guillermo Francisco Melini Salguero

Jefe del Área de Materiales de Construcción


Escuela de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Después de revisar el trabajo de graduación del estudiante Juan Pablo Barrera Gómez, quien se identifica con el número de carné 2006-11035, titulado "FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES", y después de haber hecho las correcciones necesarias, lo doy por aprobado y lo autorizo para continuar con el proceso de graduación correspondiente.

Sin otro particular, me despido atentamente.



Ing. Efraín Antonio de León Mendoza
Colegiado No. 2726

Efraín A. De León Mendoza
INGENIERO CIVIL
Colegiado 2726



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,
22 de octubre de 2014

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 FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Juan Pablo Barrera Gómez, quien contó con la asesoría del Ing. Efraín Antonio de León Mendoza.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área 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

Guillermo Melini

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

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. Efraín Antonio de León Mendoza y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Juan Pablo Barrera Gómez, titulado FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Hugo Leonel Montenegro Franco
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre 2014.

/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: **FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES**, presentado por el estudiante universitario: **Juan Pablo Barrera Gómez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, noviembre de 2014

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la fe, esperanza y sobre todo la fortaleza e inteligencia para formarme como ingeniero.
Mi hijo	Pablo Andrés Barrera, por ser quien cambió mi vida al nacer y ser por quien debo superarme día con día.
Mis padres	Edgar Barrera y Violeta Gómez, porque en su sacrificio se ve reflejado este logro y porque sin ellos esto no fuera posible.
Mis abuelas, tíos y tías	Quienes estuvieron apoyando y quienes estuvieron alentándome a graduarme como ingeniero.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por ser Él quien me ha dado las herramientas para ser ingeniero, y porque sin su bendición nada logramos.
- Mis padres** Les agradezco por su apoyo y en especial al sacrificio que hicieron para tener otro profesional graduado en la familia.
- Mis tías, tíos y queridas abuelitas** Gracias por ser quienes me empujaron y aconsejaron a realizar este trabajo de graduación para poder ser un profesional graduado.
- Mi esposa** Porque me apoyó para poder finalizar y entregar el trabajo de graduación, y alentarme a no rendirme por nuestro hijo.
- Ing. Efraín Antonio de León** Por aceptar ser mi asesor para terminar de revisar mi trabajo de graduación. Gracias a él pude terminar este trabajo y presentarlo en el tiempo adecuado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. DEFINICIONES Y CONCEPTOS.....	1
1.1. Términos en carreteras.....	1
1.2. Drenaje.....	5
1.3. Actividades de conservación	8
1.4. Equipo en mantenimiento.....	10
1.5. Materiales para el mantenimiento.....	12
2. EL PAVIMENTO.....	15
2.1. Pavimentos flexibles.....	16
2.1.1. Características de los pavimentos flexibles	17
2.1.2. Duración de un pavimento flexible.....	19
2.1.3. Elementos de la estructura de un pavimento flexible	20
2.1.3.1. La subbase granular	21
2.1.3.1.1. Funciones de la subbase granular.....	22

	2.1.3.1.2.	Especificaciones técnicas para la subbase granular	23
2.1.3.2.		La base granular	26
	2.1.3.2.1.	Funciones de la base granular	26
	2.1.3.2.2.	Especificaciones técnicas para la base granular	27
2.1.3.3.		La carpeta asfáltica	31
	2.1.3.3.1.	Funciones de la carpeta asfáltica	31
	2.1.3.3.2.	Lineamientos y especificaciones generales para carpetas asfálticas de rodadura.....	32
3.		FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	41
3.1.		Tipo de fallas y su clasificación	42
	3.1.1.	Fallas típicas por deformaciones.....	43
	3.1.1.1.	Ahuellamientos.....	44
	3.1.1.2.	Baches	46
	3.1.1.3.	Corrugaciones	46
	3.1.1.4.	Desplazamiento de borde.....	46
	3.1.2.	Fallas típicas por fisuras y grietas	47
	3.1.2.1.	Piel de cocodrilo	48
	3.1.2.2.	Fisuras en arco o lengüetas	48
	3.1.2.3.	Grietas longitudinales	49

	3.1.2.4.	Grietas transversales.....	50
	3.1.2.5.	Grietas por reflexión	50
	3.1.2.6.	Grietas en bloque	51
3.1.3.		Fallas típicas por desprendimientos	52
	3.1.3.1.	Ojo de pescado.....	52
	3.1.3.2.	Pérdida de película de ligante (desintegración).....	52
	3.1.3.3.	Peladura o descascaramiento	53
	3.1.3.4.	Pérdida de agregado	54
	3.1.3.5.	Descarnadura o cabezas duras.....	55
3.1.4.		Fallas típicas por afloramientos	55
	3.1.4.1.	Afloramiento de agua.....	55
	3.1.4.2.	Exudación de ligante	56
3.1.5.		Fallas típicas por alisamientos.....	56
	3.1.5.1.	Afloramiento de mortero	56
	3.1.5.2.	Desgaste de áridos (agregados pulidos).....	58
3.2.		Causas posibles del origen de las fallas según su tipo	58
	3.2.1.	Fallas por deformaciones	59
	3.2.1.1.	Ahuellamientos	59
	3.2.1.2.	Baches.....	60
	3.2.1.3.	Corrugaciones	60
	3.2.1.4.	Desplazamiento de borde.....	61
	3.2.2.	Fallas por fisuras y grietas.....	61
	3.2.2.1.	Piel de cocodrilo	61
	3.2.2.2.	Fisuras en arco o lengüetas.....	61
	3.2.2.3.	Grietas longitudinales	62
	3.2.2.4.	Grietas transversales.....	62
	3.2.2.5.	Grietas por reflexión	62

	3.2.2.6.	Grietas en bloque	63
3.2.3.		Fallas por desprendimientos	63
	3.2.3.1.	Ojo de pescado	63
	3.2.3.2.	Pérdida de película ligante	64
	3.2.3.3.	Peladura o descascaramiento	64
	3.2.3.4.	Pérdida de agregado	64
	3.2.3.5.	Cabezas duras	65
3.2.4.		Fallas por afloramientos	65
	3.2.4.1.	Afloramiento de agua	65
	3.2.4.2.	Afloramiento de ligante (exudación)	65
3.2.5.		Fallas por alisamientos	65
	3.2.5.1.	Afloramiento de mortero	66
	3.2.5.2.	Agregados pulidos	66
3.3.		Importancia de un buen trabajo en las capas inferiores	66
	3.3.1.	Capas granulares	67
	3.3.2.	Terreno natural	67
4.		ESTRATEGIAS DE SOLUCIÓN	69
4.1.		Evaluación de pavimentos	69
	4.1.1.	Calicatas	70
	4.1.2.	Perforaciones	71
	4.1.3.	Medidas de deflexiones	72
	4.1.4.	Ensayos de laboratorio	72
4.2.		Tratamientos y técnicas para la conservación y mantenimiento de pavimentos asfálticos	73
	4.2.1.	Micropavimentos (<i>microsurfacing</i>)	74
	4.2.2.	Recapeo (<i>overlay</i>)	76
	4.2.3.	Lechada asfáltica (<i>slurry seal</i>)	77
	4.2.4.	Sello de grietas (<i>crack seal</i>)	79

4.2.5.	Bacheo en carreteras pavimentadas	83
4.2.6.	Fresado y repavimentado	85
4.2.7.	Riego de sello con gravilla (<i>chip seal</i>)	87
4.2.8.	Riego negro (fog seal)	93
4.3.	Intervención recomendada a cada tipo de falla	97
4.3.1.	Intervención para deformaciones.....	97
4.3.1.1.	Ahuellamientos	98
4.3.1.2.	Baches.....	99
4.3.1.3.	Corrugaciones	99
4.3.1.4.	Desplazamiento de borde.....	100
4.3.2.	Fisuras y grietas	100
4.3.2.1.	Piel de cocodrilo	101
4.3.2.2.	Fisuras en arco o lengüetas.....	101
4.3.2.3.	Grietas longitudinales	102
4.3.2.4.	Grietas transversales.....	103
4.3.2.5.	Grietas por reflexión	103
4.3.2.6.	Grietas en bloque	104
4.3.3.	Desprendimientos.....	104
4.3.3.1.	Ojo de pescado.....	104
4.3.3.2.	Pérdida de película ligante	105
4.3.3.3.	Peladura o descascaramiento	105
4.3.3.4.	Pérdida de agregado	105
4.3.3.5.	Descarnadura o cabezas duras.....	106
4.3.4.	Afloramientos.....	106
4.3.4.1.	Afloramiento de agua.....	106
4.3.4.2.	Afloramiento de ligante	106
4.3.5.	Alisamientos	107
4.3.5.1.	Afloramiento de mortero	107

	4.3.5.2.	Desgaste de áridos (agregados pulidos).....	107
5.		MAQUINARIA EMPLEADA EN REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	109
5.1.		Equipo de mantenimiento general.....	110
5.2.		Equipo de mantenimiento de carpeta asfáltica.....	110
	5.2.1.	Equipo para escarificación	111
	5.2.2.	Equipo para limpieza.....	111
	5.2.3.	Equipo para riego de liga o imprimación	113
	5.2.4.	Equipo para sellado de juntas o grietas	115
	5.2.5.	Equipo para asfaltar	117
	5.2.6.	Equipo de compactación	118
	5.2.7.	Equipo para fracturación o corte	118
	5.2.8.	Otros equipos utilizados en reparación de carreteras	119
6.		SEGURIDAD OCUPACIONAL EN REHABILITACIÓN DE CARRETERAS	123
6.1.		Lineamientos de salud y seguridad.....	124
	6.1.1.	Políticas de seguridad	125
	6.1.2.	Organización de la seguridad.....	126
6.2.		Equipo de protección personal.....	130
	6.2.1.	Protección para pies.....	131
	6.2.2.	Protección para cabeza.....	132
	6.2.3.	Protección auditiva	134
	6.2.4.	Protección de las vías respiratorias.....	134
	6.2.5.	Protección de la visión	135
	6.2.6.	Protección para las manos.....	136

6.2.7.	Protección de advertencia reflectiva contra terceros.....	137
6.2.8.	Protección contra caídas	138
6.2.9.	Equipo de protección perimetral y control de tráfico.....	139
CONCLUSIONES		147
RECOMENDACIONES.....		149
BIBLIOGRAFÍA.....		151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles.....	17
2.	Esquema de las capas de un pavimento flexible	21
3.	Zonas de especificaciones granulométricas para materiales de base y subbase	30
4.	Zona de especificación granulométrica para materiales pétreos que se empleen en concretos asfálticos	36
5.	Huella de rodadura.....	44
6.	Canalizaciones.....	45
7.	Asentamientos transversales	45
8.	Baches	46
9.	Abultamientos o corrugaciones	47
10.	Desplazamiento de borde	47
11.	Piel de cocodrilo	48
12.	Fisuras en arco	49
13.	Grietas longitudinales.....	49
14.	Grietas transversales	50
15.	Reflexión de juntas.....	51
16.	Grietas de bloque (resanadas).....	51
17.	Ojo de pescado	52
18.	Pérdida de película ligante	53
19.	Peladura.....	54
20.	Pérdida de agregado.....	54
21.	Descarnadura.....	55

22.	Afloramiento de agua.....	56
23.	Exudación de ligante.....	57
24.	Afloramiento de ligante asfáltico	57
25.	Desgaste de áridos	58
26.	Sello tipo venda o curita.....	81
27.	Máquina fresadora de asfalto en frío, CAT PM 102 Wheel.....	112
28.	Fresadora pequeña o liviana, CENNIT CSD 335 EHY	112
29.	Escoba mecánica, CMV.....	113
30.	Barredora mecánica, Rosco RB-48A	113
31.	Petrolizadora, Strata Seaman	114
32.	Petrolizadora remolcable, Rosco RMT-1000	114
33.	Batea regadora de asfalto, Indhor BRA 40	115
34.	Máquina para sellado de juntas, Breining mono 800	116
35.	Selladora de juntas pequeña, Breining VG 800	116
36.	Camión de volteo, International Workstar 7300	117
37.	Camión de bacheo, Bergkamp FP5	118
38.	Rodillo vibratorio de doble tambor, Vibroplus LA-91	119
39.	Rodillo vibratorio manual con dirección hidráulica, Enar REN650DK ..	119
40.	Apisonadora mecánica (Bailarina), Wacker BS 50-2	120
41.	Plancha vibratoria, Wacker VP-1550	120
42.	Cortadora de asfalto. Kormax KCC-16	120
43.	Martillo hidráulico, Chicago Pneumatic RX4, colocado en un minicargador BobCat S185.....	121
44.	Compresor de aire portátil, Sullair 425 CFM.....	121
45.	Planta generadora de electricidad, Lincoln Vantage 500	121
46.	Torre de iluminación, Terex AL5	122
47.	Equipo de protección personal o individual.....	130
48.	Calzado de seguridad/protección para los pies	132
49.	Casco de seguridad y barbiquejo, (a) casco, (b) barbiquejo.....	133

50.	Protectores para la audición, (a) tapón reutilizable de goma, (b) tapón desechable de espuma, (c) orejeras	134
51.	Protectores de las vías respiratoria, (a) mascarilla desechable, (b) respirador sencillo	135
52.	Gafas de seguridad, (a) lentes de seguridad, (b) careta	136
53.	Guantes de seguridad, (a) guante recubierto con nitrilo, (b) guantes de carnaza	137
54.	Chalecos reflectivos	137
55.	Arnés de seguridad	138
56.	Cono reflector.....	140
57.	Tonel reflector	140
58.	Barrera reflectora	141
59.	Malla perimetral.....	142
60.	Banderín.....	142
61.	Señales DPP.....	143
62.	Señales DPI	143
63.	Señales DPC.....	144
64.	Flecheros	145

TABLAS

I.	Materiales de subbase	25
II.	Materiales de base granular	29
III.	Graduación para material de subbase o base granular.....	30
IV.	Especificaciones granulométricas para materiales pétreos.....	34
V.	Abreviaturas para el nivel de severidad de las fallas	97

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
Km	Kilómetro
Kph	Kilómetros por hora
L/m²	Litros por metro cuadrado
Máx.	Máximo
m	Metro
mm	Milímetros
Mph	Millas por hora
Mín.	Mínimo
Núm.	Número

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials.
Abrasión	Desgaste por fricción.
Adherencia	Capacidad para que se produzca una unión. Pegar una cosa con otra.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Bitumen	Bitumen o betún, es una mezcla de líquidos orgánicos obtenida como residuo de la destilación del petróleo. Está compuesto mayoritariamente por hidrocarburos policíclicos aromáticos, y es negro, viscoso, pegajoso y muy tóxico. Se disuelve completamente en disulfuro de carbono.
Cohesión	Adhesión de cosas entre sí o entre las materias de que están conformadas.
Consolidación	Es un proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos, provocado por la actuación de sollicitaciones sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo.

Deflexión	Deformación que sufre un elemento por el efecto de las flexiones internas.
Disipar	Desaparecer, esparcir gradualmente algo. Desvanecer.
Esfuerzo portante	Sinónimo de capacidad portante. Es la capacidad de un suelo de soportar las cargas aplicadas sobre él.
Esfuerzos	Es la resistencia que ofrece un área unitaria (A) del material del que está hecho un miembro para una carga aplicada externa.
Estabilización de suelo	Mejorar las características del suelo a través de la inserción de elementos resistentes a la tracción.
Fraguar	Proceso químico de endurecimiento y pérdida de plasticidad de una pasta de materiales.
Humedad óptima	Contenido de agua con el que se consigue la máxima densidad seca, para una energía de compactación indicada.
Inmiscible	Que no se puede mezclar.
<i>In situ</i>	Hecho en el lugar, en el sitio.

Intemperie	Ambiente atmosférico considerado como variaciones e inclemencias del tiempo que afectan a los lugares o cosas no cubiertos o protegidos.
Motoconformadora	Conocida como patrol, es una máquina de construcción que cuenta con una larga hoja metálica (cuchilla) empleada para nivelar terrenos.
Olladora	Máquina con apariencia de tornillo, sirve para hacer agujeros y a la vez extraer el material barrenado.
Petrolizadora	Máquina para regar emulsiones asfálticas.
Resistencia	Capacidad de soportar un esfuerzo de una intensidad dada durante un período de tiempo.
Sangrado	Exudación en el asfalto.
Segregación	Apartar, separar una cosa de otra. Descomposición de la homogeneidad de una mezcla.
Sistemático	Que sigue o se ajusta a un sistema. Metódica, que procede organizadamente en su forma de hacer.

RESUMEN

En la actualidad las calles y carreteras de Guatemala están conformadas en su mayoría con pavimentos asfálticos también llamados “flexibles”. Como todo, el pavimento también necesita de mantenimiento para su correcto funcionamiento. Existen dos tipos de mantenimiento: rutinario y periódico, a este texto le compete el mantenimiento periódico, que es el que se da cuando en el pavimento se presenta algún deterioro.

Este trabajo de graduación presenta en sus primeros capítulos generalidades que ayudan a comprender, como se constituye un pavimento flexible y las consideraciones iniciales para un diseño adecuado, con características específicas de los materiales que lo conforman, ya que tanto procedimientos constructivos como calidad de los materiales, son factores críticos en la aparición eventual de deterioro y fallas. En este texto se detalla cada tipo de falla que puede encontrarse en pavimentos de asfalto, con ilustraciones explícitas de cada una.

Más importante que conocer los tipos de fallas o deterioros, es conocer las causas que lo originan para poder tomar una mejor decisión al momento de intervenirla. Por esto, en el capítulo 3 de este texto se crea un listado de las posibles causas que originan cada tipo de falla. Luego, en el capítulo 4, se presentan métodos seleccionados para dar solución a esta problemática y así poder decidir de manera adecuada un método para tener un buen resultado.

En los apartados finales se logra introducir al lector al conocimiento general sobre el equipo y maquinaria, que se emplea en los trabajos de

mantenimiento de carreteras. Como todo trabajo en ingeniería civil, una parte esencial es la seguridad y se podrá encontrar lineamientos en el tema de la organización de seguridad ocupacional, en obras de carretera y equipo de seguridad tanto personal como en el área de trabajo. Cabe destacar que estos lineamientos de seguridad aplican en general, para seguridad ocupacional en la construcción.

OBJETIVOS

General

Elaborar un documento de consulta general para la orientación en las tareas de reparación y reconstrucción de pavimentos asfálticos, mejorando las prácticas en campo.

Específicos

1. Dar a conocer cada una de las fallas que pueden presentarse en pavimentos hechos con asfalto, para ser identificadas correctamente.
2. Proporcionar al lector información que le ayude a identificar las causas que originan la falla que investiga.
3. Proporcionar lineamientos para intervenir las fallas localizadas de manera eficaz para una reparación duradera.
4. Introducir al lector al parque de maquinaria y equipo comúnmente utilizado en obras viales de mantenimiento y al profesional una orientación en la elección de la maquinaria que necesita, para intervenir fallas y deterioros en un pavimento.
5. Hacer conciencia sobre la importancia de la seguridad ocupacional en obras viales, así como lineamientos para implementarla y administrarla.

INTRODUCCIÓN

El pavimento asfáltico, también llamado pavimento flexible por sus propiedades físicas y mecánicas, es una estructura compuesta que posee un tiempo de vida útil estimado a 20 años. Hoy en día esto no se logra debido a varios factores, que van desde la concepción del diseño hasta los procesos constructivos, estos factores aceleran el deterioro de un pavimento y esto conlleva la necesidad de una reparación o reconstrucción prematura.

Las carreteras y autopistas que comprenden la mayoría de las rutas están compuestas por pavimentos asfálticos. Es por esta razón que debe conocerse el comportamiento de cada material que lo compone, la concepción de su diseño y los métodos de reparación existentes, para poder proporcionar una correcta reconstrucción de la vía, y de esta manera prolongar la vida útil del pavimento. Muchas veces las prácticas cotidianas de reparación de pavimentos son bastante generales y superficiales, por lo que este trabajo de graduación trata de ampliar los conocimientos y técnicas para llevar a cabo reparaciones o reconstrucciones de pavimentos elaborados con material asfáltico.

En este texto se presenta de manera sistemática, cada una de las partes esenciales del conocimiento en materia de reparación de pavimentos asfálticos, tales como conocimientos generales de carreteras, comprensión de lo que es un pavimento, análisis de las fallas, equipo necesario y la seguridad ocupacional que conlleva realizar un buen trabajo. Todos estos tópicos son tratados en este trabajo, debido a la deficiencia que existe en el país sobre la implementación, control y desarrollo de los mismos.

Es de suma importancia tener nociones del trabajo que se realiza, por ser un trabajo de servicio público que beneficia a una población entera. Una vía en buen estado refleja un crecimiento económico representado en tiempo, tránsito y no deterioro a los vehículos. Por otro lado, un pavimento en condiciones óptimas representa menos peligro para los usuarios, es más seguro y proporciona mayor confort.

1. DEFINICIONES Y CONCEPTOS

1.1. Términos en carreteras

- **Alcantarillado**
Galería abovedada bajo la carretera para la conducción del agua de lluvia y darle paso a través del pavimento sin afectarlo.
- **Área lateral o de servicio**
Es un área adyacente a la carretera usada para estacionamiento temporal de vehículos. Es un sobre-ancho del carril y debe estar debidamente señalizado.
- **Ataguía**
Es una presa temporal utilizada para encausar agua cuando existe riesgo de inundación del área de trabajo. La ataguía puede construirse con suelo, sacos con tierra/arena o tablestacas.
- **Banco de materiales**
Lugar de extracción de materiales debidamente aprobado. El banco de materiales posee agregados clasificados y de buena calidad.
- **Base y subbase**
Capas de material granular selecto, gravas tendidas entre la subrasante y la carpeta de rodadura.

- **Bombeo**
Es la pendiente transversal de la carretera. Es la pendiente que conduce el agua fuera de la superficie del pavimento.
- **Calzada**
La parte destinada a la circulación de vehículos en las carreteras pavimentadas o en los tableros de puentes. Se compone de un cierto número de carriles y está dentro de los límites de construcción de la carretera.
- **Carpeta de rodadura**
Capa superior de un pavimento. Es la superficie terminada en donde circulará el tránsito vehicular. Puede ser de asfalto o de concreto hidráulico, en algunos casos la terracería se usará como rodadura, debido a la falta de presupuesto.
- **Carretera**
Vía de tránsito vehicular público y está construida dentro de los límites del derecho de vía.
- **Carril**
Franja longitudinal de una calzada, delimitada por marcas viales longitudinales, con ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos. En algunas carreteras hay carriles para motocicletas o bicicletas, llamadas motovías y ciclovías.
- **Carril auxiliar**
Parte de la calzada que se construye con un ancho mayor, para permitir a los vehículos ingresar o salir de la carretera.

- **Defensa**
Elemento protector en el borde de un puente, puede ser un muro o una baranda. También es colocada en las curvas de carreteras para evitar que los vehículos se salgan de la carretera cuando hay peligro de riscos.

- **Derecho de vía**
Banda de terreno, propiedad del Estado, que incluye la calzada, los hombros y franjas laterales en ambos lados de la carretera.

- **Hombro**
En algunos países también se le llama arcén. Es una banda longitudinal, pavimentada o no, en ambos bordes del pavimento, entre el pavimento y la cuneta. El hombro sostiene el pavimento, conduce el agua de lluvia hacia la cuneta y permite estacionar vehículos en situaciones de emergencia.

- **Junta transversal**
Junta de construcción del pavimento, perpendicular al eje de la carretera.

- **Paso inundable (badén)**
Estructura construida atravesando un pequeño caudal de agua, por ejemplo un riachuelo. Permite el paso de agua por debajo de la carretera, y en ocasiones de crecidas de agua por lluvias, este paso puede inundarse.

- **Pavimento**
Es la estructura o conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los

estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento estable.

- **Plataforma**
Es el suelo debidamente conformado y compactado sobre el cual se construirá la estructura del pavimento y los hombros.
- **Puente**
Estructura que permite cruzar depresiones o barrancos, por encima de un curso de agua o por cualquier otro obstáculo. Un puente consta de estribos, tablero, y a veces aletas y pilas.
- **Rampa o junta de trabajo**
Es una pequeña rampa de asfalto hecha en el extremo de la capa de asfalto tendida recientemente, para dar acceso temporalmente al tránsito.
- **Rasante o corona**
Es el punto más alto de la sección de la carretera. Generalmente es la línea central, que forma las pendientes para evacuar el agua de lluvia hacia las cunetas laterales.
- **Socavación**
Es una excavación profunda originada por la erosión que produce el movimiento del agua.
- **Subrasante**
La capa de suelo natural estabilizado y conformado, en la que se asentará la estructura de pavimento.

- **Talud**
Terreno natural o construido, que forma ángulo con la horizontal, con pendiente positiva o negativa. El ángulo debe ser tal, que reduzca el riesgo de derrumbes o deslaves.
- **Terraplén**
Obra de tierra, producto de un relleno, que se construye para alcanzar el nivel necesario del pavimento cuando existen depresiones en el recorrido.
- **Tratamiento superficial**
Técnicas con productos asfálticos y/o agregados pétreos, que se aplican sobre la carpeta de rodadura de un pavimento flexible, para mejorarlo o reconstruirlo.
- **Vado**
Camino para atravesar un río, es de poca profundidad y de fondo estable. Puede atravesarse a pie, en caballo o en vehículo.

1.2. Drenaje

- **Arenero**
Es un pozo destinado a la retención de lodos que circulan en la red de alcantarillado.
- **Azudes**
Pequeños obstáculos construidos en la sección de una cuneta, para reducir la velocidad del agua y reducir la posibilidad de erosión.

- **Berma**
Un borde llano o barrera elevada de suelo, hecha para separar dos zonas diferentes. También se utiliza para dirigir un curso de agua o como una barrera de protección.

- **Caída o bajada de agua**
Canalización de drenaje construido en un talud, por donde baja el cauce de agua de las contra cunetas.

- **Contra cuneta**
Cuneta construida en la parte alta del talud, para interceptar agua que cae hacia la carretera.

- **Derramadero**
Canalización de drenaje con una serie de escalones, a veces con zonas para sedimentación de lodos, hecha para llevar el agua por una pendiente fuerte.

- **Descarga**
Punto de descarga de una cuneta, alcantarilla, desagüe o canalización.

- **Disipadores**
Estructura en forma de escalones, hecha para dispersar la energía del flujo de aguas lluvias de una cuneta o drenaje. Minimiza el riesgo de erosión aguas abajo.

- **Dren o cuneta**
Excavación larga y estrecha a los lados de la carretera para recoger y conducir el agua fuera de la superficie de la carretera. Normalmente

están hechas de concreto hidráulico, aunque para caudales pequeños pueden ser de tierra.

- **Drenaje**
Captación y retirada del agua de la superficie y del subsuelo por medios naturales o artificiales.
- **Drenaje francés o dren profundo**
Sistema de tubos permeables colocados para captar y canalizar agua del subsuelo.
- **Emisario**
Tubo subterráneo que conduce el agua del drenaje.
- **Pozo de registro**
Pozo o arqueta accesible, con tapa, que es parte del sistema de drenaje y permite la inspección y conservación de tuberías de drenaje.
- **Rastrillo**
Estructura a la salida o a la entrada de una alcantarilla, hecha para contener la turbulencia y evitar la erosión.
- **Reja o rejilla**
Barrera de metal colocada a la entrada de una alcantarilla para retener basura o escombros flotantes de tamaño grande, dejando paso al agua.
- **Solera**
La parte más baja de la sección interior de una cuneta o de una alcantarilla.

- **Suelo permeable**
Suelos a través de los cuales el agua drena con facilidad, por ejemplo arena.
- **Umbral**
La parte plana de la solera de una entrada o salida de la alcantarilla.
- **Zampeado o rip rap**
Piedras, generalmente de 5 a 50 kg, usadas para proteger contra la socavación las orillas o el lecho de una corriente.

1.3. Actividades de conservación

- **Bacheo**
Reparaciones locales pequeñas (baches) de la carpeta asfáltica.
- **Barrido**
Uso de un cepillo o escoba mecánica para limpiar el área previo a colocar ligante asfáltico. También se utiliza para retirar la gravilla excedente en un tratamiento superficial.
- **Compactación**
Reducción de volumen de un material, por medio del peso aplicado mediante compactadores o rodillos.
- **Conservación de carreteras**
Actividades de rutina, periódicas o de emergencia, para garantizar que una carretera esté en las condiciones más parecidas a las de su estado original de construcción: pavimento, hombros, taludes, drenajes y todas

las estructuras dentro de la zona del derecho de vía. Pueden ser reparaciones menores o mejoras para eliminar la causa del deterioro y evitar acciones repetitivas de la falla.

- **Conservación urgente**
Situaciones imprevistas que precisan acción urgente, sin demora, por ejemplo inundaciones, desprendimientos.
- **Desmante**
Limpieza y excavación del terreno natural, previo a la construcción de la carretera, incluyendo los taludes.
- **Enarenado o capa de arena**
Arena en la superficie asfáltica, utilizada para contrarrestar la exudación de asfalto. Debe ser removido todo el material suelto.
- **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.
- **Mantenimiento o conservación de rutina**
Trabajos que se hacen de manera frecuente para mantener en buenas condiciones y limpias las carreteras. No se necesita de mano de obra calificada, ni maquinaria especializada.
- **Mantenimiento o conservación periódica**
Trabajos que se hacen cada cierto tiempo, dependiendo el estado del pavimento, que son necesarios para reparar y reconstruir las carreteras.

Requieren de mano de obra especializada y de maquinaria y equipo, según sea necesario.

- **Pasada**
Recorrido longitudinal en un sentido, hecho por una niveladora, rodillo u otra máquina, para extender, colocar o compactar materiales en la carretera. El número de pasadas depende del supervisor.
- **Riego de regeneración o rejuvenecimiento**
Capa muy fina de asfalto rociado en una superficie de carretera, para unir o enriquecer la superficie.
- **Tratamiento superficial**
Un tratamiento superficial consistente en una película de asfalto, rociada o tendida a mano, seguida por la extensión de una capa de gravilla y de aplicación de rodillo.

1.4. Equipo en mantenimiento

- **Escarificado o fresado**
Rotura sistemática y desmenuzando de la capa superior de un pavimento, con medios mecánicos.
- **Estacas o trompos**
Troncos de madera de diámetro aproximado de 10 cm y de longitud variable con punta en un extremo. Se incrustan en la tierra y la parte de arriba de la estaca es la referencia a la que debe quedar nivelado un corte o un relleno, como control de espesor.

- Mezclador
Planta mecánica proyectada para graduar y mezclar áridos y asfalto, en elaboración de mezclas.
- Rampas
Planchas de madera o de acero usadas para cargar y descargar elementos no muy grandes del equipo.
- Rastra
Se le llama de esta manera al vehículo sobre el que se transporta maquinaria pesada, halado por un camión.
- Tablón de madera
Es una pieza de madera similar a una tabla, con la diferencia de que el tablón es más grueso que la tabla. Se utilizan para hacer camino a un vehículo pesado sobre un terreno inestable o para evitar que las orugas dañen el pavimento.
- Tolva
El cuerpo de una pavimentadora/extendedora en el que se vierte el material premezclado para ser extendido.
- Tolva o silo
Contenedor para almacenado de áridos, alimentado por su parte alta y descargado por su parte inferior.

1.5. Materiales para el mantenimiento

- Agregado pétreo
Rocas limpias, resistentes y duraderas. Pueden ser producidas en trituradora o tomadas de un banco de materiales. Debe cumplir con normas de granulometría y propiedades físicas y químicas específicas para utilizarse en la mezcla asfáltica.
- Alquitrán
Un ligante derivado de procesos con carbón.
- Árido
Mezcla de elementos minerales, duros, por ejemplo: arena, grava, roca triturada.
- Asfalto
Expresión usada para referirse a materiales bituminosos mezclados en planta.
- Emulsión aniónica
Son emulsiones con carga eléctrica negativa. Presentan buena afinidad y resistencia al desplazamiento frente a los áridos calizos, con un mal comportamiento respecto a los silíceos. Pueden ser de rompimiento rápido, medio o lento.
- Emulsión catiónica
Son emulsiones con carga eléctrica positiva. Su rotura ocurre de la inmediata atracción química de las micelas ionizadas del betún, cargado

positivamente con la superficie que se desee tratar que también esté ionizada.

- **Gavión**
Canasta de planta rectangular formada por paredes en red de alambre, que se rellena de rocas. Los gaviones se usan a menudo como estructuras de protección contra la socavación o como muros de contención.
- **Ligante asfáltico**
Un producto derivado del petróleo o producto natural usado para unir o envolver áridos para pavimentos de carretera.
- **Mezcla asfáltica**
Mezcla de asfalto y áridos, para ser utilizada en la carpeta de rodadura.
- **Tepe**
Un manto de césped que se forma excavando un área de hierba viva con unos 5 cm de suelo vegetal, que incorpora raíces, para luego ser trasladado a una nueva ubicación.
- **Tractolina**
Petróleo agrícola. Es un tipo de keroseno fabricado para tractores.

2. EL PAVIMENTO

Se llama pavimento a la estructura o conjunto de capas de material seleccionado, que reciben y transmiten en forma directa las cargas del tránsito hacia los estratos inferiores, disipando la energía en cada capa. El pavimento proporciona una superficie de rodamiento que debe funcionar eficientemente.

Ancho de la calzada, trazo horizontal y vertical, resistencia ante las fallas y los agrietamientos, adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas, son las condiciones necesarias para que el pavimento funcione adecuadamente. El pavimento debe presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, intemperie y del agua.

Los esfuerzos generados por el tránsito decrecen conforme se profundizan las capas soportantes, esto permite colocar materiales de menor calidad y resistencia en las capas inferiores y los materiales de la mejor calidad en las capas superiores. Las capas que conforman un pavimento, se construyen de esta manera principalmente por factores económicos, ya que al determinar el grosor de una capa se busca el espesor mínimo necesario para reducir los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior, de lo contrario, a mayor grosor de capa, mayor volumen de material, lo cual se traduce en un costo mayor.

El grado de compactación y la humedad óptima del material a compactar son dos factores importantes, porque cuando un material no se acomoda adecuadamente, tiende a consolidarse por efecto de las cargas y es cuando se asienta produciendo deformaciones permanentes.

Al hablar de pavimentos, básicamente existen dos tipos: los pavimentos flexibles (concreto asfáltico) y los pavimentos rígidos que están fabricados con concreto hidráulico, es decir, están hechos con mezcla de concreto de cemento portland.

Este documento tiene como base el estudio del pavimento flexible, por lo que no se desarrollará el tema de pavimentos rígidos.

2.1. Pavimentos flexibles

Se denominan pavimentos flexibles a aquellos cuya estructura puede deflectarse o flexionarse, adaptándose a las cargas generadas por el tránsito sin sufrir deformaciones permanentes. Este tipo de pavimentos son de amplio uso en zonas de tráfico significativo como carreteras, calles de acceso y parqueos, entre otros.

La estructura del pavimento flexible está compuesta por varias capas de material y cada capa recibe las cargas provenientes de la capa inmediata superior, transfiriéndolas a la capa inmediata inferior, por lo tanto, la capa más profunda en la estructura del pavimento recibe menos carga, debido a la disipación de la energía entre las capas. Generalmente estas capas son colocadas en orden descendente según su capacidad de carga, la capa superior es la que posee la mayor capacidad de carga (siendo la más cara) y la de capacidad de carga más baja (la más económica) se coloca en la parte inferior de la estructura.

Los principales procesos utilizados en la construcción de pavimentos flexibles son:

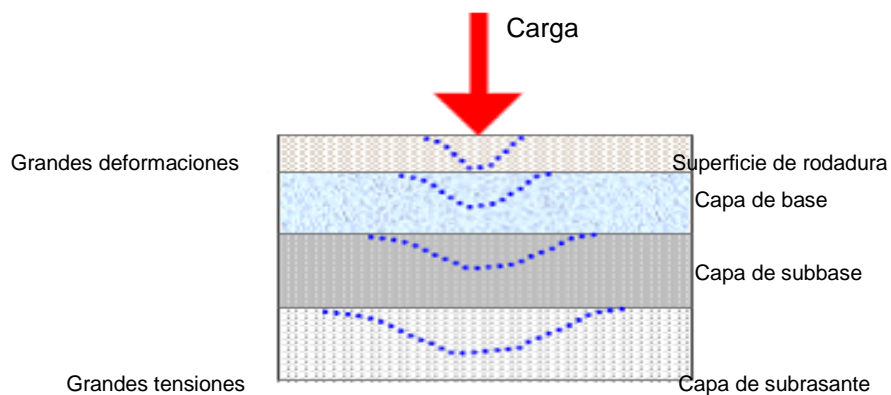
- Concreto bituminoso plantado en caliente
- Premezclados en frío
- Tratamientos superficiales
- Microconcretos bituminosos

2.1.1. Características de los pavimentos flexibles

El pavimento flexible debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la abrasión, intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir a las capas inferiores los esfuerzos generados por el tránsito.

La estructuración de un pavimento flexible generalmente está compuesta por tres capas superpuestas. La primer capa es la “carpeta de rodadura o capa superficial”, la inmediata inferior es la capa “base” y la última, arriba de la subrasante (terreno natural estabilizado y compactado), es la capa “subbase”. Se ampliará este tema en la sección 2.1.3

Figura 1. **Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles**



Fuente: CORONADO, Jorge. *Manual centroamericano para diseño de pavimentos*. p. 93.

Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes: resistencia estructural, deformabilidad, impermeabilidad, durabilidad, costo, requerimientos de conservación y comodidad.

- Resistencia estructural: significa que debe soportar y distribuir adecuadamente, las cargas del tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura. Los esfuerzos cortantes se consideran como la principal causa de falla estructural del pavimento. Además de los esfuerzos cortantes también se tienen los producidos por la aceleración, acción de frenado y esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura, por lo tanto el pavimento debe resistir la acción destructora de los vehículos.
- Deformabilidad: debe presentar flexibilidad para adaptarse a algunas deformaciones de base o subbase, además debe ser deformable a manera de resistir esfuerzos que produzcan una falla o rotura abrupta. La deformabilidad debe estar dentro del rango elástico para evitar deformaciones permanentes en la estructura del pavimento, lo cual sería una falla propia del pavimento.
- Impermeabilidad: debe impedir el paso del agua al interior del pavimento, para que las capas inferiores puedan mantener su capacidad soporte y de esta manera evitar socavaciones, asentamientos y fallas de las capas inferiores.
- Durabilidad: la durabilidad del pavimento está ligada a factores económicos y sociales, depende de la importancia que tenga el uso de la vía. La durabilidad se basa en evitar costos por reparaciones constantes

del pavimento, claro que no se puede evitar llegar a la vida útil de un pavimento, pero es necesario que el pavimento esté en buenas condiciones hasta llegar al término de su servicio.

- **Costo:** esta característica refiere a un balance de costos entre la construcción y el diseño, tal como acarreo de material, calidad del material y espesores mínimos aceptables sin afectar la resistencia y durabilidad del pavimento.
- **Requerimientos de conservación:** los factores climáticos influyen de gran manera en la vida de un pavimento. Otro factor es la intensidad del tránsito, ya que se tiene que prever el crecimiento futuro. Se debe tomar en cuenta el comportamiento futuro de las terracerías, deformaciones y derrumbes. La degradación estructural de los materiales por carga repetida es otro aspecto que no se puede dejar de lado. La falta de conservación sistemática hace que la vida de un pavimento se acorte.
- **Comodidad:** la seguridad es muy importante al igual que la estética. Debe poseer una superficie de rodamiento cómoda, segura y suave para el tránsito de los vehículos. En autopistas y carreteras de primer orden, la velocidad de diseño del proyecto no debe ser ningún problema para el conductor. Otra característica de la comodidad puede ser una adecuada visibilidad y un paisaje limpio para no fatigar al conductor.

2.1.2. Duración de un pavimento flexible

Los pavimentos flexibles que son elaborados con mezcla de agregados pétreos y cemento asfáltico, resultan más económicos en su construcción inicial, tienen un período de vida útil entre 10 y 20 años, pero tienen la

desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Factores económicos y sociales afectan el período de diseño o duración del pavimento, también afecta la importancia que se le dé a la vía, por ejemplo si es de primer, segundo o tercer orden.

Para pavimentos flexibles, la estrategia de diseño seleccionado deberá presentar una duración inicial mínima de ocho años, antes de que sea obligatoria la superposición de otra capa, pero la duración óptima debería estar diseñada para un período de 20 años. Cuanto mayor sea el módulo que se añada a la capacidad estructural de las capas de pavimento, la carga se distribuye a lo largo de un área más amplia de la subbase o suelo de apoyo, lo que conduce a una mayor duración del pavimento al reducirse los esfuerzos provocados por el tránsito.

2.1.3. Elementos de la estructura de un pavimento flexible

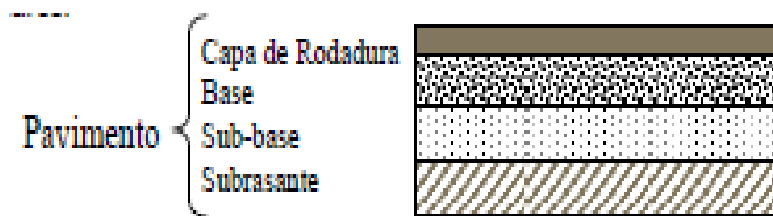
La estructura de un pavimento está constituida por un conjunto de capas superpuestas, que se diseñan y construyen con materiales apropiados y adecuadamente compactados.

En la estructura de un pavimento flexible, generalmente se identifican tres elementos o capas principales. Estas capas son:

- Capa superficial o de rodadura: también conocida como carpeta de rodadura o carpeta asfáltica, está comprendida en la parte superior de un pavimento flexible que entra en contacto directo con el tráfico. Es una capa de agregado pétreo cementado con bitumen de asfalto, que se coloca directamente sobre la capa base. Puede componerse por una o varias capas asfálticas.

- Capa base: esta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa de rodadura y, en general, se compone de agregados debidamente graduados, estabilizados o no.
- Capa subbase: esta es la capa que está directamente bajo la capa base. La subbase no siempre es necesaria si se tiene una subrasante de buena calidad. Los materiales que componen esta capa son de calidad más baja que los materiales de la capa base.
- Subrasante: puede decirse que es un suelo natural, estabilizado o no, debidamente compactado que sirve de cimentación para la estructura de pavimento.

Figura 2. **Esquema de las capas de un pavimento flexible**



Fuente: COVIAL. *Especificaciones especiales 2014*. p.16.

2.1.3.1. **La subbase granular**

La subbase granular debe cumplir con ciertas funciones y especificaciones técnicas para lograr cumplir su función dentro de la estructura, sin afectar el desempeño del pavimento.

2.1.3.1.1. Funciones de la subbase granular

- **Función económica**
El grosor de la subrasante para que el nivel de esfuerzos sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad, aunque es preferible colocar las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad, siendo de esta manera la capa más barata. Utilizar materiales de baja calidad puede generar un aumento en el espesor total del pavimento, pero aun así puede resultar más económica. Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica, por la baja resistencia requerida por la disipación de las cargas.
- **Como capa de transición**
Una subbase bien diseñada y conformada, impide que los materiales de la capa base penetren en la subrasante, además actúa como filtro de la base, impidiendo que los finos de la subrasante contaminen la base reduciendo su calidad.
- **Para disminuir las deformaciones**
Los cambios volumétricos de la subrasante son dañinos para el pavimento y pueden absorberse con la subbase, impidiendo que estas deformaciones se reflejen en la capa base y por ende, en la superficie de rodamiento.

- **Resistencia**
La subbase debe soportar los esfuerzos que le transmiten las capas superiores por acción de las cargas del tránsito y transmitirlos en un nivel adecuado a la subrasante.
- **Drenaje**
La subbase se utiliza como capa de drenaje, debe drenar el agua que pueda introducirse por la carpeta de rodadura o por los taludes de los bordes del pavimento. También debe impedir la ascensión del agua por capilaridad, por lo que se utilizan materiales granulares, evitando el hinchamiento del pavimento por acción de la saturación del agua.

2.1.3.1.2. Especificaciones técnicas para la subbase granular

A continuación se presentan las especificaciones requeridas para la capa subbase, según lo indicado en el *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos* de la Secretaría de Integración Centroamericana (SIECA), junto con las *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes* del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (MICIVI) de Guatemala:

- **Materiales**
El material de subbase deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (CBR) que el material de subrasante. Su espesor puede ser variable por tramos, dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante.

Los materiales de subbase deben ser suelos del tipo granular que llenen los siguientes requisitos:

- El valor soporte (CBR) debe determinarse según el ensayo AASHTO T-193 y dar un mínimo de 30, hecho sobre una muestra saturada a 95 % de compactación dada por la AASHTO T-180.
- El tamaño del agregado grueso que contenga el material de subbase no debe exceder de 70 mm ni ser mayor a 1/2 del espesor de esta capa. Los porcentajes que pasan los tamices Núm. 40 y Núm. 200, según el ensayo AASHTO T-11 y T-27 no más del 50 % para el tamiz Núm. 40 y no más del 25 % para el tamiz Núm. 200.
- El índice de plasticidad para la porción que pasa el tamiz Núm. 40 debe determinarse por el ensayo AASHTO T-90 y no debe ser mayor a 6, y el límite líquido mediante el ensayo AASHTO T-89, no debe ser mayor a 25. Ambos límites deben ser determinados sobre una muestra preparada en húmedo regulada por la AASHTO T-146.
- El equivalente de arena es determinado por el método AASHTO T-176, y no debe ser menor a 25.
- El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, materia orgánica, terrones de arcilla y cualquier otro material contaminante.

- Compactación

El material de subbase debe ser tendido en capas no mayores de 20 centímetros de espesor ni menores a 10 centímetros. Este debe homogeneizarse y conformarse, agregándole la cantidad de agua que sea necesaria (humedad óptima) para lograr la compactación en su totalidad, hasta alcanzar el 100 % de la densidad máxima establecida por el método AASHTO T-180. La humedad de campo debe determinarse secando el material o por el método con carburo, AASHTO T-217.

Un resumen de las características de calidad que se buscan en los materiales para elaborar una subbase, se muestran en la tabla I.

Tabla I. **Materiales de subbase**

Materiales de base granular		
Características	Zonas en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría	Especificación AASHTO
Valor Soporte estándar Saturado	70 mínimo	T-193
Desgaste por Abrasión a 500 revoluciones	50 máximo	T-96
Tamaño Máximo de Agregado	menor de 1/2 del grosor de la capa tendida	
Partículas alargadas y lajeadas	25 % máximo	
% Pasa Tamiz 40		T-27
% Pasa Tamiz 200	menor de la mitad que pasa Tamiz 40	T-11
Índice de Plasticidad	menor de 6	T-90
Límite Líquido	menor de 25	T-89
Equivalente de Arena	mayor de 30	T-176
Humedad de Campo		T-217
Compactación Mínima	100 %	T-180
Comprobación de compactación en campo		T-191
Deflexión por método de Viga Benkelman	1.5 mm máximo	T-256

Fuente: elaboración propia.

2.1.3.2. La base granular

Material constituido por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y finos. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

2.1.3.2.1. Funciones de la base granular

- **Resistencia**
La función fundamental de la base granular de un pavimento, consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito, en una intensidad apropiada.
- **Función económica**
Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase respecto a la base.
- **Drenaje**
La base granular también contribuye con el dren de las aguas de cavitación de las capas inferiores.

2.1.3.2.2. Especificaciones técnicas para la base granular

A continuación se presentan las especificaciones requeridas para la capa base, según lo indicado en el *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos* de la Secretaría de Integración Centroamericana (SIECA), junto con las *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes* del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (MICIVI) de Guatemala:

- **Materiales**

Debe corresponder a los tipos de graduación determinados según el método AASHTO T-27 y T-11. Además, el material de base es necesario que llene como mínimo las siguientes condiciones:

- Valor soporte (CBR) para piedra triturada y para grava (canto rodado), determinado según método AASHTO T-193 (mínimo de 70), la compactación de la muestra se rige por la AASHTO T-180 (muestra saturada al 95 % de compactación) y un hinchamiento máximo de 0,5 % según AASHTO T 193.
- El material debe estar libre de impurezas y residuos orgánicos.
- La porción de agregado retenida en el tamiz Núm. 4 no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión, mayor de 50, a 500 revoluciones, según el método dado por AASHTO T-96.

- La porción que pasa el tamiz Núm. 40 debe tener un índice de plasticidad según se indica en AASHTO T-90, no mayor de 6 y un límite líquido mayor al indicado en AASHTO T-89 (mayor a 25), determinados ambos resultados sobre una muestra preparada en húmedo según AASHTO T-25.
- El porcentaje que pasa el tamiz Núm. 200, debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz Núm. 40.
- El equivalente de arena no debe de ser menor de 30, como se indica en AASHTO T-176.

Cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, este debe ser libre de impurezas y consistir en suelo arenoso, limo, polvo de roca u otro material con alto porcentaje de partículas que pasen por el tamiz Núm. 10.

- **Compactación**

Antes de tender el material de base, el material de subbase debe tener la compactación especificada, que oscila entre el 30 y 40 %. Cuando el espesor de base sea mayor de 20 centímetros, se tendrá que hacer la compactación por capas, siempre que estas no sean mayores de 20 ni menores de 10 centímetros. Además, se tiene que humedecer la superficie entre capas, para conseguir una mejor adhesión entre estas y así evitar deslizamientos.

Al compactar, el material debe ser homogéneo y debe estar humedecido y mezclado para lograr la densidad especificada. La capa de base, ya terminada, tiene que quedar uniforme para evitar concentración de esfuerzos en la capa de rodadura, cuando el pavimento ya está dispuesto para la circulación de vehículos.

Tabla II. **Materiales de base granular**

Materiales de subbase			
Características	Zonas en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría		Especificación AASHTO
	<i>Subbase Común</i>	<i>Subbase Granular</i>	
Valor Soporte estándar Saturado	30 mínimo	40 mínimo	T-193
Desgaste por Abrasión a 500 revoluciones		50 máximo	T-96
Tamaño Máximo de Agregado	menor de 1/2 del grosor de la capa tendida	menor de 1/2 del grosor de la capa tendida	
Partículas alargadas y lajeadas		25 % máximo	
% Pasa Tamiz 40	50 % máximo		T-27
% Pasa Tamiz 200	25 % máximo	menor de la mitad que pasa Tamiz 40	T-11
Índice de Plasticidad	menor de 6	menor de 6	T-90
Límite Líquido	menor de 25	menor de 25	T-89
Equivalente de Arena	mayor de 25	mayor de 30	T-176
Humedad de Campo			T-217
Compactación Mínima	100 %		T-180
Comprobación de compactación en campo			T-191
Deflexión por método de Viga Benkelman	2 mm máximo	2 mm máximo	T-256

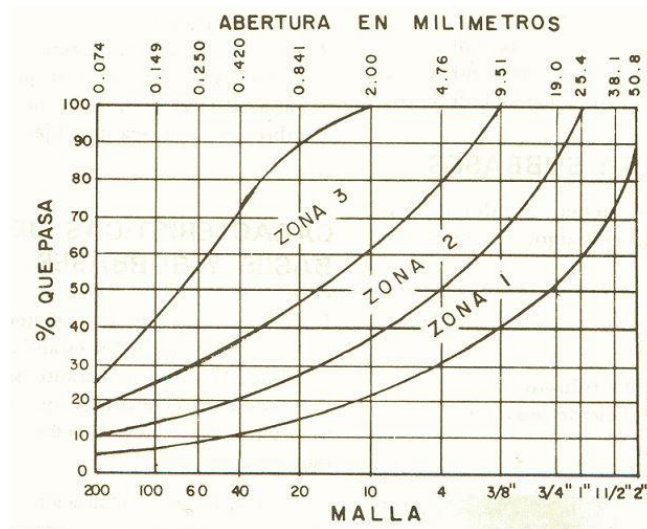
Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Graduación para material de subbase o base granular**

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

Fuente: MICIVI. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. p. 304-2

Figura 3. **Zonas de especificaciones granulométricas para materiales de base y subbase**



Fuente: RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. p. 113.

2.1.3.3. La carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica debe cumplir con ciertas funciones y especificaciones técnicas para lograr cumplir su función dentro de la estructura, sin afectar el desempeño del pavimento.

2.1.3.3.1. Funciones de la carpeta asfáltica

- **Superficie de rodamiento**
La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos de desgaste del tránsito, sin ser abrasivo a los neumáticos de los vehículos y ser lo suficientemente resistente al desgaste por los neumáticos.
- **Impermeabilidad**
Debe impedir la filtración de agua hacia las capas inferiores para evitar asentamientos o fallas progresivas.
- **Resistencia**
Debe presentar resistencia a los esfuerzos de tensión, corte y flexión, para complementar la capacidad estructural del pavimento. Debe soportar todas las cargas por acción del tránsito.

2.1.3.3.2. Lineamientos y especificaciones generales para carpetas asfálticas de rodadura

Los agregados pétreos provienen de suelos inertes en ríos o depósitos naturales. Para poder utilizar estos materiales en la carpeta asfáltica deben cumplir con especificaciones de granulometría, dureza, forma del agregado y adherencia con el asfalto. El contenido óptimo de asfalto para una carpeta de rodadura es la cantidad de asfalto necesaria, para formar una membrana de espesor suficiente alrededor del agregado, para resistir el intemperismo y evitar que el asfalto se oxide. Si el espesor es muy grande se pierde resistencia y estabilidad en la mezcla. Es recomendable que el agregado sea del tipo canto rodado, ya el material triturado pueden romperse muy fácilmente y afectar la granulometría.

Es importante saber que para construir cualquier carpeta asfáltica, se debe contar con una base debidamente conformada, compactada, impregnada y seca. A continuación se describen los tipos de carpetas asfálticas utilizadas en carreteras.

- Carpetas asfálticas de uno, dos y tres riegos

Sobre una base debidamente impregnada, se colocan sucesivamente una serie de capas de productos asfálticos y agregados pétreos. Los agregados pétreos que se utilizan deben tener una granulometría uniforme.

Se construyen de la siguiente manera:

- Sobre la base impregnada se da un riego de producto asfáltico que se cubre con un riego de agregado pétreo.
- Se pasa una compactadora de rodillo liso de 10 toneladas. Se le da un acomodo pasando tres veces sobre la superficie. Por lo regular, después de hacer este procedimiento, se tiene que esperar una semana para que fragüe el producto asfáltico. Una vez que ha transcurrido la semana se necesita barrer para retirar el material que no esté adherido a la estructura.

Se pueden crear carpetas de un riego en donde solo se lleva a cabo este procedimiento una vez. Se da un riego de producto asfáltico a razón de 0,6 a 1,0 L/m², e inmediatamente se cubre con material pétreo, a razón de 8 a 11 L/m². Esta carpeta es aconsejable para un tránsito inferior a los 200 vehículos por día.

Existen también las carpetas de dos riegos, donde el procedimiento se tiene que llevar a cabo dos veces. Para la primera capa se da un riego de producto asfáltico a razón de 0,6 a 1,0 L/m², el agregado pétreo es a razón de 8 a 12 L/m². Para construir la segunda capa, se debe esperar de 2 a 3 días. El producto asfáltico se riega a razón de 0,8 a 1,1 L/m², el material pétreo es a razón de 6 a 8 L/m². Este tipo de carpeta es aconsejable para un tránsito inferior a los 600 vehículos por día.

En las carpetas de tres riegos, el procedimiento se tiene que ejecutar tres veces. Para la primera capa se utiliza producto asfáltico a razón de 0,6 a 1,1 L/m², agregado pétreo a razón de 20 a 25 L/m². Dos o tres días después se coloca la segunda capa con producto asfáltico a razón de 1,1 a 1,4 L/m², material pétreo a razón de 8 a 12 L/m². Para la última capa se utiliza producto asfáltico a razón de 0,7 a 2,0 L/m², agregado pétreo a

razón de 6 a 8 L/m². Este tipo de carpeta puede resistir 1 000 vehículos por día.

Tabla IV. **Especificaciones granulométricas para materiales pétreos**

Especificaciones granulométricas para materiales pétreos									
Denominación del material pétreo	Por ciento que pasa la malla								
	32.0 mm	25.4 mm	19.0 mm	12.7 mm	9.51 mm	6.35 mm	4.76 mm	2.38 mm	0.420 mm
	1 1/4 "	1 "	3/4 "	1/2 "	3/8 "	1/4 "	Núm. 4	Núm. 8	Núm. 40
1	100	95 mín		5 máx		0			
2			100	95 mín		5 máx		0	
3 - A				100	95 mín			5 máx	0
3 - B					100	95 mín		5 máx	0

Fuente: OLIVERA BUSTAMANTE, Fernando. *Estructuración de vías terrestres*. p. 33.

- **Carpetas asfálticas de mezclas en frío**

La granulometría del agregado pétreo debe ser continua. El agregado pétreo se mezcla a temperatura ambiente con motoconformadoras, generalmente se utilizan rebajados asfálticos o emulsiones de rompimiento medio para fabricar la mezcla.

El procedimiento para llevar a cabo una mezcla asfáltica en frío es el siguiente:

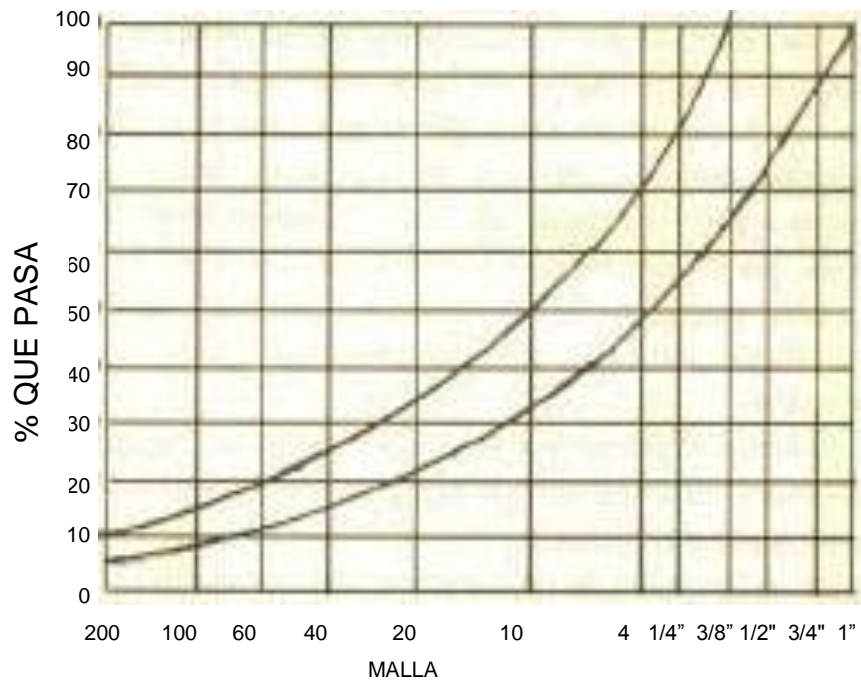
- Elegir los bancos de material más cercanos al área.
- Montar el equipo necesario para procesar las rocas.
- Transportar el material a la obra y tenderlo con motoconformadoras para calcular la cantidad de producto asfáltico que se requiere.

- Abrir el material pétreo con la motoconformadora y regar el asfalto con la petrolizadora, esto se debe hacer las veces que sea necesario hasta tener incorporado todo el asfalto.
 - Mezclar con la motoconformadora el agregado pétreo y el asfalto, hasta que se encuentre completamente homogenizado.
 - Sobre la base impregnada y debidamente barrida, se da un riego de liga y de inmediato se tiende la mezcla.
 - Se procede a compactar con rodillos lisos o neumáticos con peso entre 8 y 15 tons. hasta alcanzar 95 % de compactación.
 - Si la permeabilidad de la carpeta es mayor al 10 % se dará un sello que también sirve para mejorar la fricción.
- Carpetas de concreto asfáltico

El concreto asfáltico es una mezcla de agregados pétreos y cemento asfáltico. Como el cemento asfáltico es sólido a temperatura ambiente, es necesario calentarlo, este aumento en la temperatura se tiene que hacer en plantas mezcladoras, ya que la temperatura del cemento asfáltico necesita llegar a 140 °C y la temperatura de los materiales pétreos necesita llegar a 160 °C para lograr una buena mezcla. La prueba Marshall se utiliza para conocer el contenido óptimo del concreto asfáltico.

Este tipo de carpetas deben ser construidas sobre bases firmes y bases asfálticas impregnadas. Si se colocan directamente sobre el terreno natural con módulos de elasticidad bajos, sufrirán deformaciones ante las cargas del tránsito y la resistencia no será la deseada. Las normas granulométricas son muy exigentes, debido a que solo hay una zona como se muestra en la figura siguiente.

Figura 4. **Zona de especificación granulométrica para materiales pétreos que se empleen en concretos asfálticos**



Fuente: OLIVERA BUSTAMANTE, Fernando. *Estructuración de vías terrestres*. p. 58

El procedimiento para llevar a cabo una mezcla de concreto asfáltico es el siguiente:

- Elegir bancos de agregado pétreo mediante pruebas de laboratorio.
- Encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico mediante ensayos de laboratorio.
- Proporcionar agregados pétreos en frío a la planta de mezclado.
- Transportar el material al cilindro de calentamiento y secado donde alcanzará una temperatura entre 150 y 170 °C.

- Alcanzada la temperatura deseada, el agregado pétreo se sube a la unidad de mezclado, donde se mezcla con el cemento asfáltico que se encuentra entre los 130 y 140 °C.
- Llevar la mezcla al tramo con una temperatura mínima entre 110 y 120 °C. La mezcla debe descargarse en la pavimentadora, que se encarga de extenderlo y conformar el concreto asfáltico.
- La compactación debe hacerse cuando la temperatura de la mezcla aun es mayor a los 90 °C, y se utiliza un rodillo de 7 ton para dar la primera compactación y así evitar el desplazamiento de la mezcla. Después debe pasarse un rodillo de 15 ton para lograr un grado mínimo de compactación del 95 %.

Las carpetas asfálticas deben ser impermeables, de lo contrario se debe dar un riego de sello. El riego de sello sirve como superficie de desgaste para mejorar el coeficiente de rugosidad. Se utilizan agregados pétreos no muy gruesos con rebajados asfálticos o emulsiones de rompimiento medio. Una carpeta que tiene menos asfalto del necesario se desgranará, por el contrario, si tiene demasiado asfalto, este brotará a la superficie haciéndola lisa y resbaladiza.

Para fabricar los diferentes tipos de carpetas asfálticas, también existen diferentes tipos de asfaltos. A continuación se describen los diferentes tipos de asfaltos que se pueden utilizar.

- **Cemento asfáltico**

El asfalto o cemento asfáltico, es el último residuo que queda de la destilación del petróleo. A temperaturas normales el cemento asfáltico es sólido y de color café oscuro. Para poder mezclarlo con los materiales

pétreos, es necesario calentarlo a una temperatura de aproximadamente 140 °C.

- Rebajados asfálticos

Los rebajados asfálticos sirven para fluidificar el cemento asfáltico para poder trabajarlo a temperaturas más bajas. Para fabricar los rebajados asfálticos, el cemento asfáltico se diluye en gasolina, tractolina, diesel o aceites ligeros. Si se diluye en gasolina, se forman rebajados de fraguado rápido (FR), los que se diluyen en tractolina son de fraguado medio (FM) y los que se diluyen en diesel o en aceites ligeros son de fraguado lento (FL). Los tres fraguados FR, FM y FL se pueden utilizar con diferentes proporciones de cemento asfáltico y de solventes. Por razones ambientales se han dejado de utilizar los rebajados asfálticos de todo tipo.

- Emulsiones asfálticas

Una emulsión es una mezcla de líquidos inmiscibles de manera más o menos homogénea, una emulsión asfáltica es la mezcla de cemento asfáltico, agua y un agente emulsivo. Una emulsión asfáltica no es más que asfalto líquido, casi tan fluidos como el agua y de la cual contienen entre 40 y 50 %.

La ventaja de las emulsiones, es que se pueden trabajar con el asfalto a temperatura ambiente, que normalmente a esta temperatura no es manejable porque es semisólido. Las emulsiones asfálticas tienen grandes ventajas ya que son fáciles de emplear. Al usar emulsiones, se debe solventar el problema de adherencia entre el material pétreo y el

cemento asfáltico ya que contienen gran cantidad de agua. Esta adherencia se ve afectada por las cargas eléctricas que recubren a las gotas de cemento asfáltico. Para una buena adherencia, lo ideal es que las cargas eléctricas del agregado pétreo sean contrarias a las cargas eléctricas que rodean las gotas de cemento asfáltico.

Las emulsiones catiónicas o ácidas (AASHTO M208) están cargadas positivamente, por lo que sentirán una gran afinidad por agregados pétreos negativos. Cuando las partículas de cemento asfáltico son atraídas por la superficie del material pétreo, la emulsión deja de mantenerse estable y rompe, quedando el cemento asfáltico incorporado en forma de película fina al material pétreo y el agua queda libre para evaporarse. Las emulsiones catiónicas resisten mayor humedad en los pétreos.

Las emulsiones aniónicas (AASHTO M140) rompen por deshidratación, por lo que en temperaturas frías o húmedas, el tiempo de curado se prolonga mucho. Las emulsiones pueden ser de rompimiento rápido, medio y lento dependiendo del porcentaje de cemento asfáltico.

3. FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Las autopistas, calles y carreteras se construyen para dar un buen servicio por un determinado número de años, este período de servicio es llamado horizonte del proyecto o vida útil. Cuando un pavimento ha llegado al final de su vida útil requiere de mantenimiento o reconstrucción con el objetivo de prolongar su servicio por más tiempo y adecuarlas a las condiciones del nuevo volumen de tránsito.

Los pavimentos se deterioran al pasar los años y se presentan diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros pueden ser pequeños al principio, pero más adelante serán más serios y se acelerará la falla del pavimento. Por esta razón se requiere de mantenimiento periódico para asegurar su vida útil y proporcionar un servicio adecuado.

- Índice de servicio

Es una medida subjetiva de la calificación del estado de la carpeta de rodadura. Cuatro personas en un vehículo a 80 km/h en un recorrido aproximado de 80 km al día, otorgan la calificación y esta no debe variar entre una y otra persona por más de 0,3 unidades. El deterioro se observa y se califica con un valor del 1 al 5. Cuando una obra comienza a funcionar recién construida debe tener una calificación de 4,0 a 5,0, la cual disminuye conforme pasa el tiempo.

0 – 1	Muy malo	3 – 4	Bueno
1 – 2	Malo	4 – 5	Muy bueno
2 – 3	Regular		

Un pavimento puede presentar fallas por varias razones: desde un mal diseño, materiales defectuosos hasta malos procedimientos constructivos. Una falla realmente grave se provoca en las profundidades de la estructura del pavimento. De acuerdo con las estadísticas de la AASHTO, el 60 % de los pavimentos falla por deficiencias en los drenajes.

3.1. Tipo de fallas y su clasificación

La palabra falla se utiliza tanto para verdaderos colapsos del pavimento, como para deterioros simples. Los deterioros o fallas están asociados al nivel o índice de servicio, es algo que se aparta de lo que una vez se consideró aceptable. Las fallas de los pavimentos pueden dividirse según su naturaleza en tres grupos: falla estructural o por insuficiencia estructural, falla por métodos o defectos constructivos y falla por fatiga.

- **Falla por insuficiencia estructural**

Es una deficiencia del pavimento que ocasiona una reducción de la capacidad de carga. Esta falla se produce por una mala combinación de resistencia al cortante de cada capa y sus espesores.

Esta falla está relacionada con un mal diseño del pavimento. Los pavimentos construidos con material con resistencia inapropiada, puede que realmente se utilicen materiales de buena calidad pero con espesores insuficientes de las capas del pavimento, por lo que se genera la falla estructural.

- Falla por defectos constructivos

Los pavimentos pueden estar proporcionados y formados correctamente con materiales de buena calidad, con excelentes propiedades mecánicas, pero en el proceso de construcción pueden cometerse errores que afectan el desempeño del pavimento, esto puede conducir al fallo de la estructura. Esta falla se relaciona a la mala supervisión, control de calidad de materiales y procesos o a una mala disposición por parte del contratista por ahorrarse molestias, entre otros.

- Falla por fatiga

Con el paso del tiempo y la continua repetición de cargas, los pavimentos que fueron construidos apropiadamente y bajo toda especificación, llegan a sufrir defectos por causa de la fatiga de sus componentes, presentan degradación estructural, pérdida de resistencia y acumulación de deformaciones en su superficie.

Las fallas estructurales, constructivas o por fatiga, pueden darse debido a fracturas, deformaciones y a desintegraciones de la superficie. Las fallas también suelen clasificarse según su origen, es decir, por la manera en que suceden y se manifiestan. Se clasifican en cinco grupos: fallas por deformaciones, fallas por fisuras y grietas, fallas por desprendimientos, fallas por afloramientos y fallas por alisamientos.

3.1.1. Fallas típicas por deformaciones

A continuación se describen los diferentes tipos de fallas inducidas por deformaciones.

3.1.1.1. Ahuellamientos

- Huella de rodadura

Deformación longitudinal por hundimiento a lo largo de las rodadas de los vehículos. Pueden presentarse levantamientos o cordones laterales a cada lado de la huella.

Figura 5. **Huella de rodadura**



Fuente: CORREDOR, Gustavo. *Diseño de pavimentos I: evaluación de pavimentos*. p. 3.

- Canalizaciones

Deformaciones longitudinales, tanto por hundimiento a lo largo de las huellas del tránsito, como por elevación de las áreas adyacentes formando canales. Las deformaciones presentan un nivel de severidad más amplio que el ahuellamiento.

Figura 6. **Canalizaciones**



Fuente: PUFFENBERGER, Steve. *Cracks flexible pavement*. p. 23.

- Asentamientos transversales:

Son depresiones perpendiculares al eje de la vía, normalmente localizadas en juntas de pavimentos y pasos de tubería subterránea.

Figura 7. **Asentamientos transversales**



Fuente: CORREDOR, Gustavo. *Diseño de pavimentos I: evaluación de pavimentos*. p. 94.

3.1.1.2. Baches

Es un hundimiento local en la superficie del pavimento, algunas veces se presentan agrietamientos en forma de malla y generalmente presentan pérdida de bloques de la carpeta de rodadura.

Figura 8. **Baches**



Fuente: PUFFENBERGER, Steve. *Cracks flexible pavement*. p. 49.

3.1.1.3. Corrugaciones

Son ondulaciones en la superficie del pavimento, por lo general perpendiculares al eje de la vía. Las crestas y valles de las ondulaciones, regularmente están espaciadas a distancias cortas, generando la sensación de vibraciones.

3.1.1.4. Desplazamiento de borde

Son corrimientos, distorsiones y grietas de la capa asfáltica en los bordes del pavimento u hombros de la carretera.

Figura 9. **Abultamientos o corrugaciones**



Fuente: CORREDOR, Gustavo. *Diseño de pavimentos I: evaluación de pavimentos*. p. 48.

Figura 10. **Desplazamiento de borde**



Fuente: CORREDOR, Gustavo. *Diseño de pavimentos I: evaluación de pavimentos*. p. 145.

3.1.2. **Fallas típicas por fisuras y grietas**

A continuación se describen los diferentes tipos de fallas inducidas por fisuras y grietas en el asfalto.

3.1.2.1. Piel de cocodrilo

Son fisuras o grietas interconectadas que forman polígonos de tamaño variable, semejando una piel de cocodrilo. La separación de las grietas entre sí, es menor de 15 centímetros, con abertura creciente según avanza el deterioro. Generalmente se presenta hundimiento en el área afectada.

Figura 11. **Piel de cocodrilo**



Fuente: HEREDIA, José. *Clasificación de las fallas de pavimento flexibles y rígidos*. p. 4.

3.1.2.2. Fisuras en arco o lengüetas

Grietas parabólicas o en forma de media luna sobre la capa asfáltica y van en el sentido de viaje de los vehículos. Estas generalmente se presentan en áreas de frenado de los vehículos, esto provoca el corrimiento de la carpeta asfáltica que origina las grietas.

Figura 12. **Fisuras en arco**



Fuente: CORREDOR, Gustavo. *Diseño de pavimentos I: evaluación de pavimentos*. p. 151.

3.1.2.3. **Grietas longitudinales**

Fisuras y grietas paralelas al eje del pavimento, con abertura mayor de 3 milímetros. En general cerca de los bordes del pavimento o a las huellas del tránsito. También se presentan en la unión longitudinal de pavimentos.

Figura 13. **Grietas longitudinales**



Fuente: PUFFENBERGER, Steve. *Cracks flexible pavement*. p. 10.

3.1.2.4. Grietas transversales

Fisuras y grietas perpendiculares al eje del pavimento, en algunos casos con abertura mayor de 3 milímetros. Suelen darse por asentamientos o en las uniones de tramos de pavimentación.

Figura 14. **Grietas transversales**



Fuente: FHWA. *Distress identification manual*. p. 11.

3.1.2.5. Grietas por reflexión

Son fisuras y grietas que pueden darse en dos situaciones. Si son de tamaño y dirección irregular en la superficie, son reflejadas por fallas en las capas inferiores del pavimento. Si forman las rectilíneas forman bloques grandes, una losa de concreto de cemento portland ha sido previamente como pavimento y, por lo tanto, de esta losa se reflejan las juntas de contracción.

Figura 15. **Reflexión de juntas**



Fuente: CORREDOR, Gustavo. *Diseño de pavimentos I: evaluación de pavimentos*. p. 66.

3.1.2.6. **Grietas en bloque**

Fisuras y grietas que forman polígonos con bordes regulares que semejan bloques, con ángulos prácticamente rectos en sus aristas. Estas grietas tienen aberturas menores a 3 milímetros y longitudes mayores de 15 centímetros.

Figura 16. **Grietas de bloque (resanadas)**



Fuente: PUFFENBERGER, Steve. *Cracks flexible pavement*. p. 7.

3.1.3. Fallas típicas por desprendimientos

A continuación se describen los diferentes tipos de fallas inducidas por desprendimientos en la carpeta de rodadura.

3.1.3.1. Ojo de pescado

Cavidad o hueco redondeado con bordes más o menos bien definidos, tienen diámetros menores a 0,90 metros y van desde la carpeta de rodadura hasta la subbase o base casi en forma de tazón. No se presentan hundimientos en zonas aledañas.

Figura 17. **Ojo de pescado**



Fuente: CORREDOR, Gustavo. *Diseño de pavimentos I: evaluación de pavimentos*. p. 109.

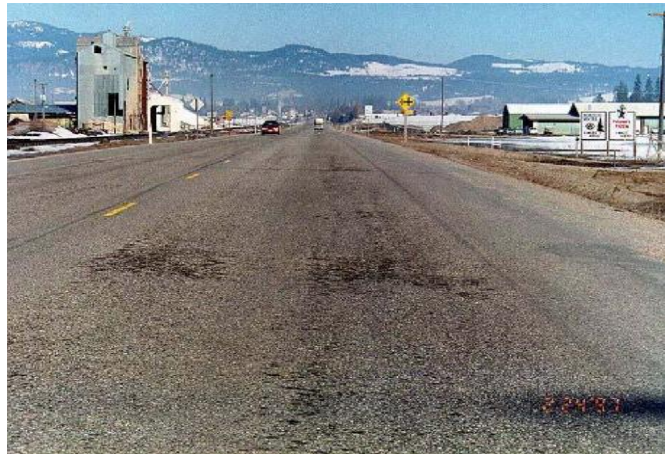
3.1.3.2. Pérdida de película de ligante (desintegración)

La desintegración superficial es cuando se pierde la superficie de la carpeta asfáltica debido a la pérdida del ligante asfáltico, por lo tanto, se pierden

partículas de agregado suelto. Se da cuando el ligante se ha endurecido demasiado o cuando el agregado no reacciona bien con el ligante.

Puede ser que la mezcla se haya sobrecalentado o que la mezcla tenga muy poco ligante

Figura 18. **Pérdida de película ligante**



Fuente: PUFFENBERGER, Steve. *Cracks flexible pavement*. p. 162.

3.1.3.3. Peladura o descascamiento

Es la pérdida de fragmentos de la capa asfáltica en zonas aisladas, no afectan las capas inferiores. Se pierde la última capa delgada de tratamientos superficiales como:

- Lechadas
- Microcarpetas
- Capas de rodadura de 2 a 3 centímetros
- Sobrecapas o sobrecarpetas delgadas de 3 a 5 centímetros

Figura 19. **Peladura**



Fuente: CORREDOR, Gustavo. *Diseño de pavimentos I: evaluación de pavimentos*. p. 108.

3.1.3.4. **Pérdida de agregado**

Es un grado más severo que la pérdida de ligante. En la superficie del pavimento se puede ver que el agregado ha sido removido por acción del tránsito. Es una desintegración de la superficie de la carpeta asfáltica

Figura 20. **Pérdida de agregado**



Fuente: < <http://blogs.lavozdegalicia.es/voyacien/2010/05/18/un-hecho-fortuito-y-sin-responsabilidad-para-esta-empresa/> > Consulta: 15 de agosto de 2014.

3.1.3.5. Descarnadura o cabezas duras

En la superficie del pavimento se observan partículas de agregado, de tamaño variable, que sobresalen de la superficie. Están parcialmente expuestos fuera del mortero arena–ligante (asfalto).

Figura 21. **Descarnadura**



Fuente: PUFFENBERGER, Steve. *Cracks flexible pavement*. p. 162.

3.1.4. Fallas típicas por afloramientos

A continuación se describen los diferentes tipos de fallas inducidas por afloramientos.

3.1.4.1. Afloramiento de agua

Es la presencia de agua en la superficie del pavimento. Esta agua proviene de las capas inferiores. Normalmente el agua se filtra por las grietas de pavimentos dañados.

Figura 22. **Afloramiento de agua**



Fuente: FHWA. *Distress identification manual*. p. 31.

3.1.4.2. Exudación de ligante

Es la presencia superficial de asfalto líquido aparentando manchas en la superficie del pavimento. Este material bituminoso forma una superficie brillante, reflectora y usualmente pegajosa. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla por acción de altas temperaturas que genera la expansión del material.

3.1.5. Fallas típicas por alisamientos

A continuación se describen los diferentes tipos de fallas inducidas por alisamientos de la superficie del pavimento.

3.1.5.1. Afloramiento de mortero

Es el ascenso de ligante asfáltico a la superficie de la capa de rodadura junto con el descenso del agregado grueso. Esto genera una superficie lisa

debido a que no existe agregado grueso para formar la rugosidad necesaria, para la fricción entre pavimento y neumático. Normalmente se dá por exceso de asfalto en la mezcla.

Figura 23. **Exudación de ligante**



Fuente: CORREDOR, Gustavo. *Diseño de pavimentos I: evaluación de pavimentos*. p. 27.

Figura 24. **Afloramiento de ligante asfáltico**



Fuente: LÓPEZ SÁNCHEZ, Eduardo. *Fallas en los pavimentos flexibles y rígidos*. p. 4.

3.1.5.2. Desgaste de áridos (agregados pulidos)

En la superficie del pavimento se advierte la presencia de agregados que presentan una cara plana o pulida. Esto se dá por el rápido desgaste del agregado bajo la acción del tránsito y el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, reduciendo la adherencia de los neumáticos.

Figura 25. Desgaste de áridos



Fuente: CORREDOR, Gustavo. *Diseño de pavimentos I: evaluación de pavimentos*. p. 138.

3.2. Causas posibles del origen de las fallas según su tipo

Causas de diverso origen afectan la condición de la superficie de rodamiento, lo cual compromete su función de ofrecer a los usuarios la posibilidad de un rodaje seguro, cómodo y económico. En esta sección se describen las causas posibles que dan origen a cada tipo de falla identificada.

3.2.1. Fallas por deformaciones

A continuación se describen las causas posibles que dan origen a las fallas de deformaciones en el pavimento asfáltico.

3.2.1.1. Ahuellamientos

- Asentamientos longitudinales (huellas de rodadura y canalizaciones)
 - Cargas de un tránsito muy pesado en pavimentos de espesor insuficiente.
 - Mala calidad y saturación del suelo en la subrasante.
 - Inestabilidad de las capas inferiores del pavimento.
 - Ligantes muy blandos en la mezcla asfáltica.
 - Exceso de ligante en la mezcla asfáltica.
 - Agregados de canto rodado en la mezcla asfáltica.
 - Capacidad estructural del pavimento deficiente.
 - Si la profundidad de las huellas es menor a 1 cm, la falla se debe a una deformación de la carpeta asfáltica, pero si las deformaciones son mayores, se deben a una mala compactación o calidad deficiente de la base.

- Asentamientos transversales
 - Deficiencias en la compactación de zanjas excavadas.
 - Deficiencias en la compactación de accesos a obras de arte o redes de drenaje subterráneo.
 - Transiciones corte-terraplén sin compactar.

- Deficiencias de compactación de alguna capa del pavimento en una franja determinada.
- Saturación de la subrasante por fallos en el sistema de drenaje.

3.2.1.2. Baches

- Alto contenido de agua en la subrasante debido a una fuga en el drenaje subterráneo.
- Humedad alta en puntos aislados de las capas inferiores durante la compactación, lo que representa mala compactación en el punto al no obtener el 100 % de densidad requerida.
- Mala calidad de los materiales inferiores.
- Espesor insuficiente de la capa de asfalto.
- Fallas no tratadas a tiempo, por ejemplo del tipo piel de cocodrilo.

3.2.1.3. Corrugaciones

- Generalmente aparecen en zonas de frenado y estacionamientos. Es visible cuando existe un deslizamiento de las carpetas sobre la base, debido a un riego de liga excesivo.
- Baja estabilidad de la capa asfáltica, la cual ha sido sometida a cargas pesadas.
- Si se trata de una mezcla *in situ*, posiblemente se deba a la falta de curado en la mezcla.
- Inestabilidad de las capas inferiores.
- Subbase débil o mal gradada.
- Tráfico pesado y calor excesivo.

3.2.1.4. Desplazamiento de borde

- Falta de adherencia de la carpeta asfáltica
- Falta de contención en los taludes
- Tránsito pesado muy cerca del borde
- Baja estabilidad de la capa de rodadura
- Drenaje inadecuado (cunetas)
- Falta de compactación y confinamiento en el borde del pavimento

3.2.2. Fallas por fisuras y grietas

A continuación se describen las causas posibles que dan origen a las fallas del tipo fisuras y grietas en el pavimento.

3.2.2.1. Piel de cocodrilo

- Puede presentarse al término de la vida útil del pavimento
- Ubicación de un pavimento estable sobre una subrasante elástica
- El tránsito muy pesado para un espesor de pavimento determinado
- Asfaltos muy duros en la mezcla asfáltica
- Drenajes subterráneos inadecuados en sitios aislados

3.2.2.2. Fisuras en arco o lengüetas

- Ocurre en áreas de frenado.
- Adherencia inadecuada entre la carpeta asfáltica y la base granular cuando existe tránsito lento y muy pesado.
- También pueden presentarse cuando no se da un correcto fraguado de la capa asfáltica.

- Baja resistencia de la mezcla asfáltica.
- Riego de adherencia en exceso.

3.2.2.3. Grietas longitudinales

- Asentamientos de terraplenes
- Cambios diferenciales de humedad en los suelos de subrasante
- Circulación de vehículos pesados muy cerca del borde del pavimento
- Juntas de construcción longitudinales inadecuadas
- Gradiente térmico en la colocación del pavimento superior a 30 °C
- Uso de ligantes duros o envejecidos en la mezcla asfáltica
- Tráfico muy pesado para la resistencia del asfalto

3.2.2.4. Grietas transversales

- Juntas de construcción deficientes
- Asentamientos en el terraplén
- Espesor insuficiente del pavimento
- Cambios bruscos de temperatura
- Efectos de contracción y expansión del asfalto
- Juntas reflejadas de pavimentos viejos debajo del asfalto

3.2.2.5. Grietas por reflexión

- Contracción de bases estabilizadas con cemento o con cal, reflejadas en la superficie.
- Ampliación de carriles o sobre-carpetas asfálticas construidas sobre un pavimento rígido, cuyas juntas de contracción se reflejan en la superficie.

3.2.2.6. Grietas en bloque

- Generalmente mezclas asfálticas de agregado fino con alto contenido de asfalto de baja penetración.
- Falta de tránsito en la vía.
- Puede ser reflejo de fisuras en bases estabilizadas.
- Uso de asfaltos muy duros en la mezcla asfáltica, intolerantes a los ciclos de temperatura diarios (que generan expansión y contracción).
- Envejecimiento y contracción del asfalto.
- Las grietas en bloque no están asociadas a cargas del tránsito, por lo que su presencia indica que el asfalto se ha endurecido.

3.2.3. Fallas por desprendimientos

A continuación se describen las causas posibles que dan origen a las fallas que presentan desprendimientos en la superficie de la carpeta de rodadura.

3.2.3.1. Ojo de pescado

- Debilidad local del pavimento por el endurecimiento del asfalto o quizá por la escasez del mismo, esto origina el desprendimiento individual del área afectada.
- Si la carpeta asfáltica es muy delgada también puede originarse desprendimiento aislado en la zona de falla sin afectar los bordes y sin crear desintegración.
- Exceso o defecto de finos en la mezcla asfáltica.
- Si la base es débil o pobremente compactada, el fenómeno va progresando con la profundidad y se traduce en desintegración.

3.2.3.2. Pérdida de película ligante

- Deficiencia en la adherencia entre el ligante y los agregados pétreos
- Poca cantidad de ligante en la mezcla asfáltica
- Sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica
- Acción del tránsito de vehículos de orugas
- Acción del agua y tránsito intenso

3.2.3.3. Peladura o descascamiento

- Limpieza inadecuada previo al tratamiento superficial
- Deficiencia en el riego de liga o imprimación
- Ligante inadecuado
- Mala dosificación de la mezcla asfáltica
- Ligante envejecido
- Capa de rodadura permeable y mal compactada
- Espesor insuficiente de la capa de rodadura

3.2.3.4. Pérdida de agregado

- Ocurre generalmente en tratamientos superficiales que son liberados al tránsito antes de tiempo.
- Lluvia durante el tendido del pavimento.
- Agregado inadecuado con mala adherencia con el ligante asfáltico.
- Uso de ligante inadecuado en la mezcla.
- Utilización de agregado sucio.
- Ejecución de la obra en tiempo muy frío y húmedo.

3.2.3.5. Cabezas duras

- Heterogeneidad en la gradación de los agregados pétreos
- Distribución granulométrica deficiente de agregados finos
- Cantidad insuficiente de ligante en la mezcla asfáltica
- Segregación de los agregados durante el tendido del asfalto

3.2.4. Fallas por afloramientos

A continuación se describen las causas posibles que dan origen a las fallas que presentan afloramientos en la superficie del pavimento.

3.2.4.1. Afloramiento de agua

- Agua bajo la carpeta asfáltica agrietada
- Drenaje subterráneo deficiente
- Carpeta asfáltica permeable

3.2.4.2. Afloramiento de ligante (exudación)

- Exceso de ligante en la mezcla asfáltica
- Uso de ligantes blandos en la mezcla
- Bajo contenido de vacíos de aire en la mezcla
- Exceso de riego de liga o imprimación

3.2.5. Fallas por alisamientos

A continuación se describen las causas posibles que dan origen a las fallas que presentan alisamientos en la superficie del pavimento.

3.2.5.1. Afloramiento de mortero

- Es la segregación del asfalto
- Exceso de finos en la mezcla asfáltica
- Altas temperaturas durante la colocación de la mezcla
- Mezcla asfáltica muy caliente durante su colocación

3.2.5.2. Agregados pulidos

- Recubrimiento de ligante muy escaso o totalmente ausente en la superficie de rodadura.
- El tránsito vehicular desgasta la película de ligante y luego por acción del tránsito, los agregados expuestos comienzan a ser pulidos hasta presentar una cara plana por medio de la abrasión.
- Uso de agregado pétreo suave como rocas calizas.

3.3. Importancia de un buen trabajo en las capas inferiores

Los factores importantes que influyen de manera directa en la resistencia del pavimento asfáltico son: el diseño de la mezcla asfáltica, la gradación de los agregados pétreos y las condiciones climáticas del proyecto de carreteras. No obstante, inadecuadas capas inferiores del pavimento (base, subbase y subrasante) influyen directamente en la deformabilidad de la estructura y disminución en la resistencia estructural. Por esta razón es importante conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales a emplear. Anteriormente se ha tratado sobre especificaciones de los materiales para las distintas capas del pavimento, en esta sección se describe generalmente la importancia de una correcta aplicación de las capas inferiores del pavimento flexible.

3.3.1. Capas granulares

Las capas de base y subbase deben cumplir con requerimientos específicos de resistencia y granulometría. La resistencia mecánica de los agregados es sumamente importante, debido a que a través de estas capas fluye la energía transmitida por las cargas del tránsito, y al no tener una resistencia adecuada a estos esfuerzos, la capa de agregados se conduce a la fractura de sus elementos y por lo tanto, a la falla visible del pavimento asfáltico.

Otro factor importante a considerarse en la estructura de las capas base y subbase es la compactación. Es importante porque al obtener una buena compactación se obtiene un mejor resultado en cuanto a:

- Resistencia
- Compresibilidad
- Relación esfuerzo – deformación
- Impermeabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a la erosión

Si no se tiene una adecuada compactación en las capas inferiores, se pueden producir asentamientos, desplazamiento de bordes, huellas y corrimientos del pavimento.

3.3.2. Terreno natural

La capa vegetal es lo primero que debe removerse del terreno para obtener una superficie adecuada para la construcción del pavimento. Esto se debe a que la existencia de vegetación en la parte inferior provocaría un

asentamiento del suelo, debido a los espacios que se forman entre la materia vegetal y las partículas de suelo, además podría existir un brote de raíces o crecimiento subterráneo que provocaría un levantamiento de la estructura del pavimento o abultamiento de la superficie. La subrasante debe ser estabilizada para mejorar las propiedades mecánicas y estar libre de toda impureza orgánica.

Para determinar la capacidad portante de la subrasante en general, el número recomendable de ensayos es de 6 a 8 para cada tipo de suelo, con un mínimo absoluto de 4. Estas recomendaciones están basadas en información obtenida de curvas de límites de confianza o máximo error permitido para determinados niveles de confianza en función del número de ensayos requeridos.

En el caso de la subrasante, un valor soporte muy bajo implica un terreno de cimentación que requiere estudios especiales, para diseñar la sección estructural de la carretera y una estabilización del suelo. Bajas resistencias en la subrasante significa que existen problemas serios de drenaje, nivel freático alto, y esto puede causar consolidación o asentamientos del suelo y problemas en el comportamiento del pavimento. Una calidad indeseable de la subrasante ocasiona problemas no considerados en el método de diseño (como consolidación, expansión y otros) y no resulta adecuado diseñar si no se corrigen previamente estos problemas.

4. ESTRATEGIAS DE SOLUCIÓN

Hay muchos factores considerados en el proceso de seleccionar un tratamiento para un pavimento que presenta daños, esto incluye la edad del pavimento y condición del pavimento, volumen de tráfico, así como disponibilidad de fondos y políticas de la entidad gubernamental a cargo. Para un pavimento nuevo apropiadamente construido, los únicos tratamientos que se requieren son del tipo preventivos (mantenimiento realizado para prevenir la aparición de fallas). Después, conforme la edad del pavimento, puede convertirse en un mantenimiento de rutina (por ejemplo un sellado de grietas, bacheos), luego se tiene una rehabilitación y eventualmente una reconstrucción total del pavimento.

El propósito de este capítulo es proveer una guía en la selección de un tratamiento adecuado. Para cada tipo y nivel de severidad de las fallas que presenta un pavimento, existe una o más técnicas que resultan las más adecuadas para solucionar el problema en términos de eficiencia y relación costo-beneficio. El primer paso es determinar una estrategia de mantenimiento apropiada.

4.1. Evaluación de pavimentos

Para evaluar la condición de un pavimento y tomar una decisión en el tratamiento de mantenimiento más apropiado, debe realizarse un análisis de la información disponible, por ejemplo:

- El diseño original del pavimento.

- Los espesores de las capas construidas, junto con cualquier cambio en los diseños especificados del pavimento.
- Los resultados de los procesos y los ensayos de control de calidad desarrollados durante la construcción.
- La calidad de los materiales disponibles en canteras y zonas locales.
- La planimetría.
- Los niveles finales del pavimento y de umbrales.
- Detalles del sistema pluvial.

4.1.1. Calicatas

La ejecución de calicatas permite visualizar las capas de la estructura del pavimento a través de las paredes de esta. Al realizar ensayos de densidad de campo o penetraciones con el Penetrómetro Dinámico Cónico (DCP), se puede obtener información el estado actual del perfil del estrato a través de las propiedades reales de los materiales de cada capa del pavimento. Con el DCP es posible estimar los valores de la capacidad soporte del suelo, este valor será posible determinarlo en el laboratorio mediante las muestras, y posterior a esto se pueden realizar comparaciones de un tramo en estudio.

Las calicatas facilitan la toma de muestras en cantidad, para su posterior clasificación en el laboratorio, y de los resultados obtenidos de las muestras se puede establecer el uso más efectivo, al momento de realizar las tareas de rehabilitación.

Las calicatas suministran información adicional sobre:

- Los espesores de las capas
- Los contenidos de humedad

- El estado real de la capa

Las calicatas pueden ser realizadas en lugares en los que se considere necesario, (por ejemplo, en sectores con mucho deterioro o fallas significativas de gran importancia). Una calicata tiene una profundidad de entre 70 y 100 cm, el material excavado de cada capa o estrato se acumula por separado en las cercanías de la calicata, a medida que se avanza con la excavación se realizan las determinaciones de densidad en cada capa, para la realización de este ensayo es imprescindible procurar deteriorar las capas debajo a la que se está removiendo. Terminada la excavación se procede a registrar el perfil de la estructura y se toman muestras para su identificación.

4.1.2. Perforaciones

Para realizar perforaciones se utilizan equipos de calado, barrenos, saca muestras, olladoras, entre otros. Esta metodología es más sencilla en comparación con la ejecución de calicatas, es menos costosa (si se cuenta con el equipo de calado, en el caso de tener espesores importantes de mezcla asfáltica), más rápida, lo que provoca menores interrupciones en el tránsito.

Una desventaja de sacar testigos con perforaciones es que no se puede realizar ensayo de densidad en campo por cuestiones de espacio y las determinaciones con DCP, en algunos casos, son susceptibles de tener errores, ya que si se trabaja con equipos de calado en la extracción del testigo de mezcla asfáltica, el agua utilizada en dicha operación altera la capa de apoyo de la carpeta y al momento de realizar el ensayo considerado, el exceso de humedad hace incursionar en un error, porque puede dar valores que no son representativos del estado real de cada capa.

4.1.3. Medidas de deflexiones

Las medidas de las deflexiones son una herramienta importante en el análisis no destructivo de los pavimentos. La magnitud de la deflexión y la forma de la cuenca de deformación producida por la carga, son útiles para investigar las propiedades del pavimento. Se trata de aplicar una carga y medir la respuesta de la estructura, que es la deflexión.

El sistema más utilizado para la medición de deflexiones es la viga Benkelman. Este dispositivo se utiliza para realizar mediciones en sectores en los que se observan fallas visibles y no visibles, de esta forma es posible determinar las propiedades actuales del pavimento, apuntando a una solución más económica del problema.

4.1.4. Ensayos de laboratorio

Además de las pruebas en campo, los análisis de laboratorio determinan las características del concreto asfáltico, del material de la base granular, el de la subrasante y además revelan la calidad de compactación de los estratos.

Para definir el estado general de un pavimento y conocer el grado de intervención que requiere, se deben revelar las fallas y medir su rugosidad, definir la condición estructural y verificar la calidad de los materiales según normas internacionales. Las muestras en el laboratorio, se someten a una serie de ensayos destinados a establecer la calidad de los materiales en conjunto o en forma individual, utilizando ensayos típicos como granulometrías, plasticidad, próctor, capacidad soporte, entre otros.

A partir de las muestras de testigos de mezcla asfáltica, la medición de espesores y densidad, ensayos de estabilidad y fluencia, si es posible la extracción de testigos que contengan muestra no alterada, se podrán realizar moldeos de probetas para posteriormente hacer ensayos y obtener los valores de rutina establecidos por el método Marshall.

En el caso en donde se pretende obtener en el laboratorio la respuesta ideal de los materiales intervinientes, a través de los ensayos que evalúan la respuesta deseable de los materiales, es indispensable contar con los antecedentes de obra y los controles realizados durante la etapa de construcción, pero esta situación no siempre es posible. Por lo tanto, los valores obtenidos en el laboratorio y las determinaciones *in situ*, son los parámetros para juzgar y entender el comportamiento de una estructura que ha fallado.

Una vez realizados los ensayos correspondientes, se deben actualizar las condiciones de servicio de la carpeta, mediante una actualización de los datos del tráfico, lluvias y temperaturas. Si los resultados obtenidos son inferiores a los requeridos según las nuevas condiciones de servicio de la vía, será necesaria la rehabilitación, mediante su reconstrucción o reparaciones puntuales.

4.2. Tratamientos y técnicas para la conservación y mantenimiento de pavimentos asfálticos

Para cada tipo y nivel de severidad de las fallas que presenta un pavimento, existen una o más técnicas que resultan ser las más adecuadas para solucionar el problema, en términos de eficiencia y relación costo-beneficio.

A continuación se presentan algunas técnicas para rehabilitación de pavimentos asfálticos tomadas de las *Especificaciones Especiales 2014* de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL), del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. También se complementa con técnicas descritas en el MTAG *Volume I, Flexible Pavement Preservation* del departamento de tránsito de California (CALTRANS), Division of Maintenance.

4.2.1. Micropavimentos (*microsurfacing*)

Microsurfacing consiste en una sobrecapa delgada de 10 a 20 mm. También se conoce como sistema MS-1, consiste en una mezcla de emulsión catiónica de asfalto modificado con polímeros, agregados minerales de alta calidad, rellenos minerales, agua y otros aditivos que son tendidos sobre la superficie pavimentada.

La emulsión asfáltica debe modificarse con un polímero que se incorporará al cemento asfáltico antes de emulsificarlo. El residuo asfáltico de una emulsión modificada, debe tener al menos 3 % de polímero calculado en peso. La emulsión de asfalto modificada debe ser formulada para que la mezcla de pavimento pueda ser aplicada con humedad relativa no mayor del 50 % y una temperatura ambiental de no menos de 24 °C, y curar lo suficiente para que al abrir el tránsito en una hora la carpeta no sufra daños.

- Fallas en las que puede ser utilizado el *microsurfacing*
 - Desintegraciones: superficies sueltas o superficies que pierden agregados, pueden ser recapeadas, usando micropavimentos.

- Pavimentos oxidados con grietas finas: estas superficies pueden ser recubiertas usando sellos o micropavimento.
- Pavimentos con ahuellamientos: únicamente si las deformaciones son superficiales.
- Pavimentos en bruto con longitud de onda corta: estas irregularidades pueden ser tratadas con micropavimentos, siempre que la frecuencia de las irregularidades sea menor que el ancho del esparcidor.
- Fallas en las que NO puede ser utilizado el microsurfacing:
 - Fisuras y grietas (incluyendo las juntas reflejadas).
 - En ningún tipo de falla en la capa base.
 - Asfaltos mezclados en caliente que exhiben deformaciones plásticas por cizallamiento.

Los micropavimentos no erradicarán la causa de estas fallas y como resultado, las fallas se continuarán formando aún después.

- Procedimiento de ejecución
 - El material debe ser colocado solamente si la temperatura atmosférica es mayor de 15 °C. Si hay niebla o amenazas de lluvia, no debe colocarse.

- La superficie del asfalto existente debe estar completamente limpia.
- La mezcla debe ser aplicada por medios mecánicos con un mezclador con agitadores y esparcidores de material.
- La mezcla se aplicará para llenar grietas e irregularidades menores de la superficie y no será resbaladiza.
- La junta de construcción debe minimizarse y ser lo más uniforme posible.

4.2.2. Recapeo (*overlay*)

Consiste en la colocación de mezcla asfáltica en caliente, en espesor no menor de 5 centímetros. sobre la carpeta de rodadura existente, con el objetivo de reforzar estructuralmente el pavimento y se hace cuando no existen daños severos en la estructura del pavimento.

Para la ejecución de este trabajo, se requiere que exista un estudio geotécnico de la estructura del pavimento y que la capa superficial no presente un área agrietada por fatiga, mayor del 15 % y que la profundidad de las grietas no alcance la capa de base. Previo a realizar el trabajo de recapeo se deberán reparar las áreas afectadas con la realización del bacheo.

El espesor de la carpeta asfáltica será fijado mediante un diseño según el requerimiento del refuerzo adecuado. La mezcla se debe colocar y tender sobre la superficie debidamente ligada, a una temperatura mínima de 265 °F (130 °C), y debe usarse siempre equipo de pavimentación autopropulsado. La longitud de

las áreas a trabajar, va depender del equipo de compactación del que se disponga y a las pérdidas de temperatura que pueda sufrir la mezcla.

- Fallas en las que puede utilizarse recapeos

La sobrecarpeta debe colocarse sobre pavimentos estructuralmente sólidos. Esto se debe a que ofrecen poca mejoría estructural, pero pueden renovar la superficie en términos de rendimiento y funcionalidad. Entre las fallas en las que se puede aplicar una sobrecarpeta están:

- Desintegraciones
- Oxidación del pavimento
- Agrietamientos menores
- Irregularidades superficiales de menor importancia
- Problemas de alisamientos
- Pavimentos permeables

4.2.3. Lechada asfáltica (*slurry seal*)

La lechada asfáltica consiste en una mezcla de agregados pétreos, emulsión asfáltica, agua y aditivos, que proporcionan una mezcla homogénea que puede ser aplicada sobre un pavimento, ya sea como un sello o como impermeabilizante en pavimentos que presentan un estado de oxidación muy avanzado. Este método proporciona una textura resistente, antideslizante y adherida firmemente sobre la superficie del pavimento. El ligante asfáltico empleado en la fabricación de la mezcla debe ser un cemento asfáltico emulsificado.

- Emulsiones utilizables para la elaboración de lechada asfáltica
 - Emulsión asfáltica de rompimiento rápido controlada, con 3 minutos de mezclado como mínimo.
 - Emulsión asfáltica de rompimiento medio controlada, con más de 3 minutos de mezclado y un rompimiento entre 10 y 30 minutos.
 - Emulsión asfáltica del tipo lento. El rompimiento de la emulsión puede ocurrir entre 30 minutos y 2 horas de acuerdo a la temperatura ambiente.
 - La emulsión utilizada debe cumplir con la Norma ASTM D-977.

- Procedimiento de ejecución
 - El equipo de mezclado debe ser del tipo continuo, no se permitirá la utilización de unidades que para recargarse de materiales deban discontinuar la operación en el área de trabajo. Todas las máquinas sin excepción deben tener los aparatos necesarios, para medir de una forma exacta cada uno de los materiales que componen la lechada.
 - El cajón de la rastra debe estar equipado con paredes de hule para evitar la pérdida de mezcla lateralmente y un hule, flexible longitudinal, para ir tendiendo y acomodando el mortero en la superficie de la carretera. Debe tener extensiones que permitan compensar la falta de uniformidad en la geometría del pavimento.

- La máquina rociadora de lechada asfáltica, debe ser calibrada.
- La lechada asfáltica no podrá colocarse cuando la temperatura ambiente y del pavimento, sea menor de 15 °C, nunca debe aplicarse cuando se espere que las condiciones climatológicas puedan prolongar el tiempo de curado.
- La superficie sobre la cual se vaya a aplicar el tratamiento, debe limpiarse cuidadosamente, eliminando el polvo, arcilla, vegetación, excremento de ganado, aceites o cualquier otro material que pueda afectar la correcta adherencia entre la superficie con la lechada.
- En el carril en donde la lechada asfáltica haya sido aplicada en la jornada anterior y todavía no haya alcanzado la consistencia suficiente para someterlo a la operación del tránsito normal, se debe guiar el tránsito a menos de 20 km/h.

4.2.4. Sello de grietas (*crack seal*)

El sello de fisuras y grietas es una actividad de mantenimiento preventivo y se debe realizar, cuando estas se han reflejado adecuadamente en el pavimento, las cuales pueden aparecer longitudinal o transversalmente en la línea de rodadura, con el fin de impermeabilizar las capas que forman la estructura del pavimento, evitando inicialmente la falla tipo piel de cocodrilo y luego la formación de baches.

- Casos en los que el sello de grietas NO puede ser ejecutado:

- En aquellas áreas donde las grietas formen bloques interconectados de carácter poliédrico, semejante a la piel de cocodrilo, cuya formación se debe en mayor parte a la fatiga del pavimento que es ocasionado por la repetición de los ejes vehiculares.
- Cuando existan deflexiones en las grietas, lo cual muestra que ya existe un daño en la base.
- Cuando los pavimentos se encuentren excesivamente deteriorados o muestren altas zonas con bacheo menor o mayor. Las fisuras y grietas a sellarse no deben superar los 12 milímetros de ancho. Las que sobrepasen esta medida, serán tratadas con el procedimiento adecuado.

Debe verificarse que el pavimento no muestre señales de humedad, las cuales provocarían una falta de adherencia del material y posterior desprendimiento del mismo.

Se utilizarán polímeros del tipo elastómero de copolímero de bloque de estireno butadieno (SBS), que mejoran el comportamiento del cemento asfáltico tanto a altas como bajas temperaturas.

La arena será la porción de agregado pétreo seco, de granulometría que pase el tamiz Núm. 8 (4,75 milímetros). La arena podrá ser triturada o natural, los granos serán densos, limpios y duros, libres de terrones de arcilla y de cualquier material que pueda impedir la adhesión de estos con el asfalto.

- Tipos de sellos para grietas
 - Llenado de la ranura a ras (*standard reservoir and flush*)
 - Llenado de la ranura a ras con venda (*standard recessed band aid*)
 - Llenado debajo de la venda (*shallow recessed band aid*)
 - Venda o curita (*overband*)
 - Llenado a ras (*flush fill*)

Los sellos tipo venda o curita son los más comúnmente utilizados, estos deben tener un espesor aproximado de 0,125 pulgadas (3 milímetros) y un ancho mínimo de 3 pulgadas (75 milímetros). Para una aplicación correcta, se hace necesario seguir las recomendaciones del fabricante sobre las cualidades del material, de la resistencia al contacto del tránsito, así como de los procedimientos de su aplicación.

Figura 26. **Sello tipo venda o curita**



Fuente: COVIAL. *Especificaciones Especiales 2014*. p. 54.

- Procedimiento de ejecución
 - Se procederá a la limpieza del área objeto de trabajo. Esta limpieza debe hacerse utilizando un chorro de aire a presión, limpio y seco (sin aceite ni humedad), generado por un compresor móvil. Tanto el espacio formado por la grieta, como el área adyacente a la misma, debe estar libre de polvo, humedad, arcilla o de cualquier otro material, previo a continuar con la siguiente operación.
 - Para la aplicación del material sellante, se debe proceder a aplicar el asfalto tomando en consideración los procedimientos recomendados por el fabricante. Al tender el asfalto sobre la grieta, no debe permitirse la formación de charcos o exceso de material sellante sobre la misma, debido principalmente a que representan un leve impacto en la comodidad de conducción del usuario de la carretera.
 - El asfalto modificado con polímeros SBS, será aplicado a 200 °C.
 - Colocación de la capa de arena. Luego de haber aplicado el sello sobre la grieta, debe procederse a esparcir una capa delgada de arena fina como secante del sello, evitando así la pérdida del asfalto recién aplicado en la superficie, debido a la adherencia a las ruedas del tránsito circulante. Esta arena debe ser aplicada entre 1 y 3 minutos posteriores a la aplicación del sello.

4.2.5. Bacheo en carreteras pavimentadas

En las zonas inestables bajo la estructura del pavimento de una carretera, que pueden ser producidas por problemas de la capa de rodadura, por saturación del suelo circundante, bolsón de suelo indeseable o por contaminación de cualquier naturaleza, estas áreas con problemas deben ser reparadas con el objetivo de devolver la sustentación estructural original de la carretera, y para proporcionar el confort y la seguridad esperada del mismo.

Debido a que las diferentes labores que deben emprenderse para dar solución al problema planteado, tendrán variaciones que estarán en función directa del área superficial a tratar y de la profundidad en que se haya visto afectada la estructura, siendo las labores a realizar las siguientes:

- Procedimiento de ejecución
 - Excavación
- Para realizar el corte de la porción de carpeta asfáltica, el área a reparar debe ser marcada de forma cuadrada o rectangular. Los cortes deberán ejecutarse con equipos mecánicos como cortadoras especiales y limpieza con aire comprimido, las paredes deben quedar parejas y verticales. El material inadecuado debe ser extraído. El fondo de la excavación debe nivelarse y compactarse adecuadamente y quedar libre de material suelto.

Los baches excavados deben llenarse en el mismo día, NO se permite trabajarlos al siguiente día.

- Relleno con material de base
Este trabajo consistirá en la sustitución del material excavado con material de base. El material debe humedecerse, mezclarse y compactarse debidamente. El material debe ser colocado y extendido en capas de espesor similar, el proceso de compactación debe ejecutarse utilizando el equipo que asegure obtener el 100 % de la densidad medida, a través del procedimiento Proctor modificado (AASHTO T- 180) Las zonas inaccesibles para el equipo utilizado en la compactación, deben ser compactadas satisfactoriamente mediante el uso de compactadores vibratorios manuales mecánicos.

- Aplicación de liga
El riego de liga será aplicado sobre la base, la cual debe encontrarse completamente limpia. Debe usarse aire comprimido para asegurarse de que esté completamente limpia y libre de material suelto.

Teniendo preparada la superficie se aplicará un riego de liga en toda el área incluyendo las paredes, en proporciones que podrán variar desde 0,3 a 0,6 litros (0,08 a 0,15 galones) por metro cuadrado de superficie y se deberá colocar evitándose la formación de charcos.

- Colocación de concreto asfáltico
El espesor de la carpeta de asfalto será determinado por estudios previos o tomando de referencia el espesor del pavimento existente, pero en ningún caso podrá exceder a 10 centímetros de espesor.

El material se extenderá a mano en una o dos capas de espesor similar, mediante el uso de carretillas de mano y rastrillos, evitando la segregación del material. El nivel terminado del bache debe quedar a ras del nivel de la rasante de la carretera.

La colocación de la mezcla asfáltica no debe efectuarse cuando el material base se encuentre en estado insatisfactorio o con señales de humedad. La compactación de la mezcla asfáltica deberá comenzar en los bordes y avanzar hacia el centro. Toda el área del bache debe quedar satisfactoriamente compactada, incluso aquellas áreas donde no llega el compactador mecánico.

Debe cubrirse la mezcla con lona u otro material que la preserve del polvo y las alteraciones durante el trayecto.

4.2.6. Fresado y repavimentado

El fresado o escarificación, consiste en moler la superficie del asfalto con una fresadora mecánica, eliminar los residuos de la superficie y utilizar de un 10 a 40 % de material reciclado en una nueva mezcla.

La escarificación de la carpeta asfáltica permite que el nuevo asfalto sea colocado sobre una superficie sólida. Previo al tendido del nuevo asfalto, debe realizarse un barrido del área para eliminar material suelto y debe colocarse un sello de liga (*tack coat*).

El asfalto se coloca utilizando una pavimentadora o manualmente, dependiendo del tamaño del trabajo. El fresado y repavimentado es una solución más duradera que la simple colocación de asfalto en baches, también

es más agradable estéticamente ya que las áreas reparadas son cuadradas en lugar de agujeros rellenos al azar.

Si la subbase es inadecuada o hay problemas en el relleno de drenajes, el fresado y repavimentado no es una buena opción de rehabilitación.

- Procedimiento de ejecución
 - Se podrá ordenar que se realice una prueba de carga, sobre cualquier superficie existente o sobre la superficie ya reacondicionada, con el propósito de detectar zonas inestables. Si se encontrare una condición inestable por debajo de la superficie, el material inadecuado será removido en toda el área afectada y hasta la profundidad que sea necesaria.
 - La superficie del pavimento a tratar, se nivelará a cada 20 metros como máximo. Para el proceso de escarificación y desintegración de la carpeta de rodadura, se utilizará una Pulverizadora Mezcladora o similar hasta una profundidad de 20 centímetros.
 - En vista de que el pavimento existente se debe escarificar y desintegrar, el material obtenido en esta operación, debe reducirse a un tamaño máximo de 1½ pulgadas, el cual será incorporado nuevamente a la estructura, no se producirán desperdicios en esta operación, con la sola excepción de aquellos volúmenes localizados de material inestable que pudieran contaminar la estructura, los cuales deben ser extraídos y removidos fuera de la zona de trabajo.

- La humedad de compactación no debe variar en un 2 % de la humedad óptima. El equipo de compactación debe ser seleccionado de tal manera que permita obtener la densidad especificada.
- El nivel final de la superficie no debe variar en más de 2 cm del nivel del pavimento existente.

4.2.7. Riego de sello con gravilla (*chip seal*)

Chip seal es la aplicación de un ligante bituminoso inmediatamente seguido por la aplicación de un agregado. El agregado se apisona para incrustarlo en el bitumen. Se pueden colocar capas múltiples y utilizar varios tipos de aglutinante y agregados, para tratar daños específicos o situaciones dependiendo del tráfico.

- Tipos de *chip seals*
 - *Chip seal* simple: es una aplicación de ligante seguido de un agregado. Esto se utiliza como un tratamiento de conservación del pavimento y proporciona una superficie antideslizante y resistente, contrarresta la desintegración de la superficie del pavimento y sella grietas menores.
 - *Múltiple chip seal: chip seal* múltiple (o *armor coat*) es una capa de sello integrado, compuesto por múltiples aplicaciones de ligante y agregado. Los *chip seal* múltiples se utilizan cuando se necesita un tratamiento superficial más duro y de mayor duración.

- Membrana de Absorción de Estrés (SAM): SAM es un *chip seal* simple en el que se aplica un ligante modificado de asfalto de caucho.
- Membrana de absorción de estrés entre capas (SAMI): un SAMI es un sello de membrana, que se utiliza para retardar la velocidad de la reflexión de las grietas o fisuras hacia las nuevas sobrecarpetas. Se compone de una aplicación de ligante modificado seguido por una capa de agregado.
- Tipos de ligantes asfálticos utilizados en *chip seals*
 - Emulsión de asfalto modificada con polímeros (PME).
 - Cementos de asfalto basados en el desempeño (PBA): son ligantes modificados aplicados en caliente, que pueden colocarse a temperaturas más bajas que los ligantes a base de emulsiones.
 - Ligante de asfalto-caucho (AR): son ligantes modificados con altos niveles de caucho de neumáticos desmenuzados y un alto contenido de caucho natural. Estos aglutinantes son rociados en caliente y requieren gravilla caliente prerecubierta con asfalto.
 - Emulsión rejuvenecedora: estas son emulsiones modificadas con aceites de rejuvenecimiento y algunas veces con polímeros, que se utilizan para penetrar y suavizar los pavimentos de asfalto existentes.

- Cuando utilizar *chip seals*:
 - *Chip seals* convencionales se utilizan en los pavimentos estructuralmente sólidos con agrietamientos mínimos.
 - *Chip seals* de emulsión modificada con polímeros (PME) se utilizan para corregir el desmoronamiento y la oxidación del pavimento.
 - *Chip seals* a base de caucho curan rápidamente, restauran la resistencia al deslizamiento en superficies desgastadas y resisten las grietas por reflexión.

- Fallas en donde NO pueden utilizarse *Chip seals*
 - Fallas tales como grietas, exudación, y las fallas de la capa base no pueden ser tratadas con *chip seals convencionales ni aplicados en caliente*.
 - Deformaciones, ahuellamientos y desplazamientos no pueden ser tratados con *chip seals* de ningún tipo.

- Procedimiento de ejecución
 - Preparación

La preparación de la superficie es crítica para el rendimiento. Las áreas del pavimento que exhiben fallas estructurales (tales como baches y parches deteriorados), deben ser eliminadas o tratadas mediante la aplicación de parches y sellos. Se debe evitar el uso

de mezclas en frío para parchear antes de aplicar un *chip seal*. Por último, la superficie preparada debe estar limpia, seca y libre de cualquier material suelto antes de aplicar el ligante asfáltico.

La preparación típica del área en la que se utilizará un *chip seal* normalmente incluye:

- Fresado de la superficie (únicamente si hay gran cantidad de material suelto o áreas con sangrado).
- Sellar las grietas o rellenar las grietas que pueden reflejarse a través del *chip seal*.
- Parchear cualquier área deteriorada cuando sea necesario.
- Limpieza o barrido de cualquier material suelto en la superficie del pavimento.
- Eliminar ojos de gato y cualquier otro marcador sobre el pavimento.

Si las áreas parchadas están generalmente más porosas que el resto del pavimento, puede ser necesaria una capa de ligante antes del sellado. Las áreas sombreadas que rara vez reciben luz del sol (es decir, bajo tableros de puentes), pueden necesitar un riego de liga para evitar la pérdida de agregados.

○ Condiciones meteorológicas

En general, la temperatura de la superficie del pavimento debe estar a 10 °C y en aumento, y la humedad debe ser del 50 % o inferior. El viento puede causar que la pulverización de la emulsión se desvíe y comprometa la uniformidad de la de la aplicación. Una suave brisa ayudará a acelerar los tiempos de curado. Cualquier

precipitación inmediatamente antes, durante o después de la construcción de un *chip seal*, contribuirá al fracaso del tratamiento. Por lo tanto, la colocación durante estas condiciones debe evitarse.

- Juntas de construcción

Cada capa de *chip seal* debe comenzar y terminar sobre papel de fieltro o asfáltico, esto asegura que las juntas transversales sean limpias y nítidas. Las juntas longitudinales se pueden hacer traslapadas, en este proceso se deja un borde húmedo de unos 10 cm (es decir, un borde sin una aplicación de agregado, solamente el ligante), no debe dejarse en la trayectoria de las llantas de los vehículos. Luego la próxima ejecución se superpone sobre este borde húmedo. El tendido de gravilla cubre todo el carril hasta el borde del pavimento.

- Riego de ligante

Los pasos asociados con la preparación del riego incluyen:

- Sopletear las boquillas de pulverización para garantizar que no haya obstrucciones y revisar los ángulos de la boquilla, para asegurarse que rocían en un ángulo de 15 a 30 grados, con respecto al eje de barra de pulverización.
- Verificar la altura de la barra distribuidora. La altura se ajusta usualmente de manera que se obtiene una superposición doble o triple.

- Comprobar la alineación transversal de la barra distribuidora, para asegurarse que está perpendicular a la línea central del pavimento.
 - Verificar la temperatura del ligante para asegurarse que esté en el rango adecuado para la aplicación correcta. La emulsión debe estar entre 40 y 85 °C (104 y 185 °F).
- Tendido de la gravilla
La aplicación del agregado debe seguir a la aplicación de aglutinante dentro de los primeros 90 segundos, con el fin de obtener la mejor retención de agregado posible. Un buen control visual es que la máquina tendedora de grava debe estar a menos de 30 m (100 pies) detrás del camión de riego.
 - Compactación
La función del rodillo es incrustar el agregado en el aglutinante y colocarlo en un mosaico entrelazado. Esto se logra inicialmente con rodillos de neumáticos, la compactación que hace el tránsito termina este el proceso. Los rodillos de acero no son recomendables porque pueden aplastar el agregado. El rodillo debe seguir a la tendedora de agregados a no más de 150 metros (500 pies) y no debe ser operado a más de 10 kilómetros por hora (6 millas por hora).
 - Barrido
Antes de aplicar el *chip seal*, el pavimento debe ser barrido para eliminar polvo y material suelto. Durante la construcción de un *chip seal* múltiple, se necesita eliminar el exceso de agregado que

queda entre capas. Después de la construcción, el exceso de agregado debe ser barrido para minimizar los agregados volátiles provocados por el tráfico. El barrido se hace utilizando escobas mecánicas con cerdas de nylon o de acero, no debe ser operada de tal manera que desprenda el agregado incrustado.

Los *chip seals* aplicados en caliente se pueden barrer dentro de los primeros 30 minutos, mientras que los convencionales se pueden barrer de 2 a 4 horas después de la aplicación. Después del barrido se debe aplicar una película de riego negro diluido antes de abrir el pavimento al tránsito, para eliminar la pérdida de gravilla y así mejorar la durabilidad del tratamiento.

4.2.8. Riego negro (fog seal)

El riego negro es la aplicación de una ligera película de asfalto emulsionada de rotura lenta, diluida en agua, sobre una superficie de rodadura. Este tipo de riego tiene por finalidad cerrar pequeñas fisuras, evitar una mayor pérdida del agregado manteniéndolo en su lugar, para mejorar la impermeabilidad superficial de pavimentos existentes o simplemente para mejorar la apariencia de la superficie. Sin embargo, el uso inadecuado puede resultar en pavimentos lisos.

Algunos asfaltos modificados tales como asfaltos modificados con caucho y asfaltos modificados con polímeros, envejecerán a un ritmo más lento que los ligantes convencionales. Los riegos negros no deben ser utilizados para corregir fallas tales como grietas, fallas de la capa base, pérdida excesiva de agregado, o cualesquiera otros defectos severos en el pavimento.

La emulsión diluida de baja viscosidad penetra dentro de las grietas y los vacíos superficiales, cubre partículas de agregado en la superficie. Este tipo de riego prolonga la vida del pavimento. La dilución con agua dependerá del grado de envejecimiento de la superficie a tratar. Puede variar en una relación emulsión-agua en el orden de 1:1 hasta 1:5, se prepararán diferentes diluciones y se probará en la superficie, se evaluará el grado de absorción del pavimento y se comprobará que la superficie no quede pegajosa. El riego se podrá colocar de 0,45 a 0,90 lts/m² de emulsión diluida. Puede rociarse en varias aplicaciones si se desea.

Para trabajos de pequeña envergadura, se podrá rociar con una fumigadora a motor. Para trabajos grandes se aplicará con un tanque imprimador, calentándolo levemente (60 °C) para evitar que se obstruyan las toberas.

- Cuando utilizar riegos negros

Todos los asfaltos se endurecen a medida que envejecen, principalmente debido a la oxidación, la pérdida de agregados y otros mecanismos de envejecimiento. Sin embargo, si se utilizan ligantes modificados (por ejemplo, asfalto - caucho, asfalto modificado con polímeros), las películas más gruesas con alto contenido de ligante reducen la tasa de envejecimiento.

El riego negro debe utilizarse únicamente cuando se pueda asegurar que la emulsión penetre en la superficie del pavimento, es decir, viejas superficies mezcladas en caliente que presentan desprendimientos leves y superficies abiertamente graduadas.

Para situaciones que requieren que el pavimento sellado se abra al tráfico poco después de la aplicación del riego, puede utilizarse una capa secante de arena para prevenir que los neumáticos recojan el sello y provoquen el desprendimiento y corrimiento del mismo. La arena se eliminará gradualmente por el tráfico dejando una buena textura en la superficie.

Como protección de la superficie, los riegos negros pueden ser utilizados para proteger la superficie de asfaltos mezclados en caliente (HMA), que no han envejecido significativamente (es decir, dentro de los primeros 2 años después de la colocación, después de una importante rehabilitación o de algún tratamiento de mantenimiento). Esto crea una capa de asfalto que sella huecos en la superficie y evita que el aire y el agua penetren.

- Procedimiento de ejecución

- Condiciones del sitio

Las películas de asfalto no se forman bien a bajas temperaturas en ausencia de diluyentes de baja viscosidad. Por lo tanto, las condiciones cálidas con poca o ninguna probabilidad de lluvia son necesarias para asegurar aplicaciones exitosas. Los riegos negros no deben ser aplicados cuando la temperatura atmosférica es inferior a 10 °C (50 °F) y la temperatura del pavimento por debajo de 15 °C (59 °F).

Si se produce la lluvia inesperadamente, antes de la rotura de la emulsión, la emulsión puede quedar lavada fuera de los poros del pavimento y romper directamente sobre la superficie del pavimento creando una superficie resbaladiza.

- Preparación de la superficie
Antes de la aplicación de un riego negro, la superficie del pavimento debe ser limpiada con una barredora mecánica para eliminar el polvo y materiales sueltos. La superficie debe estar limpia y seca antes de aplicar el sello.

- Preparación de los materiales
Las emulsiones asfálticas (emulsiones originales) contienen hasta un 43 % de agua, pero debe diluirse antes de su uso. Esta dilución adicional reduce la viscosidad y permite la aplicación de pequeñas cantidades de ligante residual para ser controlado adecuadamente. Se recomienda una tasa de dilución de 50 % (partes iguales de agua a partes iguales emulsión). El agua de dilución debe ser potable y libre de sólidos detectables o sales solubles incompatibles (agua dura).

La emulsión debe ser diluida no más de 24 horas antes de su uso previsto. Esto es para evitar la sedimentación de la emulsión diluida. El agua siempre se añade a la emulsión y no al revés. La emulsión se puede hacer circular usando una bomba centrífuga o de otro tipo adecuado para asegurar la uniformidad.

- Aplicación del riego
Se utilizarán camiones de distribución debidamente calibrados para aplicar la emulsión. Las aberturas recomendadas para las boquillas de pulverización son de 4 a 5 milímetros (1/8" a 3/16"). La emulsión se puede calentarse a 50 °C (122 °F) máximo, aunque, en general, la emulsión se pulveriza a temperatura ambiente.

Debe evaluarse el estado después de la aplicación para dar paso al tráfico, siempre con velocidad baja. También puede utilizarse material secante antes de abrir el paso al tránsito en relación de 1kilogramo por metro cuadrado.

4.3. Intervención recomendada a cada tipo de falla

Para intervenir adecuadamente una falla en la estructura del pavimento, debe estar en función del grado o nivel de severidad que se presenta. Los niveles de severidad se dividen en tres tipos: severidad baja, severidad media y severidad alta.

Para simplificar la categoría de la falla se utilizarán las siguientes abreviaturas:

Tabla V. **Abreviaturas para el nivel de severidad de las fallas**

SEVERIDAD	ABREVIATURA
BAJA	B
MEDIA	M
ALTA	A

Fuente: elaboración propia.

4.3.1. Intervención para deformaciones

A continuación se describe el procedimiento recomendado para intervenir las fallas por deformaciones.

4.3.1.1. Ahuellamientos

- Longitudinales (ahuellamientos, canalizaciones)
 - Severidad B: 6 a 13 milímetros de profundidad de la huella. Para intervenir esta falla se coloca una microcarpeta de refuerzo con previa nivelación de la superficie del pavimento existente.
 - Severidad M: 13 a 25 milímetros de profundidad de la huella. Para intervenir esta falla se debe remover el pavimento por medio de fresado y reconstruir las partes afectadas con recapeo.
 - Severidad A: 25 milímetros o más de profundidad de la huella. Se debe remover el pavimento y reconstruir las partes afectadas.

Si la subrasante se encuentra saturada se colocan dispositivos de subdrenaje. Si la falla se debe a deficiencias en las capas inferiores, es necesaria la reconstrucción completa del tramo afectado.

- Transversales (juntas o drenajes)

En las áreas afectadas es necesario levantar el pavimento hasta la capa que está deficientemente compactada, compactarla adecuadamente y luego reconstruir el pavimento. Debe evaluarse la utilización de subdrenaje.

Cuando no sea posible lo anteriormente descrito, se deberá proceder a fresar el área afectada y luego renivelar sistemáticamente con mezcla asfáltica hasta obtener el perfil adecuado.

4.3.1.2. Baches

Para reparar este tipo de daños es necesario proceder a hacer un parche en el pavimento, es una reconstrucción local del área afectada.

- Primero, se debe delimitar el área dañada y se procede a recortar la carpeta asfáltica.
- Segundo, se remueve el material suelto o inadecuado hasta llegar a una capa no alterada.
- Tercero, se coloca material nuevo tendido y compactado por capas.
- Cuarto, por último se rellena con concreto asfáltico y se compacta hasta alcanzar el nivel original del pavimento.

Si el tráfico no permite lo anteriormente descrito, se procede a una nivelación únicamente con concreto asfáltico, lo que no es recomendable debido a la poca vida útil de la reparación.

4.3.1.3. Corrugaciones

- Severidad B: la corrugación no tiene consecuencias sobre la calidad de rodaje.
- Severidad M: las corrugaciones producen un efecto medio en la calidad de rodaje.
- Severidad A: las corrugaciones producen un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje.

Cuando la carpeta de rodadura sea un tratamiento superficial, se procede a la escarificación de la parte afectada para mezclarla con base y luego se procede a compactarla adecuadamente antes de colocar la nueva capa asfáltica.

Si se está hablando de una capa de rodadura formalmente construida (gruesa), lo más conveniente es una reconstrucción del área afectada, removiendo la carpeta afectada y luego compactar adecuadamente la base y colocar una nueva carpeta de rodadura en el área afectada.

4.3.1.4. Desplazamiento de borde

- Severidad B: se presentan grietas finas sin disgregación. Corregir con un relleno y sellado de grietas.
- Severidad M: se presentan grietas considerables con rotura de bordes. Se procede a hacer parches parciales con posibilidad de estabilización de los hombros si el caso lo amerita.
- Severidad A: se presentan roturas de borde con altas deformaciones, haciendo inutilizable el área del hombro. En estos casos se deben reafirmar los hombros y reconstruir el pavimento afectado.

4.3.2. Fisuras y grietas

A continuación se describe el procedimiento recomendado para intervenir las fallas de fisuras y grietas.

4.3.2.1. Piel de cocodrilo

- Severidad B: se presentan grietas finas capilares y longitudinales con grosor menor a 1 milímetros, que se desarrollan de forma paralela con unas pocas interconectadas, estas grietas no están descascaradas. Para intervenir esta falla se utiliza un sello de grietas.
- Severidad M: se aprecia un patrón de grietas interconectadas y ligeramente descascaradas, las fisuras oscilan entre 1 y 3 milímetros de grosor. Para intervenir esta falla se procede a un parcheo parcial de las áreas afectadas.
- Severidad A: el patrón de grietas que se observa está bien definido y descascarado en los bordes, algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito. Esta falla puede venir acompañada de ahuellamientos. Para intervenir esta falla se debe proceder a realizar un parcheo profundo o puede considerarse una reconstrucción del área afectada.

Es recomendable inspeccionar si existe alguna deficiencia de drenaje. Si se observa que el daño es provocado por deficiencia de subdrenaje, significa que es un grado severo de deterioro y se procederá a la reconstrucción completa del área afectada del pavimento, colocando algún dispositivo de subdrenaje y se debe remover el material húmedo para reemplazarlo con uno nuevo y posteriormente rellenar el área con concreto asfáltico y compactar hasta el nivel original del pavimento.

4.3.2.2. Fisuras en arco o lengüetas

- Severidad B: el ancho de la grieta es menos a 10 milímetros.

- Severidad M: el ancho de la grieta está entre 10 y 38 milímetros y puede presentar fracturas en pequeños pedazos alrededor del área.
- Severidad A: el ancho de la grieta es mayor a 38 milímetros y presenta fracturas en pedazos removibles alrededor del área.

Cuando son grietas pequeñas, se procede a sellarlas con productos asfálticos. Si las grietas son pronunciadas, entonces se procede a remover la capa superficial hasta el punto en donde ya no se aprecie la grieta y luego se hace un parchado de asfalto. Es posible que deba removerse por completo la carpeta de rodadura e incluso parte de la base para estabilizarla.

4.3.2.3. Grietas longitudinales

- Severidad B: se presentan grietas de grosor menor a 10 milímetros, para intervenir esta falla, se procede a un sello de grietas.
- Severidad M: se presentan grietas de grosor entre 10 y 76 milímetros, pueden estar rodeadas de pequeñas grietas aleatoriamente. Para intervenir esta falla, se procede a un sello de grietas llenándolas con asfalto líquido y arena.
- Severidad A: grietas rellenas o no, de más de 76 milímetros. Pueden presentarse pequeñas grietas aleatorias alrededor o bien severamente fracturadas. Para intervenir esta falla, se procede a realizar un sello de grietas llenándolas con asfalto líquido y arena, debe considerarse un parcheo parcial del área severamente afectada.

Si se detecta que el problema se debe al agua, debe de colocarse un dispositivo de drenaje. Si las rectilíneas se presentan en los bordes, se procederá a nivelar con una capa asfáltica. Si el terraplén es muy angosto, debe ampliarse para evitar futuras grietas de borde.

4.3.2.4. Grietas transversales

La solución típica es el sellado de grietas. Si se observa que la causa es insuficiencia en el espesor de capa, debe colocarse una microcarpeta de asfalto.

Esta falla puede considerarse exactamente igual a las grietas longitudinales y por ende llevar a cabo el mismo tipo de evaluación y procedimiento de rehabilitación.

4.3.2.5. Grietas por reflexión

- Severidad B: se presentan grietas de grosor menor a 10 milímetros, para intervenir esta falla, se procede a un sello de grietas para grosores mayores a 3 milímetros.
- Severidad M: se presentan grietas de grosor entre 10 y 76 milímetros, pueden estar rodeadas de pequeñas grietas aleatoriamente. Para intervenir esta falla, se procede a un sello de grietas o parcheo de profundidad parcial por medio de escarificación de la grieta y relleno asfáltico.
- Severidad A: grietas de más de 76 milímetros. Pueden presentarse pequeñas grietas aleatorias alrededor o bien severamente fracturadas.

Para intervenir esta falla, se procede a realizar un parcheo de profundidad parcial y considerar la reconstrucción de la junta.

4.3.2.6. Grietas en bloque

- Severidad B: las grietas se presentan con grosores menores a 10 milímetros. Para intervenir este tipo de falla, se procede a un sellado de grietas con ancho mayor a 3 milímetros o un riego de sello.
- Severidad M: se presentan grietas con grosores entre 10 y 76 milímetros, puede presentarse grietas aleatorias pequeñas alrededor del área. Para intervenir este tipo de falla, se procede con sello de grietas, dependiendo el grado de aberturas se puede proceder a un reciclado superficial o a un escarificado en caliente y sobrecarpeta.
- Severidad A: las grietas presentan grosores mayores a 76 milímetros, puede presentar pocos centímetros del pavimento alrededor de la misma severamente fracturados. Para intervenir esta falla, se procede a un reciclado superficial con sobrecarpeta o a un parcheo profundo en el área afectada.

4.3.3. Desprendimientos

A continuación se describe el procedimiento recomendado para intervenir las fallas por desprendimientos en la superficie del pavimento.

4.3.3.1. Ojo de pescado

- Severidad B: la profundidad del hueco es menor a 10 milímetros

- Severidad M: la profundidad del hueco es menor a 25 milímetros
- Severidad A: la profundidad del hueco es mayor a 25 milímetros

Una práctica común consiste en limpiar el agujero, compactarlo y verter concreto asfáltico dentro, luego emparejar y compactar para nivelarlo con la carpeta de rodadura.

Lo recomendable en cualesquiera de los casos, es realizar un parcheo parcial o profundo en el área afectada.

4.3.3.2. Pérdida de película ligante

Debe colocarse un sello con agregados pétreos (*chip seal*) de buena adherencia con asfalto.

4.3.3.3. Peladura o descascamiento

Colocación de un tratamiento superficial de protección, siempre y cuando las grietas no sean profundas.

4.3.3.4. Pérdida de agregado

Cuando el área afectada es pequeña puede colocarse un parchado. Cuando el área afectada es grande debe cubrirse con un nuevo tratamiento dosificando convenientemente el asfalto para evitar afloramientos.

4.3.3.5. Descarnadura o cabezas duras

Cuando no es muy pronunciado no es necesario tratarlo. Si el problema es bastante pronunciado es necesario colocar un sello asfáltico.

4.3.4. Afloramientos

A continuación se describe el procedimiento recomendado para intervenir las fallas por afloramientos en la superficie del pavimento.

4.3.4.1. Afloramiento de agua

Para intervenirlo, debe realizarse una captación de las aguas subterráneas mediante dispositivos adecuados de drenaje. Al solucionar el efluente de agua, se procede a sellar las grietas si se considera necesario.

4.3.4.2. Afloramiento de ligante

Cuando exista exudación de asfalto puede colocarse una capa de arena caliente como primera opción.

Si esta falla abarca un área grande, debe colocarse una microcarpeta con previa escarificación del pavimento y debe estar adecuadamente dosificada. Si el área afectada es pequeña, puede solamente removerse el material y reemplazarlo por uno adecuado.

4.3.5. Alisamientos

A continuación se describe el procedimiento recomendado para intervenir las fallas por alisamientos en la superficie del pavimento.

4.3.5.1. Afloramiento de mortero

Cuando la superficie afectada no se torna resbaladiza, no se necesita acción alguna. Por el contrario, si la superficie afectada es resbaladiza, deberá colocarse un tratamiento superficial.

4.3.5.2. Desgaste de áridos (agregados pulidos)

Para reparar esta falla, la única forma es realizando un fresado y aplicando un tratamiento superficial con agregados duros, ya sea un sellado de arena o un sello de material pétreo duro y angular.

Si el área afectada corresponde a un tratamiento superficial o microcarpeta, es necesario aplicar un nuevo tratamiento superficial con materiales pétreos duros.

5. MAQUINARIA EMPLEADA EN REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Las autopistas, calles o carreteras pavimentadas, tanto como cualquier otro camino no pavimentado, requieren de mantenimiento para conservar la comodidad y eficiencia para los usuarios de las vías. Estos mantenimientos pueden dividirse en mantenimiento rutinario y mantenimiento periódico. Un mantenimiento de rutina o rutinario consiste en tareas que previenen la falla de la estructura del pavimento, así como limpieza de la vía. Un mantenimiento periódico es aquel que se hace cada cierto tiempo, revisando si se localizan pequeñas imperfecciones en el pavimento.

Para realizar las tareas de mantenimiento se necesita de equipo y maquinaria especializada, adecuada para cada actividad relacionada. El equipo o maquinaria requerida se selecciona de acuerdo a las dimensiones del área a trabajar, por ejemplo, en un área donde el ancho es menor a 2 metros, no es posible utilizar maquinaria pesada, por lo que es necesario utilizar herramientas manuales como compactadores manuales, cargadores frontales, retroexcavadoras pequeñas, piochas, palas, carretillas, azadones, entre otros.

La maquinaria y equipo puede agruparse de acuerdo a la actividad en la cual se utiliza, siendo estas:

- Equipo de mantenimiento general
- Equipo para mantenimiento de carpeta asfáltica
- Equipo de seguridad

5.1. Equipo de mantenimiento general

Cuando se habla de mantenimiento general se traduce en mantenimiento de rutina, por lo que se habla de tareas como limpieza de cunetas, limpieza de arriates, limpieza de hombros, restaurar la señalización vial, desmonte de taludes, entre otros. Para este tipo de actividades se utilizan herramientas tales como:

- Machetes
- Piochas
- Palas
- Brochas
- Escobas
- Rastrillos
- Cepillos
- Carretillas
- Costales
- Podadoras

5.2. Equipo de mantenimiento de carpeta asfáltica

Al hablar de mantenimiento de carpeta asfáltica se puede decir que es un mantenimiento periódico, debido a que se lleva a cabo cuando existe un deterioro en el pavimento, lo cual no consiste en una actividad de rutina.

En el mantenimiento de la carpeta asfáltica se encuentran tareas de distinta índole, tales como escarificación, limpieza, imprimación, asfaltado, compactación, entre otros. Cada una de estas tareas o trabajos requiere de

maquinaria y herramientas especiales. A continuación se presentan ejemplos de maquinaria y equipo según las tareas para las que han sido fabricados.

5.2.1. Equipo para escarificación

Escarificar se refiere a rasgar y desgastar la superficie de la carpeta de rodadura. La maquinaria empleada para realizar esta tarea se conoce como fresadora o escarificadora.

La fresadora usa un tambor de fresado giratorio para desintegrar y remover una tira amplia de asfalto a una profundidad determinada. Esta acción deja un acabado corrugado para tender una nueva capa de asfalto y así restablecer las superficies deterioradas, lo que es muy económico. Algunas cuentan con una cinta transportadora que recoge el asfalto triturado.

Como las máquinas fresadoras de pavimentos son eficientes y fáciles de operar, son muy usadas para el mantenimiento y mejoran las condiciones de autopistas y calles. La figura 27 muestra una fresadora para áreas grandes como un carril completo, en la figura 28 aparece una fresadora para áreas pequeñas como en una falla de descascamiento.

5.2.2. Equipo para limpieza

El área debe limpiarse previo al tendido de material asfáltico, es decir, remover las partículas sueltas de material granular y cualquier otro tipo de partícula ajena al material de construcción. Para limpiar el área de trabajo se utiliza maquinaria como las que se muestran en las figuras 29 y 30.

En la figura 29 se muestra un tipo de barredora mecánica que necesita de un vehículo para transportarse, mientras que en la figura 30 se muestra una barredora mecánica autopropulsada, completa, que barre y aspira los residuos por medio de un sistema de succión y recirculación de aire.

Figura 27. **Máquina fresadora de asfalto en frío, CAT PM 102 Wheel**



Fuente: *Perfiladoras de pavimento en frío*. <www.cat.com>. Consulta: 12 de enero de 2013.

Figura 28. **Fresadora pequeña o liviana, CENNIT CSD 335 EHY**



Fuente: *Fresadora de pavimentos*. <www.cennit.com>. Consulta: 12 de enero de 2013.

Figura 29. **Escoba mecánica, CMV**



Fuente: *Arriendo de equipos*. <www.columbiamaq.cl>. Consulta: 12 de enero de 2013.

Figura 30. **Barredora mecánica, Rosco RB-48A**



Fuente: *Barredora autopulsada*. <www.directIndustry.es>. Consulta: 13 de enero de 2013.

5.2.3. **Equipo para riego de liga o imprimación**

El riego de liga o imprimación se utiliza para proteger, impermeabilizar y unir entre sí las partículas minerales existentes en la superficie y endurecer la capa base, previo a tender el material asfáltico. Favorece la adherencia entre la superficie imprimada y la capa inmediata superior. El riego consiste en rociar de manera uniforme la emulsión asfáltica, no se requiere la utilización de agregados.

La forma más común de efectuar el riego de la emulsión asfáltica es utilizando un camión regador. Este regador debe estar provisto con una bomba para obtener un riego uniforme. La maquinaria y equipo para realizar esta tarea se describe en las figuras de la 31 a la 33.

Figura 31. **Petrolizadora, Strata Seaman**



Fuente: *Petrolizadoras*. <www.dimaqmx.com>. Consulta: 13 de enero de 2013.

Figura 32. **Petrolizadora remolcable, Rosco RMT-1000**



Fuente: *Asphalt distributor*. <www.nixon-egli.com>. Consulta: 13 de enero de 2013.

Figura 33. **Batea regadora de asfalto, Indhor BRA 40**



Fuente: *Batea regadora de asfalto*. <www.andreucci.com.ar>. Consulta: 13 de enero de 2013.

Las figuras 31 a la 33 muestran contenedores para emulsión asfáltica, que mediante un dispositivo dispersor, la emulsión es colocada en forma de una película delgada unas 2 horas antes de aplicar el concreto asfáltico.

La diferencia entre cada una de las regadoras/esparcidoras mostradas, es simplemente el tamaño en función del área a cubrir. La primera es una regadora utilizada en la construcción de carreteras nuevas, es decir, para grandes tramos viales. La segunda regadora es para áreas de mediana envergadura, y la última es prácticamente para reparación de baches o áreas bastante pequeñas.

5.2.4. Equipo para sellado de juntas o grietas

La operación consiste en sellar con asfalto alguno de los tipos de grietas que se producen en los pavimentos asfálticos, con el propósito de minimizar la infiltración de agua y la oxidación del asfalto. Para esto se utiliza equipo como se muestra en las figuras 34 y 35

Figura 34. **Máquina para sellado de juntas, Breining mono 800**



Fuente: *Sellador de juntas*. <www.maquinter.es>. Consulta 14 de enero de 2013.

Figura 35. **Selladora de juntas pequeña, Breining VG 800**



Fuente: *Sellador de juntas*. <www.maquinter.es>. Consulta 14 de enero de 2013.

En la figura 34 se muestra un vehículo que combina lo necesario para reparar y sellar grietas y juntas, se utiliza para reparar tramos grandes bastante dañados. En la figura 35 se muestra un equipo más sencillo que funciona a gas, es utilizado en áreas menores o en grietas pequeñas, no tan severas, a manera de prevenir la expansión del deterioro.

5.2.5. Equipo para asfaltar

Para efectos de esta sección, se puede utilizar la palabra *recapeo* en vez de *asfaltar*. El *recapeo* no es más que la colocación de una capa de asfalto nueva sobre una preexistente, previamente preparada, es una técnica utilizada para reparar un asfalto severamente dañado. Para transportar el asfalto generalmente se utilizan camiones de volteo, luego es esparcido y compactado.

El *bacheo* es otro trabajo sumamente importante para el mantenimiento periódico de un pavimento flexible, consiste en la reparación de agujeros o baches presentes en el pavimento. Existe un vehículo especializado para realizar esta tarea llamado *camión de bacheo*, este vehículo transporta asfalto y riego de liga manteniéndolos a temperatura adecuada durante el tiempo de reparación.

Figura 36. **Camión de volteo, International Workstar 7300**



Fuente: *Camiones international workstar*. <www.proyectar.com.mx>. Consulta: 14 de enero de 2013.

Figura 37. **Camión de bacheo, Bergkamp FP5**



Fuente: *Smart patching*. <www.bergkampinc.com>. Consulta: 14 de enero de 2013.

5.2.6. Equipo de compactación

La compactación es sumamente importante para acomodar y conformar cualquier tipo de agregado, para dar firmeza al material y evitar deformaciones futuras por el exceso de vacíos. Es por esto que desde la subrasante hasta la carpeta de rodadura es necesario utilizar algún método de compactación.

Compactar evita que el material se asiente y genere deformaciones en el pavimento que conducen al deterioro de la carpeta de rodadura. Esta compactación se hace mediante rodos vibratorios, aplanadores o cualquier otro equipo de compactación como se muestra en las figuras 38 a la 41.

5.2.7. Equipo para fracturación o corte

El equipo de corte se utiliza para delimitar el recuadro que será reparado, evitando que, al utilizar un equipo de fracturación como el taladro, se afecte al resto del pavimento que se encuentra en buenas condiciones. El equipo de fracturación como el martillo hidráulico es utilizado para demoler parte de un pavimento fraccionándolo en piezas pequeñas para luego removerlo.

5.2.8. Otros equipos utilizados en reparación de carreteras

Algunos de los equipos que se emplean en el mantenimiento de carreteras, necesitan de energía eléctrica y/o de equipos neumáticos para poder funcionar. Como normalmente los trabajos de reparación se realizan por la noche o en la madrugada, es necesario contar con iluminación artificial y esta se logra por medio de torres de iluminación con generadores. Se presentan ejemplos de algunos de estos equipos:

Figura 38. **Rodillo vibratorio de doble tambor, Vibroplus LA-91**



Fuente: *Rodillos*. <www.rentamak.com.ar>. Consulta: 14 de enero de 2013.

Figura 39. **Rodillo vibratorio manual con dirección hidráulica, Enar REN650DK**



Fuente: *Compactación*. <www.enar.es>. Consulta 14 de enero de 2013.

Figura 40. **Apisonadora mecánica (Bailarina), Wacker BS 50-2**



Fuente: *Compacting*. <www.wackerdirect.com>. Consulta: 14 de enero de 2013.

Figura 41. **Plancha vibratoria, Wacker VP-1550**



Fuente: *Compacting*. <www.wackerdirect.com>. Consulta: 14 de enero de 2013.

Figura 42. **Cortadora de asfalto. Kormax KCC-16**



Fuente: *Sierras*. <www.maquinariastock.com>. Consulta: 14 de enero de 2013.

Figura 43. **Martillo hidráulico, Chicago Pneumatic RX4, colocado en un minicargador BobCat S185**



Fuente: *Martillos hidráulicos*. <www.lacasadelbobcat.com>. Consulta: 14 de enero de 2013.

Figura 44. **Compresor de aire portátil, Sullair 425 CFM**



Fuente: *Compresores portátiles*. <www.unimaq.com.pe>. Consulta: 15 de enero de 2013.

Figura 45. **Planta generadora de electricidad, Lincoln Vantage 500**



Fuente: *Motosoldadoras*. <www.unimaq.com.pe>. Consulta: 15 de enero de 2013.

Figura 46. **Torre de iluminación, Terex AL5**



Fuente: *Torres de iluminación*. <www.unimaq.com.pe>. Consulta: 15 de enero de 2013.

6. SEGURIDAD OCUPACIONAL EN REHABILITACIÓN DE CARRETERAS

La gestión de seguridad comprende funciones de planificación, identificación de áreas peligrosas, coordinación del personal y llevar control de actividades de seguridad. Todo esto se hace con el fin de prevenir accidentes y padecimientos. Normalmente se cree que un accidente equivale a una lesión o heridas, aunque en realidad un accidente no provoca únicamente heridas.

La acción más importante en el tema de seguridad, debe ser identificar y prevenir las condiciones peligrosas que conllevan a los accidentes.

Para salvaguardar la integridad física de los obreros y evitar cualquier tipo de lesión, se proporciona equipo de protección personal (EPP), también conocido como equipo de protección individual (EPI). Estos equipos proporcionan una protección eficaz frente a los riesgos que motivan su uso, sin riesgos adicionales ni molestias por su uso.

Todos los obreros y supervisores deben ser obligados a usar equipo de protección, tales como: chalecos reflectivos, casco, botas de seguridad y guantes de trabajo, también se considera el uso de tapones para los oídos, gafas de seguridad y protecciones contra caídas, dependiendo de la tarea a realizar.

Algo muy importante es planificar la forma en que se va a controlar el tránsito a lo largo del proyecto. Para esto, se debe colocar personal de señalización que use casco, chalecos reflectivos y banderines. También se

deben utilizar: señales de tránsito, conos, barreras protectoras, flecheros y carteles con información de los trabajos. La señalización debe estar en buen estado y ser altamente visible.

6.1. Lineamientos de salud y seguridad

Los trabajadores de obras en carreteras construyen, mantienen y mejoran los caminos para mantener la seguridad vial de los conductores. Estos trabajadores corren un alto riesgo de morir o de enfermar mientras realizan su trabajo por lo que es necesario que se mantengan alertas y que sigan los lineamientos de seguridad.

Corren el riesgo de morir a causa de los vehículos en movimiento, por la maquinaria y herramientas empleadas en las tareas de rehabilitación o incluso por desastres naturales. Es importante un entrenamiento en control del tráfico y procedimientos de trabajo seguros. Entrenamiento y capacitación para el uso de los equipos que se utilizarán, desde la herramienta más pequeña hasta la maquinaria más grande. Respecto a los materiales a utilizar deben conocerse los peligros de los productos químicos que puedan contener y procedimientos de emergencia al existir contacto y contaminación por estos, ya que de lo contrario pueden enfermar e incluso intoxicarse y conducir a la muerte.

De ser posible se debe trabajar de cara al tráfico o colocar a una persona de guardia para vigilar el tráfico que se aproxima. Es necesario fomentar la buena comunicación y asegurarse de que todos los vehículos tengan alarmas al dar marcha atrás, también es recomendable tener una ruta o un plan de evacuación preparado para posibles situaciones de alto riesgo como deslaves o tormentas.

Otro de los parámetros fundamentales es el no beber, fumar o conversar mientras se está realizando tareas delicadas como el control de tráfico y la operación de maquinaria pesada, además de cualquier herramienta que pueda ocasionar lesiones, tanto hacia el obrero como a terceros.

Una efectiva gestión de seguridad persigue tres objetivos principales:

- Lograr un ambiente seguro.
- Hacer que el trabajo sea seguro.
- Hacer que los obreros tengan conciencia de la seguridad para consigo mismo y para los demás.

6.1.1. Políticas de seguridad

Política de seguridad es el conjunto de reglas y procedimientos que regulan la forma en que una organización previene y maneja los riesgos que pueden presentarse en la ejecución de un proyecto. Deberá cubrir los siguientes aspectos:

- Elaborar un plan de seguridad.
- Planificación para impartir la capacitación a todos los niveles. Es necesario prestar especial atención a trabajadores cuyos errores pueden ser peligrosos y mortales para los demás.
- Métodos o sistemas para realizar labores riesgosas.
- Deberes y responsabilidades de los supervisores y los trabajadores.
- Métodos y dispositivos para difundir la información sobre seguridad y salud.
- Establecer un inspector de seguridad.

6.1.2. Organización de la seguridad

En los proyectos donde se utilicen subcontratistas, estos deberán apegarse al control de seguridad de la obra, es decir, deben utilizar equipo de protección, señalización y formar parte del plan de seguridad.

Debe impartirse capacitación a todo el personal, desde el personal administrativo hasta los obreros y operarios. También es necesario capacitar a los subcontratistas y sus trabajadores de la misma manera que al personal fijo de la obra.

Debe instalarse al menos un inspector de seguridad que sea el encargado de revisar los equipos, máquinas y trabajos, para corroborar el uso adecuado y la ausencia de riesgos. Todo debe quedar registrado y debe pasarse un informe al supervisor o director del proyecto. Los lineamientos que debe seguir el inspector de seguridad se basan en lo siguiente:

- Construcción de instalaciones de seguridad tales como caminos de acceso, pasos peatonales, barreras y líneas de vida para protección contra caídas en las partes altas.
- Colocación de carteles con información de seguridad.
- Medidas de seguridad especiales para cada tipo de trabajo.
- Inspección de limpieza de las instalaciones de servicios sanitarios, vestuarios y comedores.
- Charlas sobre el plan de seguridad a cada uno de los grupos de trabajo.
- Planes de emergencia y evacuación.

Para organizar la seguridad dentro de la cuadrilla de trabajadores deben asegurarse y definir las tareas tanto para supervisores, obreros, inspectores de

seguridad y tomar en cuenta la distribución del área de trabajo. A continuación se dan algunos lineamientos para cada nivel dentro del organigrama de la obra.

- Supervisores

Los supervisores deben cerciorarse que el inspector de seguridad cumpla con su trabajo y deben ser rigurosos en revisar la siguiente información:

- Condiciones de trabajo y del equipo.
- Efectuar regularmente inspecciones de seguridad de los sitios de trabajo.
- Capacitación adecuada a los obreros sobre el trabajo que deben realizar.
- Cumplimiento de las medidas de seguridad en los sitios de trabajo.
- Que exista y se utilice el equipo de protección personal.
- Cumplimiento con las normas de seguridad por parte de subcontratistas.
- Aplicación de medidas preventivas.
- Consultoría y respaldo técnico a la comisión de seguridad.
- Los supervisores deben participar en la planificación previa de la obra.

- Trabajadores

Todo trabajador tiene el deber de velar por su seguridad y la de sus compañeros de trabajo. Esto puede llevarse a cabo mediante:

- Reuniones preparatorias: en estas reuniones se les explica a los trabajadores la fase de trabajo que se va a realizar, la manera en que se va a realizar, datos importantes y sobre todo se identifican

los posibles peligros y situaciones a tomar en cuenta y de qué manera solventarlos.

- Controles de seguridad: por parte del inspector de seguridad, se les recuerda a cada miembro del equipo sobre el uso del equipo de protección personal y las situaciones peligrosas. De esta manera los obreros pueden aprender a velar por su seguridad y asimismo ayudar a los demás para evitar accidentes durante el trabajo.
- Inspectores de seguridad
Los inspectores de seguridad pueden formar parte de una comisión de seguridad. La finalidad de tener un grupo encargado de la seguridad de la obra es buscar que tanto jefes como trabajadores colaboren en el cumplimiento del plan de seguridad, para impedir que ocurran accidentes o desastres y de esta manera mejorar las condiciones de trabajo.

Los deberes a cumplir por una comisión de seguridad son:

- Reuniones regulares con grupos de obreros para tratar el tema de seguridad.
- Estudio de los informes de control de seguridad.
- Análisis de los informes sobre accidentes y padecimientos con el fin de hacer recomendaciones preventivas.
- Estudio de las sugerencias presentadas por los trabajadores.
- Planificación de sesiones informativas.
- Verificar la instalación de carteles de seguridad.
- Verificar el estado y el uso del equipo de protección.
- Hacer chequeos y controles a las herramientas y maquinaria pesada.

- Verificar el uso de arneses y barandas en trabajos de altura.
 - Inspección de estabilidad de taludes.
 - Entre otras.
- Distribución del área de trabajo
Una obra mal distribuida y descuidada es motivo principal de muchos accidentes. El lugar de trabajo debe ser ordenado y la ubicación de materiales y parqueo de maquinaria debe ser delimitado, de igual manera la ubicación de bodegas para herramientas y equipo. Todo esto con el fin de evitar interrupciones en la movilidad del personal y obstrucción de rutas de maquinaria, para no entorpecer el proyecto.

Para que la obra esté en una buena disposición y sea ordenada, es necesario realizar previamente los siguientes puntos:

- Planificar la secuencia en que se van a llevar a cabo las fases de trabajo y todos los procesos especialmente peligrosos.
- El acceso de los trabajadores a la obra y las zonas de trabajo deberán estar libres de obstrucciones y riesgos tales como materiales que caen, equipos y vehículos. Deben colocarse letreros de advertencia adecuados. Las vías hacia y desde los servicios sanitarios, vestuarios, entre otros, requieren del mismo orden, limpieza y señalización.
- De ser posible, las vías para el desplazamiento de los vehículos, deberán ser en un solo sentido para tener mayor control.
- El mal ordenamiento de la obra y la falta de espacio para que los obreros se desplacen se torna en una situación insegura y esto puede ser causa de accidentes.

6.2. Equipo de protección personal

EPI significa Equipo de Protección Individual y se refiere a todo tipo de prendas de vestir que ayudan a salvaguardar la integridad física de los obreros y demás trabajadores. No obstante, aparte de EPI, es necesario utilizar equipo de seguridad perimetral en el área de trabajo para evitar accidentes a causa de los vehículos que circulan en los alrededores.

El EPI básico se compone de pantalón de lona, camisa de manga larga y botas industriales. Dependiendo del área de trabajo se utilizan chalecos reflectivos de diferentes colores, cascos de seguridad también de varios colores, guates, gafas, tapa oídos, mascarillas y arneses de seguridad. La figura 47 muestra un modelo de equipo de protección completo.

Figura 47. **Equipo de protección personal o individual**



Fuente: *Normas para la entrega de equipo de protección personal*. <www.avenrut.com>.

Consulta: 5 de marzo de 2014.

6.2.1. Protección para pies

Cuando se habla de botas o zapatos de seguridad (suela reforzada), se pueden clasificar según el nivel de protección ofrecido, por lo general de acuerdo al trabajo que se realiza. El calzado de seguridad está regulado por la Norma ANSI Z41.1, se utilizará en actividades donde puedan caer objetos pesados, donde existan objetos cortantes en el suelo, materiales calientes o riesgos eléctricos.

El calzado de seguridad se clasifica de la siguiente manera:

- **Zapatos o botas de seguridad**
Es el calzado de uso profesional que no proporciona protección en la parte de los dedos, pero que incorpora tope o puntera de seguridad reforzada con una estructura de acero que garantiza una protección suficiente frente a impactos, perforaciones o aplastamientos, con una energía equivalente de 200 Joules en el momento del choque, y frente a la compresión estática bajo una carga de 15 Kilo Newtons.
- **Zapatos de protección**
Este tipo de calzado también es de uso profesional pero que a diferencia del anterior este proporciona protección en la parte de los dedos, también incorpora tope o puntera de seguridad que garantiza una protección suficiente frente al impacto, otra diferencia es que esta clase de calzado soporta una energía equivalente de 100 J en el momento del choque, y frente a la compresión estática bajo una carga de 10 KN.

Figura 48. **Calzado de seguridad/protección para los pies**



Fuente: a.<www.safetystoremexico.com>. Consulta: 5 de marzo de 2014.

6.2.2. Protección para cabeza

Los cascos pueden proteger a los empleados de impactos al cráneo, de heridas profundas y de choques eléctricos, como los que causan los objetos que se caen o flotan en el aire, los objetos fijos o el contacto con conductores de electricidad. Asimismo, el reglamento de la *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA, entidad de Estados Unidos, encargada de velar por la seguridad ocupacional y salubridad en el trabajo), requiere que los empleadores se cercioren que los trabajadores cubran y protejan el cabello largo con el fin de evitar que se agarre en piezas de maquinaria como las correas y las cadenas.

Para mantener el casco en su lugar es importante el uso de barbiquejos, estos se sujetan al casco y a la barbilla dando protección a la barbilla y a su vez manteniendo el casco en su lugar. Normalmente se utiliza el barbiquejo cuando se trabaja en alturas o cuando el trabajo requiere agacharse o inclinarse demasiado.

Según la Norma ANSI Z89.1, existen dos tipos de cascos:

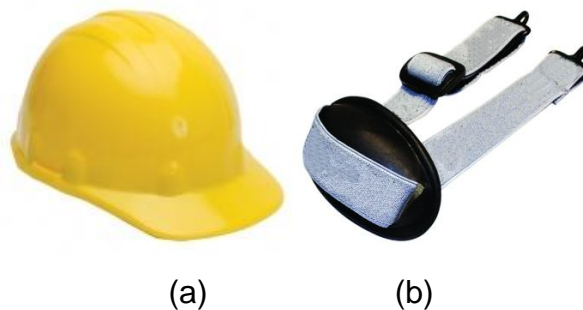
- Tipo I, que provee protección contra impactos de objetos que caen directamente desde arriba.
- El Tipo II, además de proveer protección contra caídas de objetos, también protege de golpes laterales, frontales y de la parte de atrás de la cabeza.

A su vez, se subdivide en 3 clases de cascos:

- Clase A: Para servicio general, protección contra voltajes bajos.
- Clase B: De aplicación eléctrica, contra voltajes altos
- Clase C: Conductivos, son de servicio general y son metálicos. No ofrecen protección contra voltajes.

Los cascos tienen una vida útil de 5 años, pero deben ser reemplazados si presentan fracturas. Las bandas de suspensión deben cambiarse cada año.

Figura 49. **Casco de seguridad y barbiquejo, (a) casco, (b) barbiquejo**



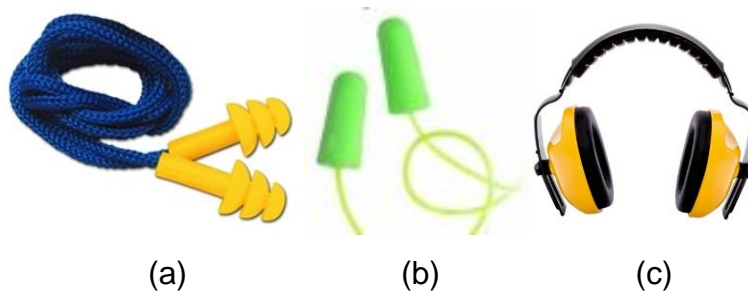
Fuente: Cascos. <www.safetystoremexico.com>. Consulta: 5 de marzo de 2014.

6.2.3. Protección auditiva

Utilizar tapones para oídos u orejeras puede ayudar a proteger los oídos. La exposición a altos niveles de ruido, medidos en decibeles (DBA), puede causar pérdidas o discapacidades auditivas irreversibles así como estrés físico o psicológico. Los tapones para oídos de material alveolar, de algodón encerado o de lana de fibra de vidrio son fáciles de ajustar correctamente. Tapones de oídos moldeados o preformados deben ser adecuados a los trabajadores que van a utilizarlos por un profesional. Limpie los tapones con regularidad y reemplace los que no pueda limpiar.

Las Normas OSHA recomiendan el uso de protección auditiva en áreas que presentan 85 DBA. Para 90 DBA es requerido el uso de protección auditiva.

Figura 50. **Protectores para la audición, (a) tapón reutilizable de goma, (b) tapón desechable de espuma, (c) orejeras**



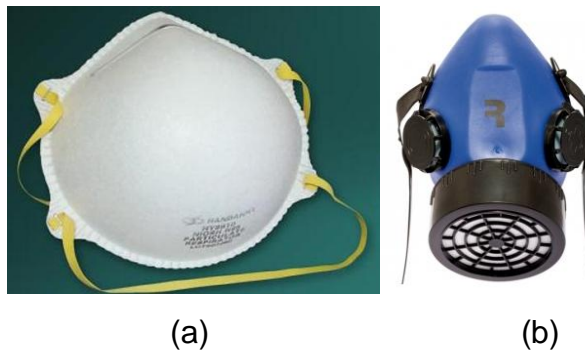
Fuente: Tapón auditivo. <www.safetystoremexico.com>. Consulta: 5 de marzo de 2014.

6.2.4. Protección de las vías respiratorias

Las Normas OSHA *standards*, dicen que los trabajadores deben utilizar equipo respiratorio para protegerse contra los efectos nocivos a la salud

causados al respirar aire contaminado por polvos, brumas, vapores, gases, humos, salpicaduras o emanaciones perjudiciales. Generalmente, el equipo respiratorio tapa la nariz y la boca, o la cara o cabeza entera y ayuda a evitar lesiones o enfermedades provocadas por aspirar gases o materiales dañinos. No obstante, un ajuste adecuado es esencial para que sea eficaz el equipo respiratorio.

Figura 51. **Protectores de las vías respiratoria, (a) mascarilla desechable, (b) respirador sencillo**



Fuente: Respiración. <www.safetystoremexico.com>. Consulta: 5 de marzo de 2014.

6.2.5. Protección de la visión

Las gafas de seguridad, gafas protectoras de goma, gafas con protectores laterales y las caretas pueden ayudar a proteger a los trabajadores de ser impactados por fragmentos, astillas de gran tamaño, chispas calientes, radiación óptica, así como las partículas de arena, suciedad, vapores y polvo.

Las gafas de seguridad pueden ser oscuras si son para labores bajo la luz intensa del sol, pueden ser transparentes para trabajos con poca visibilidad. Si fueran trabajos de soldadura, el tipo de gafas o máscaras son totalmente

diferentes y especiales. La protección de los ojos debe cumplir con la Norma ANSI Z87.1.

Figura 52. **Gafas de seguridad, (a) lentes de seguridad, (b) careta**



Fuente: Lentes. <www.safetystoremexico.com>. Consulta: 5 de marzo de 2014.

6.2.6. Protección para las manos

Los trabajadores expuestos a sustancias nocivas mediante absorción por la piel, a laceraciones o cortes profundos, abrasiones serias, quemaduras químicas, quemaduras térmicas y extremos de temperatura nocivos, deben proteger sus manos. Para proteger las manos se suelen utilizar guantes o manoplas de distintos materiales, dependiendo de la actividad que se realice.

- Guantes de cuero: se utilizan cuando se trabaja en un medio seco, para cargar pesos o trabajos mecánicos.
- Guantes de goma o caucho: estos guantes protegen cuando se trabaja en medios húmedos, con grasa o con polvo.
- Guantes aluminizados: se utilizan cuando se va a realizar trabajos a altas temperaturas

Figura 53. **Guantes de seguridad, (a) guante recubierto con nitrilo, (b) guantes de carnaza**



Fuente: Guantes. <www.safetystoremexico.com>. Consulta: 5 de marzo de 2014.

6.2.7. Protección de advertencia reflectiva contra terceros

Se utiliza en áreas de alto tráfico vehicular, áreas donde hay movimiento de equipo pesado y para personas que dirigen el tráfico. El objetivo es hacerse notar visualmente contra posibles peligros de atropello.

Figura 54. **Chalecos reflectivos**



Fuente: Chalecos. <www.safetystoremexico.com>. Consulta: 5 de marzo de 2014.

6.2.8. Protección contra caídas

Los sistemas personales para detener las caídas son una manera de proteger a los trabajadores de caerse. En general, los trabajadores deben tener una protección contra las caídas siempre que exista la posibilidad que caigan de una altura de 1.85 metros o mayor.

La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) les exige a los trabajadores ponerse un arnés de cuerpo completo (que es una parte del sistema personal para detener las caídas) cuando están trabajando en un andamio colgante a más de 3.05 metros por encima de la superficie de trabajo. Cuando se trabaja en andamio, también deben utilizarse barandales de seguridad.

Para utilizar el arnés de seguridad, es necesario contar una “línea de vida”, que es un cordón de seguridad especial que une el arnés a un punto de anclaje rígido y fijo. Si el trabajo requiere una mayor movilidad entre dos puntos, lo necesario es colocar un cable de acero tensado entre dos puntos fijos y anclarse a este mediante la línea de vida.

Figura 55. **Arnés de seguridad**



Fuente: Equipo de protección contra caídas de altura. <www.americansafety.com.mx>.

Consulta: 5 de marzo de 2014.

6.2.9. Equipo de protección perimetral y control de tráfico

Para que sean eficaces, los dispositivos que se usan para controlar el tráfico deben cumplir con estos cinco requisitos fundamentales:

- Deben responder a una necesidad
- Deben llamar la atención
- Deben comunicar un mensaje claro y sencillo
- Deben inspirar respeto entre los usuarios de la vía pública
- Deben darle al automovilista el tiempo necesario intuir el significado

La tarea más crítica para la seguridad de los obreros en carreteras es el “control temporal de tráfico”, este control requiere de un plan que debe ser preparado y entendido por todos los participantes responsables antes de ocupar el sitio. Antes de iniciar cualquier desvío nuevo o ruta provisional que afecte la circulación del tránsito, hay que instalar todas las señales necesarias, cuando ya no hagan falta hay que retirarlas al igual que todos los dispositivos que se hayan empleado para el proceso de control temporal de tráfico. A continuación se ejemplifican los implementos básicos necesarios para llevar a cabo el control temporal del tráfico:

- Conos reflectivos
Los conos viales son dispositivos de seguridad en forma cónica, su base es cuadrada o hexagonal. Los conos están fabricados con materiales PVC que les permiten recuperar su forma después de ser atropellados, para seguir funcionando y no dañar al vehículo. Se colocan en superficies uniformes para delimitar áreas de trabajo. Son de color naranja fluorescente y pueden o no llevar cinta reflejante (hasta dos franjas) en caso de ser requerido.

Figura 56. **Cono reflector**



Fuente: *Señales viales y de protección civil*. <www.paont.com.mx>. Consulta: 18 de julio de 2014.

- **Toneles reflectivos**
También se les llama trafitambos. Los trafitambos o tambos de tráfico, son dispositivos de seguridad en forma cilíndrica, están fabricados en polietileno de media densidad y suelen ser de color naranja, se utilizan para delimitar zonas de trabajo. Pueden llevar cinta reflejante de alta intensidad, o grado diamante en caso de requerirlo.

Figura 57. **Tonel reflector**



Fuente: *Señales viales y de protección civil*. <www.paont.com.mx>. Consulta: 18 de julio de 2014.

- **Barreras plásticas**

Las barreras viales están fabricadas en polietileno, pueden ser utilizadas vacías o ser rellenas con agua o arena.

Las barreras viales son de gran visibilidad y utilidad durante la ejecución de obras, cuentan con un grabado que les permite ser utilizadas con reflejante de alta intensidad o grado diamante.

Figura 58. **Barrera reflectora**



Fuente: *Señalización vial*. <www.toolbox.com.co>. Consulta: 18 de julio de 2014.

- **Malla perimetral**

Es de plástico, color naranja y se utiliza para delimitar zonas de trabajo.

- **Banderines**

Son de tela de malla color naranja, pueden llevar una franja reflejante y sirven como auxiliares en el control del tráfico.

Figura 59. **Malla perimetral**



Fuente: Equipo de tráfico/tránsito. <www.safetystoremexico.com>. Consulta: 18 de julio de 2014.

Figura 60. **Banderín**



Fuente: Equipo de tráfico/tránsito. <www.safetystoremexico.com>. Consulta: 18 de julio de 2014.

- **Rótulos de advertencia e informativos**
Las señales viales de obras en el camino o DPP, son herramientas que pertenecen al grupo de dispositivos de protección en obras, estas señales son caracterizadas por tener forma de rombo y un color naranja en el fondo con una imagen y en algunos casos texto de color negro, sirven para notificar al usuario de la proximidad de un tramo donde se estén realizando obras de construcción o conservación de pavimentos.

Figura 61. **Señales DPP**



Fuente: *Señales viales y de protección civil*. <www.paont.com.mx>. Consulta: 18 de julio de 2014.

Las señales viales informativas o DPI se caracterizan por tener forma rectangular y un color naranja en el fondo con texto de color negro y algunas veces imágenes. Sirven para guiar a los conductores e informar sobre qué sucede y las precauciones a tomar en cuenta.

Figura 62. **Señales DPI**



Fuente: *Señales viales y de protección civil*. <www.paont.com.mx>. Consulta: 18 de julio de 2014.

Las señales viales canalizadoras o DPC, se caracterizan por tener forma rectangular y franjas en color naranja y negro, son elementos que se utilizan para encausar el tráfico de vehículos y peatones lo largo de un tramo en construcción.

Figura 63. **Señales DPC**



Fuente: *Señales viales y de protección civil*. <www.paont.com.mx>. Consulta: 18 de julio de 2014.

Las señales se fabrican con tableros de lámina galvanizada, usualmente calibre 16, los fondos son de vinil reflejante de alta intensidad o grado diamante, las imágenes pueden ser de vinil, vinil reflejante, se fijan mediante tornillería a un poste de tubular pintado, el cual lleva pata de gallo, que le permite colocarlo temporalmente en donde sea necesario.

- **Luces indicadoras**

Las luces indicadoras o flecheros son señalamientos luminosos móviles, pueden funcionar con energía solar en caso de que se requiera que trabajen en una zona donde no es posible obtener energía eléctrica, también existen los flecheros de corriente alterna para conectarse a un generador portátil. Se utilizan como señales de prevención en construcciones o conservación de pavimentos, permiten prevenir a los usuarios de la existencia de una obra o de algún obstáculo que podría poner en riesgo la vida del usuario, también son utilizadas para señalar desvíos temporales.

Figura 64. **Flecheros**



Fuente: *Señales viales y de protección civil*. <www.paont.com.mx>. Consulta: 18 de julio de 2014.

CONCLUSIONES

1. Para que un pavimento sea duradero debe: ser bien diseñado, seguir estrictamente las especificaciones técnicas de materiales y equipo, asegurarse de tener una correcta ejecución y métodos constructivos.
2. Las posibles causas que generan deterioros en el pavimento, deben ser estudiadas, debido a que forman parte importante en la toma de decisiones para su reparación, porque si reparamos únicamente la carpeta de rodadura y nuestra falla proviene de capas inferiores es muy probable que esta vuelva a causar problemas en un futuro muy próximo.
3. Los métodos de corrección de fallas, conocidos actualmente, tales como *crackfilling*, *cracksealing*, *microsurfacing*, *slurry seal*, entre otros, pueden aplicarse a uno o varios tipos de falla. La diferencia en el método, de una falla a otra, es que unas fallas suelen ser superficiales y otras provienen de capas inferiores en forma de reflejo de la misma por lo que necesitan reparaciones adicionales.
4. Una incorrecta selección del método de reparación representa pérdidas económicas porque las fallas serían recurrentes, no obstante, la selección del método se basa no solo en el tipo de falla, sino también mediante factores económicos y es en este punto en el que se obtiene una discrepancia y debe ser atendida.

5. Es de suma importancia la implementación de sistemas y métodos de seguridad ocupacional en las obras de carreteras, para salvaguardar la vida humana y evitar disgustos y problemas con los usuarios de la vía.

RECOMENDACIONES

1. En cada trabajo de reparación de carreteras debe haber un encargado de control de calidad, que verifique que los procedimientos realizados sean los adecuados, que inspeccione los equipos y que apruebe o desapruebe la calidad de los materiales a utilizar.
2. El tramo de carretera a ser reparado debe inspeccionarse y definir cada tipo de falla presente. Se debe catalogar el tipo de falla y analizar la causa y origen de dicha falla. De esta manera se podrá seleccionar el método de reparación más adecuado para asegurar una reparación duradera.
3. Es importante que el encargo de la cuadrilla conozca del trabajo que va a realizar. Se le debe transmitir información clara de los procedimientos de cada método de reparación que vaya a utilizar, paso a paso, para lograr efectividad en el trabajo.
4. Es recomendable no realizar trabajos en condiciones húmedas o saturadas. Seguir al pie de la letra las técnicas recomendadas para la aplicación de los materiales y sobre todo, revisar las especificaciones y calidad de los materiales que se emplean.
5. Es importante no entorpecer el tránsito, por esta razón todos los trabajos deben realizarse en horas de la noche y madrugada, dependiendo de las horas pico del área.

6. Algo verdaderamente importante en las labores de mantenimiento, es dar una adecuada introducción del trabajo a los obreros, además de charlas sobre seguridad e higiene ocupacional. Tanto los operadores como los obreros, personal de señalización y el superintendente o encargado deben estar seguros del trabajo que realizan para una correcta ejecución sin riesgos.

7. Debe usarse el equipo y maquinaria adecuada, instruir claramente a cada miembro del equipo en cuanto al uso de este equipo y los riesgos que esto conlleva.

BIBLIOGRAFÍA

1. Consejo de Directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica. *Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles*. Volumen 11. Viña del Mar, 2002. 25 p.
2. *Equipos de protección individual*. [en línea]
<<http://www.ibermutuamur.es/IMG/pdf/coleccionable08.pdf>>
[Consulta: 15 de octubre de 2013].
3. *Fallas en pavimentos flexibles*. [en línea]
<tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3024/Capitulo4.pdf> [Consulta: 15 de octubre de 2013].
4. GONZALES, Rubén; SOENGAS, Cecilia; BOTASSO, Gerardo. *Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos en áreas urbanizadas*. Argentina: U.T.N Facultad Regional de La Plata, Laboratorio de Materiales de Construcción, 2002. 25 p.
5. LOPEZ SANCHEZ, Eduardo. *Fallas en los pavimentos flexibles y rígidos*. México: Instituto Tecnológico de Tehuacán, 2006. 18 p.
6. Maintenance technical advisory guide (MTAG). *Chip seals*. California: CALTRANS, 2003. 30 p.
7. ————. *Crack sealing and crack filling*. California: CALTRANS, 2003. 26 p.

8. ————. *Fog seals*. California: CALTRANS, 2003. 20 p.
9. ————. *Maintenance overlays*. California: CALTRANS, 2003. 40 p.
10. ————. *Microsurfacing*. California: CALTRANS, 2009. 33 p.
11. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: MICIVI, 2001. 724 p.
12. ————. *Manual de Procedimientos de Conservación de Carreteras. Sección 3, Mantenimiento de la Red Vial Pavimentada*. Guatemala: COVIAL, 2001. 75 p.
13. MONTEJO FONSECA, Alfonso. *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. 2a ed. Bogotá: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones, 2002. 733 p.
14. *Normas básicas de seguridad en la obra*. [en línea] <<http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=1357>> [Consulta: 15 de octubre de 2013].
15. OLIVERA BUSTAMANTE, Fernando. *Estructuración de vías terrestres*. México: Continental, 1996. 413 p.
16. OSHA Standards. *Equipo de protección personal*. [en línea] <https://www.osha.gov/dte/grant_materials/fy07/sh-16589-07/equipo_de_proteccion_personal_subparte_e.ppt> [Consulta: 5 de agosto de 2014].

17. *Pavimentos*. [en línea]
<<http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/Pavimentos.pdf>> [Consulta: 1 de noviembre de 2011].
18. RICO RODRIGUEZ, Alfonso; DEL CASTILLO, Hermilo. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres, carreteras, ferrocarriles y aeropistas*. México: Limusa, 2005. 644 p.
19. SANCHEZ RIVERA, Enrique. *Ampliación y reconstrucción de la carretera federal México-Puebla de la ciudad de Cholula a Santa María Zacatepec, km. 98+300 al km. 103+300*. Tesis de licenciatura de Ingeniería Civil. México: Universidad de las Américas Puebla, 2006. 112 p.
20. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. *Manual centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala: SIECA, 2002. 289 p.
21. *Seguridad e higiene industrial: cero incidentes*. [en línea]
<<http://seguridadceroincidentes.blogspot.com/2013/03/seguridad-industrial-proteccion-de-los.html>> [Consulta: 15 de octubre de 2013].
22. *Señales viales y de protección civil*. [en línea] <www.paont.com.mx>
[Consulta: 5 de agosto de 2014].
23. Unidad Ejecutora de Conservación Vial. *Especificaciones Especiales*. Guatemala: COVIAL, 2014. 225 p.

