

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**“MANUAL DE MANTENIMIENTO EN VÍAS URBANAS,
UTILIZANDO MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE,
TIBIA Y EN FRIO”.**

PRESENTADO POR:

RAFAEL ALBERTO ALONZO HERNÁNDEZ

JOSÉ ALFREDO FLORES LÓPEZ

JOSÉ RAFAEL SÁNCHEZ BELTRÁN

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título :

**“MANUAL DE MANTENIMIENTO EN VÍAS URBANAS,
UTILIZANDO MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE,
TIBIA Y EN FRIO”.**

Presentado por :

RAFAEL ALBERTO ALONZO HERNÁNDEZ

JOSÉ ALFREDO FLORES LÓPEZ

JOSÉ RAFAEL SÁNCHEZ BELTRÁN

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. DÍLBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

San Salvador, Octubre de 2012

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. DÍLBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios todopoderoso, por habernos permitido concluir otra etapa importante de nuestras vidas, dándonos la ayuda que necesitamos, en todo instante de nuestras vidas y guiarnos con sabiduría, para finalizar ésta carrera universitaria. Además agradecer a nuestras familias ya que sin su apoyo esto no hubiera sido posible. Sin olvidar a nuestros amigos y compañeros con los que compartimos todos estos años de estudio.

Queremos agradecer además, a nuestros docentes directores, Ing. Dílber Antonio Sánchez e Ing. Mauricio Ernesto Valencia, por su valiosa colaboración, entrega, tiempo y conocimientos compartidos, a lo largo del desarrollo de toda la investigación, y con lo cual, hemos podido concluir satisfactoriamente todo este esfuerzo en conjunto.

A las empresas e instituciones que nos colaboraron desinteresadamente durante el desarrollo de nuestro trabajo de graduación, con información actualizada, asesoría técnica, entre otros. De manera muy especial, agradecemos a las siguientes instituciones que en su debido momento nos brindaron su valiosa colaboración:

- Universidad de El Salvador (UES)
- Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)
- DIMARTI, S.A. de C.V.

A los diferentes profesionales de las instituciones y empresas, que con su valiosa colaboración enriquecieron este trabajo de graduación, brindándonos su apoyo, especialmente a:

- Ing. Franklin Barrera
- Ing. Alfredo Cabrera
- Ing. Marlon Cárcamo
- Ing. Damian Vásquez
- Ing. Victor Orellana
- Arq. Eliud Ayala
- Arq. Julio Hernández

Los Autores.

DEDICATORIA

A DIOS PADRE TODOPODEROSO por haberme permitido la culminación de mi carrera profesional, guiarme y protegerme en el camino de la vida; a María Auxiliadora y San Juan Bosco por hacerme parte de la gran familia Salesiana la cual me ha enseñado a esforzarme por alcanzar mis metas y sueños.

A MIS PADRES: Francisca Dina Hernández y Rafael Antonio Alonzo todo su apoyo, amor, comprensión, aliento, consejos, y también por haberme brindado el apoyo espiritual y económico a lo largo de mis estudios.

A MIS HERMANOS: Luis David Alonzo y Dina Jasmin Alonzo por haberme dado todo su apoyo, comprensión, aliento, consejos durante todo este tiempo.

A MIS AMIGOS: De la Universidad especialmente a Rafael Sánchez, Alfredo Flores, Germán Velásquez, Pedro Laínez, Mauricio Martínez, Stanley Grijalva, Alberto Anaya, con los que compartimos momentos buenos, y no tan buenos, pero que siempre me acompañaron en todo y siempre demostraron su sinceridad, y a mis amigos del colegio por compartir conmigo esta etapa de mi vida.

A MIS ASESORES: Ing. Dílber Sánchez e Ing. Mauricio Valencia por toda su ayuda brindada en el desarrollo de este trabajo de graduación y brindarme el apoyo y ayuda necesaria siempre.

A MIS PROFESORES: que me brindaron todos sus conocimientos a lo largo de la carrera, además de su amistad, apoyo y colaboración siempre que lo necesite.

Rafael Alberto Alonzo Hernández.

DEDICATORIA

A DIOS PADRE TODOPODEROSO por haberme permitido la culminación de mi carrera profesional, guiarme y protegerme en el camino de la vida; a María Auxiliadora y San Juan Bosco por hacerme parte de la gran familia Salesiana la cual me ha enseñado a esforzarme por alcanzar mis metas y sueños.

A mi padre JOSÉ GODOFREDO FLORES por dejarme el mejor legado que puede haber en la vida la educación y por guiarme en los caminos de la Ingeniería Civil; a mi madre ALMA GLORIA LÓPEZ DE FLORES por escucharme, darme ánimos y por estar conmigo en todo momento de la vida. A mi hermana MINELA VANESSA FLORES LÓPEZ por brindarme parte de sus conocimientos adquiridos y por aconsejarme con su experiencia en esta vida; a mi hermano ALFREDO ROLANDO FLORES LÓPEZ (Q.D.D.G.) que aunque no te conocí, tu recuerdo en nuestra familia siempre estará presente y sabemos que desde el cielo nos proteges; a mis tías, tíos, primos, primas y toda nuestra familia.

A todos mis catedráticos de la Universidad por compartir con nosotros su conocimiento y ayudarnos así a progresar en la vida, en especial al Ing. Dilber Sánchez y al Ing. Mauricio Valencia por su cooperación, apoyo y asesoría durante la elaboración de nuestro trabajo de graduación. También a profesores de tercer ciclo y bachillerato entre ellos el Ing. David Noyola, Ing. Roberto Castillo, Ing. Jesús, entre otros, muchas gracias.

A mis compañeros de tesis Rafael Sánchez y Rafael Alonzo ya que juntos lo hemos logrado y hemos llegado al final de nuestra carrera. A mis amigos y compañeros con los cuales pasamos mañanas, tardes y noches de estudio y de grandes recuerdos inolvidables entre ellos: Alberto Anaya, Stanley Grijalva, Edwin Siliezar, Francisco Guardado, Mauricio Martínez, Pedro Eriberto, Laura Castro, Israel Bonilla, Merlin Baños, Tatiana Flores, Elder Santos y Alan Flores, por compartir conmigo esta etapa de mi vida, algunos desde el Ricaldone unos siguen hasta hoy, gracias totales.

“Si he podido ver más allá que los demás, es porque me he parado en los hombros de un gigante... en los hombros de Dios”. **José Alfredo Flores López.**

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO: Por haberme dado la vida, la inteligencia, la sabiduría, la salud y guiarme por el camino correcto durante todo el transcurso de mi carrera y el desarrollo de éste trabajo de graduación.

A MIS PADRES: Lola Milagro Sánchez Sánchez y José Rafael Beltrán todo su apoyo, amor, comprensión, aliento, consejos y sobre todo, por haberme tenido mucha paciencia, y también por haberme brindado el apoyo espiritual y económico a lo largo de mis estudios.

A MI HERMANO: José Mario Ernesto Beltrán Sánchez por haberme apoyado y brindado todo su apoyo, a pesar de todas las diferencias y dificultades que han surgido en nuestro camino.

A MIS ABUELAS: María Sánchez y María Natividad Beltrán (Q.D.D.G.) porque siempre estuvieron pendiente de todo lo que realizaba, y siempre me aconsejaron para buscar siempre el camino correcto.

A TODOS MIS FAMILIARES: pero muy especialmente a mi tío Enrique Sánchez, a mi tía Morena Sánchez y a mi tío Samuel Ramírez; por brindarme su apoyo moral, espiritual y económico, y por apoyarme siempre en todo.

A MIS AMIGOS: Mauricio Martínez, Rafael Alonzo, Pedro Laínez, Germán Velásquez, Alfredo Flores, y todos mis demás amigos con los que compartimos momentos buenos, y no tan buenos, pero que siempre me acompañaron en todo y siempre demostraron su sinceridad y supieron comprenderme, a pesar de mi carácter.

A MIS ASESORES: Ing. Dílber Sánchez e Ing. Mauricio Valencia por toda su ayuda brindada en el desarrollo de este trabajo de graduación y brindarme el apoyo y ayuda necesaria siempre.

A MIS PROFESORES: que me brindaron todos sus conocimientos a lo largo de la carrera, además de su amistad, apoyo y colaboración siempre que lo necesite.

José Rafael Sánchez Beltrán.

ÍNDICE

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	4
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.4 OBJETIVOS.....	13
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.5 ALCANCES.....	14
1.6 LIMITACIONES.....	15
1.7 JUSTIFICACIÓN.....	16

CAPITULO II

DEFINICIONES ACERCA DEL MANTENIMIENTO VIAL

2.1 GESTIÓN DE PAVIMENTOS.....	19
2.1.1 Niveles de la gestión de pavimentos.....	21
2.1.1.1 Gestión de pavimentos a nivel de proyecto.....	21
2.1.1.2 Gestión de pavimentos a nivel de red.....	22
2.2 ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS.....	24
2.2.1 Inventario de la red.....	24
2.2.2 Condición de los pavimentos.....	24
2.2.3 Estrategias de mantenimiento.....	25
2.2.4 Necesidades de la red.....	25
2.2.5 Priorización de obras.....	26
2.2.6 Programas de trabajo.....	26
2.2.7 Presupuesto.....	26
2.2.8 Ejecución de obras y retroalimentación.....	26

2.3 MANTENIMIENTO VIAL.....	27
2.3.1 Mantenimiento rutinario.....	28
2.3.2 Mantenimiento periódico.....	28
2.3.3 Mantenimiento preventivo.....	29
2.4 ASFALTOS.....	29
2.4.1 Funciones del asfalto.....	30
2.5 AGREGADOS.....	30
2.5.1 Clasificación de los agregados.....	31
2.5.1.1 Agregados naturales.....	31
2.5.1.2 Agregados procesados.....	32
2.5.1.3 Agregados sintéticos.....	32
2.6 PAVIMENTOS.....	33
2.6.1 Funciones de Los Pavimentos.....	34
2.7 PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	35
2.7.1 Elementos que conforman la estructura de un pavimento.....	36
2.7.1.1 Sub-rasante.....	36
2.7.1.2 Sub-base.....	37
2.7.1.3 Base.....	37
2.7.1.4 Capa de rodamiento.....	38
2.8 MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	39
2.8.1 Definición de mezcla asfáltica en caliente.....	40
2.8.2 Definición de mezcla asfáltica en frío.....	41
2.8.3 Definición de mezcla asfáltica tibia.....	43
2.8.4 Ventajas de la aplicación de mezclas asfálticas tibias.....	48
2.8.5 Comparación entre MAT y MAC.....	49
2.9 TIPOS DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL.....	50
2.9.1 Tratamiento superficial simple y doble.....	51
2.9.1.1 Tratamiento Superficial Simple.....	51
2.9.1.2 Tratamiento Superficial Doble.....	51

2.9.2 Riego de imprimación.....	52
2.9.3 Riego anti-polvo.....	54
2.9.4 Riego de liga.....	55
2.9.5 Lechadas asfálticas.....	57
2.9.6 Micro-aglomerados (Micropavimentos o Micro-surfacing).....	61
2.10 DETERIOROS EN PAVIMENTOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	64
2.10.1 PIEL DE COCODRILO.....	64
2.10.1.1 Descripción.....	64
2.10.1.2 Posibles causas.....	64
2.10.1.3 Niveles de severidad.....	65
2.10.1.4 Medición.....	65
2.10.2 BACHE.....	66
2.10.2.1 Descripción.....	66
2.10.2.2 Posibles causas.....	66
2.10.2.3 Niveles de severidad.....	67
2.10.2.4 Medición.....	67
2.10.3 FISURA TRANSVERSAL.....	68
2.10.3.1 Descripción.....	68
2.10.3.2 Posibles causas.....	68
2.10.3.3 Niveles de severidad.....	68
2.10.3.4 Medición.....	69
2.10.4 FISURA LONGITUDINAL.....	69
2.10.4.1 Descripción.....	69
2.10.4.2 Posibles causas.....	70
2.10.4.3 Niveles de severidad.....	70
2.10.4.4 Medición.....	71
2.10.5 GRIETA TRANSVERSAL.....	71
2.10.5.1 Descripción.....	71
2.10.5.2 Posibles causas.....	72

2.10.5.3 Niveles de severidad.....	72
2.10.5.4 Medición.....	73
2.10.6 GRIETA LONGITUDINAL.....	73
2.10.6.1 Descripción.....	73
2.10.6.2 Posibles causas.....	74
2.10.6.3 Niveles de severidad.....	74
2.10.6.4 Medición.....	75

CAPITULO III

PROCESO CONSTRUCTIVO PARA EL MANTENIMIENTO DE LA CARPETA ASFÁLTICA

3.1 SELLO DE FISURAS Y GRIETAS.....	77
3.1.1 Equipo.....	77
3.1.1.1 Ruteadora o máquina para cortar pavimento.....	77
3.1.1.2 Compresor neumático.....	80
3.1.1.3 Caldera de calentamiento para el material sellante.....	81
3.1.1.4 Rueda medidora u odómetro.....	82
3.1.2 Herramientas varias.....	83
3.1.2.1 Palas.....	83
3.1.2.2 Carretillas.....	83
3.1.2.3 Cinta métrica.....	84
3.1.2.4 Marcadores.....	84
3.1.3 Mano de obra.....	84
3.1.3.1 Operadores.....	84
3.1.4 Materiales.....	85
3.1.4.1 Material sellante.....	85
3.1.4.2 Material secante (arena)	88
3.1.5 Procedimiento para reparación de fisuras y grietas.....	88
3.1.5.1 Tipos de configuraciones de sellado de grietas o fisuras.....	88

3.1.5.2 Configuraciones de los sellos.....	89
3.1.5.3 Condiciones.....	90
3.1.5.4 Colocación de los dispositivos de señalización y seguridad.....	91
3.1.5.5 Revisión de la vía.....	92
3.1.5.6 Identificar las grietas y fisuras a reparar.....	92
3.1.5.7 Ampliar la fisura o grieta.....	93
3.1.5.8 Limpieza y secado de la grieta o fisura.....	94
3.1.5.9 Medición de las longitudes de las grietas o fisuras.....	96
3.1.5.10 Recepción del material sellante.....	97
3.1.5.11 Calentamiento del material sellante.....	98
3.1.5.12 Verificación de temperatura de calentamiento de material sellante.....	99
3.1.5.13 Verificación de la temperatura de aplicación del material sellante.....	101
3.1.5.14 Colocación del material sellante dentro de la grieta o fisura.....	101
3.1.5.15 Chequeo de adherencia del material sellante en la grieta o fisura.....	103
3.1.5.16 Acabado final del pavimento.....	104
3.2 REPARACIÓN DE PIEL DE COCODRILO Y BACHES UTILIZANDO MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE.....	105
3.2.1 Equipo.....	105
3.2.1.1 Atomizadora.....	105
3.2.1.2 Camión de Volteo.....	106
3.2.1.3 Rodillo Vibratorio.....	107
3.2.1.4 Apisonador vibratorio manual.....	108
3.2.1.5 Minicargador (BobCat) con capacidad de fresadora.....	109
3.2.1.6 Termómetros.....	110
3.2.2 Herramientas varias.....	111
3.2.2.1 Palas.....	112
3.2.2.2 Carretillas.....	112
3.2.2.3 Apisonador.....	112
3.2.2.4 Rastrillos.....	112

3.2.2.5 Piochas.....	113
3.2.2.6 Cinta métrica.....	113
3.2.2.7 Marcadores.....	113
3.2.3 Mano de obra.....	113
3.2.3.1 Cuadrilla de bacheo (1 caporal y 6 peones al menos).....	114
3.2.3.2 Piloto de camión de volteo, un operador de rodillo y un operador de minicargador.....	114
3.2.4 Materiales.....	115
3.2.4.1 Mezcla Asfáltica en Caliente.....	115
3.2.4.2 Emulsión.....	116
5.2.5 Procedimiento para reparación de baches y piel de cocodrilo.....	117
3.2.5.1 Revisión de la vía.....	117
3.2.5.2 Colocación de los dispositivos de señalización y seguridad.....	117
3.2.5.3 Señalar las áreas de los deterioros a reparar.....	118
3.2.5.4 Fresar el área señalada.....	119
3.2.5.5 Corte del área señalada.....	119
3.2.5.6 Limpieza del bache.....	120
3.2.5.7 Medición del volumen de mezcla a ser utilizado.....	122
3.2.5.8 Aplicación de la capa de liga.....	123
3.2.5.9 Revisión de la temperatura de colocación de la mezcla.....	123
3.2.5.10 Colocación de la mezcla.....	124
3.2.5.11 Extender la mezcla en el bache.....	125
3.2.5.12 Nivelar el bache.....	126
3.2.5.13 Revisión de la temperatura de compactación de la mezcla.....	126
3.2.5.14 Compactación de la mezcla.....	127
3.2.5.15 Chequeo de densidades de compactación.....	128
3.3 TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO..	128
3.3.1 Equipo.....	129
3.3.1.1 Máquina Mezcladora/Aplicadora.....	129

3.3.1.1 Caja Esparcidora.....	131
3.3.1.3 Atomizadora.....	133
3.3.1.4 Camión Cisterna.....	133
3.3.2 Herramientas varias.....	134
3.3.2.1 Palas.....	134
3.3.2.2 Carretillas.....	134
3.3.3 Mano de obra.....	135
3.3.3.1 Operador/Supervisor.....	135
3.3.3.2 Operador de maquina distribuidora/aplicadora.....	135
3.3.3.3 Cuadrilla de 3 a 5 Obreros.....	135
3.3.4 Materiales.	136
3.3.4.1 Agregados.....	136
3.3.4.2 Emulsión.....	137
3.3.4.3 Agua.....	138
3.3.4.4 Finos minerales.....	139
3.3.5 Procedimiento para el mantenimiento de una vía utilizando micro-pavimento.....	140
3.3.5.1 Revisión de la vía.....	140
3.3.5.2 Preparación de la vía.....	141
3.3.5.3 Nivelación de la superficie.....	141
3.3.5.4 Definir forma de trabajo.....	142
3.3.5.5 Revisión de condiciones atmosféricas.....	143
3.3.5.6 Colocación de los dispositivos de señalización y seguridad.....	144
3.3.5.7 Limpieza de la vía.....	144
3.3.5.8 Humedecer la vía.....	145
3.3.5.9 Preparación de materiales.....	145
3.3.5.10 Preparación de la maquina mezcladora/aplicadora.....	147
3.3.5.11 Nebulización con agua.....	148
3.3.5.12 Colocación del micro-pavimento.....	149

3.3.5.13 Delimitación del micro-pavimento.....	150
3.3.5.14 Revisión del micro-pavimento colocado en la vía.....	151
3.3.5.15 Colocación del siguiente tramo de micro-pavimento.....	153
3.3.5.16 Apertura al tráfico.....	154
3.4 DETALLE DE LA UTILIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS..	155
3.4.1 Clasificación de las mezclas asfálticas tibias (MAT).....	155
3.4.1.1 Aditivos-Ceras.....	155
3.4.1.2 Procesos de formación de espuma.....	155
3.4.1.3 Tecnologías emergentes en los EE.UU.....	156
3.4.2 Métodos para producir mezclas tibias.....	156
3.4.2.1 Sistemas mediante el uso de aditivos.....	157
3.4.2.2 Sistemas a base de espuma (1/3) – Zeolita.....	159
3.4.2.3 Sistemas a base de espuma (2/3) – LEA.....	160
3.4.2.4 Sistemas a base de espuma (3/3). Planta de Doble Tambor.....	161
3.4.2.5 Sistema de doble envuelta – Shell WAMfoam.....	163
3.4.2.6 Sistema basado en emulsión.....	164

CAPITULO IV

ENSAYOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

4.1 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES.....	167
4.1.1 Asfaltos.....	167
4.1.1.1 Cementos asfálticos (AC).....	168
4.1.1.2 Emulsiones.....	169
4.1.2 Material pétreo (agregados)	170
4.1.2.1 Abrasión.....	171
4.1.2.2 Desintegración al sulfato de sodio.....	171
4.1.2.3 Caras fracturadas y partículas planas o alargadas.....	171
4.1.2.4 Impurezas.....	171
4.1.2.5 Graduación.....	171

4.1.2.6	Plasticidad.....	172
4.1.2.7	Peso volumétrico (Densidad).....	173
4.1.3	Material secante para sello de fisuras.....	173
4.1.3.1	Material para el sellado de grietas o fisuras.....	173
4.2	ESPECIFICACIONES DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO DE SELLO DE FISURAS Y GRIETAS.....	174
4.2.1	Material sellante aplicado en caliente.....	174
4.2.1.1	Clasificación.....	175
4.2.1.2	Requerimientos Físicos.....	176
4.2.1.3	Empaque y Señalización.....	177
4.2.2	Material secante.....	177
4.2.2.1	Plasticidad.....	178
4.2.2.2	Impurezas.....	178
4.3	ESPECIFICACIONES DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO DE PIEL DE COCODRILO Y BACHE.....	178
4.3.1	Riego de liga.....	178
4.3.1.1	Material.....	178
4.3.2	Mezclas Asfálticas en caliente.....	179
4.3.2.1	Materiales.....	179
4.3.2.2	Composición general de la mezcla.....	179
4.3.2.3	Requerimientos para la mezcla asfáltica.....	182
4.3.3	Agregados minerales gruesos.....	184
4.3.4	Agregado minerales finos.....	184
4.3.5	Relleno mineral (<i>Filler</i>)	185
4.3.6	Material asfáltico.....	186
4.4	ESPECIFICACIONES DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO MICRO-PAVIMENTOS.....	187

4.4.1 Materiales asfálticos.....	187
4.4.2 Agregados minerales.....	189
4.4.3 Agregados minerales finos.....	190
4.4.4 Agua.....	190
4.4.5 Otros aditivos.....	190
4.4.6 Diseño de la mezcla.....	190
4.4.6.1 Reporte del laboratorio.....	191
4.4.6.2 Tolerancias.....	192
4.4.6.3 El almacén de agregados.....	193
4.4.6.4 Almacenamiento de materiales asfálticos.....	193
4.5 ENSAYOS PARA MATERIALES DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	193
4.5.1 Ensayos para asfaltos.....	193
4.5.1.1 Penetración.....	194
4.5.1.2 Viscosidad.....	194
4.5.1.3 Punto de inflamación.....	194
4.5.1.4 Ductilidad.....	195
4.5.1.5 Solubilidad.....	195
4.5.2 Ensayos para agregados.....	195
4.5.2.1 Granulometría.....	195
4.5.2.2 Abrasión.....	196
4.5.2.3 Peso específico.....	196
4.5.2.4 Peso unitario.....	197
4.5.2.5 Humedad.....	197
4.5.2.6 Ensayo de resistencia a los sulfatos.....	197
4.6 ENSAYOS PARA LA MEZCLA.....	198
4.6.1 Ensayo de Densidad Bulk.....	198
4.6.2 Ensayo de teórica máxima.....	198
4.6.3 Ensayo de estabilidad y flujo.....	199
4.6.4 Flujo.....	199

4.6.5 Ensayo de extracción de asfalto.....	200
4.6.6 Ensayo de granulometría de agregado extraído.....	200
4.7 INFORMACIÓN DE DISEÑO QUE SE ENTREGA AL CONTRATANTE.....	201
4.7.1 Agregado y relleno mineral.....	201
4.7.2 Cemento asfáltico.....	202
4.7.3 Aditivos mejoradores de adherencia.....	202
4.7.4 Planta asfáltica donde se aplica el diseño.....	203
4.8 ESPECIFICACIONES DE EQUIPO.....	204
4.8.1 Equipo para mantenimiento general.....	204
4.8.2 Equipo para mantenimiento de carpeta asfáltica.....	205
4.8.2.1 Equipo para escarificación.....	205
4.8.2.2 Equipo para limpieza de área de trabajo.....	206
4.8.2.3 Equipo para riego de liga o imprimación.....	207
4.8.2.4 Equipo para pavimentación.....	208
4.8.2.5 Equipo de compactación.....	208

CAPITULO V

SEGURIDAD VIAL

5.1 GENERALIDADES DE LA SEGURIDAD VIAL.....	211
5.1.1 Recomendaciones importantes.....	212
5.2 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD.....	213
5.2.1 Dispositivos de seguridad a utilizar en zonas de control temporal de tráfico.....	214
5.2.2 Elementos del Control Temporal de Tránsito.....	214
5.2.2.1 Planos de Control de Tránsito.....	214
5.2.3 Definición de los componentes de las zonas de control temporal de tránsito.....	215
5.2.3.1 Área de Prevención.....	216
5.2.3.2 Área de Transición.....	218

5.2.3.3 Canalización.....	218
5.2.3.3.1 Elementos de Canalización.....	219
5.2.3.3.2 Conos.....	221
5.2.3.3.3 Fórmula para calcular los conos en el área de transición.....	223
5.2.3.4 Área de Actividad.....	224
5.2.3.5 Zona de Trabajo.....	224
5.2.3.6 Área para el tránsito.....	224
5.2.3.7 Espacio de amortiguamiento.....	225
5.2.3.7.1 Espacio de Amortiguamiento Longitudinal.....	225
5.2.3.7.1 Espacio de Amortiguamiento Lateral.....	227
5.2.3.8 Espacio de Almacenamiento de Vehículos de atención de incidentes.....	227
5.2.3.9 Área de Finalización.....	227
5.3 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD PARA LOS TRABAJADORES.....	228
5.3.1 Control mediante señales de mano.....	231
5.3.2 Requisitos de los banderilleros.....	231
5.3.3 Vestuario de alta visibilidad.....	232
5.3.4 Dispositivos para señales de mano.....	233
5.3.4.1 Procedimientos para señales de mano.....	234
5.3.4.2 Sitios de Abanderamiento.....	237
5.4 DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRANSITO.....	239
5.4.1 Señales Verticales.....	240
5.4.2 Señales de Reglamentación.....	240
5.4.3 Señales de Prevención.....	243
5.4.4 Señales de Información.....	245
5.4.5 Otros Dispositivos de Control y Protección.....	248
5.4.5.1 Señales de Mensaje Variable.....	248
5.4.5.2 Paneles con Flechas Luminosas.....	251
5.5 ESQUEMAS DE SEÑALIZACIÓN SUGERIDOS POR FOVIAL.....	253

CAPITULO VI
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y
ANEXOS

6.1 CONCLUSIONES.....	263
6.2 RECOMENDACIONES.....	264
6.3 BIBLIOGRAFÍA.....	265
6.4 ANEXOS.....	266

CAPITULO I
GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Las carreteras en nuestro país son las vías de comunicación terrestre más importante. Esto debido a que la mayor parte de los intercambios comerciales a nivel nacional se lleva a cabo por éstas, además, casi la totalidad de la población salvadoreña se transporta a través de las carreteras que forman parte de la red vial del país.

Sin embargo, a pesar de que las vías de comunicación son importantes, la mayor parte de las carreteras del territorio nacional se encuentran en malas condiciones. Esto se debe principalmente a un mal mantenimiento por parte de las instituciones encargadas de efectuarlo y a esto se le agrega que muchas de las carreteras ya completaron su periodo de vida útil. Muchas veces, este deficiente mantenimiento se debe a la mala aplicación de los métodos y de los materiales que se utilizan.

Debido a estos factores se hace necesario contar con un documento que recopile los principales aspectos que intervienen en el mantenimiento de carreteras con mezcla asfáltica en caliente, tibia y frío. Dentro de este manual se presentará una guía práctica para poder llevar a cabo la realización del mantenimiento de carreteras construidas de mezcla asfáltica. Se presentarán aspectos generales del mantenimiento de la capa de mezcla asfáltica, describiendo los diferentes tipos de fallas a tratar, cómo ocurren y el tratamiento adecuado de acuerdo a los diferentes grados de severidad. Se describirán además especificaciones de los materiales que se emplean, del tipo de equipo a utilizar, de la cantidad de personal necesario, para llevar a cabo los trabajos de mantenimiento.

En el desarrollo de este anteproyecto se ha recolectado un amplio rango de información acerca de los principales conceptos teóricos y temas de investigación relacionados con el

mantenimiento de una vía urbana construida de mezcla asfáltica. Se procura con este trabajo, esquematizar cada uno de los temas que contendrá el trabajo de graduación, esto con el objetivo de contar con una base, que sirva como guía para el desarrollo de la investigación.

En el capítulo I (GENERALIDADES) de este documento se presentan de manera organizada los diferentes puntos a tratar, mostrando una serie de etapas que proporcionan información relacionado al tema de investigación, dentro de los cuales se encuentran los objetivos de la investigación, los alcances y las limitaciones que se tienen, la justificación, el planteamiento del problema.

Además como una manera introductoria al tema de investigación, en el capítulo II (DEFINICIONES ACERCA DEL MANTENIMIENTO VIAL) se hace un breve recordatorio, acerca de los diferentes conceptos que se ven involucrados en el mantenimiento de vías construidas con mezcla asfáltica, se define en que consiste la gestión de pavimentos, los tipos de mantenimiento vial, se definen los asfaltos, los agregados, los pavimentos (de mezcla asfáltica), la estructura de los pavimentos, tipos de mezcla asfáltica, tratamientos superficiales, además se mencionan y definen los tipos de deterioros a tratar en este documento (piel de cocodrilo, bache, fisuras y grietas).

En el capítulo III (PROCESO CONSTRUCTIVO PARA EL MANTENIMIENTO DE LA CARPETA ASFÁLTICA) se presenta todo lo relacionado al mantenimiento de las vías construidas con mezcla asfáltica. Para cada tipo de deterioro tratado en este documento, se presenta el procedimiento que se utiliza para reparar el daño que presenta el documento, además de esto, se menciona y explica el equipo, herramientas, mano de

obra y materiales necesarios para realizar el mantenimiento de la vía. Únicamente se detallan los procesos de mantenimiento de vías, utilizando mezcla asfáltica en caliente y en frío (en los micro-pavimentos), debido a que en nuestro país la mezcla tibia aun es una tecnología reciente; por lo tanto aun no está siendo empleada en el mantenimiento de vías en El Salvador, por lo tanto solo se describe la forma de producción de las mezcla tibias.

El capítulo IV (ENSAYOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS) contiene todas las especificaciones y ensayos que son necesarios realizarles a las mezclas, los asfaltos, agregados, aditivos, equipo y otros componentes que estén involucrados en lo que se refiere al mantenimiento de vías.

En el capítulo V (SEGURIDAD VIAL) se presenta de manera detallada las medidas de seguridad vial que se deben de cumplir al momento de realizar el mantenimiento vial, dispositivos de seguridad, dispositivos de control de tránsito, etc.

El capítulo VI se limita únicamente a las conclusiones una vez finalizada la investigación, recomendaciones que se hacen con respecto a lo que se observo al momento de realizar la investigación, además de la bibliografía necesaria para elaborar este documento.

1.2 ANTECEDENTES

El hombre a través del tiempo siempre ha necesitado desplazarse y transportar cargas de un lugar a otro, superando para ello muchos eventos y obstáculos naturales; como por ejemplo: lluvias, inundaciones, ríos, valles, montañas, etc.

Inicialmente, los viajes se realizaban a pié o en animales de carga, lo que llevó al desarrollo de rutas más o menos regulares que se extendieron hasta los límites del mundo conocido, este continuo tránsito por los caminos sirvió para compactar el terreno, constituyéndose como el primer paso en la evolución de los pavimentos. Con el transcurso del tiempo y la aparición de la rueda, fue necesario crear una capa de rodadura más resistente que permitiera la circulación de vehículos de tracción animal en cualquier época del año y bajo condiciones adversas.

Se cree que los primeros caminos pavimentados surgieron en Mesopotamia hace unos 5500 años, posteriormente los pueblos Asirio y Egipcio construyeron una ruta entre Asia y Egipto alrededor del año 3500 A.C. Los Cartagineses por su parte construyeron un sistema de caminos de piedra a lo largo de la costa sur del Mediterráneo por el año 500 A.C. Según el historiador griego Heródoto (484-425 A.C.), los primeros caminos de piedra fueron construidos en Egipto durante el reinado de Keops, y sirvieron para transportar los inmensos bloques de piedra que se utilizaron en la construcción de las pirámides.

Los romanos por ejemplo, se destacaron por la calidad de sus caminos, los cuales se consideran como los primeros construidos científicamente, gracias al desarrollo de técnicas sumamente efectivas para la estabilización de los suelos, llegando hasta la construcción de capas de rodaje conformadas por piedras labradas pegadas entre sí mediante la utilización de mortero de cemento natural.

Algunos de los caminos construidos con dichas técnicas aún pueden apreciarse, como es el caso de la famosa Vía Apia que iba de Roma a Hidruntum y cuya construcción se inició en el año 312 A.C. la cual se encuentra en funcionamiento actualmente.

Con el paso del tiempo, las actividades del ser humano se fueron diversificando y volviéndose más complejas; lo que obligó a mantener un estudio constante para el mejoramiento de las técnicas de construcción de caminos y carreteras, ya que éstas obras fueron cada vez mayormente exigidas desde el punto de vista estructural y funcional, representando un reto diario para los Ingenieros de Carreteras el lograr mejores vías con los recursos económicos, humanos y tecnológicos disponibles.

En Inglaterra a la par de la era Napoleónica, Thomas Telford y John L. McAdam, desarrollaron técnicas parecidas para la construcción de caminos. McAdam (1756 – 1836) formuló las primeras consideraciones acerca de la importancia del drenaje para conservar la estructura del pavimento, así como de la combinación de agregados de diferentes tamaños para mejorar la capacidad de transmisión de las cargas en las bases granulares. Como base para los caminos, McAdam utilizaba una piedra más pequeña que la utilizada por Telford, lo cual se constituyó como el principio fundamental para los pavimentos y bases de macadam.

La construcción moderna de caminos se inició en 1869 en Estados Unidos, donde se usó por primera vez una máquina que permitía una compactación más rápida, fácil y de mejor calidad que con el método manual. En 1870 se construyó un pavimento asfáltico en Newark, al año siguiente se construyó en Washington un pavimento compuesto de roca triturada, arena, alquitrán y aceite de creosota.

Los pavimentos de concreto de cemento Portland se desarrollaron a partir de 1865 en Inverness (Escocia), posteriormente en 1866 y 1872 se llevaron a cabo trabajos de pavimentación en Edimburgo (Escocia). En América, la primera experiencia en la construcción de pavimentos de concreto se remonta a 1891 cuando en Bellfontaine (Ohio – Estados Unidos).

El inicio de las calles en nuestro país se dio a partir de la fundación de la Villa de San Salvador en 1528, con lo cual fueron trazadas las calles, plazas e iglesias. En aquellos días las calles eran únicamente de suelo, y sólo a nivel urbano eran empedradas debido a que el transporte utilizado eran las carretas y los caballos.

En los años de 1915 – 1920 se construye en nuestro país la Carretera Panamericana (CA-1) que conecta las ciudades de Santa Ana, Santa Tecla, San Salvador, Soyapango, San Miguel y La Union; luego en 1950 se construye la Carretera del Litoral (CA-2) que corre paralela al litoral del Océano Pacífico, en 1930 se construye la carretera Troncal del Norte (CA-4), que parte desde San Salvador y conduce a la frontera con Honduras pasando por Apopa, Amayo, El Poy, nueve años más tarde se construye la Ruta Militar (CA-7), que de San Miguel conduce a Santa Rosa de Lima, pasando por El Divisadero y uniendo la carretera Panamericana (CA-1). En esa época se realizaron muchos proyectos para hacer las vías más convenientes al tránsito, entre los proyectos que se ejecutaron podemos mencionar: Calles del centro de San Salvador 1920-1930, tramos entre Jucuapa – San Miguel - Siramá 1971 – 1980, entre otras. A la fecha se encuentra en construcción la carretera Longitudinal del Norte que va desde Metapán hasta La Unión.

Debido al incremento de la construcción de vías en nuestro país se ve la necesidad de dar mantenimiento a la red que conecta municipios, ciudades y departamentos e ir sentando la base para la realización de los mismos. El desarrollo de la capital San Salvador y de las vías de comunicación del área metropolitana, sigue creciendo y a su vez el deterioro por la falta de un mantenimiento de calidad, en las cuales se centra el presente documento.

En nuestro país las legislaciones (normas, reglamentos, leyes, manuales u otras) sobre el diseño, construcción, mantenimiento, etc. de las carreteras es muy poca y muy vaga en algunos aspectos, seis son las normas principales que podemos destacar que se han elaborado para estos fines: Ley de Vialidad, Ley de Carreteras y Caminos Vecinales, Ley del Fondo de Conservación Vial, Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños, y en especial el Reglamento de la misma; Ley de Urbanismo y Construcción, y en especial el Reglamento de la misma en lo Relativo a Parcelaciones y Urbanizaciones Habitacionales y El Manual de Mantenimiento de Carreteras elaborado por La Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA). La Ley de Vialidad data desde 1926, sus reformas en 1956 y la última modificación en sus artículos en 1986, en ella se establecen los impuestos a los salvadoreños para construcción, gestión, mantenimiento y otros de las vías en el país, podemos encontrar clasificaciones de los contribuyentes, los tipos de impuestos por clasificaciones, periodos de cobro, multas por falsa declaración también se establece que las municipalidades serán las encargadas de generar estas listas de contribuyentes además el impuesto deberá pagarse en el domicilio del contribuyente.

Luego se elaboró la Ley de Carreteras y Caminos Vecinales la cual entró en vigencia el 30 de octubre de 1969 para esta ley lo necesario es regular la construcción y mantenimiento de las vías públicas, su conservación y desarrollo. El Código Municipal entró en vigencia el 1 de marzo de 1986 en el cual las competencias del Municipio son la planificación, ejecución y mantenimiento de todo género de obras públicas necesarias al municipio. En el año 2000 entra en vigencia la Ley de Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) la cual desarrolla el concepto de Conservación Vial: Amplio conjunto de actividades destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de las vías terrestres de comunicación, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario.

La Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA) desde 1974 con la publicación del “Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras alcantarillas y puentes”, realiza esfuerzos por ser una guía en cuanto al mantenimiento de vías, en el año 2000 se elabora el Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras que consta de tres tomos, en los cuales se incluyen: “Condiciones generales y especificaciones técnicas para actividades de mantenimiento contratadas en base de precios unitarios” (Tomo I), “Condiciones generales y especificaciones técnicas para actividades de mantenimiento contratadas en base de estándares o niveles de servicio” (Tomo II) y un “Catalogo Centroamericano de daños a pavimentos viales” (Tomo III), estos han sido elaborados extrayendo las cláusulas consideradas más apropiadas de documentos existentes en los cinco países centroamericanos. Por ende, se considera que los mismos reflejan la realidad centroamericana con condiciones generales que ilustran los procedimientos actualmente utilizados y con terminología utilizados en los

documentos existentes corresponden a lo que se aplican por lo general en Centroamérica, sin embargo, hay que tomar en cuenta que siempre existen variaciones nacionales que hay que considerar al tomar en cuenta estos manuales, más recientemente en el año 2010 se publica el “Manual Centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial” en éste podemos destacar cómo se incorporan valiosos aportes de los países que manejan dentro de sus procesos de contratación la metodología de conservación de carreteras. Además, en esta nueva edición, se incorporaron herramientas para la evaluación de riesgos y factores para reducir la vulnerabilidad ante fenómenos naturales.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En nuestro país no se ha elaborado un manual de mantenimiento vial en el que se incluyan reparaciones de los diferentes tipos de deterioros tanto superficiales como profundos utilizando diferentes tipos de mezcla asfáltica, solamente se cuenta con los manuales de mantenimiento y conservación elaborados por la Secretaria de Integración Centroamericana (SIECA). En la actualidad al poco tiempo de ser reparados los diferentes tipos de deterioros presentes en las vías urbanas, éstas presentan daños nuevamente en periodos cortos de tiempo, debido a que en ocasiones los procesos constructivos, equipos y materiales utilizados no son los adecuados y las personas encargadas no cuentan con los conocimientos y experiencia adecuados.

La falta de un manual de mantenimiento en vías urbanas, con procedimientos para una adecuada reparación de los deterioros que presentan las vías urbanas empleando para

ello mezclas asfálticas en caliente, tibias y en frío, teniendo en cuenta los materiales y equipos que deben de ser utilizados para realizarlo de la forma más conveniente, además del personal que se requiere, para que se produzcan mejores resultados, tanto económicos, estructurales, ha sido un factor determinante para las instituciones encargadas del mantenimiento vial a la hora de decidir los procesos a seguir, siendo en muchos casos incorrectos ya que estos no perduran en el tiempo y se pierde una importante inversión en mantenimientos.

Las instituciones públicas, privadas y municipales encargadas del mantenimiento vial realizan estas obras siguiendo un criterio que probablemente no es el adecuado, es por ello que con la elaboración de este manual, se busca contribuir a que estas sigan un procedimiento basado en estudios recientes y apegados a normas.

Otro de los problemas que se vienen arrastrando desde mucho tiempo en las instituciones encargadas del mantenimiento vial es el que se refiere a la Evaluación de los Pavimentos, pues estos no se realizan como un preámbulo al mantenimiento y no son considerados al momento de realizar los mantenimientos, es por ello que el manual debe contener también la parte de Evaluación de Pavimentos en la cual se definen los conceptos y pasos a seguir para un adecuado inventario de deterioros en la capa de rodadura de la vía.

El problema del mantenimiento vial en nuestro país viene desde la creación de las primeras calles y carreteras, sin embargo han sido muy pocos los esfuerzos que se han realizado para este tipo de gestiones, los únicos documentos donde se puede encontrar un procedimiento son las diferentes legislaciones que se dedican al mantenimiento de las

vías a nivel urbano en nuestro país y como se dijo anteriormente el manual de mantenimiento y conservación elaborado por la Secretaria de Integración Centroamericana (SIECA); además son desconocidas por la mayoría de los profesionales encargados del área de mantenimiento vial ya sean en instituciones públicas, municipales y privadas, es por ello que con la elaboración de este manual de mantenimiento vial a nivel urbano se busca contribuir a que el conocimiento y los procedimientos según normas internacionales y nacionales, se apliquen en el mantenimiento vial y que estos sean realizados por parte de profesionales con conocimientos en el área.

Otro aspecto a destacar es la falta de indicaciones y medidas a tomar para la Seguridad Vial tanto para los automovilistas como para el personal de campo, en los últimos años han ocurrido diversos accidentes incluso mortales en los que se ven envueltos una mala señalización y advertencias para los automovilistas, el manual debe poseer un apartado de Seguridad Vial en el cual los encargados del mantenimiento sepan instruir a modo de colocar todos los dispositivos de manera tal que orienten al automovilista de los trabajos que se están realizando.

En la actualidad el mantenimiento vial a nivel urbano es responsabilidad de diferentes instituciones públicas como las Alcaldías, el Ministerio de Obras Publicas (MOP) y el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), entre otras. Estas contratan empresas de carácter privado o en el caso de las alcaldías (las que se encuentran a cargo del mantenimiento de sus vías) designan a personas que en muchas ocasiones no tienen ni la experiencia necesaria ni el conocimiento adecuado de los procedimientos que se deben

seguir para obtener un mantenimiento de calidad que perdure en el tiempo y que responda al problema de deterioro en la vía; muchas veces estos mantenimientos se aplican en el momento menos adecuado pues ya se ha dejado pasar mucho tiempo, por esto el manual debe contener los procesos adecuados y como determinar el momento justo de la aplicación del mantenimiento.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL:

- Elaborar un manual de mantenimiento de pavimentos flexibles en vías urbanas, utilizando mezcla asfáltica en caliente, tibia y en frío.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar un manual de mantenimiento de pavimentos flexibles, para el área metropolitana de San Salvador.
- Elaborar un manual de mantenimiento vial que trate los siguientes deterioros: fisuras, grietas, piel de cocodrilo y baches.
- Definir el tipo de mantenimiento a seguir dependiendo de la evaluación y los tipos de deterioros que presentan los pavimentos flexibles.
- Proveer información necesaria acerca de los materiales, equipos y personal, necesarios para llevar a cabo el mantenimiento de una vía urbana.
- Definir cuál es el material, equipo y el personal necesario para llevar a cabo cada actividad de mantenimiento de una vía urbana.

- Verificar en campo que se cumplan las especificaciones referentes a materiales y equipos.
- Incluir en el manual información referida a normas y especificaciones, ya sean ASTM, AASHTO, u otras, necesarias para el mantenimiento de vías urbanas.

1.5 ALCANCES

- El manual estará enfocado específicamente en el mantenimiento de vías urbanas construidas con mezclas asfálticas, a través de la reparación de deterioros utilizando mezcla asfáltica en caliente, tibia o en frío.
- En nuestro país se toma como referencia para el mantenimiento de carreteras, los manuales de la SIECA. Sin embargo, estos son demasiado generalistas, por lo tanto este manual estará enfocado específicamente en la utilización de mezclas asfálticas en caliente, tibia y en frío, el cual será ilustrativo en lo referente a los procesos constructivos.
- Se elaborará un manual de mantenimiento en vías urbanas, en el cual se dé un procedimiento general para la reparación de los deterioros presentes en pavimentos ejecutados con mezclas asfálticas, con el cual se beneficiarán el Ministerio de Obras Publicas (MOP), Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), municipalidades, y todo el que tenga que ver con el mantenimiento vial, a través de la implementación de los procedimientos que se establezcan en el manual.

- Con este manual se pretende brindar información al estudiante o al profesional especializado en el área de carreteras sobre los materiales que se deben de utilizar en el mantenimiento de vías urbanas construidas con mezcla asfáltica.
- Este manual busca ser una guía para que el personal encargado del mantenimiento vial conozca el material, equipo y proceso constructivo adecuado, para que luego realice los trabajos de mantenimiento.
- Con este manual de mantenimiento de vías urbanas, se busca ser una guía para las instituciones encargadas del mantenimiento de vías hechas de mezcla asfáltica y evitar así altos costos de operación (para usuarios), y de mantenimiento (para las instituciones encargadas del mantenimiento).
- En base a los procedimientos y procesos constructivos utilizados por las instituciones encargadas del mantenimiento vial en nuestro país, se procederá a analizar, conforme a la bibliografía consultada, si el procedimiento y procesos empleados son los adecuados, para posteriormente elaborar el manual que contenga la metodología adecuada.

1.6 LIMITACIONES

- En las carreteras se generan diferentes tipos de deterioros, como consecuencia de las cargas del tránsito y otros factores; sin embargo este manual únicamente se enfocará en el estudio de cuatro tipos de deterioros en los pavimentos flexibles, los cuales son: fisuras, grietas, piel de cocodrilo y baches. Y se enfocará únicamente al área metropolitana de San Salvador.

- En nuestro país existen pavimentos construidos con mezcla asfáltica, de concreto hidráulico, articulados, entre otros, y en todos se generan daños; sin embargo este manual se limitará al mantenimiento de vías urbanas construidas con mezcla asfáltica, utilizando para esto, mezclas asfálticas en caliente, tibias, y en frío.
- Se trabajará con mezclas asfálticas en caliente, tibias y frías en vías de pavimentos flexibles, sin embargo no se realizará el diseño de cada tipo de mezcla a utilizar, debido a que las instituciones, poseen sus diseños de mezclas con las cuales trabajan.
- Este manual únicamente se enfocará en el mantenimiento de la capa de rodadura (carpeta asfáltica), utilizando mezclas asfálticas en caliente, tibias y en frío.
- En este trabajo de investigación no se realizarán pruebas de laboratorio, ya que la investigación consistirá en trabajo de campo, es decir, visitas a las vías que se les dará mantenimiento, sin embargo sí se verificará que se estén cumpliendo con las especificaciones de los materiales y equipos a utilizar.
- Debido a que en nuestro país no se han realizado trabajos de investigación relacionados al mantenimiento de vías urbanas utilizando mezclas asfálticas en caliente, tibias y en frío, se tomarán como base los manuales del instituto del asfalto, MS -4, entre otros.

1.7 JUSTIFICACIÓN

En nuestro país actualmente se observa la ausencia de un sistema de gestión vial o por lo menos no está a la vista de todos. Se desconoce la forma en cómo se debe tratar el

pavimento asfáltico cuando éste sufre daños, además no existe un procedimiento o método específico a seguir al momento de realizar las respectivas reparaciones al pavimento. Al momento en que las instituciones encargadas de realizar los trabajos de mantenimiento y reparación de vías utilizan criterios que probablemente no sean los adecuados, además de que son pocas las especificaciones que existen, y a esto se añade que muchos las desconocen o no le dan la interpretación correcta, lo cual conlleva a gastos que a la larga generan más gastos.

El presente trabajo de graduación consiste en desarrollar un manual de mantenimiento en vías urbanas, utilizando mezcla asfáltica en caliente, tibia y en frío con el objetivo de proporcionar las herramientas necesarias para realizar los trabajos de reparación de deterioros en las vías urbanas construidas con mezcla asfáltica, es decir, proporcionar una metodología y procedimientos a seguir, además de materiales y equipos, para que luego sirvan como especificaciones para posteriores trabajos. Para ello se hace necesario realizar un análisis de diferentes aspectos que se ven involucrados como por ejemplo las cargas del tránsito, factores climáticos, entre otros.

Este manual pretende ser una herramienta que sirva a aquellos que lo requieran para realizar el mantenimiento de vías urbanas empleando el método y procedimiento adecuado.

CAPITULO II
DEFINICIONES ACERCA DEL
MANTENIMIENTO VIAL

2.1 GESTIÓN DE PAVIMENTOS

La gestión de pavimentos es el primer paso para alcanzar una adecuada gestión de la infraestructura vial, y debe contemplar la planificación, ejecución, y un adecuado control de las diversas acciones de desarrollo y mantenimiento aplicadas en el tiempo; con la finalidad de mantener un nivel de servicio adecuado para los usuarios.

Esta conclusión no es nada reciente, ya que los primeros en desarrollar un sistema para la gestión de sus vías de comunicación fueron los romanos, los cuales al contar con una vasta red de caminos para uso militar y comercial debían asegurarse que éstos se mantuvieran en buen estado, lográndolo mediante un sistema que funcionó prácticamente a la perfección, en el cual los encargados de la conservación de los caminos eran los gobernadores y magistrados locales. En éste sistema se regulaba incluso el tipo de vehículos y la cantidad de animales de tiro que se podían utilizar.

Podemos apreciar entonces que la gestión de pavimentos como tal, es de suma importancia para impulsar el desarrollo de las actividades económicas de un país o de una región, ya que, además de ser indispensable una selección adecuada del tipo de actividad a realizar para la construcción y/o mantenimiento de una vía, el ejecutar labores de conservación demasiado anticipadas o postergarlas a un tiempo diferente del óptimo tiene un costo. Si se hace antes de tiempo se pierde la posibilidad de utilizar los recursos en algo más rentable durante el periodo del adelanto, pero la situación es más grave si se deja pasar el momento oportuno para intervenir, y como consecuencia los daños llegan hasta la estructura básica del pavimento. En este caso, el tipo de intervención necesaria será una rehabilitación, con un costo mucho más alto que el de

los trabajos que pudieron haberse efectuado de manera oportuna. Es más, existe otro efecto perjudicial de postergar la conservación, y es el incremento de los costos de operación de los usuarios; esto se traduce en un aumento de los costos de transporte, lo que significa una presión inflacionaria de carácter estructural.

Realizar una adecuada gestión de pavimentos representa, especialmente para los países en desarrollo, la posibilidad de ahorrar valiosos recursos que pueden ser utilizados en otros rubros.

Establecer el momento oportuno en que debe efectuarse cada medida de conservación no es nada sencillo, considerando que están en juego recursos importantes para la economía. De hecho, se deben utilizar complejos instrumentos de análisis para calcular los costos de conservación y de operación que podrían generarse al adoptar diferentes alternativas, y determinar cuál es para cada camino, el estado o condición límite que a largo plazo, reduce al mínimo la suma total de los costos de los usuarios y de la agencia vial.

Para preparar un programa global de conservación de una red vial de manera que sea conveniente para la economía nacional, se debe comenzar por identificar para cada camino:

- El momento preciso para cada intervención.
- El tipo óptimo de intervención.

Existen metodologías que se han puesto en práctica desde la década de los setentas, las cuales hacen uso de diversas herramientas que ayudan a los planificadores a formular

estrategias viables, de forma que logren mantener a los pavimentos en buenas condiciones de servicio.

Un sistema de gestión de pavimentos debe permitir un uso sencillo, de manera que el ingreso de datos y actualización de la información sea fácil. Además, debe ser capaz de analizar diversas estrategias al efectuar una evaluación, identificando la alternativa económicamente más conveniente.

Debe utilizar procesos racionales con criterios cuantificables sobre los cuales se tomen las decisiones, y finalmente debe ejecutar una evaluación permanente de la eficacia de las actividades realizadas mediante retroalimentaciones del sistema.

2.1.1 Niveles de la gestión de pavimentos

La gestión de pavimentos se realiza en dos niveles principales, los cuales son interactivos entre sí y están definidos según el área que debe ser analizada, y el tipo de datos que son necesarios para generar los modelos de predicción del deterioro de las estructuras a lo largo del tiempo.

Estos niveles de la gestión de pavimentos son la Gestión a Nivel de Proyecto y la Gestión a Nivel de Red.

2.1.1.1 Gestión de pavimentos a nivel de proyecto

En este nivel, la gestión lo que pretende es analizar el pavimento de una vía en particular, de manera que se pueda determinar la alternativa óptima para la construcción

de una nueva estructura, o bien el tipo de acciones de mantenimiento necesarias, y los momentos en que éstas han de aplicarse a un pavimento existente.

Para realizar una gestión a nivel de proyecto se necesitan datos específicos de secciones del pavimento, como por ejemplo:

- Cargas que recibe (o recibirá) el pavimento.
- Factores ambientales que lo afectan (o lo afectarán).
- Características de los materiales que lo constituyen (o constituirán).
- Propiedades de su base, sub-base y subrasante.
- Variables de construcción y mantenimiento.
- Costos.

El análisis a nivel de proyecto debe generar una serie de alternativas de construcción y/o mantenimiento, las cuales han de evaluarse técnica y económicamente, de forma que al final se pueda seleccionar aquella que minimice los costos totales del ciclo de vida del pavimento, tomando en cuenta los de construcción así como los de operación de los usuarios, fijando una serie de estándares que han de satisfacerse y que tienen que ver con el comportamiento estructural y funcional del pavimento a través del tiempo.

2.1.1.2 Gestión de pavimentos a nivel de red

A nivel de red la gestión de pavimentos busca desarrollar un programa prioritario y organizado para el mantenimiento, rehabilitación y construcción de pavimentos, en base a la disponibilidad presupuestaria del ente administrador de la red vial de una región o país, para un período determinado.

Dentro de esta gestión pueden distinguirse dos sub-niveles que comprenden: la selección de proyectos, en la cual se toman decisiones de asignación de fondos para proyectos o grupos de ellos; y el sub-nivel de programa, en el cual se cuenta con un presupuesto establecido que debe repartirse en una red determinada.

La gestión a nivel de red involucra decisiones para la rehabilitación o mantenimiento de la red como un todo, por lo cual los modelos deben ser diseñados con el fin de optimizar el uso de los fondos disponibles. Debe considerarse para este propósito la serviciabilidad de los pavimentos existentes o el porcentaje de pavimentos deficientes, datos que deben ser recolectados en campo usando metodologías adecuadas. Entre las actividades que comprende la gestión a nivel de red tenemos:

- Identificación de aquellas vías en las que debido a su estado actual, las actividades de mantenimiento o mejora podrían ser consideradas como prioritarias dentro de la red de caminos.
- Generación de diferentes alternativas de tratamiento en aquellas vías que serán intervenidas, seleccionando adecuadamente variables como el período de análisis, tasa de descuento, nivel de calidad mínimo de pavimento, etc. de manera que se pueda realizar un conveniente análisis técnico-económico en base al cual han de tomarse las decisiones.
- Desarrollo de un programa de largo plazo para el mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos de la red, así como de nuevas construcciones.

2.2 ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS

Según la Federal Highway Administration (FHWA) un sistema de gestión de pavimentos está formado por los siguientes componentes:

2.2.1 Inventario de la red

En este se encuentran definidas características de la red de caminos y sus tramos componentes. Contiene información permanente de las rutas como por ejemplo: su clasificación, longitud, tipo de pavimento, ancho y número de carriles, características planimétricas y altimétricas, tipo y espesor de capas del pavimento, características físicas de los materiales de las capas, tipo de drenaje, historial de construcción y mantenimiento, factores climáticos (temperatura, precipitaciones, etc.), y las características del tránsito (TPDA, ESAL's, etc.)

2.2.2 Condición de los pavimentos

Define la calidad del pavimento con base en diversos indicadores, con el objetivo de conocer su situación real y evaluar así la condición o estado de éste. Los indicadores o parámetros básicos son los siguientes: deterioros superficiales en el pavimento que influyen sobre la circulación, calidad de la rodadura (rugosidad), capacidad estructural, textura superficial.

2.2.3 Estrategias de mantenimiento

Son los tipos de acciones de mantenimiento y rehabilitación que usa el organismo administrador de la red vial, de acuerdo al estado de los pavimentos. Estas acciones están definidas por la FHWA y son las siguientes:

- **No acción:** Se refiere a pavimentos en excelente estado, es decir, recientemente construidos.
- **Mantenimiento de Rutina:** Este conserva el pavimento en buen estado general, se encarga de problemas localizados como sellado de grietas o bacheo; así como de operaciones de limpieza de drenajes, hombros y taludes.
- **Mantenimiento Preventivo:** Contrarresta el deterioro antes que sea significativo, mediante actividades como lechadas asfálticas y sellos superficiales en pavimentos bituminosos.
- **Rehabilitación:** Se aplica cuando el pavimento alcanza una condición entre regular y mala, y comprende actividades de refuerzo.
- **Reconstrucción:** Puede hacerse un reemplazo total o parcial del pavimento. Además, incluye otras mejoras como realineamiento, ensanchamiento, etc.

2.2.4 Necesidades de la red

Su determinación implica un análisis de la condición de los pavimentos para determinar las acciones de mantenimiento, rehabilitación o construcción que deberían ejecutarse. Se selecciona la estrategia de conservación más apropiada para cada tramo, tomando como base el estudio de su condición. Los factores que definen las necesidades de la red son:

condición (serviciabilidad, capacidad estructural, índices de deterioro), tránsito, clasificación del camino, factores políticos, y seguridad.

2.2.5 Priorización de obras

Define los factores que determinan la secuencia que seguirá la realización de diferentes proyectos en un periodo determinado, es imprescindible cuando hay restricciones presupuestarias en un proceso de selección de proyectos.

2.2.6 Programas de trabajo

Una vez generado el listado de proyectos a ejecutar, debe definirse un programa de actividades que refleje los tratamientos que se aplicarán a los pavimentos y el tiempo en que éstos se ejecutarán.

2.2.7 Presupuesto

Define las necesidades anuales de financiamiento a lo largo del período de análisis. Al igual que en cualquier planificación de proyectos, es indispensable que sea elaborado considerando todas las variables que afectarán los costos de las obras de mantenimiento o construcción de los pavimentos.

2.2.8 Ejecución de obras y retroalimentación

Es la evaluación de los resultados obtenidos luego de una construcción o de la realización de los trabajos de mantenimiento y rehabilitación. Este proceso sirve para

lograr un mejoramiento continuo en los programas de conservación, de manera que cada vez se brinde caminos con mejores niveles de serviciabilidad a los usuarios, al mismo tiempo que se logra disminuir costos para el administrador vial.

Para poder desarrollar los elementos anteriores es necesario crear el siguiente conjunto de bases de datos:

- Inventario
- Auscultación
- Políticas
- Transito
- Medio ambiente
- Costos

2.3 MANTENIMIENTO VIAL

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

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

Los trabajos de conservación vial, considerados en este trabajo son: mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico y mantenimiento preventivo.

2.3.1 Mantenimiento rutinario

Es el conjunto de actividades necesarias para que la carretera conserve un nivel de servicio entre regular y bueno. Comprende la realización de todas aquellas actividades requeridas para conservar una vía en buen estado, las cuales se repiten una o más veces al año. También, incluye aquellas labores de reparación vial destinadas a recuperar ciertos elementos con daños menores, tales como los barandales de puentes, obras de drenaje menor, señalización vertical y horizontal, muros de retención y actividades afines.

Este conserva el pavimento en buen estado general, se encarga de problemas localizados como sellado de grietas o bacheo; así como de operaciones de limpieza de drenajes, hombros y taludes. Es necesario señalar que este mantenimiento se utiliza para conservar una vía mientras dure su vida útil, más allá de ésta es necesario hacer un trabajo de mayor envergadura.

2.3.2 Mantenimiento periódico

Abarca las obras de conservación vial que se realizan en períodos programados, generalmente de más de un año de intervalo, para elevar la vía a un nivel de servicio bueno o muy bueno. Está considerada, entre otros, la colocación de sobrecapas en pavimentos deteriorados existentes y el mejoramiento de las capas de la estructura del pavimento. Como ejemplo de este tipo de mantenimiento se tiene el sellado de grietas y fisuras, bacheo mayor y menor, pintura de señalización horizontal, entre otros.

2.3.3 Mantenimiento preventivo

Consiste en actividades y obras de mantenimiento destinadas a prevenir fallas en la vía que han sido identificadas como defectuosas o con alto riesgo de que ocurran, antes de que éstas sucedan. Este mantenimiento es muy efectivo ya que al prevenir posibles fallas en alguno de los elementos de una carretera se evita que falle a corto, mediano o largo plazo y evita que su reparación o reemplazo represente un costo mucho más alto que el del mantenimiento en sí.

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

2.4 ASFALTOS

Los asfaltos son una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular elevado, que se presentan en forma de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino y de color negro. Son productos de la destilación natural o artificial del petróleo.

Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles del petróleo. Aunque el asfalto puede considerarse como un desecho, también puede verse como un producto de gran calidad, sobre el que se fundamenta gran parte de la construcción de los pavimentos flexibles, denominados también pavimentos asfálticos o pavimentos bituminosos, en virtud de este dúctil, flexible y tenaz material que los constituye y caracteriza.

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un

material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en una carpeta de mezcla asfáltica. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales.

2.4.1 Funciones del asfalto

Como el asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, presenta las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos.
- Mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

2.5 AGREGADOS

Agregado, es un material granular duro de composición mineralógica, usado para ser mezclado en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen la arena, la grava, la escoria de alto horno, o la roca triturada y polvo de roca. El comportamiento de un pavimento se ve

altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad soportante.

2.5.1 Clasificación de los agregados

Los agregados usados en pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados, y agregados sintéticos o artificiales.

2.5.1.1 Agregados naturales

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, y los químicos. La forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas. Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define, usualmente, como partículas de un tamaño igual o mayor que tamiz No. 4. La arena se define como partículas de un tamaño menor que tamiz No. 4 pero mayor que el tamiz No. 200. Las partículas de tamaño menor que 75 μm (tamiz No. 200) son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

2.5.1.2 Agregados procesados

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que son extraídas de canteras y que deben ser reducidas en tamaño en las plantas trituradoras, antes de ser usados en la pavimentación; de la calidad de las rocas que se explotan en las canteras dependerá la calidad de los agregados procesados y dispuestos para ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente.

La roca es triturada por tres razones:

- Para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa,
- Para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y
- Para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas.

2.5.1.3 Agregados sintéticos

Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. El producto secundario más comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del hierro, la escoria es transformada en

pequeñas partículas al templarla inmediatamente en agua, o al triturarla una vez que se ha enfriado.

Básicamente cualquier agregado que sirve para mezcla asfáltica es bueno para concreto, pero no todo el agregado bueno para concreto sirve para mezcla. Los requerimientos que debe cumplir el agregado para mezcla asfáltica son más altos. Normalmente para concreto no se utilizan agregados finos, a no ser para aplicaciones especiales que tienen sus propios requerimientos. Las mezclas asfálticas de granulometrías abiertas no utilizan finos, pero una mezcla densa requiere una curva granulométrica que tenga una distribución de todos los tamaños.

2.6 PAVIMENTOS

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

Un pavimento se puede definir como una estructura que se diseña y se forma mediante un conjunto de capas construidas sobre el suelo de fundación, con la finalidad de ser utilizado como una superficie apta para el libre tránsito de vehículos de tipo liviano, pesado y comercial.

2.6.1 Funciones de los pavimentos

El pavimento es el elemento primordial de la infraestructura vial, y como tal debe cumplir una serie de funciones para garantizar un servicio adecuado a los usuarios.

Dichas funciones se describen a continuación:

- Permitir que el tránsito de los vehículos circulen sobre él, respondiendo en forma adecuada estructuralmente y según como fue previsto en la etapa de diseño; esto es especialmente importante para los organismos de conservación vial, ya que de ello depende que las labores de conservación durante el período de servicio del pavimento, se lleven a cabo según una planificación elaborada con base en predicciones confiables.
- Mejorar la calidad de la superficie de rodadura, de tal manera que los usuarios se desplacen de forma segura y cómoda, lo cual se logra mediante una adecuada regularidad superficial tanto transversal como longitudinal, así como proporcionando una buena textura que brinde la resistencia al deslizamiento que se requiere para las velocidades de circulación previstas.
- Proteger la sub-rasante de los efectos del clima, evitando así el daño que eventos naturales como la lluvia pueden provocarle, lo cual a la larga puede derivar en asentamientos que lleven incomodidad o inseguridad al tránsito, llegando incluso a producir el colapso total de la estructura.
- Reducir la contaminación por polvo que se produce ante el paso de vehículos sobre caminos de tierra, lo cual afecta la comodidad y la salud tanto de los usuarios como de las personas que habitan en las proximidades.

- Delimitar las áreas de circulación de los vehículos con el objetivo de ordenar el tránsito, disminuyendo así la posibilidad de accidentes y retrasos debido a congestionamientos. Para cumplir plenamente con dicha función los pavimentos deben estar debidamente señalizados, y deben contar con una buena reflexión luminosa que ayude a la conducción nocturna minimizando la necesidad de obras de iluminación, esto último para efectos de economía.

2.7 PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA

Son estructuras que se construyen sobre una superficie sub-rasante o terracería compactada, están constituidos por varias capas de materiales cuyos elementos son una combinación de agregados minerales y aglutinantes bituminosos, dichas capas deben tener la resistencia necesaria para soportar el tráfico, producto del cual la resistencia a las deformaciones será de forma decreciente con la profundidad. Además su estabilidad depende del entrelazamiento de los agregados, de la fricción entre las partículas y de la cohesión de las mismas.

De modo que los pavimentos flexibles comprenden en primer lugar, a aquellos que están formados por una serie de capas granulares, rematadas por una capa de rodamiento asfáltica de alta calidad y relativamente delgada, la cual es capaz de acomodarse a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. En este tipo de pavimentos la calidad de los materiales utilizados en cada una de las capas aumenta conforme se acerca a la superficie, de modo de lograr una estructura competente ante las cargas esperadas y que a la vez resulte lo más económica posible.

2.7.1 Elementos que conforman la estructura de un pavimento

La estructura de un pavimento se halla formada por diferentes capas las cuales son: la sub-rasante, sub-base, base, capa de rodamiento y sello; sin embargo, es necesario aclarar que no siempre se encontrarán todas las capas que se detallan. En tales casos, la ausencia de una o varias de ellas dependerá de factores como la capacidad de soporte del terreno de fundación, la clase de material a utilizarse, el tipo de pavimento, intensidad de tránsito, carga de diseño, etc.

2.7.1.1 Sub-rasante

Es el suelo que sirve de fundación para todo el paquete estructural, se define como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura del pavimento; es decir, que es el terreno de cimentación del mismo.

Puede ser también el suelo natural, pero si éste es deficiente se debe seleccionar un material de buena calidad.

Existen dos condiciones básicas que debe cumplir el suelo de soporte, y son:

- Debe mantener el mayor valor posible de soporte, ya que entre más fuerte se considere ésta superficie menor será el costo de las capas superiores.
- El movimiento diferencial vertical debe ser mínimo, de ésta forma las ondulaciones en la superficie serán menores y el rodamiento vehicular será más suave.

2.7.1.2 Sub-base

Es una capa de materiales pétreos de buena graduación construida sobre la sub-rasante, este elemento subyace a la capa base cuando esta es necesaria, como en el caso de los pavimentos flexibles. Las funciones que ésta capa debe cumplir son:

- Atenuar o suavizar aquellas deformaciones perjudiciales para la sub-rasante, como por ejemplo los cambios volumétricos producidos por cambios de humedad, evitando que se reflejen en la superficie del pavimento.
- Lograr espesores menores de la capa base para pavimentos flexibles.
- Servir de drenaje al pavimento, esto quiere decir que debe ser capaz de desalojar el agua que se infiltra en la capa de rodadura.
- Transmitir los esfuerzos a la capa sub-rasante en forma adecuada.
- Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que por estar bajo la base, queda sujeta a esfuerzos menores y requiere de especificaciones menos rígidas.

2.7.1.3 Base

Constituye la capa intermedia entre la capa de rodamiento y la sub-base. Generalmente se usa en los pavimentos flexibles y se compone de materiales pétreos con buena distribución granulométrica. Entre sus funciones están:

- Drenar el agua que se filtra a través de las carpetas y hombros.
- Resistir los cambios de temperatura, humedad y la desintegración por abrasión producida por el tránsito.
- Reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten a las capas inferiores.

- Proveer suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie arriba de ella, y transmitirla a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una sub-base o una sub-rasante.
- Función económica, permite reducir el espesor de la carpeta asfáltica, que es la más costosa.

Las bases se pueden clasificar en dos tipos:

- **Base Granular:** Los materiales empleados pueden ser grava o piedra triturada, suelo y arena; la estabilidad del material depende de su fricción interna y de su cohesión. Una base granular es un conjunto de agregados mezclados con agua, en donde una alta fricción interna se consigue con agregados bien graduados, de forma irregular, y con una pequeña cantidad de finos limo – arenosos.
- **Base Estabilizada:** Suelo con cemento Portland, cal o asfalto, se recurre a ella por motivos de tipo económico, en los casos en que resulta más favorable recurrir al mejoramiento del suelo existente en el lugar, sin tener que transportar otros materiales desde grandes distancias.

2.7.1.4 Capa de rodamiento

Es la capa superior de la estructura de un pavimento, diseñada para soportar las cargas del tránsito y resistir el deslizamiento de los vehículos y la abrasión que ellos producen, así como el intemperismo.

La superficie de rodamiento debe tener capacidad para resistir el desgaste y los efectos abrasivos de los vehículos en movimiento y poseer suficiente estabilidad para evitar

daños por el impulso y los rodamientos bajo la carga de tránsito. Además, sirve para impedir la entrada de cantidades excesivas del agua superficial a la base y a las terracerías directamente desde arriba.

El espesor de la capa de rodadura de un pavimento asfáltico varía grandemente, desde menos de una pulgada en los tratamientos superficiales usados en caminos de tránsito liviano, hasta seis pulgadas o más de concreto asfáltico usado en caminos destinados al tránsito pesado. Las funciones que esta capa debe cumplir son:

- Recibir y absorber en primera instancia el peso de los vehículos que circulan sobre la vía.
- Minimizar sensiblemente los esfuerzos que se transmiten hacia la terracería.
- Si la rodadura posee un espesor mayor o igual a cinco centímetros, se considera que trabaja junto al resto de capas para soportar las cargas y distribuir los esfuerzos, aunque esa no sea su función desde el punto de vista estructural.
- Proveer una superficie estable para el tránsito, uniforme, prácticamente impermeable, con una textura y color convenientes y que a la vez sea capaz de resistir los efectos abrasivos del tráfico.

2.8 MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas son el producto obtenido de la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en uno pétreo. Una mezcla asfáltica en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes. Las proporciones relativas de estos minerales determinan

las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

La mezcla asfáltica debe tener las siguientes características:

- Duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, etc.
- Resistente a las sollicitaciones de tránsito a través de su estabilidad.
- Impermeable, para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos
- Trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno.

2.8.1 Definición de mezcla asfáltica en caliente

Mezcla de agregado-asfalto producido en un tambor u horno de fácil mezclado donde deben ser revueltos mientras se encuentran a una elevada temperatura. Para secar los agregados y obtener fluidez suficiente del cemento asfáltico, ambos deben ser calentados antes de mezclarlos.

Está compuesta por agregados gruesos y finos unidos mediante un ligante bituminoso, dichos materiales son procesados en plantas de mezclado especiales, donde son calentados, proporcionados y mezclados para lograr una adecuada homogeneidad.

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del

agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos.

Los agregados que se utilizarán para las mezclas de concreto asfáltico en caliente estarán compuestos de partículas de material triturado, grava triturada, grava o material natural, arena, etc.

Tanto las mezclas en caliente, tibias y en frío se pueden clasificar como:

- a) Mezclas Abiertas
- b) Mezclas Densas

2.8.2 Definición de mezcla asfáltica en frío

En su elaboración se emplean los mismos materiales que en las mezclas en caliente, pero en éste caso pueden ser procesados a temperatura ambiente. En estas mezclas se pueden utilizar ligantes bituminosos con menor viscosidad que las mezclas en caliente, betunes fluidificados, alquitranes fluidos o emulsiones asfálticas.

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el

envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión.

El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.

Son constituidas por la combinación de uno o más agregados pétreos y un relleno mineral (filler), de ser necesario, con un asfalto emulsionado catiónico o diluido con solvente, cuya mezcla, aplicación y compactación se realizan en frío (condiciones ambientales).

Si bien el ligante puede ser precalentado hasta no más de 60°C, el resto de las operaciones, como queda expresado, se llevan a cabo a temperatura ambiente. Los agregados pétreos no requieren secado ni calentamiento, es decir, que se los emplea tal como se presentan en el acopio, con su humedad natural. Estas mezclas también pueden

ser elaboradas en la misma planta central destinada a la elaboración de las mezclas caliente, prescindiendo para ello del sistema de calefacción para el secado de los áridos y el calentamiento y circulación del asfalto.

Igualmente es posible la preparación in situ, es decir, sobre la misma calzada donde va a ser aplicada, para lo cual se utilizarán maquinarias y equipos más simples como son las moto niveladoras y mezcladoras livianas de una sola pasada, tipo moto pavimentadora, etc. Las mezclas en frío con emulsiones catiónicas o con asfaltos diluidos al solvente presentan un amplio margen para su elaboración en relación con las mezclas convencionales en caliente. En primer término porque el ligante emulsión es más adaptable a los agregados pétreos locales con elevado contenido de finos de difícil eliminación y en segundo lugar, porque pueden ser mezclados durante un tiempo más prolongado. En cambio, el mezclado en caliente es una operación que se ve limitada en ese aspecto, para evitar el enfriamiento de la mezcla antes de su compactación.

2.8.3 Definición de mezcla asfáltica tibia

Las mezclas asfálticas tibias (MAT o WarmMixAsphalt, WMA) son un conjunto de tecnologías desarrolladas en Europa durante el Tratado con Kyoto y la Comunidad Económica Europea en 1997, como una respuesta a los gases del efecto invernadero.

El objetivo de estas tecnologías es bajar las temperaturas de trabajo, principalmente de compactación y mezclado. Para ello existen diferentes técnicas que buscan reducir la viscosidad del ligante asfáltico y que pueden aplicarse tanto en mezclas continuas como

discontinuas (Estas técnicas se explicaran en el capítulo III, de este documento). A continuación se presentan antecedentes acerca de las mezclas asfálticas tibias.

- **1995:** Shell y KoloViedekke, iniciaron un programa en conjunto, para el desarrollo de un producto, y del proceso para la fabricación de mezcla agregado-asfalto a temperaturas más bajas; obteniendo mejores propiedades o equivalentes condiciones de desempeño, con relación a las mezclas tradicionales en caliente.
- **1999-2001:** Reportes iniciales de las tecnologías de la mezcla tibia en el Congreso Eurasphalt/Eurobitume, el Fórum Alemán de Bitumen, Conferencia sobre Pavimentos Asfálticos en Sudáfrica, principalmente.
- **2002:** Recorrido de exploración a Dinamarca, Alemania y Noruega realizado por directores de NAPA para examinar las tecnologías de la mezcla asfáltica tibia (WMA), Aspha-min, la Espuma y el Sasobit.
- **2003:** Los estudios sobre mezclas tibias, son presentados en la Convención Anual de la Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico NAPA.

El Centro Nacional para la Tecnología en Asfalto, investiga sobre los procesos de las mezclas tibias, Alpha-min (zeolite cristalino) y Sasobit (una cera de Fsher-Tropsch). La investigación es patrocinada por NAPA, Administración Federal de Carreteras FHWA, Eurovia (Aspha-min) y Sasol (Sasobit).

- **2004:** Meadwestvacompany, introduce EvothemDAT (aditivo químico) a la mezcla, al tiempo que apoya la investigación de NCAT.

La demostración de mezclas tibias, es presentada en el Mundo del Asfalto.

Las primeras pruebas de campo fueron realizadas en Florida y Carolina del Norte

- **2005:** Formación del grupo de trabajo (TWG) de la mezcla Asfáltica Tibia de NAPA-FHWA. El objetivo principal del trabajo es la implementación adecuada a través de recolección de datos y análisis, de un método genérico de especificaciones técnicas en WMA.

La NCAT, publica sus primeros reportes sobre Sasobit y Aspha-min.

- **2006:** Durante la Conferencia de Pavimento Asfáltico en el Mundo del Asfalto, se presenta una sesión de medio día sobre mezclas tibias

Grupo de Trabajo Técnico TWG, publica lineamientos sobre el funcionamiento y pruebas ambientales.

Con base en la declaración de investigación de problemas, cuyo documento fue sometido en 2005 a evaluación por parte de la AASHTO, se define como de alta prioridad la destinación de fondos de la investigación en WMA.

Un contratista de Missouri, realiza trabajos de producción de pavimento con mezcla en tibio partiendo de una prueba exitosa.

NCAT publica un reporte sobre el Evotherm.

- **2007:** AASHTO y FHWA, realiza visitas guiadas a experiencias en WMA, en Francia, Alemania y Noruega.

Astec Industries introduce su tecnología de asfalto espumado.

Meadwestvaccompany, presenta el sistema de introducción de la Tecnología del Asfalto Dispersado (DAT) para el Evotherm.

Se desarrolla, Advera WMA, un producto a partir de Zeolite, introducido por PQCorporation.

30.000 toneladas de diferentes tecnologías de WMA, son colocadas cerca de Yellowstone, para el mes de Agosto.

En las pruebas realizadas en la Yellowstone, se utilizaron 9,000 toneladas métricas de asfalto, en cada una de las tres secciones (Sección de Control, Sección Sasobit y Sección de Advere WMA). Durante el proceso de acarreo, las mezclas fueron conducidas cerca de 90 minutos desde una planta portátil en Cody, Wyo.

Aunque fue difícil la logística, las cuadrillas de pavimentación lograron buenas densidades: el promedio de Advere WMA 93.9% de densidad teórica máxima; el promedio de Sasobit 93.4%. Neitke, quien estuvo a cargo del proyecto, declaró que: La densidad no fue difícil de alcanzar, aun cuando las temperaturas de la mezcla bajan, ante lo cual, Parecía un tanto difícil mantener bajas las temperaturas de la mezcla; las temperaturas de producción tenían una tendencia a brincar de 120 a 127°C. Las pruebas mostraron que los agregados se secaron adecuadamente aun con las temperaturas bajas. Los contenidos de humedad estaban abajo del máximo de 0.5% tanto para las mezclas en tibio como para la mezcla de control.

A continuación se describen algunos de los beneficios que presentan las mezclas asfálticas tibias:

Consumo de energía. La reducción del consumo de energía es el beneficio más obvio de las mezclas tibias, uno de los dos principales beneficios de ésta.

Los estudios han demostrado que la reducción del consumo de energía de alrededor de 30% se puede lograr mediante la reducción de las temperaturas de producción en la planta de asfalto. La reducción en el consumo de energía reduce a su vez el costo de la

producción de la mezcla, pero puede haber también un añadido por reducción en los costos involucrados en el uso del proceso de mezcla tibia, es decir, para los aditivos y/o equipos de modificación.

Otro beneficio adicional de la reducción de las temperaturas de producción que a veces se menciona es el menor desgaste de la planta de asfalto.

Emisiones. Otra de las ventajas de la mezcla tibia es la reducción de las emisiones debido a la reducida temperatura de producción. La producción de mezcla tibia reduce significativamente las emisiones de gas carbónico y los olores, en comparación con la producción de mezclas en caliente.

Cabe recordar que las emisiones de producción de mezcla-asfalto y la colocación pueden, en ciertos niveles elevados, ser perjudiciales para la salud.

Viscosidad. La funcionalidad de las tecnologías de WMA se basa en la reducción de la viscosidad del asfalto. La viscosidad reducida permite al agregado ser totalmente cubierto a una temperatura inferior a lo que tradicionalmente se requiere en las mezclas de producción en caliente.

Debido a la viscosidad reducida, los procesos de mezcla tibia pueden funcionar como una ayuda en la compactación y algunos beneficios relacionados con este son mencionados a menudo en relación con este tipo de mezclas.

Técnicos. Producción, colocación y compactación a temperaturas más frías, lo cual genera un control de densidades más eficaz.

Aumento en las distancias de transporte, dado que por la menor temperatura de producción hay una mayor conservación de la energía de compactación de los equipos,

por tanto se requiere menos esfuerzo para obtener las densidades requeridas, en otras palabras, los menores requerimientos de temperatura para la compactación de la mezcla, agilizan el trabajo aumentando las distancias de cobertura de la mezcla asfáltica lo que se traduce en una disminución de los costos.

Se puede incorporar además un mayor porcentaje de RAP (reciclaje de pavimentos asfálticos) debido a las bajas temperaturas.

Se puede lograr también una apertura al tráfico en menor tiempo comparado con las mezclas en caliente y obtener una menor oxidación en el asfalto por los gradientes de temperatura.

2.8.4 Ventajas de la aplicación de mezclas asfálticas tibias

La reducción de las temperaturas en las mezclas asfálticas, brindan enormes beneficios:

- Reducción en el uso de combustibles para la producción de mezclas asfálticas.
- Facilidad en la compactación de pavimentos asfálticos.
- Incremento en el uso de pavimentos reciclados (RAP) dentro de las mezclas.
- Mejor ambiente de trabajo para los operarios en sitio.
- Reducción o eliminación de gases y olores.
- Eliminación del envejecimiento prematuro del ligante asfáltico.
- Permite una apertura más rápida al tránsito.

El asfalto espumado se ha transformado en una excelente alternativa para la conservación de pavimentos asfálticos (reciclado) y construcción de caminos económicos (estabilización de caminos sin pavimentar), debido, principalmente, a su

buen comportamiento, facilidad de construcción, compatibilidad con un amplio rango de tipos de agregados y ventajas energéticas.

Por lo que una alternativa al uso de las mezclas asfálticas tradicionalmente utilizadas en el país, es la implementación de este tipo de mezclas asfálticas tibias; donde con algunas modificaciones en las plantas de producción existentes es posible obtener mezclas asfálticas que brindarían grandes beneficios y una importante reducción en los costos.

La decisión del uso de una u otra mezcla, en cada caso particular, dependerá del cotejo técnico-económico, de la magnitud y lugar de emplazamiento de la obra, del tránsito, condiciones climáticas reinantes, etc.

2.8.5 Comparación entre MAT y MAC

- Reducción de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en comparación con mezclas asfálticas calientes.
- Reducción de las temperaturas de colocación y compactación en comparación con las temperaturas convencionales.
- Se obtienen resistencias al daño por humedad a la tensión diametral similares.
- Presenta una mayor resistencia al fisuramiento por temperatura que las MAC.
- Mayor flexibilidad en la colocación y compactación de la MAT.
- Menores velocidades de enfriamiento, lo que permite distancias más largas de transporte.
- Las MAT pueden colocarse en climas fríos o en las noches donde baja más la temperatura del ambiente.

2.9 TIPOS DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Entre las técnicas de pavimentación de carreteras, la de los tratamientos superficiales ha sido la que mayor evolución ha experimentado en los últimos años, pasando de un sistema destinado a tránsitos livianos a ser utilizado en tratamientos de carreteras con tránsito pesado y en muchos países, en autopistas.

Los tratamientos superficiales pueden ser utilizados como capas de protección sobre caminos estabilizados o como conservación de pavimentos asfálticos. Las dosis de los materiales y el número de capas que se utilicen son función de la obra que se quiera realizar y de otros parámetros, como lo son:

- Tránsito
- Tipo de vía
- Clima
- Características de los agregados, etc.

Algunas de las ventajas de utilizar tratamientos superficiales son:

- Menor costo para caminos con tránsito bajo a medio
- Rápida puesta en servicio
- Mayor seguridad al mejorar la textura y la fricción
- Impermeabiliza y protege la superficie de bases granulares

2.9.1 Tratamiento superficial simple y doble

2.9.1.1 Tratamiento Superficial Simple

Consiste en una sola aplicación uniformemente distribuida de ligante bituminoso, seguido de una aplicación de árido de tamaño tan uniforme como sea posible. Esta se realiza sobre una superficie acondicionada y con una estructura apropiada a las condiciones de sollicitación a que va a estar expuesta (ver **Fig. 2.1**).



Fig. 2.1 Tratamiento superficial simple

2.9.1.2 Tratamiento Superficial Doble

Son dos riegos alternados y uniformemente distribuidos de ligante bituminoso y árido sobre una superficie acondicionada previamente. El tamaño medio del árido de cada distribución sucesiva es la mitad o menos del tamaño medio de la capa precedente. El espesor total es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del árido de la primera aplicación.

Para pavimentos con un tráfico intenso, o cuando se desea construir una nueva y gruesa esterilla, se recomienda usar tratamientos dobles y triples. Este tipo de superficie

producirá un grosor de 1/2 pulgada (ver **Fig. 2.2**), que aplicada sobre una base sólida, será capaz de soportar tráficos intensos en gran volumen, por largos períodos.



Fig. 2.2 Tratamiento superficial doble

Cuando se efectúan aplicaciones múltiples, es esencial que cada capa siguiente de agregado se fusione por completo con la carga previamente ubicada, de modo que la obra completa forme una sola masa homogénea, con una superficie lisa y compacta. El éxito de éste tipo de obra, depende de la ligazón o fusión de las partículas y de la distribución homogénea del asfalto a través de la masa entera.

Los procedimientos de construcción para los tratamientos múltiples son, esencialmente, los mismos que para los tratamientos simples, exceptuando que el proceso se repite una o dos veces.

2.9.2 Riego de imprimación

Se definen como la aplicación de un ligante bituminoso sobre una capa granular previamente a la extensión de una capa bituminosa sobre aquella, con el fin de que ambas capas trabajen de forma solidaria (ver **Fig. 2.3**). Son, por tanto, un tratamiento auxiliar en la construcción y rehabilitación de vías.



Fig. 2.3 Riego de imprimación

Para este tipo de riegos se utilizan ligantes muy fluidos de rotura lenta, siendo recomendables los diseñados específicamente para tal fin (EAI, ECI). De esta forma, el ligante penetra ligeramente por capilaridad en la capa granular, adecuando la superficie de apoyo del pavimento y contribuyendo al agarre entre las capas afectadas.

Su puesta en obra se realiza con tanque regador, siendo recomendable un barrido y humectación de la superficie horas antes de proceder al extendido del ligante para así facilitar su penetración en la capa subyacente. Su dosificación se determina mediante un proceso aproximativo en dos fases:

- La dosificación inicial se estima mediante la cantidad de ligante que es capaz de absorber la capa granular en un periodo de 24 horas, que en la práctica suele ser del orden de 1 kg/m^2 .
- Posteriormente se rectifica en la propia obra, añadiendo ligante en las zonas más secas y extendiendo arena donde exista un exceso de riego, de forma que ayude a absorberlo.

Es conveniente que la extensión se realice de forma que la mezcla se distribuya de forma continua y homogénea. Para que el riego alcance el máximo grado de eficacia, deberá prohibirse la circulación de tráfico rodado durante al menos las siguientes 4 horas a su puesta en obra, siendo recomendable un plazo de 24. Posteriormente se extenderá la capa bituminosa (ver **Fig. 2.4**), tratando de coordinarla con la operación de riego.



Fig. 2.4 Colocación de mezcla asfáltica sobre riego de liga

2.9.3 Riego anti-polvo

Consiste en un riego de emulsión asfáltica de rompimiento lento o super estable, seguido de un esparcido de arena, los cuales se pueden ejecutar en una o más capas sobre una superficie nivelada, compactada e imprimada (ver **Fig. 2.5**).

Este tipo de tratamiento no aporta estructura a la carpeta de rodadura, y solo la protege frente a la acción abrasiva del tránsito, viento y lluvia. Puede ejecutarse en forma mecanizada o manual y permite la construcción por etapas de una solución definitiva de pavimento estructural.



Fig. 2.5 Riego anti-polvo

Se utilizan como imprimantes emulsiones asfálticas de rompimiento lento o asfaltos diluidos del tipo MC-30 (asfalto rebajado), dependerá del tipo de base a tratar, siendo recomendable la emulsión cuando se trate de bases húmedas y sin plasticidad.

Como riego asfáltico se utiliza una emulsión asfáltica tipo SCE (Cationica Súper Estable), para evitar contratiempos que ocasionan las emulsiones de rompimiento rápido. Para los agregados pétreos se utiliza arena, material de fácil disponibilidad. Es recomendable usar arenas gruesas para zonas con mayor tránsito e intermedia para vías con tránsito ligero.

2.9.4 Riego de liga

Un riego de liga es una muy ligera aplicación de riego de emulsión asfáltica diluida. Se usa para unir la superficie del pavimento existente y la capa asfáltica a ser colocada, se recomienda el riego de liga para todas las capas de refuerzo (ver **Fig. 2.6**). La única posible excepción sería el caso de la colocación de una capa adicional dentro de los dos o tres días de haber sido extendida otra superficie asfáltica.



Fig. 2.6 Riego de liga sobre riego de imprimación

Para riegos de ligas, usualmente se emplean las emulsiones SS-1, SS.1h, CSS-1 y CSS.1h diluidas (emulsiones de rotura lenta). La emulsión se diluye agregando una cantidad igual de agua. Para estar seguros de que el agua a ser utilizada es compatible con la emulsión, se recomienda hacer una dilución de prueba. Para evitar una rotura prematura, siempre se agrega el agua a la emulsión y no la emulsión al agua. De ser practico, se prefiere agua caliente para la dilución. El riego de liga debería ser aplicado solo en áreas que pueden ser pavimentadas en el mismo día.

Los mejores resultados se logran cuando el riego de liga se aplica sobre una superficie seca y la temperatura de esta supera los 25°C (80°F). Para asegurar la adherencia, la superficie a ser tratada con el riego de liga debe estar limpia y libre de material suelto. Una vez que la emulsión ha roto, un buen riego de liga resulta en una capa muy fina pero uniforme de residuo asfáltico sobre la superficie.

Una excesiva cantidad de riego de liga puede originar un plano resbaladizo entre dos capas de pavimento, debido a que el asfalto actúa como un lubricante en vez de actuar como un adhesivo. Las gruesas manchas de asfalto o la exudación que pueden tener

lugar sobre la superficie del pavimento nuevo no son solo de apariencia desagradable, sino que pueden causar condiciones resbaladizas en el pavimento. La compactación, con rodillos neumáticos, de riegos de liga no uniformes o “manchados” ayudara a extender el asfalto y reducir la probabilidad de manchas gruesas.

Luego de aplicado el riego de liga, y antes de colocar el recapado, debe darse tiempo a aquel para que se produzca la completa rotura de la emulsión diluida (que pasa del color marrón al color negro). El tráfico deberá desviarse de la zona tratada con el riego de liga. El pavimento con el riego de liga aun fresco es en general demasiado resbaladizo para una conducción segura, particularmente antes de que la emulsión haya roto.

2.9.5 Lechadas asfálticas

Una lechada asfáltica es una mezcla de agregados de granulometría cerrada, emulsión asfáltica, aditivos y agua (ver **Fig. 2.7** y **Fig. 2.8**). La mezcla se aplica como un tratamiento de superficie. Las lechadas asfálticas pueden ser tanto una técnica de mantenimiento preventiva como correctiva. El tratamiento no aumenta la resistencia estructural de un pavimento. Cualquier pavimento que es estructuralmente débil en áreas localizadas, debiera ser reparado antes de la aplicación de lechada asfáltica. Ahuellamiento, ondulaciones, hundimientos a lo largo de los bordes, deficiencias en el abovedado, u otras irregularidades de la superficie que disminuyen la transitabilidad del camino, debieran corregirse antes de extender la lechada asfáltica.

La lechada asfáltica es una técnica de mantenimiento muy efectiva para superficies de pavimentos viejos. La lechada llenará las fisuras superficiales, detendrá el

desprendimiento de agregados y pérdida de matriz, mejorará la resistencia al deslizamiento y en general protegerá al pavimento y reducirá el deterioro por oxidación y agua y así prolongará globalmente la vida útil del pavimento.



Fig. 2.7 Lechada asfáltica en camino rural



Fig. 2.8 Lechada asfáltica en vía urbana

Las lechadas asfálticas tienen varias ventajas:

- Son de rápida aplicación y así permiten una pronta reapertura del pavimento al tráfico
- Impiden que el agregado esté suelto
- Proveen textura superficial y resistencia a la fricción excelentes

- Capacidad para corregir irregularidades superficiales menores
- Mínima pérdida de altura del cordón
- No hay necesidad de ajustes por la presencia de bocas de inspección y otras estructuras
- Excelente tratamiento de bajo costo para calles urbanas

La lechada asfáltica se aplica en un espesor de 3 a 9 mm (1/8 a 3/8 pulgadas). La máquina utilizada para la mezcla y la aplicación es una unidad independiente, de mezcla de flujo continuo. Ella alimenta con exactitud a la cámara de mezclado con cantidades predeterminadas de agregado, filler mineral, aditivos, agua y emulsión asfáltica.

La máquina de lechadas tiene una unidad de mezcla continua con elementos agitadores simples o dobles. La lechada asfáltica se descarga, desde la mezcladora, dentro de la caja distribuidora. La caja distribuidora está equipada con escobas de goma flexibles y tiene un ancho ajustable. Las cajas distribuidoras pueden estar equipadas con barrenos hidráulicos para distribuir el material uniformemente a lo ancho.

Las cajas con barrenos son particularmente beneficiosas cuando se emplea una emulsión de rotura rápida (QS) o cuando en el pavimento hay pendientes mayores del 8%.

El agregado para lechadas debe ser limpio, anguloso, durable, bien graduado, y uniforme. De ser posible, debiera emplearse material de trituración en un 100%. Para un agregado individual o para una mezcla de agregados a ser empleados en una lechada, deberían cumplirse las siguientes condiciones:

- Equivalente de arena (Sandequivalent), ASTM D 2419 (AASHTO T 176) = 45 como mín.

- Durabilidad (Soundness), ASTM C 88 (AASHTO T 104) = 15% como máximo (utilizando sulfato de sodio, Na_2SO_4), o 25% como máx. (utilizando sulfato de magnesio, MgSO_4)
- Pérdida en el ensayo Los Ángeles, ASTM C 131 (AASHTO T 96) Composición C ó D = 35% como máx.

A la mezcla de lechada pueden agregársele cantidades relativamente pequeñas de aditivos líquidos o en polvo. Dichos aditivos pueden usarse para mejorar las características de la mezcla, las características de rotura u otras propiedades que se ponen de manifiesto luego del curado. Estos materiales incluyen cemento Portland, cal y sulfato de aluminio en adición a algunas sustancias químicas orgánicas. La performance de cualquier aditivo debe evidenciarse en la mezcla de diseño. El agua utilizada en la lechada debe ser potable y compatible con la mezcla.

Es esencial calibrar cada máquina de lechada con los mismos materiales del proyecto. La calibración debería respetar las proporciones de los materiales correspondientes al diseño de la mezcla. Pueden aceptarse informes sobre calibraciones previas con estos mismos materiales, si aquellos fueron realizados dentro del actual año calendario. Deberían realizarse aplicaciones de prueba como una verificación final de la consistencia y trabajabilidad de la lechada.

Es importante reparar todas las áreas de falla previamente a la aplicación de la lechada asfáltica. A menos que la superficie del pavimento esté extremadamente "seca" y haya sufrido severos desprendimientos o se trate de un pavimento de concreto o de ladrillo, en general no es necesario un riego de liga (tackcoat) previamente a la aplicación de la

lechada asfáltica. De ser necesario el riego de liga, éste debería consistir de una parte de asfalto emulsificado y de tres partes de agua.

2.9.6 Micro-aglomerados (Micro-pavimentos o Micro-surfacing)

Al igual que las lechadas asfálticas, el micro-aglomerado es una mezcla de agregados bien graduados, emulsión asfáltica, fillers, aditivos y agua; pero mediante la adición de polímeros y el uso de técnicas de diseño especializadas, con el micro-aglomerado pueden lograrse espesores varias veces el tamaño del agregado (ver **Fig. 2.9**).

Como tratamiento superficial, el micro-aglomerado ofrece protección al pavimento subyacente y mejora los valores de fricción superficial. Emulsivos especiales presentes en emulsiones de micro-aglomerados contribuyen a las características de rápida rotura. Bajo condiciones promedio, se requieren formulaciones que permitan la liberación de la superficie al tránsito normal en una hora. Reperfilados menores pueden lograrse con una múltiple aplicación. Hay equipos especiales que permiten rellenar huellas de hasta 40 mm (1 1/2 pulgadas) en una sola pasada.

Las características y beneficios del micro-aglomerado incluyen:

- Rápida rotura, rápida liberación al tránsito
- La rotura química permite aplicación durante la noche.
- Adecuado para carreteras de accesos controlados, de alto volumen de tráfico.
- Distribuciones unitarias de aplicación para una simple pasada de 11 a 16 kg/m² (20-30 libras/yardas²), resultando en espesores de 9 a 16 mm (3/8 a 5/8 pulgadas).

- La capa inicial seguida de una capa de terminación provee un reperfilado menor y una nueva superficie de rodamiento.
- El relleno de huellas seguido de una capa de terminación provee un apropiado drenaje de agua y reduce la posibilidad de hidropilano del vehículo.

El micro-aglomerado es mezclado y colocado por camiones auto-propulsados, compartimentados, diseñados específicamente para esta tarea. Una muy precisa dosificación asegura adecuados porcentajes de cada componente en el volumen de alimentación continua. La cámara de mezclado es una mezcladora de doble eje, múltiples paletas, que rápidamente combina y mezcla completamente los materiales. La mezcla semi-fluida de micro-aglomerado cae en una caja de enrasado con barrenos y es depositada sobre el pavimento en el ancho de una trocha, a medida que el camión avanza a lo largo del camino.



Fig. 2.9 Unidad continúa para micro-aglomerados en vía urbana

Los camiones de micro-aglomerado para colocación continua como en la figura anterior son provistos con agregados y emulsión asfáltica por camiones alimentadores, y producen un recapado con un mínimo de juntas transversales. Este tipo de maquinaria es

capaz de producir hasta 450 toneladas de micro-aglomerado por día. También pueden utilizarse unidades montadas en camiones si es posible lograr una exacta alimentación de materiales y un rápido mezclado. Luego de depositar una carga completa de agregado, estas unidades retornan al acopio para ser recargadas.

Las cajas de micro-aglomerado para ahuellamiento están diseñadas para depositar material directamente dentro de las huellas. Con múltiples pasadas de relleno de huellas, pueden corregirse depresiones de más de 50 mm (2 pulgadas) de profundidad. Esta técnica permite la prevención del riesgo de hidropilano sin el fresado de la superficie existente.

Los agregados para micro-aglomerado son piedras procesadas, 100% trituradas, tales como granito, escoria, calizas, u otros agregados de alta calidad. Para uso en micro-aglomerado, el agregado individual o la mezcla de agregados deben cumplir las siguientes especificaciones:

- Equivalente de arena (Sandequivalent), ASTM D 2419 (AASHTO T 176) = 60 como mín.
- Durabilidad (Soundness), ASTM C 88 (AASHTO T 104) = 15% como máx. (utilizando sulfato de sodio, Na_2SO_4), o 25% como máx. (Utilizando sulfato de magnesio, MgSO_4)
- Pérdida en el ensayo Los Ángeles, ASTM C 131 (AASHTO T 96) Composición C ó D = 30% como máx.

2.10 DETERIOROS EN PAVIMENTOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

En este documento únicamente se tratarán los siguientes tipos de deterioros:

2.10.1 PIEL DE COCODRILO

2.10.1.1 Descripción

Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio menor a 30 cm. (ver **Fig. 2.10**). El fisuramiento empieza en la parte inferior de las capas asfálticas, donde las tensiones y deformaciones por tracción alcanzan su valor máximo, cuando el pavimento es solicitado por una carga. Las fisuras se propagan a la superficie, inicialmente, como una serie de fisuras longitudinales paralelas; luego por efecto de la repetición, evolucionan interconectándose y formando una malla cerrada, que asemeja el cuero de un cocodrilo. Ocurren necesariamente en áreas sometidas al tránsito, como las huellas de canalización del tránsito. Si la base y la sub-base son débiles, el fisuramiento será acompañado por ahuellamientos. Cuando el drenaje es inadecuado, el fisuramiento se presentará en primera estancia, en las huellas de canalización exteriores. En su etapa final, el agrietamiento se transforma en bache. La misma sección del pavimento presentará fisuras y grietas de cocodrilo, ahuellamiento y baches.

2.10.1.2 Posibles causas

Son causadas por la fatiga que sufren las capas asfálticas al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito. Por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene

capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil. El ligante por lo general ha envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de sostener cargas repetidas al tránsito sin agrietarse.

2.10.1.3 Niveles de severidad

B (Bajo) Fisuras muy finas, menores de 2 mm de ancho, paralelas con escasa interconexión, dando origen a polígonos de cierta longitud; los bordes de las fisuras no presentan despostillamiento.

M (Mediano) Fisuras finas a moderadas, de ancho menor a 5 mm, interconectadas formando polígonos pequeños y angulosos, que pueden presentar un moderado despostillamiento en correspondencia con las intersecciones.

A (Alto) La red de fisuras ha progresado de manera de constituir una malla cerrada de pequeños polígonos bien definidos, con despostillamientos de severidad moderada a alta, a lo largo de sus bordes; algunas de estas piezas pueden tener movimientos al ser sometidas al tránsito y/o pueden haber sido removidas por el mismo formando baches.

2.10.1.4 Medición

Las fisuras Piel de Cocodrilo se miden en metros cuadrados de superficie afectada. La mayor dificultad en la medición radica en que dos o hasta tres niveles de severidad pueden existir dentro de una misma área fallada. Si estas porciones pueden ser distinguidas fácilmente, una de otra, se miden y registran separadamente. Si los distintos

niveles de severidad no pueden ser divididos fácilmente, la totalidad del área se califica con la mayor severidad observada.



Fig. 2.10 Piel de cocodrilo en Avenida Universitaria

2.10.2 BACHE

2.10.2.1 Descripción

Desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares (ver **Fig. 2.11**).

2.10.2.2 Posibles causas

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

2.10.2.3 Niveles de severidad

Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) en función del área afectada y de la profundidad del bache (ver **Tabla 2.1**).

Tabla 2.1 Niveles de severidad

Profundidad Maxima (cm)	Diámetro Promedio del Bache (cm)		
	Menor a 70	70 - 100	Mayor a 100
Menor de 2.5	B	B	M
De 2.5 - 5.0	B	M	A
Mayor de 5.0	M	M	A

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial, SIECA, 2010, Capítulo 4.

2.10.2.4 Medición

Los baches descubiertos pueden medirse alternativamente: a) Contando el número de baches con niveles de severidad baja, moderada y alta, registrando estos separadamente, y b) Computando éstos en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente las áreas, según su nivel de severidad.



Fig. 2.11 Bache en Boulevard del ejército

2.10.3 FISURA TRANSVERSAL

2.10.3.1 Descripción

Quiebre o rotura que afecta a las capas estructurales del pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es igual o menor que 3 mm, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera (ver **Fig. 2.12**). Puede afectar todo el ancho del carril como limitarse a los 0.60 m próximos al borde del pavimento.

2.10.3.2 Posibles causas

- Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, debido a un exceso de filler, envejecimiento asfáltico, etc. Particularmente ante la baja temperatura y gradientes térmicos importantes.
- Reflexión de grietas en la capa subyacente, incluyendo pavimentos de concreto, con excepción de la reflexión de sus juntas.
- Defectuosa ejecución de las juntas transversales de construcción de las capas asfálticas de superficie.

2.10.3.3 Niveles de severidad

B (Bajo) Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferior a 3 mm sin ramificaciones.
- Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición satisfactoria.

2.10.3.4 Medición

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



Fig. 2.12 Fisura transversal en Calle Olomega

2.10.4 FISURA LONGITUDINAL

2.10.4.1 Descripción

Fracturación que se extiende a través de la superficie del pavimento, cuyo ancho superficial es igual o menor que 3 mm, paralelamente al eje de la carretera, pudiendo localizarse en las huellas de canalización de tránsito, en el eje o en los bordes del pavimento (ver **Fig. 2.13**). La ubicación de la fisura es indicativa de la causa más probable.

2.10.4.2 Posibles causas

- Instancias iniciales del fenómeno de fatiga por debilidad estructural, ocurren en las huellas de canalización del tránsito.
- Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, particularmente ante gradientes térmicos importantes.
- Defectuosa ejecución de las juntas longitudinales de construcción, al distribuir las mezclas asfálticas durante la construcción; ocurren en el eje y coincidencia con los carriles de distribución y ensanches.
- Reflexión de fisuras causadas por grietas existentes por debajo de la superficie de rodamiento; incluyendo fisuras en pavimentos conformadas por capas estabilizadas químicamente o de concreto, usualmente se presentan combinadas con fisuras transversales.
- Deficiente confinamiento lateral, por falta de hombros y cordones o bordillos, que provocan un debilitamiento del pavimento en correspondencia con el borde. Estas, asociadas a las cargas del tránsito, ocurren a una distancia de 0.30 a 0.60 m del borde.

2.10.4.3 Niveles de severidad

Se define de acuerdo a las características de las fisuras:

B (Bajo) Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferior a 3 mm sin ramificaciones.
- Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición satisfactoria.

2.10.4.4 Medición

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



Fig. 2.13 Fisura longitudinal en Av. Ilopango

2.10.5 GRIETA TRANSVERSAL

2.10.5.1 Descripción

Quiebre o rotura que afecta a las capas estructurales del pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es mayor que 3 mm (ver **Fig. 2.14**). Fracturación de longitud variable que se extiende a través de la superficie del pavimento, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera. Puede afectar todo el ancho del carril como limitarse a los 0.60 m próximos al borde del pavimento.

2.10.5.2 Posibles causas

- Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, debido a un exceso de filler, envejecimiento asfáltico, etc. Particularmente ante la baja temperatura y gradientes térmicos importantes.
- Reflexión de grietas en la capa subyacente, incluyendo pavimentos de concreto, con excepción de la reflexión de sus juntas.
- Defectuosa ejecución de las juntas transversales de construcción de las capas asfálticas de superficie.

2.10.5.3 Niveles de severidad

M (Mediano) Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Grietas sin sellar, de ancho promedio entre 3 y 6 mm.
- Grietas sin sellar, de ancho promedio menor de 6 mm que evidencian ramificaciones, es decir rodeadas de fisuras finas erráticas,
- Grietas selladas, de cualquier tipo, rodeadas de fisuras erráticas.

A (Alto) Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Grietas sin sellar de ancho promedio mayor de 6 mm.
- Cualquier grieta, sellada o no, con ramificaciones constituidas por grietas erráticas, moderadas a severas, próximas a la misma, con tendencia a formar una malla, o bien, que evidencien un despostillamiento severo.

2.10.5.4 Medición

Las grietas transversales se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse después de su identificación. Si la grieta no tiene el mismo nivel de severidad en toda su extensión, cada porción evidenciando un diferente nivel de severidad, debe ser registrada separadamente. Se totaliza el número de metros lineales observados en la sección o muestra.



Fig. 2.14 Grieta transversal en Boulevard del ejército

2.10.6 GRIETA LONGITUDINAL

2.10.6.1 Descripción

Quiebre o rotura que afecta a las capas estructurales del pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es mayor que 3 mm (ver **Fig. 2.15**). Fracturación que se extiende a través de la superficie del pavimento, paralelamente al eje de la carretera, pudiendo localizarse en las huellas de canalización de tránsito, en el eje o en los bordes del pavimento. La ubicación de la fisura es indicativa de la causa más probable.

2.10.6.2 Posibles causas

- Instancias iniciales del fenómeno de fatiga por debilidad estructural, ocurren en las huellas de canalización del tránsito.
- Defectuosa ejecución de las juntas longitudinales de construcción, al distribuir las mezclas asfálticas durante la construcción; ocurren en el eje y coincidencia con los carriles de distribución y ensanches.
- Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, particularmente ante gradientes térmicos importantes.
- Reflexión de fisuras causadas por grietas existentes por debajo de la superficie de rodamiento; incluyendo fisuras en pavimentos conformadas por capas estabilizadas químicamente o de concreto, usualmente se presentan combinadas con fisuras transversales.
- Deficiente confinamiento lateral, por falta de hombros y cordones o bordillos, que provocan un debilitamiento del pavimento en correspondencia con el borde. Estas, asociadas a las cargas del tránsito, ocurren a una distancia de 0.30 a 0.60 m del borde.

2.10.6.3 Niveles de severidad

Se definen dos niveles de severidad (mediano, alto) de acuerdo a las características de las fisuras,

M (Mediano) Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Grietas sin sellar, de ancho promedio entre 3 y 6 mm.

- Grietas sin sellar, de ancho promedio menor de 6 mm que evidencian ramificaciones, es decir rodeadas de fisuras finas erráticas.
- Grietas selladas, de cualquier tipo, rodeadas de fisuras erráticas.

A (Alto) Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Grietas sin sellar de ancho promedio mayor de 6 mm.
- Cualquier grieta, sellada o no, con ramificaciones constituidas por fisuras erráticas, moderadas a severas, próximas a la misma, con tendencia a formar una malla, o bien, que evidencien un despostillamiento severo.

2.10.6.4 Medición

Las grietas longitudinales se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse después de su identificación. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su extensión, cada porción evidenciando un diferente nivel de severidad, debe ser observada en la sección o muestra.



Fig. 2.15 Grieta longitudinal en Av. Ilopango

CAPITULO III
PROCESO CONSTRUCTIVO
PARA EL MANTENIMIENTO DE
LA CARPETA ASFÁLTICA

3.1 SELLO DE FISURAS Y GRIETAS

El sello de grietas es una actividad de mantenimiento preventivo y se debe realizar cuando éstas se han reflejado adecuadamente en el pavimento, las cuales pueden aparecer longitudinal o transversalmente en la capa 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.

Esta actividad no podrá ser ejecutada en los siguientes casos:

- a) 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 sobrepeso en los ejes vehiculares.
- b) Cuando existan deflexiones en las grietas, lo cual muestra que ya existe un daño en la base.
- c) 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 mm de separación.

3.1.1 Equipo

3.1.1.1 Ruteadora o máquina para cortar pavimento

El equipo utiliza un cabezal cortador y permite al operador seguir la sinuosidad de grietas de manera simple, rápida y efectiva lo que incrementa significativamente las operaciones de limpieza y preparación de grietas y fisuras(ver **Fig. 3.1a** y **Fig. 3.2a**).

Está concebida para que el operario pueda controlar la profundidad de corte sin detener la operación. Los rendimientos dependen del pavimento tratado, pueden alcanzar varios metros lineales por día. El equipo cuenta con diversos mecanismos de seguridad.



Fig. 3.1a Ruteadora o máquina para cortar pavimento

Una ruteadora cuenta con una rueda cortadora giratoria que tiene un eje de rotación generalmente horizontal en el que la rotación de la rueda cortadora se controla selectivamente mediante un embrague que se encuentra sobre el eje del motor y dicho embrague se activa mediante un interruptor. De preferencia, la ruteadora incluye también una plataforma que permite inclinarla completamente hacia adelante sobre sus ruedas de soporte para mostrar la rueda cortadora y poder darle servicio. El embrague es electromagnético y se encuentra montado sobre el eje del motor, este se energiza selectivamente mediante un interruptor que está en la manivela de la ruteadora este se encuentra dispuesto de manera que se cierre cuando el operador sujete los mangos de la manivela. Al energizarse o engranarse, la polea del embrague gira al unisonó con el eje del motor, transmitiendo un momento de torsión a través de un tornillo sin fin hacia un

eje impulsado que lleva la rueda cortadora haciendo que esta gire. Cuando se sueltan los mangos de la manivela, el embrague se desenergiza o desengrana, desacoplando la rueda cortadora del motor y permitiendo de esta forma dejar a la ruteadora sin supervisión con el motor encendido sin que haya riesgo alguno. La plataforma es un puntal alargado montado mediante un pivote a una porción del bastidor que se extiende hacia afuera y que está construido para permitir inclinar la ruteadora sobre sus ruedas de apoyo para mostrar la rueda cortadora.



Fig. 3.2a Ruteadora o máquina para cortar pavimento, detalle de cuchillas de corte

El uso de equipos ruteadores, capaces de dibujar la sinuosidad de una grieta, no solo presenta una mayor rapidez en la preparación sino que logra una mayor efectividad en términos de costos para formar la caja. Al rutear los agrietamientos, el cabezal cortador de estos equipos sigue efectivamente la sinuosidad de la falla, eliminando los cantos débiles y paredes oxidadas y dejando bordes resistentes necesarios para la adhesión de largo plazo del sello.

3.1.1.2 Compresor neumático

Compresor neumático de un mínimo de 185 CFM (pies cúbicos por minuto), el cual debe de contar con trampa de agua y se limpiara tanto el espacio de la junta como el área adyacente a la misma, en un ancho no menor de 0.20 m para que esté libre de polvo, arcilla o de cualquier otro material (ver **Fig. 3.3a**).



Fig. 3.3a Compresor neumático móvil

Estos pueden ser remolcados por otros vehículos hasta la zona de trabajo, son adaptables a una gran variedad de accesorios para otros usos en la construcción.

El compresor deberá tener trampas capaces mantener el aire comprimido libre de agua y aceite y deberá producir una corriente continua de aire limpio y seco a una presión no inferior a seiscientos kilopascales (600 kPa) y en un volumen no menor de cuatro y medio metros cúbicos (4.5 m³) por minuto.

La lanza de aire comprimido deberá ser capaz de suministrar una corriente continua de aire a alta presión a una temperatura de mil grados Celsius (1000°C) y a una velocidad de descarga de mil metros por segundo (1000 m/s), sin llama en el orificio de salida.

3.1.1.3 Caldera de calentamiento para el material sellante

Consiste en una caldera de doble fondo para el calentamiento del material sellante, el espacio entre los dos fondos deberá estar lleno de aceite para la transferencia de calor, de manera de impedir que la llama entre en contacto directo con el recipiente que contiene el producto sellante (ver **Fig. 3.4a**). El aceite deberá tener un punto de inflamación no menor de 280° C.



Fig. 3.4a Caldera de calentamiento

La caldera deberá disponer de un dispositivo de control automático de temperatura y un equipo de agitación que prevenga variaciones localizadas de la temperatura del sellante. Deberá estar dotada, además de dos (2) termómetros para controlar la temperatura del sellante y la del aceite.

Además, deberá estar montada sobre llantas neumáticas y deberá tener una placa metálica bajo el fogón, para proteger el pavimento.

El equipo de aplicación del producto sellante deberá trabajar a presión y tener la capacidad suficiente para inyectar en flujo continuo el volumen requerido de sellante,

hasta la profundidad adecuada. Deberá estar equipado con una boquilla cuya forma ajuste dentro de las grietas por sellar y dispondrá de un termómetro para verificar la temperatura de aplicación.

3.1.1.4 Rueda medidora u odómetro

También conocidos como Topómetros (ver Fig. 3.5a), los hay de diferentes tipos en el mercado por lo general se componen de una rueda de disco de acero recubierta de caucho, cierre de seguridad en el mango, freno, base metálica. Contador metálico de alta precisión. Su peso debe ser ligero para los trabajos más duros y su diseño evitar que las malezas puedan atascar la rueda. Por lo general poseen un contador máximo de hasta 9,999.90 m



Fig. 3.5a Diferentes tipos de ruedas medidoras u odómetros

3.1.2 Herramientas varias



Fig. 3.6a Herramientas varias

3.1.2.1 Palas

Las palas para mover materiales de construcción tales como cemento, piedra, arena, suelen tener un mango más largo y una concavidad más pronunciada en la plancha inferior, tan ancha como para abarcar una mayor superficie (ver **Fig. 3.6a a.**). Esto facilita la tarea de cargar pequeñas cantidades de material y luego volcarlas sobre una carretilla o la caja de un camión para su transporte.

3.1.2.2 Carretillas

La carretilla es un pequeño vehículo normalmente de una sola rueda diseñado para ser propulsado por una sola persona y utilizado para el transporte a mano de carga. La carretilla de una sola rueda frontal (ver **Fig. 3.6a b.**) está diseñada para distribuir el peso de la carga entre la rueda y el trabajador, lo que permite llevar cargas más pesadas que si tuvieran que ser transportadas totalmente por la persona. Se utiliza comúnmente en la industria de la construcción.

3.1.2.3 Cinta métrica

Se utiliza para medir longitudes. Debe estar graduada en el Sistema Internacional (ver **Fig. 3.6a c.**).

3.1.2.4 Marcadores

Para esto puede utilizarse un material que demarque el área a reparar, como sugerencia que se pueda utilizar para marcar madera seca y húmeda, papel, cartón, metal, piedra, asfalto, azulejos, plásticos y que sea resistente a la intemperie y a la acción de la luz, se recomienda tiza (ver **Fig. 3.6a d.**) o spray (ver **Fig. 3.6a e.**).

3.1.3 Mano de obra

3.1.3.1 Un operador de ruteadora, operador para la aplicación de sello y operador de compresor de aire para limpieza



Fig. 3.7a Operadores

El operario debe ser capaz de dibujar la sinuosidad de la fisura o grieta con el equipo, esto logrará mayor efectividad para la adhesión a largo plazo del sello, debe de estar entrenado para la utilización de estos equipos ya que el uso correcto de estos reduce además de la longitud el número de interrupciones del tráfico y disminuye a la vez la

exposición de las cuadrillas numerosas al peligro del tránsito en zonas congestionadas (ver **Fig. 3.7a**). El operador encargado de la aplicación del sello debe de seguir el camino marcado por la ruteadora, con el cuidado necesario del correcto uso de la manguera aplicadora.

Las alternativas de limpieza posterior a la formación de la caja incluyen sopleteado con aire a alta presión, lanzas de aire caliente, entre otros. En general el método de limpieza más adecuado es aquel que elimina el material suelto y que asegura superficies de vaciado secas.

3.1.4 Materiales

3.1.4.1 Material sellante



Fig. 3.8a Material sellante

Este material (ver **Fig. 3.8a**) debe estar apegado a la Norma ASTM D 6690, algunos de los requisitos que este debe cumplir según la referida norma son los siguientes:

1. El sellador deberá estar compuesto de una mezcla de materiales que forme un compuesto elástico y adhesivo capaz de sellar efectivamente juntas y grietas en

pavimentos asfálticos y concreto contra la filtración de humedad y materiales extraños, a través de ciclos repetitivos de expansión y contracción por cambios de temperatura.

2. Que a temperaturas ambiente, no fluya hacia fuera de la junta, ni sea recogida por las llantas de un vehículo.
3. El material debe ser capaz de llevarse a una consistencia uniforme para espaciarse apropiadamente de manera que llene completamente las juntas sin dejar burbujas de aire grandes y discontinuidades y sin dañar el material.
4. Debe permanecer relativamente sin cambios en sus características de aplicación por lo menos por 6 horas a la temperatura recomendada de aplicación en la obra.
5. La temperatura de aplicación debe de ser la misma que la temperatura máxima de calentamiento.
6. La temperatura máxima de calentamiento debe ser establecida de antemano por el fabricante, debe de mostrarse en todos los contenedores y debe de proporcionarse al ente de prueba antes de realizar cualquier prueba de laboratorio.
7. El compuesto sellador deberá ser entregado en los contenedores originales del fabricante.
8. Cada contenedor debe ser marcado legiblemente con el nombre del fabricante, la marca del sellador, el número de lote o conjunto, el fabricante y el número y tipo de especificación, la temperatura mínima de aplicación y la temperatura máxima de calentamiento.

9. La temperatura máxima de calentamiento debe ser por lo menos 11°C (20°F) más alta que la temperatura mínima de aplicación.

Existen otras alternativas de materiales sellantes como los adhesivos para juntas, el cual es un asfalto modificado de aplicación en caliente cuya función es sellar la junta fría que se produce en las uniones de las carpetas asfálticas al momento de la construcción impidiendo así la aparición de fisuras longitudinales por movimientos térmicos. Este sello es también eficaz para la impermeabilización de los bordes de las áreas del pavimento asfáltico de las partes expuestas como los hombros. Además puede ser utilizado como impermeabilizante en válvulas de agua y gas instaladas tanto en pavimentos rígidos como flexibles (ver **Fig. 3.9a**).



Fig. 3.9a Material sellante aplicado manualmente en estacionamientos y juntas de pavimentos de asfalto y concreto.

También algunos sellos utilizados en áreas de estacionamiento que están expuestas a tráfico lento y peatonal. Además puede ser utilizado en garajes, caminos, calles residenciales, cruces, paseos, bodegas, etc. Debido a la naturaleza de estos tipos de

pavimentos se debe tener especial cuidado al momento de sellar grietas ya que nos encontramos con diferentes tipos y volúmenes de tráfico.

3.1.4.2 Material secante (arena)

La arena será la porción de agregado pétreo seco, de granulometría que pase el tamiz No. 8 (ver **Fig. 3.10a**). 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.



Fig. 3.10a Material secante (Arena)

3.1.5 Procedimiento para reparación de fisuras y grietas

3.1.5.1 Tipos de configuraciones de sellado de grietas o fisuras

Al momento de realizar el sellado de las grietas y fisuras se pueden utilizar diversas configuraciones, en donde se optará por la más conveniente para el caso que se presente, ya que se optará por la solución más técnica como económicamente posible.

3.1.5.2 Configuraciones de los sellos

- a) llenado de la ranura a ras(ver **Fig. 3.11a**).
- b) llenado de la ranura a ras con venda(ver **Fig. 3.12a**).
- c) llenado debajo de la venda(ver **Fig. 3.13a**).
- d) venda ó curita(ver **Fig. 3.14a**).
- e) llenado a ras(ver **Fig. 3.15a**).

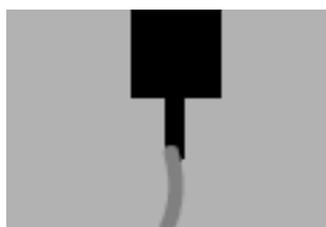


Fig. 3.11a llenado de la ranura a ras



Fig. 3.12a llenado de la ranura a ras con venda



Fig. 3.13a llenado debajo de la venda



Fig. 3.14a venda ó curita



Fig. 3.15a llenado a ras

Los sellos tipo venda o curita deben tener un espesor aproximado de 0.125 pulgadas (3 milímetros) y un ancho mínimo de 3 pulgadas (75 milímetros).

3.1.5.3 Condiciones

El tipo de configuración depende principalmente del material sellante que se utilizará, pues existen materiales más resistentes al paso del tránsito o materiales que trabajan mejor dejando las grietas a ras y con un menor contacto al tránsito. Por lo tanto 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.

Para los casos a), b) y c) en los que se realizará un perfilado de la grieta en un espesor máximo de ½ pulgada (12.7 milímetros) con una ruteadora, es recomendable evaluar este trabajo en las grietas, debido a que se genera un desprendimiento de los agregados del pavimento, lo que aumenta el ancho de la sección a una pulgada o más, la cual

consume más material de sellado y en algunos casos permite el desprendimiento del material de sellado, para lo cual deberá omitirse este proceso de la actividad de sellado.

Cuando las condiciones del perfilado sean dañinas al pavimento, se recomienda realizar un sello de grietas tipo d) o e), debido principalmente a que no se causa daño al pavimento durante la ejecución del trabajo y el material posee suficiente adherencia e impermeabilidad para evitar el paso del agua a las capas adyacentes del pavimento.

También es recomendable utilizar la configuraciones d) o e), para poder reparar un número mayor de grietas y fisuras, ya que estas configuraciones consumen menor cantidad de material sellante.

3.1.5.4 Colocación de los dispositivos de señalización y seguridad

Colocar dispositivos de seguridad transitorios y verificar que todo el personal disponga de la vestimenta obligatoria y en buen estado, y asegurar el control adecuado del tránsito (ver **Fig. 3.16a**).



Fig. 16a colocación de los dispositivos de señalización y seguridad

3.1.5.5 Revisión de la vía

Revisión de la vía, en todo su tramo, para definir aquellas fallas en los pavimentos que requieren un pronto tratamiento, en este caso, definir las fisuras y grietas que se deberán tratar. Al momento de realizar este tipo de tratamiento lo adecuado es sellar todas las grietas y fisuras que presente el tramo y con este dar un mantenimiento preventivo a dicha vía. Para que no se generen deterioros más devastadores en esta en el transcurso del tiempo, lo cual aumentará la vida útil de esta.

Los criterios a evaluar mediante una inspección visual:

- Evaluar la densidad de Grietas y fisuras.
- Nivel de deterioro
- Dimensiones de las grietas y fisuras
- Evaluación del tipo de grietas y fisuras y sus combinaciones
- Cantidad de humedad retenida dentro y fuera de las grietas y fisuras

3.1.5.6 Identificar las grietas y fisuras a reparar

El proceso del sellado de grietas y fisuras empieza desde el momento de identificación de las grietas y fisuras a reparar (ver **Fig. 3.17a**) en donde con esto, se está realizando un mantenimiento preventivo que es el más adecuado y es el que se debería de realizar ya que es un proceso que previene, como su nombre lo dice, deterioros, más costosos de tratar, estas fisuras y grietas que son reparadas, previene que no se formen pieles de cocodrilo y baches, con esto se ahorran costos al momento de la realización de un mantenimiento inoportuno que sería el cual le daríamos a un bache o piel de cocodrilo,

hoy que ya se sabe cuales fisuras y grietas trataremos, que se supone que tienen que ser todas las que se encuentren en la calzada.

La supervisión deberá indicar las zonas de grietas a sellar, procediendo a marcarlas directamente sobre el pavimento con yeso, tiza u otro material de color visible (preferiblemente blanco). Estas marcas indican el inicio y final de cada grieta. La identificación de las grietas y fisuras proporciona la delimitación de la longitud que va a ser cortada y limpiada, para su posterior reparación.



Fig. 3.17a Identificación de grietas y fisuras a reparar

3.1.5.7 Ampliar la fisura o grieta

Por medio de una cortadora (sierra mecánica), se amplía la grieta o fisura en una relación de 2:1 entre la profundidad y el ancho de la grieta o fisura en todo su largo o dirección, para que exista una mejor penetración del material sellante en la grieta o fisura. (ver **Fig. 3.18a** y **Fig. 3.19a**).



Fig. 3.18a Ampliando la grieta o fisura con sierra mecánica



Fig. 3.19a Ampliando la grieta o fisura con sierra mecánica

3.1.5.8 Limpieza y secado de la grieta o fisura

El personal de limpieza se encarga de la limpieza y el secado de la grieta o fisura, ya que en ella se encuentran residuos de la ampliación de estas o contaminantes dentro de ella, esta operación se hace por medio de cepillos y aire comprimido (por medio de un compresor neumático) (ver **Fig. 3.21a**), la limpieza se debe de realizar también en el área adyacente de por lo menos 0.30 m de la fisura o grieta, a adonde será colocado el sello. Si la grieta o fisura posee humedad en su interior, se utiliza un soplete mecánico para poder secar la grieta o fisura.

Una medida para verificar si se posee una limpieza y un secado apropiado, es meter el dedo en la grieta o fisura para verificar su condición, esta debe estar libre de polvo, humedad, arcilla o de cualquier otro material, previo a continuar con la siguiente operación. Con este proceso se deja la grieta o fisura limpia y seca, la cual hace que la superficie este apta para poder colocar el material sellante. Ya que con esto se garantiza la adherencia del material sellante.



Fig. 3.20a Manguera del compresor



Fig. 3.21a Limpieza de grieta o fisura ,utilizando el compresor neumático

3.1.5.9 Medición de las longitudes de las grietas o fisuras

El proceso de medición de las longitudes de las grietas y fisuras, se realiza con una rueda medidora (ver **Fig. 3.22a** y **Fig. 3.23a**), las cuales deben de ser calibradas antes de su uso, la calibración de estas consiste en medir un metro con cinta en una superficie y que la rueda lo mida, si se cumple con el metro la rueda esta calibrada, este proceso de calibración de la rueda medidora se debe realizar cada 500 m, cuando el equipo estado siendo ocupado en una operación continua.

El criterio a utilizar será de medición continua en conjunto, que permita verificar la cantidad de metros lineales de grietas y fisuras selladas en el recorrido día a día, efectuando una recepción diaria del trabajo terminado a satisfacción.



Fig. 3.22a Medición de las longitudes de las grietas o fisuras



Fig. 3.23a Medición de las longitudes de las grietas o fisuras

3.1.5.10 Recepción del material sellante

Se debe de realizar la verificación de las especificaciones del sellador con respecto a los requisitos establecidos por la norma ASTM D 6690(ver **Tabla 3.1a**).

Tabla 3.1a. Condiciones que debe de cumplir el material sellante

Penetración de cono a 25°C	Tipo I Max.90	Tipo II Max.90	Tipo III Max. 90	Tipo IV 90 - 150
Flujo a 60°C, mm	5.0 Max.	3.0 Max	3.0 Max	3.0 Max
Adherencia, sin inmersión	Dos de tres muestras de 25.4mm pasan 5 ciclos con extensión de 50% a -18°C	Tres muestras de 12.7 mm pasan 3 ciclos con ext. de 50% a -29°C	Tres muestras de 12.7 mm pasan 3 ciclos con ext. de 50% a -29°C	Tres muestras de 12.7 mm pasan 3 ciclos con ext. de 200% a -29°C
Adherencia, inmersión	-	-	Tres muestras de 12.7 mm pasan 3 ciclos con ext. de 50% a -29°C	-
Elasticidad,%	-	60 min.	60 min.	60 min.
Elasticidad con degeneración en horno,%	-	-	60 min.	
Compatibilidad con el asfalto	pasar	pasar	Pasar	pasar

Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM), Norma ASTM D 6690-09.

El material de sellado esta empacado en cajas de cartón selladas(ver **Fig. 3.24a**), con identificación legible del fabricante, nombre del sellador, numero de lote, número y tipo de la especificación, temperatura mínima de aplicación y la temperatura máxima de calentamiento.



Fig. 3.24a Recepción del material de sellado

3.1.5.11 Calentamiento del material sellante

El material sellante que se utilizara para el sello de grietas y fisuras, se encuentra en una forma solida, en donde por medio de un equipo de calefacción, será calentado hasta alcanzar la temperatura adecuada para su utilización (ver **Fig. 3.25a** y **Fig. 3.26a**), en donde esta no se debe de pasar de su temperatura máxima de calentamiento, el asfalto que se encuentra en el dispositivo de calefacción debe de ser controlado para que el asfalto no se oxide, en donde para que esto no suceda se aplica nuevo producto dentro del equipo de calefacción cada media hora, cuando el equipo en operación está en un proceso continuo de calentamiento, esto con el fin de que para el asfalto no se oxide.



Fig. 3.25a Colocación del asfalto en el equipo de calefacción



Fig. 3.26a Colocación del asfalto en el equipo de calefacción

3.1.5.12 Verificación de la temperatura de calentamiento del material sellante

Se verifica la temperatura de calentamiento del material sellante de grietas y fisuras, la temperatura máxima de calentamiento debe de ser de 210 °C, para que esta pueda ser colocada en la grieta o fisura (ver **Fig. 3.27a**, **Fig. 3.28ay Fig. 3.29a**).

La temperatura máxima de calentamiento es la temperatura más alta a la que puede calentarse un material sellante. Esta debe ser establecida de antemano por el fabricante, debe de mostrarse en todos los contenedores y debe de proporcionarse al ente de prueba antes de realizar cualquier prueba de laboratorio.

Se verificará constantemente que el producto se esté aplicando a la temperatura recomendada por el fabricante, mediante registros de las temperaturas en el panel de control del equipo.



Fig. 3.27a Controlador de la temperatura de calentamiento



Fig. 3.28a Verificación de la temperatura de calentamiento



Fig. 3.29a Verificación de la temperatura de calentamiento

3.1.5.13 Verificación de la temperatura de aplicación del material sellante

Se verifica la temperatura de aplicación del material sellante de grietas y fisuras, la temperatura mínima de aplicación debe de ser de 193 °C y la temperatura máxima de aplicación debe no ser mayor a la temperatura máxima de calentamiento, para que esta pueda ser colocada en la grieta o fisura.

La temperatura de aplicación debe ser establecida de antemano por el fabricante, la cual debe de mostrarse en todos los contenedores y debe de proporcionarse al ente de prueba antes de realizar cualquier prueba de laboratorio.

3.1.5.14 Colocación del material sellante dentro de la grieta o fisura

Se aplica el material sellante dentro de las grietas o fisuras (ver **Fig. 3.30a** y **Fig. 3.31a**), en donde se debe controlar sistemáticamente las temperaturas de los componentes del equipo de aplicación, se controlara la temperatura del aceite de transferencia de calor del equipo de calefacción, el cual mantiene la temperatura de calentamiento de la mezcla en los rangos óptimos para su utilización y no sé de la oxidación de esta, también se debe de controlar la temperatura de la manguera la cual permite aplicar el material sellante en la grieta o fisura, la cual mantiene la temperatura optima de aplicación en el material sellante por medio de resistencias que rodean la manguera que se encarga de aplicar el material sellante directamente sobre la grieta o fisura, sin riesgos de pérdida de temperatura o obstrucción dentro de la manguera.



Fig. 3.30a Colocación del material sellante dentro de la grieta o fisura



Fig. 3.31a Colocación del material sellante dentro de la grieta o fisura

Cuando el tramo de calle se requiere abrir al público en un tiempo rápido donde el sello no ha tenido el tiempo suficiente de reposo, se puede aplicar un material secante en este caso arena (ver **Fig. 3.32a**) la cual debe de cumplir con las especificaciones de las normas. Dicho proceso se hará esparciendo manualmente arena, porción de agregado seco, de granulometría que pase el tamiz N° 4, limpia y seca, cumpliendo la norma AASHTO T 104. La cual nos indica que el rango aceptable en calidad para una arena es del 12% máximo, en el ensayo de sanidad utilizando sulfato de sodio.



Fig. 3.32a Colocación del material secante (arena)

3.1.5.15 Chequeo de la adherencia del material sellante en la grieta o fisura

Para verificar la calidad del sello que se le realizó a la grieta o fisura deben de realizarse extracciones de núcleos cada 5000m.de colocación (ver **Fig. 3.33a** y **Fig.3.34a**), con esto se verifica la penetración del material, para determinar si se realizó en forma apropiada.



Fig. 3.33a Extracción de núcleo



Fig. 3.34a Chequeo de la adherencia del material sellante

3.1.5.16 Acabado final del pavimento

Una vez se ha terminado de realizar el proceso de reparación de grietas y fisuras la apariencia de la calzada queda como se observa en la **Fig. 3.35a**. a pesar de la forma en como se observa, si se realizo de la manera correcta, esto no generará incomodidad al usuario.

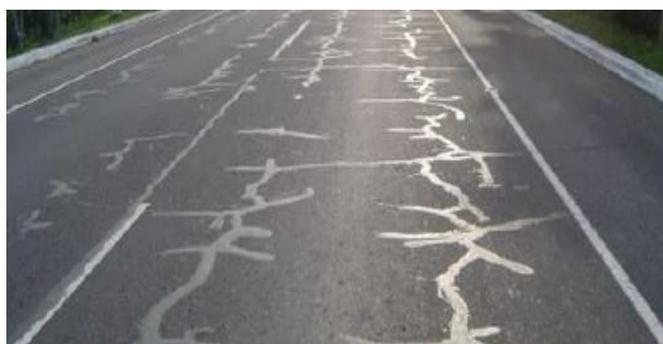


Fig. 3.35a Acabado final del pavimento

3.2 REPARACIÓN DE PIEL DE COCODRILLO Y BACHES UTILIZANDO MEZCLA ASFALTICA CALIENTE

Consiste en la reparación a mano o a máquina de estas áreas de superficie pavimentada, que se realiza con mezcla en caliente, con un espesor máximo igual a la existente, incluyendo la excavación, extracción y cuadrado del área que debe repararse, y la colocación de mezcla asfáltica. Además, el acarreo del punto de fabricación al lugar de colocación.

3.2.1 Equipo

3.2.1.1 Atomizadora



CILINDRADA	56.5 cm ³
CABALLAJE	3.4
PESO	9.1 kg
CONTENIDO EN EL DEPOSITO	1.5
CAUDAL MAXIMO DE AIRE	1260 m ³ /h
VELOCIDAD MAXIMA DE AIRE	78 m/s

Fig. 3.1b Atomizadora con mando por palanca

Este equipo ha sido especialmente diseñado para todo tipo de trabajos de barrido (ver **Fig. 3.1b**). Se puede utilizar para barrer parques, bosques, calles, campos de fútbol, la limpieza de la maquinaria agrícola, entre otros. Cuenta con una potencia adecuada y un peso reducido, lo que permite un único operador y un trabajo más productivo.

Las funciones más importantes, como el arranque, el servicio y el apagado, se controlan mediante una sola mano. El mando de las máquinas se efectúa con facilidad y seguridad

porque la mano derecha siempre permanece en la empuñadura. Permite adaptar la longitud del tubo a la estatura del usuario y al trabajo que va a realizar.

3.2.1.2 Camión de Volteo



Fig. 3.2b Camión de Volteo

Esta clase de camiones son convenientes para emplearse en acarreo de muchas clases de materiales, la forma de la carrocería así como la cantidad de ángulos agudos, esquinas y el contorno de la parte trasera, a través del cual el material debe fluir cuando se descarga, afectará que esta operación sea fácil o difícil (ver **Fig. 3.2b**).

La puerta a través de la cual estas unidades descargan, tiene un límite de abertura, dificultad que puede notarse mucho cuando se descargan materiales húmedos. Su velocidad está limitada a 50 kph (30 mph) con capacidad de acarreo de 12 m³ o más.

Cuando se considera el acarreo de grandes volúmenes de materiales debe comprobarse la máxima carga segura sobre las llantas con el objeto de evitar la sobrecarga la cual se traduce en una pérdida fuerte de tiempo debido a las fallas.

Una práctica realizada en nuestro país es cubrir la caja trasera del camión con un toldo que preserve la temperatura de la mezcla asfáltica desde que sale de la planta hasta el lugar de trabajo.

3.2.1.3 Rodillo Vibratorio



Fig. 3.3b Rodillos vibratorios

Es una máquina autopropulsada o remolcada sobre ruedas, compuesta por uno o más cilindros o masas diseñadas para aumentar la densidad de los materiales por: Peso estático, Impacto, Vibración o Amasado (presión dinámica) o combinación de alguno de ellos (ver **Fig. 3.3b**).

Este tipo de rodillo es, por lo general, relativamente liviano, con pesos de servicio llegando, por el lado bajo, a aprox. 1.2 toneladas hasta las 2.0 toneladas. La falta de peso es compensada por la vibración adicional, estos rodillos son fáciles de transportar y maniobrar. Para la pre-compactación de los materiales bituminosos se los utiliza sin vibración, para luego trabajar con vibración durante el proceso principal de compactación.

En general se pueden esperar las siguientes propiedades y ventajas en rodillos vibratorios para aplicaciones sobre materiales bituminosos:

- Equipamiento con asiento de conductor.
- Arranque suave, aún en pendientes.
- Conducción por medio de una unión central articulada con servo-mando para aplicaciones en zonas confinadas.
- Velocidad de marcha en ambas direcciones de aprox. 0–6 km/h.
- Tracción en todos los tambores para lograr una buena capacidad de ascenso.
- De gran altura a los costados y sin protuberancias
- Sistema de riego por agua regulable y variable
- Una ventaja importante adicional es su gran altura lateral libre, altura esta que permite efectuar trabajos junto a, por ejemplo, cordones evitando así trabajos de acabado adicionales.

3.2.1.4 Apisonador vibratorio manual



Fig. 3.4b Apisonador vibratorio manual

Este tipo de apisonador es utilizado en lugares donde los baches no son demasiado grandes o no se requieren grados de compactación demasiado grandes como los que se logran con el rodillo vibratorio (ver **Fig. 3.4b**). Es operado por una sola persona, la cual debe de tener experiencia en el uso de este tipo de apisonador.

3.2.1.5 Minicargador (BobCat) con capacidad de fresadora



Fig. 3.5b Minicargador

El minicargador se asemeja en su función a una pala cargadora, con una gran diferencia: su reducido tamaño (ver **Fig. 3.5b**). Esta máquina se utiliza principalmente en obras con una superficie de trabajo reducida donde no es rentable o viable utilizar máquinas de mayor tamaño o capacidad, por lo cual es común verlas en ciudades. Su función principal es la carga, transporte y descarga de volúmenes reducidos de material, se desplazan a una velocidad de 10km/h aproximadamente. La carga puede realizarla de un montón de material o bajar su cuchara a nivel del suelo y desplazarse frontalmente hasta rellenar su cuchara de material suelto. La cuchara puede tener cuchilla o dientes y puede montar martillos hidráulicos o retos de pequeño tamaño en su parte trasera, por lo tanto

es una máquina muy versátil, aunque limitada por su escasa potencia. Debido a su distribución de peso esta máquina tiende al vuelco si eleva mucho su cuchara.

El giro se obtiene en este tipo de máquinas por el bloqueo de las dos ruedas de un mismo lateral mientras continua la tracción en las otras dos. Algunos modelos tienen cadenas de goma en vez de ruedas. El sistema de tracción de estas máquinas de chasis rígido difiere de las grandes cargadoras, siendo cada lateral independiente.



Fig. 3.6b Minicargador con fresadora

La fresadora es un implemento perfecto para los equipos para obras públicas y de mantenimiento de carreteras que tienen que realizar pequeñas reparaciones en las mismas; es un equipo ideal para la reparación de baches y otros deterioros (ver **Fig. 3.5b** y **Fig. 3.6b**).

3.2.1.6 Termómetros

El termómetro para medir la temperatura de la mezcla asfáltica mientras se realiza el mantenimiento puede ser digital (ver **Fig. 3.7b**) o análogo (ver **Fig. 3.8b**), con un rango de temperaturas entre los -20°C – 200°C .



Fig. 3.7b Termómetro digital



Fig. 3.8b Termómetro análogo

3.2.2 Herramientas varias



a. Pala



b. Carretilla



c. Apisonador



d. Piocha



e. Rastrillos



f. Cinta métrica



g. Tiza



h. Spray

g. y h. Marcadores

Fig. 3.9b Herramientas varias

3.2.2.1 Palas

Las palas para mover materiales de construcción tales como cemento, piedra, arena, suelen tener un mango más largo y una concavidad más pronunciada en la plancha inferior, tan ancha como para abarcar una mayor superficie (ver **Fig. 3.9b a.**). Esto facilita la tarea de cargar pequeñas cantidades de material y luego volcarlas sobre una carretilla o la caja de un camión para su transporte.

3.2.2.2 Carretillas

Pequeño vehículo normalmente de una sola rueda diseñado para ser propulsado por una sola persona y utilizado para el transporte a mano de carga (ver **Fig. 3.9b b.**).

La carretilla de una sola rueda frontal está diseñada para distribuir el peso de la carga entre la rueda y el trabajador, lo que permite llevar cargas más pesadas que si tuvieran que ser transportadas totalmente por la persona.

3.2.2.3 Apisonador

Herramienta utilizada en aquellos lugares donde el rodillo vibratorio es difícil utilizar o en lugares donde no es requerido utilizar el rodillo vibratorio debido a que el área bacheada es demasiado pequeña (ver **Fig. 3.9b c.**).

3.2.2.4 Rastrillos

Rastrillo de uso pesado con un largo del mango de 1.20 mts, es importante no confundir con los rastrillos que son de uso agrícola (ver **Fig. 3.9b d.**).

3.2.2.5 Piochas

Piocha de uso pesado con un largo del mango de 0.90 mts, es importante no confundir con las de uso agrícola (ver **Fig. 3.9b e.**).

3.2.2.6 Cinta métrica

Debe estar graduada en el Sistema Internacional para facilitar el uso a la hora de calcular los volúmenes de mezcla a utilizar (ver **Fig. 3.9b f.**).

3.2.2.7 Marcadores

Para esto puede utilizarse un material que demarque el área a reparar, como sugerencia que se pueda utilizar para marcar madera seca y húmeda, papel, cartón, metal, piedra, asfalto, azulejos, plásticos y que sea resistente a la intemperie y a la acción de la luz, ya sea un marcador (ver **Fig. 3.9b g.**) o spray (ver **Fig. 3.9b h.**).

3.2.3 Mano de obra

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

3.2.3.1 Cuadrilla de bacheo (1 caporal y 6 peones al menos)



Fig. 3.10b Cuadrilla de trabajo

El caporal tiene a su cargo la dirección de los trabajadores involucrados en este mantenimiento: peones, pilotos, ayudantes, etc.

Los peones realizan trabajos como remoción de obstáculos o basura, guían al tránsito con banderillas, aplican la liga, etc. (ver **Fig. 3.10b**)

3.2.3.2 Piloto de camión de volteo, un operador de rodillo y un operador de mini-cargador

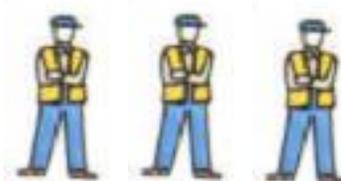


Fig. 3.11b Operadores de equipos

Los pilotos conducen los camiones de volteo donde es transportada la mezcla asfáltica en caliente y otros materiales. Los operadores son los encargados de manipular las

distintas máquinas o vehículos utilizados en el mantenimiento, como compactadoras, minicargadores, etc. (ver **Fig. 3.11b**).

3.2.4 Materiales

3.2.4.1 Mezcla Asfáltica en Caliente

Es importante que sea descargado del camión justo en el momento que se va a utilizar, para que la mezcla asfáltica no pierda temperatura (ver **Fig. 3.12b**).



Fig. 3.12b Mezclas asfáltica antes de ser colocada

Una mezcla asfáltica en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

La mezcla asfáltica debe ser duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, etc. Debe ser resistente a las solicitudes de tránsito a través de su estabilidad.

Una mezcla debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos y debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación.

Estas mezclas asfálticas pueden ser confeccionadas en plantas y con los equipos apropiados para esta labor.

3.2.4.2 Emulsión



Fig. 3.13b Emulsión para el riego de liga

El propósito del Riego de Liga, es facilitar la adherencia entre la carpeta ya existente y la mezcla asfáltica que se colocará (ver **Fig. 3.13b**).

Estas tendrán que ser emulsiones asfálticas SS-1 (AASHTO M-208), CSS-1 o CSS-1h (AASHTO M-140) diluidas en agua.

Las emulsiones asfálticas están formadas de tres ingredientes básicos: cemento asfáltico (AC), agua y agente emulsivo.

Existen dos tipos de emulsiones (ver **Tabla 3.1b**): las aniónicas, las cuales tienen cargas electroquímicas negativas, y las catiónicas, con cargas electroquímicas positivas.

Las emulsiones se clasifican de acuerdo al tiempo de fraguado de las mismas, siendo éstas RS, MS, SS y QS, que significan de fraguado rápido, medio, lento y ultra-rápido, respectivamente.

Tabla 3.1b. Temperaturas de aplicación de emulsión asfáltica

Tipo y grado emulsión asfáltica	Especificación AASHTO	Temperatura de aplicación (⁰C)
-Anionicas • SS-1, SS-1h	M-140	20-70
-Cationicas • CSS-1, CSS-1h	M-208	20-70

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Normas M-140 y M-208.

5.2.5 Procedimiento para reparación de baches y piel de cocodrilo

3.2.5.1 Revisión de la vía

Revisión de la vía, en todo su tramo, para definir aquellas fallas en los pavimentos que requieren un pronto tratamiento, en este caso, definir los baches y piel de cocodrilo más importantes que se deberán tratar.

3.2.5.2 Colocación de los dispositivos de señalización y seguridad

Colocar dispositivos de seguridad transitorios y verificar que todo el personal disponga de la vestimenta obligatoria y en buen estado, y asegurar el control adecuado del tránsito (ver **Fig. 3.14b**).



Fig. 3.14b colocación de los dispositivos de señalización y seguridad

3.2.5.3 Señalar las áreas de los deterioros a reparar

Las áreas de los deterioros a reparar son señaladas con yeso, spray, etc. esto con el fin de delimitar el área que va a ser fresada, para su posterior reparación (ver **Fig. 3.15b**).

Esta área a reparar debe ser marcada por la supervisión de forma cuadrada o rectangular debiendo ser dos de sus lados perpendiculares al eje del camino, el área a marcar es aumentada 10 cms a cada lado del área cuadrada o rectangular del deterioro.



Fig. 3.15b Señalización de las áreas de los deterioros a reparar

3.2.5.4 Fresar el área señalada

El área delimitada es fresada, utilizando el minicargador (bobcat), al cual se le ensambla una fresadora. Este se encarga de ir cortando la capa de rodadura del pavimento, hasta que termina de fresar toda el área seleccionada. Los cortes de las paredes deber quedar parejos y verticales (ver **Fig. 3.16b** y **Fig. 3.17b**).



Fig. 3.16b Fresando el área del deterioro



Fig. 3.17b Fresando el área del deterioro

3.2.5.5 Corte del área señalada

El área delimitada es cortada, utilizando sierra eléctrica o roto martillo, etc. Estos se encargan de ir cortando el perímetro del área señalada de la capa de rodadura del

pavimento. Los cortes de las paredes deber quedar parejos y verticales (ver **Fig. 3.18b** y **Fig. 3.19b**).



Fig. 3.18b cortando el área del deterioro con sierra eléctrica



Fig. 3.19b cortando el área del deterioro con roto martillo

3.2.5.6 Limpieza del bache

El personal de la cuadrilla se encarga de la limpieza del bache, si la cantidad de residuos es demasiada para hacerse de una forma manual, el bobcat ayuda a movilizar la mayoría de material(ver **Fig. 3.20b** y **Fig. 3.21b**), ya cuando el residuo es mínimo el personal de limpieza se encarga por medio de palas a sacar el resto, luego de esta operación, el fondo de la excavación debe nivelarse y compactarse adecuadamente y quedar libre de material suelto, luego entra el personal con atomizadoras (ver **Fig. 3.22b**)para quitar el polvo y

darle la limpieza final al bache, con este proceso se deja el área limpia, la cual hace que la superficie este apta para poder colocar la capa de liga. Los baches excavados deben rellenarse el mismo día, NO se permite trabajarlos al siguiente día.



Fig. 3.20b Limpieza del bache ,utilizando el bobcat



Fig. 3.21b Limpieza del bache, utilizando palas, piocha y carretillas



Fig. 3.22b Limpieza del bache, utilizando atomizadoras

3.2.5.7 Medición del volumen de mezcla a ser utilizado

Se miden los volúmenes de mezcla a ser usados, donde estos son medidos por medio de cintas métricas (solo el área) (ver **Fig. 3.23b**), al momento de medir la altura de éste se hace con alturas promedio con nylon y cinta métrica (ver **Fig. 3.24b**), estas según lo observado se hace de forma diagonal al bache, con esto se calcula un promedio del volumen de mezcla a utilizar.



Fig. 3.23b Medición del bache, para la obtención del volumen a utilizar



Fig. 3.24b Medición del bache, para la obtención del volumen a utilizar

3.2.5.8 Aplicación de la capa de liga

Este proceso se realiza por medio de regadores de liga (ver **Fig. 3.25b**), los cuales poseen una tasa de riego en proporciones que podrán variar desde 0.3 a 0.6 litros (0.08 a 0.15 galones) por metro cuadrado de superficie debiendo calentarse a una temperatura entre 60 a 80 °C y se deberá colocar evitándose la formación de charcos. Este riego será aplicado sobre toda la superficie excavada, tanto en la base como en las paredes del bache, Se debe permitir que el asfalto penetre en la base durante el tiempo necesario según lo indique la Supervisión, con el fin de que al momento de colocar la mezcla, se dé una buena adherencia con el pavimento existente.



Fig. 3.25b Riego de liga en el bache

3.2.5.9 Revisión de la temperatura de colocación de la mezcla

Se mide la temperatura de la mezcla, con la cual se va a trabajar, para que esta pueda ser colocada en el bache (no debe de estar debajo de la temperatura mínima de colocación) (ver **Fig. 3.26b**).



Fig. 3.26b Medición de la temperatura de la mezcla para ser colocada

3.2.5.10 Colocación de la mezcla

La mezcla es trasladada por medio de un camión de volteo desde la planta de producción hasta el sitio de colocación, luego se descarga la mezcla que va a ser utilizada, esta debe cubrirse con lona u otro material que la preserve del polvo y las alteraciones durante el trayecto.

La entrega del material a las cuadrillas de colocación se hará a una razón uniforme y en una cantidad dentro de la capacidad de los recursos de colocación y compactación asignados al proyecto, la cual se colocara en el bache, si es demasiada, se traslada con el bobcat (ver **Fig. 3.27b** y **Fig. 3.28b**); de lo contrario se puede utilizar carretilla.



Fig. 3.27b Colocación de la mezcla en el bache



Fig. 3.28b Colocación de la mezcla en el bache

3.2.5.11 Extender la mezcla en el bache

La mezcla colocada en el bache es extendida por el personal, utilizando rastrillos, sin permitir la segregación de la mezcla y de acuerdo a los requerimientos establecidos, hasta que se posea una superficie uniforme y que todo el bache este lleno (ver **Fig. 3.29b** y **Fig. 3.30b**).

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 la superficie del bache se encuentre en estado insatisfactorio ó con señales de humedad excesiva.



Fig. 3.29b Extendiendo la mezcla en el bache



Fig. 3.30b Extendiendo la mezcla en el bache

3.2.5.12 Nivelar el bache

La mezcla que se encuentra en el bache debe ser nivelada en toda su superficie y se debe dejar generalmente 1 pulg. sobre el nivel de la calzada antes de ser compactada.

3.2.5.13 Revisión de la temperatura de compactación de la mezcla

Se chequea la temperatura de la mezcla antes de compactarla (ver **Fig. 3.31b**).



Fig. 3.31b Medición de la temperatura de la mezcla para ser compactada

3.2.5.14 Compactación de la mezcla

Para la compactación de la mezcla se utiliza el rodillo liso, dándole diversas pasadas; sin embargo esto depende de la mezcla utilizada, luego este mismo rodillo se utiliza de forma vibratoria proporcionando otro número de pasadas la cual depende también del tipo de mezcla utilizada (ver **fig. 3.32b**, **fig. 3.33b** y **fig. 3.34b**).

Las áreas de la mezcla asfáltica inaccesibles para el compactador, deberán compactarse satisfactoriamente mediante el uso de mazos apisonadores aprobados. La compactación de la mezcla asfáltica deberá comenzar en los bordes y avanzar hacia el centro.



Fig.3.32b Compactación de la mezcla



Fig. 3.33b Compactación de la mezcla



Fig. 3.34b Compactación de la mezcla con rodillo liso vibratorio

3.2.5.15 Chequeo de densidades de compactación

Se debe realizar un chequeo del grado de compactación que posee la mezcla, ya que debe de estar en los rangos establecidos por la especificación.

NOTA: Si la capa de rodadura a ser reparada posee un espesor mayor de 10 cms, el procedimiento establecido anteriormente, se realizará en varias ocasiones dependiendo del espesor de la capa de rodadura, empezando del riego de liga.

3.3 TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON MEZCLA ASFALTICA EN FRIO (MICRO-PAVIMENTO)

El Micro-pavimento (micro-surfacing) es un sistema de pavimentación superficial por capas delgadas compuesto por emulsión asfáltica modificada con polímeros, 100% agregados triturado, finos minerales, agua y aditivo de control de campo según sea necesario.

Es aplicado como tratamientos superficiales delgados de 10 - 13 mm de espesor, para mejorar características de fricción en pavimentos principalmente. Su segundo mayor uso

es en recuperación de ahuellamientos, tanto en vías con moderado así como con alto volumen de tráfico vehicular.

El micro-pavimento ha sido también usado para corregir irregularidades en pavimentos como alisamientos por exudación, desintegración y oxidación.

Tecnologías como el micro-pavimento, ofrecen soluciones con efectividad en costos y mejoran ante todo el rendimiento del pavimento.

3.3.1 Equipo

3.3.1.1 Máquina Mezcladora/Aplicadora



Fig. 3.1c Camión mezclador/aplicador

Para aplicar micro-pavimento, se usa una máquina de mezclado, carga y aplicación continua (ver **Fig. 3.1c**). Estas máquinas son capaces de recibir materiales de camiones alimentadores, mientras ellas continúan mezclando y aplicando la mezcla. Este tipo de máquinas tienen estaciones de manejo en el lado opuesto, para optimizar la alineación

longitudinal durante la aplicación. Las máquinas permiten al operador (en la parte trasera de la maquina) un total control de la velocidad durante la colocación. El control de velocidad es importante cuando se recuperan ahuellamientos en carriles de circulación con variaciones en su profundidad, ya que permite al operador ajustar el suministro de material simplemente ajustando la velocidad. El conductor al frente de la máquina, es responsable solo de la alineación de la máquina durante la aplicación.

Las maquinas autopropulsadas de aplicación continua, tienen una tolva para la transferencia del agregado, contenedores para finos minerales y tanque separados para agua, emulsión y aditivos. El agregado es recibido en una tolva frontal, enviado a la tolva de agregados y posteriormente alimentado por una banda transportadora impulsada por un rodillo de mando antideslizante hacia el mezclador. A cualquier velocidad de la banda transportadora, la cantidad de agregado que es enviado al mezclador puede ser controlada, variando la apertura de una compuerta situada directamente sobre el rodillo de mando. En muchas maquinas, la emulsión es suministrada a presión al mezclador por una bomba de desplazamiento positivo que incluye un dispositivo contador. El agua es suministrada a presión mediante una bomba centrifuga tanto al mezclador como a una barra irrigadora inferior antes de la aplicación, para humedecer la superficie de la vía y a mangueras que son usadas para limpieza del mezclador y caja esparcidora una vez terminada la aplicación. Los aditivos líquidos son almacenados en tanques que varían de 95 a 950 litros. (Dependiendo de la concentración) y son adicionados, ya sea por bombas centrifugas o de desplazamiento positivo.

Las máquinas autopropulsadas están diseñadas para trabajar a velocidades de 1 a 4 km/h y son capaces de aplicar hasta 450 Toneladas de micropavimento por día. Además de las máquinas de aplicación continuas autopropulsadas, existen unidades montadas sobre camiones, para proyectos de micro-pavimento de menor magnitud. Una unidad montada sobre camión totalmente cargada, puede aplicar por lo general de 0.4 - 0.5 km lineales de producto terminado, por carga.

Modelo	Agregado	Emulsion Asfáltica	Agua
M206	4.5 m ³ (6 yd ³)	1,011 L (267 gal)	1,011 L (267 gal)
M208	6.2 m ³ (8 yd ³)	1,647 L (435 gal)	1,647 L (435 gal)
M210	8 m ³ (10.5 yd ³)	2,271 L (600 gal)	2,271 L (600 gal)
M212	9.2 m ³ (12 yd ³)	2,616 L (691 gal)	2,616 L (691 gal)
M216	12.2 m ³ (16 yd ³)	5,678 L (1,500 gal)	3,785 L (1,000 gal)

Tabla 3.1c Diferentes capacidades en modelos de camiones aplicadores

Fuente: <http://bergkampinc.com/espanol/PDF/PavimentadorasDeMorterosAsfalticosYMicroPavimentos.pdf>

3.3.1.2 Caja Esparcidora

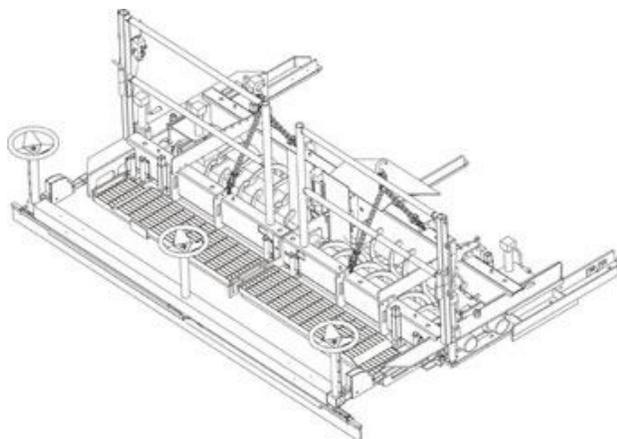


Fig. 3.2c Caja esparcidora

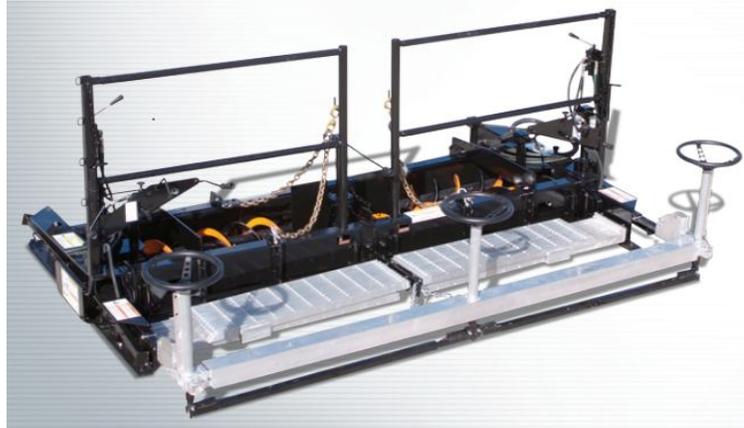


Fig. 3.3c Caja esparcidora

El micro-pavimento es aplicado por una caja a su máxima extensión (ver **Fig. 3.2c** y **Fig. 3.3c**), equipada con gusanos hidráulicos sinfín para manejar (durante 10-15 seg) y extender la mezcla a través de toda la caja permitiendo con esto, una aplicación uniforme. El ancho de la caja esparcidora se puede ajustar de 2.4 – 4.2 mts (aunque esto puede variar), la cual es posicionada y acoplada en la parte trasera de la máquina de micro-pavimento.

Está equipada con bandas de caucho o neopreno como elemento de sellos laterales, frontales y traseros de la caja. El propósito de las bandas laterales y frontales es mantener la mezcla dentro de la caja y la banda trasera actúa como enrasadora (terminadora estructural) usualmente de caucho, neopreno o uretano. Placas de acero son usadas como enrasadoras en pases de pre nivelación y en algunos casos se utilizan para el texturizado (aplicación intermedia) en superficies irregulares.

3.3.1.3 Atomizadora



CILINDRADA	56.5 cm ³
CABALLAJE	3.4
PESO	9.1 kg
CONTENIDO EN EL DEPOSITO	1.5
CAUDAL MAXIMO DE AIRE	1260 m ³ /h
VELOCIDAD MAXIMA DE AIRE	78 m/s

Fig. 3.4c Atomizadora con mando por palanca

Este equipo sirve para la limpieza de materiales extraños en la vía; se utiliza para la limpieza en la carpeta donde se colocará el micro-pavimento (ver **Fig. 3.4c**).

3.3.1.4 Camión Cisterna



Fig. 3.5c Camión cisterna

Se utiliza para humedecer la vía, en caso que ésta se encuentre demasiado seca o sea necesario humedecerla. Además sirve para retirar el material que no ha sido posible retirar con la atomizadora (ver **Fig. 3.5c**).

3.3.2 Herramientas varias



a. Pala



b. Carretilla

Fig. 3.6c Herramientas varias

3.3.2.1 Palas

Son utilizadas por los operarios de la maquina mezcladora/aplicadora para ayudar a la terminación de la capa de micro-pavimento aplicada además en la limpieza del material sobrante de la maquina (ver **Fig. 3.6c a.**).

3.3.2.2 Carretillas

Pequeño vehículo normalmente de una sola rueda diseñado para ser utilizado por una sola persona y utilizado para el transporte a mano de carga. Se utiliza para la limpieza de los residuos sobrantes al aplicar la capa de micro-pavimento (ver **Fig. 3.6c b.**).

3.3.3 Mano de obra

3.3.3.1 Operador/Supervisor



Fig. 3.7c Operador/Supervisor

Controla la velocidad y la operación de aplicación, así como también es el responsable de ajustar las cantidades de agua y aditivos (ver **Fig. 3.7c**).

3.3.3.2 Operador de maquina distribuidora/aplicadora



Fig. 3.8c Operador

Principalmente responsable de guiar la máquina y asegurar que esta permanezca en la ruta trazada durante la aplicación del micro-pavimento(ver **Fig. 3.8c**).

3.3.3.3 Cuadrilla de 3 a 5 Obreros



Fig. 3.9c Cuadrilla

Necesarios para realizar trabajos manuales requeridos, colocar y mover la señalización de control de tránsito, ayudar en labores del cargado de materiales y la limpieza del equipo (ver **Fig. 3.9c**).

NOTA: El personal debe ser calificado para realizar este tipo de trabajo.

3.3.4 Materiales

3.3.4.1 Agregados



Fig. 3.10c Agregados depositados en acopio

Los agregados (excluyendo finos minerales) constituyen entre el 82 y 90 % del peso del micropavimento, dependiendo de la granulometría de los agregados y la aplicación, éstos tienen una gran influencia en el rendimiento de los micro-pavimentos (ver **Fig. 3.10c**). Para obtener mejores resultados, los agregados deben ser 100 % triturados, limpios, resistentes y libres de químicos, arcillas y otras materias que puedan afectar su adherencia, mezclado y colocación. Los agregados triturados preferentemente deberán de ser angulares y no contener muchas partículas planas ni alargadas.

3.3.4.2 Emulsión



Fig. 3.11c Emulsión en acopio

Emulsiones catiónicas modificadas con polímeros son comúnmente usadas en las mezclas de micro-pavimento (ver **Fig. 3.11c**). El contenido de asfalto residual en los micro-pavimentos, generalmente varía de 5.5 - 9.5 % por el peso seco del agregado, aunque esto depende del diseño que se esté utilizando. La emulsión deberá cumplir la especificación AASHTO M-208.

Las propiedades de la emulsión asfáltica dependen grandemente de un producto químico denominado emulsificante. El emulsificante determina que la emulsión pueda ser clasificada como catiónica, aniónica o no-iónica. El emulsificante mantiene las partículas de asfalto en suspensión estable y permite el rompimiento (ejemplo: la reversión a cemento asfáltico) en el tiempo apropiado. A medida que se incrementa el emulsificante, aumenta el tiempo de rompimiento.

Muchos emulsificantes están disponibles en el mercado. Cada emulsificante debe ser evaluado y seleccionado para determinar su compatibilidad con el cemento asfáltico a

emulsionar. La mayoría de los emulsificantes catiónicos son grasas aminas (por ejemplo: diaminas, imidazolininas, amidoaminas, etc.). Las aminas son convertidas en jabón por la reacción con un ácido, usualmente ácido clorhídrico.

Otros tipos de emulsificantes (ejemplo: grasas y sales cuaternarias de amonio) usados para producir emulsiones cationicas, no requieren la adición de ácidos para hacerlas solubles en agua. Cada productor de emulsificante tiene su propio procedimiento para usar su emulsificante en la producción de emulsiones asfálticas. Generalmente, el agente emulsificante se mezcla con agua antes de su introducción en el molino coloidal en la planta de producción.

3.3.4.3 Agua

El agua es el medio utilizado para las mezclas de micro-pavimento. Es el principal factor en la determinación de la consistencia en la mezcla. Es introducida en las mezclas, de tres maneras: como la humedad contenida en los agregados, como el agua de mezclado y como uno de los dos constituyentes mayores presentes en la emulsión asfáltica (ver **Fig. 3.12c**).



Fig. 3.12c Tanque de almacenamiento de agua potable

Cualquier agua potable puede ser usada en micro-pavimento, por lo que normalmente la calidad no es tan importante como la cantidad.

El agua no es enviada al laboratorio para pruebas de diseño de mezcla, sin embargo, si el agua es excesivamente alta en minerales (posibilidad en lugares muy distantes), puede causar dificultades en el mezclado y en el rompimiento.

3.3.4.4 Finos minerales



Fig. 3.13c Cal hidratada

Los finos minerales cumplen dos propósitos principales: a) minimizar la segregación de los agregados y b) incrementar o reducir el sistema con el cual la mezcla alcanza su rompimiento. Para la mayoría de los agregados, los finos minerales acortan el tiempo de rompimiento. El cemento portland y la cal hidratada (ver **Fig. 3.13c**) han sido usados como finos minerales para micro-pavimento. Los finos minerales, típicamente incrementan la rigidez del residuo asfáltico.

Los finos minerales particularmente el cemento portland, puede también ser usado para mejorar la granulometría, pero su costo puede ser prohibitivo. Normalmente se especifica hasta un 3 % de cemento portland (o $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ de cal hidratada) por el peso seco del agregado. Estos finos minerales deben cumplir con especificaciones que ya han sido establecidas.

3.3.5 Procedimiento para el mantenimiento de una vía utilizando micro-pavimento

3.3.5.1 Revisión de la vía

Previo a la aplicación del micro-pavimento se debe hacer la revisión de la vía para conocer en qué estado se encuentra, es decir, realizar un recorrido de todo el tramo a reparar y hacer un levantamiento de deterioros que presenta (ver **Fig. 3.14c**).

Es necesario que la vía no posea daños, o que por lo menos no sean muy severos, ya que el micro-pavimento no se puede colocar en una vía que se encuentra con daños en su carpeta asfáltica.



Fig. 3.14c Revisión de la vía

3.3.5.2 Preparación de la vía

Una vez realizada la revisión de la vía, se procede a la preparación de la misma. Esto consiste en realizar los trabajos de mantenimiento que se requiera, para dejar la vía en las condiciones adecuadas (ver **Fig. 3.15c**).



Fig. 3.15c Bacheo y sellado de fisuras

3.3.5.3 Nivelación de la superficie

Antes de colocar el micro-pavimento, es necesario poseer una superficie uniforme, debido a que la maquina mezcladora /aplicadora, previamente calibrada realiza el riego de la mezcla en un espesor uniforme. Por lo tanto la superficie debe de estar nivelada (ver **Fig. 3.16c**).

Las áreas localizadas o generalizadas que estén excesivamente segregadas, así como los defectos de construcción o acabado, tales como: capa agrietada, diferencia de nivel mayor a la máxima permitida a lo largo de las juntas, bordes inadecuados, graduaciones o mezcla fuera de las tolerancias indicadas, marcas excesivas causadas por arrastre de material o por equipo de construcción, trabajo manual inaceptable, o deficiencias de espesor, se deberá remover y reconstruir la capa en el tramo afectado en todo el ancho de carril, ó deberá construir una capa adicional.

En caso de existir ahuellamiento con una profundidad de hasta 20mm, se podrá realizar la nivelación con una pasada adicional de micro-pavimento. Si la profundidad del ahuellamiento es mayor a 20mm, se deberá considerar la utilización de mezcla asfáltica en caliente.



Fig. 3.16c Nivelación de superficie

3.3.5.4 Definir forma de trabajo

Elegir la forma en cómo se realizará la colocación del micro-pavimento. Es decir definir si se hará en ambos sentidos o en uno solo, y la forma en cómo se retomará después (ver **Fig. 3.17c**).



Fig. 3.17c Trabajando solo en un carril

3.3.5.5 Revisión de condiciones atmosféricas

Observar si las condiciones atmosféricas son las adecuadas para realizar el tratamiento superficial (ver **Fig. 3.18c**). Es de mencionar que el micro-pavimento no deberá ser colocado si la temperatura del pavimento o la temperatura ambiente son menores de 10° C o si está lloviendo durante las 24 horas siguientes a su colocación. El clima caliente requiere un cambio de formulación para tiempos de mezclado más largos y permitir al micro-pavimento ser aplicado apropiadamente.

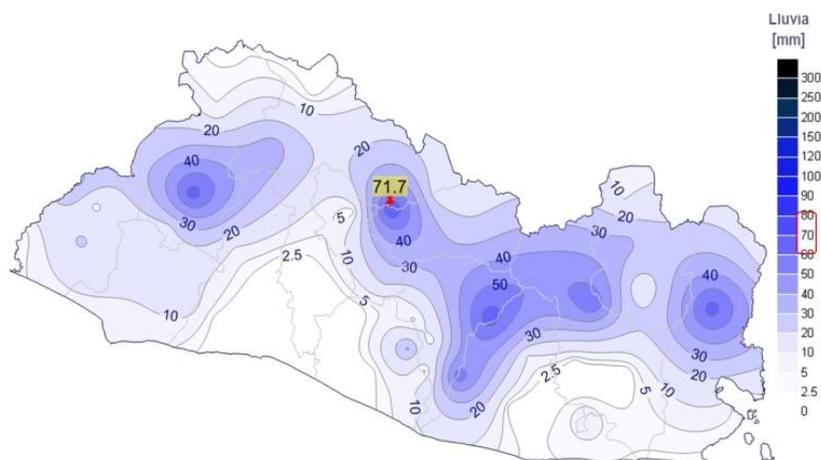


Fig. 3.18c Revisión de condiciones atmosféricas

3.3.5.6 Colocación de los dispositivos de señalización y seguridad

Colocar dispositivos de seguridad transitorios y verificar que todo el personal disponga de la vestimenta obligatoria y en buen estado, y asegurar el control adecuado del tránsito (ver **Fig. 3.19c**).



Fig. 3.19c Colocación de los dispositivos de señalización y seguridad

3.3.5.7 Limpieza de la vía

Previo a colocar el micro-pavimento se debe de limpiar la vía de todo tipo de contaminante o suciedad que esta posea (ver **Fig. 3.20c**).



Fig. 3.20c Realizando limpieza de la vía

3.3.5.8 Humedecer la vía

Se hace por medio de un camión cisterna, una persona que va regando con una manguera en la parte posterior del camión (ver **Fig. 3.21c**). Esto con el objetivo de eliminar todo el material que no fue posible retirar en el proceso de limpieza de la vía, además de humedecer la vía. En ocasiones es necesario realizar un riego de liga siempre y cuando la superficie se encuentre extremadamente seca o se realice en concreto hidráulico; pero por las condiciones climáticas de El Salvador generalmente no es necesario aplicar el riego de liga.



Fig. 3.21c Humedeciendo la vía

3.3.5.9 Preparación de materiales

Se realiza en un plantel destinado a conservar los materiales que se utilizan. Es ahí donde se encuentra el agregado (en este caso, chispa) (ver **Fig. 3.22c**), un tanque en el cual se encuentra la emulsión (ver **Fig. 3.24c a.**) y otro tanque que contiene agua (ver **Fig. 3.24c b.**).



Fig. 3.22c Acopio de agregado (chispa)



Fig. 3.23c Tanques de almacenamiento de mulsión y agua



Fig. 3.24c a. Tanques de almacenamiento de emulsión



Fig. 3.24c b. Tanques de almacenamiento de agua

3.3.5.10 Preparación de la maquina mezcladora/aplicadora

Una vez la maquina mezcladora/aplicadora se encuentra en el tramo en el que se va a colocar el micro-pavimento, se le adapta la caja esparcidora (ver **Fig. 3.25c**, **Fig. 3.26c** y **Fig. 3.27c**), que es donde se mezcla tanto la emulsión, agua y agregado (chispa), a través de un tornillo o eje sin fin, que es el que finalmente distribuye la mezcla en el espesor y ancho previamente establecidos. Cuando la mezcla del micro-pavimento se deposita en la caja esparcidora, deberá de tener la consistencia y estabilidad deseadas. Si la mezcla es muy rígida, puede fraguar prematuramente en la caja esparcidora o arrastrarse bajo la barra niveladora de acabado, por el contrario si es demasiado fluida, la mezcla puede segregarse o correr en canales y los finos enriquecidos con ligante, pueden migrar hacia la superficie produciendo una superficie de fricción irregular.



Fig. 3.25c Preparando instalación de la caja esparcidora en la maquina mezcladora/aplicadora



Fig. 3.26c Preparando instalación de la caja esparcidora en la maquina mezcladora/aplicadora



Fig. 3.27c Maquina mezcladora/aplicadora lista para aplicar el micro-pavimento

3.3.5.11 Nebulización con agua

Durante climas cálidos, el pavimento es usualmente pre-humedecido para controlar la ruptura prematura de la emulsión y mejorar la adherencia con la superficie existente. Este pre-humedecimiento debe dejar la superficie saturada, pero sin agua remanente al frente de la caja esparcidora. La maquina mezcladora/aplicadora posee un dispositivo que realiza esta operación (ver **Fig. 3.28c**). El agua es usada para pre-humedecer la superficie, delante de y fuera de la caja distribuidora.



Fig. 3.28c Barra de nebulización

3.3.5.12 Colocación del micro-pavimento

Una vez se tiene preparada la maquina mezcladora/aplicadora se pone en marcha a una velocidad constante (1 – 4 km/h) y comienza a colocar el micro-pavimento y a distribuirlo en un espesor uniforme y en un ancho previamente definido (ver **Fig. 3.29c** y **Fig. 3.30c**). Se debe de contar con una cuadrilla que opere la maquina. Una cuadrilla básica de aplicación, consiste en un operador/supervisor, un chofer y de 3 – 5 obreros.



Fig. 3.29c Colocando el micro-pavimento



Fig. 3.30c Colocando el micro-pavimento

3.3.5.13 Delimitación del micro-pavimento

Una vez la maquina mezcladora/aplicadora a terminado de colocar el micro-pavimento se debe de delimitar la zona en donde se finaliza con esa capa de mezcla (ver **Fig. 3.31c**, **Fig. 3.32c** y **Fig. 3.33c**).



Fig. 3.31c Finalizando de colocar el micro-pavimento



Fig. 3.32c Delimitación de la zona de finalización de capa de micro-pavimento



Fig. 3.33c Realizando limpieza del material sobrante

3.3.5.14 Revisión del micro-pavimento colocado en la vía

Una vez la maquina mezcladora/aplicadora a finalizado de colocar el micro-pavimento se debe de realizar una revisión para observar si la mezcla fue distribuida uniformemente (ver **Fig. 3.34c**). De lo contrario con mezcla sobrante se procede a nivelar aquellas zonas que presentan variaciones con respecto al resto (ver **Fig. 3.35c**, **Fig. 3.36c** y **Fig. 3.37c**).



Fig. 3.34c Revisión luego de que pasa la maquina mezcladora/aplicadora



Fig.3.35c Colocación de mezcla en zonas que presentan desnivel



Fig. 3.36c Distribución uniforme de mezcla



Fig. 3.37c Acabado final luego de nivelar las zonas irregulares

3.3.5.15 Colocación del siguiente tramo de micro-pavimento

Para realizar la colocación del siguiente tramo de micro-pavimento se retoma a continuación de la última realizada. A la capa anterior se le coloca una carpeta plástica para delimitar ambas capas (ver **Fig. 3.38c** y **Fig. 3.39c**) y se procede a colocar la siguiente (ver **Fig. 3.40c**). La maquina mezcladora/aplicadora tiene la capacidad de colocar una capa de una longitud de 0.5 km, un ancho de 3.60 m. y un espesor de 10 mm aproximadamente, por lo tanto se debe esperar a que la maquina mezcladora/aplicadora viaje al plantel y luego regrese con más material para seguir colocando mas mezcla.



Fig. 3.38c Cubriendo la parte final de la capa de micro-pavimento



Fig. 3.39c Cubriendo la parte final de la capa de micro-pavimento



Fig. 3.40c Preparando el lugar para colocar la nueva capa de micro-pavimento

3.3.5.16 Apertura al tráfico

El micro-pavimento es diseñado, para que el sistema pueda soportar tráfico vehicular después de una hora que haya sido aplicado. Para que esto ocurra, la emulsión debe romper, la mezcla debe ganar cohesión y desarrollar adherencia con la superficie del pavimento subyacente.

3.4 DETALLE DE LA UTILIZACION DE MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS

Debido a que la utilización de las mezclas asfálticas tibias en el proceso de mantenimiento de vías es completamente el mismo –según lo investigado y consultado- con el procedimiento utilizado en las mezclas asfálticas tibias (además de que en El Salvador este tipo de tecnología (mezclas asfálticas tibias) es relativamente nuevo y no es utilizado por el momento en el mantenimiento de vías) únicamente se describirán de manera breve los métodos de producción de las mezclas asfálticas tibias.

3.4.1 Clasificación de las mezclas asfálticas tibias (mat)

3.4.1.1 Aditivos-Ceras

- Sasobit (Fischer-Tropschwax)
- Asfalto-B (Montan cera)
- Licomont BS 100 (aditivo) o Sübit (ácido adiposo amidas)
- 3E L Tor Ecoflex (propietario)

3.4.1.2 Procesos de formación de espuma

- Aspha-min (zeolite)
- ECOMAC (mezclas frías antes de echarlas)
- LEA, también EBE y EBT (espumoso de una porción de fracción agregada)
- LEAB (espuma directa con aditivo archivador)

-LT Asfalto (asfalto espumoso con adición de Higroscopio) (pasta de relleno para mantener funcionalidad)

-WAM-Foam (Mezclas tibias de asfalto espumoso)

3.4.1.3 Tecnologías emergentes en los EE.UU.

-Evotherm™ (agregado caliente cubierto con emulsion)

-Doble-Barrel Green

-Advera (zeolite)

3.4.2 Métodos para producir mezclas tibias

Las tecnologías para producir mezclas asfálticas se pueden clasificar de varias maneras. En este caso se centrará en la producción por temperatura. La **Fig. 3.1d** muestra una clasificación de producción de mezclas asfálticas por gradiente calorífico y van desde frío hasta caliente. La gama de temperaturas es amplia y van desde 0°C a 30°C es decir temperatura ambiente hasta lograr los 180°C en producción.

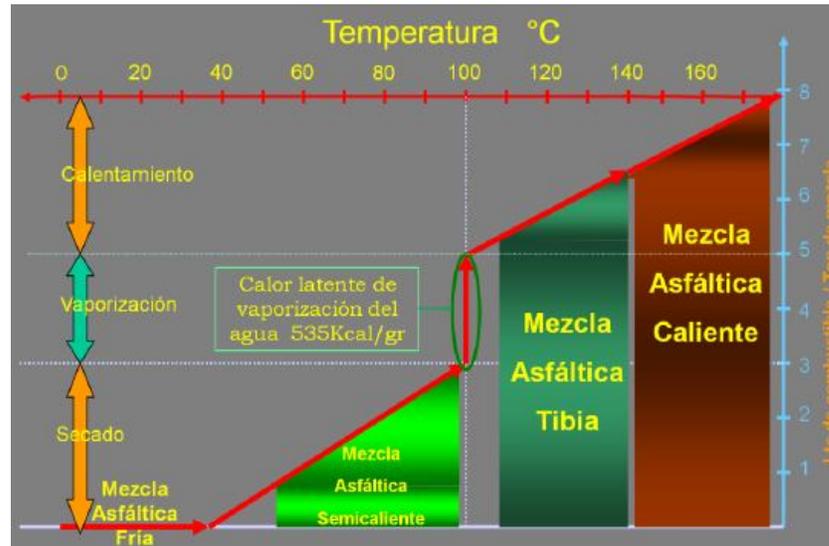


Fig. 3.1d Rangos de temperatura para producción de Mezclas asfálticas

3.4.2.1 Sistemas mediante el uso de aditivos

Principio

Esta técnica consiste en reducir la viscosidad del ligante utilizando ceras como aditivo orgánico tal como se observa en la **Fig. 3.2d**. Las ceras pueden ser adicionadas de dos maneras: al tambor mezclador en forma sólida o bien pueden premezclarse con el asfalto antes de entrar al tambor; esta última es la más apropiada para obtener una distribución más homogénea sin alargar el tiempo de mezclado.

Resultados

- Fácil de utilizar, no es necesario inversiones ni modificación de la planta.
- Temperatura de mezcla de 130-140°C.
- Reducción de la temperatura limitada.
- Se mejora la trabajabilidad en la mezcla.

- Puede mejorar la resistencia al ahuellamiento.
- Se emplean las mismas especificaciones y pruebas estándar para diseño y verificación que las mezclas en caliente (MAC).
- El mejoramiento en el comportamiento y los efectos de las ceras en el asfalto dependen de la cristalización y el punto de ablandamiento de estas.

Sistemas utilizados

- Shell S-Grades
- Sasobit ®, Licomont, Asphaltan



Fig. 3.2d Apariencia del aditivo (cera) granulado. Sasobit

3.4.2.2 Sistemas a base de espuma (1/3) - Zeolita

Principio

Consiste en añadir el aditivo (ver **Fig. 3.3d**) a los agregados cuando estos se encuentran a 130°C. El agua se agrega en forma de vapor. El asfalto se espuma incrementando su volumen (ver **Fig. 3.4d**).

Resultados

- Uso de un alimentador adicional en la planta de mezcla.
- Temperatura de mezcla alrededor de 130°C.

Sistemas

- Aspha-Min ® de Eurovia



Fig. 3.3d Estructura de la zeolita

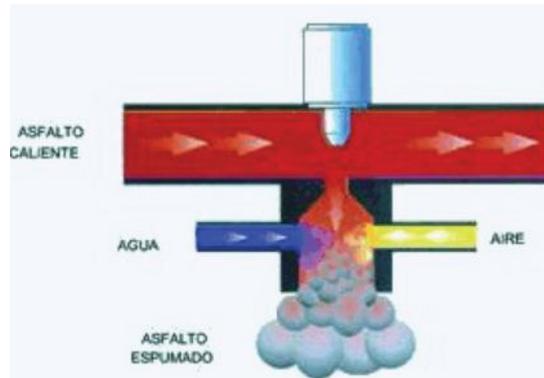


Fig. 3.4d Cámara de expansión

3.4.2.3 Sistemas a base de espuma (2/3) – LEA

Principio

Se adicionan agregados húmedos. El proceso de producción consiste en calentar el agregado grueso a 150°C y mezclarlo con el asfalto a las temperaturas normales de mezclado en una MAC, sin embargo, justo antes de que el asfalto entre en el tambor mezclador se adiciona un 0,5% de aditivo por peso total de ligante.

Este aditivo funciona como un regulador de la expansión del efecto espumante en el asfalto y a su vez sirve como agente anti-desnudante. Una vez el agregado grueso es recubierto por el asfalto, se mezcla con el agregado fino húmedo (idealmente a 3% de humedad).

El vapor de agua producido causa un efecto de espuma en el asfalto que cubre el agregado grueso y luego este asfalto espumado aglutina el agregado fino (o reciclado), lo cual baja su viscosidad y por tanto las temperatura de compactación (ver **Fig. 3.5d**).

Resultados

- Necesidad de un control preciso del contenido de agua.
- Introducción de los agregados en 2 etapas.
- Temperatura de mezcla sobre 100°C.

Sistemas

- LEA ® de Fairco&Eiffage para “LowEnergyAsphalt”

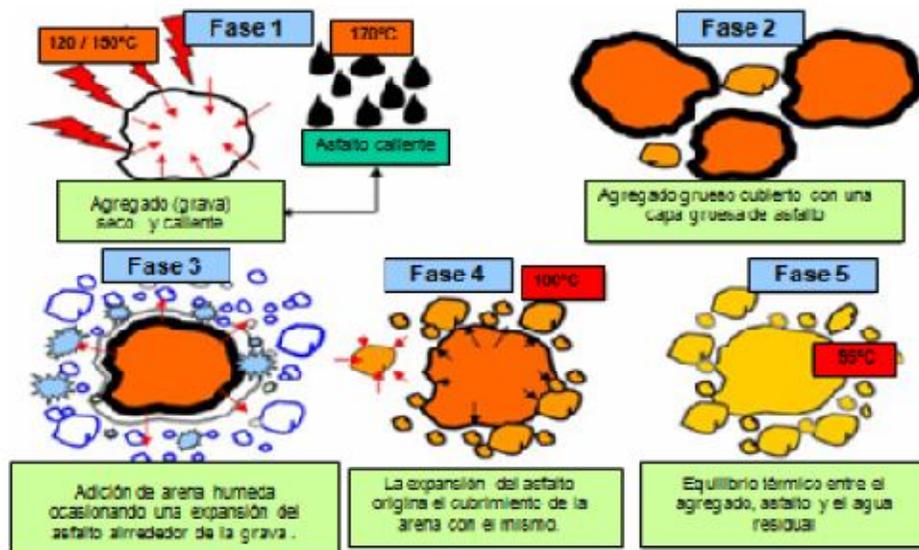


Fig. 3.5d Fases para producir mezcla tibia tecnología LEA

3.4.2.4 Sistemas a base de espuma (3/3). Planta de Doble Tambor

Principio

El asfalto en su estado espumado incrementa de 8 a 12 veces su volumen, lo proporciona un recubrimiento adecuado de los agregados durante el mezclado. Este proceso implica algunas modificaciones de la planta con sistemas de doble tambor (ver **Fig. 4**), donde

uno de los tambores es giratorio y el otro se mantiene estático, y el asfalto espumado es preparado en una cámara de expansión e inyectado a la mezcla mediante líneas de inyección hacia el interior del tambor. Además, con este tipo de tecnologías es posible dosificar material reciclado en la mezcla dado que las temperaturas de mezclado son menores (ver **Fig. 3.6d**). El incremento del volumen del asfalto asegura la envuelta de los agregados.

Resultados

- Planta de mezcla especial con doble barril (ver **Fig. 3.7d**) y unidad de espuma
- Reducción de la temperatura de 10°C a 30°C.

Sistemas

- Double-Barrel ® green from Astec

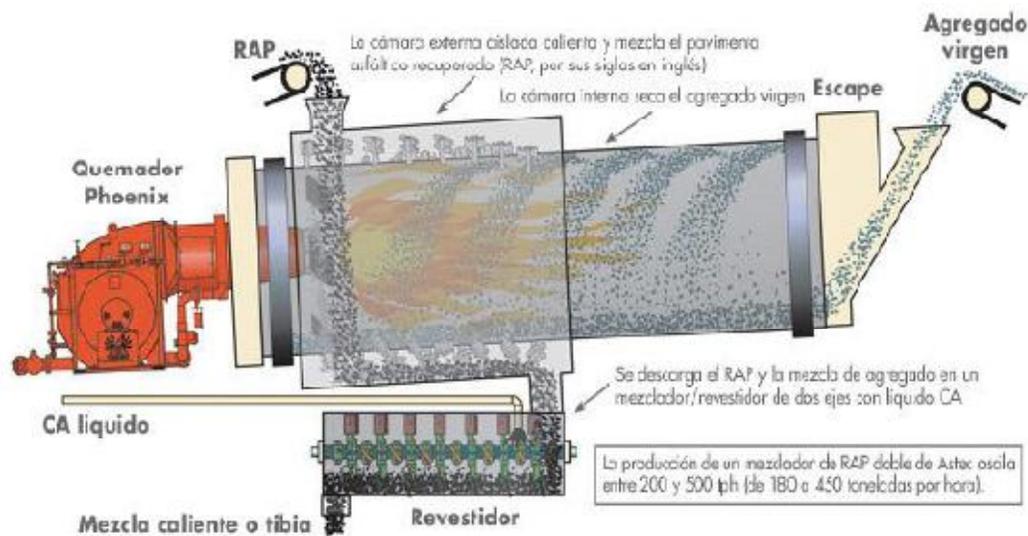


Fig. 3.6d Sistema de inyección del asfalto en forma de espuma



Fig. 3.7d Sistema de inyección del asfalto en forma de espuma

3.4.2.5 Sistema de doble envuelta – Shell WAM foam. (Desarrollado en 1997)

Principio

Un asfalto blando con una viscosidad baja para en primer lugar, envolver los agregados

Y un asfalto duro en forma de espuma para recubrir la parte superficial

Resultados

- Reducción de temperatura de hasta de 60°C
- Similar desempeño que una mezcla asfáltica en caliente.

Sistemas

- WAMfoam

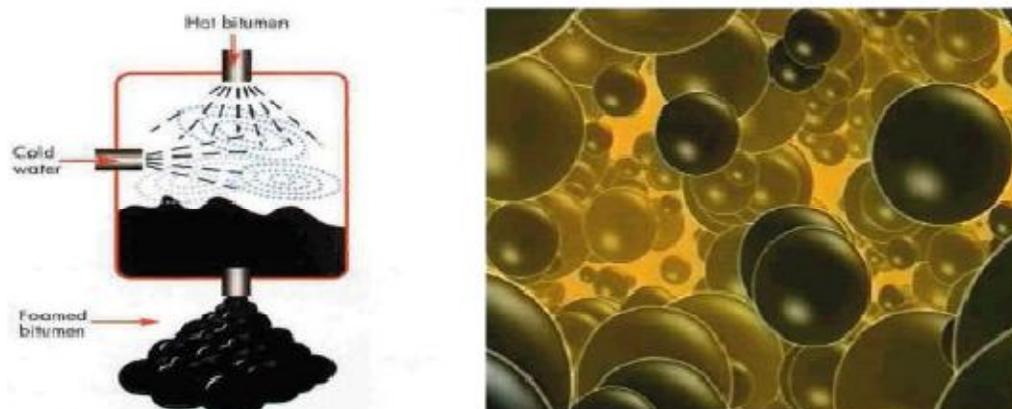


Fig. 3.8d Sistema de doble envuelta – Shell WAMfoam

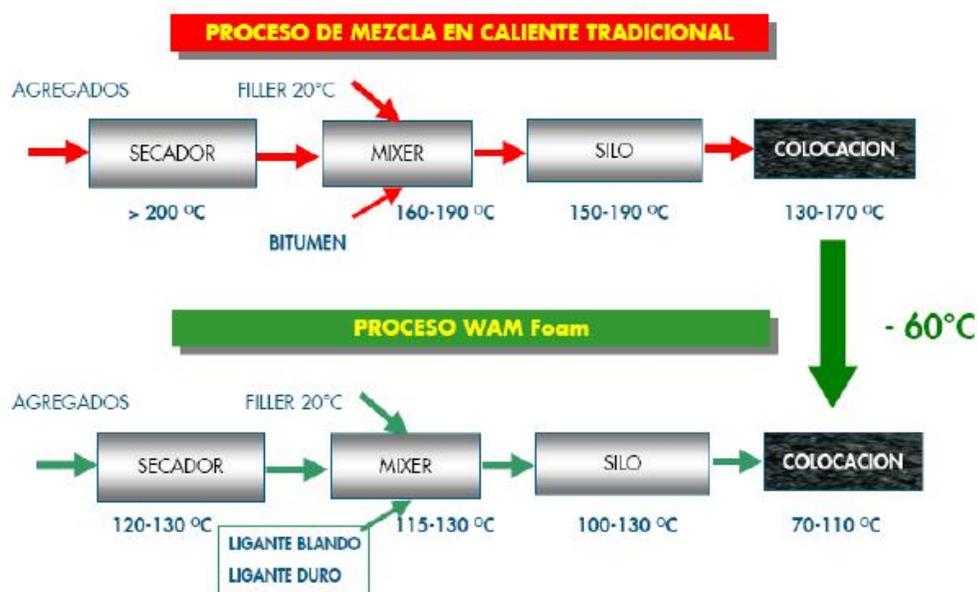


Fig. 3.9d Proceso de mezcla en caliente y Shell WAMfoam

3.4.2.6 Sistema basado en emulsión

Principio

Estas tecnologías involucran el uso de aditivos químicos conocidos como emulsificantes, que se adicionan a una base acuosa y luego es mezclada con altos contenidos de asfalto para obtener finalmente la emulsión. Esta emulsión se mezcla con el agregado caliente,

donde la mayor parte del agua se evapora y permite el recubrimiento del agregado con el asfalto. En este proceso es posible encontrar la reducción de las temperaturas de producción hasta de 55°C.

Los aditivos son inyectados junto con el asfalto a través de líneas de inyección justo antes de entrar al tambor mezclador en plantas continuas o bien directamente al mezclador en plantas de bache (ver **Fig. 3.10d**).

Resultados

- Reducción de la Temperatura de 50 a 75°C

Sistemas

- Evotherm® de Meadwestvaco

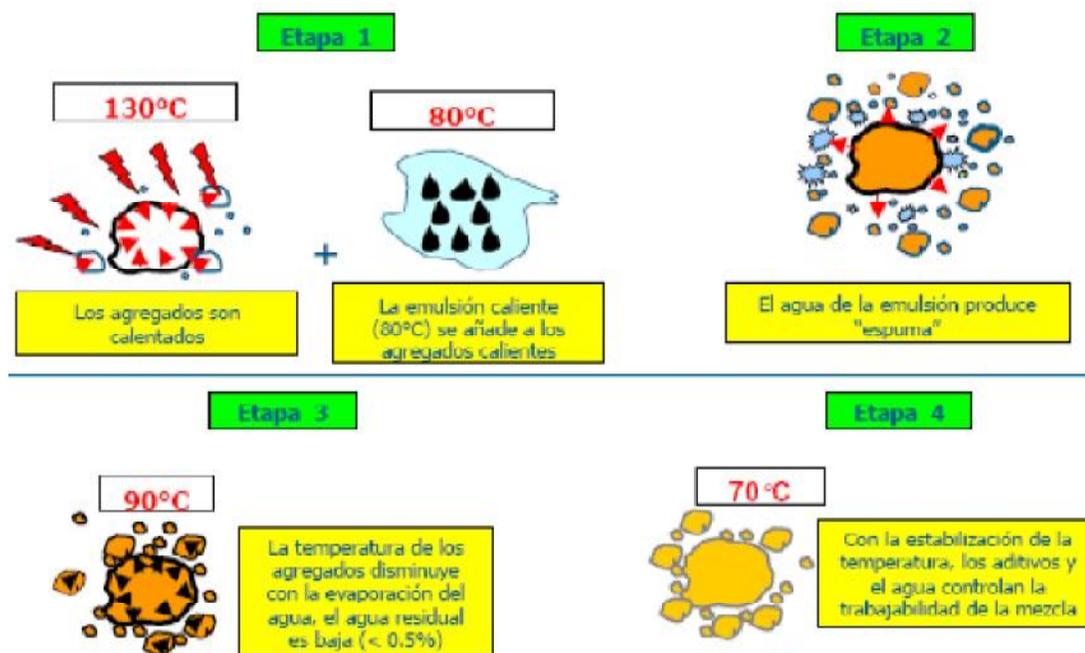


Fig. 3.10d Etapas para producir mezcla tibia basada en emulsión

CAPITULO IV
ENSAYOS Y
ESPECIFICACIONES
TÉCNICAS

GENERALIDADES

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

4.1 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

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

4.1.1 Asfaltos

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

4.1.1.1 Cementos Asfálticos (AC)

Son los aglutinantes más utilizados en los tipos finos de pavimentos bituminosos. Son hidrocarburos que provienen de los aceites lubricantes y los combustibles, son extraídos del petróleo. Las especificaciones para estos asfaltos se describen en la **Tabla 4.1**.

Tabla 4.1. Especificaciones para cementos asfálticos

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

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

4.1.1.2 Emulsiones

Las emulsiones asfálticas están formadas de tres componentes básicos: cemento asfáltico (AC), agua y agente emulsivo. Como tal, las emulsiones deben cumplir con los requisitos estipulados en la **Tabla 4.2**.

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

Tabla 4.2. Especificaciones para emulsión asfáltica en tratamiento superficial

Tipo y grado de material bituminoso	Especificación AASHTO	Temperatura de aplicación en °C
Emulsiones Asfálticas		
-Aniónicas <ul style="list-style-type: none"> • RS-1 • RS-2 • MS-1 • HFMS-1 	AASHTO M-140	20-60 50-85 20-70 20-70
-Catiónicas <ul style="list-style-type: none"> • CRS-1 • CRS-2 	AASHTO M-208	50-85 50-85

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

Para sellos asfálticos, sellado de grietas, bacheo y riego de liga se cumplen las especificaciones que se encuentran en la **Tabla 4.3**.

Tabla 4.3. Requisitos para las emulsiones asfálticas

Tipo y grado de emulsión asfáltica	Especificación AASHTO	Temperatura de aplicación (°C)
Sello de brisa (FogSeal) y Lechada asfáltica (SlurrySeal) -Aniónicas • SS-1, SS-1h -Catiónicas • CSS-1, CSS-1h	M-140 M-208	20-70 50-85
Lechada asfáltica modificada con polímeros (Micro surfacing) -Catiónicas • CSS-1h	M-208	20-70
Sello ordinario (SandSeal) -Aniónicas • RS-1 • MS-1, HFMS-1 -Catiónicas • CRS-1	M-140 M-208	20-60 20-70 50-85

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

4.1.2 Material pétreo (agregados)

Los agregados se emplean combinados con asfaltos líquidos; constituyen del 88 al 96 % del peso, más del 75 % del volumen de las mezclas asfálticas. Los agregados en una mezcla asfáltica pueden ser gruesos (retenidos en tamiz No.8) y finos (pasan tamiz No. 8) variando las proporciones de cada uno de acuerdo con la granulometría requerida por el diseño. Los especificaciones de los agregados se describen a continuación son las utilizadas más frecuentemente pero según la envergadura del proyecto dependerá la calidad que estos deben de cumplir.

4.1.2.1 Abrasión

La parte del agregado retenida en el tamiz número 4 (4.75 mm) no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión mayor de 40 %, según la norma AASHTO T-96.

4.1.2.2 Desintegración al sulfato de sodio

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

4.1.2.3 Caras fracturadas y partículas planas o alargadas

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

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

4.1.2.4 Impurezas

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

4.1.2.5 Graduación

El agregado que se utilice para ser combinado con el material bituminoso, debe cumplir con las características de graduación de acuerdo con las normas AASHTO T 27 y T 11, como se muestra en la **Tabla 4.4**.

Tabla 4.4. Tipos de graduación para agregados de mezcla asfáltica

Tamiz N° (pulg)	Estandar (mm)	Tipo A 1 ½" max		Tipo B 1" max			Tipo C ¾" max			Tipo D ½" max	
		A-1	A-2	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2
1 ½	37.5	100	100								
1	25.0	90-100	70-100	100	100	100					
¾	19.0	40-75	50-80	90-100	70-100	80-100	100	100	100		
½	12.5	10-35				70-90	90-100	70-100	80-100	100	100
3/8	9.5	5-25	25-50	20-55	35-60	60-80	40-70	45-75	70-90	70-100	80-100
4	4.75	0-20	10-30	0-10	15-35	50-70	0-15	20-40	50-70	20-40	55-75
8	2.36	0-10	5-20	0-5	5-20	35-50	0-5	5-20	35-50	5-20	35-50
30	0.60					19-30			18-29		18-29
50	0.30					13-23			13-23		13-23
100	0.15								8-16		8-16
200	0.075		0-4		0-4	0-8		0-4	4-10	0-4	4-10

Fuente: Erick Rolando Anleu Hernández. Producción de mezclas asfálticas en caliente. Página 18.

4.1.2.6 Plasticidad

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

4.1.2.7 Peso volumétrico (Densidad)

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

4.1.3 Material secante para sello de fisuras

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

1. El porcentaje de material que pasa por la malla 9.5 mm debe de 100 % (**Tabla 4.5**).
2. El límite líquido, según la norma AASHTO T 89, no debe ser mayor de 25.
3. Las partículas deben estar libres de materia orgánica o grumos de arcilla.

Tabla 4.5. Granulometría para el material secante

Tamiz No	Porcentaje total que pasa un tamiz de abertura cuadrada (AASHTO T-27)
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (No. 4)	90-100
0.075 mm (No. 200)	0-7

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

4.1.3.1 Material para el sellado de grietas o fisuras

El tipo, grado, especificación y temperatura de aplicación del material bituminoso a usar para el sello de grietas finas, será uno de los establecidos en la **Tabla 4.6**.

Tabla 4.6. Requisitos para el material bituminoso

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

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

4.2 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO DE SELLO DE FISURAS Y GRIETAS

4.2.1 Material sellante aplicado en caliente

El sellador deberá de estar compuesto de una mezcla de materiales que forme un compuesto elástico y adhesivo capaz de sellar efectivamente grietas y fisuras en pavimentos asfálticos contra la filtración de humedad y materiales extraños, a través de ciclos repetitivos de expansión y contracción por cambios de temperatura, y que, a temperaturas ambiente, no fluya hacia fuera de la grieta y fisura, ni sea recogida por las llantas de un vehículo.

El material debe ser capaz de llevarse a una consistencia uniforme para esparcirse apropiadamente de manera que llene completamente las grietas y fisuras

sin dejar burbujas de aire grandes ni discontinuidades y sin dañar el material. Debe de permanecer relativamente sin cambios en sus características de aplicación por lo menos por 6 h a la temperatura recomendada de aplicación en la obra.

4.2.1.1 Clasificación

Tipo I – Un sellador de juntas y grietas capaz de mantener un sellado efectivo en climas moderados. El rendimiento del material a bajas temperaturas es probado a -18°C , usando una extensión de 50% (anteriormente la Especificación D 1190).

Tipo II – Un sellador de juntas y grietas capaz de mantener un sellado efectivo en la mayoría de climas. El rendimiento del material a bajas temperaturas es probado a -29°C , usando una extensión de 50% (anteriormente la Especificación D 3405).

Tipo III – Un sellador de juntas y grietas capaz de mantener un sellado efectivo en la mayoría de climas. El rendimiento del material a bajas temperaturas es probado a -29°C , usando una extensión de 50%. Se incluyen pruebas especiales (anteriormente la Especificación Federal SS-S-1401C).

Tipo IV – Un sellador de juntas y grietas capaz de mantener un sellado efectivo en climas con temperaturas extremadamente frías. El rendimiento del material a bajas temperaturas es probado a -29°C usando una extensión de 200%.

4.2.1.2 Requerimientos Físicos

Temperatura Máxima de Calentamiento - La temperatura máxima de calentamiento es la temperatura más alta a la que puede calentarse un sellador (ver **Tabla 4.7**), sin dejar de ajustarse los requerimientos especificados aquí. Para los propósitos de realizar pruebas como se especifica de aquí en adelante, la temperatura de aplicación debe de ser la misma que la temperatura máxima de calentamiento. La temperatura máxima de calentamiento deber ser establecida de antemano por el fabricante, debe de mostrarse en todos los contenedores y debe de proporcionarse al ente de prueba antes de realizar cualquier prueba de laboratorio.

Tabla 4.7. Requerimientos físicos de la temperatura

Penetración de cono a 25°C	Tipo I Max.90	Tipo II Max.90	Tipo III Max. 90	Tipo IV 90 - 150
Flujo a 60°C, mm Adherencia, sin inmersión	5.0 Max. Dos de tres muestras de 25.4mm pasan 5 ciclos con extensión de 50% a -18°C	3.0 Max Tres muestras de 12.7 mm pasan 3 ciclos con ext. de 50% a -29°C	3.0 Max Tres muestras de 12.7 mm pasan 3 ciclos con ext. de 50% a -29°C	3.0 Max Tres muestras de 12.7 mm pasan 3 ciclos con ext. de 200% a -29°C
Adherencia, inmersión	-	-	Tres muestras de 12.7 mm pasan 3 ciclos con ext. de 50% a -29°C	-
Elasticidad,%	-	60 min.	60 min.	60 min.
Elasticidad con degeneración en horno,%	-	-	60 min.	
Compatibilidad con el asfalto	pasar	pasar	Pasar	pasar

Fuente: ASTM D 6690 - Especificaciones Estándar para Selladores de Juntas y Grietas, Aplicación en Caliente, para Pavimentos de Concreto y Asfalto

4.2.1.3 Empaque y Señalización

El material sellante deberá ser entregado en los contenedores originales del fabricante. Cada contenedor debe ser marcado legiblemente con el nombre del fabricante, la marca del sellador, el número de lote o conjunto el fabricante y el número y tipo de especificación, la temperatura mínima de aplicación y la temperatura máxima de calentamiento. La temperatura máxima de calentamiento debe ser por lo menos 11°C (20°F) más alta que la temperatura mínima de aplicación.

4.2.2 Material secante

Cuando se realizan trabajos como sello de grietas o fisuras e imprimación se debe cumplir con ciertos requisitos para el material secante el cual estará conformado de partículas fragmentadas de la trituración de grava o piedra o bien arena natural lavada, las cuales deben ser duras, durables, estas partículas deben estar libres de materia orgánica o grumos de arcilla. El material secante debe estar constituido por arena natural o de trituración, que cumpla con las siguientes características (**Tabla 4.8**).

Tabla 4.8. Granulometría del material secante (AASHTO T-27)

Tamiz No.	% que pasa
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (No. 4)	90-100
0.075 mm (No. 200)	0-7

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Capitulo 2

4.2.2.1 Plasticidad

La porción que pasa el tamiz No. 4 (4.75mm) no debe tener un índice de plasticidad AASHTO T-90 mayor de 4. El límite líquido AASHTO T-89 no debe ser mayor de 25. Ambos ensayos deben ser realizados sobre la muestra preparada en húmedo, AASHTO T 146.

4.2.2.2 Impurezas

El material secante no debe contener materias vegetales, basura, terrones de arcilla u otras sustancias que puedan incrustarse dentro de la superficie imprimada, causando deterioro en la misma.

4.3 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO DE PIEL DE COCODRILO Y BACHE

4.3.1 Riego de liga

Este trabajo consistirá en la preparación y tratamiento de una superficie ya existente, bituminosa o de concreto hidráulico, con material asfáltico que ligue la superficie anterior y la nueva capa de rodadura

4.3.1.1 Material

El material asfáltico debe corresponder a un asfalto rebajado RC-70 (AASHTO M-81) o una emulsión asfáltica SS-1 (AASHTO M-41) o CSS-1 (AASHTO 208). Ambas

emulsiones serán diluidas con agua, en tal proporción, que la mezcla resultante contenga aproximadamente el 40% por volumen de agua añadida, cuya cantidad exacta será fijada por el supervisor.

4.3.2 Mezclas Asfálticas en caliente

Esta actividad consistirá en la fabricación de una mezcla de agregados pétreos con un aglomerante bituminoso emulsificado, materiales que deben cumplir con los requisitos aquí especificados, los cuales mezclados en caliente mediante procedimientos controlados, darán como resultado un material con propiedades y características definidas. Tanto la dosificación de la mezcla, como su control en obra, se harán mediante el Método Marshall.

Nota: como alternativa para el uso de especificaciones “SUPERPAVE”, puede consultarse la sección 400 del Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, 2da. Edición, año 2004.

4.3.2.1 Materiales

El concreto asfáltico en caliente se compondrá de agregados minerales gruesos, agregados finos, llenante mineral (filler) y material bituminoso.

4.3.2.2 Composición general de la mezcla

Antes de iniciar la obra, el contratista propondrá con el tiempo indicado en las disposiciones especiales, el diseño de la mezcla asfáltica, para aprobación del

supervisor. Esta fórmula se presentará estipulando un porcentaje definido y único de agregados que pasen por cada uno de los tamices especificados, una temperatura definida y única a la cual la mezcla será colocada, debiendo todos estos detalles encontrarse en los regímenes fijados para la composición general de los agregados y los límites de temperatura. El agregado debe conformarse con una de las siguientes designaciones según el tamaño máximo nominal adoptado (**Tabla 4.9**).

Tabla 4.9 Granulometría de agregados para concreto asfáltico

Tamaño de tamiz	Designación de la mezcla usando el tamaño máximo nominal del agregado (% que pasa)				
	37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm
	(1 ½")	(1")	(¾")	(½")	(⅜")
50.0 mm (2")	100	-	-	-	-
37.5 mm (1 ½")	90-100	100	-	-	-
25.0 mm (1")	-	90-100	100	-	-
19.0 mm (¾")	56-80	-	90-100	100	-
12.5 mm (½")	-	56-80	-	90-100	100
9.5 mm (⅜")	-	-	56-80	-	90-100
4.75 mm (No. 4)	23-53	29-59		44-74	55-85
2.36 mm (No. 8)	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67
1.18 mm (No. 16)	-	-	-	-	-
0.60 mm (No. 30)	-	-	-	-	-
0.30 mm (No. 50)	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23
0.15 mm (No. 100)	-	-	-	-	-
0.075 mm (No. 200)	0-5	1-7	2-8	2-10	2-10
Cemento asfáltico (% de peso total de la mezcla)	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Capítulo 2. Sección 1352.03

Notas:

1. El cumplimiento con los límites indicados será determinado según AASHTO T 11 y T 27.

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

3. El material que pasa el tamiz de 0.075 (No. 200) puede consistir de partículas finas de agregado, de relleno mineral, o de ambos. Este material debe estar libre de materia orgánica y de partículas de arcilla. El material debe ser no plástico (NP) cuando se usa el método D 423 o D424 de la ASTM.

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

Las tolerancias que se aplican a la formula de la mezcla, para obtener la franja de control de graduación en la obra, están indicadas en la **Tabla 4.10**.

La franja de control de graduación de obra no debe salirse de la franja de especificaciones de graduación.

Tabla 4.10. Tolerancias admitidas para las mezclas

Material retenido en el tamiz 3/4" (19 mm)	±5%
Material comprendido entre los tamices 3/4" (19 mm) y 3/8" (9.5 mm)	±4%
Material comprendido entre los tamices 3/8" (9.5 mm) y No. 200 (0.075 mm)	±3%
Material que pasa el tamiz No. 200 (0.075 mm)	±2%
Asfalto	±0.5%
Temperatura de la mezcla	11°C (20°F)

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Capítulo 2. Sección 1352.03

4.3.2.3 Requerimientos para la mezcla asfáltica

Se adoptará el método Marshall (AASHTO T 245) para verificar las condiciones de vacíos y estabilidad que deben satisfacer los valores indicados en la **Tabla 4.11** y **Tabla 4.12**.

Tabla 4.11. Criterio para el diseño marshall

Criterio de diseño	Tránsito liviano		Tránsito mediano		Tránsito pesado	
	Carpeta y Base		Carpeta y Base		Carpeta y Base	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Golpes por cara de la probeta	35		50		75	
Estabilidad Kg (Lb)	340 (750)	-	545 (1200)	-	817 (1800)	-
Flujo, 0.25 mm (0.01 pulg.)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos en aire	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75
Estabilidad retenida 24h a 60°C en agua/0.5h a 60°C en agua	75%	-	75%	-	75%	-

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Capítulo 2. Sección 1352.04

Notas:

1. Clasificación del Tránsito:

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

Tabla 4.12. Vacíos en el agregado mineral (requisitos de VMA)

Tamaño máximo nominal		VMA mínimo, por ciento		
		Vacíos en la mezcla total		
mm.	Pulgadas	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Capítulo 2. Sección 1352.04

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

El supervisor no aceptará ninguna mezcla, ni autorizará la construcción de la carpeta asfáltica, antes de haber verificado y aceptado la fórmula de trabajo que seguirá vigente, hasta que el supervisor apruebe por escrito su modificación.

4.3.3 Agregados minerales gruesos

La porción de los agregados retenida en la malla No. 4 se denominará agregado grueso y se compondrá de piedras o gravas trituradas. Sólo se podrá utilizar un tipo único de agregado grueso, excepto en el caso que el supervisor autorice por escrito algún cambio.

La piedra o grava triturada debe ser limpia, compactada y durable, carente de suciedad u otras materias inconvenientes y debe tener un desgaste no mayor de 40% a 500 revoluciones al ensayarse por el método de AASHTO T-96.

Al ser sometidas a ensayos alternativos de resistencia, mediante sulfatos de sodio empleando el método de AASHTO T-104, no podrá tener una pérdida de peso mayor de 15%.

Cuando se utilice grava triturada, no menos de un 50% en peso de las partículas retenidas en el tamiz No. 4, debe tener una cara fracturada como mínimo. El agregado grueso no debe contener más de 10% en peso de las partículas planas o alargadas, determinadas según ASTM D-4791, considerándose partículas alargadas aquellas cuya relación de largo y ancho es mayor que 3.0 y plana cuando la relación de ancho y espesor es mayor que 3.0. El agregado deberá tener un índice de durabilidad mínimo de 35% determinado según AASHTO T-210.

4.3.4 Agregado minerales finos

La porción de agregados que pasa la malla No. 4 se denominará agregado fino y podrá estar compuesto por arena natural, tamizados de piedra o de una combinación de ambos.

Los agregados finos deben tener granos limpios, compactos, angulares y de superficie rugosa, carentes de terrones de arcilla u otras sustancias inconvenientes.

El agregado fino, incluyendo cualquier material de relleno mezclado, debe ser no plástico (NP), de acuerdo a la norma AASHTO T-90.

Al ser sometidas a ensayos alternativos de resistencia, mediante sulfatos de sodio empleando el método de AASHTO T-104, no podrá tener una pérdida de peso mayor de 15%. El agregado deberá tener un índice de durabilidad mínimo de 35% determinado según AASHTO T 210.

4.3.5 Relleno mineral (*Filler*)

El material de relleno de origen mineral que sea necesario emplear será de polvo calcáreo, roca dolomítica, cemento Portland u otros elementos no plásticos, provenientes de fuentes de origen aprobados por el supervisor.

Estos materiales deben carecer de materias extrañas y objetables, serán secos y libres de terrones, y cuando sean ensayados en el laboratorio deben cumplir las siguientes exigencias granulométricas. Los ensayos deberán ser conformes las normas AASHTO T-11 y T-27.

Tabla 4.13. Granulometría del material

Tamiz	% que pasa
No. 30 (0.60 mm)	100
No. 100 (0.15 mm)	95-100
No. 200 (0.075 mm)	65-100

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Capítulo 2. Sección 1352.07

4.3.6 Material asfáltico

El tipo, grado, y especificación del cemento asfáltico que usará, debe ser uno de los establecidos en la **Tabla 4.14**.

Tabla 4.14. Especificaciones del cemento asfáltico

Tipo y grado del cemento asfáltico	Especificación
Graduación por viscosidad <ul style="list-style-type: none"> • AC-10 • AC-20 • AC-30 • AC-40 	AASHTO M-226
Graduación por penetración <ul style="list-style-type: none"> • 40-50 • 60-70 • 85-100 • 120-150 	AASHTO M-20
Graduación PG <ul style="list-style-type: none"> • 64-22 • 70-22 • 76-22 • 82-22 	AASHTO MP-1

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Capítulo 2. Sección 1352.08

Para el caso de asfaltos con clasificación PG, el grado se indicará en las disposiciones especiales, de acuerdo con el rango comprendido entre el promedio de las temperaturas máximas durante los siete días más calurosos del año y la temperatura mínima donde se localice el proyecto, incrementando el valor de temperatura alta un grado de conformidad con el manual SP-2 del Instituto de Asfalto, para tránsito lento, y un grado adicional si el tránsito esperado excede un ESAL de 30×10^6 en el carril de diseño,

pudiéndose fijar grados intermedios para los rangos de temperaturas indicados o grados mayores que los indicados cuando así se requiera.

El rango de las temperaturas del cemento asfáltico, para la preparación de la mezcla de los especímenes en el laboratorio, será el correspondiente para producir una viscosidad cinemática entre 0.15 y 0.19 Pascales segundo (Pa-s) (150 y 190 centiStokes).

4.4 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO MICRO-PAVIMENTOS

El sistema MS-1, también conocido como micro-pavimento (Microsurfacing), consiste en una mezcla de emulsión catiónica de asfalto modificado con polímeros, agregados minerales, rellenos, agua y otros aditivos que se tienden sobre la superficie pavimentada de acuerdo a las especificaciones y dimensiones que los planos indiquen.

4.4.1 Materiales asfálticos

La emulsión asfáltica utilizada debe modificarse con un polímero que se incorporará al cemento asfáltico antes de emulsionarlo. 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 MS-1 pueda ser aplicada con humedad relativa óptima no mayor del 50% y una temperatura ambiental de no menos de 15°C, y curar lo suficiente para que al abrir el tránsito en una hora, la carpeta no sufra daños. Además, la emulsión tipo CSS-1HP cumplirá las especificaciones indicadas en la **Tabla 4.15**.

Tabla 4.15. Especificaciones de Emulsión Tipo CSS-1HP

Descripción	Mínima	Máxima
Viscosidad Saybolt Furor 25 ⁰ C AASHTO T-59 ASTM D-2444	20	100
Estabilidad en almacenaje, un día en % sedimentado	-	1%
Carga de la partícula DOTD TR-311	Positiva	-
Porcentaje en emulsión retenido en malla No. 20	-	0.1%
Residuo asfáltico obtenido por destilación AASHTO T-59 ASTM D-2444	60%	-
Penetración a 25 ⁰ C, 100 gr. 5 segundos AASHTO T-49 ASTM D-5	55	90
ductilidad a 25 ⁰ C, 5 cm/min en m AASHTO T-51 ASTM D-113	70	-
Solubilidad en tricloroetileno, en % AASHTO T-44 ASTM D-2042	-	97

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Capítulo 2. Sección 312.02

Para la aceptación del asfalto, la refinería debe certificar la fuente del crudo. Si durante la ejecución del proyecto se cambia la fuente, el contratista debe presentar un nuevo diseño de mezcla aprobada por el supervisor. El cambio de la fuente del crudo por la refinería, sin aviso, puede causar un paro de actividades del proyecto, por lo que el contratista debe buscar los mecanismos necesarios para responsabilizar a la refinería de la calidad del crudo.

No se permite el uso de asfalto producido de una mezcla de fuentes de crudo, salvo que esta mezcla sea para mejorar la calidad de asfalto.

4.4.2 Agregados minerales

Los agregados minerales deben ser compuestos por partículas limpias, duras y durables de piedra triturada (Basalto, granito o polvo de roca). El equivalente de arena ASTM D - 2419) ó (AASHTO T -176) debe ser 65% ó más. El ensayo de desgaste de la grava debe tener un límite de 25% o menos (ASTM C - 131 ó AASHTO T- 96). Hay dos tipos de granulometría, que se usan en los trabajos de micro-pavimentos (**Tabla 4.16**):

Tabla 4.16. Granulometría para micro-pavimentos

Malla	TIPO II (Carpeta de granulometría fina) % que pasa	TIPO III (Carpeta de granulometría fina) % que pasa
3/8" (9.5 mm)		100
3/4" (6.25 mm)	100	80-95
No. 4 (4.75 mm)	90-100	70-90
No. 8 (2.36 mm)	65-90	45-70
No. 16 (1.18 mm)	45-70	28-50
No. 30 (0.60 mm)	30-50	15-35
No. 50 (0.30 mm)	18-30	10-25
No. 100 (0.15 mm)	10-21	7-18
No. 200 (0.075 mm)	7-15	5-15

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Capítulo 2. Sección 312.02

Tipo II: se usa en calles urbanas y residenciales. Se sugiere una aplicación de 15 a 20 Lbs por yarda cuadrada (8.1 a 10.8 Kg/m²)

Tipo III: carreteras primarias y autopistas deben tratarse con este tipo de microcarpetas. Se sugiere la aplicación de un tratamiento de 20 a 40 lbs por yarda cuadrada (10.8 Kg/m² a 21.5 Kg/m²)

4.4.3 Agregados minerales finos

La mezcla necesita un rellenedor mineral fino, puede ser cemento Portland ó Cal hidratada. Debe tenerse cuidado de que el material fino esté completamente limpio y deberá ser acompañado con una certificación del Fabricante. El porcentaje máximo a utilizar será el 3% en peso. La tolerancia es del + - 0.25%.

4.4.4 Agua

Se presentarán al supervisor muestras de agua para su aprobación, las cuales deberán estar libres de sales solubles nocivas, materia orgánica y otras propiedades no compatibles con la mezcla. El ensayo aplicable es AASHTO T-263. La fuente del agua para los trabajos en las carreteras ó calles será la misma utilizada en el diseño de mezcla.

4.4.5 Otros aditivos

Los aditivos pueden agregarse a la emulsión de asfalto modificado, al agua o directamente a la mezcla, dependiendo del diseño de la emulsión.

4.4.6 Diseño de la mezcla

El diseño de mezcla ó la fórmula de mezcla para el trabajo deben ser provistos por el contratista y entregado al supervisor del proyecto, 14 días calendario antes de que se inicie la obra. Dicho diseño debe ser hecho por un laboratorio calificado y con experiencia en el diseño de micro-pavimentos. Diseños de mezcla hechos con

anterioridad, usando exactamente los mismos materiales, podrían ser aceptados si fueran hechos durante los doce meses anteriores.

No se permitirá sustitución de materiales a menos que sean examinados (probados) y aprobados por el mismo laboratorio responsable del diseño original. La mezcla deberá cumplir lo que se especifica en la **Tabla 4.17**:

Tabla 4.17: Requisitos que debe cumplir la mezcla del micro-pavimento

Propósito de la prueba	Método	Especificación
Ensayo de Adherencia de asfalto al agregado	ISSA TB – 114	Cobertura de asfalto será 90% ó más
Compatibilidad de los materiales cuando mezclados	ISSA TB – 115	Pasa
Prueba de cohesión	ISSA TB - 139	12 kg-cm en 30 min y 20 kg-cm en 60 min
Tiempo de mezclado a 25°C	ISSA TB – 113	Controlable a 120 segundos mínimo
Desplazamiento lateral. Gravedad específica después de 1000 ciclos de 125 lbs.	ISSA TB – 147	5% máximo. 2.10 máximo.

Fuente: Condiciones técnicas del FOVIAL para el mantenimiento vial para contratistas y supervisión.

4.4.6.1 Reporte del laboratorio

Este mostrará los resultados de las pruebas llevadas a cabo comparando los valores obtenidos contra aquellos requeridos por estas especificaciones de la **tabla 4.18**.

Tabla 4.18. Reporte del laboratorio

Propósito de la prueba	Método	Especificación
Contenido óptimo de asfalto	Marshall modificado ISSA Boletín técnico No. 148	680 kg
Ensayo de adherencia del asfalto al agregado	ISSA-T-114	Cobertura de asfalto será 90% o más
Compatibilidad de los materiales cuando están mezclados	ISSA-T-115	pasa
Habilidad para el curado rápido	Prueba de cohesión ISSA-T-139	12 kg/cm en 30 min. +20 kg/m en 2 horas

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Capítulo 2. Sección 312.03

4.4.6.2 Tolerancias

El material asfáltico y los agregados minerales, tienen cierta tolerancia en cuanto a la granulometría y residuo, respectivamente, según lo permite el método ASTM D-2172 ó AASHTO T - 164. No así, los materiales que pasan la malla No.200 para los cuales la especificación es bastante estricta, según la **Tabla 4.19**.

Tabla 4.19. Tolerancias

Pasando la malla 3/8, reteniendo en la malla No. 4	5%
Pasando la malla No. 4, reteniendo en la malla No. 8	5%
Total retenido en la malla No.8	5%
Pasando la malla No. 8, reteniendo en la malla No. 16	5%
Pasando la malla No. 16, reteniendo en la malla No. 30	5%
Pasando la malla No. 30, reteniendo en la malla No. 50	5%
Pasando la malla No. 200	5%
Material asfáltico ± 0.5 por peso ó ± 1.2 por volumen	

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Capítulo 2. Sección 312.02

4.4.6.3 El almacén de agregados

Si los agregados minerales son almacenados o acopiados, se debe cuidar el manejo de dichos materiales para prevenir la segregación, la mezcla de diferentes materiales o de diferentes tamaños y la contaminación con materiales extraños.

La granulometría de los agregados para la mezcla debe ser uniforme. Habrá que tener cuidado con el proveedor para que se cumpla con esta condición.

El equipo para manejar el agregado debe ser adecuado y bien operado para prevenir la segregación de los agregados. Hay agregados pétreos de sobre tamaño que causan marcas de rastrillo (líneas) durante la aplicación de la mezcla de MS-1, el contratista debe corregir la situación antes de continuar con el trabajo.

4.4.6.4 Almacenamiento de materiales asfálticos

Para evitar la contaminación con materiales extraños, los materiales asfálticos deben ser manejados con equipo limpio y en buenas condiciones de operación todo el tiempo.

4.5 ENSAYOS PARA MATERIALES DE MEZCLA ASFÁLTICA

4.5.1 Ensayos para asfaltos

El asfalto, como cualquier otro material de construcción, debe cumplir con los requisitos mínimos para garantizar que sea de calidad y que el producto final, en este caso la mezcla asfáltica, cumpla con los requerimientos físicos y mecánicos.

4.5.1.1 Penetración

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

4.5.1.2 Viscosidad

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

4.5.1.3 Punto de inflamación

El punto de inflamación de un asfalto es la temperatura a la que se puede calentar sin peligro de inflamación. Para determinar este punto se utiliza el ensayo en vaso abierto de Cleveland.

En éste, un vaso abierto de latón se llena parcialmente de cemento asfáltico y se calienta a una velocidad establecida. Periódicamente se enciende una llama sobre la superficie de la muestra y se determina la temperatura a la que los vapores del cemento asfáltico producen una llama repentina.

4.5.1.4 Ductilidad

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

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

4.5.1.5 Solubilidad

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

4.5.2 Ensayos para agregados

4.5.2.1 Granulometría

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

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

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

4.5.2.2 Abrasión

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

4.5.2.3 Peso específico

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

Existen tres tipos de peso específico: peso específico total, peso específico aparente y peso específico y efectivo. Los tres se diferencian por la consideración que se hace de los poros, por lo que el peso específico total incluye todos los poros de la muestra, el

aparente no incluye los poros que se llenarán de agua al ser mojado el material, y el efectivo excluye todos los poros que se llenarán de asfalto.

4.5.2.4 Peso unitario

Es el peso que tiene un material por unidad de volumen. Existen dos tipos de peso unitario, el suelto y el compactado. Se ha establecido un mínimo de 1137 Kg/m^3 para agregados menores de 2 pulgadas y 1041 Kg/m^3 para los de tamaños mayores a 2 pulgadas.

4.5.2.5 Humedad

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

4.5.2.6 Ensayo de resistencia a los sulfatos

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

4.6 ENSAYOS PARA LA MEZCLA

Luego de elaborar las briquetas se realiza el trabajo de laboratorio comprendido en el procedimiento Marshall que comprende los siguientes ensayos, que se resumen como:

- Estabilidad y Flujo, AASHTO T 245
- Gravedad Específica Teórica Máxima, AASHTO T 209
- Gravedad Específica Bulk, AASHTO T 166

Como ensayos extras se realizaron los siguientes:

- Extracción Cuantitativa de Ligantes Asfálticos, AASHTO T 164
- Análisis Granulométrico del Agregado Extraído, AASHTO T 30

4.6.1 Ensayo de Densidad Bulk

Después de la compactación de las briquetas y su posterior extracción de los moldes para que las briquetas se enfríen a temperatura ambiente, se procede a realizar el ensayo de la gravedad bulk, según el ensayo, basado en AASHTO T 166. Dicha norma establece que la diferencia máxima permitida entre dos valores de gravedad específica bulk es de 0.02, para que puedan ser promediados, aquella gravedad bulk que sobrepasa dicho valor es descartada.

4.6.2 Ensayo de teórica máxima

La gravedad específica teórica máxima (Gmm), como su nombre lo dice es la máxima densidad que puede presentar una mezcla asfáltica, ya que no considera vacíos en la

muestra por estar esta en condición suelta, simplemente es la densidad de sólo las partículas de agregado recubiertas por el asfalto; es complementaria de la gravedad específica bulk, ya que con los valores de dichas gravedades se obtiene el porcentaje de vacíos (%Pa).

4.6.3 Ensayo de estabilidad y flujo

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, las quijadas (cabezales) superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador dial. Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de Estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad marshall indica la resistencia de una mezcla asfáltica a la deformación; sin embargo en las mezclas asfálticas no siempre se aplica que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mejor. Estabilidades extremadamente altas se obtienen a sacrificio de durabilidad, por lo que un valor de estabilidad demasiado alto no siempre es bueno en una carpeta asfáltica, todo dependerá de las sollicitaciones del tráfico para un determinado proyecto.

4.6.4 Flujo

En cuanto a los valores de flujo solamente es necesario promediarlos y darlos en milímetros (mm).

4.6.5 Ensayo de extracción de asfalto

La realización del ensayo de extracción de asfalto ,es opcional durante el proceso de diseño de mezclas asfálticas en caliente y puede ser realizado si el diseñador a su juicio lo considera necesario, el objetivo es tener una idea a nivel de laboratorio si el valor de cemento asfáltico para cada bachada de diseño se cumple; el valor de asfalto extraído puede dar el mismo que la dosificación o entre un rango establecido en base a la variación especificada de $\pm 0.5\%$ de cemento asfáltico (C.A), por ejemplo si una bachada se hizo con 5.5% C.A el rango en el cual el valor del asfalto extraído es aceptable es de 5.0 a 6.0% C.A.

4.6.6 Ensayo de granulometría de agregado extraído

Después de hacer la extracción de asfalto se procede a comprobar la granulometría del agregado extraído, que también es opcional en la etapa de diseño, para ver si se cumple con la especificación granulométrica designada,

La importancia de realizar este ensayo en la etapa de diseño se fundamente en conocer previamente a la producción de planta si la combinación de agregados en las proporciones de agregado grueso, agregado intermedio y arena reproducen la granulometría especificada, este cumplimiento a nivel de laboratorio garantiza que la dosificación es reproducible en planta.

4.7 INFORMACIÓN DE DISEÑO QUE SE ENTREGA AL CONTRATANTE

La información que se presenta a continuación es tomada de la sección 401.03 del “Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales” de la SIECA

La dosificación de diseño, en la metodología Marshall, debe ser presentada por escrito, con una anticipación de al menos 21 días previos al inicio de la producción de la planta asfáltica. En el informe de diseño de mezcla correspondiente deberá incluirse la siguiente información:

4.7.1 Agregado y relleno mineral

- (1) Porcentaje de agregado que pasa por cada tamiz especificado, para la mezcla asfáltica preparada de acuerdo con la dosificación de diseño. Los porcentajes de agregado que pasan cada tamiz deberán estar dentro de los rangos de especificación correspondientes.
- (2) Fuente y porcentaje de cada agregado de apilamiento que se usará.
- (3) Granulometría promedio para cada apilamiento de agregado por usar y desviación estándar por tamiz, que derive de la realización de tres ensayos de granulometría, correspondientes a tres muestras, tomadas en posiciones aleatorias del apilamiento.
- (4) Si el contratante lo solicita, deberán presentarse muestras representativas de cada agregado de apilamiento, en las siguientes cantidades.
 - 100 kg de cada apilamiento de agregado grueso.
 - 70 kg de cada apilamiento de agregado intermedio y fino.

- 10 kg de relleno mineral de aportación adicional, tal como cal, cemento, o relleno mineral producto de la trituración de agregado o roca.
- 10 kg de relleno mineral del colector de polvo de la planta asfáltica, si corresponde.

Las muestras de agregado, cuando sean combinadas de acuerdo con los porcentajes de combinación de apilamientos propuestas por el Contratista, deberán estar dentro de los rangos correspondientes a la granulometría de diseño +/- las desviaciones tolerables para cada tamiz. En caso contrario, las muestras serán consideradas no representativas.

4.7.2 Cemento asfáltico

- (1) Cinco muestras de 4 litros del mismo lote de cemento asfáltico por usar en la producción de mezcla asfáltica.
- (2) Lista de resultados de los ensayos de aceptación del ligante asfáltico, con fecha de por lo menos 2 semanas anteriores a la fecha del informe de diseño de mezcla, incluyendo la curva de viscosidad vrs. Temperatura (con mediciones a 60°C, 125°C, 135°C y 145°C).
- (3) Hojas de seguridad para el ligante asfáltico.

4.7.3 Aditivos mejoradores de adherencia

Cuando un aditivo mejorador de adherencia sea necesario, se debe suministrar lo siguiente para cumplir con los requisitos de aceptación de la mezcla asfáltica:

- (1) Muestra de: 0.5 l de aditivo, si éste se aplicará en estado líquido; o 5 kg, si se aplicará en estado sólido.
- (2) Nombre del producto.
- (3) Fabricante.
- (4) Hojas de seguridad para el material.
- (5) Criterio técnico de soporte para su aplicación.

4.7.4 Planta asfáltica donde se aplica el diseño

Debe informarse sobre la planta en que se aplicará el diseño de mezcla, así como su ubicación geográfica, teléfono, fax y/o correo electrónico.

El Contratante podrá, según su criterio y conveniencia, evaluar la aplicabilidad de los materiales y de la dosificación de diseño propuestas. Para tal efecto, usando los materiales aportados por el contratista, se verificarán las propiedades de la mezcla asfáltica, la granulometría de diseño y tres porciones de asfalto (óptimo de diseño, óptimo de diseño menos 0.5 % por peso total de mezcla, y óptimo de diseño más 0.5 % por peso total de mezcla).

A partir de la evaluación de aplicabilidad de los materiales y de la dosificación de diseño propuestas y/o la evaluación de la calidad y cantidad de información suministrada por el contratista en su informe previo, el Contratante podrá establecer un criterio de aceptación o rechazo, de la dosificación de diseño planteada en el informe correspondiente.

Si la dosificación de diseño es rechazada, se deberá efectuar una nueva dosificación de diseño, y entregar un nuevo informe en que se cumplan los requisitos previamente definidos.

Cualquier cambio de dosificación requiere aceptación previa a la producción de mezcla. El período requerido para la definición de un criterio e aceptación o rechazo de los cambios será de 14 días naturales. Los cambios aprobados en la dosificación de diseño no pueden ser aplicados de manera retroactiva para su pago.

4.8 ESPECIFICACIONES DE EQUIPO

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

4.8.1 Equipo para mantenimiento general

El mantenimiento general consiste en tareas sencillas como limpieza de drenajes, limpieza de derecho de vía, limpieza de cunetas, pintura de señalización vial, etc., por lo tanto se utiliza equipo o herramienta de relativamente bajo costo como piochas, palas, brochas, cepillos, escobas, machetes, etc. (ver **Fig.4.1**).

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



Fig. 4.1 Equipo para mantenimiento general

4.8.2 Equipo para mantenimiento de carpeta asfáltica

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

4.8.2.1 Equipo para escarificación

De acuerdo con el tamaño del área a trabajar, se debe considerar el tipo de equipo necesario, por ejemplo, en un área donde el ancho es menor a los 2.5 m no es posible utilizar maquinaria pesada, por lo que es necesario utilizar herramientas básicas como piochas, palas o azadones (ver **Fig. 4.2**).



Fig. 4.2 Equipo para escarificación

4.8.2.2 Equipo para limpieza de área de trabajo

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

En trabajos de mayor envergadura, se debe utilizar una barredora autopropulsada con el objetivo de dejar el área de trabajo perfectamente limpia. Esta máquina consta de un cepillo hidráulico que está adaptado a un cilindro que gira hacia ambos lados que sube y baja para adaptarse a la superficie, además, consta de un sistema de rociado de agua que impide levantar mucho polvo (ver **Fig. 4.3**).



Fig. 4.3 Equipo para limpieza

4.8.2.3 Equipo para riego de liga o imprimación

Para este fin se utiliza un distribuidor calentador de asfaltos con regadora manual. Esta máquina permite calentar el líquido de imprimación o de riego de liga a la temperatura de aplicación, según las especificaciones de diseño, y esparcirlo uniformemente sobre la superficie, a modo de cubrirla completamente (ver **Fig. 4.4**).



Fig. 4.4 Equipo para riego de liga o imprimación

4.8.2.4 Equipo para pavimentación

Cuando se hacen trabajos de mantenimiento de carpeta asfáltica que implican pavimentación, como la colocación de capas de refuerzo se debe utilizar el equipo adecuado: la finisher o terminadora. Esta máquina permite tender el asfalto al ancho y espesor de diseño, además de proveer la compactación inicial. Consta básicamente de dos elementos: el tractor y la regla niveladora. El tractor tiene la función de recibir, entregar, dosificar y esparcir la mezcla asfáltica. La regla niveladora delimita el ancho de la carpeta y su espesor, contribuyendo al acabado de la carpeta (ver **Fig. 4.5**).



Fig. 4.5 Equipo para pavimentación

4.8.2.5 Equipo de compactación

Para actividades como el bacheo se debe utilizar equipo pequeño que permita obtener la compactación y el acabado deseado (ver **Fig.4.6**). Este puede ser un rodillo vibratorio manual que sea del peso adecuado para lograr la compactación necesaria. También se puede utilizar una vibrocompactadora de plancha ancha que permite compactar el asfalto correctamente, ya que distribuye la carga de compactación de manera uniforme en un

área relativamente amplia. En lugares donde este equipo sea inaccesible, como en las esquinas de los baches, se debe compactar a mano con un mazo metálico.

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

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



Fig. 4.6 Equipo de compactación

CAPITULO V

SEGURIDAD

VIAL

5.1 GENERALIDADES DE LA SEGURIDAD VIAL

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



Fig. 5.1 Vehículos entrando en la zona de trabajo

Es necesario contar con la señalización preventiva adecuada, por ejemplo, conos, rótulos, banderilleros, luces, etc., que ayuden a prevenir a los conductores con suficiente tiempo del peligro que representan los trabajos de mantenimiento (ver **Fig. 5.1**). Los trabajadores deben llevar chalecos reflectivos que los identifique, pero que principalmente los haga visibles a los conductores. Se debe tener especial cuidado cuando los trabajos se realicen de noche, pues la visibilidad es mucho menor que de día, por lo tanto las luces y señales reflectivas son indispensables (ver **Fig. 5.2**).



Fig. 5.2 Laminas retroreflectivas

5.1.1 Recomendaciones importantes

La señalización temporal debe mantenerse durante el tiempo de duración de los trabajos y estar acorde a las condiciones del lugar. Se debe planear con anticipación la seguridad del motorista, el peatón y el trabajador de la obra. El movimiento normal del tráfico debe ser interferido lo menos posible. Los trabajadores deben monitorear periódicamente la efectividad del control del tráfico durante el tiempo que dure la obra y deben realizar los ajustes necesarios.

Quien tiene a su cargo la seguridad de la zona de control de tráfico, deberá recibir un entrenamiento apropiado sobre las decisiones de trabajo correctas que sean requeridas para desarrollar sus funciones. Solamente las personas que tienen un entendimiento básico de estas premisas deberán supervisar la selección, ubicación y mantenimiento de los planes de control de tráfico en las zonas de trabajo. Es importante señalar los vehículos que se van a utilizar en la zona de trabajo con luces apropiadas y materiales reflectivos que delineen el contorno del mismo, e identificarlos.

Se debe reducir al máximo o eliminar la posibilidad de un accidente de tránsito mientras se realizan trabajos de mantenimiento y reparación en carreteras, logrando la máxima seguridad con la mínima interrupción del tráfico.

5.2 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Los dispositivos de seguridad tienen carácter transitorio y deben cubrir como mínimo, las áreas de la carretera que se describen en el esquema siguiente (**Fig. 5.3**):

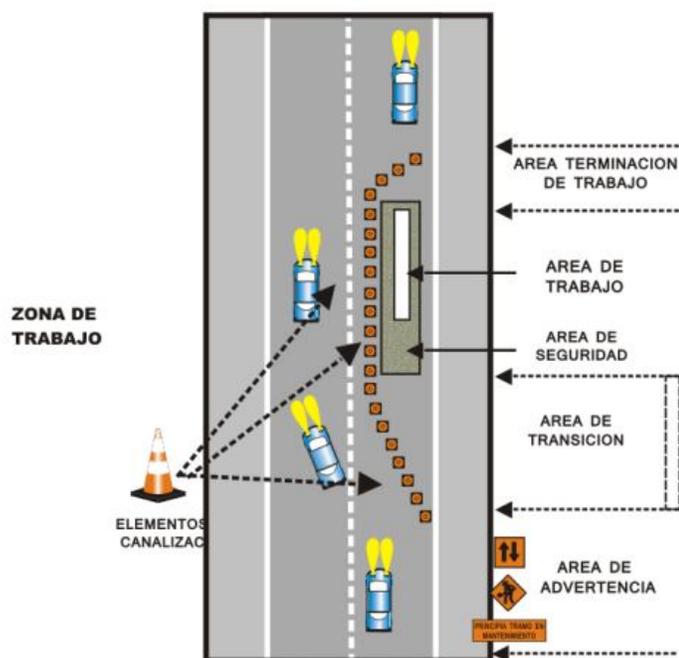


Fig. 5.3 Áreas a cubrir por los dispositivos de seguridad

Los dispositivos mostrados en el presente documento pueden utilizarse en obras de reparación o mantenimiento de carreteras pavimentadas y no pavimentadas.

5.2.1 Dispositivos de seguridad a utilizar en zonas de control temporal de tráfico

- Elementos de Canalización
- Sistemas de Control de Tránsito
- Elementos Requeridos a los Trabajadores en las Zonas de Trabajo
- Señales Verticales
- Pantallas electrónicas

5.2.2 Elementos del control temporal de tránsito

5.2.2.1 Planos de control de tránsito

Los Planos de Control de Tránsito (PCT) juegan un papel fundamental para garantizar la continuidad del flujo de tránsito, tanto en forma segura como eficiente, hasta el punto donde las interrupciones obligadas lo permitan. Aquellos aspectos que no puedan ser especificados en los planos del proyecto pueden ser incorporados dentro del PCT como Especificaciones Especiales.

Un PCT describe los controles de tránsito que deberán usarse para facilitar el tránsito de vehículos y peatones a través de una zona de control temporal del tránsito. El plano puede variar en alcance, desde muy detallado hasta simplemente hacer referencia a diagramas típicos contenidos en este Manual u otros documentos contractuales. El grado de detalle en el PCT depende por completo de la complejidad de la situación y los PCT deberán ser preparados por personas con conocimiento de los principios fundamentales del control temporal de tránsito y las actividades de trabajo a realizar.

La planificación del control de tránsito requiere previsión. En los documentos de licitación se deben incorporar las cláusulas que facultan al contratista para desarrollar planos de control de tránsito alternativos, los cuales pueden ser utilizados sólo si el ente responsable determina que son tan buenos o mejores que los establecidos en los documentos y especificaciones de licitación. Para proyectos de mantenimiento y reparaciones menores de servicios públicos que no requieren procesos de licitación se debe planificar la selección del mejor control de tránsito antes de ocupar la zona de trabajo. También debe haber coordinación entre proyectos y entre instituciones para asegurarse de que no existe duplicidad en el señalamiento, así como para garantizar la compatibilidad del control de tránsito entre proyectos adyacentes.

Puede ser necesario modificar los PCT debido a una variación de las condiciones o porque se determinó una mejor forma de manejar el tránsito con seguridad y eficiencia, permitiendo un avance eficiente de las obras.

5.2.3 Definición de los componentes de las zonas de control temporal de tránsito

La zona de control temporal de tránsito incluye la sección completa de carretera entre la primer señal de prevención hasta el último dispositivo de control de tránsito, donde el tránsito retorna a sus condiciones normales. La mayoría de las zonas de control temporal de tránsito pueden ser divididas en cuatro áreas: el área de prevención, el área de transición, el área de actividad, y el área de finalización (ver **Fig. 5.4**).

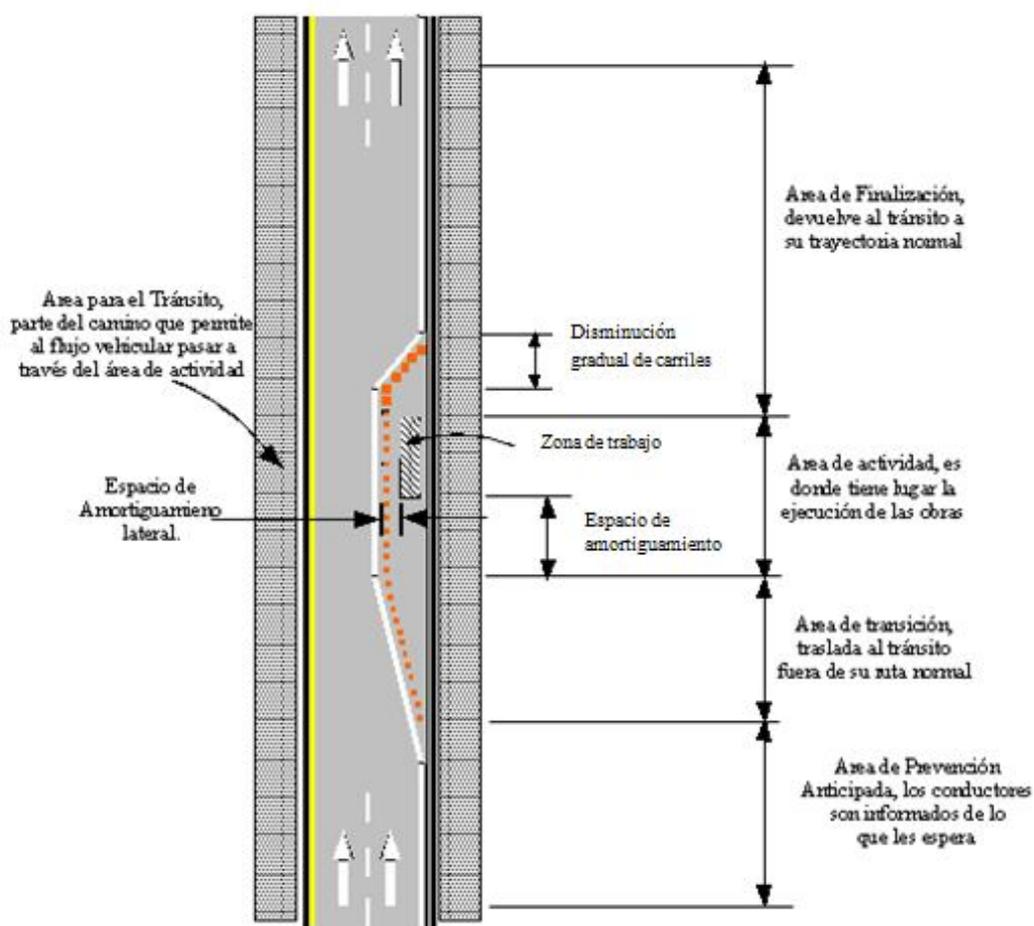


Fig. 5.4 Componentes de las zonas de control temporal de tránsito

5.2.3.1 Área de prevención

En el área de prevención, los conductores son informados de lo que les espera. La prevención anticipada puede variar de una simple señal o luz intermitente sobre un vehículo hasta una serie de señales colocadas con anticipación de la zona de control temporal de tránsito. En autopistas y vías rápidas, donde las velocidades generalmente son de 70 km/h o más altas, las señales pueden ser ubicadas entre 150 m a 400 m. antes de la zona de control temporal de tránsito. La verdadera prueba de lo adecuado que

resulta el espaciamiento entre señales consiste en evaluar cuanto tiempo requiere el conductor para percibir y reaccionar ante la condición que se le presentará adelante. La velocidad de operación, la condición del camino y las expectativas del conductor deberán ser consideradas con el propósito de determinar una distancia práctica de separación del señalamiento.

La ubicación efectiva de señales de prevención en zonas urbanas o rurales deberá regirse por los siguientes principios:

- **Zonas Urbanas:**

El espaciamiento entre las señales de prevención que se colocan antes del área de transición normalmente varían de 0,75 a 1,5 veces la velocidad (km/h) en metros, con el valor más alto del rango siendo el escogido cuando las velocidades son relativamente altas. La selección del límite superior tiene que hacerse porque si se usa cualquier velocidad inferior a 80 km/h se obtiene una distancia menor de 60 metros. Por ejemplo, a 50 km/h el espaciamiento mínimo de 0,75 veces la velocidad sería 37 metros. Cuando dos o más señales de prevención son empleadas en calles de alta velocidad, como en el caso de arterias principales, el área de prevención deberá extenderse a una distancia mayor.

- **Zonas Rurales:**

Las vías rurales se caracterizan por sus altas velocidades. El espaciamiento para la colocación de señales de prevención deberá ser mayor, variando desde 1.5 hasta 2.3 veces la velocidad (km/h) en metros. Normalmente se utilizan dos o más señales de

prevención colocadas en forma anticipada bajo estas condiciones, el área de prevención deberá extenderse 500 metros o más en condiciones de carretera abierta. El área de prevención normalmente no se requiere cuando el área de trabajo está lo suficientemente separada de la trayectoria de los vehículos, y por lo tanto no existe interferencia con el tránsito.

5.2.3.2 Área de transición

Cuando se requiere re direccionar la trayectoria normal de los vehículos, el tránsito deberá ser canalizado desde su trayectoria normal hasta una nueva trayectoria. Este re direccionamiento debe estar al principio del área de transición.

En operaciones móviles, esta área de transición se mueve con la zona de trabajo. El acomodo de áreas de transición generalmente implica el uso estratégico de disminuciones graduales del carril.

5.2.3.3 Canalización

La canalización de una zona de Control Temporal de Tráfico cumple las funciones de guiar a los conductores en forma segura a través del área afectada por la obra, advertir sobre el riesgo que ésta representa y proteger a los trabajadores. Se materializa a través de los elementos presentados en esta sección, los que además de cumplir con los estándares mínimos aquí especificados, deben ser de forma, dimensiones y colores uniformes a lo largo de toda la zona de Control Temporal de Tráfico. El diseño de la canalización debe proveer una gradual y suave transición, ya sea para desplazar el

tránsito de un carril hacia otro y para conducirlo a través de un desvío o para reducir el ancho de la vía.

5.2.3.3.1 Elementos de canalización

Las canalizaciones se pueden materializar a través de diversos elementos (ver **Fig. 5.5**):

- a) Conos
- b) Delineadores
- c) Barreras
- d) Barriles o cilindros
- e) Bastones de luz
- f) Pantalla Electrónicas



Fig. 5.5 Elementos de canalización

En general, los elementos de canalización en las zonas de Control Temporal de Tráfico, utilizan combinaciones de colores en franjas o sectores, blanco y naranjas las cuales deberán tener una reflectividad mínima Tipo IV (ASTM D 4956 – 09).

Tabla 5.1 Niveles de Retroreflexión mínima para elemento de canalización (Cd/lx m²) según Norma ASTM D 4956-09.

Clasificación	Angulo Observación	Angulo Entrada	Blanco	Amarillo	Naranja	Verde	Rojo	Azul	Café
Tipo I (Grado Ingeniería)	0,2°	-4°	70	50	25	9	14	4	1
	0,2°	+30°	30	22	7	3,5	6,0	1,7	0,3
	0,5°	-4°	30	25	13	4,5	7,5	2	0,3
	0,5°	30°	15	13	4	2,2	3,0	0,8	0,2
Tipo II (Grado super-ingeniería)	Angulo Observación	Angulo Entrada	Blanco	Amarillo	Naranja	Verde	Rojo	Azul	Café
	0,2°	-4°	140	100	60	30	30	10	5
	0,2°	+30°	60	36	22	10	12	4	2
	0,5°	-4°	50	33	20	9	10	3	2
Tipo III	0,5°	30°	28	20	12	6	6	2	1
	Angulo Observación	Angulo Entrada	Blanco	Amarillo	Naranja	Verde	Rojo	Azul	Café
	0,2°	-4°	250	170	100	45	45	20	12
	0,2°	+30°	150	100	60	25	25	11	8,5
Tipo IV	0,5°	-4°	95	62	30	15	15	7,5	5
	0,5°	30°	65	45	25	10	10	5,0	3,5
	Angulo Observación	Angulo Entrada	Blanco	Amarillo	Naranja	Verde	Rojo	Azul	Café
	0,2°	-4°	250	170	100	35	35	20	7
Tipo V	0,2°	+30°	80	54	34	9	9	5	2
	0,5°	-4°	135	100	64	17	17	10	4
	0,5°	30°	55	37	22	6,5	6,5	3,5	1,4
	Angulo Observación	Angulo Entrada	Blanco	Amarillo	Naranja	Verde	Rojo	Azul	Café
Tipo VI	0,2°	-4°	700	470	280	120	120	56	-
	0,2°	+30°	400	270	160	72	72	32	-
	0,5°	-4°	160	110	64	28	28	13	-
	0,5°	30°	75	51	30	13	13	6	-
Tipo VII	Angulo Observación	Angulo Entrada	Blanco	Amarillo	Naranja	Verde	Rojo	Azul	Café
	0,2°	-4°	250	170	70	30	35	20	-
	0,2°	+30°	95	64	26	11	13	7,6	-
	0,5°	-4°	200	136	56	24	28	18	-
Tipo VIII	0,5°	30°	60	40	17	7,2	8,4	4,8	-
	Angulo Observación	Angulo Entrada	Blanco	Amarillo	Naranja	Verde	Rojo	Azul	Café
	0,2°	-4°	750	560	280	75	150	34	-
	0,2°	+30°	430	320	160	43	86	20	-
Tipo IX	0,5°	-4°	240	180	90	24	48	11	-
	0,5°	30°	135	100	50	14	27	6	-
	Angulo Observación	Angulo Entrada	Blanco	Amarillo	Naranja	Verde	Rojo	Azul	Café
	0,2°	-4°	700	525	265	70	105	42	21
Tipo X	0,2°	+30°	325	245	120	33	49	320	10
	0,5°	-4°	250	190	94	25	38	15	7,5
	0,5°	30°	115	86	43	12	17	7	3,5
	Angulo Observación	Angulo Entrada	Blanco	Amarillo	Naranja	Verde	Rojo	Azul	Café
Tipo XI	0,2°	-4°	380	285	145	38	76	17	-
	0,2°	+30°	215	162	82	22	43	10	-
	0,5°	-4°	240	180	90	24	48	11	-
	0,5°	30°	135	100	50	14	27	6	-

Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM), Norma ASTM D 4956-09.

Los colores de las partes retrorreflectantes de los elementos de canalización deben cumplir siempre con los niveles mínimos de retrorreflexión especificado por la Norma ASTM D 4956 – 09. La distancia entre elementos canalizadores debe asegurar una transición suave y una delineación continua, de tal manera que las maniobras necesarias para transitar a través de la canalización se puedan realizar en forma segura.

La distancia entre elementos canalizadores debe asegurar una transición suave y una delineación continua, de tal manera que las maniobras necesarias para transitar a través de la canalización se puedan realizar en forma segura.

5.2.3.3.2 Conos

El cono será de material de Cloruro de Polivinilo (PVC), con una altura de 70 cms y una base cuadrada de 40 cms. por 40 cms, deberán de ser de color Naranja Fluorescente (ver **Fig. 5.6**).



Fig. 5.6 Cono para uso en el día

Para los trabajos realizados en el horario de 5:00 p.m - 6:00 a.m, el cono deberá contar con dos bandas retrorreflectivas blancas las cuales deberán tener una reflectividad mínima Tipo IV (ASTM D 4956 – 09), uno de 15.24 cms. en la parte superior y otra de 10.16 cms. en la parte inferior con una distancia entre ellos de 5 cms. de ancho, colocados a una distancia de la parte superior del cono entre 5 cms. a 7.6 cms (ver **Fig. 5.7**).

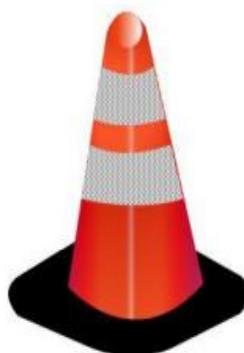


Fig.5.7 Cono para uso en la noche

Los conos serán utilizados en todo momento para la transición y canalización, encauzar al tránsito, dividir los carriles de circulación contraria y los carriles cuando dos o más se mantienen abiertos en el mismo sentido.

También se utilizan para delinear trabajos de mantenimiento y servicio de corto plazo. El espaciamiento máximo entre conos deberá de ser de 3.00 mts. en el área de transición y 5.00 mts. en el área de seguridad y trabajo.

En el área de transición, en ningún momento se podrá canalizar con menos de cinco conos en los casos de carreteras. En las carreteras no pavimentadas, dependerá de la naturaleza del trabajo y las condiciones particulares del proyecto, en ningún momento se

usarán menos de tres conos. Se utilizará tanto en vías pavimentadas como en vías no pavimentadas.

5.2.3.3.3 Fórmula para calcular los conos en el área de transición

Para velocidades menores de 60 km/h.

$$T = \frac{A \times V^2}{155}$$

En donde:

T es la longitud del área de Transición en mts.

A es el ancho del carril.

* V es la velocidad máxima permitida de cruce en el área de trabajo.

Ej. Si el carril tiene un ancho de 3.50 mts y la velocidad de cruce que se permitirá cruzar el área de trabajo será de 30 km/h, entonces la fórmula a usar será la siguiente:

$$T = \frac{A \times V^2}{155} \qquad T = \frac{3.5 \times 30^2}{155} = 21 \text{ mts.}$$

El cálculo de los conos se dará dependiendo de la distancia entre los conos. Si la distancia entre cono será de 3.00 mts los conos a usar serán: 21.00 mts. (longitud del área de transición) ÷ 3.00 mts (distancia entre conos) + 1 cono = 21÷3+1= 8 conos.

Fórmula para calcula los conos en el área de terminación de trabajos: T/2.

Al mencionar velocidades menores de 60 km/h, nos referimos a las velocidades de cruce que se permitirá cruzar el área de trabajo, y no a la velocidad máxima que permite la carretera o calle (ver **Tabla 5.2**).

Los elementos cuya forma se haya deteriorado por su uso habitual o por impactos de vehículos, deben ser reemplazados inmediatamente por otros en buen estado.

Tabla 5.2 Formulas para calcular cantidad de conos

Velocidad	Formula
65 km/h o menos	$T=(A*V^2)/155$
70 km/h o mayor	$T=(A*V^2)/1.6$

Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de SIECA, Capítulo 6, Sección 6.3.3.

5.2.3.4 Área de actividad

El área de actividad es la zona de la vía donde tiene lugar la ejecución de las obras. Se compone de la zona de trabajo y el área para el tránsito y puede contener uno o más espacios de amortiguamiento (ver **Fig.5.8**).

5.2.3.5 Zona de trabajo

La zona de trabajo es la parte de la vía cerrada al tránsito y asignada para los materiales, el equipo y los trabajadores. La zona de trabajo puede ser fija o puede moverse en función del avance del trabajo. Las zonas de trabajo de obras de larga duración están delineadas por dispositivos de canalización o protegidas por barreras físicas para excluir el tránsito vehicular y peatonal.

5.2.3.6 Área para el tránsito

El área para el tránsito es la parte del camino en la cual el flujo vehicular es encaminado a través del área de actividad.

5.2.3.7 Espacio de amortiguamiento

El espacio de amortiguamiento es una parte opcional del área de actividad que permite separar el flujo vehicular de la zona de trabajo o un área potencialmente peligrosa, y que también sirve como espacio de recuperación para cualquier vehículo que se salga de la vía sin control. Ninguna actividad de trabajo ni el almacenamiento de equipo, vehículos o materiales debe tener lugar en este espacio. Los espacios de amortiguamiento pueden ser longitudinales o laterales con respecto a la dirección de avance de la corriente de tránsito.

5.2.3.7.1 Espacio de amortiguamiento longitudinal

El espacio de amortiguamiento longitudinal puede ser colocado en la parte inicial del carril cerrado, antes de la zona de trabajo. Cuando se coloca un vehículo de protección antes de la zona de trabajo, sólo el área aguas arriba del vehículo constituye un espacio de amortiguamiento. El espacio de amortiguamiento longitudinal, deberá ser utilizado donde el carril cerrado separa las corrientes de tránsito opuestas. Típicamente, se forma como una isla divisoria y está definido por los dispositivos de canalización. En el siguiente cuadro (ver **Tabla 5.2**) se presenta una guía para definir la longitud de los espacios de amortiguamiento longitudinales.

Tabla 5.2 Para definir la longitud de espacios de amortiguamiento longitudinales

Velocidad (km/h)	Longitud (m)	Velocidad (km/h)	Longitud (m)
30	10	70	65
40	15	80	85
50	25	90	100
55	35	95	125
65	50	105	150

Nota: el valor de la velocidad corresponde al limite establecido o a la velocidad del percentil 85. Fuera de la hora pico, antes de que se inicien los trabajos.

Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de SIECA, Capítulo 6, Sección 6.3.2.3.

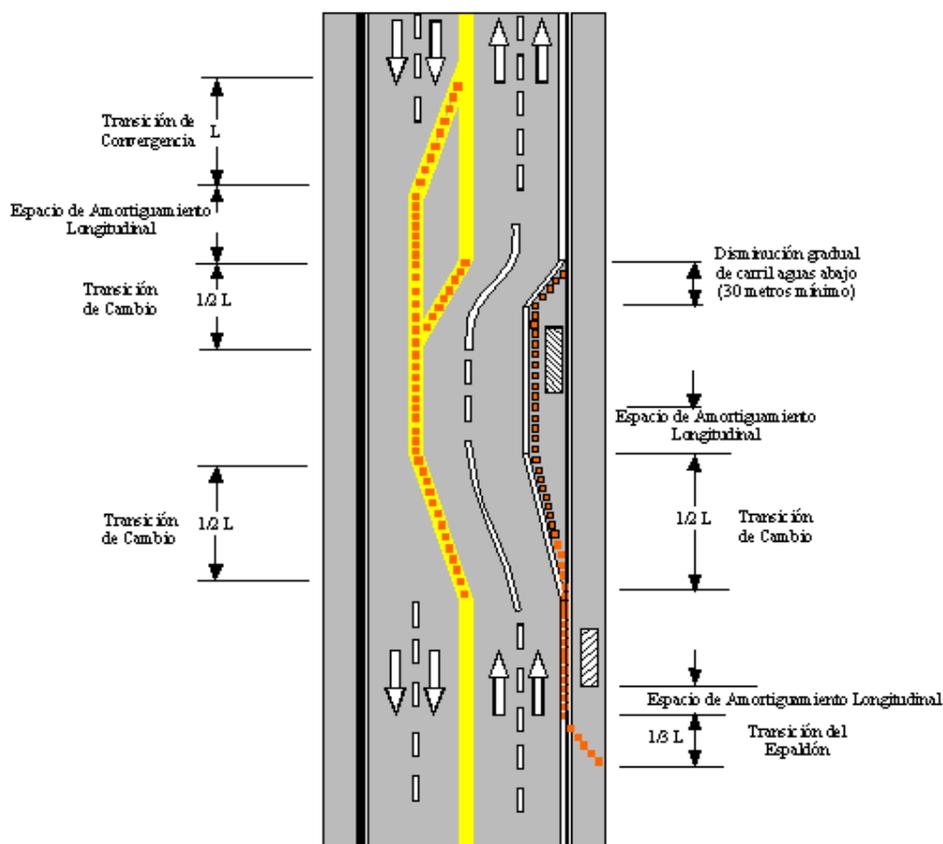


Fig. 5.8 Espacios de amortiguamiento

5.2.3.7.1 Espacio de amortiguamiento lateral

Un espacio de amortiguamiento lateral puede ser utilizado para separar el área del tránsito de la zona de trabajo. También puede servir para separar un área potencialmente peligrosa, tal como una excavación o tramos sin pavimento. El espacio de amortiguamiento lateral también puede ser utilizado entre dos carriles, particularmente cuando por ellos viajan corrientes opuestas. El ancho del espacio del amortiguamiento lateral deberá ser determinado mediante criterio ingenieril.

5.2.3.8 Espacio de almacenamiento de vehículos de atención de incidentes

Cuando los trabajos tienen lugar en una carretera congestionada de alto volumen, dentro del área urbana, opcionalmente se pueden reservar espacios para almacenar vehículos de emergencia (por ejemplo, ambulancias o grúas para el traslado de vehículos con desperfectos mecánicos) para responder rápidamente a los incidentes que tengan lugar. El espacio de almacenamiento normalmente se establece al principio o al final del área de actividades o en ambos extremos. El área de almacenamiento de vehículos de emergencia no deberá extenderse hasta ningún punto del espacio de amortiguamiento.

5.2.3.9 Área de finalización

El área de finalización se utiliza para devolver al tránsito a su trayectoria normal. El área de finalización se extiende desde el extremo aguas abajo de la zona de trabajo hasta la señal de “FINAL DE CONSTRUCCIÓN”, o de “FINAL DE TRABAJOS EN LA VÍA”, si se instala cualquiera de estas señales informativas. Las condiciones pueden ser tales

que instalar la señal “FINAL DE TRABAJOS EN LA VÍA” no sea útil. Por ejemplo, la señal “FINAL DE TRABAJOS EN LA VÍA” no deberá utilizarse si existe otra zona de control temporal de tránsito a menos de 1.5 km del final de la zona de trabajo, en área rurales, o a menos de 400 m en áreas urbanas. Para operaciones normales de mantenimiento en horas del día la señal “FINAL DE TRABAJOS EN LA VÍA” es opcional.

5.3 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD PARA LOS TRABAJADORES

La seguridad de los trabajadores que realizan las distintas tareas dentro del área de trabajo es de igual importancia que la seguridad del público que atraviesa dicha área. Las áreas de trabajo presentan condiciones temporales que cambian constantemente y que son inesperadas para el viajero. Además, estas condiciones del área de trabajo casi siempre presentan situaciones que resultan confusas para el conductor. Por ese motivo se crea un grado de vulnerabilidad aún mayor para el personal en o cerca de la vía.

Resulta de particular importancia mantener las áreas de trabajo con las restricciones mínimas que sea posible, por medio de dispositivos de control de tránsito estandarizados y que operen con claridad, de modo que llamen la atención de los conductores y dirijan el tránsito en forma efectiva.

A continuación se presentan elementos clave de la administración de control de tránsito que deberán ser considerados en cualquier procedimiento para garantizar la seguridad del trabajador:

- **Adiestramiento:** Todos los trabajadores deberán recibir adiestramiento sobre como trabajar cerca del tránsito de tal forma que se minimice su vulnerabilidad. Además, los trabajadores con responsabilidad de control de tránsito específica deberán ser capacitados en técnicas de control de tránsito y colocación y uso de dispositivos.
- **Vestuario de trabajo:** Los trabajadores expuestos al tránsito deberían vestir con colores brillantes, altamente visibles, similares a los que deberán utilizar los banderilleros. Como mínimo, los trabajadores deberán usar chalecos retroreflectivos de seguridad, preferiblemente de color amarillo, anaranjado, amarillo limón fuerte, plateado o blanco retroreflectivo de alta intensidad, o una combinación de estos colores.
- **Barreras:** Las barreras deberán ser colocadas a lo largo de los espacios de trabajo, dependiendo de factores como claro lateral entre los trabajadores y el tránsito adyacente, velocidad del tránsito, duración de las operaciones, hora del día y volumen de tránsito.
- **Reducción de velocidad:** En situaciones altamente vulnerables, se deberá dar consideración a la reducción de la velocidad del tránsito a través de señales reglamentarias que definan una zona de velocidad reducida; la disminución gradual del ancho de los carriles (efecto de túnel); regulación de la policía de tránsito; o uso de banderilleros.
- **Control de la policía de tránsito:** En situaciones de trabajo altamente vulnerables, en particular aquellas de relativa corta duración, el emplazamiento de unidades

policiales resalta la atención de los usuarios y es muy probable que cause una reducción en la velocidad de marcha.

- **Iluminación:** Para trabajos nocturnos la iluminación de las aproximaciones y el área de trabajo permite al conductor una mejor comprensión de las restricciones que se han impuesto. Se debe tener cuidado para asegurar que la iluminación no cause deslumbramiento.
- **Dispositivos especiales:** El uso discrecional de dispositivos de control y prevención especiales puede ser útil para ciertas situaciones difíciles. Estos incluyen reductores de velocidad de superficie rugosa, señales con mensaje variable, faros luminosos de identificación de peligro, banderas y luces preventivas. Se pueden utilizar dispositivos de prevención auditivos que se activen automáticamente cuando se aproxime un vehículo fuera de control. El uso exagerado o mal uso de los dispositivos y técnicas especiales puede reducir en forma significativa la efectividad de tales dispositivos.
- **Información al público:** El comportamiento de los conductores en las zonas de trabajo puede ser mejorado a través de información previamente difundida al público por los medios de comunicación. Esta actividad como mínimo debe incluir la naturaleza del trabajo, el tiempo y duración de su ejecución y los efectos anticipados sobre la corriente de tránsito y las posibles rutas alternas o modos alternos de viaje. Tales programas de relaciones públicas generalmente provocan una disminución significativa del tránsito, con lo cual se reduce la frecuencia de

conflictos y hasta puede permitir el cierre temporal de un carril para aumentar el área de amortiguamiento.

- **Cierre de vías:** Si existen rutas alternas adecuadas para manejar el tránsito desviado, la carretera o camino puede ser cerrado temporalmente durante las horas de mayor riesgo para los trabajadores. Con esta medida no solo se ofrece mayor seguridad laboral para el trabajador sino que también se facilita la pronta terminación del proyecto, reduciéndose así la vulnerabilidad de la fuerza laboral.

Las distintas técnicas de control de tránsito deberán ser aplicadas por personal calificado, respaldados por estudios de ingeniería, acompañado de sentido común y un sólido criterio ingenieril.

5.3.1 Control mediante señales de mano

La función primordial de los procedimientos de control de tránsito mediante señales de mano es lograr el movimiento seguro y expedito de vehículos y peatones a través o alrededor de las zonas de control temporal de tránsito, al mismo tiempo que se protege a los trabajadores y al equipo.

5.3.2 Requisitos de los banderilleros

Debido a que los banderilleros son responsables de la seguridad del público y tienen un mayor contacto con los usuarios con respecto a todos los trabajadores en la zona de trabajo, ellos deberán tener los siguientes requisitos mínimos:

- Sentido de responsabilidad por la seguridad del público y los trabajadores.

- Adiestramiento formal en prácticas de seguridad de control de tránsito.
- Inteligencia media.
- Buena condición física, incluyendo vista y audición.
- Agilidad mental y la capacidad de reaccionar en caso de emergencia.
- Cortés pero con carácter firme.
- Buenas costumbres e higiene.

5.3.3 Vestuario de alta visibilidad

Para la jornada diurna el chaleco, camiseta o chaqueta que use el banderillero deberá ser de color anaranjado, amarillo, amarillo limón fuerte o versiones fluorescentes de estos colores. Para trabajo nocturno las prendas de vestir deberán ser retroreflectivas. Los materiales retroreflectivos deberán ser anaranjado, amarillo, blanco, plateado o amarillo verde fuerte, o una versión fluorescente de estos colores y deberán tener una distancia mínima de visibilidad de 300 metros.

La ropa retroreflectiva deberá estar diseñada para identificar claramente a quien lo use como una persona y ser visible a través de un amplio rango de movimientos corporales.

Los Inspectores o Policías de Tránsito debidamente uniformados pueden servir como banderilleros en algunas situaciones, tales como en una intersección urbana donde la regulación de los movimientos de tránsito es importante. Los Inspectores o Policías de Tránsito también pueden prestar sus servicios en autopistas donde el tránsito es canalizado alrededor de los sitios de trabajo y resulta necesario asegurarse que las velocidades establecidas sean respetadas. Para labores nocturnas y en condiciones de

baja visibilidad, los Inspectores o Policías de Tránsito deberán usar prendas o chalecos de seguridad como los descritos anteriormente.

5.3.4 Dispositivos para señales de mano

Los dispositivos de señales de mano tales como las paletas de “ALTO” o “DESPACIO”, luces y banderas rojas, son utilizadas para controlar el tránsito a través de zonas temporales de trabajo. Las paletas de “ALTO” o “DESPACIO”, dan al conductor una guía más efectiva que las banderas rojas, y deberán ser el dispositivo primordial de las señales de mano. La paleta estándar deberá tener 46 cm de ancho, forma octogonal, con letras de por lo menos 15 cm de alto. La paleta deberá tener un mango rígido. Esta señal de mano deberá ser fabricada de material semirígido liviano. El color de fondo de la cara con la leyenda “ALTO” deberá ser rojo con ribetes y letras blancas. Para mejorar la visibilidad, las paletas de “ALTO” o “DESPACIO” pueden ser modificadas para incorporar en la cara que tiene la leyenda con una o dos luces blancas intermitentes simétricamente colocadas en cualquiera de los lados, o arriba y abajo de la leyenda “ALTO”. Esta luz puede ser activada mediante un interruptor de prendido y apagado. El color de fondo de la cara con la leyenda despacio deberá ser anaranjada con ribetes y letras de color negro. Para uso nocturno la paleta de “ALTO” o “DESPACIO” deberá ser retroreflectiva en la misma forma que las señales de tránsito convencionales.

El uso de banderas (ver **Fig. 5.9**) deberá limitarse a situaciones de emergencia y a sitios de baja velocidad o bajo volumen donde la situación puede ser controlada de mejor forma por un sólo banderillero.

La banderola deberá de cumplir con las especificaciones mínimas como: fabricada en tela color rojo y llevara dos franjas en forma de (X) de material reflectivo color lima limón de 2.54 cms. de ancho, con una reflectividad inicial de 700 candelas lux por metro cuadrado, acoplada a un bastón de 60 cms. de longitud total.

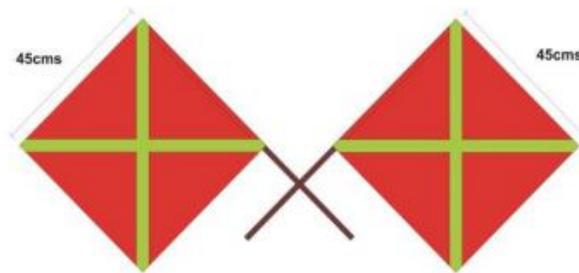


Fig. 5.9 Especificaciones para banderolas

5.3.4.1 Procedimientos para señales de mano

Los siguientes métodos de señalización manual con las paletas de “ALTO” o “DESPACIO” deberán ser utilizados:

- **Para detener el tránsito:** El banderillero deberá colocarse frente a la corriente de tránsito y extender la paleta con la señal de “ALTO” en una posición estacionaria con el brazo extendido horizontalmente alejándose del cuerpo. El brazo libre deberá alzarse con la palma de la mano hacia el tránsito que se aproxima.
- **Para indicar al tránsito detenido que continúe:** El banderillero deberá colocarse de frente al tránsito con la paleta de “DESPACIO” sostenida en una posición estacionaria con el brazo extendido horizontalmente alejándose del cuerpo. El banderillero deberá mover la mano libre para indicar al tránsito que continúe.

- **Para alertar o desacelerar el tránsito:** El banderillero deberá colocarse frente a la corriente de tránsito y extender la paleta con la señal de “DESPACIO” en una posición estacionaria con el brazo extendido horizontalmente alejándose del cuerpo. El banderillero deberá mover la mano libre hacia arriba y hacia abajo, con la palma hacia abajo indicando que el vehículo debe ir más despacio.

Se deberán utilizar los siguientes métodos para el uso de banderas:

- **Para detener el tránsito:** El banderillero deberá colocarse frente a la corriente de tránsito y extender la bandera horizontalmente sobre el carril de tránsito en posición estacionaria, con el brazo extendido horizontalmente alejándose del cuerpo, de tal forma que la totalidad del área de la bandera es visible colgando debajo del asta. El brazo libre deberá alzarse con la palma de la mano hacia el tránsito que se aproxima.
- **Para indicar al tránsito detenido que continúe:** El banderillero deberá colocarse de frente al tránsito con la bandera y el brazo hacia abajo con respecto a la visual del conductor. El banderillero deberá mover la mano libre, no la bandera, para indicar al tránsito que continúe.
- **Para alertar o desacelerar el tránsito:** El banderillero deberá colocarse frente a la corriente de tránsito y mover suavemente la bandera, barriendo el espacio entre la posición extendida del brazo a nivel del hombro hasta una posición vertical del brazo apuntando hacia abajo, sin subir el brazo más arriba de la posición horizontal (ver **Fig. 5.10**).

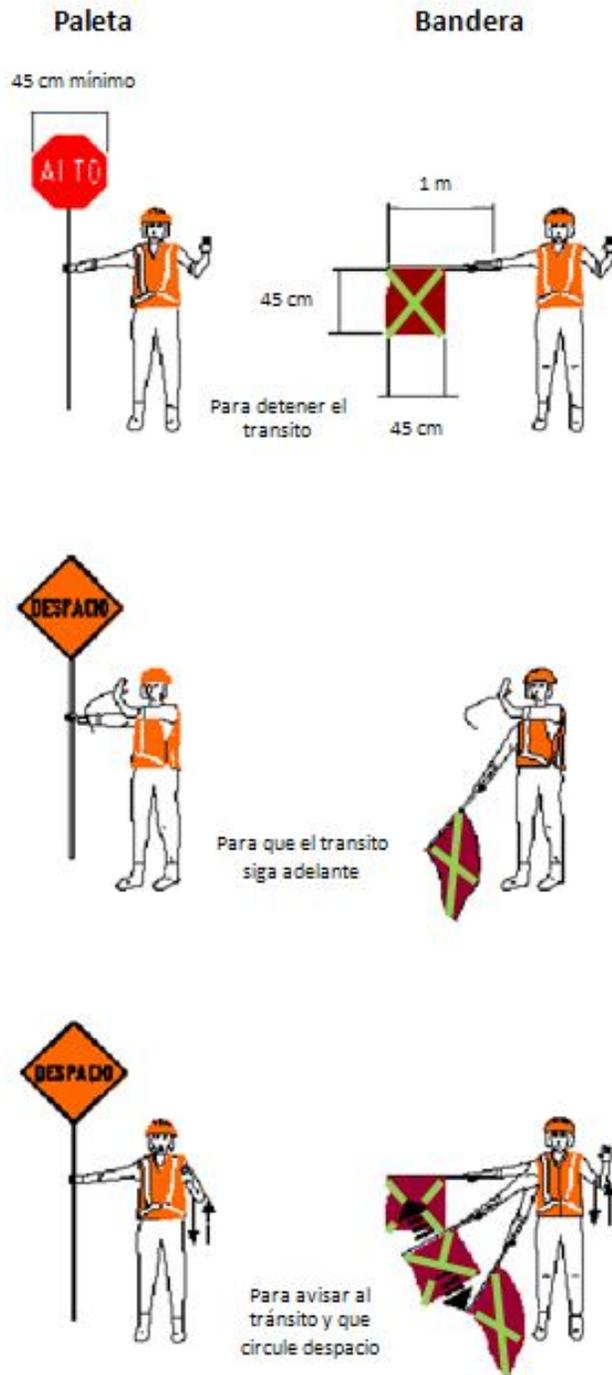


Fig. 5.10 Procedimientos para señales de manos

5.3.4.2 Sitios de Abanderamiento

La estación del banderillero debe estar localizada en un sitio en que los usuarios de la carretera tengan suficiente distancia para parar en el sitio adecuado (ver **Tabla 5.3**).

Tabla 5.3 Distancia del banderillero de la zona de trabajo referente a la velocidad de la calle o carretera. (Nota: El valor de la velocidad corresponde al límite establecido o a la velocidad del percentil 85, fuera de la hora pico, antes de que se inicien los trabajos).

(km/h)	(m)
30	35
40	50
50	65
60	85
70	105
80	130
90	160

Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de SIECA, Capítulo 6, Sección 6.3.2.3.

Los puntos de abanderamiento deberán estar localizados con suficiente anticipación del área de trabajo para que el tránsito que se aproxima cuente con suficiente distancia para detenerse antes de entrar al espacio de trabajo (ver **Fig. 5.11**).

Estas distancias pueden ser incrementadas para pendientes descendentes.

El banderillero debe pararse ya sea en el hombro adyacente al tránsito que está siendo controlado o en el carril bloqueado. En sitios donde existan obstrucciones puntuales el banderillero se puede colocar en el hombro opuesto a la sección bloqueada para que cumpla su función en forma efectiva. El banderillero debe pararse únicamente en el carril que está siendo utilizado por el tránsito en movimiento hasta después de que esa

corriente se haya detenido, y el banderillero debe ser visible a la otra corriente y capaz de comunicarse con los conductores. Debido a las distintas configuraciones geométricas de las vías, los banderilleros deberán ser claramente visibles al tránsito que se aproxima en todo momento.

Por esta razón el banderillero deberá pararse solo, y es por ese motivo que no se debe permitir la congregación de otros trabajadores en el sitio de abanderamiento. El banderillero debe estar ubicado con suficiente anticipación respecto al sitio de trabajo para prevenir a sus compañeros (mediante un silbato, sirena o bocina, etc.) de cualquier peligro inmediato, tal como vehículos fuera de control.

Bajo ciertas condiciones geométricas o de operación, se puede necesitar más de un sitio de abanderamiento para cada dirección. De noche, los puntos de abanderamiento deben estar iluminados. En carreteras o caminos de dos carriles con volúmenes bajos o de bajas velocidades, los cierres de carriles en tramos cortos donde existe una adecuada distancia de visibilidad se pueden realizar con un solo banderillero.

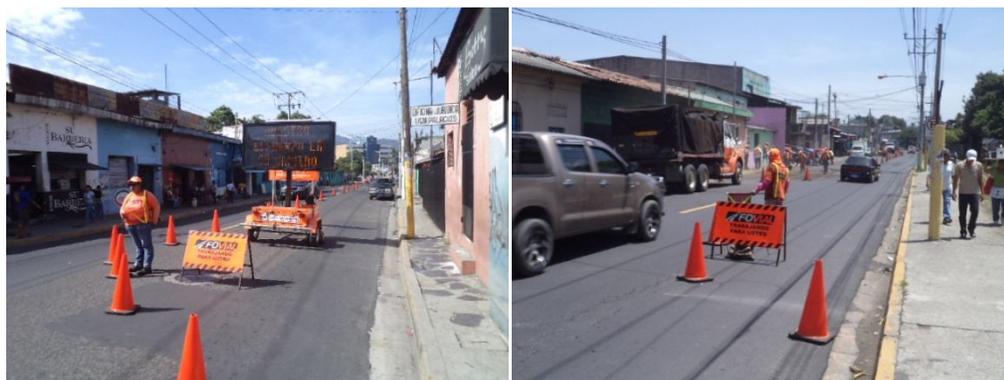


Fig. 5.11 Sitio de banderillero

Cuando no exista visibilidad directa entre los banderilleros, se deben utilizar equipos de radio u otros que garanticen la comunicación entre ellos, en curvas pronunciadas se tendrán que utilizar un tercer banderillero.

5.4 DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRANSITO

El diseño y aplicación de los dispositivos de control de tránsito utilizados en áreas de trabajo temporal se describen a continuación. Un dispositivo de control de tránsito es una señal, semáforo, marca en el pavimento u otro dispositivo colocado en o adyacente a la calle o carretera para regular, prevenir o guiar el tránsito.

Cuando se especifica el color anaranjado también se pueden usar los color es rojo anaranjado fluorescente o amarillo anaranjado fluorescente. Las versiones fluorescentes del anaranjado proveen una mayor visibilidad que el color anaranjado estándar, especialmente durante el crepúsculo o en condiciones de baja iluminación. El diseño de los dispositivos y señales para la protección de obra deberá reunir al menos, las siguientes condiciones y requisitos:

- Satisfacer una necesidad importante de interés general;
- Que permita llamar, debidamente, la atención a los usuarios (conductores, pasajeros, peatones, etc).
- Transmitir un mensaje claro y breve, lo suficientemente visible;
- Estar ubicado en el lugar apropiado para garantizar la reacción oportuna de los usuarios;
- Que se entienda su acatamiento obligatorio por todos los usuarios;

- Que se ajuste a los diseños, cuadros gráficos y esquemas, establecidos por la autoridad competente.

5.4.1 Señales Verticales

Las señales para el control temporal de tránsito transmiten mensajes tanto generales como específicos, por medio de palabras o símbolos y tienen las mismas tres categorías de todas las señales de tránsito: señales de reglamentación, señales de prevención y señales de información y guía.

5.4.2 Señales de Reglamentación

Las señales de reglamentación indican al conductor la prioridad de paso, sobre la existencia de ciertas limitaciones, prohibiciones y restricciones en el uso de la vía, según las leyes y reglamentos en materia de tránsito (ver **Fig. 5.12**). La violación de la regulación establecida en el mensaje de este tipo de señales constituye una contravención que es sancionada conforme a la ley o reglamento de tránsito. Este tipo de infracciones se sanciona con multas, el retiro de la circulación del vehículo o la suspensión de la licencia. Debido a las obligaciones legales que imponen las señales de regulación sobre todos los conductores, este tipo de señal deberá colocarse sólo con el debido permiso de la autoridad competente.



Fig. 5.12 Señal de reglamentación utilizada en mantenimiento de baches

Si la zona de control temporal de tránsito requiere de medidas de regulación distintas a las que habitualmente están vigentes, se debe remover o cubrir temporalmente las señales de reglamentación existentes, y sustituirlas por las señales de reglamentación temporal adecuadas. Las señales de reglamentación, independientemente de su modalidad, deberán ser colocadas en el punto mismo donde existiere la restricción o prohibición. En las siguientes páginas se presentan las señales de regulación que comúnmente se utilizan en zonas de control temporal de tránsito (ver **Fig. 5.13** y **Fig. 5.14**).



Fig. 5.13 Diferentes tipos de señales de reglamentación



Fig. 5.14 Señal de reglamentación sugeridas por FOVIAL

5.4.3 Señales de Prevención

Las señales de prevención en zonas de control temporal de tránsito se emplean con el objeto de prevenir a los usuarios sobre la existencia de una situación peligrosa en la carretera o adyacente a ella y la naturaleza de la misma, así como el proteger a peatones, trabajadores y equipo de trabajo en áreas de trabajo. Las señales de prevención exigen precaución de parte del conductor ya sea para disminuir la velocidad o para que efectúe otras maniobras que redundan en su beneficio (ver **Fig. 5.15**).



Fig. 5.15 Señal de prevención utilizada en trabajos de mantenimiento

Con ciertas excepciones, las señales de prevención tendrán forma cuadrada con una diagonal vertical, esquinas redondeadas con ribetes, símbolo y mensaje en color negro sobre fondo anaranjado con acabado retrorreflectivo. El color de fondo anaranjado es de uso exclusivo para el manejo de incidentes y situaciones temporales. Sin embargo, en emergencias, las señales de fondo amarillo que estén disponibles se pueden utilizar. Para velocidades de 60 km/h o menores, los tableros de las señales deberán ser de 91 cm x 91 cm, mientras que para velocidades mayores de 60 km/h las dimensiones serán de 1.2 m x 1.2 m.

Las señales preventivas se colocarán antes del sitio en donde existiere el peligro que pretende señalar, y a una distancia que dependerá de la velocidad obligada que exijan las condiciones del proyecto de que se trate, o de la establecida por la autoridad competente para casos similares.

A Continuación se presentan las señales de regulación que comúnmente se utilizan en zonas de control temporal de tránsito (ver **Fig. 5.16**). Las señales de prevención de fondo color amarillo que se encuentren dentro de la zona de control de tránsito y que todavía mantengan su función, deben permanecer en su lugar.

Cuando las condiciones de la vía lo permitan, las señales de prevención deberán colocarse a distancias variables, con anticipación a la zona de trabajo, dependiendo del tipo de carretera, su ubicación (urbana, rural) y la velocidad. Cuando se utilicen series de dos o más señales de prevención, se deberán colocar de acuerdo con el espaciamiento sugerido en la siguiente tabla (ver **Tabla 5.4**).

Tabla 5.4 Espaciamiento sugerido entre señales de prevención

Tipo de carretera	Distancia o espaciamiento entre señales (m)		
	Señales en Zona de Transición	Señales Agua Arriba de Transición	Primeras Señales del Área de Control
Urbana baja velocidad	60	60	60
Urbana alta velocidad	100	100	100
Rural	150	150	150
Autopista/Vía Rápida	300	500	800

Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de SIECA, Capítulo 6, Sección 6.6.1.2.

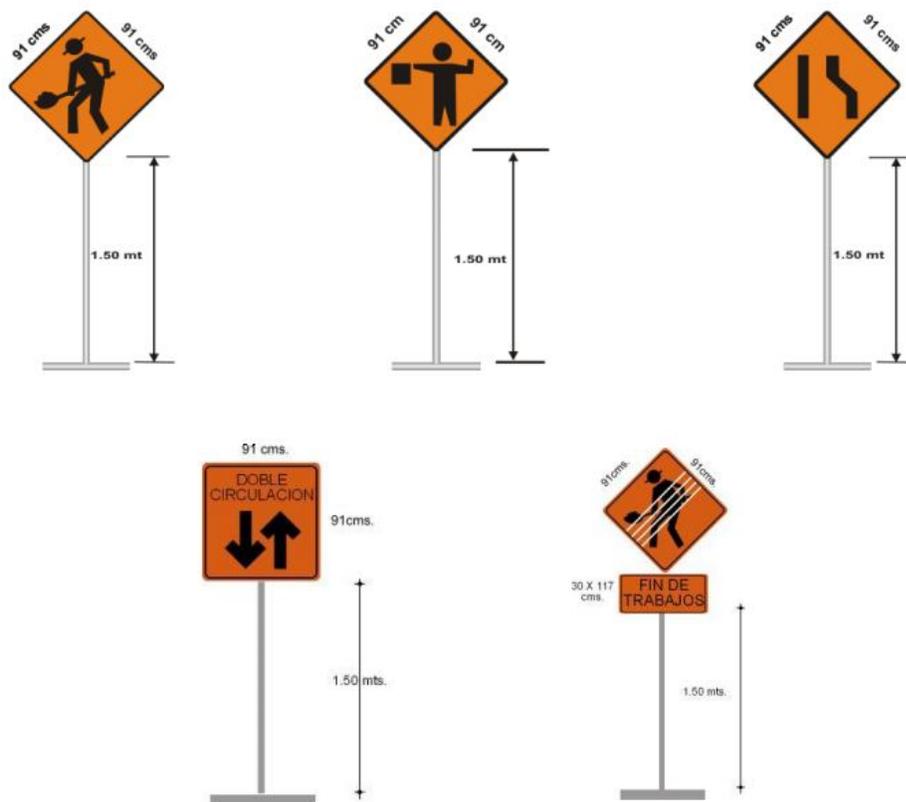


Fig. 5.16 Señales de prevención sugeridas por FOVIAL

5.4.4 Señales de Información

Las señales informativas tendrán por objeto guiar a los conductores en forma ordenada y segura, de acuerdo con los cambios temporales necesarios, durante la construcción, mantenimiento, conservación u otros trabajos que se realicen en las vías públicas y zonas adyacentes (ver **Fig. 5.17**).



Fig. 5.17 Señal de Información utilizada por FOVIAL

El tablero de las señales de información será rectangular, con las esquinas redondeadas y colocado con su mayor dimensión en forma horizontal. El radio de las esquinas será de cuatro centímetros, quedando el radio interior de dos centímetros para la curvatura del filete. El color de fondo del tablero será naranja, con acabado retroreflectivo, y el color para las leyendas, caracteres y orla será negro.

En las vías públicas las señales informativas se colocarán dentro del área de influencia de la obra o construcción de que se trate. De acuerdo con su ubicación longitudinal, dichas señales podrán ser previas, decisivas o confirmativas.

En las siguientes páginas se presentan las señales de información que se utilizan en zonas de control temporal de tránsito (ver **Fig. 5.18** y **Fig. 5.19**).



Fig. 5.18 Algunos ejemplos de señales de información

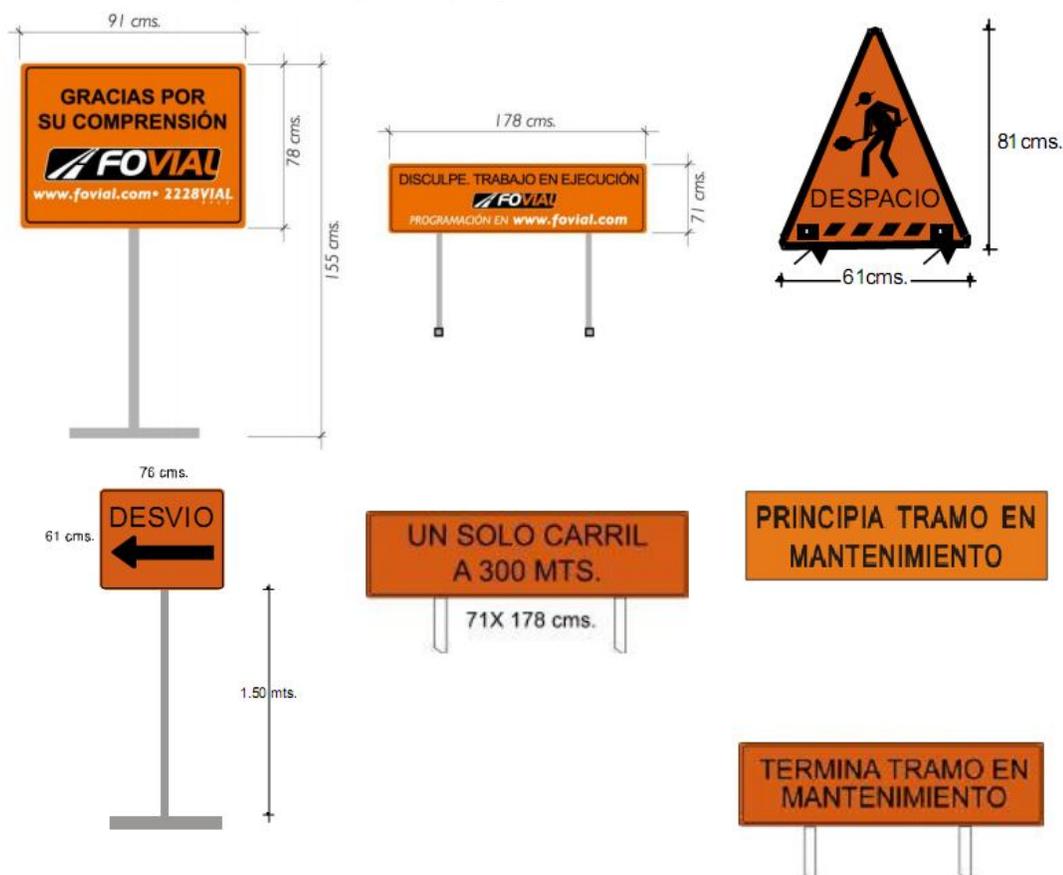


Fig. 5.19 Señales de información sugeridas por FOVIAL

La estabilidad de cada una de las señales verticales será responsabilidad del contratista. NO SE PERMITIRÁ EL USO DE PUBLICIDAD EN NINGÚN LUGAR DE LA SEÑAL A ACEPCIÓN QUE SEA DELENTE CONTRATISTA ASI LO ESPECIFIQUE. NO SE PERMITIRÁ TAMPOCO EL USO DE ROCAS U OTROS DISPOSITIVOS PARA LA FIJACIÓN DE LA SEÑAL (ver **Fig. 5.20**).



Fig. 5.20 Señal ubicada con mala estabilidad y con rocas

5.4.5 Otros Dispositivos de Control y Protección

5.4.5.1 Señales de Mensaje Variable

Las señales de mensaje variable son dispositivos de control de tránsito que permiten la flexibilidad de desplegar una variedad de mensajes, acorde con las necesidades de las autoridades a cargo de la administración de la vía. Este tipo de dispositivo puede ser fijo o portátil. Las señales de mensaje variable fijas se utilizan principalmente para el manejo de incidentes que ocurren con frecuencia en un punto o tramo de una carretera, tal como los derrumbes periódicos en carreteras de montaña durante la época lluviosa o en sitios donde existan problemas de contaminación, en especial del aire.

En este caso, la señal fija se debe ubicar al inicio de la carretera o del tramo sujeto a derrumbes o el incidente que corresponda, en un punto tal que los conductores puedan tomar un desvío o ruta alterna en forma oportuna.

Para el manejo del control temporal de tránsito en áreas de trabajo e incidentes que no son periódicos se utilizan las señales de mensaje variable portátiles. Este tipo de dispositivo se utiliza principalmente en autopistas de alta velocidad o de flujos vehiculares muy altos, en las que los trabajos provisionales pueden causar mucha congestión. Además, son muy útiles para el manejo de incidentes en este tipo de carreteras. En general, también se deberían utilizar cuando las condiciones del área de trabajo son muy variables de un día a otro.

Por las distintas tecnologías disponibles en el mercado internacional, no es posible definir un sólo estándar para este tipo de dispositivo. Sin embargo, aunque el panel de mensajes puede variar en tamaño, el mismo puede tener un despliegue de una, dos o tres líneas como máximo. En autopistas urbanas con alta densidad de tránsito es típico el uso de tres líneas de mensaje con un máximo de ocho caracteres por línea.

El módulo de cada carácter deberá tener una matriz con un ancho mínimo de 5 pixels y un alto mínimo de 7 pixels. Estos dispositivos deberán ser visibles desde una distancia de 800 m como mínimo, tanto de día como de noche (ver **Fig. 5.21**). El mensaje de cada señal deberá ser legible desde todos los carriles, a una distancia mínima de 200 m. Bajo condiciones de iluminación débil, la señal deberá ajustar automáticamente su fuente de luz para cumplir los requisitos de legibilidad antes establecidos.

El sistema de control deberá incluir la capacidad de programar distintos mensajes, los cuales puedan ser revisados por el programador antes de desplegarlos en el panel de la señal. Además, en caso de falta de alimentación eléctrica, el control deberá contar con una batería de respaldo para mantener en memoria los mensajes y otra información de operación previamente programada.

Las señales de mensaje variable deberán ubicarse antes que cualquier otra señal o dispositivo de control temporal de tránsito y no deberá sustituir ninguno de esos dispositivos o señales. Cuando se utilicen para informar de la existencia de desvíos o rutas alternas deberá colocarse con suficiente antelación al sitio de trabajo para permitir a los conductores la posibilidad de abandonar la ruta afectada en forma oportuna. Las señales de mensaje variable portátiles se colocan normalmente en el hombro. Cuando se requieran dos señales de este tipo para transmitir mensajes más largos, las mismas se deberán colocar del mismo lado de la vía y separadas por una distancia de por lo menos 300 m.

Los mensajes a desplegar en estos dispositivos deberán ser fácilmente entendibles por los conductores para permitir un tiempo adecuado para reaccionar y realizar las maniobras del caso. Los mensajes deberán ser diseñados tomando en consideración los siguientes principios:

- No se deben desplegar más de dos mensajes dentro de cada ciclo.
- Cada mensaje debe transmitir un sólo pensamiento.
- Los mensajes deben ser tan cortos como sea posible

- Cuando se utilicen abreviaciones, deberán ser de uso común y entendibles para todos los usuarios.
- El ciclo completo del mensaje deberá ser legible por lo menos dos veces para los conductores que viajen a la velocidad límite establecida; o a la velocidad del percentil 85 fuera del período pico, medida antes de que inicien los trabajos; o la velocidad de operación anticipada.
- Los mensajes no deben moverse ni horizontal ni verticalmente con respecto a la cara del panel.



Fig. 5.21 Pantalla electrónica

5.4.5.2 Paneles con Flechas Luminosas

Los paneles con flechas luminosas deben cumplir con los tamaños y especificaciones mostrados en la siguiente tabla (ver **Tabla 5.5**). Las señales de mensaje variable también pueden ser utilizadas para simular los paneles de flechas luminosas.

Tabla 5.5 Especificaciones de los Paneles con Flechas Luminosas

Tipo de panel	Tamaño mínimo(cm)	Distancia de legibilidad mínima	Numero mínimo de elementos
A	122x61	800m	12
B	152x76	1200m	13
C	244x122	1600m	15

Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de SIECA, Capítulo 6, Sección 6.7.2.

Los despliegues Tipo A son apropiados para uso en calles urbanas de baja velocidad. Los del Tipo B deberán ser usados en vías de velocidad intermedia y para operaciones de mantenimiento o áreas de trabajo móviles en carreteras de alta velocidad. Los paneles Tipo C están destinados para carreteras de alta velocidad, y proyectos de control temporal de tránsito en vías de alto volumen.

Para las obras en movimiento, como sello de grietas, la pantalla electrónica será obligatoria. Esta irá en la parte posterior de un vehículo auto propulsado y a la misma velocidad de los trabajos en ejecución (ver **Fig. 5.22**). Esta pantalla no será necesariamente alfanumérica.

**Fig. 5.22** Pantallas electrónicas montadas en vehículo

5.5 ESQUEMAS DE SEÑALIZACIÓN SUGERIDOS POR FOVIAL

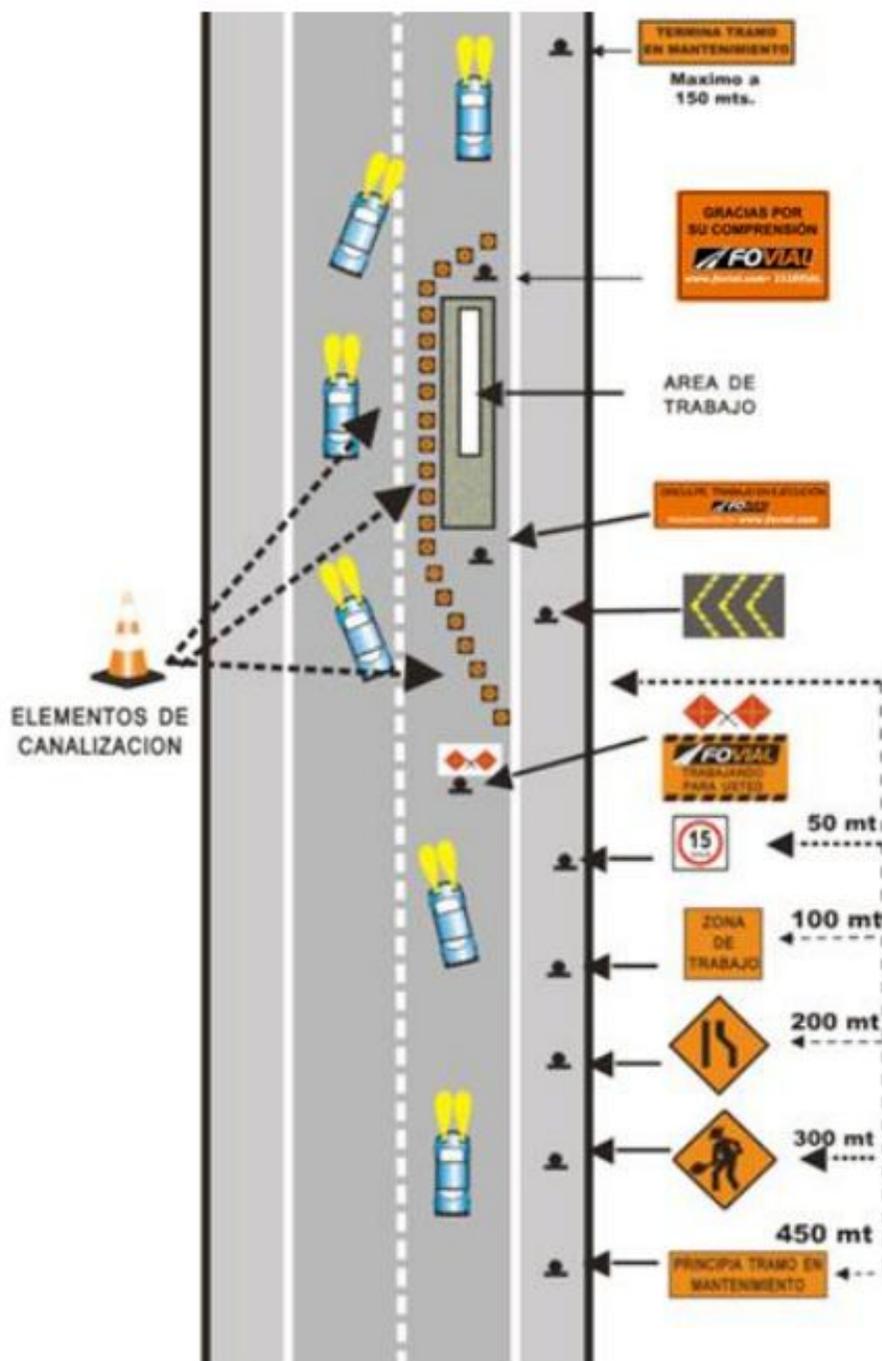


Fig. 5.23 Control Vehicular en Zona de Trabajo en Vía de Un Solo Sentido dos carriles
Fuente: Manual de Seguridad Vial e Imagen Institucional en Zonas de Trabajo, FOVIAL, 2012, Sección MS-14.

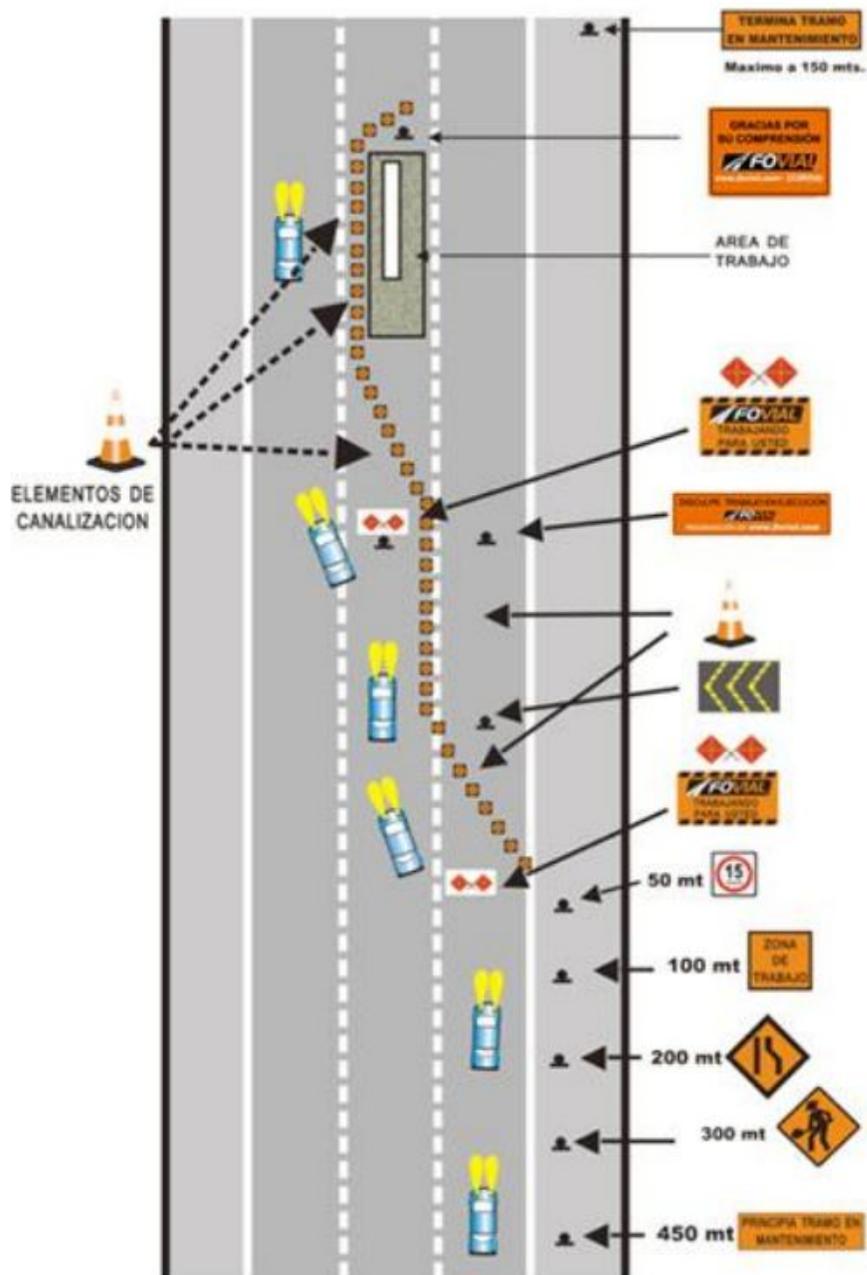


Fig. 5.24 Control Vehicular en Zona de Trabajo en Vía de Un Solo Sentido tres carriles
Fuente: Manual de Seguridad Vial e Imagen Institucional en Zonas de Trabajo, FOVIAL, 2012, Sección MS-14.

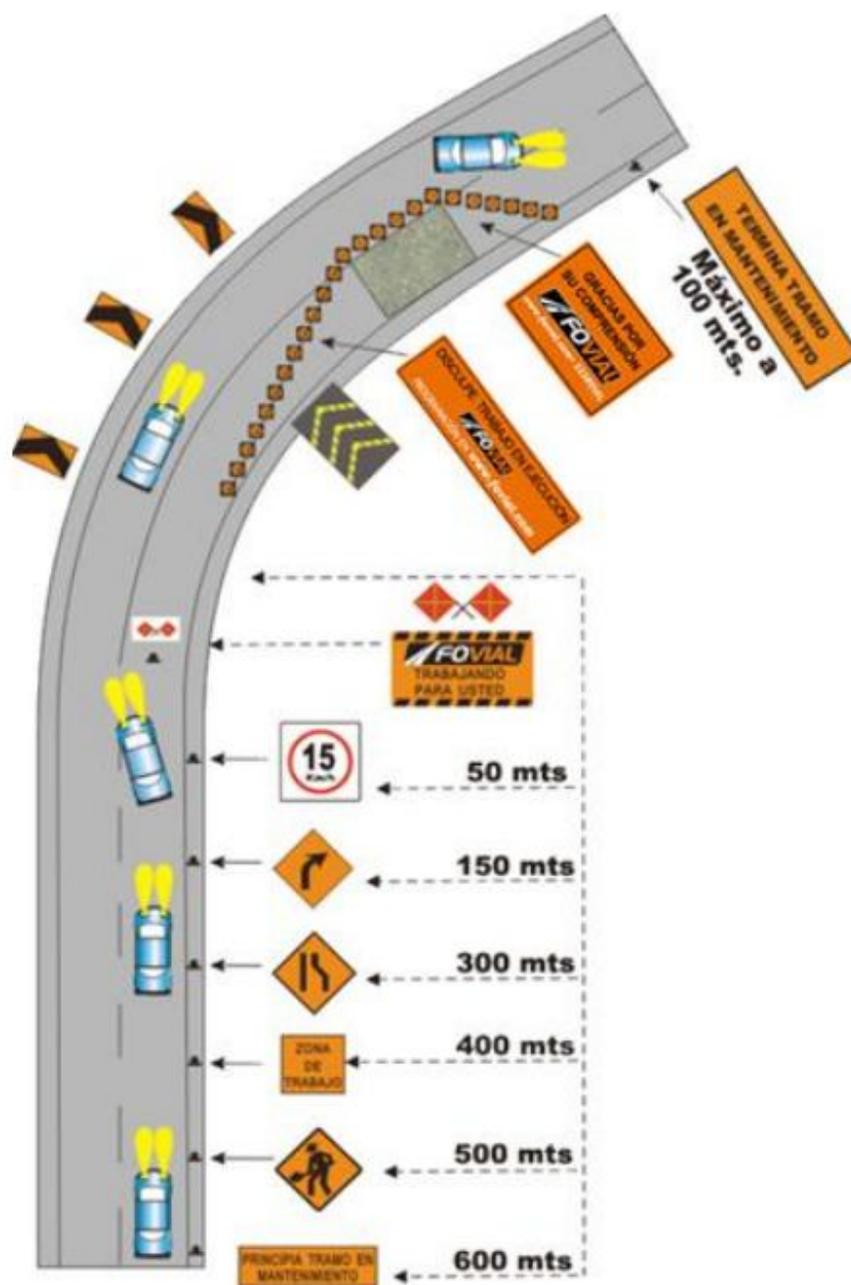


Fig. 5.26 Control Vehicular en Zona de Trabajo en Curva en un solo sentido dos carriles
 Fuente: Manual de Seguridad Vial e Imagen Institucional en Zonas de Trabajo, FOVIAL, 2012, Seccion MS-14.



Fig. 5.27 Control Vehicular en Zona de Trabajo en Curva Doble Vía
Fuente: Manual de Seguridad Vial e Imagen Institucional en Zonas de Trabajo, FOVIAT, 2012, Sección MS-14.

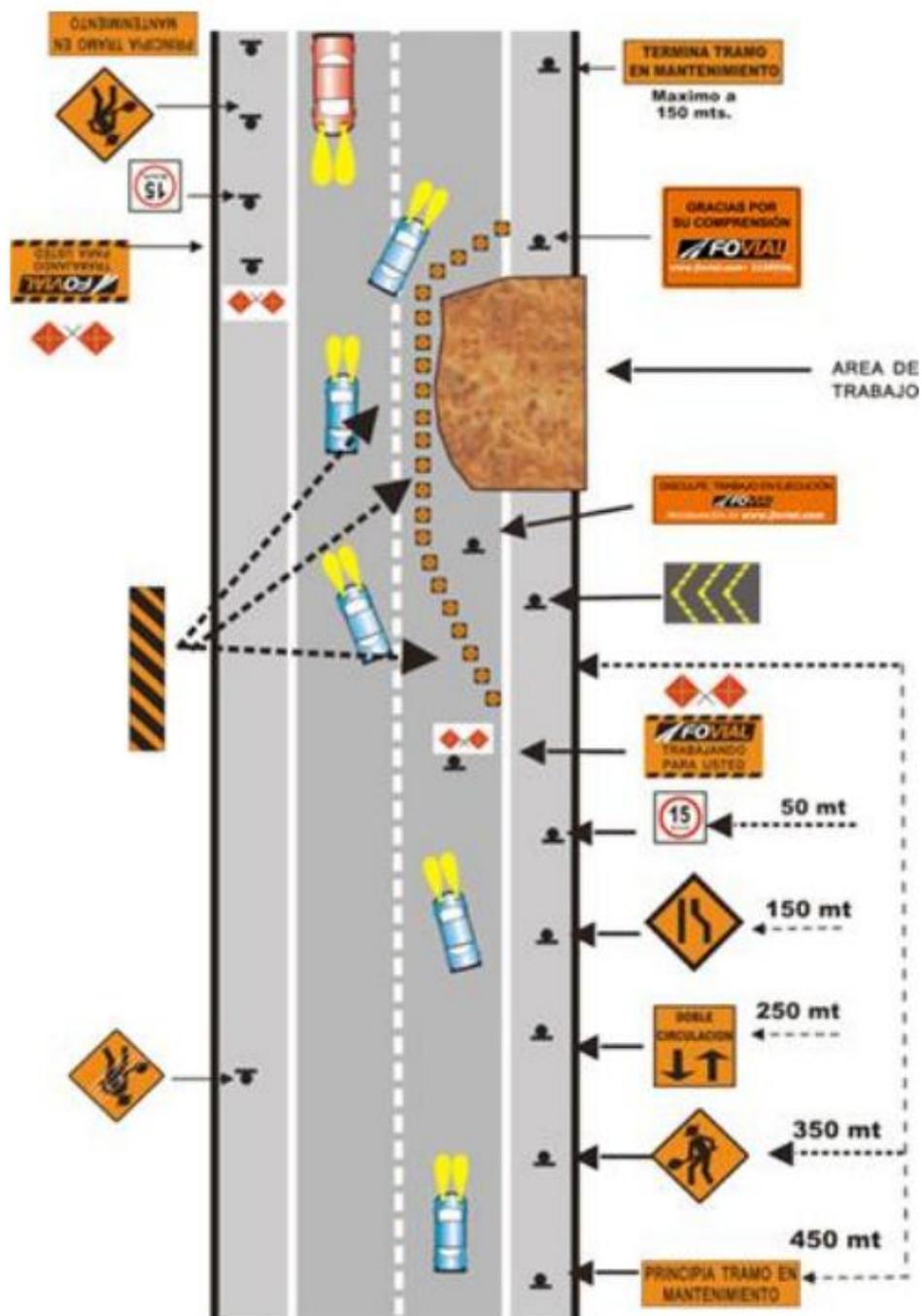


Fig. 5.28 Control Vehicular en trabajos de larga duración

Fuente: Manual de Seguridad Vial e Imagen Institucional en Zonas de Trabajo, FOVIAL, 2012, Sección MS-14.

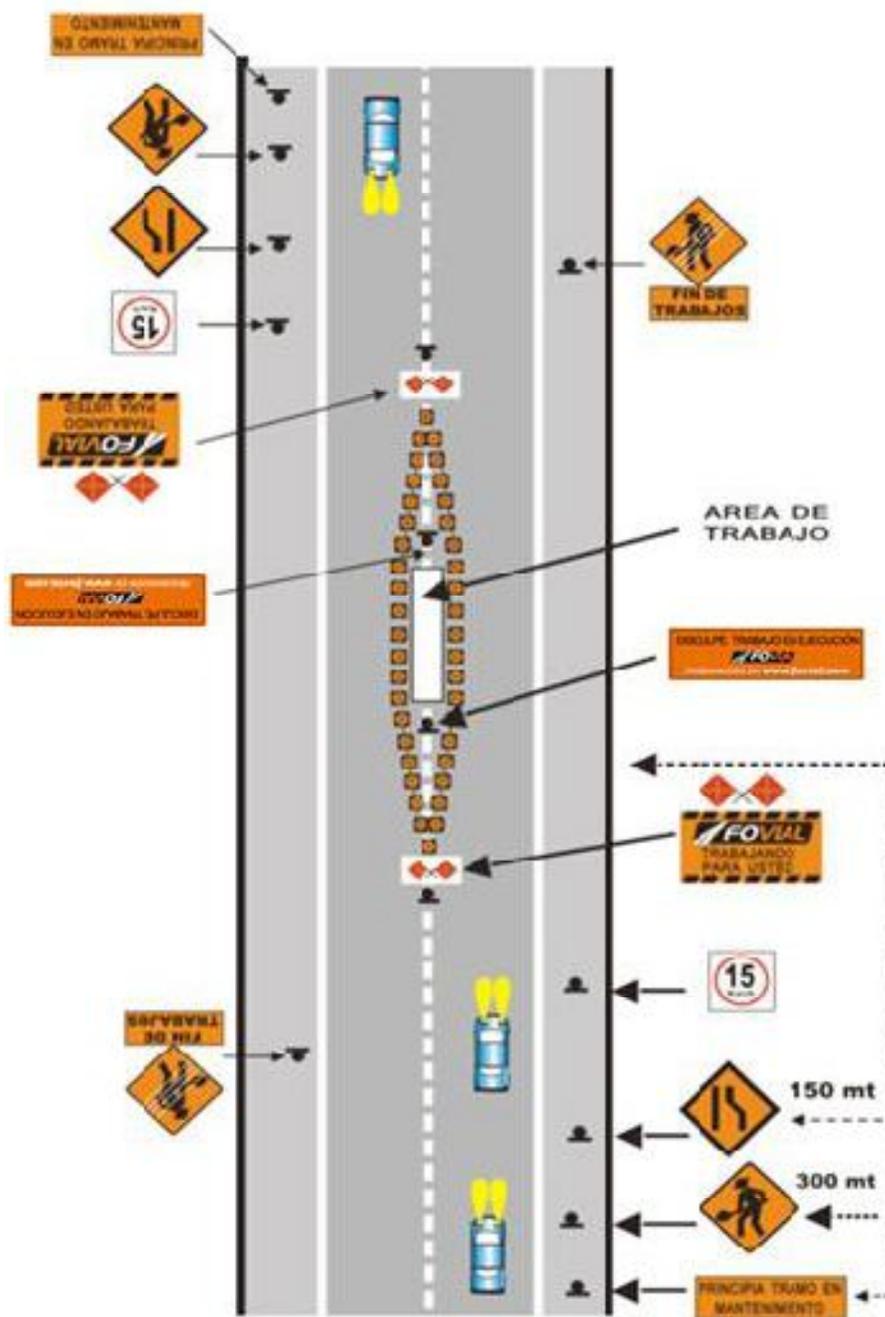


Fig. 5.29 Trabajos en el Centro de la Vía

Fuente: Manual de Seguridad Vial e Imagen Institucional en Zonas de Trabajo, FOVIAL, 2012, Sección MS-14.

(Señalización Horizontal, Viales, Sellos y Bacheo Móvil). Para los trabajos en Carretera de Obras en Movimiento, el vehículo que va al frente de la obra llevará luces de torreta color anaranjado, día y noche.

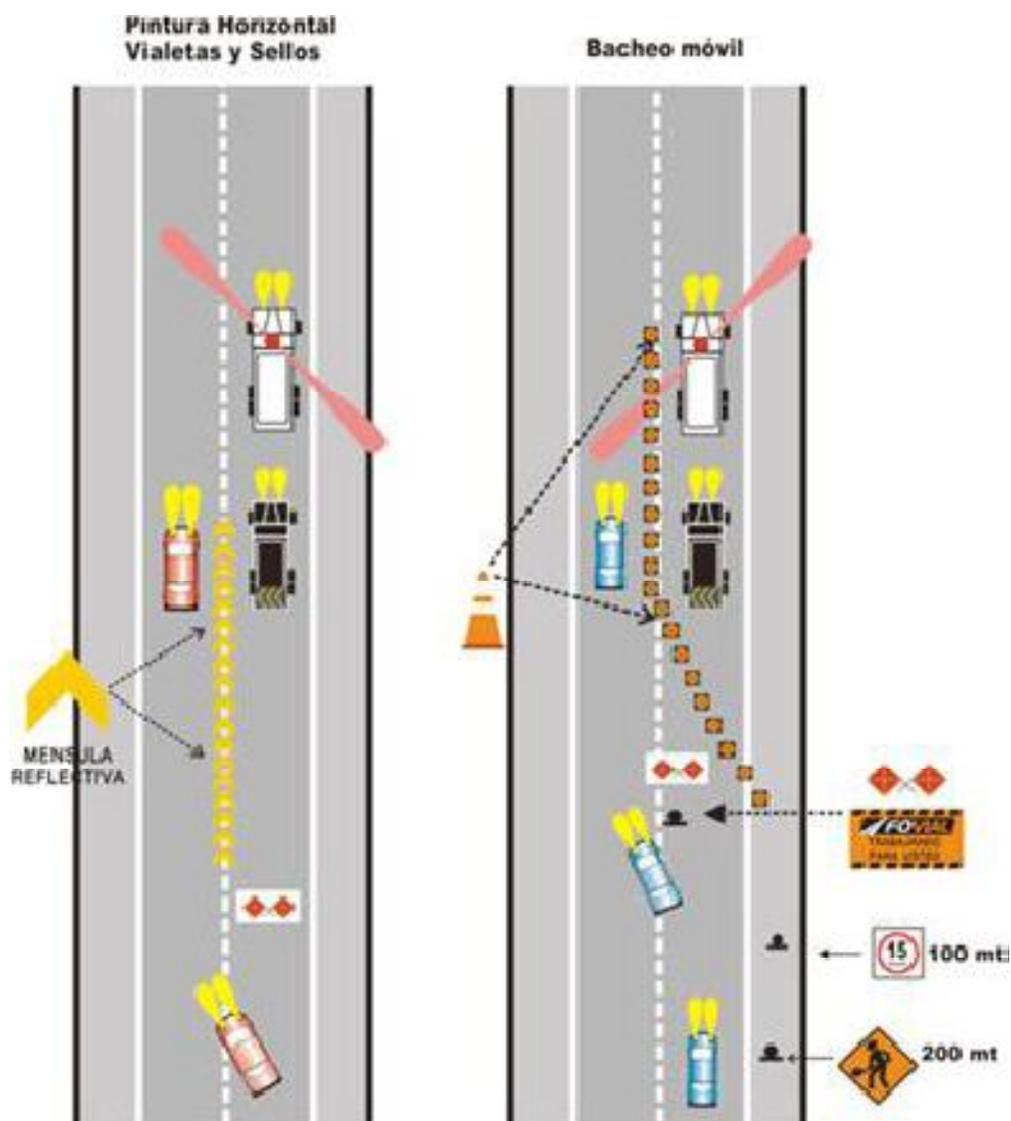


Fig. 5.31 Trabajos en Carreteras Obras en Movimiento

Fuente: Manual de Seguridad Vial e Imagen Institucional en Zonas de Trabajo, FOVIAL, 2012, Sección MS-14.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

6.1 CONCLUSIONES

- Las diversas instituciones que se encargan del mantenimiento vial en nuestro país, realizan algunas de las actividades de mantenimiento en las que se observan algunas deficiencias en materiales, equipos y procesos constructivos.
- En el mantenimiento vial el constructor es el encargado de su propio control de calidad y la supervisión es la que se encarga del aseguramiento de la calidad con la que los constructores ejecutan las obras.
- Toda actividad de mantenimiento vial debe poseer una adecuada señalización, la cual permita prevenir accidentes, tanto a los usuarios de la vía como al personal que ejecuta los trabajos de mantenimiento.
- Las normas utilizadas en El Salvador, todas tienen como fuente principal las normas ASTM y AASHTO; y no se cuenta con normas nacionales que tomen como base los variables (clima, cargas de tránsito, condiciones del suelo, etc.) propias del país.
- El proceso constructivo del mantenimiento vial con mezclas asfálticas tibias es similar al que se realiza con mezclas asfálticas calientes con la diferencia que las temperaturas de elaboración, colocación y compactación son menores en las mezclas asfálticas tibias.
- Las mezclas asfálticas tibias en nuestro país únicamente se han utilizado en tramos de prueba y no se ha masificado su uso por lo tanto actualmente no es empleada en el mantenimiento de vías.

6.2 RECOMENDACIONES

- Las empresas encargadas del mantenimiento vial, deben de mantener a su personal actualizado de las nuevas tecnologías que se pueden implementar en nuestro país, por medio de congresos, foros, convenciones, capacitaciones, seminarios, etc.
- El gobierno de El Salvador debería de fortalecer al Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), Ministerio de Obras Publicas (MOP) y Alcaldías, los cuales son los encargados del mantenimiento de nuestras vías y carreteras; con personal profesional, mano de obra calificada, equipo y materiales adecuados.
- Toda actividad de mantenimiento vial debe de ir precedido por una gestión vial adecuada, ya que por medio de esta se determina el momento más apropiado o precioso para actuar, y con esto generar menores costos de operación.
- Toda actividad de mantenimiento vial se debe realizar en condiciones climatológicas adecuadas, para que los procesos constructivos sean de una mayor calidad y que estas cumplan su objetivo.
- Los trabajos de mantenimiento vial deben de realizarse acatando todas las medidas de seguridad, para evitar perjuicios para los usuarios de las vías así como también para el personal que está ejecutando los trabajos.
- Realizar una base de datos de los mantenimientos realizados y el resultado de los mismos, con el objetivo de retroalimentar la conservación vial en El Salvador.

6.3 BIBLIOGRAFÍA

- MANUAL CENTROAMERICANO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS CON ENFOQUE DE GESTIÓN DE RIESGO Y SEGURIDAD VIAL, SIECA 2010.
- MANUAL CENTROAMERICANO DE DISPOSITIVOS UNIFORMES PARA EL CONTROL DEL TRANSITO, SIECA 2000.
- MANUAL DE SEGURIDAD VIAL E IMAGEN INSTITUCIONAL EN ZONAS DE TRABAJO, FOVIAL 2012.
- EL ASFALTO EN EL MANTENIMIENTO DE LOS PAVIMENTOS, INSTITUTO DEL ASFALTO 1970.
- CONDICIONES PARA PRACTICAS DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE MICROPAVIMENTOS, FHWA 1994.
- MANUAL DEL ASFALTO, INSTITUTO DEL ASFALTO 1973.
- CONDICIONES TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE VÍAS PAVIMENTADAS, FOVIAL 2012.

ANEXOS

Designación: D 6690 – 01

Especificaciones Estándar para Selladores de Juntas y Grietas, Aplicación en Caliente, para Pavimentos de Concreto y Asfalto^A

Este estándar se emite bajo la designación D 6690; el número que sigue inmediatamente después de la designación indica el año original de adopción o, si se trata de una revisión, el año de la última revisión. Un número en paréntesis indica el año de la última reaprobación. Un épsilon como subíndice (E) indica un cambio editorial desde la última revisión o reaprobación.

1. Alcance

1.1 Esta especificación cubre a los selladores de juntas y grietas del tipo de aplicación en caliente diseñados para usarse en el sellado de juntas y grietas en Pavimentos de Concreto de Cemento Portland y Concreto Asfáltico.

1.2 Los valores indicados en unidades SI son las estándar.

1.3 Este estándar no pretende cubrir las propiedades requeridas para los selladores para uso en pavimentos de concreto de Cemento Portland o asfálticos que estén expuestos a derrames de gasolina de aeronaves u otro tipo de combustible, tales como los usados en áreas de reabastecimiento y mantenimiento de vehículos y/o aeronaves.

1.4 *Este estándar no pretende cubrir todos los aspectos, si los hubiere, concernientes a la seguridad de su utilización. Es responsabilidad el usuario de este estándar establecer las prácticas de seguridad y salud apropiadas y determinar la aplicabilidad de cualquier requerimiento regulador antes de su utilización.*

2. Documentos de Referencia

2.1. Estándares ASTM:

D 1190 Especificación para Sellador de Juntas de Concreto, Tipo Elástico de Aplicación en Caliente^B

D 3405 Especificación para Selladores de Juntas, Aplicación en Caliente, para Pavimentos de Concreto y Asfalto²

D 5167 Prácticas para la Fundición de Selladores y Rellenos de Juntas y Grietas de Aplicación en Caliente para su Evaluación²

D 5249 Especificación para Material Secundario para el uso con Selladores de Juntas de Concreto de Cemento Portland y Asfalto de Aplicación en Frío y de Aplicación en Caliente²

D 5329 Métodos de Prueba para Selladores y Rellenos, de Aplicación en Caliente en Pavimentos de Concreto Portland y Asfálticos²

2.2. Especificación Federal:^CSS-S-1410C

^A Esta especificación está bajo la jurisdicción del Comité D04 de la ASTM acerca de Materiales de Carreteras y Asfaltados y es responsabilidad del Subcomité D04.33 acerca de Selladores para Grietas en Pavimentos Formados In Situ.

La edición vigente se aprobó el 10 de junio de 2001. Publicada en agosto de 2001.

^B Libro Anual de Estándares ASTM, Vol. 04.03.

^C Disponibles en la Oficina de Impresión del Gobierno de los Estados Unidos, Washington, D.C. 20402.

3. Requerimientos Generales

3.1. El sellador deberá de estar compuesto de una mezcla de materiales que forme un compuesto elástico y adhesivo capaz de sellar efectivamente juntas y grietas en pavimentos asfálticos y de concreto contra la filtración de humedad y materiales extraños, a través de ciclos repetitivos de expansión y contracción por cambios de temperatura, y que, a temperaturas ambiente, no fluya hacia fuera de la junta, ni sea recogida por las llantas de un vehículo. El material debe ser capaz de llevarse a una consistencia uniforme para esparcirse apropiadamente de manera que llene completamente las juntas sin dejar burbujas de aire grandes ni discontinuidades y sin dañar el material. Debe de permanecer relativamente sin cambios en sus características de aplicación por lo menos por 6 h a la temperatura recomendada de aplicación en la obra.

4. Clasificación

4.1. *Tipo I* – Un sellador de juntas y grietas capaz de mantener un sellado efectivo en climas moderados. El rendimiento del material a bajas temperaturas es probado a -18°C , usando una extensión de 50% (anteriormente la Especificación D 1190).

4.2. *Tipo II* – Un sellador de juntas y grietas capaz de mantener un sellado efectivo en la mayoría de climas. El rendimiento del material a bajas temperaturas es probado a -29°C , usando una extensión de 50% (anteriormente la Especificación D 3405).

4.3. *Tipo III* – Un sellador de juntas y grietas capaz de mantener un sellado efectivo en la mayoría de climas. El rendimiento del material a bajas temperaturas es probado a -29°C , usando una extensión de 50%. Se incluyen pruebas especiales (anteriormente la Especificación Federal SS-S-1401C).

4.4. *Tipo IV* – Un sellador de juntas y grietas capaz de mantener un sellado efectivo en climas con temperaturas extremadamente frías. El rendimiento del material a bajas temperaturas es probado a -29°C usando una extensión de 200%.

NOTA 1 – Es responsabilidad del ente usuario determinar cual tipo es el que mejor aplica a sus condiciones.

5. Requerimientos Físicos

5.1. *Temperatura Máxima de Calentamiento* – La temperatura máxima de calentamiento es la temperatura más alta a la que puede calentarse un sellador, sin dejar de ajustarse los requerimientos especificados aquí. Para los propósitos de realizar pruebas como se especifica de aquí en adelante, la temperatura de aplicación debe de ser la misma que la temperatura máxima de calentamiento. La temperatura máxima de calentamiento deber ser establecida de antemano por el fabricante, debe de mostrarse en todos los contenedores y debe de proporcionarse al ente de prueba antes de realizar cualquier prueba de laboratorio.

5.2. *El sellador debe ajustarse a los requerimientos señalados en la Tabla 1.*

6. Muestreo y Calentamiento

6.1. Muestreo

6.1.1. Las muestras pueden ser tomadas en la planta o almacén antes de entregarse o al momento de la entrega, según lo desee el comprador. Si el muestreo se realiza antes del envío, el inspector que representa al comprador debe de tener acceso libre al material del que se tomará la muestra. El inspector deberá de recibir todas las facilidades razonables para la inspección y muestreo, los cuales deben llevarse a cabo de manera que no interfieran innecesariamente con las operaciones de trabajo.

6.1.2. Las muestras deben de consistir de un contenedor sellado, de uno de los contenedores sellados originales del fabricante, seleccionado al azar de un lote o conjunto de material terminado. Un lote o conjunto debe considerarse como todo material terminado que haya sido manufacturado simultánea o continuamente como unidad entre el tiempo en el que se preparó el compuesto hasta el momento de empaque o su colocación en contenedores de envío.

6.1.3. Obtenga la porción de sellador que se utilizará como muestra para las pruebas de un contenedor sellado original del fabricante de acuerdo a la práctica D 5167. La porción de muestra depositada y calentada en el fundidor debe de pesar 800 ± 50 g para los Tipos I, II y IV; y 1600 ± 50 g para el Tipo III. Ambos depósitos del fundidor descritos en la Práctica D 5167 deben utilizarse para el Tipo III.

6.2. *Calentamiento* – Caliente el material de acuerdo con la Práctica D 5167.

6.2.1. El baño de aceite del fundidor debe de calentarse a una temperatura entre la temperatura máxima de calentamiento del sellador y 42°C por encima de la temperatura máxima de calentamiento del sellador. (Nunca permita que la temperatura del aceite exceda los 288°C). Agregue el sellador al fundidor según las instrucciones de la Práctica D 5167. Una vez que la muestra se ha colocado en el fundidor, regule la temperatura del aceite dentro de los límites de temperatura indicados mientras la temperatura del sellador aumenta hasta la temperatura máxima de calentamiento recomendada por el fabricante durante el tiempo requerido de 1 h, como se indica en la Práctica D 5167. Inmediatamente después de alcanzada la temperatura de calentamiento, vierta muestras para las pruebas, excepto para el Tipo III, el cual debe de calentarse por 3 h desde el momento en que se colocó por primera vez en el fundidor.

7. Métodos de Prueba

7.1. *Acondicionamiento del Especimen* – Acondicione todos los especímenes según las condiciones estándar de laboratorio por 24 ± 4 h como se especifica en el Método de Prueba D 5329 antes de empezar alguna prueba.

7.2. *Penetración de Cono* – Determine la penetración del cono de acuerdo al Método D 5329 para Penetración de Cono, sin inmersión.

7.3. *Flujo* – Determine el flujo de acuerdo al método D 5329 para Flujo. Pruebe el espécimen por 5 h.

7.4. *Adherencia, Sin Inmersión* – Determine la adherencia de acuerdo al Método de Prueba D 5329 para Adherencia, sin inmersión.

7.4.1. Después del fregado y esparcido final especificado en el Método de Prueba D 5329, seque con aire los bloques en sus extremos a 12.7 mm X 25.4 mm en condiciones estándar de laboratorio por 1h ± 10 min. antes de esparcir los especímenes de adherencia.

7.4.2. Inmediatamente después de acondicionar los bloques como se indica en 7.4.1, ensamble los bloques con espaciadores como se especifica en el Método de Prueba D 5329 de manera que la abertura entre los bloques forme un bloque de sellador curado de 25.4 mm ± 0.1 mm de ancho para el Tipo I y 12.7 ± 0.1 mm de ancho para el Tipo II, Tipo III y Tipo IV.

7.4.3. Después de esparcir el material en la abertura del bloque, acondicione el espécimen como se indica en 7.1. Después de acondicionarlo, quite los espaciadores y remueva el exceso de material con un cuchillo caliente con cuidado de no jalar el sellador hacia fuera del bloque. Acondicione los especímenes de prueba por no menos de 4 h a la temperatura especificada en la Tabla 1 para el Tipo Específico de Sellador. Expanda el espécimen inmediatamente al porcentaje descrito en la Tabla 1 utilizando el equipo y la tasa descritos en D 5329.

7.4.4. Re-comprima y re-extienda de acuerdo al Método de Prueba D 5329 para el número total de ciclos descritos en la Tabla 1. Los ciclos requeridos deben de completarse dentro de un periodo de 5 días desde el momento en que se esparció el tipo II, III y IV, y un periodo de 7 días para el Tipo I.

7.5. *Adherencia, con Inmersión en Agua, Sólo Tipo III* – Determine la Adherencia de acuerdo a ASTM D 5329. Prepare las muestras como se indica en la sección 7.4 excepto después de acondicionarlos, sumérjalos en agua por 96 horas como se describe en D 5329. Las pruebas deben de terminarse en 5 días desde el momento en que la muestra sale del agua para los Tipo III.

7.6. *Elasticidad* – Utilice el Método de Prueba D 5329 para la Elasticidad.

7.7. *Elasticidad con Degeneración en Horno* – Degenere la muestra a 70°C por 168 h. Utilice el Método de Prueba D 5329.

7.8. *Compatibilidad con el Asfalto* – Pruebe la compatibilidad con el asfalto de acuerdo al Método de Prueba D 5329.

7.9. TABLA 1

Penetración de Cono A 25°C	Tipo I Máx. 90	Tipo II Máx. 90	Tipo III Máx. 90	Tipo IV 90-150
Flujo a 60°C, mm	5.0 Máx.	3.0 Máx.	3.0 Máx.	3.0 Máx.
Adherencia, sin Inmersión	Dos de tres muestras de 25.4 mm pasan ^D 5 ciclos con extensión de 50% a -18°C	Tres muestras de 12.7mm pasan ^A 3 ciclos con ext. de 50% a -29°C	Tres muestras de 12.7mm pasan ^A 3 ciclos con ext. de 50% a -29°C	Tres muestras de 12.7mm pasan ^A 3 ciclos con ext. de 200% a -29°C
Adherencia, con inmersión	--	--	Tres muestras de 12.7mm pasan ^A 3 ciclos con ext. de 50% a -29°C	--
Elasticidad, %	--	60 min.	60 min.	60 min.
Elasticidad con degeneración en horno, %	--	--	60 min.	--
Compatibilidad con el asfalto	Pasar ^E	Pasar ^B	Pasar ^B	Pasar ^B

^DLa aparición, durante cualquier momento del procedimiento de prueba, de una grieta, separación u otra abertura que en cualquier punto tenga más de 6 mm de profundidad, en el sellador o entre el sellador y el bloque de concreto, constituye una falla de la muestra de prueba. La profundidad de la grieta, separación u otra abertura debe ser medida perpendicularmente al lado del sellador que muestre el defecto.

^E No debe haber fallas de adhesión, ni formación de una sustancia aceitosa en la interface entre el sellador y el concreto asfáltico u otros efectos adversos en el concreto asfáltico o el sellador cuando sea probado a 60°C.

8. Empaque y Señalización

8.1. El compuesto sellador deberá ser entregado en los contenedores originales del fabricante. Cada contenedor debe ser marcado legiblemente con el nombre del fabricante, la marca del sellador, el número de lote o conjunto el fabricante y el número y tipo de especificación, la temperatura mínima de aplicación y la temperatura máxima de calentamiento. La temperatura máxima de calentamiento debe ser por lo menos 11°C (20°F) más alta que la temperatura mínima de aplicación.

9. Palabras Clave

9.1. aplicación en caliente; sellador de juntas

ANEXO

(Información No Obligatoria)

X1

X1.1 Algunos, si no todos los materiales que se ajustan a esta especificación pueden dañarse si se calientan a una temperatura demasiado alta, se recalientan, o se calientan por demasiado tiempo. Debe de tenerse el cuidado de contar con un equipo para calentamiento y aplicación que sea apropiado para este fin y aprobado por el fabricante del material. El material debe de calentarse en un hervidor o fundidor construido como un doble hervidor, con el espacio entre la capa interior y la exterior lleno con aceite u otro medio de transferencia de calor. Debe de contarse con un control termostático sobre el medio de transferencia de calor, el control debe tener suficiente sensibilidad para mantener la temperatura del sellador dentro del rango de temperatura de aplicación especificado por el fabricante. Los dispositivos de lectura de temperatura deben de tener intervalos de no más de 5°F (2.8°C) y deberá ser calibrado como se requiera para asegurar su exactitud. El fundidor deberá de contar con un sistema de mezcla y agitación continua para proporcionar temperatura y viscosidad uniforme al material en aplicación. De estar equipado con un sistema de aplicación para llevar el sellador al pavimento, el fundidor deberá contar con una bomba de recirculación u otro medio de mantener la temperatura del sellador en el sistema de aplicación. El sellador que ha sido dañado debido a sobrecalentamiento, recalentamiento o calentamiento prolongado puede exhibir adhesión pobre, ablandamiento, difícil aplicación o aglutinamiento en el fundidor. No debe usarse calentamiento directo. Como medio para evaluar si el material cubierto por esta especificación está siendo o ha sido dañando en el sitio como resultado de sobrecalentamiento, recalentamiento o calentamiento prolongado, pueden prepararse muestras de flujo periódicamente, extrayendo sellador directamente del fundidor-aplicador durante las operaciones de sellado y luego sometándolo a pruebas de flujo e acuerdo a los métodos de pruebas de materiales cubiertos por esta especificación. Un flujo en exceso de 3.0 mm para el Tipo II, III y IV, y de 5.0 mm para el Tipo I, indicaría daño del material causado por procedimientos inadecuados de calentamiento.

X1.2 Las juntas de pavimento recién construido en las que se aplicará material cubierto por esta especificación deberán estar secas, libres de sarro, suciedad, polvo, compuesto curado, y otras materias extrañas. Las paredes laterales de la junta que será sellada deberá de ser lijada a presión, sopleteada con aire a alta presión para limpiarla de arena suelta y sellada utilizando el fundidor-aplicador descrito en X1.1.

X1.3 Cuando se utilice material cubierto por esta especificación para dar mantenimiento o resellar juntas que contenían material sellador, ya sea similar o diferente, se recomienda secar la junta, que sea limpiada minuciosamente con un esmeril, cepillo de alambre, cierra de concreto u otra herramienta adecuada para limpiar cuidadosamente juntas de pavimento. Cualquier material suelto deberá ser sopleteado. Las paredes laterales de la junta a sellar deberán ser lijadas a presión, sopleteada con aire a alta presión para limpiarla de arena suelta y luego sellada utilizando el fundidor-aplicador descrito en X1.1.

X1.4 El uso de material secundario o eliminador de adherencia en el fondo de la junta que será llenada con material cubierto por esta especificación se recomienda controlar la profundidad del sellador y lograr el factor de forma deseado y para evitar que el sellador se hunda o se combe. El material secundario o eliminador de adherencia debe ser compatible con el material. Debido a las elevadas temperaturas de aplicación del material cubierto por esta especificación, debe de tenerse cuidado para seleccionar material secundario adecuado. Refiérase a la Especificación D 5249 para conocer materiales secundarios recomendados.

X1.5 Debe de tenerse cuidado al aplicar el material cubierto por esta especificación para evitar rebalsar el espacio de la junta. Las juntas deben ser llenadas cuidadosamente hasta $\frac{1}{8}$ o $\frac{1}{4}$ de pulgada (3 a 6 mm) debajo de la superficie adyacente del pavimento.

ASTM International no toma parte alguna con respecto a la validación de cualquier derecho de patente declarado en conexión con cualquier artículo mencionado en este estándar. Se advierte expresamente a los usuarios de esta especificación que la determinación de la validez de los mencionados derechos de patente y el riesgo de violación de esos derechos son enteramente su responsabilidad.

Este estándar está sujeto a revisión en cualquier momento por el comité técnico responsable y tiene que ser revisada cada cinco años y de no ser revisada, debe ser re-aprobada o retirada. Sus comentarios para revisar este estándar o para la creación de nuevos estándares son bienvenidos y deben de dirigirse a la Sede de ASTM International. Sus comentarios serán cuidadosamente considerados en una reunión del comité técnico correspondiente a la que usted puede asistir. Si usted cree que sus comentarios no han sido considerados justamente, usted puede hacer notar sus puntos de vista al Comité de Estándares de ASTM, en la dirección mostrada abajo.

ASTM International, ubicado en 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States, tiene los derechos de autor de este estándar. Impresiones individuales (una o varias copias) pueden obtenerse al contactar ASTM en la dirección mencionada anteriormente o al 610-832-9585 (teléfono), 610-832-9555 (fax), o en service@astm (correo electrónico); o a través del sitio web de ASTM (www.astm.org).

Tabla de Muestreo, Frecuencias y Tolerancias

Ensayo	AASHTO	ASTM	Frecuencia mínima	Valor Mínimo	Valor Máximo	Punto de Muestreo
Clasificación de asfaltos por penetración (según clasificación a utilizar)						
Penetración	T-49	D 5	- Una durante la Fase Preparatoria (se presentarán los resultados correspondientes en Inspección Preparatoria) - Cada vez que se cambie la fuente de asfalto. - No menos de 3 ensayos durante la ejecución. <u>Nota: Estos ensayos serán realizados con fines de investigación, su resultado no será considerado para fines de pago)</u>	Según ASTM D946		En tanque de almacenamiento de Planta de Producción
Ductilidad	T-51	D 113		Según ASTM D946		
Ensayos de la película delgada al horno	T-179	D 1754		Según ASTM D946		
Punto de reblandecimiento	T-53	D 36				
Clasificación de asfaltos por viscosidad (según clasificación a utilizar)						
D3381						
Viscosidad absoluta	T-202	D 2171	- Una durante la Fase Preparatoria (se presentarán los resultados correspondientes en Inspección Preparatoria) - Cada vez que se cambie la fuente de asfalto. - No menos de 3 ensayos durante la ejecución. <u>Nota: Estos ensayos serán realizados con fines de investigación, su resultado no será considerado para fines de pago)</u>	Según ASTM D3381		En tanque de almacenamiento de Planta de Producción
Viscosidad cinemática	T-201	D 2170		Según ASTM D3381		
Penetración	T-49	D 5		Según ASTM D3381		
Ductilidad	T-51	D 113		Según ASTM D3381		
Ensayos de la película delgada al horno	T-179	D 1754		Según ASTM D3381		
Punto de reblandecimiento	T-53	D 36				
Agregados						
Desgaste (abrasión).	T-96	C 131	- Al Inicio (se presentarán los resultados en la Inspección Preparatoria correspondiente) - 1 cada vez que se cambie de banco o sus propiedades. - 1 prueba cada 7,500 m3.	N/A	40%	En acopio
Caras facturadas (dos caras fracturadas)		D 5821		90%	N/A	En acopio
Granulometría	T-27	C 136		Según Diseño		En acopio
Propiedades de la mezcla asfáltica						
Contenido de Asfalto (por extracción)	T-164	D 2172	1cada 250 m3.	Según Diseño +/- 0.5%		En sitio de colocación
Ensayo granulométrico	T-30	D 5444		Según Diseño		
Gravedad Específica Bulk. Laboratorio	T-166	D 2726		N/A	N/A	
Gravedad Teórica Máxima	T-209	D 2041		N/A	N/A	
Estabilidad (Marshall)	T-245			1800 lb	N/A	
Flujo (Marshall)	T-245			2.0 mm	4.0 mm	
Estabilidad Retenida (para mezclas asfálticas en caliente)	T- 283	D-4867		No menos de 3 ensayos por proyecto <u>Nota: Estos ensayos serán realizados con fines de seguimiento, su resultado no será considerado para fines de pago)</u>	75%	
Grado de Compactación. Método nuclear, Núcleos y/o Densímetro electromagnético		D 2950 D 7113	Si se utiliza la alternativa del método nuclear, la frecuencia de ensayo será de 1cada 100 m3, pero no menos de una por día. Si se utiliza la alternativa de núcleos, será de 1 cada 100 m3 (1 prueba deberá ser el promedio de 2 ensayos)	92% de Gravedad teórica máxima	97% de Gravedad teórica máxima	

(1) Ensayos complementarios cuando exista duda de sus características.

CONDICIONES TECNICAS DE CONTRATISTA Y SUPERVISOR DE: MANTENIMIENTO PERIODICO.

Tabla de Muestreo, Frecuencias y Tolerancias

Ensayo	AASHTO	ASTM	Frecuencia mínima	Valor Mínimo	Valor Máximo	Punto de Muestreo
MICROPAVIMENTOS						
Residuo después de destilación	T-59	D 244	- Una durante la Fase Preparatoria (se presentarán los resultados correspondientes en Inspección Preparatoria) - Cada vez que se cambie la fuente de asfalto. - No menos de 3 ensayos durante la ejecución. <u>Nota: Estos ensayos serán realizados con fines de investigación, su resultado no será considerado para fines de pago</u>	62%	N/A	En tanque de almacenamiento
Punto de reblandecimiento	T-53	D 36		57°C		
Penetración a 25°C	T-49	D 5		40	90	
Equivalente de arena	T-176	D 2419	- Al Inicio (se presentarán los resultados en la Inspección Preparatoria correspondiente) - 1 cada vez que se cambie de banco o sus propiedades. - 1 prueba cada 70,000m ² .	65		En acopio
Desgaste agregados (abrasión).	T-96	C 131			30%	En acopio
Granulometría	T-11 y T-27	C 117 y C 136		Según Guía para Micro-Surfacing ISSA A143		En acopio
Prueba de Rueda Cargada (Excess Asphalt by LWT Sand Adhesion)	ISSA TB-109		- Una durante la Fase Preparatoria (se presentarán los resultados correspondientes en Inspección Preparatoria) - No menos de 3 ensayos durante la ejecución.		538 g/m ²	Después de mezclado
Pérdida por Abrasión (Wet-Track Abrasion Loss, One-hour Soak)	ISSA TB-100		- Una durante la Fase Preparatoria (se presentarán los resultados correspondientes en Inspección Preparatoria) - No menos de 3 ensayos durante la ejecución.		538 g/m ² con 1 hora de saturación	Después de mezclado
					807 g/m ² con 6 días de saturación	Después de mezclado