



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

MANUAL PARA EL SELLO DE GRIETAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Luis Enrique Rosales Miranda

Asesorado por el Ing. Raúl Eduardo Alvarado Cuevas

Guatemala, junio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MANUAL PARA EL SELLO DE GRIETAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS ENRIQUE ROSALES MIRANDA

ASESORADO POR EL ING. RAÚL EDUARDO ALVARADO CUEVAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MANUAL PARA EL SELLO DE GRIETAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 15 de noviembre de 2011.



Luis Enrique Rosales Miranda

Guatemala, 28 de octubre de 2013

Ingeniero

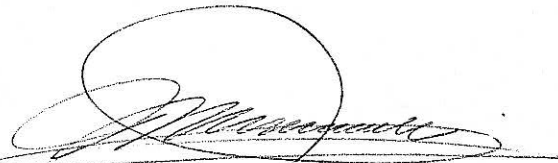
Mario Estuardo Arriola Ávila

Jefe del Departamento de Topografía y Transporte

Facultad de Ingeniería

Después de revisar el trabajo de graduación del estudiante Luis Enrique Rosales Miranda, quien se identifica con carné No. 2001-12801, titulado MANUAL PARA EL SELLO DE GRIETAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS, y haberle hecho las correcciones necesarias, lo doy por aprobado.

Sin otro particular, me suscribo cordialmente.



Ing. Raúl Eduardo Alvarado Cuevas

Colegiado No. 2,381

Raúl Eduardo Alvarado Cuevas
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 2,381



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

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



Guatemala, 21 de Febrero de 2014

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

Estimado Ingeniero Montenegro:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **"MANUAL PARA EL SELLO DE GRIETAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS"** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Luis Enrique Rosales Miranda con carné 2001-12801, quien contó con la asesoría del Ing. Raúl Eduardo Alvarado Cuevas.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


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



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala


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

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



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Raúl Eduardo Alvarado Cuevas y del Jefe del Departamento de Topografía y Transportes Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila al trabajo de graduación del estudiante Luis Enrique Rosales Miranda, titulado **MANUAL PARA EL SELLO DE GRIETAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

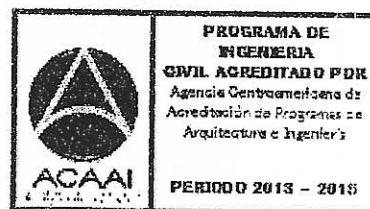
Hugo Leone! Montenegro Franco
 Ing. Hugo Leone! Montenegro Franco



Guatemala, mayo 2014.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





Ref. DTG.261-2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **MANUAL PARA EL SELLO DE GRIETAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Enrique Rosales Miranda** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, junio de 2014

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por su infinito amor, quién me ha dado la vida para seguir adelante y la fortaleza para nunca desmayar.

Mis padres

Luis Enrique Rosales Calderón y Juana Margarita Miranda García, por su apoyo incondicional, comprensión, paciencia, confianza y su gran amor al educarme.

Mis hermanos

Tannia, Cindy, Elías Rosales Miranda y David Rosales, por su amor, cariño y confianza.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por su incomparable amor, gracia y darme la vida día tras día y así poder lograr mis sueños.
Mis padres	Por su gran amor y consejos, que han sido vitales para mi vida y me han convertido en la persona que soy.
Mis hermanos	Por la confianza que han depositado en mí, su cariño y apoyo incondicional.
Mis tíos y tías	Por su apoyo y sabios consejos.
Ing. Raúl Alvarado	Por compartir sus conocimientos sin envidia, sus valiosos consejos y animarme en todo momento.
Ing. Mario Arriola	Por su gran ayuda en mi formación académica y sobre todos sus consejos.
Ing. Hugo Fuentes	Por sus consejos y confianza en el trabajo.
Mis amigos en general y compañeros de trabajo	Por ser partícipes en todo el proceso de mi carrera y compartir conmigo este gran logro.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. INTRODUCCIÓN AL MANUAL	1
1.1. Contenido	1
2. TRATAMIENTO DE GRIETAS.....	5
2.1. Evaluación de grietas en pavimento.....	5
2.2. Determinación del tipo y mantenimiento de grietas	6
2.2.1. Agrietamiento longitudinal.....	6
2.2.2. Agrietamiento transversal	9
2.2.3. Agrietamiento de borde	13
2.2.4. Agrietamiento en bloque.....	16
2.2.5. Agrietamiento por reflexión de juntas	19
2.3. Objetivos del sellado y llenado de grietas.....	23
2.4. Determinación del sellado o llenado de grietas	24
3. PLANIFICACIÓN Y DISEÑO.....	27
3.1. Selección del material.....	28
3.1.1. Pruebas de laboratorio	34
3.2. Selección de una configuración de colocación	35

3.3.	Selección de procedimientos y equipos	41
3.3.1.	Corte de grietas	46
3.3.2.	Limpieza y secado de grietas	47
3.3.3.	Preparación y aplicación del material	52
3.3.4.	Acabados	58
3.3.5.	Material secante	59
3.4.	Estimación del material requerido	59
4.	CONSTRUCCIÓN.....	61
4.1.	Control de tráfico	61
4.2.	Seguridad.....	62
4.3.	Corte de grietas.....	62
4.4.	Limpieza y secado de grietas	63
4.4.1.	Aire a presión (<i>airblasting</i>).....	64
4.4.2.	Aire a presión en caliente (<i>hot airblasting</i>)	64
4.4.3.	Aire a presión con arena (<i>sandblasting</i>)	65
4.4.4.	Cepillo de alambre de acero (<i>wirebrushing</i>)	66
4.5.	Preparación y aplicación de materiales.....	66
4.5.1.	Instalación del cordón de respaldo (<i>backer road</i>)....	66
4.5.2.	Preparación del material.....	67
4.5.3.	Aplicación del material	70
4.5.4.	Limpieza de la caldera de asfalto	72
4.6.	Acabados	73
4.7.	Material secante	74
5.	EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO EN EL TRATAMIENTO DE GRIETAS	75

CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA.....	83
ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Severidad baja de agrietamiento longitudinal.....	8
2.	Severidad media de agrietamiento longitudinal.....	8
3.	Severidad alta de agrietamiento longitudinal.....	9
4.	Severidad baja de agrietamiento transversal	11
5.	Severidad media de agrietamiento transversal	12
6.	Severidad alta de agrietamiento transversal	12
7.	Severidad baja de agrietamiento de borde.....	14
8.	Severidad media de agrietamiento de borde.....	15
9.	Severidad alta de agrietamiento de borde.....	15
10.	Severidad baja de agrietamiento en bloque	18
11.	Severidad media de agrietamiento en bloque	18
12.	Severidad alta de agrietamiento en bloque	19
13.	Severidad media de grietas por reflexión de juntas	21
14.	Severidad media y alta de grietas por reflexión de juntas	22
15.	Severidad alta de grietas por reflexión de juntas con bache	22
16.	Sellado de grietas	36
17.	Llenado de grietas.....	36
18.	Llenado a ras	38
19.	Banda.....	38
20.	Depósito.....	39
21.	Combinación depósito y banda	39
22.	Dispositivo de goma moldeada en forma de U.....	42
23.	Material secante aplicado en tratamiento de grietas	43

24.	Ruteadora de grietas	47
25.	Aire a presión (<i>airblasting</i>)	49
26.	Aire a presión en caliente (<i>hot airblasting</i>).....	50
27.	Aire a presión con arena (<i>sandblasting</i>)	51
28.	Herramienta de instalación del cordón de respaldo	52
29.	Instalación del cordón de respaldo	53
30.	Cordón de respaldo (<i>backer road</i>)	54
31.	Caldera de asfalto con aplicador de presión	56
32.	Dispositivo de goma moldeada en forma de V	58
33.	Hoja de cálculo para determinar la cantidad de material requerido.	60
34.	Segmento de grieta que se perdió por el equipo de corte	63
35.	Ejemplo gráfico de la efectividad del tratamiento en función del tiempo.....	77

TABLAS

I.	Tratamientos sugeridos para grietas longitudinales.....	7
II.	Tratamientos sugeridos para grietas transversales	11
III.	Tratamiento sugerido para grietas de borde	14
IV.	Tratamientos sugeridos para grietas en bloque	17
V.	Tratamientos sugeridos para grietas por reflexión de juntas	21
VI.	Criterios recomendados para determinar cuándo sellar o llenar.....	26
VII.	Resumen de materiales para el tratamiento de grietas.....	31
VIII.	Propiedades asociadas con varios tipos de materiales	33
IX.	Consideraciones sobre la configuración de colocación	40
X.	Características y recomendaciones del equipo en las operaciones del tratamiento de grietas	43
XI.	Requerimientos de mano de obra y rendimientos de producción en las operaciones del tratamiento de grietas	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
dmm	Décimo de milímetro
°C	Grados centígrados
hr	Hora
kPa	Kilo Pascal
lb/m	Libra por metro
l/s	Litros por segundo
m	Metro
m³/s	Metro cúbico por segundo
m/min	Metro por minuto
m/s	Metro por segundo
mm	Milímetro

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials.
Abrasión	El desgaste del material de tratamiento por la fricción del neumático.
Adhesividad	Capacidad de un material para permanecer unido a las paredes laterales de la grieta y la superficie del pavimento.
Área de muestreo	Consiste en el ancho de la rodadura por una longitud de muestreo de 150 metros a cada kilómetro.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Banda (<i>Overband</i>)	Un tipo de acabado en el que se permite que el material cubra completamente el canal de grieta por lo que se extiende sobre la superficie del pavimento.
Canal de grieta	La cavidad de la grieta definida por cualquier grieta original, cortada o sin cortar.

Cohesividad	Capacidad de un material para resistir la ruptura interna.
Densidad de grieta	Se refiere al porcentaje de área de agrietamiento afectada dividida entre el área de muestreo.
Depósito de grieta	Un canal de grieta uniforme resultante de las operaciones de corte. Por lo general de forma rectangular.
Deterioro de borde	Grietas astilladas que se producen dentro de unos pocos milímetros a lo largo de los bordes de la grieta.
Elasticidad	Capacidad de un material para recuperarse de la deformación y resistir la intrusión de materiales extraños y el flujo de agua.
FHWA	Federal Highway Administration.
Flexibilidad	Capacidad de un material para extenderse y acomodarse al movimiento de la grieta.
Grieta longitudinal	Grieta en sentido paralelo a la dirección de la línea central del pavimento.

Grietas que no trabajan	Grietas que experimentan relativamente poco movimiento horizontal, como resultado de los cambios de temperatura o carga del tráfico. Como regla general, el movimiento menor de 3 milímetros.
Grietas que trabajan	Grietas que experimentan un considerable movimiento horizontal, como resultado de los cambios de temperatura o carga del tráfico. En general, el movimiento mayor que o igual a 3 milímetros.
Grieta transversal	Grieta en sentido perpendicular a la dirección de la línea central del pavimento.
Incompresible (material)	Característica de un material, tal como arena, piedra, y la suciedad, que se resiste a la compresión de cierre en un canal de grieta.
Llenado de grietas	Es la colocación de materiales de tratamiento ordinario dentro de las grietas que no trabajan para reducir sustancialmente la infiltración de agua y reforzar el pavimento adyacente.
Movimiento horizontal anual en grietas	Es el resultado de cambios de temperatura que provocan contracción y dilatación del pavimento, produciendo un movimiento igual o mayor que 3 milímetros en el ancho de la grieta.

Pavimentos asfálticos	Son los pavimentos constituidos por una capa de rodadura de mezcla bituminosa con capas subyacentes de base y sub base, apoyadas sobre la subrasante.
Sello de grietas	Es la colocación de materiales de tratamiento especializado sobre o dentro de las grietas que trabajan, utilizando una configuración adecuada y material especializado, para prevenir la intrusión de agua y materiales incompresibles dentro de la grieta.
SHRP	Strategic Highway Research Program.
Termoestable (material)	Un material formado por polímeros que se ablandan solamente al calentarlos por primera vez y se endurecen de forma permanente cuando se enfrían.
Termoplástico (material)	Un material plástico que se ablanda cuando se calienta y endurece cuando se enfría.
Tratamiento de grietas	Mantenimiento donde las grietas son tratadas directamente por las operaciones de sellado o llenado.
Tratamiento efectivo	Grado en el cual un tratamiento está desempeñando su correcta función.

RESUMEN

En Guatemala, casi el cien por ciento de la carga y pasajeros, se transporta en las carreteras, como consecuencia, mantenerlas en buen estado es primordial. Los pavimentos sufren deterioro debido a factores ambientales y al tránsito vehicular.

Las grietas son inevitables, por eso es importante su tratamiento, a través de un proyecto debidamente planificado y diseñado para su satisfactoria ejecución. El sellado y llenado de grietas en pavimentos asfálticos es una de las formas más utilizadas para un mantenimiento en las carreteras. Las configuraciones de aplicación utilizadas para el sellado y llenado de grietas son: llenado a ras, banda, depósito y combinación banda-depósito. Estas configuraciones admiten al material introducirse sobre o dentro de la grieta, y como resultado restringe la penetración del agua superficial a las capas subyacentes de la base y subbase, permitiendo mantener la capacidad óptima del pavimento, aumentando su servicio y evitando la degradación del mismo.

Existe una diversidad de materiales para el sello de grietas, en este caso, es necesario el uso de materiales especializados como: asfalto con caucho, asfalto encauchado y silicón autonivelante, que brindan un buen desempeño y durabilidad ante las condiciones climáticas y el tránsito vehicular.

OBJETIVOS

General

Dar a conocer al profesional y al estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, un manual de soluciones técnicas que indique los materiales adecuados y procedimientos correctos para el sellado de grietas y fisuras en los pavimentos asfálticos, por medio de su selección y correcta aplicación logrando con esto prolongar su periodo de vida útil.

Específicos

1. Identificar en cada caso el procedimiento y materiales adecuados más convenientes para lograr el mayor beneficio.
2. Indicar de manera sencilla los diferentes tipos de grietas y fisuras incluyendo la forma de trabajarlos.
3. Poder documentar el procedimiento correcto del tratamiento de grietas, desde la inspección, selección del material y su aplicación.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las operaciones para el tratamiento de grietas está dirigido para incorporarse a la administración de los proyectos de carreteras. Dichos estudios permitirán la elaboración de un Manual para el sellado de grietas en pavimentos asfálticos, en el cual se indiquen los materiales apropiados y los procedimientos y equipos necesarios para el respectivo trabajo.

Las fisuras o grietas son producto de la separación de materiales en pavimentos asfálticos; se entiende que parte del mantenimiento de las carreteras es el sellado de grietas, sin embargo, se deben mejorar los materiales, métodos y/o procedimientos utilizados para optimizar el comportamiento y desempeño de los mismos, de esta manera lograr eficiencia en las inversiones de los escasos fondos del estado disponibles para esta actividad.

Para realizar un adecuado sellado de grietas se necesita conocer todos los aspectos que se involucran en dicho proceso, como los registros de la construcción y mantenimiento de los pavimentos, edad del pavimento, datos del diseño, reparaciones, otros. En la selección de los materiales y procedimientos correctos se toma en cuenta el clima, tránsito, características de las grietas, equipo disponible, mano de obra disponible y la evaluación del costo-beneficio para que el trabajo realizado permita proporcionar al pavimento asfáltico una vida útil más prolongada.

1. INTRODUCCIÓN AL MANUAL

1.1. Contenido

El agrietamiento en pavimentos asfálticos es un fenómeno que los diseñadores, supervisores y contratistas han tenido que enfrentar durante muchos años.

El deterioro de los pavimentos se debe a factores ambientales, al tránsito vehicular, la calidad de las mezclas asfálticas, la conformación de las bases y subbases y la calidad de la subrasante. Las grietas son inevitables, por eso es indispensable su tratamiento, mejorando así el comportamiento de los pavimentos y prolongando su vida útil, siendo estas tratadas de muchas formas, desde actividades de mantenimiento, reparación de superficies, sellado y llenado de grietas, hasta proyectos de rehabilitación de pavimentos, como recapeos.

Con una apropiada y correcta aplicación de acuerdo a las nuevas alternativas del sellado y llenado de grietas se logrará una mayor durabilidad de la vida de los pavimentos a un menor costo, prolongando su vida útil. La efectividad y puntualidad en el mantenimiento del pavimento, permiten aumentar la durabilidad de las carpetas de rodadura a un menor costo. Lo fundamental es utilizar en cada caso la técnica y el material más efectivo para lograr el mayor rendimiento a lo largo del tiempo.

El sellado (*sealing*) y llenado (*filling*) de grietas en pavimentos asfálticos es una de las formas más utilizadas para el mantenimiento preventivo de vías,

que como resultado restringe la penetración del agua superficial a las capas subyacentes de la base y subbase, permitiendo mantener la capacidad óptima del pavimento, aumentando su servicio y evitando la degradación del mismo.

La información contenida en este manual, está basada en múltiples investigaciones de literatura y prácticas de campo como resultado de tratamiento de grietas proporcionado por el Strategic Highway Research Program (SHRP) y la Federal Highway Administration (FHWA), y las experiencias nacionales, a partir del 2001.

Se proporciona información general y específica para llevar a cabo cada una de las cuatro fases asociadas a un programa de tratamiento de grietas. Estas fases son:

- Determinación y necesidades del tratamiento de grietas
- Planificación y diseño del proyecto de tratamiento de grietas
- Construcción
- Evaluación del desempeño del tratamiento de grietas

El tratamiento de grietas deberá ser un proyecto debidamente planificado y diseñado para su satisfactoria ejecución.

Pasos sugeridos para el tratamiento de grietas:

- Revisar los registros de construcción y mantenimiento de los pavimentos a tratar, edad del pavimento, datos del diseño, reparaciones, y otros
- Levantamiento de grietas, longitudes y cuantificación
- Determinación del tipo de mantenimiento apropiado para pavimentos agrietados según su condición

- Densidad alta de grietas que tengan de moderado a ningún deterioro en los bordes → tratamiento completo de la superficie
- Densidad media y baja de grietas que tengan de moderado a ningún deterioro → tratamiento de grietas
- Determinar si las grietas deben ser selladas o llenadas
 - Las grietas que típicamente manifiestan movimiento horizontal anual → sello de grietas
 - Las grietas que típicamente manifiestan muy poco movimiento horizontal anual → llenado de grietas
- Selección de procedimientos y materiales para el tratamiento de grietas considerando: clima, tránsito, características de las grietas, equipo disponible, mano de obra disponible, materiales y evaluación costo-beneficio
- Adquisición de materiales y equipo
- Inspección de las operaciones de tratamiento de las grietas
- Evaluación periódica del desempeño del tratamiento

2. TRATAMIENTO DE GRIETAS

2.1. Evaluación de grietas en pavimento

El concepto de mantenimiento de pavimentos asfálticos ha sido bien entendido en los últimos años, lo que se debe realizar ahora es la correcta selección de las técnicas y los diferentes materiales que se encuentran en el mercado, para optimizar los resultados con una adecuada ejecución en tiempo y forma. Se ha entendido que hay que sellar las grietas, pero hay que conocer qué tipo de sello utilizar para lograr un mayor rendimiento, la duración en el tiempo deseado y los recursos económicos con los que se cuenta para lograr los objetivos esperados.

Evaluar la mejor alternativa de sello, estudiando la relación costo-beneficio a lo largo del tiempo, para tomar finalmente conciencia y elegir la mejor alternativa. Tomando en cuenta que tener una carretera reparada no implica una buena aplicación de métodos de mantenimiento, muchas veces se realizan los mantenimientos sin tener en cuenta cuál es el método y material que producirá el mayor rendimiento o la forma de aplicarlo, y solo se tiene en cuenta el costo inicial sin tomar conciencia de su rendimiento en el tiempo.

Se deben considerar diferentes parámetros como: la edad del pavimento, diseño geométrico y del pavimento, vecindades de la sección del pavimento, tránsito, clima, tipos de tratamiento y mantenimiento previos, condición del pavimento, entre otros; mediante la revisión de la construcción, mantenimiento y otros registros importantes del pavimento, que servirán para evaluar el adecuado tratamiento de grietas y el sello a utilizar.

2.2. Determinación del tipo y mantenimiento de grietas

Después de revisar los registros obtenidos de la condición de los pavimentos se procede a realizar un levantamiento sobre una muestra representativa de una sección del pavimento de 150 metros, para determinar la cantidad, tipo y condición o severidad de las grietas, así como la condición o efectividad del tratamiento de grietas previo.

2.2.1. Agrietamiento longitudinal

La descripción de este agrietamiento es una fractura del pavimento paralelo al eje de la vía, e indicios de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado, sus causas son:

- Acción del tránsito, fatiga del pavimento
- Proceso constructivo deficiente
- Contracción de la mezcla asfáltica causadas por grietas existentes debajo de la superficie de rodamiento
- Confinamiento lateral deficiente

Niveles de severidad:

- Baja: cualquiera de las siguientes condiciones
 - Grietas sin sellar, ancho < 10 milímetros, sin ramificaciones
 - Grietas selladas de cualquier ancho, sello deteriorado

- Media: cualquiera de las siguientes condiciones
 - Grietas sin sellar, ancho entre 10 y 20 milímetros
 - Grietas sin sellar, < 20 milímetros, con ramificaciones
 - Grietas selladas, de cualquier ancho, con ramificaciones

- Alta: cualquiera de las siguientes condiciones
 - Grietas sin sellar de ancho > 20 milímetros
 - Cualquier grieta con ramificaciones

Tabla I. **Tratamientos sugeridos para grietas longitudinales**

Severidad		
Baja Ancho < 10 mm	Media 10 mm < ancho < 20 mm	Alta Ancho > 20 mm
Limpiar y sellar	Limpiar y sellar para grietas únicas o para porciones menores de grietas múltiples	Ninguno
Limpiar y sellar	Limpiar y sellar para grietas únicas o para porciones menores de grietas múltiples	Ninguno
Limpiar y sellar	Limpiar y sellar para grietas únicas o para porciones menores de grietas múltiples	Candidato a rehabilitación

Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 47.

Figura 1. **Severidad baja de agrietamiento longitudinal**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos.* p. 48.

Figura 2. **Severidad media de agrietamiento longitudinal**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos.* p. 48.

Figura 3. **Severidad alta de agrietamiento longitudinal**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 49.

2.2.2. Agrietamiento transversal

La descripción de este agrietamiento es una fractura del pavimento transversal al eje de la vía, e indicios de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado, sus causas son:

- Insuficiente espesor de pavimento y/o falta de sobre ancho de las capas inferiores en los bordes.
- Retracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debida a un exceso de llenado, envejecimiento del asfalto, y otros.
- Reflexión de grietas de capas inferiores y apertura de juntas de construcción defectuosas (pavimento mixto).

Niveles de severidad:

- Baja: cualquiera de las siguientes condiciones
 - Grietas sin sellar, ancho < 10milímetros, sin ramificaciones
 - Grietas selladas de cualquier ancho, sello deteriorado

- Media: cualquiera de las siguientes condiciones
 - Grietas sin sellar, ancho entre 10 y 20 milímetros
 - Grietas sin sellar, < 20 milímetros, con ramificaciones
 - Grietas selladas, de cualquier ancho, con ramificaciones

- Alta: cualquiera de las siguientes condiciones
 - Grietas sin sellar de ancho > 20milímetros
 - Cualquier grieta con ramificaciones

Tabla II. **Tratamientos sugeridos para grietas transversales**

Severidad		
Baja Ancho < 10 mm	Media 10 mm < ancho < 20 mm	Alta Ancho > 20 mm
Limpiar y sellar	Limpiar y sellar para grietas únicas o para porciones menores de grietas múltiples	Ninguno
Limpiar y sellar	Limpiar y sellar para grietas únicas o para porciones menores de grietas múltiples	Ninguno
Limpiar y sellar	Limpiar y sellar para grietas únicas o para porciones menores de grietas múltiples	Candidato a rehabilitación

Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 50.

Figura 4. **Severidad baja de agrietamiento transversal**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 51.

Figura 5. **Severidad media de agrietamiento transversal**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 51.

Figura 6. **Severidad alta de agrietamiento transversal**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 52.

2.2.3. Agrietamiento de borde

La descripción de este agrietamiento es un agrietamiento paralelo al borde exterior del pavimento, generalmente dentro de los 300 a 600 milímetros del borde. La falla es acelerada por el tránsito vehicular, sus causas son:

- Falta de soporte lateral de la berma
- Drenaje inadecuado
- Falta de compactación y confinamiento en el borde del pavimento

Niveles de severidad:

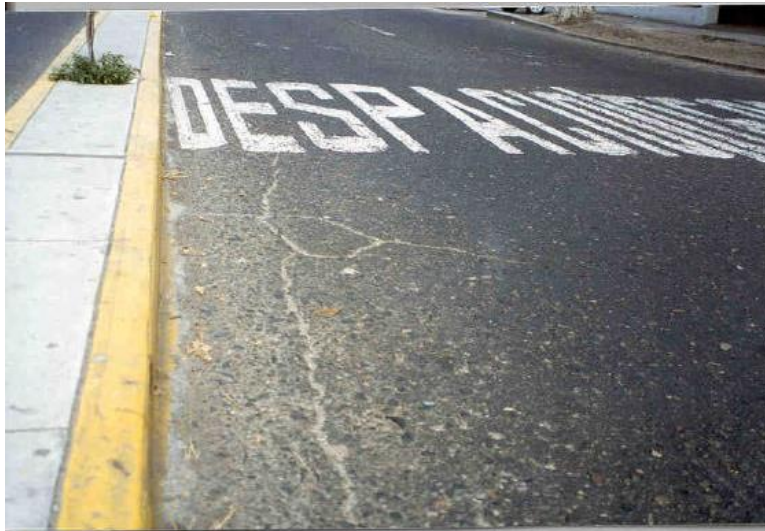
- Baja: cualquiera de las siguientes condiciones
 - Menos de 300 milímetros del borde del pavimento. Una sola grieta o dos paralelas
- Media: cualquiera de las siguientes condiciones
 - Grietas entre 300 y 600 milímetros del borde del pavimento
 - Grietas múltiples con grietas interconectadas
- Alta: cualquiera de las siguientes condiciones
 - Se extienden a más de 600 milímetros del borde del pavimento

Tabla III. **Tratamiento sugerido para grietas de borde**

Evaluación		Alternativas de Tratamiento
Severidad	Densidad	
Baja	< 20% 20% - 50% > 50%	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno • Ninguno • Ninguno
Media	< 20% 20% - 50% > 50%	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno • Ninguno • Bache superficial con mezcla en caliente
Alta	< 20% 20% - 50% > 50%	<ul style="list-style-type: none"> • Bache superficial con mezcla en caliente • Bache superficial con mezcla en caliente • Ninguna acción pero incluir en el programa de Rehabilitación.

Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 53.

Figura 7. **Severidad baja de agrietamiento de borde**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 54.

Figura 8. **Severidad media de agrietamiento de borde**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 54.

Figura 9. **Severidad alta de agrietamiento de borde**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 55.

2.2.4. Agrietamiento en bloque

La descripción de este agrietamiento es una serie de grietas interconectadas que dividen el pavimento en piezas aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de unos 30 x 30 centímetros a 3 x 3 metros, y sus causas son:

- Contracción del concreto asfáltico
- Ciclos diarios de temperatura

Niveles de severidad:

- Baja: cualquiera de las siguientes condiciones
 - Grietas únicas, <10 milímetros, espaciadas entre sí pero interconectadas formando un mapa
- Media: cualquiera de las siguientes condiciones
 - Las grietas interconectadas comienzan a desarrollar grietas múltiples, entre 10 y 20 milímetros
- Alta: cualquiera de las siguientes condiciones
 - Grietas múltiples interconectadas, < 20milímetros

Tabla IV. **Tratamientos sugeridos para grietas en bloque**

Extensión	Severidad		
	Baja	Media	Alta
< 20%	Ninguno	Ninguno	Bacheo superficial manual en caliente
< 20%	Ninguno	Ninguno	Bacheo superficial manual en caliente
20 – 50%	Ninguno	Ninguno	Bacheo superficial mecanizado en caliente
> 50%	Ninguno	Ninguno	Bacheo de carpeta asfáltica mecanizado con mezcla en caliente
< 20%	Ninguno	Bacheo superficial mecanizado en caliente	Bacheo superficial mecanizado en caliente
20 – 50%	Ninguno	Bacheo de carpeta asfáltica mecanizado con mezcla en caliente	Bacheo de carpeta asfáltica mecanizado con mezcla en caliente
> 50%	Ninguno	Candidato para rehabilitación	Candidato a rehabilitación

Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 56.

Figura 10. **Severidad baja de agrietamiento en bloque**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 57.

Figura 11. **Severidad media de agrietamiento en bloque**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 57.

Figura 12. **Severidad alta de agrietamiento en bloque**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 58.

2.2.5. Agrietamiento por reflexión de juntas

La descripción de este agrietamiento es una falla de pavimentos mixtos: superficies asfálticas sobre pavimento rígido con juntas. Son grietas transversales y longitudinales producidas por la reflexión de las juntas del pavimento rígido a la superficie de asfalto, y sus causas son:

- Movimiento de las losas de concreto: por razones térmicas, deflexión por las cargas, y otros.
- La acción del tránsito puede resultar en peladuras y eventualmente en baches.

Niveles de severidad:

- **Baja:** existe una de las condiciones siguientes
 - Grietas sin sellar, ancho promedio < 10 milímetros, sin descascaramiento
 - Grietas selladas, de cualquier ancho que no provocan golpeteo cuando se circula en vehículo

- **Media:** existe una de las condiciones siguientes
 - Grietas sin sellar, de ancho promedio entre 10 y 20 milímetros
 - Grietas sin sellar, < 10 milímetros, con evidencia de desportillamiento de los bordes y eventuales baches
 - Grietas selladas de cualquier ancho
 - La grieta provoca golpeteo a los vehículos

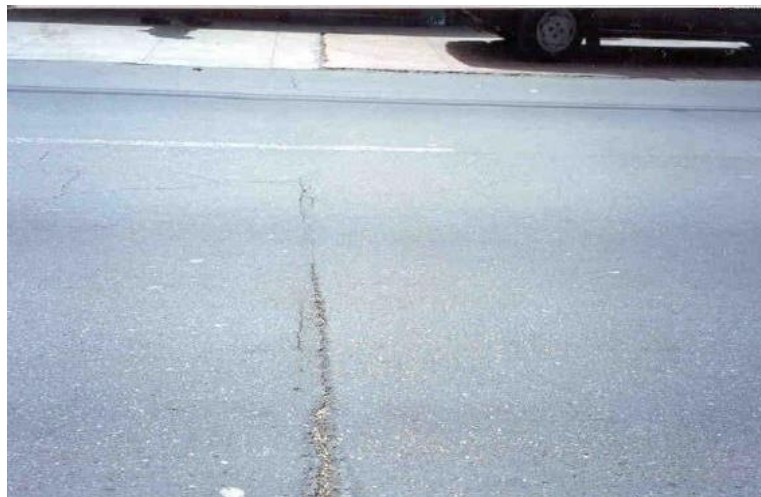
- **Alta:** existe una de las condiciones siguientes
 - Cualquier grieta, sellada o no, rodeada por un agrietamiento de la superficie moderado o severo y eventuales baches
 - Grietas sin sellar de ancho mayor de 20 milímetros
 - Las grietas provocan golpeteo severo a los vehículos

Tabla V. **Tratamientos sugeridos para grietas por reflexión de juntas**

Evaluación		Alternativas de Tratamiento
Severidad	Densidad	
Baja	< 20% 20% - 50% > 50%	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno • Limpieza y sellado de grietas • Limpieza y sellado de grietas
Media	< 20% 20% - 50% > 50%	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza y sellado de grietas • Limpieza y sellado de grietas • Parchado manual de carpeta asfáltica con mezcla en caliente
Alta	< 20% 20% - 50% > 50%	<ul style="list-style-type: none"> • Bache manual de carpeta asfáltica con mezcla en caliente • Bache mecánico de carpeta asfáltica con mezcla en caliente • Incluir en el programa de Rehabilitación

Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 64.

Figura 13. **Severidad media de grietas por reflexión de juntas**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 65.

Figura 14. **Severidad media y alta de grietas por reflexión de juntas**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 65.

Figura 15. **Severidad alta de grietas por reflexión de juntas con bache**



Fuente: BOOZ-ALLEN & HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos*. p. 66.

En general, una gran cantidad de grietas (densidad) o grietas severamente deterioradas, indican un pavimento con un avanzado grado de deterioro. El sellado o llenado de grietas en esas circunstancias es antieconómico y antitécnico, y hace muy poco para retrasar la necesidad de acciones correctivas.

En el borde de las grietas también se pueden tener otras deficiencias como mostrar daños verticales, tales como: descascaramiento, diferencia de nivel, o pueden mostrar deflexiones verticales y movimientos bajo las cargas de tráfico.

2.3. Objetivos del sellado y llenado de grietas

Para entender los objetivos del sellado y llenado de grietas se proporciona una definición simple y clara de cada uno, para entender y conocer el trabajo que se necesita para su correcta aplicación.

Sellado de grietas (*crack sealing*): es la colocación de materiales de tratamiento especializado sobre o dentro de las grietas que trabajan (*working cracks*) utilizando una configuración especial, para prevenir la intrusión de agua y materiales incompresibles dentro de la grieta.

Llenado de grietas (*crack filling*): es la colocación de materiales de tratamiento ordinario dentro de las grietas que no trabajan (*non-working cracks*) para reducir sustancialmente la infiltración de agua y reforzar el pavimento adyacente.

Como indican estas definiciones, los objetivos del sellado y llenado de grietas son alternativas que buscan lograr una mayor durabilidad en la vida de

los pavimentos a un menor costo, considerando que entre ambos métodos existen diferencias de planificación y costo.

El sello de grietas requiere considerablemente de mayor planificación, mayor costo, y el uso de materiales especialmente formulados y equipo sofisticado.

Se tomará en cuenta también las grietas en donde muestran mayores deflexiones verticales para determinar los métodos y estrategias de reparación apropiados; sin embargo, para las grietas donde los movimientos verticales son limitados, el movimiento horizontal será el factor crítico a considerar en un tratamiento de grietas.

2.4. Determinación del sellado o llenado de grietas

Se ha visto que el tratamiento de grietas es una actividad de mantenimiento preventivo de carreteras, siendo este idealmente ejecutado después de que las grietas aparecen y el clima es adecuado (época seca).

Antes de iniciar el tratamiento es necesario realizar una evaluación de las grietas presentes sobre la carpeta asfáltica ya que pueden aparecer diferentes tipos de grietas simultáneamente, definir el tratamiento adecuado para cada tipo y su correcta aplicación, considerando también que el ancho y el movimiento horizontal anual de las grietas, serán un factor determinante para saber cuándo sellarlas o llenarlas.

Normalmente, las grietas que trabajan con limitado deterioro de los bordes deben ser selladas, y las grietas que no trabajan con ninguno o moderado deterioro de los bordes, deben ser llenadas.

En general cuando una grieta trabaja o no trabaja puede ser determinada por su tipo. Las grietas que trabajan son usualmente de orientación transversal; sin embargo algunas grietas longitudinales y diagonales pueden cumplir los criterios de 3 milímetros de movimiento horizontal anual. Los materiales colocados en dichas grietas deben adherirse a las paredes laterales de la grieta y extenderse cuando la grieta se abre y cierra. Los materiales modificados con polímeros diseñados para elongaciones de bajos esfuerzos, son preferidos para tratar estas grietas.

Las grietas que no trabajan típicamente incluyen grietas diagonales, la mayoría de grietas longitudinales y algunas grietas de bloques. Debido al relativo cercano espacio o bordes libres entre las grietas que no trabajan, solo ocurren pequeños movimientos. El movimiento mínimo permite el uso de materiales menos elásticos y menos especializados.

Los tratamientos de grietas se comportan como sellantes de características elásticas ya que no proporcionan a la carpeta asfáltica su capacidad estructural inicial, solamente prolongan su vida útil. En la siguiente tabla se muestra los criterios recomendados para la determinación de cuando sellar o llenar.

Tabla VI. **Criterios recomendados para determinar cuándo sellar o llenar**

Características de las grietas	Tratamiento de las grietas	
	Sello de grietas	Llenado de grietas
Ancho, mm	5-19	5-25
Deterioro de los bordes	Mínimo a ninguno (≤25% de long. grieta)	Moderado a ninguno (≤50% de long. grieta)
Movimiento horizontal anual, mm	≥ 3	< 3
Tipo de grieta	Grietas transversales térmicas Grietas transversales reflejadas Grietas longitudinales reflejadas Grietas longitudinales de junta fría	Grietas longitudinales reflejadas Grietas longitudinales de junta fría Grietas longitudinales de borde Grietas de bloque

Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 13.

3. PLANIFICACIÓN Y DISEÑO

Los procesos de planificación y diseño se resumen en la selección de los materiales y configuraciones apropiadas y la determinación de procedimientos y equipos a utilizar, basados en diferentes aspectos, como lo son:

- Condiciones climáticas
- Clasificación de la carretera
- Estudio del tránsito
- Porcentaje de vehículos pesados
- Características de las grietas y su densidad
- Materiales y su correcta caracterización
- Configuración de la colocación del material
- Procedimientos y equipos de colocación
- Seguridad

Es necesario considerar las condiciones climáticas de los lugares donde se harán las operaciones de tratamiento de grietas en la decisión de cuáles materiales y procedimientos deberán usarse. Es importante resaltar que en los climas cálidos se necesita usar materiales que no se ablanden a temperaturas altas, por otro lado en climas muy fríos, se requerirán materiales que tengan buena flexibilidad a temperaturas bajas.

El tránsito es otro aspecto importante, no solamente por la geometría de la carretera y la cantidad de vehículos, sino por la seguridad de los trabajadores durante la instalación.

3.1. Selección del material

En el tratamiento de las grietas es necesario contar con un material de características elásticas; con la finalidad de proporcionar a la carpeta asfáltica desplazamientos tanto de dilatación como de contracción, por tal motivo se requiere el uso de polímeros y aditivos con propiedades altamente adhesivas.

Los diseños de mezcla para el tratamiento de grietas, son variables en función de la altitud, la pendiente y la humedad ambiental.

Una mezcla asfáltica en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas. La mezcla deber ser duradera, resistente a las acciones tales como la pérdida de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, impermeable y trabajable para su fácil colocación y compactación. Cada una de estas y otras propiedades de las mezclas asfálticas son deseables para realizar un trabajo efectivo.

Las mezclas asfálticas son fabricadas en plantas y con los equipos apropiados para esta labor. Según sus propiedades y espesores de capa, se considera que aportan capacidad estructural al pavimento.

Existen muchos materiales para el tratamiento de grietas, cada uno con diferentes características. Los productos esencialmente comprenden tres familias de materiales y están a menudo agrupados por el tipo de material, de acuerdo a su composición y a su proceso de manufactura. Las principales familias de materiales y tipos son los siguientes:

- Materiales bituminosos termoplásticos aplicados en frío
 - Emulsión
 - Emulsión modificada con polímeros

- Materiales bituminosos termoplásticos aplicados en caliente
 - Cemento asfálticos
 - Asfalto con fibras
 - Asfalto con caucho (*rubber asphalt*)
 - Asfalto encauchado (*rubberized asphalt*)
 - Asfalto encauchado de bajo modulo (*Low-modulus rubberized asphalt*)

- Materiales termoestables curados químicamente
 - Silicón autonivelante

Los materiales bituminosos termoplásticos, el cemento asfáltico y las emulsiones tienen poca flexibilidad y son muy susceptibles a la temperatura. Por lo tanto se limitan a utilizarse como relleno en las grietas que no trabajan.

La adición del polímero de caucho al asfalto líquido o calentado, generalmente mejora el comportamiento en el campo debido a que flexibiliza el asfalto. El grado de flexibilidad básicamente depende del tipo y naturaleza del asfalto, del porcentaje de caucho vulcanizado utilizado y de cómo se incorpora el caucho al asfalto (mezclado o fundido).

La siguiente es la tendencia hacia el mejor desempeño de las características de asfaltos modificados con polímeros: emulsiones modificadas con polímeros, asfalto con caucho, asfalto encauchado y asfalto encauchado de bajo módulo.

Los materiales colocados en caliente o curados químicamente, son materiales de uno o dos componentes que se curan por reacción química de un estado líquido a un estado sólido. Este tipo de materiales han sido utilizados en pavimentos asfálticos solo en años recientes. El silicón autonivelante es un sellante de un componente, aplicado en frío, que no requiere equipo.

La tabla VII provee la información general acerca de cada tipo de material, incluyendo la especificación aplicada, la aplicación recomendada y el rango del costo, basado en 1998 según la Strategic Highway Research Program (SHRP) no incluyendo los costos de mano de obra. Generalmente hablando, la complejidad y calidad de los materiales se incrementa cuando se recorre la tabla hacia abajo. Consecuentemente, los costos también se incrementan y la aplicación recomendada cambia de llenado a sellado de grietas.

Tabla VII. **Resumen de materiales para el tratamiento de grietas**

Tipo de material	Especificación aplicable	Aplicación recomendada	Rango de costos US\$/kg
Emulsión asfáltica	ASTM D977, AASHTO M140, ASTM D2397, AASHTO M208	Llenado	0,15 a 0,30
Cemento asfáltico	ASTM D3381, AASHTO M20, AASHTO M226	Llenado	0,15 a 0,30
Asfalto con fibras	Especificaciones del fabricante	Llenado	0,35 a 0,60
Emulsión modificada con polímeros	ASTM D977, AASHTO M140, ASTM D2397, AASHTO M208	Llenado (posiblemente sellado)	0,80 a 1,20
Asfalto con caucho	Especificaciones de cada Estado, ASTM D5078	Sellado, posiblemente llenado	0,45 a 0,65
Asfalto encauchado	ASTM D1190, AASHTO M173, Fed SS-S-164	Sellado	0,55 a 0,85
	ASTM D3405, AASHTO M301, Fed SS-S-1401	Sellado	0,65 a 1,10
Asfalto encauchado con bajo módulo	ASTM D3405 Especificaciones mod. por el Estado	Sellado	0,75 a 1,40
Silicona autonivelante	ASTM D5893	Sellado	5,75 a 6,75

Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 19. Basado en costos de 1998.

El primer paso en la selección de un material es identificar las propiedades claves que un material debe poseer para ser colocado de manera eficiente y que lleven a cabo con éxito en las condiciones previstas durante el tiempo deseado. Algunas de las propiedades deseables son las siguientes:

- Tiempo de preparación
- Rápido y fácil de colocar

- Tiempo de curado corto
- Adhesividad
- Cohesión
- Resistencia al ablandamiento y el flujo
- Flexibilidad
- Elasticidad
- Resistencia al envejecimiento y la intemperie
- Resistencia a la abrasión

La tabla VIII ilustra los tipos de materiales que poseen la mayoría de las propiedades anteriormente mencionadas. Como se puede ver, las propiedades de adherencia y elasticidad asociadas con algunos materiales hacen de ellos buenas opciones para el sellado de grietas que trabajan, mientras que la preparación y los atributos de instalación de emulsión y cemento asfáltico los hacen deseables para el llenado de grietas.

Tabla VIII. **Propiedades asociadas con varios tipos de materiales**

Propiedad	Tipo de material							
	Emulsión	Cemento asfáltico	Asfalto con fibras	Emulsión mod. con polímeros	Asfalto con caucho ¹	Asfalto encauchado ²	Asfalto encauchado con bajo módulo ³	Silicón autonivelante ⁴
Preparación corta	•			•		••	••	••
Colocación fácil y rápida	•	••	••	•	••	••		
Tiempo de curado rápido		••	••		••	•		•
Adhesividad	••	••	•	•	•	••	•	•
Cohesividad					•	••		•
Resistencia al ablandamiento y flujo				•	•	••	••	••
Flexibilidad				•	•	•		••
Elasticidad				•		•		••
Resistencia al envejecimiento y al medio ambiente						•		••
Resistencia a la abrasión					•	••		•

- Aplicable
- Muy aplicable
- ¹ Asphalt Rubber
- ² Rubberized Asphalt
- ³ Low-Modulus Rubberized Asphalt
- ⁴ Self-Leveling Silicone

Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 20.

Los resultados del estudio de tratamiento de grietas por la Strategic Highway Research Program (SHRP) indican las siguientes capacidades del comportamiento de los materiales, con una apropiada instalación:

- La emulsión y el cemento asfáltico como materiales de relleno colocados directamente sobre grietas que no trabajan pueden comportarse satisfactoriamente entre 2 y 4 años, mientras que los asfaltos modificados con caucho y fibras, colocados directamente o en bandas en las mismas grietas, pueden servir efectivamente de 6 a 8 años.
- Sellantes de asfalto encauchado (*Rubberized asphalt*) colocados directamente o en bandas, en grietas cortadas, pueden proveer entre 5 a 9 años de servicio, aunque colocados en bandas sobre grietas no cortadas, pueden proveer de 2,5 a 5 años de servicio.
- El silicón autonivelante (*Self-leveling silicone*) colocado en grietas que trabajan, cortadas, pueden comportarse satisfactoriamente de 4 a 6 años.
- El asfalto con fibras colocado en bandas en grietas que trabajan sin cortar, pueden proveer un máximo de 2 años de servicio adecuado.

3.1.1. Pruebas de laboratorio

Las pruebas y/o ensayos de laboratorio del material para tratamiento de grietas son altamente recomendables, estas aseguran que el material obtenido exhibe las propiedades por las cuales fue seleccionado.

Los procesos de las pruebas se inician con el muestreo del material tomando una muestra mínima de 2 a 4 kilogramos que se tomará de cada bachada o lote del material embarcado, luego serán enviadas a un laboratorio donde se les harán los ensayos respectivos, antes de colocarse.

Dichos ensayos deben llevarse a cabo con los métodos especificados para el material, ya que las variaciones en los parámetros tales como el tamaño de las muestras, las tasas y las temperaturas, pueden afectar significativamente los resultados.

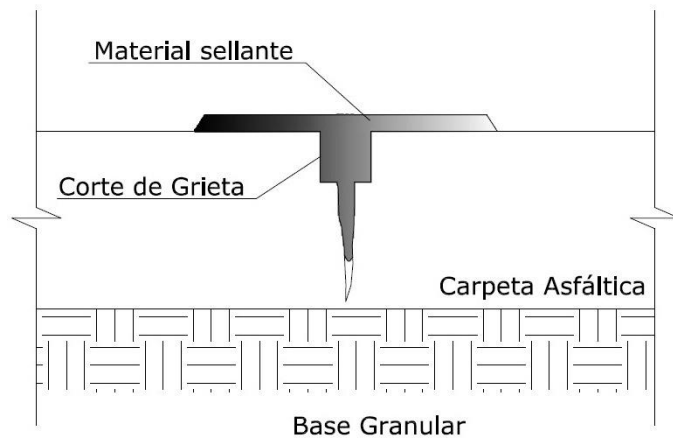
Si el material no cumple con todas las especificaciones realizadas, debe ser rechazado. Por otra parte, un buen rendimiento no garantiza el cumplimiento con las especificaciones del material. La instalación apropiada del material, es una necesidad para el tratamiento de grietas, no importa la buena calidad que el material pueda tener.

3.2. Selección de una configuración de colocación

En caso de grietas mayores a 5 milímetros y con movimiento mayor o igual a 3 milímetros anual, se recomienda el sellado de grietas (figura 16), cortándola previamente usando un ruteador (herramienta para aserrar y/o cortar grietas), con la finalidad de ensanchar las grietas, eliminar las formas irregulares y llegar a tener mayor superficie de adherencia con el material sellante. Se efectuará el ruteado de la grieta dándole un ancho uniforme de 12-15 milímetros y una profundidad de 18-20 milímetros, luego de ello realizar la limpieza y retiro de materiales extraños al asfalto utilizando aire a presión hasta lograr una superficie seca y limpia, utilizando los cepillos de alambre en lugares donde existan elementos extraños que no se remueven con el aire a presión.

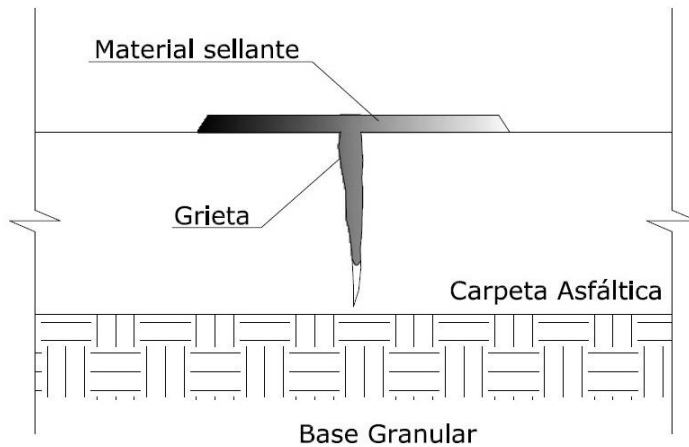
En caso de grietas menores a 5 milímetros y con un movimiento horizontal menor que 3 milímetros anual, se recomienda el llenado de grietas (figura 17), con material no tan especializado, limpiando las grietas con aire a presión removiendo cualquier partícula suelta o dañina que impida la adherencia del material sellante.

Figura 16. **Sellado de grietas**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCad.

Figura 17. **Llenado de grietas**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCad.

Existen diversas configuraciones para colocar el material de sello y llenado de grietas, para la aplicación se agruparan en cuatro categorías:

- Llenado a ras (*flush fill*)
- Depósito de grieta (*reservoir*)
- Banda (*overband*)
- Combinación (depósito y banda)

En la configuración de llenado a ras (figura 18), el material simplemente se dispersa dentro de la grieta sin corte y se remueve el exceso de material.

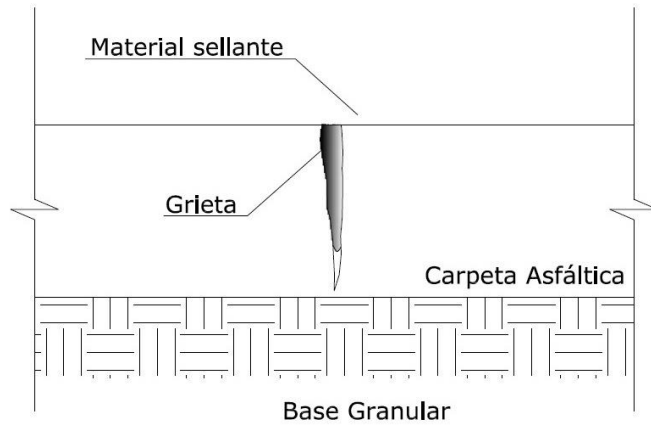
En una configuración de banda (figura 19), el material se coloca en y a través de una grieta sin cortar. El material sobre la grieta se coloca y forma una banda que se talla usando un dispositivo de goma.

En una configuración de depósito (figura 20), el material se coloca solamente dentro de los confines de la grieta de corte.

Una configuración de combinación (figura 21) se compone de un material colocado en y sobre un canal de grieta. Un dispositivo de goma se utiliza para dar forma al material en una banda que está centrado sobre el depósito de grieta.

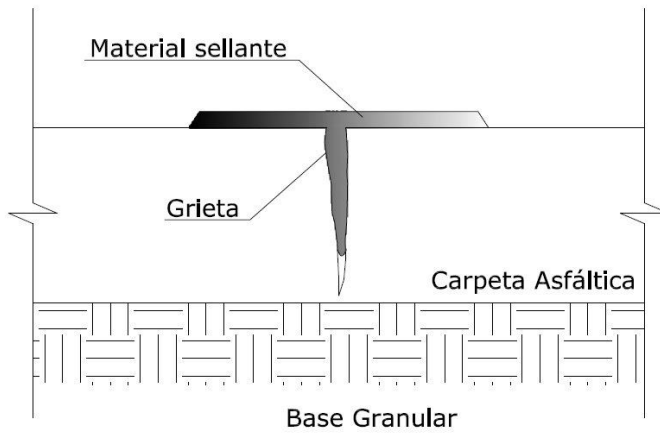
El proceso de una configuración de colocación es bastante complicado para los contratistas y/o supervisores, debido a esto la tabla IX ofrece algunas consideraciones básicas que ayudará con este proceso.

Figura 18. **Llenado a ras**



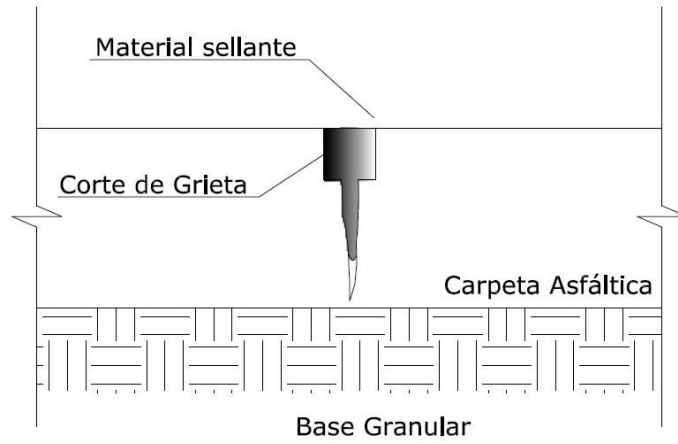
Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCad.

Figura 19. **Banda**



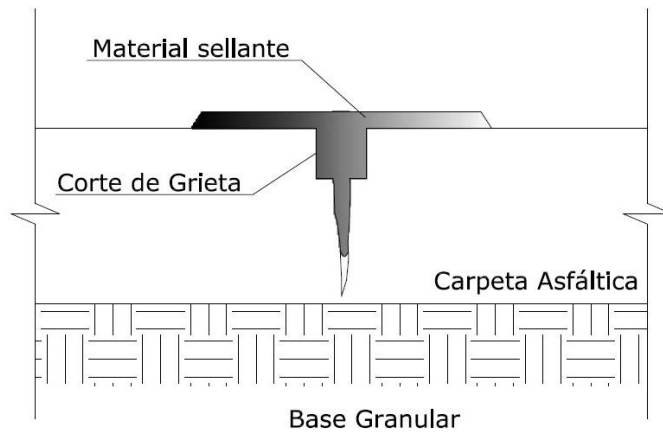
Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCad.

Figura 20. **Depósito**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCad.

Figura 21. **Combinación depósito y banda**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCad.

Tabla IX. **Consideraciones sobre la configuración de colocación**

CONSIDERACIONES	APLICABILIDAD
Tipo y extensión de la operación	La mayoría de las operaciones de llenado, y algunas operaciones de sellado, omiten realizar el corte de grieta.
Tráfico	Experiencia al desgaste en configuraciones de banda y posteriormente, altas tensiones de tracción directamente por encima de los bordes de la grieta, lo que lleva a la ruptura interna.
Características de la grieta	Las configuraciones de banda son más apropiadas para las grietas que tienen una cantidad considerable de deterioro de borde (> 10% de longitud de la grieta), debido a que la banda llena simultáneamente y cubre los segmentos deteriorados en la misma pasada.
Tipo del material	Los materiales tales como emulsión, cemento asfáltico, y la silicona, se deben colocar sin exponerse al tráfico debido al paso vehicular o problemas de abrasión.
Desempeño deseado	Para obtener un rendimiento en el material sellante a largo plazo, las configuraciones al ras, depósito y banda deben ser consideradas.
Estetica	Configuraciones combinadas y de Banda disminuyen la apariencia general del pavimento.
Costo	La omisión de la operación de corte de grieta reduce costos de equipo y mano de obra. Configuraciones combinadas requieren significativamente más material que las configuraciones de depósito, lo que resulta en mayores costos

Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 30.

Realizar el tratamiento de grietas con temperaturas moderadas es recomendable desde dos puntos de vista. Primero, las grietas están parcialmente abiertas de tal forma que una cantidad suficiente de material puede ser colocado dentro de ellas. Segundo, el ancho del canal de grieta, aunque se corte o no, está cerca de la mitad de su rango de trabajo. Esto es importante para el desempeño del material sellante porque no tendrá una extensión o contracción excesiva.

Los tratamientos de grietas se comportan únicamente como sellantes con características elásticas, y no aportan ninguna capacidad estructural a la carpeta asfáltica, solamente prolongan su vida útil.

3.3. Selección de procedimientos y equipos

El tratamiento de grietas se compone de al menos dos y hasta cinco pasos, dependiendo del tipo de tratamiento (sellado o llenado), de la política del tratamiento y de los equipos disponibles. Estos pasos son los siguientes:

- Corte de grieta (es decir, ruteado o aserrado)
- Limpieza y secado de grieta
- Preparación del material y la aplicación
- Acabados
- Material secante

En muchas ocasiones el corte de grieta, los acabados y el material secante, se consideran opcionales. El corte de grieta rara vez se hace en las operaciones de llenado, pero si con frecuencia en operaciones de sellado. En las regiones con variaciones de temperatura anuales significativas, el corte de grieta se realiza a menudo para lograr factores de forma de materiales que

pueden proporcionar una mayor flexibilidad para soportar los grandes movimientos de la grieta.

La mayoría de los programas de tratamiento de grietas utilizan un sencillo dispositivo en forma de U o V de goma, para terminar o dar forma al material en la superficie, como se muestra en la figura 22.

Figura 22. **Dispositivo de goma moldeada en forma de U**



Fuente: <http://www.asphaltkingdom.com>. Consulta: 15 de diciembre de 2012.

Por último, el material secante, se utiliza como una cubierta temporal, generalmente, arena fina, que se coloca directamente en la parte superior del material de tratamiento, y así evitar que los neumáticos de los vehículos dañen la adherencia del mismo. Emulsiones de asfalto y materiales de aplicación en caliente colocados en configuraciones de banda y prematuramente sometidos al tráfico son los principales candidatos para aplicar el material secante, como se muestra en la figura 23.

Figura 23. **Material secante aplicado en tratamiento de grietas**



Fuente: <http://www.construvias.com>. Consulta: 15 de diciembre de 2012.

Existen muchos tipos y marcas de equipos que están disponibles para operaciones de tratamiento de grietas. La tabla X enumera los tipos de aparatos de uso común, ejemplos de equipos de fabricantes y recomendaciones generales relativas a cada unidad. La tabla XI proporciona información adicional acerca de los requisitos de mano de obra y los rendimientos de producción asociados con cada procedimiento.

Tabla X. **Características y recomendaciones del equipo en las operaciones del tratamiento de grietas**

OPERACIÓN	TIPO DE EQUIPO	RECOMENDACIONES
CORTE DE GRIETA	Ruteador de eje Vertical	Usar sólo con puntas de carbono afiladas o fresas de diamante.
	Ruteador roto-impacto	Use solamente con fresas afiladas de metal duro.
	Aserradora de grietas	Utilícese exclusivamente en forma de grietas rectas. Diamante hoja de sierra, diámetro máximo de 200 mm.

Continuación de la tabla X.

LIMPIEZA Y SECADO DE GRIETA	Sopladores de aire (Mochila y Motor)	No recomendada-insuficiente velocidad de explosión (60 a 100 m/s).
	Compresor de aire	Equipado con filtros de aceite y humedad. Presión-690 kPa mínima. Flujo 0,07 m³/s mínimo. Velocidad 990 m/s mínimo
	Lanza de aire a presión en caliente	Velocidad-610 m / s mínimo. Temperatura mínima 1370 °C. No llama directa sobre el pavimento. Muy recomendable. Velocidad 915 m/s mínimo. Temperatura mínima 1650 °C.
	Compresor de aire con arena	Compresor de aire admisible (mínimo 690 kPa de presión y flujo de 0,07 m³ / s). Líneas con un mínimo de 25 mm de diámetro y 6 mm de diámetro interior en la boquilla.
	Cepillo de alambre	No utilice cepillos gastados. No recomendado para la limpieza de grietas previamente tratados.
INSTALACIÓN DEL MATERIAL	Derramadores	No se recomienda para las operaciones de producción.
	Caldera de asfalto	No se recomienda para las operaciones de producción.
	Cámara de calentamiento	Caldera directa de calor no son adecuados para materiales de asfalto de fibra. Calderas de calor indirecto deben estar equipados con: - Cámaras de doble agitador mecánico y controles automáticos de temperatura. - El rango de calentamiento del sellador a 230 °C. - Mezclador completo de barrido. - Calibrador con precisión y medidores de temperatura del combustible para la calefacción de los materiales.

Continuación de la tabla X.

INSTALACIÓN DEL MATERIAL	Herramientas de instalación del cordón de respaldo	Mantiene el hueco adecuado. No daña el cordón de respaldo.
	Bomba aplicadora de silicón	Caudal-0,025 lts/ s mínimo. Manguera revestida con teflón, todos los sellos y de embalaje hechos de teflón.
MATERIALES DE ACABADO	Dispositivo de goma	Resistente, industriales en forma de U o V.

Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 32 y 33.

Tabla XI. **Requerimientos de mano de obra y rendimientos de producción en las operaciones del tratamiento de grietas**

OPERACIÓN	EQUIPO	MANO DE OBRA		PRODUCTIVIDAD APROX. m/min
		EQUIPO	OPERADOR	
CORTE DE GRIETA	Ruteador de eje vertical	1	---	0,5 a 1,0
	Ruteador roto-impacto	1	---	3,5 a 4,5
	Aserradora de grieta	1 a 2	---	1,0 a 2,5
LIMPIEZA Y SECADO DE GRIETA	Sopladores de aire (mochila y motor)	1	---	3,5 a 5,5
	Compresor de aire	1	1	3,0 a 4,5
	Lanza de aire a presión en caliente	1	1	1,5 a 3,0
	Compresor de aire con arena	2 a 3	1	1,0 a 1,5
	Cepillo de alambre	1	---	2,5 a 4,0

Continuación de la tabla XI.

OPERACIÓN	EQUIPO	MANO DE OBRA		PRODUCTIVIDAD APROX. m/min
		EQUIPO	OPERADOR	
INSTALACIÓN DEL MATERIAL	Derramadores	2 a 3	1	1,5 a 3,0
	Caldera de asfalto	2	1	4,5 a 8,0
	Cámara de calentamiento	2	1	4,5 a 8,0
	Cordón de respaldo	2	---	2,5 a 4,5
	Bomba aplicadora de silicón	2	1	1,5 a 3,5
MATERIALES DE ACABADO	Dispositivo de goma	1	---	7,5 a 10,5
MATERIAL DE SECADO	Arena	1 a 2	0 a 1	3,5 a 5,5

Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 34.

3.3.1. Corte de grietas

Esta operación se realiza con ruteadores o sierras, como se ilustra en la figura 24. Sin embargo, debido a que el corte de grietas puede ocasionar daño adicional en el pavimento y es a menudo la actividad más lenta en operaciones de sellado, es deseable utilizar una máquina de alta producción que sigue las grietas adecuadamente y produce astillas o fracturas mínimas.

El ruteador de eje vertical es tal vez la máquina de corte menos dañina y más fácil de manejar, pero, su tasa de producción es muy baja. Ruteadores roto-impacto, son mucho más productivos que los de eje vertical, sin embargo, dependiendo del tipo de corte que se haga, pueden causar considerablemente más daño.

Figura 24. **Ruteadora de grietas**



Fuente: <https://www.google.com.gt/search?q=ruteadores+crafco&source>. Consulta: 25 de noviembre de 2011.

3.3.2. Limpieza y secado de grietas

Uno de los aspectos más importantes en las operaciones del tratamiento de grietas, son los procedimientos apropiados para la preparación de las mismas, utilizando las técnicas para limpiar o secar los canales de grieta y así obtener las mejores condiciones posibles al momento de que el material sea colocado.

Muchos de los problemas que se originan en el sello o llenado son por la falta de adhesión de los materiales debido a la suciedad, fragmentos del pavimento asfáltico o humedad en los canales de grieta. Se utilizan cuatro procedimientos en la preparación de las grietas o canales de grieta los cuales se describen a continuación:

- Aire a presión (*airblasting*)

Se puede realizar con 2 tipos de equipos:

- Sopladores de motor o de mochila portátil (no son recomendables)
- Compresores de aire de alta presión con tubos y varillas

Los sopladores de motor o de mochila, se utilizan en grietas que han sido previamente limpiadas, ya que proveen volúmenes de aire de baja presión. Como resultado, la velocidad de ráfaga se limita generalmente entre 75 y 110 metros por segundo. Estos requieren sólo de un peón y proporcionan una mejor movilidad, a diferencia de los compresores de aire de alta presión (figura 25), que son más deseables porque son más eficaces para eliminar el polvo, suciedad y algunos fragmentos sueltos del pavimento asfáltico, pero se limitan en cuanto a su movilidad y manejo.

Figura 25. **Aire a presión (*airblasting*)**



Fuente: Federal Highway Administration. Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements. p. 38.

- Aire a presión en caliente (*hot airblasting*)

Aire a presión en caliente (figura 26) se lleva a cabo con calor de aire comprimido, generalmente, con una varilla conectado a una unidad de aire comprimido. Este procedimiento es muy útil no solo para eliminar la suciedad, desechos o escombros, además por el calor que ofrece al canal de grieta, reduce la humedad rápidamente y le da a la misma una temperatura ideal para que el material sellante tenga una mejor adherencia.

Los requisitos mínimos para estos compresores deben ser de una capacidad calorífica de 1 370 grados Celsius y 610 metros por segundo su velocidad de ráfaga.

Figura 26. **Aire a presión en caliente (*hot airblasting*)**



Fuente: Federal Highway Administration. Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements. p. 38.

- Aire a presión con arena (*sandblasting*)

Este procedimiento es muy laborioso, pero sin duda alguna muy eficaz en la eliminación de desechos o escombros y fragmentos de pavimento asfáltico adheridos a las paredes laterales del canal de grieta.

El equipo se compone de una unidad de aire comprimido, una máquina contenedora de arena, mangueras, y una vara con una boquilla de tipo Venturi (figura 27). Un compresor de aire el cual es a menudo necesario para la limpieza después de dicha operación.

Figura 27. **Aire a presión con arena (*sandblasting*)**



Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 39.

El suministro de aire comprimido es la parte más crítica de una operación de limpieza de aire a presión con arena. Se deben proporcionar al menos 690 kilo Pascales de presión y 0,07 metros cúbicos por segundo de caudal de aire con aceite y libre de humedad. Gran suministro de aire y mangueras también deben utilizarse para reducir las pérdidas por fricción y las caídas de presión resultantes. Se recomienda un mínimo de 25 milímetros de diámetro interior en las líneas y una boquilla de tamaño del orificio de 6 milímetros de diámetro.

- Cepillo de alambre de acero (*wirebrushing*)

En las grietas que han sido ruteadas o aserradas se limpian usando cepillos de alambre en conjunto con alguna forma de aire comprimido. Dependiendo de las características del cepillo y las cerdas, esta combinación es

muy eficaz en la eliminación de residuos alojados en las paredes laterales de la grieta.

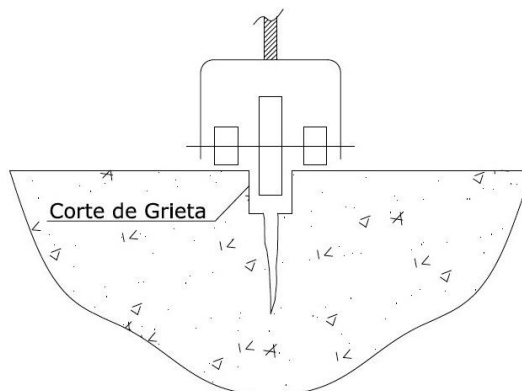
3.3.3. Preparación y aplicación del material

Existen diferentes tipos de materiales, por ende su preparación y aplicación difieren unos con otros, pero el objetivo de estos es el mismo, obtener un material sellante que reúna los requisitos necesarios para adecuarse a las condiciones del lugar en donde se aplicarán y proporcionar así a los pavimentos asfálticos una mayor vida útil.

- Instalación del cordón de respaldo (*backer road*)

Este tipo de herramienta, generalmente se acomoda a un palo de escoba roscado y viene con ruedas de inserción adicionales de diferentes anchuras como se muestra en la figura 28. Una de las herramientas más simple y más fácil para la colocación del cordón de respaldo, es un equipo con dos ruedas de rodillo y una rueda central de inserción ajustable (figura 29).

Figura 28. **Herramienta de instalación del cordón de respaldo**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCad.

Figura 29. **Instalación del cordón de respaldo**

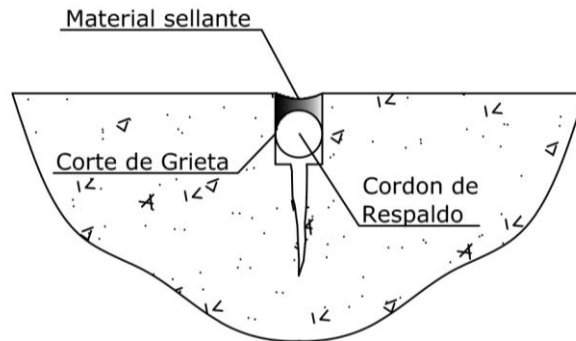


Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 41.

Descripción del cordón de respaldo (figura 30):

- Redondo, blanco o gris (generalmente de color blanco), resistente, polietileno extruido de espuma con una capa exterior resistente al agua.
- Comprime un 25 por ciento en el tamaño muy grande.
- No se pega a los selladores. Excede los estándares ASTM para materiales de adhesión. No se requiere adhesión adicional.
- Muy alta resistencia a la humedad. No absorbe el agua subterránea.
- Compatible con todo tipo de selladores incluyendo poliuretano, siliconas, poliusulfuro, acrílico, y otros.

Figura 30. **Cordón de respaldo (*backer road*)**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCad.

- Materiales bituminosos termoplásticos de aplicación en frío

Los materiales de emulsión se pueden preparar y aplicar de varias maneras. Ellos se pueden cargar en distribuidores para la aplicación parcialmente climatizada o mantenerse en bidones para la aplicación sin calentar. Los distribuidores son a menudo equipados con mangueras de presión o por gravedad. Este material puede aplicarse también, con equipos portátiles o de ruedas sobre las grietas.

Se debe determinar el método a utilizar para la preparación e instalación de emulsiones dependiendo principalmente de la disponibilidad de los equipos. Sin embargo, también se debe considerar la necesidad del calentamiento parcial del material según el tamaño del trabajo.

- Materiales bituminosos termoplásticos de aplicación en caliente

Para la aplicación en caliente de materiales bituminosos termoplásticos se hace generalmente con un distribuidor o una caldera de asfalto, similar a la mostrada en la figura 31. Los materiales asfálticos no modificados, tales como el cemento asfáltico, suelen calentarse y colocarse en los distribuidores con calor directo. Estas unidades normalmente se queman con gas propano para el calor, y el calor se aplica directamente en el tanque de la caldera que contiene el material sellante.

El sistema directo de calor no se recomienda para el calentamiento de materiales de asfalto modificados ya que puede causar un calentamiento desigual o sobrecalentamiento del asfalto, en particular cuando no hay dispositivos de agitación disponibles.

Materiales de asfalto modificados con caucho y fibras, deben ser calentados y mezclados en calderas de agitación con calor indirecto. Estas máquinas queman propano o combustible diésel y el calor resultante se aplica a un aceite de transferencia que rodea el tanque de la caldera con doble camisa que contiene el material de tratamiento. Este método indirecto de calentamiento es más seguro y proporciona una manera más controlada y uniforme para calentar el material. Los dispositivos de agitación suelen ser de serie en estas unidades.

Figura 31. **Caldera de asfalto con aplicador de presión**



Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 42.

Aspectos a tomar en consideración para determinar qué caldera usar:

- Tipo de material
- Tamaño del trabajo
- Restricciones en el tiempo de preparación
- Temperatura del aire durante la preparación
- Seguridad

Los selladores de asfalto modificados con caucho se pueden calentar adecuadamente y aplicarlos con calderas de calor indirecto, equipadas con aplicadores de presión. Sin embargo, los materiales de asfalto con fibras, debido a su consistencia espesa, a menudo requieren el uso de calderas con

bombas de aplicación de trabajo pesado, mangueras grandes, y equipos de agitación. Un motor de 15 kilovatios se recomienda generalmente para aplicaciones con fibras, junto con una bomba de un tanque de recirculación de 50 milímetros de diámetro y las líneas de descarga.

Para realizar trabajos pequeños se utilizarán calderas de capacidad pequeña (300 litros como máximo), ya que se recomienda que las mismas se llenen al menos un tercio de su capacidad, para evitar el sobrecalentamiento del material y para permitir el funcionamiento eficaz; utilizar calderas de gran capacidad no sería adecuado debido a que el material se calienta más de lo necesario.

Dependiendo de la cantidad de materiales preparados, calderas de gran tamaño (1,515 litros o más) puede tardar hasta 3 horas para llevar un material a la temperatura de aplicación. Por el contrario, las pequeñas calderas (190-380 litros) suelen tardar entre 60 y 75 minutos.

En general, la caldera debe permitir que el operador regule la temperatura del material hasta 220 grados Celsius. Termostatos precisos deben controlar la temperatura del material como del aceite de calefacción, y la operación de los quemadores. La caldera debe permitir la recirculación del material nuevo dentro del tanque de la caldera durante los períodos de inactividad. Se recomiendan las mangueras con aplicador aislados, y las mangueras deben cumplir con las especificaciones del fabricante.

- Materiales termoestables de aplicación en frío

Las bombas de silicón deben estar conectadas directamente al contenedor que tendrá una capacidad de unos 190 o 208 litros en el mismo. Bombas y

aplicadores deben proporcionar un sellador a la grieta a una tasa que no limite al operador; se recomienda 0,03 litros por segundo como una velocidad de flujo mínima. Además que las mangueras y los sellos de aplicación vengan recubiertas de teflón, ya que son capaces de prevenir que el silicón se pegue en la bomba o en la manguera.

3.3.4. Acabados

La operación del acabado del material puede llevarse a cabo de dos maneras. Primero, diversos tamaños y formas de dispositivo de goma están disponibles, pueden ser conectados al extremo de un palo de escoba roscado para realizar la aplicación en un solo paso; aplicación y acabado. Segundo, el dispositivo de goma, como se muestra en la figura 32, se puede utilizar barriéndolo detrás del material para obtener y proporcionar la forma deseada.

Figura 32. **Dispositivo de goma moldeada en forma de V**



Fuente: <http://selladoenfriodefisurasasfalto.blogspot.com/>. Consulta: 15 de diciembre de 2012.

3.3.5. Material secante

El equipo necesario para secar depende del tipo de material secante a ser utilizado. Generalmente se usa como material secante la arena fina, y utilizando un camión o *pick up* en el que se pueda almacenar, junto con palas para la colocación.

3.4. Estimación del material requerido

Lo esencial en todo tratamiento de grietas es poder obtener los mayores beneficios y uno de ellos es el costo-beneficio en los trabajos, considerando que los resultados esperados sean mayores que los gastos incurridos.

Una estimación teórica y a la vez acertada en cuanto al material requerido cuando se cortan las grietas se detalla en la figura 33.

En la práctica dicho procedimiento se simplifica y se realiza calculando un rendimiento en libras por metro (lb/m), que es función de la configuración de la grieta. Para estimar el peso o volumen del material requerido, se multiplica por la longitud de las grietas a ser tratadas, dando como resultado la cantidad del material requerido.

Figura 33. **Hoja de cálculo para determinar la cantidad de material requerido**

DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL REQUERIDO		
A	Longitud de la sección a tratar	_____ m
B	Longitud del segmento de la muestra inspeccionada.	_____ m
C	Cantidad (longitud) de la grieta orientada en el segmento de la muestra inspeccionada.	_____ m
D	Cantidad (longitud) de grieta en la sección específica.	
	$D = C \times (A/B)$	_____ m
E	Ancho promedio estimada de la grieta apuntado.	_____ mm
F	Tipo de configuración del material previsto.	
G	Sección transversal de la configuración prevista.	_____ mm ²
H	Volumen total en m ³ de la grieta específica a tratar.	
	$H = (G/10^6) \times D$	_____ m ³
I	Volumen total en L de la grieta a tratar.	
	$I = H \times 1000 \text{ L/m}^3$	_____ L
J	Peso de la unidad del material de tratamiento previsto en kg / L.	_____ kg / L
K	Cantidad teórica de material necesario en kg.	
	$K = J \times I$	_____ kg
L	Cantidad total de material recomendado por el ___% de desperdicio.	
	$L = 1. _ \times K$	_____ kg

Fuente: Federal Highway Administration. Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements. p. 47.

4. CONSTRUCCIÓN

Teniendo definido el material y los procedimientos de colocación más adecuados, se procede a la aplicación apropiada en campo; considerando todos los aspectos influyentes en el proceso y esperando cumplir los objetivos deseados para que el tratamiento de grietas sea el mejor. De la misma manera los supervisores e inspectores deberán saber qué resultados esperan de cada operación. En el apéndice B se presentan varios puntos que servirán como guía de control para los que supervisan la calidad del trabajo.

4.1. Control de tráfico

Considerando que en el tratamiento de grietas las operaciones pueden realizarse en movimiento o estacionarias, se deben tomar las medidas y precauciones necesarias cuando se trabaja en carreteras donde el tránsito vehicular es de moderado a alto. De esta manera se proporciona un entorno de trabajo seguro para el personal de instalación y una trayectoria de desplazamiento seguro, mínimamente perjudicial para el tráfico.

Dichos procesos de control pueden ser establecidos por las políticas de cada contratista, si bien es cierto, se pueden realizar encuestas para determinar que otras alternativas y equipos son necesarios para las medidas preventivas a utilizar. Dependiendo de la operación a realizar, así también será importante analizar el personal necesario durante dicho proceso.

4.2. Seguridad

Otro aspecto muy importante es la protección de los trabajadores contra los riesgos ocasionados por los materiales y equipos. La vestimenta para proporcionar mayor seguridad en las carreteras, tales como chalecos y cascos, siempre deben ser usados por los trabajadores y capataces durante las operaciones. Además, se debe ser consciente de todas las precauciones de seguridad asociadas con los materiales y equipos que se utilicen. Una descripción más detallada de los materiales y equipos de seguridad se proporcionan en el apéndice C.

4.3. Corte de grietas

El objetivo primordial en la operación de corte de grietas, siendo una operación opcional, pero muy necesaria, es crear un depósito rectangular uniforme, centrado en la mayor medida posible a través de una grieta en particular, y causar el menor daño posible en el pavimento circundante.

Antes de realizar el corte de grietas se debe rectificar el equipo a utilizar, como lo son las hojas del ruteador o cortadora, nitidez y tamaño, para no astillar o dañar la grieta y proporcionar el corte. La profundidad del corte se ajustará desde el equipo a utilizar mediante calibradores, los cuales se establecerán antes del corte formal de grietas.

Sin importar el tipo de equipo usado de corte, se debe hacer todo lo posible para seguir con precisión la grieta durante el corte sin perder segmentos de la misma como se muestra en la figura 34. Centrando el corte sobre la grieta tanto como sea posible proporcionará un margen añadido al cortar.

Figura 34. **Segmento de grieta que se perdió por el equipo de corte**



Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 51.

4.4. Limpieza y secado de grietas

Proporcionar un canal limpio y seco en las grietas, libres de fragmentos sueltos de pavimento asfáltico; donde se pueda colocar el material sellante y cualquier otro accesorio de los materiales.

Si las grietas se cortan, los operadores de limpieza encontrarán fragmentos sueltos del pavimento ocasionados por el corte, por lo que deben eliminarlos, ya que será perjudicial para el material de sello o llenado. Si el equipo de limpieza no es capaz de eliminar estos fragmentos, deben ser removidos manualmente con herramientas de mano (cepillos de alambre).

Por último, el operador de corte debe inspeccionar periódicamente la forma y el tamaño de la grieta para evitar el consumo excesivo de material.

Por otro lado, cualquier operación de limpieza y secado de grieta debe llevarse a cabo justo antes de la operación de sellado o llenado. Cuanto mayor es el intervalo de tiempo entre estas dos operaciones, el polvo y los escombros es más probable que se asienten en el canal de grieta. El menor tiempo entre las dos operaciones, mayor es el potencial de unión del material sellante.

4.4.1. Aire a presión (*airblasting*)

Debido a que el aire a alta presión no proporciona calor y muy poco secado, solo se debe realizar cuando los canales de pavimento y de grieta están completamente secos y cuando la temperatura ambiente es superior a los 4 grados Celsius. Además, dado que muchos compresores de aire modernos son conocidos por introducir agua y aceite en el suministro de aire, los compresores deben estar equipados con los filtros de humedad y de aceite que eliminan eficazmente estos contaminantes.

El aire a presión es un equipo que debe ser capaz de proporcionar una corriente de aire continua, de gran volumen, de alta presión usando aire limpio y seco. Los criterios operativos recomendados para la presión son 690 kilo Pascales y para el caudal 0,7 metros cúbicos por segundo. Se recomienda que los operadores realicen por lo menos dos pasadas a lo largo de cada grieta o segmento de grieta para desalojar la suciedad, los escombros del canal de grieta y eliminar completamente todas las partículas desprendidas de la calzada y el hombro.

4.4.2. Aire a presión en caliente (*hot airblasting*)

El aire a presión en caliente se puede utilizar tanto en condiciones ideales como en adversas para la limpieza, secado y calentamiento de grietas. Sus

aplicaciones más prácticas incluyen el secado de grietas húmedas y el calentamiento de grietas por debajo de los 10 grados Celsius para promover la unión con los materiales de aplicación.

El equipo de aire a presión en caliente deberá proporcionar una corriente continua de aire de alta presión caliente sin llama en la boquilla de salida y ser utilizados con extrema precaución para que el pavimento asfáltico no se queme. Debe mantenerse aproximadamente a 50 milímetros por encima del canal de grieta para brindar una calefacción adecuada reflejando un tono ligeramente oscurecido sobre la grieta. Si la grieta se quema, se apreciará un color negro y una textura muy arenosa.

4.4.3. Aire a presión con arena (*sandblasting*)

La operación de limpieza con arena a presión debe hacerse en tiempo seco y a una temperatura arriba de los 4 grados Celsius, seguidas de la operación de aire a presión para eliminar la arena abrasiva en el canal de grieta y la carretera. El equipo de limpieza con arena a presión debe ser capaz de eliminar la suciedad, los desechos, y el residuo de aserrado con una mezcla correctamente dosificada de aire y arena abrasiva, sin dañar la integridad del canal de grieta.

Un mínimo de 690 kilo Pascales de presión y un caudal de 0,7 metros cúbicos por segundo de aire, libre de humedad y aceite, debe ser suministrado a la operación de limpieza con arena a presión, de tal manera que se mantiene una presión de boquilla mínima de 620 kilo Pascales. Además, se recomiendan que las mangueras sean de 25 milímetros de diámetro interior y un orificio de 6 milímetros de diámetro en la boquilla.

4.4.4. Cepillo de alambre de acero (*wirebrushing*)

Los cepillos de motor o mecánicos deben utilizarse sólo para la limpieza en los canales de grietas secas, con poca adherencia de agregados. Deben ser capaces de seguir de cerca la grieta y, es necesario complementarlo con la operación de aire a presión. Además, el cepillo deberá contener cerdas lo suficientemente flexibles como para permitir la penetración en el canal de grieta, y lo suficientemente rígido como para eliminar la suciedad y los residuos sin dañar la grieta.

4.5. Preparación y aplicación de materiales

Para depositar el material en el canal de grieta, se debe preparar el material de tratamiento de grietas para la aplicación y configuración de colocación recomendada, colocar la cantidad necesaria y/o requerida de material en o sobre el canal de la grieta a tratar.

La operación de instalación del material debe seguir detrás de la operación de limpieza y secado de grieta, con el fin de asegurar el canal de grieta más limpio posible.

4.5.1. Instalación del cordón de respaldo (*backer road*)

Otro material muy utilizado para disminuir la cantidad de material sellante, es la instalación de un cordón de respaldo, el cual brinda excelentes resultados. Para la aplicación de dicho cordón, el canal de grieta deberá estar limpio y seco. El método recomendado para la instalación del cordón de respaldo es el siguiente:

- Ajuste el disco de inserción en la herramienta de instalación del cordón de respaldo a la profundidad adecuada para la colocación. La profundidad debe ser ligeramente mayor que la profundidad requerida del cordón, debido a que el mismo se comprime ligeramente cuando se instala.
- Asegurarse que el cordón sea el adecuado y cumpla las condiciones y diámetros para insertarlo en la sección del canal de grieta.
- El Carrete deberá contener la cantidad suficiente de cordón para cubrir la longitud de la grieta.
- Insertar el extremo del cordón en un extremo del depósito o canal de grieta.
- Meter el cordón libremente en el canal de grieta, en varios puntos a lo largo de la grieta, dejando un poco de holgura en el cordón entre los puntos. El estiramiento y torsión del cordón se debe evitar siempre que sea posible.
- El cordón se empujará en el canal de grieta a la profundidad requerida usando la herramienta de instalación. Será necesario durante este tiempo, tomar periódicamente la holgura en la barra que podría haberse desarrollado o que ya existía.
- Pase la herramienta de instalación una segunda vez para asegurar la profundidad adecuada.
- Cortar el cordón de respaldo a la longitud deseada, asegurándose que no existan diferencias entre los segmentos del mismo.

4.5.2. Preparación del material

Cada material del tratamiento de grietas requiere alguna forma de preparación, si se trata de cargar el material en el aplicador, calentarlo a la temperatura apropiada o mezclarlo para la consistencia adecuada y

calentamiento uniforme. Las recomendaciones específicas proporcionadas por el fabricante del material a colocar, deben ser seguidas de cerca. Estas recomendaciones se refieren en general a elementos tales como la temperatura mínima de colocación, temperaturas de calentamiento de material, calentamiento prolongado y permitida temperatura del pavimento y las condiciones de humedad.

Las mejores condiciones de colocación para la mayoría de los materiales son pavimentos secos y una temperatura del aire mayor a 4 grados Celsius. Sin embargo, el uso del aire a presión en caliente por lo general permite que los materiales aplicados en caliente puedan ser colocados en condiciones frías o un poco húmedas.

Dos temperaturas son importantes para monitorear durante la preparación de los materiales de aplicación en caliente:

- Temperatura recomendada para la aplicación: la temperatura del material en la boquilla que se recomienda para un rendimiento óptimo.
- Temperatura de seguridad: la temperatura máxima que un material puede ser calentado antes de experimentar una ruptura en su formulación.

Las temperaturas de aplicación recomendadas para materiales de asfalto aplicado en caliente generalmente varían de 188 a 200 grados Celsius. Excepciones notables incluyen algunos materiales asfálticos con fibras que se deben aplicar a temperaturas en el rango de 138 a 160 grados Celsius. Las emulsiones se pueden aplicar a temperatura ambiente o pueden ser calentadas parcialmente entre 52 y 66 grados Celsius.

Antes de calentar un material, los operadores de la caldera deben conocer las temperaturas de calentamiento seguro y los efectos de calentamiento o recalentamiento prolongado. Las temperaturas de calentamiento seguras para los materiales de aplicación en caliente suelen ser de 11 a 17 grados Celsius más altas que la aplicación recomendada. Los efectos de calentamiento o recalentamiento extensivo dependen del material a trabajar ya que algunos materiales presentan una gruesa consistencia gelatinosa, mientras que otros se suavizan considerablemente. En cualquiera de los casos, el material debe ser desechado y se debe preparar un nuevo material.

El prolongado calentamiento y recalentamiento del material como resultado de demoras en el trabajo es otro problema que ocurre en la preparación de los mismos. La mayoría de los materiales de aplicación en caliente se han prolongado en períodos de calentamiento entre 6 a 12 horas, y se pueden recalentar una vez más. En ambos casos, se debe añadir más material, si es posible, para prolongar la vida útil de la aplicación.

La caldera de asfalto deberá estar limpia, antes de su uso y libre de cualquier sustancia utilizada previamente para no mezclarla con el nuevo material sellante. Todos los indicadores de temperatura de la unidad deben ser calibrados para mostrar las temperaturas exactas. Un termómetro debe estar disponible para la verificación de la temperatura del material en la caldera y la medición de la temperatura del material en la boquilla. Un termómetro infrarrojo de mano debidamente calibrado se puede utilizar para comprobar fácilmente las temperaturas del material sellante, del aire y del pavimento.

Algunas guías para el calentamiento inicial de los materiales de aplicación en caliente son los siguientes:

- La calefacción debe comenzar de manera que el material esté listo para el momento en que comiencen las operaciones normales de trabajo
- La temperatura de la calefacción del aceite se debe mantener no más de 28 a 42 grados Celsius por encima de la temperatura de calefacción segura del material, según la recomendación del fabricante del material
- La temperatura del material debe permanecer por debajo de la temperatura de vertido recomendada
- El agitador debe iniciarse tan pronto como sea posible

4.5.3. Aplicación del material

Para la aplicación de vertido en caliente se debe comenzar una vez que el material ha alcanzado la temperatura de aplicación recomendada y las grietas han sido previamente preparadas. A partir de aquí, la atención se centra en tres elementos:

- Mantener consistentemente el material cerca de la temperatura de aplicación recomendada sin sobrecalentamiento
- El mantenimiento de un suministro suficiente de material caliente en la caldera
- Verter la cantidad correcta de material en los canales de grieta

Los operadores de los equipos deben de estar conscientes de las temperaturas de aplicación recomendadas y del calentamiento seguro del material de uso. Estas temperaturas están marcadas en los recipientes del material para una referencia rápida y fácil.

El mantenimiento de una temperatura consistente del material puede ser bastante difícil, sobre todo cuando hace frío. Los materiales por debajo de su calentamiento pueden producir una pobre adhesión, lo que provocará un retraso en el trabajo. El sobrecalentamiento, por el contrario, dará lugar a cualquiera de los resultados del tratamiento deficientes.

Los parámetros para el mantenimiento de materiales de aplicación en caliente en una cantidad suficiente y a la temperatura adecuada durante la aplicación son los siguientes:

- Comprobar la temperatura del material en la boquilla y en la caldera utilizando un termómetro de alta temperatura unido a una varilla de metal o de madera, o de un termómetro de infrarrojos de mano
- Regular el control del calentamiento para que alcancen la temperatura de aplicación recomendada (o lo más posible sin sobrepasar la temperatura de calentamiento seguro)
- Comprobar regularmente la temperatura de sellado y ajuste según sea necesario
- Revisar si hay acumulación de material carbonizado en las paredes laterales de la caldera y realizar una inspección visual del material para observar los cambios en la consistencia
- Controlar periódicamente el nivel de material en la caldera. Añadir el material según sea necesario

El procedimiento de solicitud para todos los materiales de tratamiento de grietas es básicamente el mismo, independientemente del dispositivo de aplicación que se utilice. Los aplicadores a presión se utilizan casi siempre, sin embargo, algunos derramadores se utilizan en ocasiones para la aplicación de

emulsiones aplicadas en frío. En todos los casos, un material fluido debe ser vertido en y sobre el canal de grieta.

Las guías generales para la aplicación del material sellante incluyen las siguientes consideraciones:

- Aplicar el material con la boquilla en el canal de grieta, de manera que el canal se llene desde la parte inferior hacia arriba y no quede aire atrapado debajo del material
- Aplicar el material en un movimiento continuo, asegurándose de llenar el canal hasta el nivel adecuado para configuraciones deseadas
- Vuelva a aplicar el material en los segmentos donde el material ha penetrado en la grieta o se colocó una cantidad insuficiente en la pasada anterior
- Que exista una recirculación del material a través de la varilla o manguera al tanque de la caldera durante los períodos de inactividad

4.5.4. Limpieza de la caldera de asfalto

La limpieza de la caldera de asfalto es una operación que si bien, es muy fácil de hacer, hay ocasiones en que no se hace correctamente y repercute en la calidad del material sellante. Al terminar las operaciones de sello de grietas, las mangueras y la caldera deberá limpiarse de cualquier resto de material que haya quedado fuera y dentro, de ser así debe removerse y eliminarse por completo. Uno de los objetivos de los operadores es calcular la cantidad de material en la caldera para que al finalizar el trabajo no queden restos de material y no exista desperdicio.

Una limpieza a fondo puede llevarse a cabo utilizando procedimientos de lavado con solventes. Si se utilizan solventes de lavado en la limpieza, el operador de la caldera debe asegurarse de que no contaminen el material. Las instrucciones paso a paso sobre cómo limpiar calderas y líneas de aplicación, generalmente se encuentran en el manual de operaciones del fabricante del equipo.

4.6. Acabados

El objetivo de los acabados en los materiales es dar forma o moldear el material aplicado en la configuración deseada.

Para este proceso se utilizarán los dispositivos de goma los cuales deberán ser moldeados adecuadamente en forma de U o V de manera que el material pueda ser concentrado sobre y/o dentro de la grieta.

Se debe asegurar antes de la instalación, que los dispositivos sean acordes al tamaño necesario y brinden la forma según la configuración a utilizar y con esto faciliten la aplicación. Si la configuración es llenado a ras, la pieza de goma será plana, si la configuración es de banda, la pieza de goma deberá ser cortada con las dimensiones deseadas. La profundidad del corte debe ser un poco más grande que el espesor deseado de la banda, debido a que algunos espesores se pierden como resultado de que el dispositivo de goma empuja hacia adelante y ligeramente hacia abajo.

Algunas recomendaciones para el acabado en los materiales son las siguientes:

- Operar el dispositivo de goma de cerca, utilizando su respectiva herramienta de instalación
- Concéntrese en centrar el dispositivo de goma a través del canal de grieta
- Mantenga la boquilla del extendedor libre de la acumulación de material raspándolo periódicamente en el pavimento

4.7. Material secante

El material secante es utilizado para proteger y servir de cubierta temporal al material de tratamiento de grietas, con el fin de evitar que el paso de los neumáticos de los vehículos no interfieran con la adherencia del material y la grieta tratada, el cual debe aplicarse inmediatamente después de los acabados, procurando no hacerlo en exceso.

La arena se utiliza principalmente como un papel secante para muchos materiales de emulsión y de vez en cuando de cemento de asfalto. Se debe aplicar en una capa delgada y debe cubrir completamente el material de tratamiento expuesto.

5. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO EN EL TRATAMIENTO DE GRIETAS

La supervisión en la ejecución de los tratamientos de grietas es importante para verificar si los trabajos realizados cumplen con los objetivos esperados, además, puede hacerse con bastante rapidez en un tiempo de 1 o 2 horas con una precisión razonable, siempre y cuando el supervisor y/o inspector conozcan de los resultados esperados.

La inspección en el tratamiento de grietas debe hacerse por lo menos una vez cada año, para monitorear el porcentaje de fallas y un plan debidamente estructurado para el mantenimiento posterior. Una evaluación es recomendable a mitad de la época húmeda, ya que mostrará la efectividad del tratamiento que pone en evidencia la humedad.

Al igual que en el estudio inicial pavimento/grieta, se debe seleccionar para la evaluación, una pequeña muestra representativa del pavimento que consiste en el ancho de la rodadura por una longitud de 150 metros por kilómetro. El material de sellado o llenado en cada grieta, dentro de la sección de la muestra, se debe examinar visualmente para determinar qué tan bien el material está realizando su función.

Se mencionan algunos aspectos por los cuales se fracasa en las operaciones del tratamiento de grietas:

- Pérdida de adherencia
- Remoción parcial o total del material

- Descascaramiento o grietas ramificadas extendiéndose por debajo del material de tratamiento de la grieta
- Presencia de humedad en la grieta
- Presencia de baches

Una buena estimación del porcentaje de falla del tratamiento se puede calcular mediante la medición y la suma de las longitudes de los segmentos fallados y dividiendo esta cifra por la longitud total de las grietas tratadas inspeccionadas.

$$\% \text{ Falla} = 100 \times L_f / L_t \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: % Falla = % de la duración del tratamiento que ha fallado
 L_f = longitud de falla de la grieta tratada, m
 L_t = longitud total de la grieta inspeccionada, m

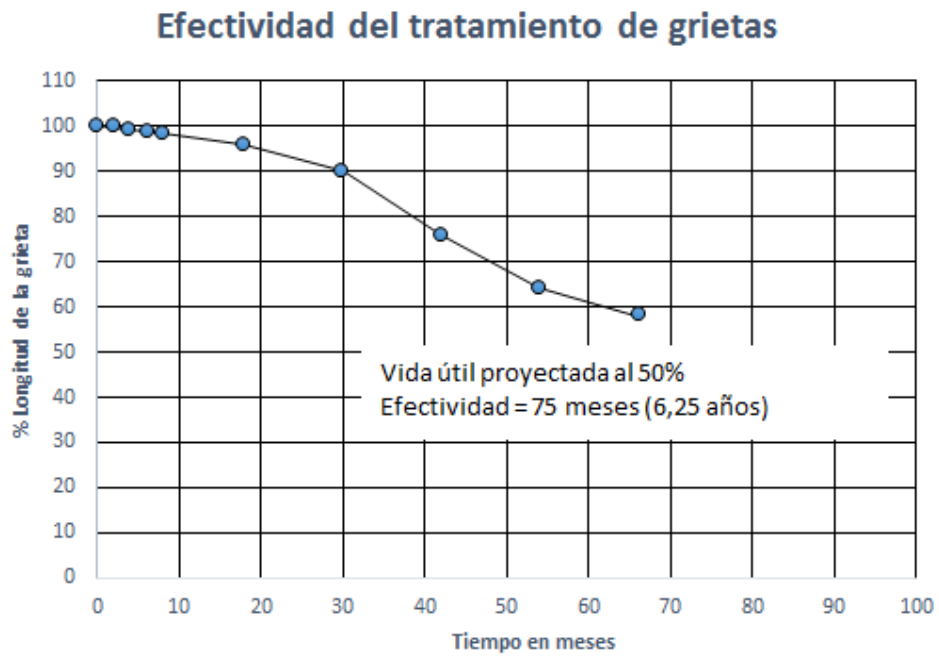
La efectividad del tratamiento, se puede determinar restando el porcentaje de falla del tratamiento a partir de 100 por ciento.

$$\% \text{ Ef} = 100 - \% \text{ Falla} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde: % Ef = % de la longitud de tratamiento efectivo de la grieta
 % Falla = % de la duración del tratamiento que ha fallado

Después de unas pocas inspecciones, se puede construir un gráfico de la eficiencia en función del tiempo, como la que se muestra en la figura 35. Un nivel mínimo de eficiencia aceptable, digamos 50 o 75 por ciento, ayudará a indicar la estrategia del mantenimiento futuro.

Figura 35. **Ejemplo gráfico de la efectividad del tratamiento en función del tiempo**



Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 66.

CONCLUSIONES

1. El tratamiento de grietas es una actividad muy importante en el mantenimiento de carreteras, que con la selección adecuada de materiales y la correcta aplicación, permite ampliar la vida útil del pavimento, al impedir la infiltración de agua y materiales incompresibles, en la estructura del pavimento.
2. Es importante en toda operación de tratamiento de grietas, hacer una evaluación de las grietas en el pavimento asfáltico, para determinar el tipo y mantenimiento que requieren, y así, obtener información de su comportamiento y poder determinar cuándo realizar un sellado o llenado de grietas.
3. Todo proceso para un buen trabajo en el tratamiento de grietas, debe planificarse con cuidado, para obtener los resultados esperados. La planificación debe concentrarse en la selección adecuada del material sellante que reúna las condiciones y especificaciones necesarias, para el uso que se le requiere, además de indicar los procedimientos correctos para su aplicación.
4. Al momento de la aplicación y ejecución en las operaciones de sellado y llenado de grietas, se necesita tener un control bien estructurado del manejo del tránsito vehicular, en caso que las operaciones sean en movimiento, para no interferir y ocasionar congestionamiento, al igual que contar con la seguridad indicada para evitar riesgos en el personal

de trabajo. Aun siendo las operaciones estacionarias se deben tomar las medidas preventivas.

5. La selección adecuada del material y su correcta aplicación son importantes para garantizar una buena calidad de gasto y que a largo plazo se garantice un trabajo con un alto desempeño y durabilidad.

RECOMENDACIONES

1. El mantenimiento continuo a los pavimentos asfálticos es una tarea de suma importancia, por lo que su trabajo debe ser eficiente para prolongar su serviciabilidad y minimizar costos, evitando gastos innecesarios o mayores en reparaciones extensas.
2. Para el tratamiento de grietas debe utilizarse material especializado: asfalto con caucho (*asphalt rubber*), asfalto encauchado (*rubberized asphalt*), asfalto encauchado con bajo módulo (*Low-modulus rubberized asphalt*) y silicón autonivelante (*self-leveling silicone*), porque estos materiales presentan mejor desempeño y durabilidad. Deben implementarse los ensayos de laboratorio para evaluar el material importado, y desarrollar experiencia nacional.
3. Es indispensable que el operador y/o supervisor tengan bien definido cuando las grietas deben sellarse o llenarse. Esto proporcionará mayor rendimiento en el trabajo a realizar y evitará desperdicio del material.
4. Para realizar el sello de grietas, tomando en cuenta que las que se sellaran son mayores a 5 milímetros, tienen un movimiento horizontal anual mayor a 3 milímetros y se recomienda cortarlas con equipo adecuado, proporcionando a la grieta un canal rectangular uniforme, en donde se pueda depositar el material sellante especializado, que reúna las características necesarias para dar elasticidad, flexibilidad y que permita comprimirse ante los movimientos de la grieta.

5. El tratamiento de grietas debe ser ejecutado en la época seca para obtener los resultados óptimos. Al sellar en época húmeda el material no se adhiere totalmente a las paredes de la grieta y termina despegándose. Aunque aparentemente la superficie esté seca, la evaporación posterior de humedad más profunda, al final, despega el material.

6. Fundamentalmente deben sellarse las grietas producto de una falla superficial, únicamente de la capa de rodadura. Nunca deben sellarse grietas de densidad alta, producto de fallas estructurales. Allí corresponden trabajos de bacheo profundo o reparación total de la superficie. Tratar de sellar numerosas grietas conectadas (grietas en bloque) es una mala práctica e irresponsabilidad por parte del Supervisor-Contratista.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highway and Transportation Officials. 1986. *Guide for Design of Pavement Structures*, Washington, D.C.: AASHTO 1986. 1219 p.
2. BOOZ-ALLEN; HAMILTON / BARRIGA DALL'ORTO / WILBUR SMITH. *Manual de identificación, clasificación y tratamientos de fallas en pavimentos urbanos. Lima y Callao*. 1999. Versión PDF. 135 p.
3. CRAFCO INC. *Sellado de Juntas y Grietas, correcta aplicación y evolución en Latinoamérica* [en línea] Versión PDF 34 p. CRAFCO INC. <http://www.crafco.com>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].
4. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements. Manual of Practice* (1999). FHWA Report No. FHWA-RD-99-147. 94 p.
5. Instituto de la Construcción y Gerencia. *Tratamiento de Fisuras en Carpetas Asfálticas* [en línea] Versión PDF. <http://www.construcción.org.pe>. [Consulta: 10 de octubre de 2011].
6. Manual de Diseño y Aplicación. *Impermeabilizaciones con Membranas asfálticas* [en línea] Versión PDF. http://www.asfalchile.cl/pdf/catalogo_impermeabilizacion/manual_de_diseno_y_aplicacion.pdf . [Consulta: 15 de octubre de 2011].

7. Pavement Maintenance *Manual*. Nebraska, Department of Roads (NDOR). [en línea] Versión PDF 68 p. <http://www.nebraskatransportation.org/docs/pavement.pdf>. [Consulta: 5 de noviembre de 2011].

8. State-of-the-Art *Survey of Flexible Pavement Crack Sealing Procedures in the United States*. Robert A. Eaton and Jane Ashcraft. (1992) CRREL Report 92-18 [en línea] Versión PDF. 24 p. <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA258050>. [Consulta: 5 de noviembre de 2011].

ANEXOS

1. Especificaciones de las pruebas de los materiales

Este anexo presenta las especificaciones de ensayos para los tipos de materiales primarios utilizados para el sellado de grietas. Estos criterios se basan en las especificaciones, tales como ASTM y AASHTO, agencias de carreteras, y los fabricantes de materiales. Las especificaciones se revisan con frecuencia, y deben de ser lo más actualizadas posibles.

Tabla XII. **Especificaciones del asfalto con caucho**

Prueba	ASTM D 5078 Criterio de prueba
Cono de penetración (25°C), dmm	70 max
Cono de penetración (4°C), dmm	15 min
Resistencia	30 min
Punto de reblandecimiento,	150 min
Compatibilidad del Asfalto	Que pase

Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 68.

Tabla XIII. **Especificaciones del silicón autonivelante**

Prueba	Método de Prueba	ASTM D 5893 Criterios de Prueba
Velocidad de extrusión, m/min	ASTM C 1183	50
Esfuerzo de tracción a 150% de deformación (23°C), kPa	ASTM D 412(C)	310
Propiedades Reológicas	ASTM D 2202	Tipo 1, suavizar
Tiempo de curado, hr	ASTM C 679	5
Enlace (-29°C, 100% extensión, inmerso, no inmerso)	ASTM D 5893	Que pase
Dureza (-29°C, tipo A2)	ASTM C 661	25
Dureza (23°C, tipo A2)	ASTM C 661	30
Flujo	ASTM D 5893	No hay flujo
Alargamiento a la Rotura, %	ASTM D 412 (C)	600
Intemperie acelerada, %	ASTM C 793	Que pase
Resistencia, %	ASTM D 5893	75

Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 68.

Tabla XIV. **Especificaciones del asfalto encauchado**

Prueba	Criterios de Prueba						
	Norma Anterior			Norma Actual			Módulo Bajo
	ASTM D 1190	AASHTO M 173	Federal SS-S- 164	ASTM D 3406	AASHTO M 301	Federal SS-S- 1401	Estado de Especificación
Cono de Penetración (25°C), dmm	90	90	90	90	90	90	110 a 150
Flujo (60°C), mm	5	5	5	3	3	3	3
Resistencia (25°C), % Recuperación				60	60	60	60
Bond (-18°C, 50% extensión)	Pasa 5 ciclos	Pasa 5 ciclos	Pasa 5 ciclos				
Bond (-18°C, 100% extensión) o (-29°C, 50% extensión)						Pasa 3 Ciclos	
Bond (-29°C, 100% extensión) o (-29°C, 200% extensión)				Pasa 3 Ciclos	Pasa 3 Ciclos		Pasa 3 Ciclos
Compatibilidad de Asfalto						Pasar	
Cono de Penetración (-18°C), dmm							40

Fuente: Federal Highway Administration. *Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements*. p. 69.

2. Lista de inspección y comprobación para la construcción

Este anexo contiene listas de verificación e inspección de los distintos pasos operativos en una operación de sellado o llenado de grietas. Estas listas se han desarrollado para su uso, por los inspectores o supervisores para maximizar el rendimiento en la cantidad de trabajo de mano de obra en el campo.

- Corte de grieta
 - Las puntas o cuchillas de corte deben ser lo suficientemente precisas como para reducir el desprendimiento y agrietamiento.
 - El operador debe llevar ropa de seguridad apropiada.
 - Todos los mecanismos de seguridad en los equipos deben funcionar correctamente.
 - El equipo de corte debe seguir las grietas por lo que el porcentaje de grietas pérdidas será mínimo (menos del 5 por ciento de grietas pérdidas).
 - La mezcla de la superficie del pavimento asfáltico no es tan gruesa como para inhibir las operaciones de corte y causar excesivo astillamiento o formación de grietas.

- Limpieza y secado de grietas
 - Los filtros de aceite y de humedad en el funcionamiento del compresor de aire deben ser adecuados. Hacer una verificación periódica del aceite y humedad colocando una toalla blanca sobre la boquilla durante la operación, para que el material no sea contaminado de aceite o de humedad producida por el compresor provocando falta de adherencia.
 - El operador debe llevar ropa de seguridad apropiada.
 - La suciedad y los desechos deben ser quitados adecuadamente del canal de grieta, de los alrededores del pavimento y afuera del borde de la carretera.
 - Pasar al menos una vez en cada lado del canal de grieta con equipos de limpieza.

- Para limpiar y secar con aire comprimido caliente, la unión de las superficies se oscurece pero no debe quemarse.
 - La operación de limpieza se mantiene justo por delante de las operaciones de tratamiento de grietas, con el fin de retener la limpieza en la grieta.
 - La operación de aire a presión en caliente se lleva a cabo inmediatamente antes de la aplicación del material, para que se reduzca al mínimo el porcentaje de humedad y se maximice la temperatura de la grieta.
 - Revise periódicamente la limpieza de la grieta colocando los dedos por las paredes laterales de la grieta y examine la suciedad, el polvo, arena y escombros o residuos del asfalto oxidado, retirándolos con la mano si están libres. Además de visualizar la humedad dentro de la grieta y sentirla con los dedos.
 - Para la utilización de la boquilla del aire a presión y aire a presión en caliente, se coloca a una distancia no más de 50 milímetros del canal de grieta en la primera pasada.
 - La boquilla del aire a presión con arena se dirige contra las paredes laterales de la grieta y se mantiene entre 100 y 150 milímetros de distancia.
- Preparación e instalación de materiales
 - Instalación del cordón de respaldo
 - El cordón de respaldo debe ser colocado a la profundidad especificada.
 - En los segmentos de grieta anchas, colocar el cordón de respaldo.

- El cordón de respaldo debe estar suficientemente comprimido en el canal de grieta para que el material sellante no lo fuerce hacia abajo.
 - Comprobar que el cordón de respaldo no este dañado, torcido o excesivamente estirado durante la instalación.
- Preparación e instalación para el sellado o llenado
- Una caldera con doble tanque, de tipo agitador con la transferencia de calor de aceite, se utiliza para la aplicación en caliente y en materiales de asfalto modificado con caucho.
 - El operario debe llevar ropa de seguridad apropiada.
 - La cámara de calentamiento mantiene al menos un tercio de su capacidad de material para reducir la posibilidad de material que se quema o la introducción de aire en el sistema de bombeo.
 - Control sistemático de la temperatura del material en la cámara de calentamiento por la calibración de la caldera de temperatura y la sonda del termómetro
 - Comprobar que la bomba funcione eficientemente y permita la recirculación del material durante los períodos de inactividad.
 - Asegurarse que el canal de grieta sea llenado de material de abajo hacia arriba.
 - Asegurarse que el material sobre o dentro de la grieta se encuentre hasta el nivel especificado según su configuración.

- El material en ocasiones se vuelve a aplicar para romper segmentos que inicialmente recibieron muy poco material o experimentaron asentamiento del material.
 - Las operaciones de instalación de materiales siguen inmediatamente detrás de la limpieza y del secado, para retener la limpieza en las grietas.
 - Que no exista burbujeo debido a la humedad en el canal de grieta después de instalar los materiales de aplicación en caliente.
 - Eliminar el material derramado de la superficie del pavimento.
 - Mantener la cámara de calentamiento y el equipo de aplicación completamente limpios de materiales contaminantes.
- Acabados
 - La utilización de dispositivos de goma con su tamaño y forma adecuados para la configuración y colocación del material previsto.
 - Insertos de goma sobre el dispositivo de goma, cortados a medida deseada para crear una banda.
 - La acumulación de material en el dispositivo de goma se retira con soplete de propano.
 - Operar el dispositivo de goma centrándolo sobre la grieta y obtener la configuración adecuada, e inmediatamente después de la aplicación del material para retirar el material excesivo y que al enfriarse no retire la banda.

- Que no exista burbujeo debido a la humedad en el canal de grieta después de instalar los materiales de aplicación en caliente.
- Material secante
 - Cantidad suficiente de arena aplicada para cubrir totalmente el material sellante.

3. Materiales y equipos para medidas de seguridad

- Materiales

Para proteger su salud y bienestar, los trabajadores de mantenimiento que se ocupan de los diversos materiales en las operaciones de tratamiento de grietas deben revisar las especificaciones de seguridad que proporciona el fabricante en los materiales a utilizar.

Algunas precauciones de sentido común para prevenir el contacto dañino o ingestión de materiales incluyen usar la ropa protectora y el equipo siguiente:

- Camisa manga larga
- Pantalones largos
- Guantes
- Botas con punta de acero
- Protección para los ojos
- Casco
- Equipo

Las medidas de seguridad también deben ser tomadas para quienes operan los diferentes equipos utilizados en las operaciones de sellado o llenado, considerando lo siguiente:

- Ruteadores de sierra - protección de ojos y oído, ropa de protección, botas con punta de acero.
- Compresores de aire - protección de ojos y oído, traje de protección.
- Lanzas de aire a presión en caliente – protección de ojos y oídos, ropa retardante de fuego incluyendo botas y mallas que cubren las piernas.
- Aire a presión con arena - casco de protección alimentado con aire, suministro de aire purificado y ropa de protección.
- Distribuidores y calderas asfalto - protección de los ojos, la ropa de protección.

